



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA DEL RÍO RAPEL

INFORME FINAL

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 Riffo
Sr. Nicolas Bravo Reyes
Sr. Diego Gálvez Pino
Sra. Camila Contreras Suazo
Sr. Sebastián Núñez Labrín
Sr. Francisco Molina Villagrán**

ÍNDICE DEL INFORME FINAL

Página

ÍNDICE DEL INFORME FINAL	1-5
1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO	1-25
1.1 Introducción.....	1-25
1.2 Objetivos.....	1-27
1.2.1 Objetivo general	1-27
1.2.2 Objetivos específicos	1-27
2 CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA	2-29
2.1 Dimensión Física	2-32
2.1.1 Geología y geomorfología	2-32
2.1.2 Red Vial	2-36
2.1.3 Hidrología	2-38
2.1.4 Ciudades y Población	2-44
2.2 Clima	2-55
2.2.1 Caracterización climática	2-55
2.2.2 Eventos extremos y variabilidad climática.....	2-57
2.2.3 Escenarios de cambio climático	2-59
2.3 Dimensión ambiental.....	2-60
2.3.1 Unidades Ecosistémicas	2-61
2.3.2 Glaciares.....	2-64
2.3.3 Áreas silvestres protegidas	2-65
2.3.4 Amenazas sobre los ecosistemas.....	2-66
2.4 Infraestructura hídrica	2-69
2.4.1 Infraestructura Hidráulica.....	2-69
2.4.2 Centrales Hidroeléctricas.....	2-72
2.4.3 Infraestructura de Riego	2-74
2.4.4 Infraestructura Sanitaria	2-78
2.4.5 Minería y tranques de relave.....	2-80
2.4.6 Redes de medición	2-82
2.5 Nuevas fuentes de agua	2-84
2.5.1 Embalses	2-84
2.5.2 Acuíferos.....	2-87
2.5.3 Nieves y glaciares	2-88

2.6	Gobernanza del agua a nivel de Cuenca	2-88
2.6.1	Mapa de agentes.....	2-88
2.6.2	Brechas de coordinación.....	2-99
2.6.3	Brechas de información.....	2-101
3	DEMANDA FÍSICA Y LEGAL	3-102
3.1	Demanda para uso humano	3-103
3.1.1	Demanda histórica y actual	3-103
3.1.2	Demanda proyectada.....	3-106
3.1.3	Eficiencia de uso	3-106
3.1.4	Derechos de aprovechamiento de agua	3-110
3.2	Necesidades mínimas ambientales	3-110
3.2.1	Caudal ecológico	3-111
3.2.2	Sistemas protegidos	3-114
3.3	Demanda agrícola.....	3-115
3.3.1	Demanda histórica y actual	3-115
3.3.2	Demanda proyectada.....	3-117
3.3.3	Eficiencia de uso	3-118
3.3.4	Derechos de aprovechamiento de agua	3-119
3.4	Demanda minera	3-123
3.4.1	Demanda histórica y actual	3-123
3.4.2	Demanda proyectada.....	3-123
3.4.3	Derechos de aprovechamiento de agua	3-123
3.5	Demanda industrial	3-124
3.5.1	Demanda histórica y actual	3-124
3.5.2	Demanda proyectada.....	3-125
3.5.3	Derechos de aprovechamiento de aguas.....	3-125
3.6	Demanda pecuaria.....	3-125
3.6.1	Demanda histórica y actual	3-126
3.6.2	Demanda proyectada.....	3-126
3.6.3	Derechos de aprovechamiento de agua	3-127
3.7	Demanda hidroeléctrica	3-127
3.7.1	Demanda histórica y actual	3-127
3.7.2	Demanda proyectada.....	3-128
3.7.3	Derechos de aprovechamiento de aguas.....	3-128
3.8	Demandas para uso recreacional y cultural	3-129
3.9	Sistematización de la demanda	3-129
4	OFERTA DE AGUA.....	4-131
4.1	Agua Superficial	4-131
4.1.1	Fuentes.....	4-131
4.1.2	Oferta en la fuente	4-132

4.1.3	Calidad del agua	4-141
4.1.4	Fuentes de contaminación	4-144
4.1.5	Derechos de aprovechamiento de aguas concedidos	4-145
4.2	Agua subterránea	4-146
4.2.1	Sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común	4-146
4.2.2	Oferta en la fuente	4-149
4.2.3	Calidad del agua	4-154
4.2.4	Fuentes de contaminación	4-158
4.2.5	Derechos de aprovechamiento de aguas concedidos	4-160
4.3	Glaciares	4-160
5	BALANCE DE AGUA.....	5-164
5.1	Modelo de simulación	5-166
5.1.1	Descripción del modelo elaborado	5-166
5.1.2	Balance de agua actual	5-171
5.1.3	Balance de agua proyectado	5-173
5.2	Brechas hídricas	5-175
5.2.1	Seguridad Hídrica para las Personas	5-177
5.2.2	Seguridad Hídrica para los Ecosistemas.....	5-185
5.2.3	Seguridad Hídrica para las Actividades Productivas	5-193
5.2.4	Seguridad Hídrica ante Eventos Extremos	5-205
5.2.5	Gestión Institucional.....	5-206
5.2.6	Gobernanza	5-210
5.2.7	Síntesis de las brechas hídricas.....	5-212
5.3	Sustentabilidad de acuíferos	5-213
5.3.1	Evaluación.....	5-214
5.3.2	Conclusiones de los criterios de sustentabilidad.....	5-222
5.4	Indicadores hídricos de la cuenca	5-223
5.4.1	Definición de indicadores.....	5-223
5.4.2	Cuantificación de indicadores	5-228
5.4.3	Análisis del impacto esperado del Plan	5-232
5.5	Escenarios de gestión.....	5-233
5.5.1	Evaluación económica de alternativas	5-233
5.5.2	Escenarios de Gestión	5-276
5.6	Mercado del agua	5-287
6	ACCIONES.....	6-289
6.1	Seguridad Hídrica para las Personas	6-291
6.1.1	Agua Potable Urbana y Rural	6-291
6.1.2	Aguas servidas y Aguas Lluvias.....	6-292
6.2	Seguridad Hídrica para los Ecosistemas	6-292

6.3	Seguridad Hídrica para las Actividades Productivas	6-293
6.3.1	Obras Hidráulicas	6-293
6.3.2	Tecnificación del riego.....	6-301
6.3.3	Organizaciones de Usuarios de Agua.....	6-301
6.3.4	Iniciativas de empresas privadas.....	6-301
6.4	Seguridad Hídrica ante Eventos Extremos	6-302
6.4.1	Defensas fluviales	6-302
6.5	Gestión institucional.....	6-302
6.5.1	Dirección General de Aguas	6-302
6.6	Gobernanza	6-304
6.7	Revisión de Planes Existentes	6-306
6.7.1	Plan Regional de Recursos Hídricos 2020 – 2029	6-306
6.7.2	Plan de Riego Cachapoal (CNR).....	6-307
7	<u>CARTERA DE INICIATIVAS PROPUESTAS</u>	<u>7-309</u>
7.1	Síntesis de Alternativas.....	7-310
7.1.1	Seguridad Hídrica para las Personas	7-311
7.1.2	Seguridad Hídrica para los Ecosistemas.....	7-336
7.1.3	Seguridad Hídrica para las Actividades Productivas	7-348
7.1.4	Seguridad Hídrica ante Eventos Extremos	7-383
7.1.5	Gestión Institucional.....	7-387
7.1.6	Gobernanza	7-403
7.2	Alternativas Seleccionadas.....	7-407
7.3	Líneas de Acción.....	7-413
7.4	Valorización económica del Plan	7-414
7.5	Cronograma de soluciones	7-417
8	<u>IMPLEMENTACIÓN</u>	<u>8-420</u>
8.1	Hitos de referencia	8-420
8.1.1	Plan de Acción de Corto Plazo	8-420
8.1.2	Plan Estratégico de Mediano y Largo Plazo.....	8-424
8.2	Estrategia de implementación	8-427
8.2.1	Estructura del Plan de Gestión	8-427
8.2.2	Aspectos Institucionales.....	8-428
8.2.3	Aspectos de Cultura del Agua	8-432
8.2.4	Aspectos de financiamiento	8-433
8.3	Estrategia de comunicación.....	8-434
8.3.1	Público objetivo.....	8-434
8.3.2	Contenidos a comunicar.....	8-435
8.3.3	Medios de comunicación.....	8-435
8.3.4	Metas	8-436
8.3.5	Consideraciones	8-437



8.4	Identificación de fuentes de financiamiento.....	8-438
9	MONITOREO Y EVALUACIÓN DEL PLAN.....	9-439
9.1	Plan de Monitoreo	9-439
9.1.1	Indicadores	9-439
9.1.2	Seguimiento	9-443
9.2	Mecanismos para el análisis y la toma de decisiones.....	9-443
10	ASPECTOS NORMATIVOS	10-445
1.1	Coordinación entre instrumentos de planificación territoriales y sectoriales	10-445
1.2	Sustitución de Bosque Nativo	10-446
1.3	Subdivisión predial.....	10-446



**GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS
DIVISIÓN DE ESTUDIOS Y PLANIFICACIÓN**

Índice de Tablas

Página

Tabla 2-1 Superficie de las subcuencas Río Rapel	2-29
Tabla 2-2 Comunas comprendidas dentro de la Cuenca del río Rapel.....	2-45
Tabla 2-3 Porcentaje de aumento poblacional en la cuenca río Rapel.....	2-47
Tabla 2-4 Características demográficas población cuenca río Rapel	2-49
Tabla 2-5 Principales rubros silvoagropecuarios exportados en la región del Maule (miles de dólares FOB)	2-54
Tabla 2-6 Frecuencia de eventos extremos por año, región de O'Higgins	2-58
Tabla 2-7 Número de comunas con decretos de escasez hídrica.....	2-58
Tabla 2-8 GCM utilizados para representar las forzantes meteorológicas (precipitación y temperatura) en el periodo proyectado, considerando cambio climático	2-60
Tabla 2-9 Tipos y naturaleza de humedales en la cuenca del río Rapel.....	2-63
Tabla 2-10 Centrales hidroeléctricas presentes en la Cuenca Río Rapel.....	2-73
Tabla 2-11 Canales según unidades de gestión.....	2-75
Tabla 2-12 Superficie de Riego Cuenca del Rapel	2-77
Tabla 2-13 Número de clientes de empresa sanitaria ESSBIO por localidad	2-79
Tabla 2-14 Tranques de relaves y volumen autorizado/actual en la cuenca río Rapel..	2-81
Tabla 2-15 Proyección de embalses de regulación cuenca Rapel	2-85
Tabla 2-16 Actores principales de la cuenca según relación con el tipo de seguridad hídrica	2-90
Tabla 2-17 Organizaciones de Usuarios de Aguas que coexisten en la cuenca del Río Rapel	2-95
Tabla 2-18 Juntas de Vigilancia presentantes en la Cuenca río Rapel	2-95
Tabla 2-19 Juntas de Vigilancia según criterio financiero.....	2-96
Tabla 2-20 Estado administrativo de Juntas de Vigilancia.....	2-97
Tabla 2-21 Influencia territorial de Juntas de vigilancia.	2-98
Tabla 2-22. Brechas y Conflictos de coordinación entre actores	2-100
Tabla 2-23. Brechas de información	2-101
Tabla 3-1 Demanda hídrica actual para consumo humano por SHAC (hm ³ /año), año 2020	3-104
Tabla 3-2 Resumen Volumen producido según tipo de suministro en la cuenca. Periodo 2015-2020 hm ³ /año.....	3-105
Tabla 3-3 Demanda histórica y proyectada consumo humano urbano (hm ³ /año)	3-107
Tabla 3-4 Evolución de la demanda consumo humano en sector rural	3-108
Tabla 3-5 Derechos otorgados por SHAC. Agua potable urbana	3-111
Tabla 3-6 Caudal ecológico mínimo (naturalizado) por nodos (hm ³ /mes)	3-112
Tabla 3-7 Caudal ecológico mínimo (intervenido) por nodos (hm ³ /mes).....	3-112

Tabla 3-8. Caudales para Protección Ambiental cuenca del río Rapel (m ³ /s)	3-115
Tabla 3-9 Demanda Bruta y Neta por zona de riego (hm ³ /año), periodo histórico y actual.	3-116
Tabla 3-10 Demanda Bruta y Neta por zona de riego (hm ³ /año), periodo proyectado	3-118
Tabla 3-11 Total derechos en hm ³ /año, otorgados en la cuenca Río Rapel	3-122
Tabla 3-12 Derechos de aprovechamiento de aguas subterráneos, uso agrícola. Total anual (hm ³) derechos según unidad de gestión	3-122
Tabla 3-13 Demanda minera actual y proyectada, CODELCO División El Teniente	3-123
Tabla 3-14 DAA otorgados para minería en cuenca río Rapel	3-124
Tabla 3-15 Demanda industrial por Unidad de Gestión en la cuenca río Rapel.....	3-124
Tabla 3-16 Demanda Industrial proyectada en la cuenca río Rapel	3-125
Tabla 3-17 Derechos de aprovechamiento de aguas otorgados a industrias, cuenca río Rapel	3-125
Tabla 3-18 Demanda hídrica pecuaria según tipo de ganado, año 2020	3-126
Tabla 3-19 Demanda pecuaria actual (promedio 2015-2020) y demanda proyectada (2021- 2050) comparada	3-127
Tabla 3-20 Demanda hídrica de centrales hidroeléctricas en cuenca río Rapel.....	3-127
Tabla 3-21 Volumen otorgado de DAA para empresas hidroeléctricas	3-128
Tabla 3-22 Síntesis de la demanda actual (2020), hm ³ /año	3-129
Tabla 3-23 Síntesis de la demanda proyectado (2040-2050), hm ³ /año	3-130
Tabla 4-1 Oferta Natural periodo histórico y oferta actual (hm ³ /año).....	4-135
Tabla 4-2 Oferta intervenido periodo histórico y oferta actual (hm ³ /año)	4-136
Tabla 4-3 Oferta Natural periodo proyectado (hm ³ /año)	4-138
Tabla 4-4 Oferta intervenida periodo proyectado (hm ³ /año).....	4-139
Tabla 4-5 Total anual y acumulado (Hm ³ /año) derechos otorgados según Unidad de Gestión, Sector y Tipo de Ejercicio en la cuenca Río Rapel	4-145
Tabla 4-6. Ubicación y estado de limitación de los sectores acuíferos, subcuenca Cachapoal y Codegua	4-147
Tabla 4-7. Ubicación y estado de limitación de los sectores acuíferos, subcuenca Tinguiririca	4-148
Tabla 4-8 Volumen húmedo acuíferos (Stock - hm ³). Periodo Histórico y actual	4-149
Tabla 4-9 Recarga acuíferos (hm ³ /año). Periodo histórico completo (1990-2020)	4-150
Tabla 4-10 Nivel de la Napa (Profundidad - m). Periodo Histórico y actual	4-151
Tabla 4-11 Volumen húmedo de los acuíferos (Stock - hm ³). Periodo Proyectado.....	4-152
Tabla 4-12 Recarga de los acuíferos (hm ³ /año). Período proyectado (2021-2050) ...	4-153
Tabla 4-13 Nivel de la Napa (Profundidad- m). Periodo Proyectado	4-154
Tabla 4-14 Resumen de los resultados de análisis químicos de microelementos en aguas subterráneas de la VI Región	4-159
Tabla 4-15 Total anual (Hm ³ /año) de derechos otorgados según unidad de gestión en la Cuenca Río Rapel.....	4-160

Tabla 5-1 Brecha de balance hídrico en la cuenca del río Rapel para todos los usos..	5-165
Tabla 5-2 Balance hídrico superficial cuenca del río Rapel. Entradas y salidas del sistema. Periodo histórico y actual (hm ³ /año).	5-172
Tabla 5-3 Balance hídrico subterráneo, escenario base (hm ³ /año). Período Histórico y actual.	5-173
Tabla 5-4 Balance hídrico de aguas superficiales, período proyectado	5-174
Tabla 5-5 Balance hídrico subterráneo, escenario base (hm ³ /año). Proyectado	5-175
Tabla 5-6 Brechas para la seguridad hídrica de las personas según situación deseada al año 2050.	5-178
Tabla 5-7. Número de Viviendas fuera de la red pública de agua potable	5-179
Tabla 5-8. Demanda hídrica insatisfecha o en riesgo	5-180
Tabla 5-9 Brecha de producción de agua potable urbana según tendencia proyectada al 2050 (hm ³ /año)	5-181
Tabla 5-10 Brecha de producción de Servicios de Saneamiento Rural según tendencia proyectada al 2050 (hm ³ /año)	5-181
Tabla 5-11 Resumen de la brecha proyectada al 2050 (hm ³ /año)	5-182
Tabla 5-12 Brechas para la seguridad hídrica de los ecosistemas	5-185
Tabla 5-13 Brecha promedio acumulada de caudal ecológico por mes, UG Rapel, Tinguiririca y Cachapoal (hm ³ /mes), período 1990-2020	5-186
Tabla 5-14 Brecha promedio acumulada de caudal ecológico por mes, UG Rapel, Tinguiririca y Cachapoal (hm ³ /mes), período 2021-2050	5-186
Tabla 5-15 Brecha en monitoreo de calidad de aguas	5-188
Tabla 5-16 Brecha pérdida de humedales y ecosistemas acuáticos (ha)	5-190
Tabla 5-17 Pérdida de vegetación natural	5-191
Tabla 5-18 Superficie según tipo de erosión asociada (ha)	5-192
Tabla 5-19 Brechas para la seguridad hídrica de las actividades productivas	5-195
Tabla 5-20 Brecha agrícola por sectores de riego. Periodo histórico 2000-2014	5-196
Tabla 5-21 Brecha agrícola por sectores de riego. Periodo actual 2015-2020	5-197
Tabla 5-22 Brecha agrícola por sectores de riego. Periodo proyectado 2041-2050	5-197
Tabla 5-23 Brecha hídrica pecuaria al año 2050	5-200
Tabla 5-24 Variabilidad de oferta superficial para el uso minero, Codelco DET	5-201
Tabla 5-25 Brechas para la seguridad hídrica ante eventos extremos	5-205
Tabla 5-26 Brechas para la Gestión Institucional	5-206
Tabla 5-27 Brechas para la Gobernanza	5-211
Tabla 5-28 Síntesis brechas hídricas estimadas al 2050 (hm ³ /año)	5-213
Tabla 5-29 Resumen Cumplimiento de Criterios de Sustentabilidad	5-215
Tabla 5-30 Resumen Cumplimiento Criterio 1a "Disminución de Nivel Estático"	5-217
Tabla 5-31 Resumen Cumplimiento Criterio 1b "Disminución del Volumen"	5-218
Tabla 5-32 Resumen Cumplimiento Criterio 2 "Interferencia Río Acuífero"	5-219
Tabla 5-33 Resumen Cumplimiento Criterio 3 "Satisfacción de Demanda"	5-220

Tabla 5-34 Resumen Cumplimiento Criterio 4 "Satisfacción de Demanda"	5-221
Tabla 5-35. Definición de Indicadores de Estado	5-224
Tabla 5-36. Definición de Indicadores de Impacto	5-225
Tabla 5-37. Definición de Indicadores de Estado	5-228
Tabla 5-38. Determinación de Indicadores de Impacto	5-229
Tabla 5-39 Definición metas de gestión al año 2050, Unidad de Gestión Cachapoal ..	5-235
Tabla 5-40. Definición de estrategias para la Unidad de Gestión Cachapoal	5-236
Tabla 5-41. Sector Cachapoal Primera Sección. Estrategia de Gestión de Aguas Superficiales	5-237
Tabla 5-42. Sector Cachapoal Primera Sección. Estrategia de Gestión de Aguas Subterráneas	5-238
Tabla 5-43. Resumen de estrategias para el sector Cachapoal Primera Sección	5-239
Tabla 5-44. Definición de estrategias para el sector Cachapoal Segunda Sección	5-240
Tabla 5-45. Sector Cachapoal Segunda Sección. Estrategia de Gestión de Aguas Subterráneas	5-241
Tabla 5-46 Resumen de estrategias para el sector Cachapoal Segunda Sección	5-242
Tabla 5-47. Definición de estrategias para el sector Cachapoal Tercera Sección	5-243
Tabla 5-48. Sector Cachapoal Tercera Sección. Estrategia de Gestión de Aguas Subterráneas	5-244
Tabla 5-49. Resumen de estrategias para el sector Cachapoal Tercera Sección	5-245
Tabla 5-50. Definición de estrategias para el sector río Claro	5-246
Tabla 5-51. Sector Río Claro. Estrategia de Gestión de Aguas Superficiales	5-247
Tabla 5-52. Sector Río Claro. Estrategia de Gestión de Aguas Subterráneas	5-248
Tabla 5-53. Sector Río Claro. Estrategia de Gestión Compuesta	5-249
Tabla 5-54. Resumen de estrategias para el sector río Claro	5-250
Tabla 5-55. Definición de estrategias para el sector estero Zamorano	5-251
Tabla 5-56. Sector Estero Zamorano. Estrategia de Gestión de Aguas Subterráneas	5-252
Tabla 5-57. Resumen de estrategias para el sector Estero Zamorano	5-253
Tabla 5-58 Definición metas de gestión al año 2050, Unidad de Gestión Tinguiririca. ..	5-254
Tabla 5-59. Definición de estrategias para el sector Tinguiririca	5-255
Tabla 5-60. Sector Tinguiririca. Estrategia de Gestión de Aguas Superficiales	5-256
Tabla 5-61. Sector Tinguiririca. Estrategia de Gestión de Aguas Subterráneas	5-257
Tabla 5-62. Sector Tinguiririca. Estrategia de Gestión Compuesta	5-258
Tabla 5-63 Resumen de estrategias para el sector Tinguiririca	5-259
Tabla 5-64. Definición de estrategias para el sector Chimbarongo	5-260
Tabla 5-65. Sector Chimbarongo. Estrategia de Gestión de Aguas Superficiales	5-261
Tabla 5-66. Sector Chimbarongo. Estrategia de Gestión de Aguas Subterráneas	5-262
Tabla 5-67. Sector Chimbarongo. Estrategia de Gestión Compuesta	5-263
Tabla 5-68 Resumen de estrategias para el sector Chimbarongo	5-264
Tabla 5-69. Definición de estrategias para la Unidad de Gestión Cachapoal	5-265

Tabla 5-70. Sector La Cadena. Estrategia de Gestión Compuesta.....	5-266
Tabla 5-71. Resumen de estrategias para el sector Estero La Cadena.....	5-267
Tabla 5-72 Definición de metas de gestión al año 2050, Unidad de Gestión Rapel	5-268
Tabla 5-73 Definición de estrategias para la Unidad de Gestión Cachapoal	5-269
Tabla 5-74 Sector Estero Alhué. Estrategia de Gestión de Aguas Subterráneas.....	5-270
Tabla 5-75 Resumen de estrategias para el sector Alhué	5-271
Tabla 5-76. Definición de estrategias para la Unidad de Gestión Cachapoal	5-272
Tabla 5-77. Sector Rapel. Estrategia de Gestión Compuesta.....	5-273
Tabla 5-78 Resumen de estrategias para el sector Rapel	5-274
Tabla 5-79. Resumen de Estrategia de Balance Hídrico.....	5-275
Tabla 5-80 Escenarios de gestión seleccionados según objetivo y brecha a reducir...	5-276
Tabla 5-81 Escenario de Gestión de aguas superficiales.....	5-277
Tabla 5-82 Escenario Caudal ecológico. Caudal mínimo en punto de control (m ³ /s) ..	5-278
Tabla 5-83 Características de la batería de pozos. Escenario 3.1.....	5-279
Tabla 5-84 Nuevas superficies agrícolas en escenarios del plan	5-281
Tabla 5-85 Baterías de pozos implementadas en el escenario del plan.....	5-282
Tabla 5-86 Brecha agrícola por sectores de riego. Periodo histórico 2041-2050. Escenario 4, formulación del plan.....	5-287
Tabla 5-87 Valor mediana de UF/(l/s) según CBR y categorías. Cuenca del Rapel	5-288
Tabla 6-1 Cartera iniciativas Región del Libertador Bernardo O´Higgins.....	6-289
Tabla 6-2 Montos invertidos por año (2011-2022)	6-290
Tabla 6-3 Montos invertidos por temática en los últimos 4 años.....	6-291
Tabla 6-4 Proyecto Integral de Riego Rapel.....	6-299
Tabla 6-5 Niveles de exigencia para obras de captación ubicadas en las áreas de la cuenca del Rapel no comprendidas en la resolución DGA VI (Exenta) N° 19/21, y que no corresponden a la subcuenca del río Rapel.....	6-303
Tabla 6-6 Niveles de exigencia para obras de captación ubicadas en las áreas de la cuenca del Rapel no comprendidas en la resolución DGA VI (Exenta) N° 19/21, y que sí corresponden a la subcuenca del río Rapel.....	6-304
Tabla 6-7 Iniciativas contenidas en Planes Existentes.....	6-307
Tabla 7-1 Iniciativas de Seguridad Hídrica para las personas y Brechas asociadas....	7-312
Tabla 7-2. Partidas del Plan de Desarrollo Integrado	7-316
Tabla 7-3. Contenidos de referencia para la acreditación de directores, administradores y técnicos.....	7-318
Tabla 7-4. Partidas para la Profesionalización de los SSR	7-319
Tabla 7-5. Estimación de costos de registro de SSR	7-320
Tabla 7-6. Partidas para la Profesionalización de los SSR	7-321
Tabla 7-7. Partidas del Plan de Desarrollo y Mantenimiento Preventiva.....	7-323
Tabla 7-8. Partidas del Sistema de Información de Servicios Sanitarios Rurales.....	7-325
Tabla 7-9. Costo de Instalación de Telemetría en la Cuenca	7-326

Tabla 7-10. Costo referencial del Sistema de Saneamiento Rural	7-328
Tabla 7-11. Estudio Técnico de Nuevos Sistemas de Saneamiento	7-329
Tabla 7-12. Plan para Viviendas desconectadas de la Red Pública de Agua	7-334
Tabla 7-13. Partidas para una Red Participativa de Agua	7-335
Tabla 7-14. Resumen de la protección de fuentes de agua	7-335
Tabla 7-15. Iniciativas Seguridad Hídrica para los Ecosistemas y Brechas asociadas.	7-337
Tabla 7-16. Partidas para la definición de caudales ambientales y estándares de calidad de agua	7-339
Tabla 7-17. Partidas para el Estudio de Vulnerabilidad de Humedales	7-342
Tabla 7-18. Partidas del Estudio de Protección de Humedales	7-344
Tabla 7-19. Estimación costo de forestación de 1,0 de bosque nativo (referencial) ...	7-345
Tabla 7-20. Estimación de costo de la iniciativa (referencial)	7-346
Tabla 7-21. Iniciativas de Seguridad Hídrica para las Actividades Productivas	7-349
Tabla 7-22. Presupuesto de los estudios previos del embalse Bollenar	7-353
Tabla 7-23. Presupuesto total del embalse Bollenar	7-353
Tabla 7-24. Presupuesto total del embalse Las Cayanás	7-356
Tabla 7-25. Presupuesto total del embalse Río Claro de Tinguiririca	7-357
Tabla 7-26. Estimación de costo del estudio de recarga de acuíferos	7-360
Tabla 7-27. Unidad de Gestión Cachapoal. Gestión Dinámica de Acuíferos	7-361
Tabla 7-28. Unidad de Gestión Tinguiririca. Gestión Dinámica de Acuíferos	7-362
Tabla 7-29. Unidad de Gestión Rapel. Gestión Dinámica de Acuíferos	7-363
Tabla 7-30. Partidas del Plan de Integral de Riego	7-364
Tabla 7-31. Presupuesto total del PIR Rapel	7-366
Tabla 7-32. Presupuesto total del Programa de Apoyo Marchigüe	7-367
Tabla 7-33. Presupuesto total del Programa de Apoyo Rapel	7-368
Tabla 7-34. Presupuesto total del Programa de Apoyo Rapel	7-370
Tabla 7-35. Partidas del Plan de Desarrollo Integrado	7-372
Tabla 7-36. Unidad de Gestión Cachapoal. Aumento de eficiencia en el uso del agua ..	7-373
Tabla 7-37. Unidad de Gestión Tinguiririca. Aumento eficiencia en el uso del agua ...	7-375
Tabla 7-38. Unidad de Gestión Rapel. Aumento de eficiencia en el uso del agua	7-376
Tabla 7-39. Costo de saneamiento de derechos de aprovechamiento de agua	7-378
Tabla 7-40. Costo del programa de inscripción de Juntas de Vigilancia	7-380
Tabla 7-41. Partidas para la constitución de Comunidades de Aguas Subterráneas ...	7-381
Tabla 7-42. Partidas para la definición de un acuerdo de distribución de agua	7-382
Tabla 7-43. Iniciativas de Seguridad Hídrica para la Gestión institucional	7-383
Tabla 7-44. Estimación del costo del Programa de Adaptación al Cambio Climático de Alhué	7-385
Tabla 7-45. Estimación del costo del Programa de Adaptación al Cambio Climático del Secano Interior	7-387
Tabla 7-46. Iniciativas de Seguridad Hídrica para la Gestión institucional	7-388



Tabla 7-47 Resumen brechas, oportunidades de mejora e iniciativas asociadas	7-389
Tabla 7-48. Nuevas estaciones de la red Hidrométrica	7-390
Tabla 7-49 Estaciones con mejora de la tecnología de transmisión de datos.....	7-391
Tabla 7-50. Reposición de material para estaciones de la red de Calidad de Aguas...	7-392
Tabla 7-51. Nuevas estaciones de Alta Montaña	7-393
Tabla 7-52. Estudios específicos	7-395
Tabla 7-53. Partidas de gasto del Catastro de Usos del Agua.....	7-397
Tabla 7-54. Partidas de gasto de la Plataforma de Gestión de OUA	7-400
Tabla 7-55. Partidas de gasto del Sistema de Capacitación	7-402
Tabla 7-56. Iniciativas de Seguridad Hídrica para la Gobernanza	7-403
Tabla 7-57. Estimación de costo de la iniciativa	7-405
Tabla 7-58. Estimación de costo de la iniciativa	7-407
Tabla 7-59. Alternativas Seleccionadas.....	7-408
Tabla 7-60. Resumen de iniciativas de inversión.....	7-414
Tabla 7-61. Resumen de inversión por responsable y plazo.....	7-415
Tabla 7-62. Cronograma de Implementación de Iniciativas	7-419
Tabla 8-1. Hitos de referencia del Plan (inversión a corto largo plazo)	8-421
Tabla 8-2. Hitos de referencia del Plan (inversión a mediano y largo plazo).....	8-425
Tabla 8-3. Metas de la Estrategia de Comunicación	8-437
Tabla 8-4. Análisis de Fuentes de Financiamiento	8-438
Tabla 9-1. Indicadores del Proceso	9-439



**GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS
DIVISIÓN DE ESTUDIOS Y PLANIFICACIÓN**

Índice de Figuras

	Página
Figura 2-1 Cuenca del río Rapel	2-31
Figura 2-2 Unidades de Gestión	2-32
Figura 2-3 Geomorfología	2-33
Figura 2-4 Tipos de suelo (FAO)	2-35
Figura 2-5 Grupos hidrológicos del suelo	2-36
Figura 2-6 Red Vial	2-38
Figura 2-7 Hidrografía cuenca río Rapel	2-39
Figura 2-8 Modelo esquemático de los cauces principales de la cuenca río Rapel	2-40
Figura 2-9 Caudal medio mensual de ríos	2-41
Figura 2-10 Volumen embalsado año 2020, Embalse Rapel y Convento Viejo	2-42
Figura 2-11 Sectorización de los Valles de Alhué, Cachapoal y Tinguiririca	2-43
Figura 2-12 Comunas en la Cuenca río Rapel	2-46
Figura 2-13 Proyección de población de la cuenca de Rapel.....	2-48
Figura 2-14 Pirámide de población, Cuenca Río Rapel.....	2-50
Figura 2-15 Producto Interno Bruto de la Región de O´Higgins.....	2-52
Figura 2-16 Valor de las exportaciones según sector económico, años 2019-2020	2-53
Figura 2-17 Climograma de datos históricos para precipitaciones y temperatura mensuales, ciudad de Rancagua	2-56
Figura 2-18 Precipitación media anual (2000-2019) Cuenca Río Rapel.....	2-56
Figura 2-19 Tipos de Climas (Köppen) cuenca del río Rapel.....	2-57
Figura 2-20 Suma decretos hídricos según comuna, cuenca del río Rapel.....	2-59
Figura 2-21 Pisos vegetacionales de la cuenca del río Rapel	2-62
Figura 2-22 Áreas protegidas de la cuenca del Río Rapel	2-66
Figura 2-23 Superficie afectada por incendios forestales temporada 2016-2017	2-67
Figura 2-24 Embalses y centrales energéticas en la Cuenca de Rapel	2-71
Figura 2-25 Pozos de extracción por uso de agua (Potable urbana, Potable Rural, Agrícola, industrial, otros).....	2-72
Figura 2-26 Energía almacenada en embalse Rapel 1985-2020	2-74
Figura 2-27 Canales y bocatomas en la Cuenca Rapel	2-76
Figura 2-28 Diagrama de Zonas de Riego cuenca de Rapel	2-77
Figura 2-29 Localización SSR	2-80
Figura 2-30 Faenas Mineras y Tranques de Relave	2-82
Figura 2-31 Red hidrométrica en la Cuenca de Rapel.....	2-83
Figura 2-32 Red Calidad de Aguas en la Cuenca de Rapel	2-84
Figura 2-33 Embalses proyectados en la cuenca del Río Rapel	2-85
Figura 2-34 Principales actores de la cuenca río Rapel	2-89
Figura 2-35 Mapa de actores.....	2-93

Figura 2-36 Grafo de actores según relaciones y tipo	2-94
Figura 3-1 Distribución de la demanda consuntiva bruta, cuenca del Rapel	3-102
Figura 3-2 Demanda para consumo humano. Distribución de la demanda bruta. Ubicación de captaciones.	3-105
Figura 3-3 Evolución de porcentaje de pérdidas en sector urbano	3-109
Figura 3-4 Caudal en el período 2021-2050 según probabilidad de excedencia de 85% y Caudal Ecológico Mínimo (naturalizado) para unidades de gestión cuenca río Rapel..	3-113
Figura 3-5 Caudal en el período 2021-2050 según probabilidad de excedencia de 85% y Caudal Ecológico Mínimo (intervenido) para unidades de gestión cuenca río Rapel ...	3-114
Figura 3-6 Distribución anual de la Demanda neta por zona de riego, periodo actual 2015-2020 (hm ³ /año)	3-117
Figura 3-7 Eficiencia de riego estimada para el año actual (2021).....	3-119
Figura 3-8 Derechos históricos registrados en la cuenca Río Rapel	3-120
Figura 3-9 Derechos superficiales consuntivos por mes y total anual según Unidad de Gestión, Cuenca del Río Rapel.....	3-121
Figura 4-1 Nodos de control para la realización de la oferta y balance superficial	4-132
Figura 4-2 Oferta histórica en régimen natural en la desembocadura del Río Rapel, periodo 1990-2020	4-134
Figura 4-3 Caudal en el período 1990-2020 según probabilidad de excedencia de 85%. Unidades de Gestión, cuenca río Rapel	4-137
Figura 4-4 Caudal proyectado en el período 2021-2050 según probabilidad de excedencia de 85% en cuenca río Rapel.....	4-140
Figura 4-5 Estaciones de calidad de aguas superficiales cuenca del río Rapel.....	4-141
Figura 4-6 pH cuenca del río Rapel	4-142
Figura 4-7 Conductividad SSR estudiados dentro de la cuenca de Rapel	4-142
Figura 4-8 Diagramas de Piper y Stiff Estación hidrométrica de calidad de aguas superficiales Río Rapel en Navidad	4-143
Figura 4-9 Estados de SHAC según limitación, cuenca río Rapel.....	4-146
Figura 4-10 SSR estudiados dentro de la cuenca del río Rapel	4-155
Figura 4-11 Representación mediante diagrama de Piper de las características químicas de las aguas subterráneas muestreadas en el acuífero Tinguiririca y Cachapoal	4-156
Figura 4-12 (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	4-161
Figura 4-13 Balance superficial en la unidad hidrológica río San José en San Andrés (AN-05).	4-162
Figura 4-14 Volumen glaciar periodo histórico y proyectado	4-163
Figura 5-1 Balance Hídrico superficial a nivel de cuenca río Rapel. Oferta natural, oferta intervenida, oferta captada en bocatomas, brecha y demanda agrícola.....	5-165
Figura 5-2 Zona modelada hidrológicamente.....	5-166

Figura 5-3 Ejes de Planificación	5-176
Figura 5-4 Brecha de caudal ecológico anual, nodos 1-6-10 (hm ³ /año).....	5-187
Figura 5-5 Cambio forestal 2013-2019 en la cuenca del río Rapel	5-191
Figura 5-6 Demanda Satisfecha en agricultura y brecha hídrica hm ³ /año. Presentado por sectores de riego en el periodo proyectado 2041-2050.....	5-198
Figura 5-7 Distribución anual de la brecha agrícola Sector Cachapoal (UG) hm ³ /mes. PE Oferta Naturalizada.....	5-199
Figura 5-8 Falta de estaciones de la red hidrométrica y de calidad de aguas	5-208
Figura 5-9 Ubicación de Pozos de emergencia en la cuenca Rapel	5-280
Figura 5-10 Escenario de gestión 4. Formulación del plan	5-281
Figura 5-11 Ubicación baterías de pozos para escenario del plan	5-282
Figura 5-12 Propuesta de aumento de la eficiencia de riego. Escenario de formulación del plan	5-283
Figura 5-13 Resultados Escenario 1. Gestión de aguas superficiales	5-284
Figura 5-14 Resultados Escenario 2. Gestión de caudal ecológico.....	5-285
Figura 5-15 Resultados Escenario 3. Gestión de acuíferos	5-286
Figura 5-16 Resultados Escenario 4. Formulación del plan	5-286
Figura 6-1 Ubicación del Embalse Las Cayanás	6-295
Figura 6-2 Áreas de riego de Embalse Convento Viejo	6-297
Figura 6-3 Proyecto de riego sector Marchigüe	6-298
Figura 6-4 Proyecto Integral de Riego Rapel.....	6-300
Figura 6-5 Estructura de Gobernanza de la cuenca de Rapel	6-305
Figura 7-1 Metodología de selección de iniciativas.....	7-310
Figura 7-2 Proceso de tramitación de solicitudes de humedales urbanos	7-343
Figura 7-3 Líneas de Acción del Plan Estratégico.....	7-413
Figura 7-4 Cronograma de Implementación de Soluciones (1)	7-417
Figura 7-5 Cronograma de Implementación de Soluciones (2)	7-418
Figura 8-1 Alineamiento del Plan Estratégico y la Gobernanza	8-427
Figura 8-2 Actores que forman parte de la Gobernanza	8-430
Figura 8-3 Hitos para la implementación de la gobernanza a nivel de cuenca	8-432



**GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS
DIVISIÓN DE ESTUDIOS Y PLANIFICACIÓN**



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 del Modelo Hidrológico Numérico
- H3. Validación del producto CR2MET v2.0
- H4. Elección del 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. Minuta de 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 Informe 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 informe da cuenta 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 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.

Conceptualmente, el documento describe las siguientes etapas del proceso del Plan Estratégico:

Caracterización de la cuenca, en el capítulo 2
Diagnóstico de los recursos hídricos en la cuenca, en los Capítulos 3, 4 y 5
Formulación del Plan, en los Capítulos 6 y 7
Implementación, en el Capítulo 8
Monitoreo y Evaluación, en el Capítulo 9
Aspectos Normativos, en el Capítulo 10.

A continuación, se describe cada uno de los capítulos del documento.

El **Capítulo 2, 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.

El **Capítulo 3, 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.

El **Capítulo 4, 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.

El **Capítulo 5, 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.

El **Capítulo 6, Acciones**, presenta una recopilación de las acciones públicas y privadas que se encuentran en evaluación o en desarrollo, en relación con los ejes estratégicos del proceso de Planificación.

El **Capítulo 7, 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.

El **Capítulo 8, 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.

El **Capítulo 9, 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.

Finalmente, el **Capítulo 10, 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.

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.

2 CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA

Con el fin de elaborar un plan de gestión y acción de manera óptima, atendiendo a la realidad socio-territorial, física, climática, ambiental e hídrica; se hace necesario el levantamiento de antecedentes suficientes para una caracterización completa de la cuenca. El análisis y comprensión de estos antecedentes, permite entender los regímenes hídricos y las características climáticas de la cuenca del río Rapel, la presencia de áreas protegidas, las principales ciudades y actividades económicas que rigen el desarrollo de este territorio; la gobernanza del agua en relación con las interacciones entre instituciones y actores presentes en la cuenca, definición de tomadores de decisiones, entre otros antecedentes.

Así, el alcance territorial del presente informe corresponde a la cuenca del río Rapel, con una superficie de **13.766 km²**. Según la Dirección General de Aguas, la cuenca cuenta con 6 subcuencas (**Tabla 2-1**) y 51 subsubcuencas.

Tabla 2-1 Superficie de las subcuencas Río Rapel

Código de cuenca/ Subcuenca	Nombre	Superficie (km ²)
060	Cuenca Río Rapel	13.766
0600	Subcuenca Río Cachapoal Alto (Hasta bajo junta Rio Claro)	2.705
0601	Subcuenca Cachapoal Bajo	3.594
0602	Subcuenca Río Tinguiririca Alto (Hasta bajo junta Rio Claro)	1.843
0603	Subcuenca Tinguiririca Bajo	2.089
0604	Subcuenca Estero Alhué	1.425
0605	Subcuenca Río Rapel	2.111

Fuente: DGA. División de Hidrología y Unidad SIG de la División de Estudios y Planificación.

La cuenca se extiende en 4 regiones del país, pero la mayor parte de esta queda contenida en la región de O'Higgins (92%) y región Metropolitana (7%), como se indica en la dimensión física del presente informe, sección 2.1.3.1 "División político-administrativa".

Para la elaboración del Plan Estratégico, la cuenca se dividió en tres Unidades de Gestión (en adelante, UG). De esta forma es posible considerar dentro de la planificación las distintas características de cada territorio.

La **Unidad de Gestión del río Cachapoal** se caracteriza por poseer una gran presencia de industria minera, entre ellas una de las más importantes del país: CODELCO División El Teniente, con sus respectivos embalses de relaves Cauquenes y Colihue. Se destaca

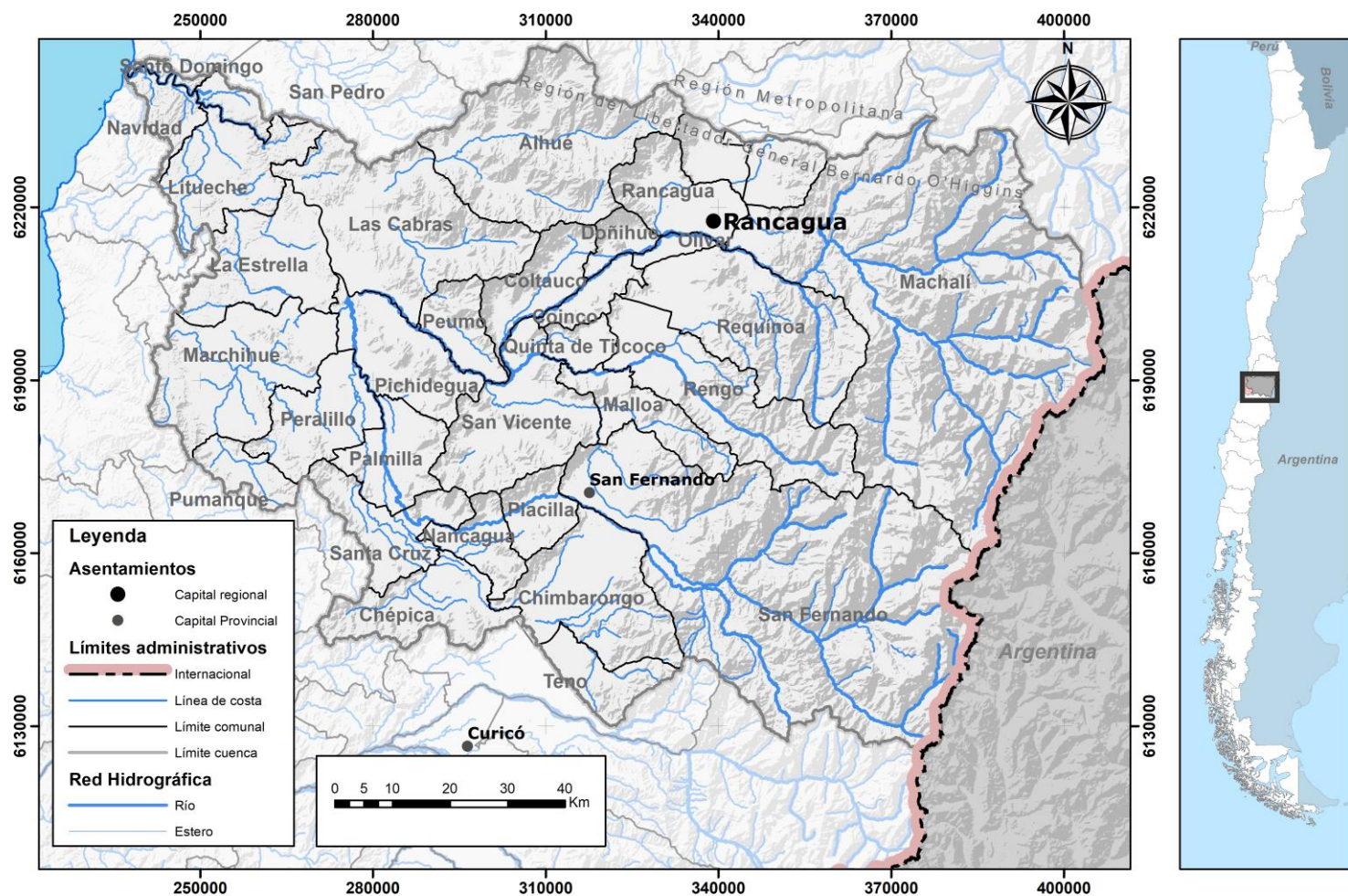
también la principal urbe de la región, Rancagua; y presenta centrales de pasada en la zona precordillerana. Por otro lado, existe una fuerte presencia agrícola dentro de la zona intermedia. El principal curso hídrico es el río Cachapoal y sus principales aportantes son el río Claro y el estero Zamorano, terminando la UG en la desembocadura en el Embalse Rapel.

La **Unidad de Gestión del río Tinguiririca y Estero Las Cadenas** corresponde a la zona sur de la cuenca, se presenta el embalse Convento Viejo, recibiendo aguas desde el trasvase río Teno-Estero Chimbarongo, que deriva sus aguas a la cuenca del río Rapel. En la zona del estero Las Cadenas se presentan pequeños embalses como el Carrizal, Alcones, Mallermo, entre otros, que aportan a la seguridad hídrica del secano costero de la cuenca. Presenta sólo hidráulicas de pasada en la parte alta de la cuenca del Tinguiririca. El curso principal corresponde al río Tinguiririca, acompañado del estero Chimbarongo, Las Toscas y Las Cadenas por el sur.

La **Unidad de Gestión del río Rapel** corresponde a la zona costera de la cuenca, integrando la zona del embalse Rapel, utilizada para generación eléctrica por parte de la empresa ENEL, adicionalmente se incluye el tranque de relaves Carén. Esta zona tiene una alta actividad turística en relación con el embalse y el sector agrícola, que se encuentra en constante crecimiento hacia la zona costera. Las principales aportaciones provienen de las UG mencionadas anteriormente¹, sumada al estero Alhué.

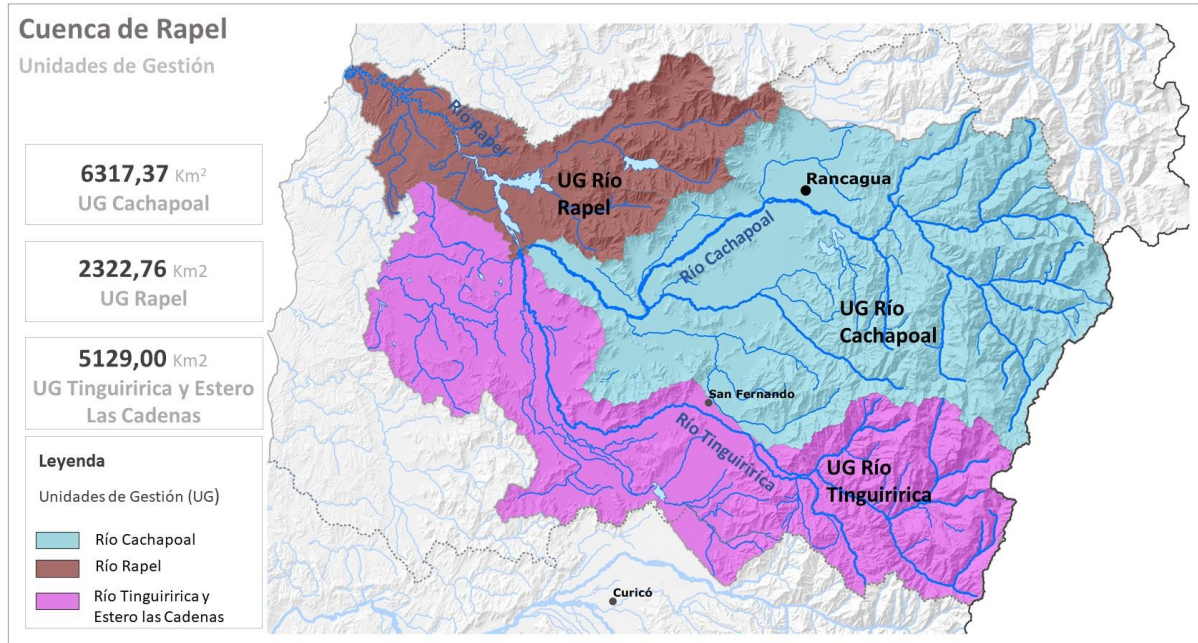
La **Figura 2-1** y **Figura 2-2** muestran la cuenca en toda su extensión, además de las divisiones de unidades de gestión propuestas en este informe.

¹ Las Unidades de Gestión se asemejan a las subcuencas, según lo indicado anteriormente, con una leve modificación en sus límites respecto a las zonas de riego atribuidas a cada fuente. Respecto a la presentación de resultados a nivel subterráneo, las unidades de análisis elegidas para el presente estudio son los Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común (SHAC) definido por la DGA.



Fuente: Elaboración propia a partir de información DGA

Figura 2-1 Cuenca del río Rapel



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-2 Unidades de Gestión

2.1 Dimensión Física

La cuenca hidrográfica es en sí una unidad funcional desde el punto de vista de los recursos hídricos, ya que concentra las aguas que precipitan en forma líquida y sólida, y que posteriormente se evaporan, escurren o infiltran, dando paso a distintos procesos del ciclo hidrológico. A continuación, se presenta una descripción de la geología y geomorfología, hidrología, ciudades, población y red vial de la cuenca, como base para el análisis del Plan Estratégico.

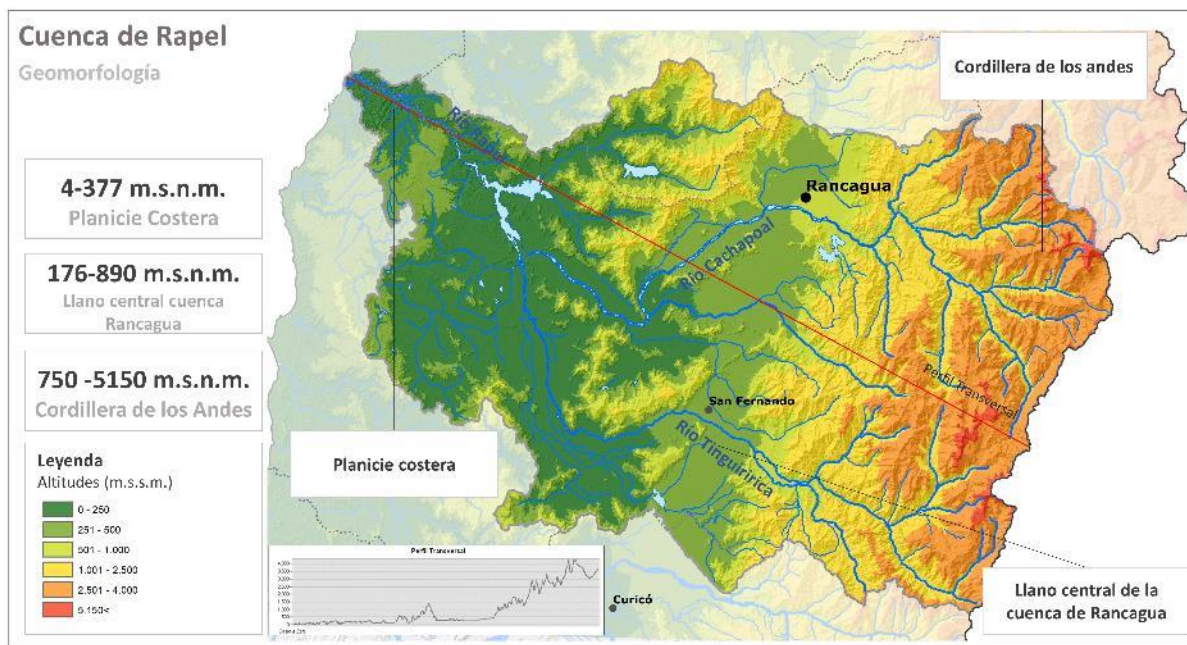
2.1.1 Geología y geomorfología

Las características geológicas y geomorfológicas de una cuenca permiten acercarse a la comprensión del funcionamiento de los cursos fluviales y cuerpos de agua, geometría y dinámica, morfometría y tipos de cuencas, entre otras. A continuación, se presentan los principales elementos de geomorfología y geología.

2.1.1.1 Geomorfología

Dentro de la cuenca se pueden diferenciar cinco unidades características: cordillera de los Andes, precordillera, Depresión Intermedia o Valle Central, cordillera de la Costa y Planicies Litorales, según se representa en la **Figura 2-3**.

Geológicamente, estas unidades se originaron hace dos o tres millones de años, como consecuencia de una intensiva actividad volcánica asociada a grandes movimientos de la corteza terrestre, los que levantaron las montañas a su altura actual. La cordillera de los Andes, en la región, presenta alturas superiores a los 4.000 msnm (Dirección General de Aguas, 2004).



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-3 Geomorfología

2.1.1.2 Geología

De manera general, en gran parte del territorio del que forma parte la cuenca en estudio, aparecen unidades geológicas cuyas edades se encuentran comprendidas entre el Paleozoico y el Cuaternario. Afloran rocas metamórficas, depósitos sedimentarios marinos y continentales, así como también formaciones volcánicas.

Específicamente, en la cuenca del río Rapel, en el sector de "El Teniente" (mina de cobre de la empresa CODELCO) hay una fuerte influencia de materiales sulfurados. Además, existe una pequeña zona de materiales calcáreos en la depresión intermedia de la cuenca, sin embargo, se puede inferir que la influencia es mayoritariamente de rocas sulfuradas como andesitas (Dirección General de Aguas, 2004).

Las formaciones identificadas son las siguientes:

- **Rocas Sedimentarias del Pleistoceno-Holoceno:** Depósitos aluviales coluviales y de remoción en masa; en menor proporción fluvioglaciales, deltaicos, litorales o indiferenciados
- **Rocas Volcánicas del Cretácico inferior alto:** Secuencias y complejos volcánicos continentales, lavas y brechas basálticas a andesíticas, rocas piroclásticas, andesíticas a riolíticas.
- **Rocas Volcano-sedimentarias del Oligoceno-Mioceno:** Secuencia volcanosedimentarias; lavas basálticas a dacíticas, rocas epiclásticas y piroclásticas.
- **Rocas Volcano-sedimentarias del cretácico inferior-Cretácico Superior:** Secuencias sedimentarias y volcánicas continentales, con escasas intercalaciones marinas: brechas sedimentarias y volcánicas, lavas andesíticas, ocoitas, conglomerados, areniscas, linolitas calcáreas lacustres con flora fósil; localmente calizas fosilíferas marinas en la base.

Existe una alta influencia del volcán Tinguiririca y el sistema de volcanes en cadena, presente en esa zona (Fray Carlos y Monserrat) hacia la subcuenca del río Tinguiririca, y una menor por el Palomo. El primero es del tipo estratovolcán histórico, siendo su última erupción conocida entre 1900 y 1962, que ha aportado históricamente con material para los depósitos sedimentarios y volcánicos arrastrados por el río, formando afloramientos de aguas termales; el segundo también es un estratovolcán del holoceno sin fecha exacta conocida respecto a su última erupción, y su influencia en la subcuenca de Cachapoal está dada por la gran acumulación de nieve y hielo que posee, pues desde sus faldas nacen 4 glaciares y un gran campo de hielo.

2.1.1.3 Suelos

En general, la caracterización de suelos es útil para obtener información en diagnósticos sobre capacidad de uso de suelo, aptitud de riego, aptitud frutal o categorías de drenaje. Esto es especialmente importante cuando gran parte de la cuenca en estudio tiene una vocación agrícola y agroindustrial.

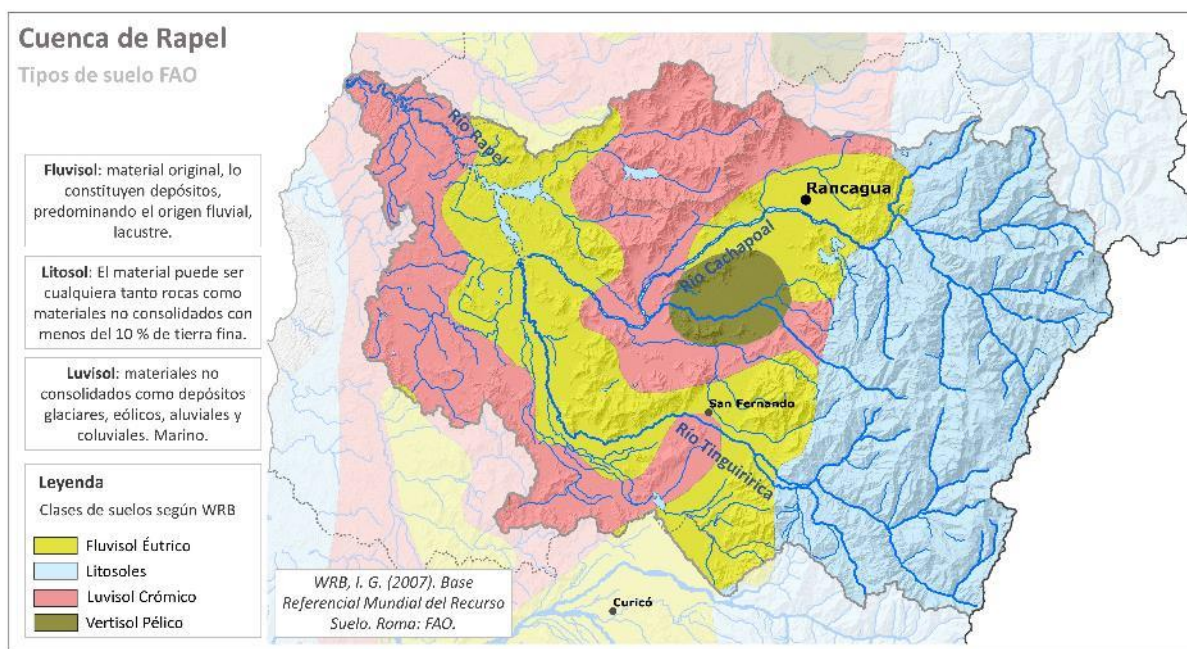
En el sector costero de la cuenca del río Rapel se presentan suelos derivados de terrazas marinas y de relieve plano a ligeramente inclinado, de colores pardo rojizos asociados a otros con menor evolución. En tanto, en el lado poniente de la cordillera de la Costa, los suelos presentan origen en rocas graníticas con un alto contenido de arcilla en profundidad.

Asimismo, en los valles interiores se presentan suelos aluviales que pertenecen a los órdenes Alfisoles, Mollisoles y Entisoles, con predominio de los primeros. En la zona que corresponde a Rancagua, los Mollisoles tienen un desarrollo moderado. Se considera que en esta zona se encuentran los suelos más aptos, a nivel regional, para el desarrollo de la agricultura (Dirección General de Aguas, 2004).

También se encuentran los suelos de la cordillera de los Andes Centrales. Estos son suelos caracterizados por tener un desarrollo débil y agreste, al ser derivados de materiales

volcánicos vítreos y de texturas gruesas. Corresponden a los suelos ubicados en los sectores de más fuerte relieve de la cordillera de los Andes.

Según FAO y la clasificación WRB, que comprende la estructura de los tipos de suelo según textura, materia orgánica y granulometría (WRB, 2007); la cuenca posee tipos de suelo litosoles en la zona cordillerana, mientras que en la zona media de la cuenca y costera se localizan fluvisoles éutricos y lucisoles crómicos (ver **Figura 2-4**).



Fuente: Elaboración propia con base datos WRB (2006)

Figura 2-4 Tipos de suelo (FAO)

Por otro lado, la clasificación HGS (Grupo Hidrológico de Suelos, en español) permite caracterizar un conjunto de suelos con un comportamiento similar frente a la generación de escorrentía (Díaz & Mercado, 2017). Al respecto, la O.R.N.L.D.A.A.C.² de la NASA, generó una capa a nivel mundial de Grupos Hidrológicos de Suelo (Ross, 2018), HYSOGs250m, que representa un conjunto de datos cuadrículado y coherente a nivel mundial de grupos hidrológicos de suelos con una resolución geográfica de 1/480 grados decimales, correspondiente a una resolución proyectada de aproximadamente 250 m.

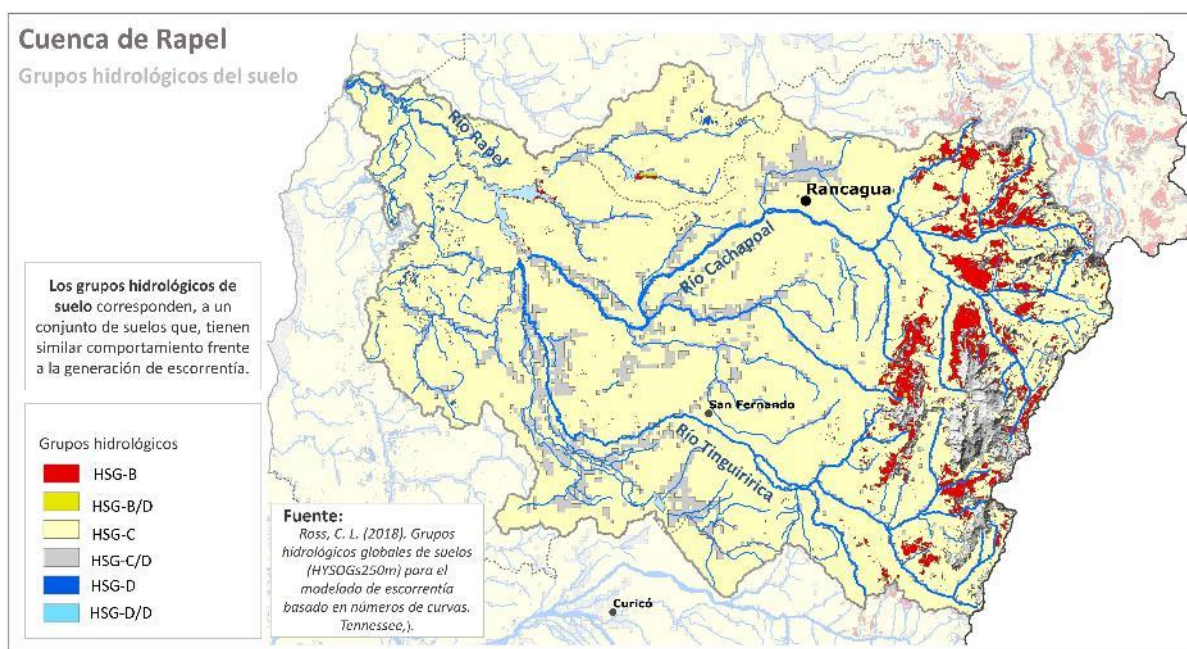
Dados estos antecedentes, en la cuenca del río Rapel se encuentran los HGS, principalmente de tipo C³, con potencial de escorrentía moderadamente alto; y grupo D⁴,

² Para revisar abreviaturas, ver anexo A

³ Grupo C: Son suelos con una capa que limita el movimiento vertical del agua y texturas de moderadamente finas a finas. El potencial de escorrentía es moderadamente alto cuando están húmedos.

⁴ Grupo D: son suelos con alto potencial de escorrentía y tasas de infiltración muy bajas. Las texturas son arcillosas, el nivel freático es alto o son suelos poco profundos, asentados sobre material impermeable.

con alto potencial de escorrentía a menos que se drene, cercano a la red hidrográfica; por último, se encuentran suelos del grupo B⁵, en el sector cordillerano, con potencial de escorrentía moderadamente bajo (ver **Figura 2-5**).



Fuente: Elaboración propia con base datos ORNL DAAC (2020)

Figura 2-5 Grupos hidrológicos del suelo

2.1.2 Red Vial

Además de las características geomorfológicas y geológicas de la cuenca, es importante mencionar de qué manera se encuentran integradas las localidades que se identifican en ella, de manera que sea posible dar cuenta de las principales infraestructuras de conexión vial que caracteriza a la cuenca en estudio (ver **Figura 2-6**), las cuales se integran dentro del sistema físico que las rodea.

Alhué: Principal vía de acceso y salida es G-692-H.

Graneros: El acceso a la comuna de Graneros esta dado principalmente por la vía H-10 que cruza a la entidad por el costado poniente. La ventaja de esta comuna, son los enlaces con

⁵ Grupo B: son suelos con texturas moderadamente finas a moderadamente gruesas que tienen un potencial de escorrentía moderadamente bajo cuando están completamente húmedos.

la ruta 5 y con la ruta Panamericana sur, permitiendo el acceso directo desde los sectores poniente y oriente de la urbe, respectivamente.

La Estrella: Se puede acceder a esta comuna por la vía H-20, la cual interseca a la ciudad en sentido este-oeste. Entre las rutas menores, se encuentran: I-150-H, I-138.

Las Cabras: La ruta de acceso principal a Las Cabras es la ruta 66, con la cual se puede acceder directamente a la urbe y comuna, desde el sector norte se ingresa desde la vía H-780, la cual enlaza al norte con la misma ruta 66.

Litueche: Existen tres vías por las cuales se accede a esta comuna: la primera es I-80-G, la cual permite el acceso a los sectores norte y sur. La segunda es I-124, que conecta el sector norponiente del territorio. La tercera ruta es I-116, vía menor que se desarrolla en forma casi paralela a I-80-G.

Machalí: Sus vías de acceso principal son la H-29 y H-255.

Malloa: Destaca vía H-716, como rutas menores H-600 y H-634, estas permiten el acceso a sector norte.

Marchigüe: El ingreso a Marchigüe es principalmente por la ruta 90, que interseca a la comuna de forma transversal, mientras que por el sector norte hay varias opciones, vía H-20 y H-76, ambas se enlazan cercanas al SSR Trinidad.

Nancagua: Ruta 90 permite acceso y traslado por la comuna, existe conexión entre esta y vía I-82.

Navidad: Para el ingreso a Navidad existen solo vías menores, G-880, G-890, G888, las cuales se visualizan como ejes conectores.

Olivar: El acceso a Olivar esta dado por la vía H-40, la cual enlaza a H-30 y Ruta 5.

Palmilla: Principal vía es ruta 90.

Peralillo: Al igual que Palmilla, la principal vía es la ruta 90.

Peumo: El principal acceso se da por la ruta 66.

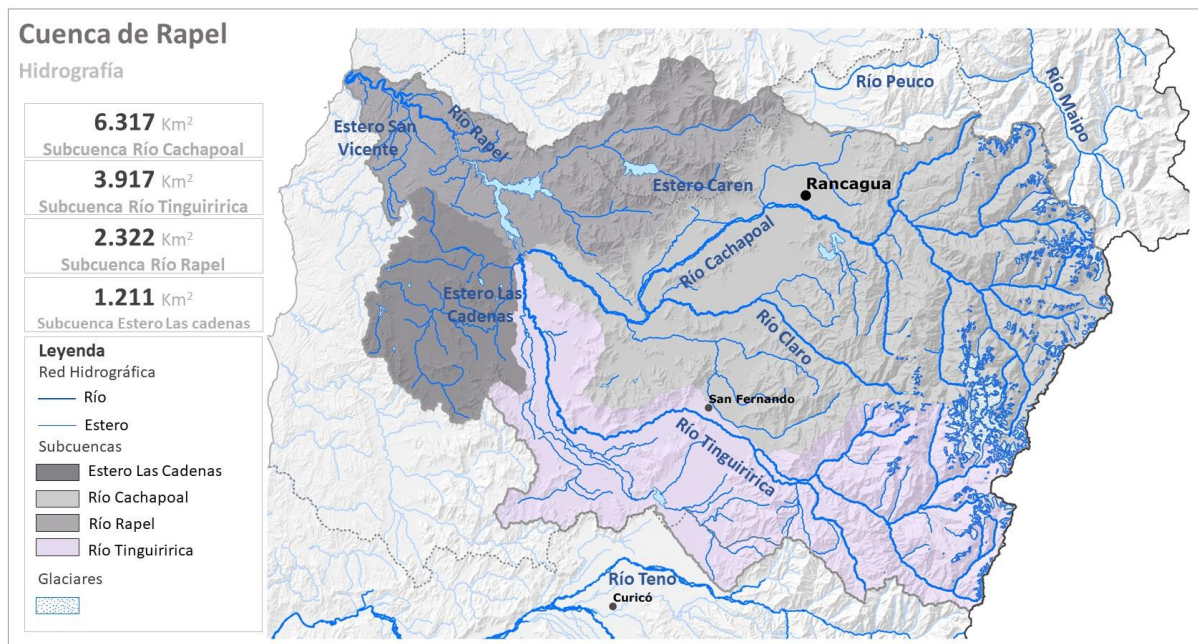
Pichidegua: Destaca vía H-76, permite el acceso a sectores poniente y oriente de la comuna.

Placilla: Se tiene acceso a la comuna de Placilla a través de la ruta 90.

Pumanque: Se pueden utilizar tres vías para movilizarse hacia o fuera de la comuna, la vía I-60 que conecta sectores norte y sur, y dos vías menores para hacerlo en sentido poniente oriente, I-610 e I-650.

Quinta de Tilcoco: Destacan vía H-50 que enlaza con rutas 5 y 66. A menor escala se pueden considerar las vías H-38, H-60 y H-454.

Rancagua: Al ser una de las comunas primordiales de la cuenca, esta presenta una mayor cantidad de vías de acceso hacia dentro y fuera de la entidad, las principales son: ruta 5, H-10, H-29, H-210, H-25.



Fuente: Elaboración propia con datos de Dirección General de Aguas (2020)

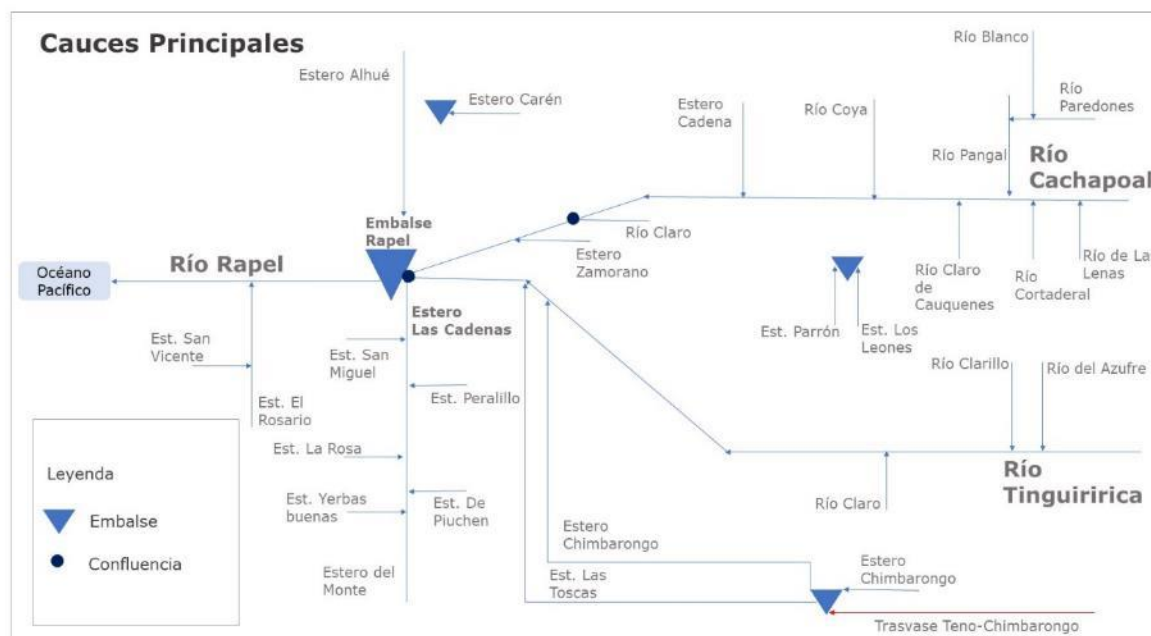
Figura 2-7 Hidrografía cuenca río Rapel

2.1.3.1 Cursos de agua

Esta cuenca se encuentra conformada por los sistemas hidrológicos asociados al río Cachapoal, río Claro de Rengo, estero Zamorano, río Tinguiririca, estero Las Cadenas, estero Las Toscas, estero Chimbarongo, entre otros cauces de menor tamaño.

El río Rapel se forma en la confluencia de los ríos Cachapoal y Tinguiririca, a unos 6 kilómetros al oeste de la localidad de Las Cabras, al interior de la cordillera de la Costa, donde hoy se ubica el Embalse Rapel. Desde este punto, el río corre en dirección Noroeste (NO) hasta su desembocadura en el mar, cercana al pueblo de Navidad. En este recorrido no recibe afluentes significativos, siendo el de mayor importancia el estero Alhué, tal como se detalla en la **Figura 2-8**.

Como es posible observar, el río Cachapoal drena la parte norte de la cuenca del río Rapel, con una hoya hidrográfica que alcanza una superficie total de 6.299 km², tiene su cabecera a los pies de las cumbres Pico del Barroco y Nevado de Los Piuquenes, donde recibe aportes de deshielos de varios ventisqueros. En el sector más alto de la cuenca, se le unen varios tributarios de importancia, entre los que se cuentan los ríos Las Leñas, Cortaderal, Los Cipreses y Pangal. En la zona intermedia cordillerana, recibe los aportes del río Coya y más abajo, cerca del valle central, al río Claro de Rengo. En las cercanías de Rancagua, confluye el estero La Cadena, para finalmente, cerca de la localidad de Peumo, recibir los aportes de los esteros Claro y Zamorano.



Fuente: Elaboración propia con datos de Dirección General de Aguas (2020)

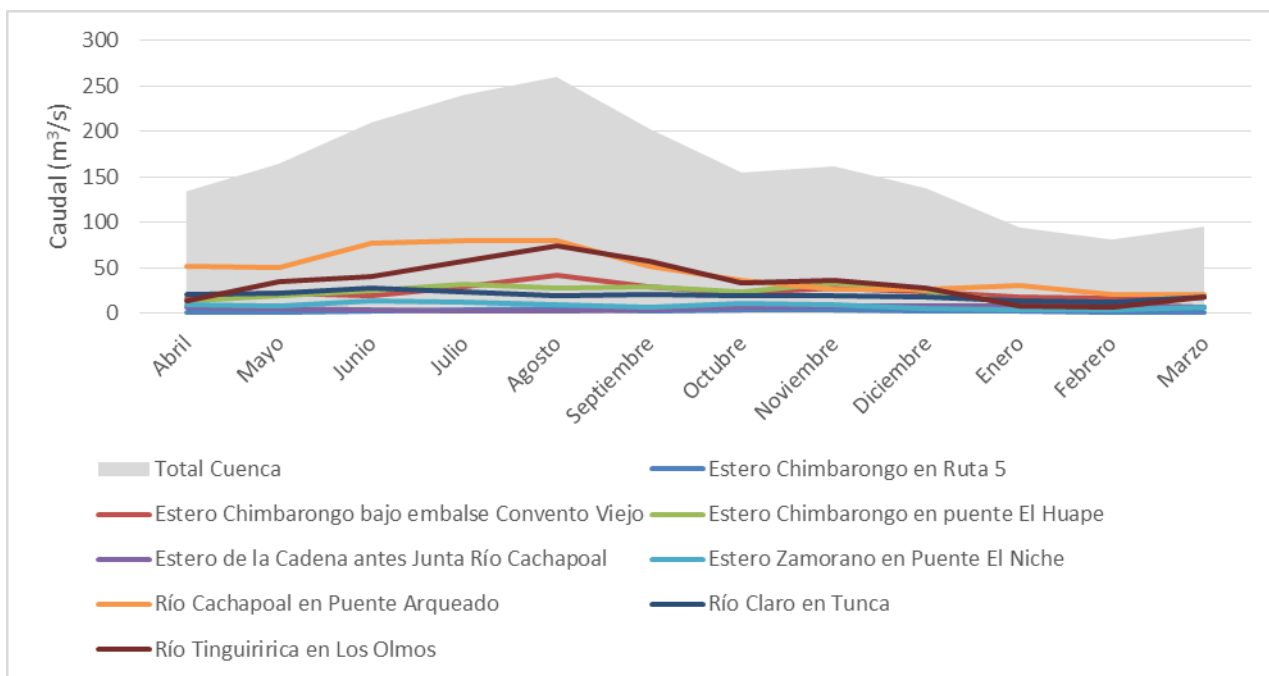
Figura 2-8 Modelo esquemático de los cauces principales de la cuenca río Rapel

El río Tinguiririca, por su parte, drena la parte sur de la cuenca del río Rapel con una hoya hidrográfica de 4.730 km², se forma en la cordillera de Los Andes, de la confluencia de los ríos Las Damas, que nace en las inmediaciones del Volcán Damas, y Del Azufre que viene del norte y que se forma de la unión de los ríos Portillo y San José. Desde su formación, corre con dirección NO, y se le unen en su recorrido el río Claro de San Fernando y el estero Chimbarongo. Termina su recorrido uniéndose al río Cachapoal en el embalse Rapel.

Por último, se entregan los caudales medios mensuales en m³/s según sector y para el total de la cuenca en la **Figura 2-9**.

2.1.3.2 Cuerpos de agua

Dentro de la cuenca en estudio, entre los principales cuerpos de agua que es posible identificar, se encuentra el **embalse Rapel (ENEL)**, **embalse Convento Viejo**, **Los Cristales** y **el embalse Caren**.



Fuente: Elaboración propia en base a estadísticas estaciones

Figura 2-9 Caudal medio mensual de ríos

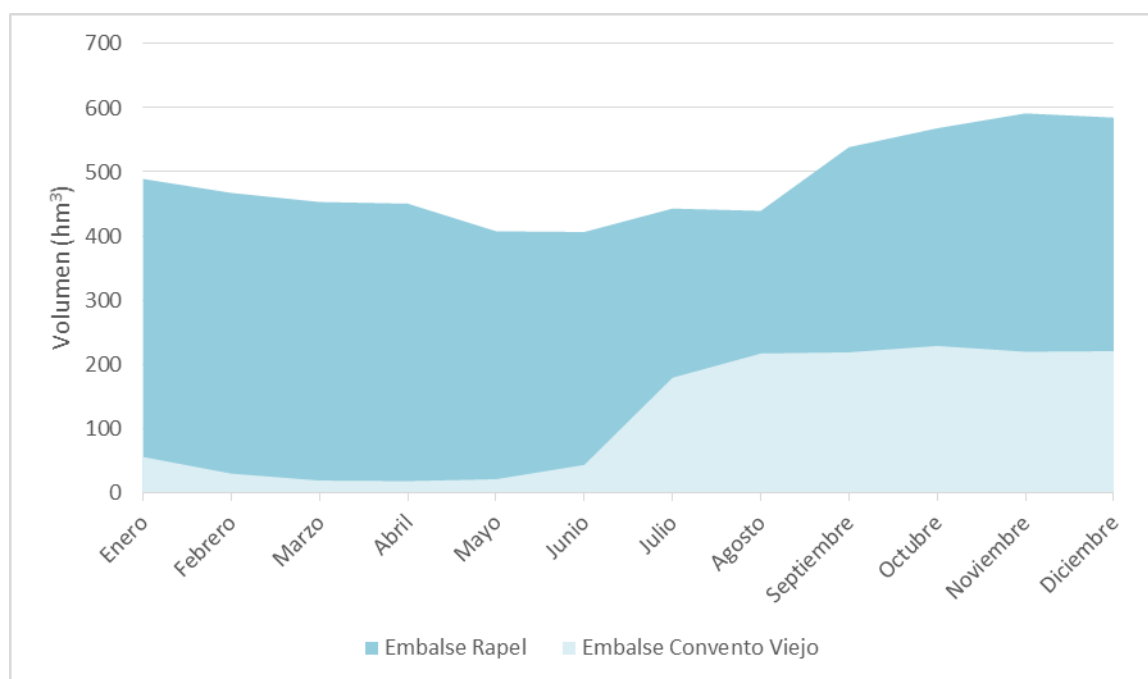
En el caso del embalse Rapel, éste se encuentra administrado por la empresa ENEL. Inaugurado el año 1968, conforma un lago artificial de 8.000 hectáreas y aproximadamente 40 kilómetros de longitud, aprovechando las aguas del río Rapel (ENEL, 2022), con un volumen promedio anual de **487 hm³**, con referencia al año 2020. Se trata de un embalse de tipo monomítico de agua dulce, es decir, se trata de un cuerpo de agua que, dadas ciertas condiciones, como las variaciones de temperatura, las aguas se mezclan sólo una vez al año⁶, de modo homogéneo en un perfil vertical sin un gradiente de densidad (Peña & Suárez, 2020). La **Figura 2-10** muestra el volumen mensual embalsado - en hectómetros cúbicos - para el año 2020, concentrando mayor cantidad de agua embalsada en noviembre y diciembre (441,34 hm³ y 434,55 hm³, respectivamente); con una disminución en los meses de mayo y junio (238,00 hm³ y 233,65 hm³, respectivamente). En promedio, durante el año 2020 el embalse Rapel tuvo un volumen embalsado de 326,06 hm³ (Comisión Nacional de Energía, 2020).

Por otro lado, se encuentra el embalse Convento Viejo que, según el sitio web de la Concesionaria Convento Viejo (2022), fue construido inicialmente con el fin de regar los más importantes valles de la provincia de Colchagua. Su ejecución comenzó el año 2004 con el llamado a licitación y se adjudicó la propuesta la Sociedad Concesionaria Embalse

⁶ Esto es, se realiza la mezcla sólo en una época del año y el resto del tiempo la columna de agua se encuentra estratificada.

Convento Viejo, que lo llevó finalmente a cabo, concretando la antigua aspiración de la provincia.

Este embalse, acumula las aguas del estero Chimbarongo y del canal Teno-Chimbarongo, e incorpora a riego los valles de Lolol, Nilahue y Pumanque. Durante los años 2006 y 2007, se ejecutó la mayor parte de las obras de ampliación, incrementando su capacidad hasta **237 hm³**. El volumen total embalsado, con referencia al año 2020, se encuentra presentado en la **Figura 2-10**, mostrando un mayor volumen durante la segunda mitad del año, con un promedio cercano a 200 hm³.



Fuente: Elaboración propia en base a Comisión Nacional de Energía (2020)

Figura 2-10 Volumen embalsado año 2020, Embalse Rapel y Convento Viejo

Por otro lado, se encuentra el embalse Los Cristales, localizado en la cabecera de la cuenca, con una **capacidad de 8,5 Hm³**. A partir de la gran sequía del año 1986, se acuerda la construcción del embalse Laguna Los Cristales y obras complementarias. Con esta obra se aseguró el riego en el valle durante los períodos de verano, con una meta de 1.500 hectáreas de cultivos permanentes. El muro que cierra la laguna es de tipo enrocado con un núcleo de hormigón asfáltico en su interior. Su altura máxima es de 31 metros sobre la vaguada del río original, lo que permite su almacenamiento total. El coronamiento, en tanto, tiene una longitud de 315 metros y un ancho de 14 metros. La entrega se produce a través de dos tubos de 800 mm de diámetro, entregando un caudal máximo de 4,5 m³/s; mientras que su vertedero tiene una capacidad de 41,5 m³/s (Cortés, 2013).

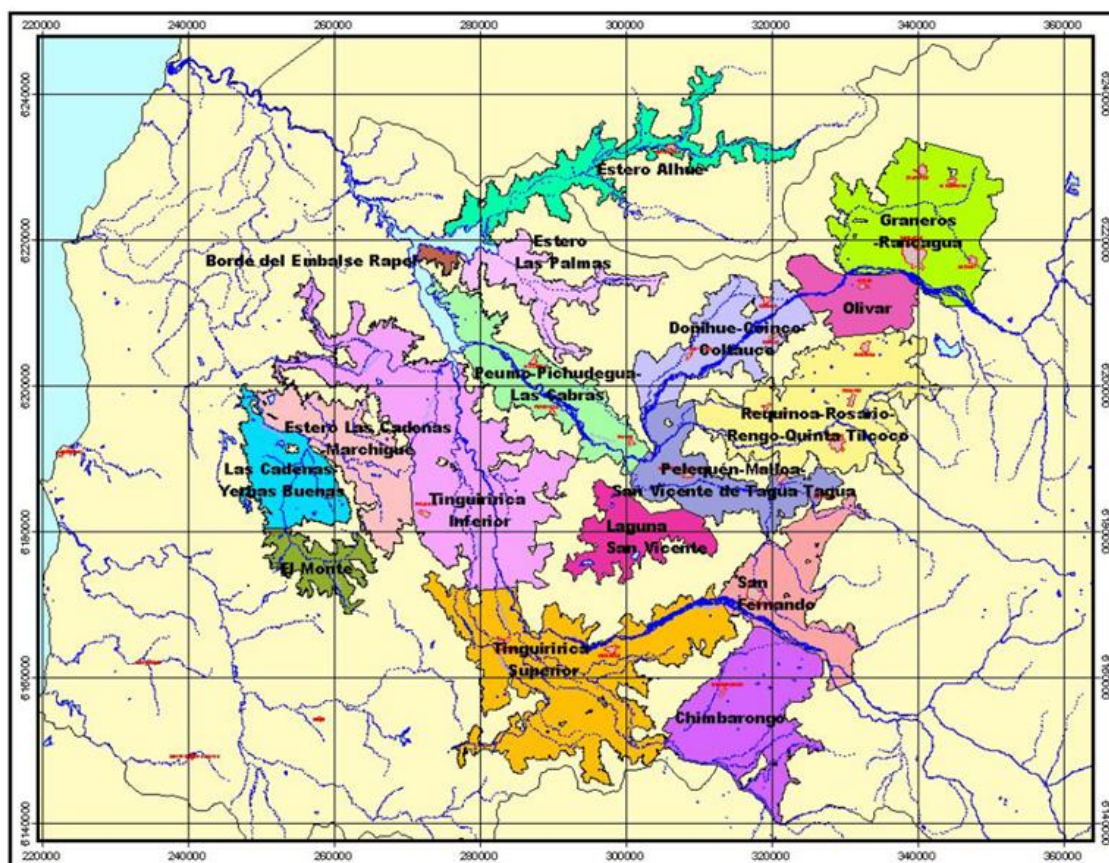
Por último, el embalse Carén forma parte de la infraestructura principal del sistema productivo de la División El Teniente, funcionando como depósito desde el año 1986, almacenando los relaves generados por dicha faena. Actualmente, el embalse se encuentra

construido hasta su quinta etapa. El proyecto consistió en peraltar 9 metros el muro actual, desde la cota 210 a la cota 219 mediante un relleno de enrocado, con el fin de aumentar la capacidad de almacenamiento del embalse en **176 hm³**, permitiendo la continuidad de División El Teniente por cuatro años más (CODELCO, 2011).

2.1.3.3 Hidrogeología

El área de interés del estudio se concentra básicamente en las cuencas de los ríos Cachapoal y Tinguiririca, desde su desembocadura en el embalse Rapel hacia aguas arriba, hasta donde dichos cursos superficiales dejan el bloque preandino e ingresan al valle longitudinal central, es decir sus sectores medios y bajos.

La cuenca del estero Alhué, que nace en la cordillera de la Costa, y hasta su desembocadura en el embalse Rapel, también ha sido considerada en este estudio. En el informe técnico SDT 209 se definieron una serie de sectores hidrogeológicos de interés asociados a los valles de Alhué, Cachapoal y Tinguiririca, en base a criterios hidrogeológicos, hidrológicos, geomorfológicos y de modelación numérica, que se muestran en la **Figura 2-11**.



Fuente: DGA 2005

Figura 2-11 Sectorización de los Valles de Alhué, Cachapoal y Tinguiririca

Por otro lado, la cuenca del Rapel cuenta con diferentes sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común (SHAC), todos dentro de la región Libertador General Bernardo O'Higgins, a excepción del SHAC Codegua, situado entre la región Metropolitana y región Libertador General Bernardo O'Higgins. Los SHAC presentes en la cuenca son los siguientes: Doñihue-Coinco-Coltauco, río Cachapoal Alto, Graneros – Rancagua, Peumo-Pichidegua-Las Cabras, Olivar, Requínoa-Rosario-Rengo, Pelequén-Malloa-San Vicente, Tinguiririca Superior, Chimbarongo, San Fernando, río Rapel bajo junta estero Rosario, Tinguiririca inferior, Cadenas Marchigüe, Codegua, Cadenas Yervas Buenas, El Monte – Tinguiririca, Embalse Rapel, Estero Alhué, Estero El Rosario – Costeras VI, Estero Las Palmas, Laguna San Vicente, río Cachapoal Alto y río Rapel antes junta estero Rosario.

2.1.4 Ciudades y Población

En la gestión de cuencas, es fundamental entender de qué manera se componen los principales asentamientos humanos y las características sociodemográficas de la población que reside en el territorio, así como cuáles son los principales centros urbanos y las actividades económicas predominantes, con el fin de comprender posteriormente las diferentes demandas industriales y consumos de agua potable urbana y rural.

En los siguientes apartados, se explica en específico la división político-administrativa de la cuenca Río Rapel, comunas, población y características sociodemográficas de la misma. Luego, se definen los principales elementos culturales que definen a las personas en esta cuenca, finalizando con las características socioeconómicas y las principales actividades económicas sobre las cuales se basa el desarrollo en este territorio.

2.1.4.1 División político-administrativa

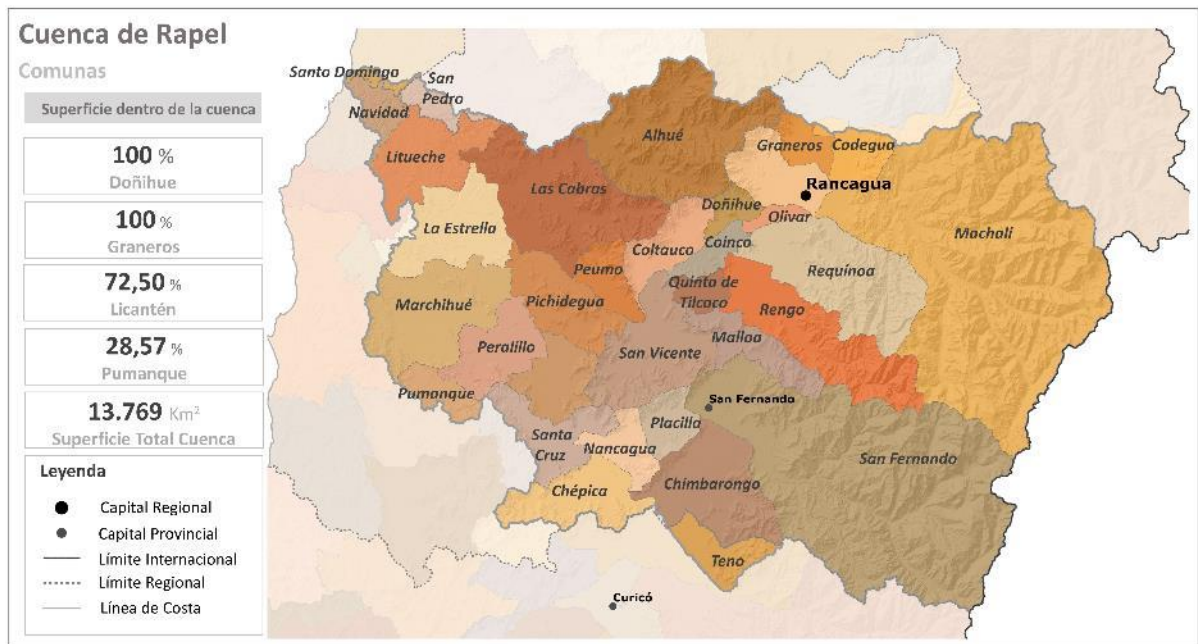
La dimensión político-administrativa evidencia la jurisdicción de los organismos del Estado, como entidad legislativa y ejecutora de las distintas instituciones públicas que intervienen y planifican el territorio de acuerdo con las facultades que les compete. En este sentido, son determinantes para la definición de una gobernanza de la cuenca, así como también en las decisiones de inversión pública que son necesarias para la materialización del Plan Estratégico.

A nivel administrativo, la cuenca del río Rapel se desarrolla principalmente dentro de la **región del Libertador General Bernardo O'Higgins**, y en menor medida en la **región Metropolitana (provincia de Melipilla)**, **Región de Valparaíso (provincia de San Antonio)** y en **Región del Maule, (provincia de Curicó)**. En la **Tabla 2-2** se presentan las comunas que están dentro de la cuenca, y adicionalmente la Figura 2-12 representa la ubicación de estas.

Tabla 2-2 Comunas comprendidas dentro de la Cuenca del río Rapel

Región	Provincia	Comunas	Superficie total comuna (km ²)	Porcentaje de superficie en la cuenca (%)
Libertador General Bernardo O'Higgins	Cachapoal	Codegua	284	52,9%
		Coinco	97	100%
		Coltauco	222	100%
		Doñihue	80	100%
		Graneros	112	100%
		Las Cabras	751	100%
		Machalí	2.593	100%
		Malloa	221	100%
		Olivar	44	100%
		Peumo	155	100%
		Pichidegua	319	100%
		Quinta de Tilcoco	87	100%
		Rancagua	261	100%
		Rengo	585	100%
		Requínoa	677	100%
		San Vicente	485	100%
	Cardenal Caro	La Estrella	431	91,8%
		Litueche	614	59,8%
		Marchigüe	658	86,3%
		Navidad	301	37,9%
	Colchagua	Chépica	477	67,7%
		Chimbarongo	509	99,2%
		Nancagua	151	100%
		Palmilla	236	100%
		Peralillo	283	100%
		Placilla	144	100%
		Pumanque	441	28,6%
		San Fernando	2.321	99,8%
		Santa Cruz	394	68,0%
Maule	Curicó	Teno	619	27,9%
Metropolitana	Melipilla	Alhué	844	99,8%
		San Pedro	793	10,3%
Valparaíso	San Antonio	Santo Domingo	537	5,7%

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-12 Comunas en la Cuenca río Rapel

2.1.4.2 Demografía

La cuenca del Río Rapel tiene una población total de **862.842 habitantes⁷**, con un **74,76% de la población** concentrado en la **zona urbana**, esto es, 645.019 personas viviendo en entornos urbanos, siendo las ciudades de **Rancagua** y **San Fernando** las que congregan mayor cantidad de habitantes (INE, 2017).

Datos históricos de los censos aplicados desde 1970 hasta la actualidad, muestran un **aumento lineal en la población** que habita la cuenca Río Rapel. Los porcentajes de crecimiento poblacional calculado reflejan una tendencia hacia el aumento, en promedio, de un 18,0% en el número de habitantes de la cuenca en estudio. Dado el valor de crecimiento que ha tenido la población desde 1970, proyecciones realizadas mediante método de regresión lineal, estiman en poco más de un millón de habitantes para las comunas que componen la cuenca al 2050 (ver Anexo F: Metodología - sección 1).

La **Tabla 2-3** y **Figura 2-13** muestran que este crecimiento poblacional ha tenido un comportamiento eminentemente urbano. La población que vive en asentamientos urbanos de las comunas que abarca la cuenca del río Rapel creció, desde 1970 hasta el último censo

⁷ Población referenciada a los habitantes totales de las comunas con más de un 30 % de su superficie y el centro urbano dentro del mismo límite. Datos: INE 2017

del año 2017, en un 186,9%. Mientras que la población que vive en áreas rurales tuvo una disminución de un 4,4% en el mismo período de tiempo. Para 2050, los datos proyectan un aumento total de 45,5% en la población urbana y una leve disminución de 0,2% en la población rural.

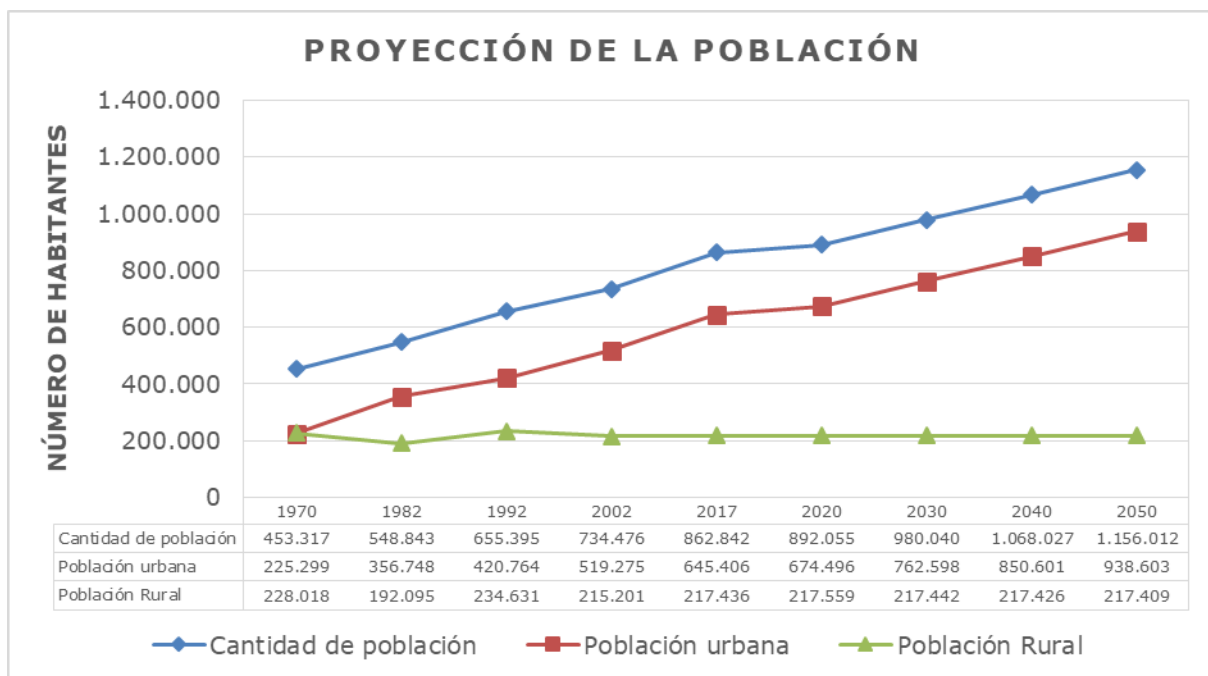
En específico, las comunas que proporcionalmente tuvieron un mayor aumento de su población urbana en comparación con su población rural desde 1970 a la actualidad fueron: Peumo (26% a 84%), Coltauco (7% a 57%) y Quinta de Tilcoco (15% a 56%); mientras que comunas como Pumanque y Navidad no presentan datos demográficos en entornos urbanos, manteniendo un alto porcentaje de población rural.

Tabla 2-3 Porcentaje de aumento poblacional en la cuenca río Rapel

Año	Población Total	Crecimiento (%)	Población Urbana	Crecimiento (%)	Población Rural	Crecimiento (%)
1970	453.317	--	224.843	--	227.844	--
1982	549.113	21,1%	356.988	58,8%	192.125	-15,7%
1992	655.395	19,4%	420.999	17,9%	234.396	22,0%
2002	734.476	12,1%	519.502	23,4%	214.974	-8,3%
2017	862.842	17,5%	645.019	24,2%	217.823	1,3%
2020	892.055	3,4%	674.496	4,6%	217.559	-0,1%
2030	980.040	9,9%	762.598	13,1%	217.442	-0,1%
2040	1.068.027	9,0%	850.601	11,5%	217.426	-0,007%
2050	1.156.012	8,2%	938.603	10,3%	217.409	-0,008%

Fuente: Datos históricos INE (1970-2017)

En cuanto a las características demográficas de la población que vive en este territorio, la **Tabla 2-4** muestra la cantidad de personas por sexo, densidad poblacional y personas en situación de pobreza que viven en las comunas consideradas representativas de la cuenca en estudio, según datos del Censo 2017 y Casen 2017. En tal sentido, en la cuenca viven un total de 435.010 mujeres y 427.832 hombres, con una densidad poblacional de 60 habitantes por km² y un 10% de personas viviendo en situación de pobreza monetaria en el territorio, siendo las comunas de Placilla y Chimbarongo las que presentan una mayor proporción de esta condición.



Fuente: Datos históricos INE (1970-2017)

Figura 2-13 Proyección de población de la cuenca de Rapel

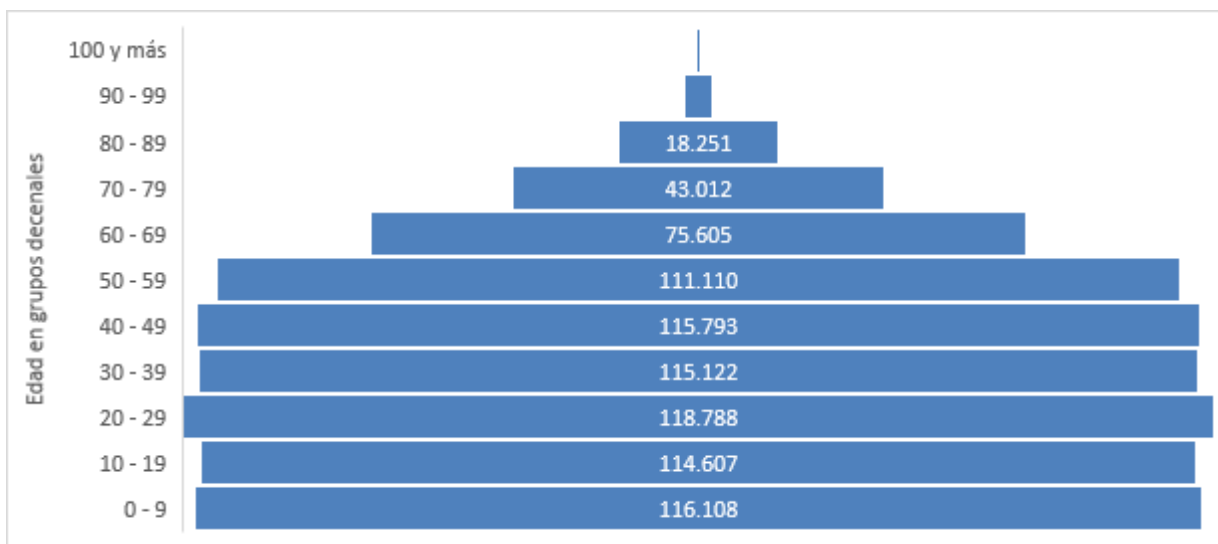
Por otro lado, el rango etario de la población que vive en la cuenca se concentra principalmente en los decenios anteriores a 50 años, disminuyendo su población posterior a esta edad, lo que indica una pirámide progresiva que aún mantiene una base de población joven con una leve tendencia hacia el envejecimiento. Esta información es presentada en la **Figura 2-14**. Además, la mayor parte de la población cuenta con educación básica y científico-humanista como el nivel de curso más alto aprobado (32,5% y 25,3% respectivamente), siguiéndole un 10,4% con nivel educacional profesional y un 6,6% técnico superior. Finalmente, sólo un 0,7% de la población cuenta con estudios de postgrado⁸ (INE, 2017).

⁸ Para más detalles sobre el nivel educativo de la población en Rapel, ver Anexo D – Figuras.

Tabla 2-4 Características demográficas población cuenca río Rapel

Comuna	Hombres	Mujeres	Densidad (hab./km²)	Personas en situación de pobreza (%)
Codegua	6.510	6.478	45,7	6,3%
Coinco	3.729	3.630	75,9	15,7%
Coltauco	9.806	9.791	88,3	14,4%
Doñihue	10.394	10.493	261,1	7,2%
Graneros	16.634	16.803	298,5	6,4%
Las Cabras	12.656	11.984	32,8	15,0%
Machalí	25.585	26.920	20,2	8,1%
Malloa	6.819	6.588	60,7	8,7%
Olivar	6.822	6.786	309,3	7,7%
Peumo	7.237	7.076	92,3	12,9%
Pichidegua	10.080	9.634	61,8	13,7%
Quinta de Tilcoco	6.519	6.483	149,4	12,9%
Rancagua	117.942	123.832	926,3	10,9%
Rengo	28.844	29.981	100,6	10,7%
Requínoa	14.125	13.843	41,3	6,8%
San Vicente	23.302	23.464	96,4	7,6%
La Estrella	1.603	1.438	7,1	16,1%
Litueche	3.287	3.007	10,3	10,2%
Marchigüe	3.745	3.563	11,1	5,5%
Navidad	3.475	3.166	22,1	12,4%
Chépica	7.577	7.460	31,5	9,8%
Chimbarongo	17.824	17.575	69,5	16,4%
Nancagua	8.830	9.003	118,1	11,7%
Palmilla	6.331	6.151	52,9	9,4%
Peralillo	5.538	5.469	38,9	6,2%
Placilla	4.432	4.306	60,7	20,8%
San Fernando	36.077	37.896	31,9	8,6%
Santa Cruz	18.593	19.262	96,1	4,3%
Alhué	3.516	2.928	7,6	3,9%
Total	427.832	435.010	60,2	10,0%

Fuente: Elaboración propia en base a datos INE (2017) y Ministerio de Desarrollo Social y Familia (2017)



Fuente: Elaboración propia en base a INE (2017)

Figura 2-14 Pirámide de población, Cuenca Río Rapel

2.1.4.3 Cultura

La cuenca del Rapel se ubica, en su mayor parte, en una región con una alta vocación productiva asociada a la agricultura, debido a la gran cantidad de suelo de capacidad agrícola, tradición heredada de una zona donde históricamente la hacienda fue la principal institución productiva. Esta vocación en torno a las actividades agrícolas ha ido determinando la arquitectura, la distribución espacial de los pueblos, la organización social y las tradiciones campesinas, con una gran influencia en las creencias religiosas, lo que se ha materializado en diversas actividades culturales como la vendimia o las carreras a la chilena (Consejo Nacional de la Cultura y las Artes, 2017).

Adicionalmente, la importancia de actividades económicas como la minería, en el interior, y la pesca en el borde costero, ha ofrecido una variedad de atractivos turísticos y culturales en relación con el campo tradicional y la playa. Así, el rodeo, las fiestas campestres, vendimias, comidas típicas y arquitectura tradicional, junto con el paisaje, fértiles valles y productos agrícolas, han conformado los principales atractivos regionales. Una de las fiestas principales conmemora el Desastre de Rancagua, la batalla ocurrida en 1814. En relación con la minería, es la base El Teniente y el Pueblo de Sewell los que representan los recursos turísticos culturales de alta importancia, junto con los centros termales como Termas de Cauquenes y Termas del Flaco y el Embalse Rapel (Consejo Nacional de la Cultura y las Artes, 2017).

En la provincia del Cachapoal, por ejemplo, se desarrollaron actividades como la vitivinicultura. De las uvas, los campesinos crearon brebajes como el pipeño, chicha, chacolí, asoleado, vinos añejados; por su parte, la vendimia trascendió de su función práctica y se consagró como instancia de encuentro comunitario, trabajos compartidos y

festejos. Relacionado con ello, la inserción del caballo como herramienta de trabajo y medio de transporte, estimuló diversas producciones locales como monturas, riendas, frenos, estribos, lazos y espuelas. En sus atavíos, los jinetes ostentan poder adquisitivo, por lo que la cultura en torno al caballo ha tenido ribetes simbólicos de gran importancia dentro de los códigos sociales (Aguilera, 2021).

Así, el abundante conjunto de tradiciones, saberes y costumbres ponen de manifiesto la solidez de la base campesina sobre la cual se construyó la historia de esta región. Su visibilización mediante fiestas es un ejercicio necesario para la cohesión social y preservación de identidades locales.

2.1.4.4 Actividad económica

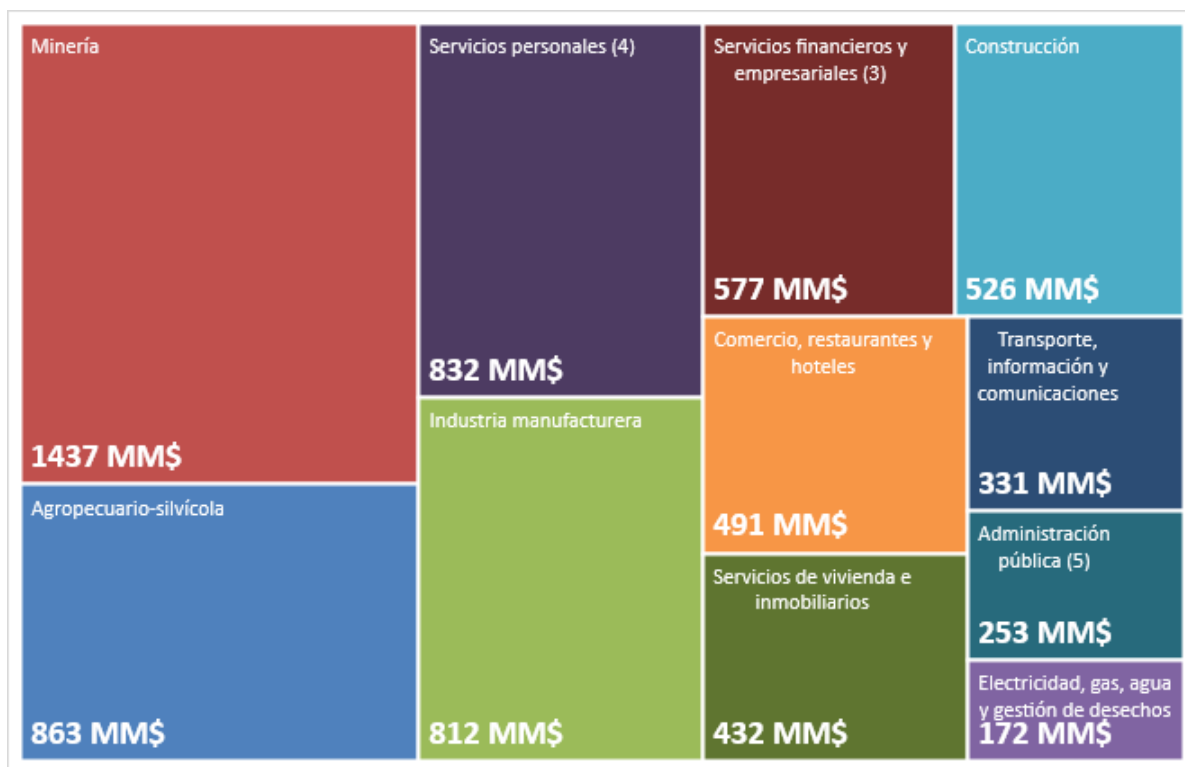
Identificar las actividades económicas predominantes en una cuenca, es fundamental para entender algunas de las características del sistema hídrico de un territorio, ya que son parte no sólo de la demanda de agua actual, sino también el consumo industrial de agua proyectada a futuro, entendiendo que son actividades que se perpetúan en el tiempo y se consolidan en los territorios. En ese sentido, si bien es importante entender las principales actividades económicas, en específico, de las comunas que componen la cuenca en estudio; es también fundamental entender la vocación económica de la región y los sectores en los que se basan los ingresos a nivel regional.

El 91,2% de la cuenca está dentro de la región de O'Higgins, por lo que es importante tomar como referencia esta unidad, para caracterizar la actividad económica de la misma; para el año 2018, el Producto Interno Bruto de la región fue de 6.733 miles de millones de pesos (MM\$), liderado ampliamente por actividades de Minería (1.437 MM\$) y la actividad agropecuario – silvícola (863 MM\$). Estos valores representan el 9,2% y el 19,4% del PIB nacional minero y agrícola, respectivamente (ODEPA, 2020).

A nivel regional, la proporción entre las distintas actividades productivas que componen el PIB se presenta en la **Figura 2-15**.

La tendencia de la producción de la región desde 2013 hasta 2019 va en alza, según datos del Banco Central de Chile (2020), pasando de 6.109 MM\$ a 6.733 MM\$, creciendo en un 9,8%. Sin embargo, para el año 2020 esta cifra disminuye levemente a 6.487 MM\$ de PIB regional. Las actividades económicas que más crecieron en términos de valor de producción (PIB) fueron los servicios personales, con un 21,2% desde 2013 a 2019; siguiéndole el sector silvoagropecuario (20,8%); y los servicios de vivienda e inmobiliarios (17,7%)⁹.

⁹ Para consultas con mayor detalle, ver Anexo D – Figuras – PIB Región de O'Higgins

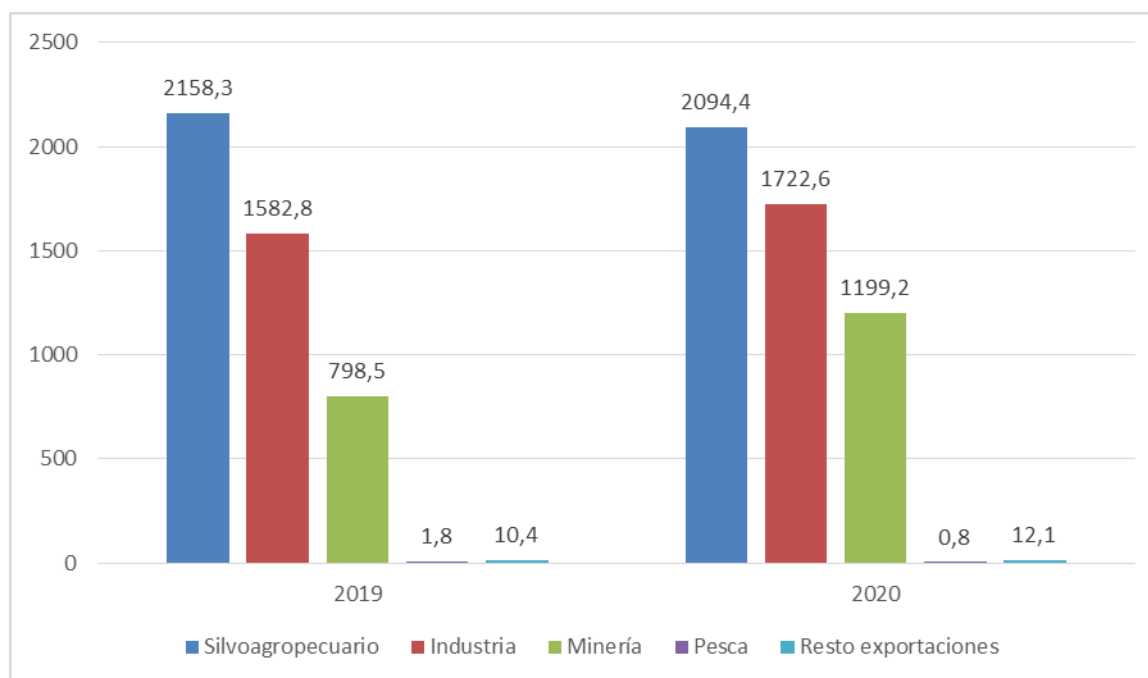


Fuente: ODEPA 2020

Figura 2-15 Producto Interno Bruto de la Región de O´Higgins

En base a esta tendencia, valores proyectados **hasta el año 2050** (bajo la premisa que el crecimiento PIB sigue una tendencia de crecimiento lineal), sitúan al PIB Regional en **9.824 MM\$**, con un promedio de crecimiento anual de 1,5%.

En cuanto a la economía exterior de la región, la **Figura 2-16** presenta los valores exportados por sector económico, según datos del INE para los últimos dos años. Las principales exportaciones regionales se encuentran dentro del sector silvoagropecuario, seguido del sector industrial asociado a la industria de los alimentos, y minería en tercer lugar. Dentro del sector silvoagropecuario, las principales exportaciones son productos frutícolas (94,7%) y agrícolas (5,1%); en la industria, prevalecen las exportaciones de alimentos (72,6%) y bebidas, líquidos y alcoholes (25,0%); mientras que, en minería, mayormente se exportan materias primas asociadas a cobre y hierro (84,9%) y el resto de minería metálica (14,9%).



Fuente: Instituto Nacional de Estadísticas, 2019 y 2020a

Figura 2-16 Valor de las exportaciones según sector económico, años 2019-2020

Disgregando las principales exportaciones silvoagropecuarias de la región, la **Tabla 2-5** muestra los principales elementos exportados de este sector, siendo la fruta fresca (61,9% del total de participación entre las exportaciones de frutas frescas a nivel nacional) y la carne de cerdo y despojos, los más importantes de la región.

Específicamente para las comunas de la cuenca, según el Censo (2017), la mayor parte de ellas, exceptuando las comunas de Rancagua, San Fernando y Navidad, las principales actividades económicas se relacionan con agricultura, ganadería, silvicultura y pesca, con un promedio de 25,8% de la población ocupada en este tipo de actividades. Para el caso de Rancagua y San Fernando, el 19% de la población se encuentra ocupada en actividades comerciales y el 16,5% en agricultura, ganadería, silvicultura y pesca; mientras que en Machalí gran parte de la población se encuentra trabajando en actividades ligadas a la minería (10,6%) y comercio (11,5%).

Dados estos antecedentes, el sector silvoagropecuario es de gran importancia en términos económicos en la región. Según ODEPA (2020), entre los cultivos frutícolas más importantes destaca el cerezo, representando el 34,6% del total de superficie cultivada del país, con 13.699 ha.; seguido de la vid de mesa (13.434 ha. y 29,5%); ciruelo europeo (8.730 ha. y 69,3%) y el nogal (16,2% del total país en esta región). Para especies hortícolas, destacan cultivos de cebolla de Guarda con 1.805 ha. (35,7% del país); el melón con 1.514 ha. (49,0%) y el choclo con 1.306 ha. (12,9% país). Para especies vinícolas, destacan *Cabernet Sauvignon* con 17.880 ha., *Carmenere* – *Grande Vidure* con 6.133 ha. para variedades tintas; y *Chardonnay* – *Pinot Chardonnay* (3.083 ha.) seguida de

Sauvignon Blanc (2.477 ha.). En cultivos destaca el maíz (19.962 ha.), el trigo harinero (4.802 ha.) y el trigo candeal (3.992 ha.).

Tabla 2-5 Principales rubros silvoagropecuarios exportados en la región del Maule (miles de dólares FOB)

Rubros	2019	Ene-feb		Participación País
		2019	2020	
Fruta fresca	2.651.086	1.974.155	1.619.038	61,9%
Carne cerdo y despojos	485.231	269.275	365.317	14,0%
Vinos y alcoholes	415.649	248.560	217.984	8,3%
Carne de ave	240.620	134.635	144.712	5,5%
Frutas procesadas	175.613	93.425	84.022	3,2%
Semillas siembra	68.801	59.914	58.900	2,3%
Hortalizas procesadas	58.854	30.405	49.118	1,9%
Hortalizas y tubérculos	27.330	22.421	26.548	1,0%
Lácteos	9.858	4.644	9.675	0,3%
Cereales	310	189	1.426	0,1%
Miel natural	1.914	1.099	345	0,0%
Maderas elaboradas	889	174	173	0,0%
Otros	97.302	52.370	39.981	1,5%
Total Regional	4.233.457	565.286	520.213	100,0%

Fuente: ODEPA (2020)

Para especies silvícolas plantadas, destaca el *Pinus radiata* con 68.263 hectáreas (cerca del 5% de todas las especies plantadas del país) y el *Eucaliptus globulus* (49.750 ha). Finalmente, entre el ganado, el mayor número de cabezas corresponden a especies de cerdos (1.177.363 cabezas y 35,8% del total país) y ovinos (166.648 cabezas y 4,2% del total país); aunque también destaca en comparación con el nivel nacional, las chinchillas con 3.462 cabezas, representando el 27,6% del total nacional.

En términos de empleo, según la encuesta nacional realizada por el INE (2020b), la región cuenta con un total de 784 mil personas en edad de trabajar, entre las que se cuentan 482 mil personas como fuerza de trabajo total, de las cuales poco más de 444 mil se encuentran en situación de ocupados. En ese sentido, la región cuenta con una tasa de ocupación del 56,69% promedio para el año 2019, y una tasa de desocupación de 7,73% promedio para el mismo período de tiempo. Entre los empleados, el año 2019 las actividades económicas que más concentraron los empleos de la región fueron agricultura, ganadería, silvicultura

y pesca con más de 66 mil empleados formales y 21 mil empleados informales; siguiéndole actividades de comercio con casi 50 mil empleados formales y 15 mil informales.

2.2 Clima

El clima determina, en forma amplia, las características y variaciones del ciclo hidrológico a nivel intra anual, interanual y de largo plazo. Para una mejor comprensión del Plan Estratégico, se incluye una caracterización climática, una revisión de los eventos extremos y variabilidad climática, y un análisis de los escenarios de cambio climático para la cuenca.

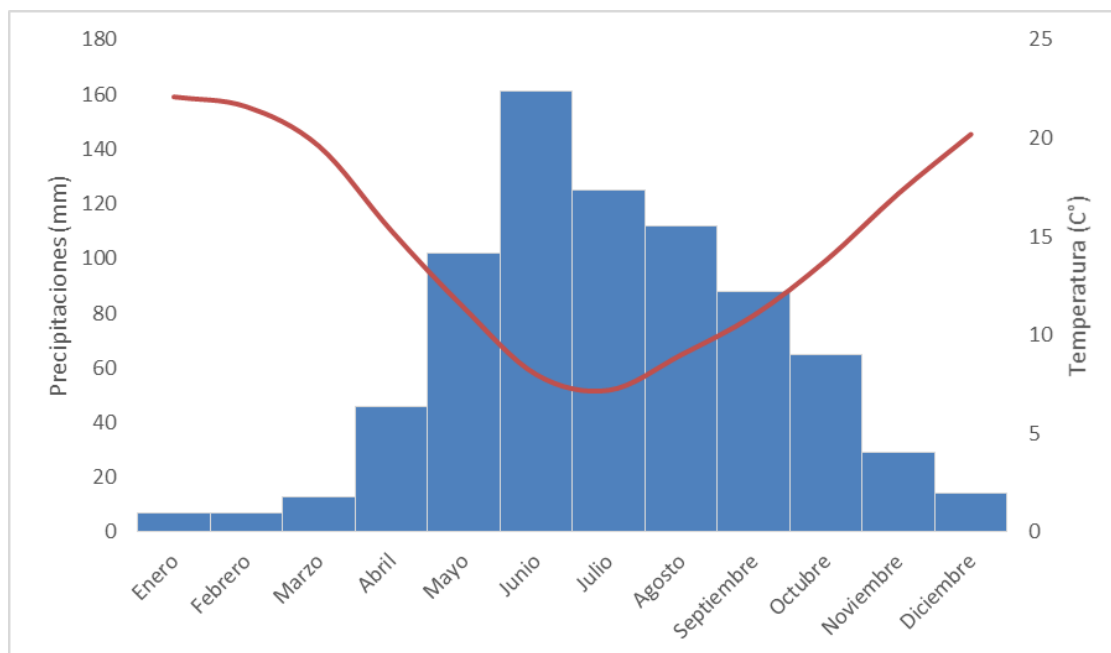
2.2.1 Caracterización climática

El clima predominante en la cuenca del río Rapel corresponde al Clima Templado Mediterráneo, el cual presenta variaciones por efecto del relieve del territorio. En la costa se presenta nuboso, mientras que hacia el interior debido a la sequedad experimenta fuertes contrastes térmicos. Las precipitaciones son mayores en la costa y en la cordillera de Los Andes, debido al relieve que impide la entrada de los vientos húmedos oceánicos (Dirección General de Aguas, 2004).

En específico, el **Clima Templado Mediterráneo con estación seca prolongada** se desarrolla prácticamente en toda la cuenca del río Rapel. Su característica principal es la presencia de una estación seca prolongada y un invierno bien marcado con temperaturas extremas que llegan bajo los cero grados. Rancagua registra una temperatura media anual de 14,2° C, pero los contrastes térmicos son fuertes. En verano las máximas alcanzan valores superiores a 28° C durante el día; mientras que en meses invernales puede haber valores mínimos de temperatura de hasta 7°C.

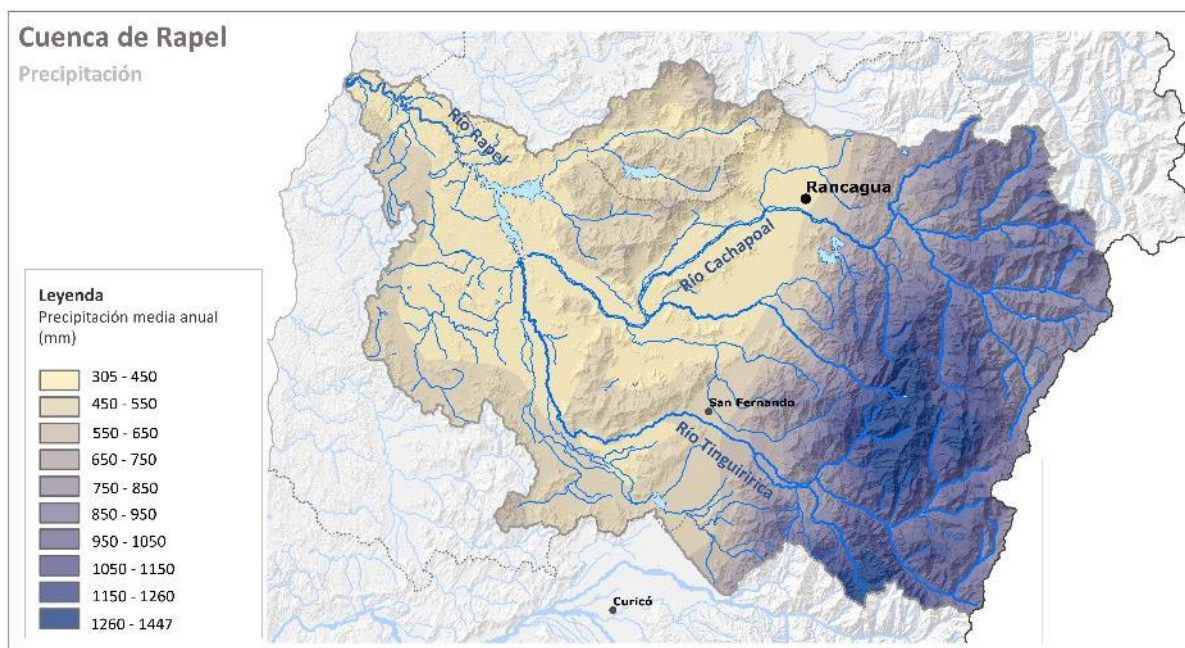
Los montos de precipitación media anual registrados en el sector costero de la cuenca alcanzan valores aproximados de 638 mm/año y temperaturas de 14° C. Por efectos del relieve, en el sector centro de la cuenca se presentan áreas de mayor sequedad y montos menores de precipitación (promedio anual de 266 mm en estación DGA Rancagua). En sectores más elevados, las precipitaciones aumentan alcanzando valores medios anuales de 686 mm (Coya) y temperaturas medias anuales de 9,6°C (Sewell).

En general, los valores registrados de precipitación son mayores durante las temporadas invernales, especialmente durante los meses de junio, julio y agosto; según la **Figura 2-17**. Los datos de precipitaciones para toda la cuenca son representados en la **Figura 2-18** y se corresponden con diferentes tipos de climas que se desarrollan a lo ancho de la cuenca en estudio, los que se encuentran detallados en la **Figura 2-19**.



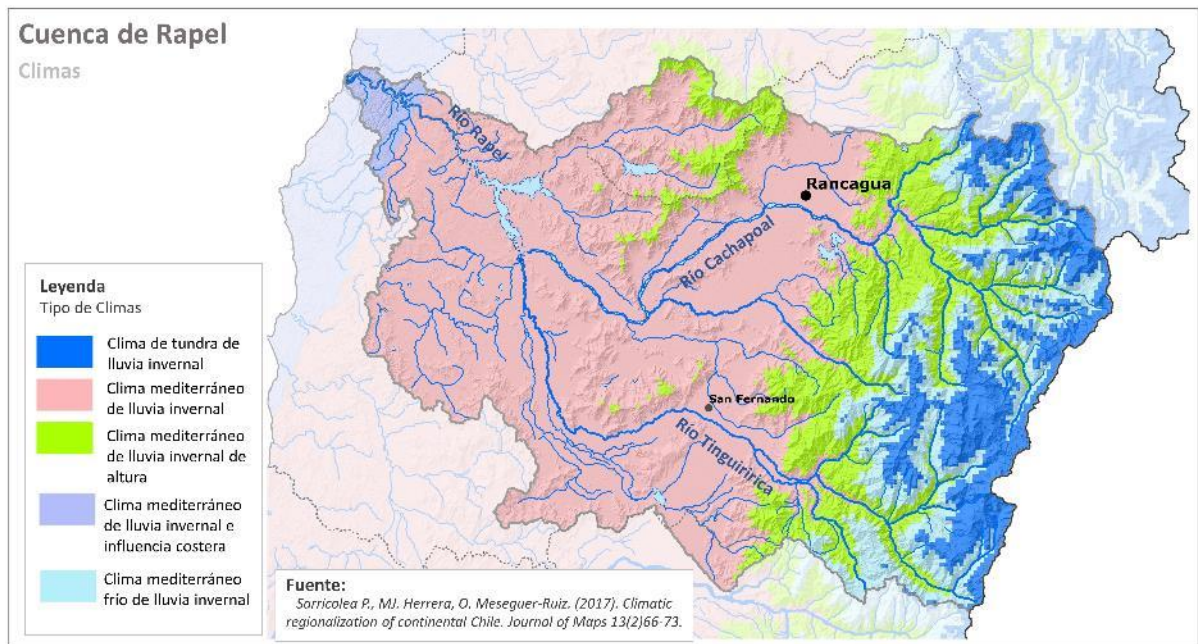
Fuente: Elaboración propia en base a datos históricos recopilados en Climate-Data (2022)

Figura 2-17 Climograma de datos históricos para precipitaciones y temperatura mensuales, ciudad de Rancagua



Fuente: Elaboración propia con datos de CR2MET

Figura 2-18 Precipitación media anual (2000-2019) Cuenca Río Rapel



Fuente: Elaboración propia, con datos de MMA (2020)

Figura 2-19 Tipos de Climas (Köppen) cuenca del río Rapel

2.2.2 Eventos extremos y variabilidad climática

Los eventos extremos alcanzan mayor notoriedad en el planeta debido a las pérdidas de vida, daños en infraestructura y/o perjuicios económicos que pueden generar. De manera constante, los centros internacionales de pronósticos se encuentran vigilando la ocurrencia de eventos extremos con el fin de alertar a la población y a los organismos de seguridad respectivos, minimizando riesgos asociados a ellos. El quinto informe del IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático) ha concluido que varios eventos considerados extremos, como los tornados, marejadas intensas, inundaciones u olas de calor, han sufrido cambios en su comportamiento, intensificando su ocurrencia en algunos casos.

Los fenómenos naturales analizados son las inundaciones, sequías, deslizamientos y aluviones (Ver Anexo C. Glosario), en base a datos históricos desde 1985 a 2014, disponibles en la plataforma web de la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR por sus siglas en inglés). Complementariamente, se consideraron fuentes de información como los boletines de eventos extremos realizados por la Dirección Meteorológica de Chile desde 2015 a 2019; Centro del Clima y la Resiliencia (CR2); y reportes de prensa en línea.

Dado que la UNDRR es la fuente más representativa para identificar cantidad de eventos extremos en un contexto temporal histórico, la información es presentada a una escala regional, debido a que es el nivel más específico bajo el cual arroja resultados dicha

plataforma. De esta forma, se mantiene esta escala para las fuentes complementarias de eventos extremos contemporáneos.

A partir de esta información, se identificaron 79 eventos importantes, de los cuales destacan las inundaciones, lluvias y sequías en la región de O'Higgins, los que son presentados en la **Tabla 2-6**.

Tabla 2-6 Frecuencia de eventos extremos por año, región de O'Higgins

Eventos extremos	Número de eventos según período de tiempo						
	1985-1989	1990-1994	1995-1999	2000-2004	2005-2009	2010-2014	2015-2020
Inundaciones	5	0	0	9	0	0	6
Lluvia	0	1	2	1	1	3	8
Sequía	4	14	2	0	0	4	6
Deslizamientos	0	2	0	1	1	0	2
Aluviones	0	0	0	0	1	0	2

Fuente: Elaboración propia a partir de UNDRR, CR2, Dirección Meteorológica y prensa en línea

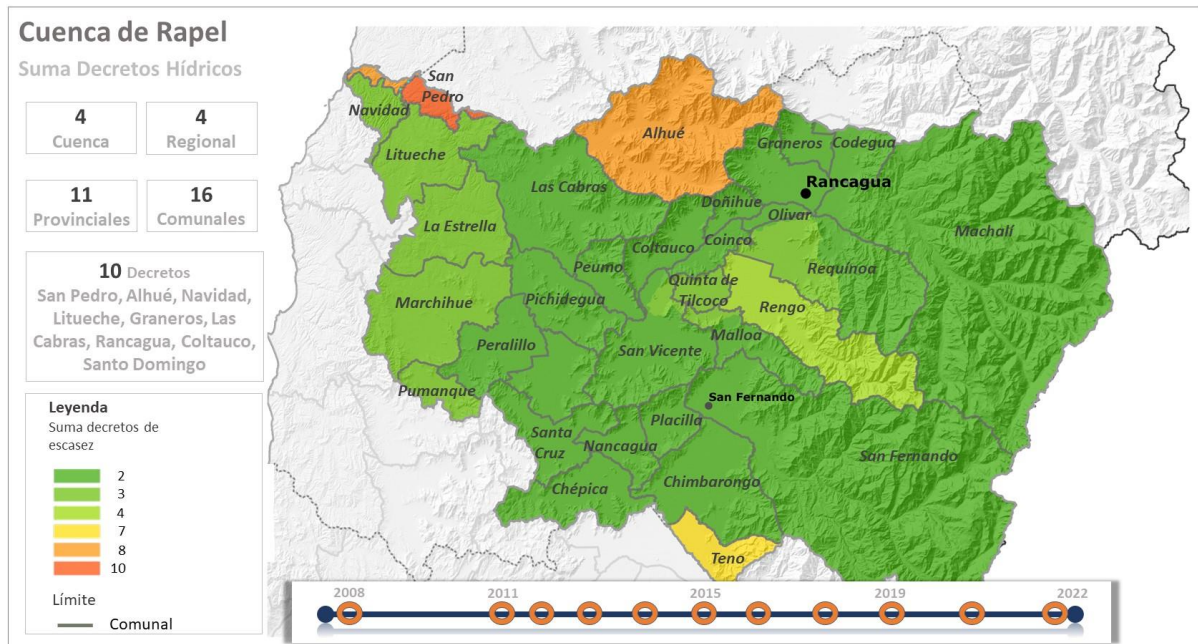
Si bien la sequía aparece como uno de estos eventos extremos, es importante entender también que la situación puede explicarse a partir de la escasez hídrica, que refiere a la capacidad -o falta de ella- para satisfacer la demanda humana y ecológica del agua (Baeza, 2018). En relación con ello, la Dirección 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. A continuación (**Tabla 2-7**), se presentan los **decretos dictados** para la cuenca del río Rapel.

En concordancia con lo anteriormente descrito, en la **Tabla 2-7** se muestra la suma de decretos hídricos establecidos históricamente en la cuenca de Rapel. Se identifica que un gran número han sido decretados en la comuna de Alhué y Santo Domingo (8) y San Pedro (10). En la parte sur de la cuenca, destaca Teno (7).

Tabla 2-7 Número de comunas con decretos de escasez hídrica

Año	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Número de comunas	0	1	3	1	1	2	0	2	2	2	35

Fuente: Recopilado de DGA. Decretos declaración zona de escasez vigentes.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-20 Suma decretos hídricos según comuna, cuenca del río Rapel

2.2.3 Escenarios de cambio climático

Para la caracterización de las forzantes meteorológicas de precipitación y temperatura en el periodo de modelación proyectado, en el presente plan se toman en consideración los cuatro Modelos de Circulación General (conocidos como GCM en inglés) incluidos en el estudio Aplicación de la Metodología de Actualización del Balance Hídrico Nacional en las Cuencas de las Macrozonas Norte y Centro (Dirección General de Aguas, 2018). Estos modelos consideran una trayectoria de concentración de gases de efecto invernadero equivalente a un forzamiento radiativo de $8,5 \text{ W/m}^2$ en el año 2100 (escenario de cambio climático RCP 8.5). Dentro de los escenarios definidos por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, el escenario RCP 8.5 corresponde al más pesimista en términos de reducción de emisión de gases de efecto invernadero hacia el año 2100. De esta forma, la proyección de cambio climático considerada para la modelación contempla una situación asociada con precipitaciones cuyas tendencias son a la baja y temperaturas con tendencias al alza, lo que permite representar una posible falta en el recurso hídrico para la cuenca.

De acuerdo con lo indicado en DGA (2018), los criterios utilizados para la selección de los cuatro modelos GCM son:

- **Respuesta regional a modos globales de variabilidad climática.** Influencia del Niño u Oscilación Sur (ENSO) y el Modo Anular del hemisferio sur (SAM) en la precipitación de la cuenca.
- **Sensibilidad climática.** Respuesta del sistema climático a las forzantes externas, temperatura y contestación de CO₂.
- **Cambios regionales.** Criterio local de sensibilidad a cambios de temperatura y precipitación para el escenario RCP 8.5 en una ventana temporal de 2030-2060.

En la **Tabla 2-8** se presentan los GCM utilizados en DGA (2018) para representar las proyecciones de cambio climático.

Tabla 2-8 GCM utilizados para representar las forzantes meteorológicas (precipitación y temperatura) en el periodo proyectado, considerando cambio climático

Modelo	Institución	Sensibilidad climática
CSIRO-MK3-6-0	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization in collaboration with Queensland Climate Change Centre of Excellence, Australia.	Baja Extrema
CCSM4	National Center for Atmospheric Research, USA	Baja Moderada
MIROC-ESM	Agency for Marine-Earth Science and Technology, Atmosphere and Ocean Research Institute (University of Tokyo), and National Institute for Environmental Studies, Japan.	Alta Moderada
IPSL-CM5A-LR	Institut Pierre-Simon Laplace, France.	Alta extrema

Fuente: Dirección General de Aguas (2018d)

Según los resultados, que se detallan en el Anexo H, sección 2.2.1., el modelo elegido con mejor evaluación de ajuste es el modelo CCSM4.

2.3 Dimensión ambiental

Los ecosistemas terrestres, acuáticos continentales y marinos forman parte del ciclo hidrológico en tanto interactúan y condicionan la forma en que las aguas se comportan dentro de la cuenca hidrográfica. Los ecosistemas, a su vez, dependen del manejo que las personas realicen sobre el territorio, particularmente las acciones de protección de aquellos sistemas singulares, representativos o relevantes desde distintos puntos de vista, los que se presentan más adelante, en la sección 2.3.3.

2.3.1 Unidades Ecosistémicas

2.3.1.1 Ecosistemas terrestres

La flora terrestre de la cuenca se caracteriza por la presencia de las siguientes comunidades vegetales: Bosque Esclerófilo Andino y Bosque Caducifolio de la Montaña presente en el valle y zona precordillerana; Estepa Alto-Andina en la zona alta del río; y Matorral Espinoso del secano costero en sectores del valle y desembocadura del río (Dirección General de Aguas, 2004; 2010).

Las principales características de estas comunidades vegetales son las siguientes:

Bosque Esclerófilo Andino: El paisaje vegetal corresponde al de un bosque esclerófilo, que a menudo se encuentra muy intervenido, con matorral de laderas de exposición al norte. Sobre su composición florística hay pocos antecedentes, pero es una formación que señala el límite de distribución más austral de varias especies. En esta formación vegetal, se distinguen las siguientes especies: Quillay, Litre y Colliguay. También se identifican especies como *Acacia caven* (Espino), *Maytenus boaria* (Maitén) y *Prosopis chilensis* (Algarrobo chileno).

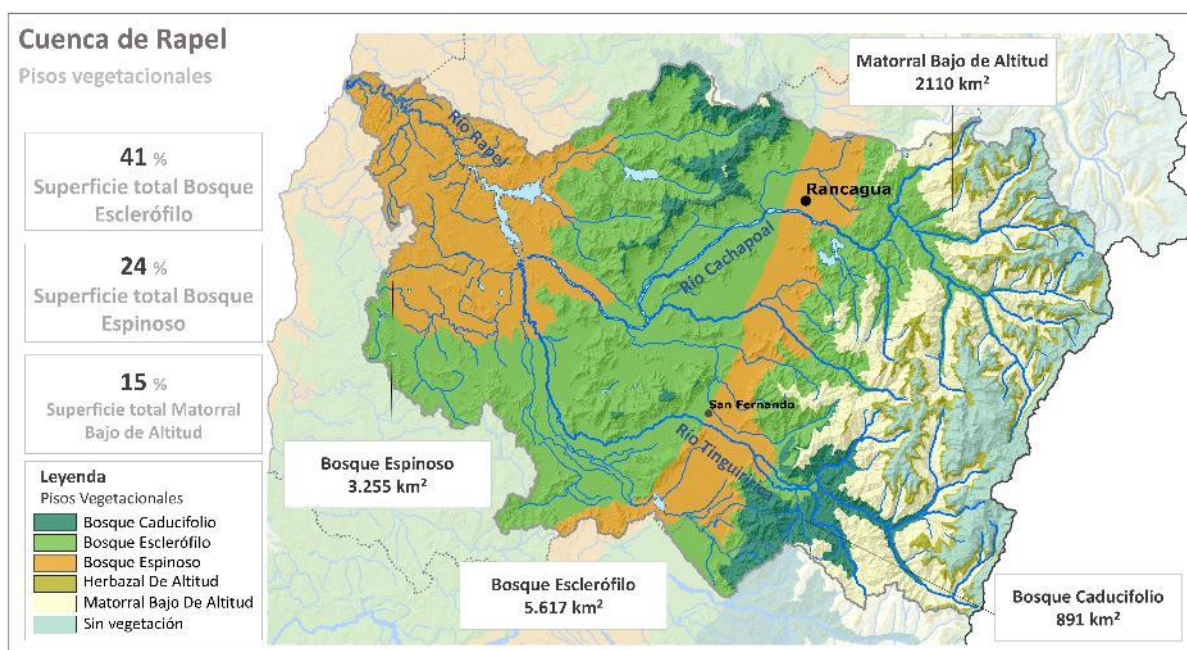
Bosque Caducifolio de la Montaña: Constituye una formación vegetal de gran riqueza florística, pues señala el límite norte de muchas especies leñosas y herbáceas de los bosques más australes. En su fisionomía de bosque caducifolio tiene un papel importante la participación del ciprés de la cordillera, especie arbórea que en esta formación muestra una alta frecuencia. En esta formación vegetal, se distinguen las siguientes especies: Roble, Zarzaparrilla y Ciprés.

Estepa Alto Andina: Esta formación es poco conocida desde el punto de vista botánico, pero por sus características transicionales debe corresponder a límites importantes en la distribución de las especies, tanto boreales como australes. En esta formación vegetal, se distingue la siguiente especie: Coirón de Vega y Chaurilla. Según Lübert y Pliscoff (2004) también se presenta matorral bajo y herbazal de altitud en el sector cordillera, por sobre el límite altitudinal de la vegetación arbórea, desarrollándose un matorral bajo húmedo rico en especies como *Chuquiraga oppositifolia* (Hierba blanca), *Discaria articulata*, *Nardophyllum lanatum* (Chilca), *Laretia acaulis* (Llaretia) y *Berberis empetrifolia* (Lübert y Pliscoff, 2004).

Matorral del Secano costero: Paisaje vegetal homogéneo que se desarrolla en lomajes de pendientes suaves y en extensas superficies planas de secano. Este paisaje vegetal, está constituido por arbustos altos dispersos, donde el espino (*Acacia caven*) es la especie dominante, acompañada en ciertos sectores por elementos esclerófilos. En los pequeños valles y en los lugares menos alterados se encuentran asociaciones típicas de los bosques esclerófilos. Lübert y Pliscoff (2004) identifican especies como *Acacia caven* (Espino), *Maytenus boaria* (Maitén), *Lithrea caustica* (Litre) y *Prosopis chilensis* (Algarrobo chileno). Mientras que, entre el bosque esclerófilo de esta zona, consideran especies como *Kageneckia angustifolia*, *Guindilia trinervis*, *Lithrea caustica*, *Lomatia hirsuta* y *Quillaja*

saponaria en sectores andinos; y en sectores costeros se encuentran especies como *Cryptocarya alba* (Peumo), *Peumus boldus* (Boldo) y *Azara integrifolia* (Corcolén).

La distribución de estos pisos vegetacionales se encuentra simplificada en la **Figura 2-21**.



Fuente: Elaboración propia a partir de Lübert y Plissock, 2004

Figura 2-21 Pisos vegetacionales de la cuenca del río Rapel

En relación con la fauna terrestre, según el estudio “Diversidad Biológica de Chile”, realizado por la Comisión Nacional de Diversidad Biológica y citado en Dirección General de Aguas (2010), en la sexta región existen una gran variedad de especies de animales y aves endémicas. Los resultados de este estudio revelan la existencia de los siguientes tipos de especies:

- 6 tipos de anfibios (3 endémicos)
- 15 tipos de reptiles (10 endémicos)
- 212 tipos de aves (7 endémicos)
- 29 tipos de mamíferos (6 endémicos)

Dentro de las especies que se encuentran con algún grado de conservación según el Libro Rojo de los vertebrados terrestres de Chile son:

- En peligro de extinción: Cururo, Guiñas,
- Vulnerable: Zorro Culpeo, Zorro Chilla, Quique, Bandurria, Culebra cola larga, Culebra cola corta, Lagarto, Lagarto chileno, Lagartija lemniscata, Lagarto nítido, Sapo rulo.
- Rara: Perdicitita cordillerana.

Una especie emblemática de la cuenca es el Loro Tricahue. Estos loros viven en bandadas en la zona precordillerana de la región, especialmente en la parte alta de los afluentes al río Tinguiririca, subcuenca que actúa como una de las principales 'loreras' del país.

2.3.1.2 Ecosistemas acuáticos

En conjunto, la cuenca del Río Rapel representa un sistema de características muy diversas, aspecto que tiene una gran influencia en el tipo de comunidades biológicas acuáticas que alberga. Lo anterior, sumado a la influencia antrópica de la zona, produce un mosaico de patrones de biodiversidad (Dirección General de Aguas, 2010).

Según el catastro del Inventario Nacional de Humedales (2020), en la cuenca del río Rapel se localizan 4.681 humedales entre naturales y artificiales con una superficie de 31.410 ha., que se dividen en costeros, ribereños, tranques, embalses, andinos, etc. En la **Tabla 2-9** se evidencian estas características, señaladas anteriormente.

Tabla 2-9 Tipos y naturaleza de humedales en la cuenca del río Rapel

Naturaleza de humedal	Tipo de humedal	Régimen	Área (ha.)
Artificiales	Almacenamiento	-	13.427,5
Continetales	Lacustres	Permanentes	612,8
	Palustres	Emergentes	4.426,3
	Ribereños	Permanentes	12.533,3
Marinos costeros y	Estuarinos	Intermareales	390,8
Sin Clasificar	Sin Clasificar	Sin Clasificar	20,0
Total			31.410,7

Fuente: Elaboración propia a partir de Catastro Nacional de Humedales, MMA (2020)

Los humedales palustres y lacustres se localizan principalmente en la alta cordillera, alimentados por los deshielos de temporadas estivales. En cambio, los ribereños corresponden a las zonas húmedas cercanas a los cursos de agua de la zona intermedia de la cuenca, traslapándose con la zona de vegetación ripariana. Por otra parte, los humedales artificiales corresponden a embalses, siendo el más importante el embalse Rapel y tranques de riego que sirven de ecosistema para especies de flora y fauna en zonas del secano costero. Dentro del inventario se encuentran los humedales asociados a límites urbanos, en la cuenca se localizan 13.217 ha. bajo esta clasificación, incluyendo al embalse Rapel.

Entre los humedales costeros, se presenta una alta diversidad de especies. La mayoría presentan exclusividad en este tipo de ambientes, encontrándose evidencia de reproducción de al menos tres taxas: cisnes de cuello negro, tagua común y pato jergón grande, evidenciando la relevante función ambiental de este tipo de ecosistemas (Dirección General de Aguas, 2010). La principal flora acuática en el sector de la subcuenca del

Cachapoal es el *Jussiaea repens* (nativa), de la familia *Oenotheraceae*, llamada también meliculul.

La fauna acuática, por su parte, corresponde a aquella que describe las especies presentes en la subcuenca del río Cachapoal en cada una de las estaciones de muestreo del medio biológico acuático. Las especies son las siguientes: Bagre Chico, Carmelita, Pejerrey chileno, Perca Trucha.

En relación con ello se presentan macroinvertebrados representados principalmente por tres familias: plecópteras, coleópteras y trichópteras de las cuales se han observado 17 especies de 6 familias. Por otro lado, los principales peces presentes en los cuerpos de agua de la cuenca corresponden a especies nativas como el Bagre Chico (*Trichomycterus aerolatus*), Carmelita (*Percillia gillissi*), Pejerrey chileno (*Basilichthys australis*), Pocha (*Cheridon pisiculus*), Perca Trucha (*Percichthys trucha*) e introducidas como el Pejerrey Argentino (*Odonthestes bonariensis*), *Carassius carassius* y *Cnesteredon decenmaculatus* (Dirección General de Aguas, 2004).

2.3.2 Glaciares

Los glaciares, en tanto reservorios de agua dulce, son parte fundamental de las cuencas al acumular aguas en forma sólida durante el invierno o meses de mayores precipitaciones, permitiendo el suministro en períodos estivales o en épocas de sequías, amortiguando la falta de agua durante ciertos períodos, como parte del ciclo hidrológico.

La Dirección General de Aguas (2011) en el "Catastro, exploración y estudio de glaciares en Chile central", identifican 146 glaciares en la subcuenca río Cachapoal, con un área de 222,2 km²; y 261 glaciares en la subcuenca río Tinguiririca con una superficie total de 106,46 km².

La presencia de glaciares a lo largo de las cuencas representa una base de recursos hídricos importante gracias a la escorrentía producto de los deshielos. En el caso del área de estudio, por ejemplo, el glaciar Universidad, localizado en la parte alta de la subcuenca del río Tinguiririca, se caracteriza por las elevadas tasas de fusión durante la temporada de ablación, las que incluso pueden superar los 10 metros equivalentes de agua en la zona terminal, representando una media mensual de entre 10% y 13% del caudal en áreas distales de esta subcuenca, durante diciembre de 2009 y marzo de 2010. Esta contribución puede llegar a elevarse hasta un máximo mensual del 20% a finales del verano, demostrando así la importancia de la escorrentía que surge de los glaciares, particularmente en meses estivales de años particularmente secos (Bravo *et al*, 2017).

Por esta razón, actividades humanas que puedan afectar a los glaciares en los Andes Centrales, impactarían directamente en la escorrentía y los recursos hídricos de las cuencas en el área de estudio. El impacto dependerá de la extensión, localización y características de cada glaciar y de la cuenca respectiva donde se realiza la intervención humana. En estos casos, es importante considerar que los glaciares descubiertos tienen una tasa de

derretimiento en meses de verano (enero-febrero) de entre 3,40 y 1,40 l/s/ha.; glaciares cubiertos corresponden a 1,78-0,03 l/s/ha.; y glaciares de rocas 0,07-0,03 l/s/ha. (Bravo *et al*, 2017).

La ubicación y extensión de glaciares en la cuenca se puede apreciar en **Figura 2-7**.

2.3.3 Áreas silvestres protegidas

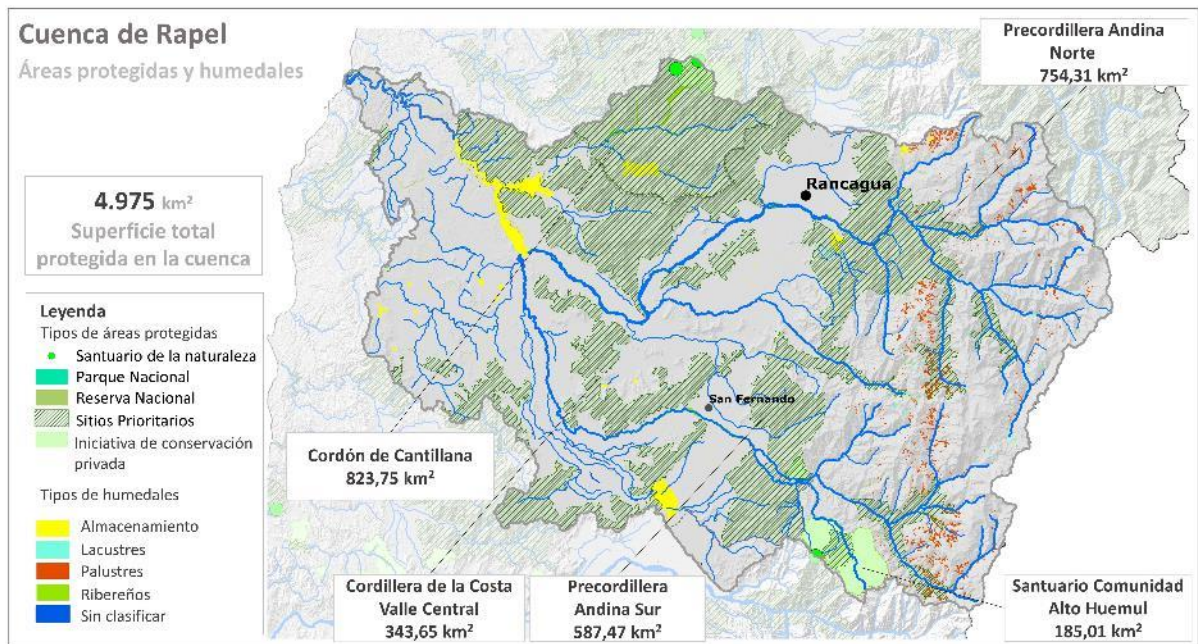
Identificar las áreas silvestres protegidas y comprender sus características, es importante en tanto se configuran como unidades de gran valor ecosistémico, otorgando beneficios al medio ambiente y funcionando como reservas de biodiversidad y parte importante del ciclo hidrológico. Su categorización legal, permite también dar cuenta de la gestión de los recursos naturales e hídricos que se encuentran dentro de ellas.

Las áreas silvestres protegidas pueden estar bajo protección estatal o privada, en distintos regímenes de protección. En la cuenca del río Rapel se localizan 3 sitios dentro del **Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE)**, dos de ellas Reservas Nacionales y uno como Parque Nacional: Reserva Nacional Río Los Cipreses (38.709 ha.), Reserva Nacional Roblería del Cobre de Loncha (6.037 ha.) y el Parque Nacional Palmas de Cocalán (3.339 ha.), respectivamente.

Además, se localizan 3 áreas protegidas bajo la denominación de **Santuarios de la Naturaleza**: el predio Alto Huemul, San Juan de Piche y Altos de Cantillana-Horcón de Piedras, y Roblería Cajón de Lisboa. La cuenca del río Rapel posee **24 Sitios Prioritarios de conservación de la biodiversidad** según fuentes del Ministerio del Medio Ambiente y su visualizador de "Registro nacional de Áreas Protegidas" (2022) que en total suman 458.465 hectáreas, donde destacan la Precordillera Andina Norte, río Cortaderal, Precordillera Andina Sur, Cordillera de la Costa Valle Central, La Roblería/Cordillera de la Costa Norte y Cocalán, Cordón de Cantillana y estuario río Rapel, entre otros.

En complemento, existe una red de **Áreas Protegidas Privadas (APP)**, que se definen como un área protegida bajo el control o que pertenece a un individuo, cooperativa, organismo no gubernamental (ONG) o corporación, manejada con o sin fines de lucro. Sin embargo, hasta la fecha no existen definiciones prácticas operativas básicas para este tipo de áreas. En este caso, en la cuenca existen 5 APP que suman 108.737 ha, pero algunas se encuentran dentro de otras áreas protegidas ya identificadas con anterioridad. Es el caso, por ejemplo, del predio Alto Huemul, que es parte del Santuario Comunidad Alto Huemul, en el límite sur de la cuenca río Rapel. Misma situación ocurre con el Santuario Altos de Cantillana y San Juan de Pichi.

Las áreas protegidas que se han mencionado, además de su ubicación dentro de la cuenca de Rapel, se observan en la **Figura 2-22**.



Fuente: Elaboración propia con datos del Registro Nacional de Áreas Protegidas (MMA)

Figura 2-22 Áreas protegidas de la cuenca del Río Rapel

2.3.4 Amenazas sobre los ecosistemas

La cuenca del río Rapel, por su geomorfología y actividades que se han desarrollado históricamente en estos territorios, cuenta con una serie de amenazas que pueden dañar los ecosistemas en los que se encuentra inserta. Entre ellas, se encuentran algunas asociadas a eventos socio-naturales (inundaciones, episodios de lluvias intensas y períodos de sequías, ver sección 2.2.2), sobre todo producidas por efectos del cambio climático, que afecta directamente a ecosistemas terrestres y marítimos, teniendo como consecuencia cambios en la distribución geográfica de algunas especies; cambios en la dinámica de ciertas poblaciones de fauna y flora que dependen del regular funcionamiento de cuerpos de agua; entre otras (Uribe, 2015).

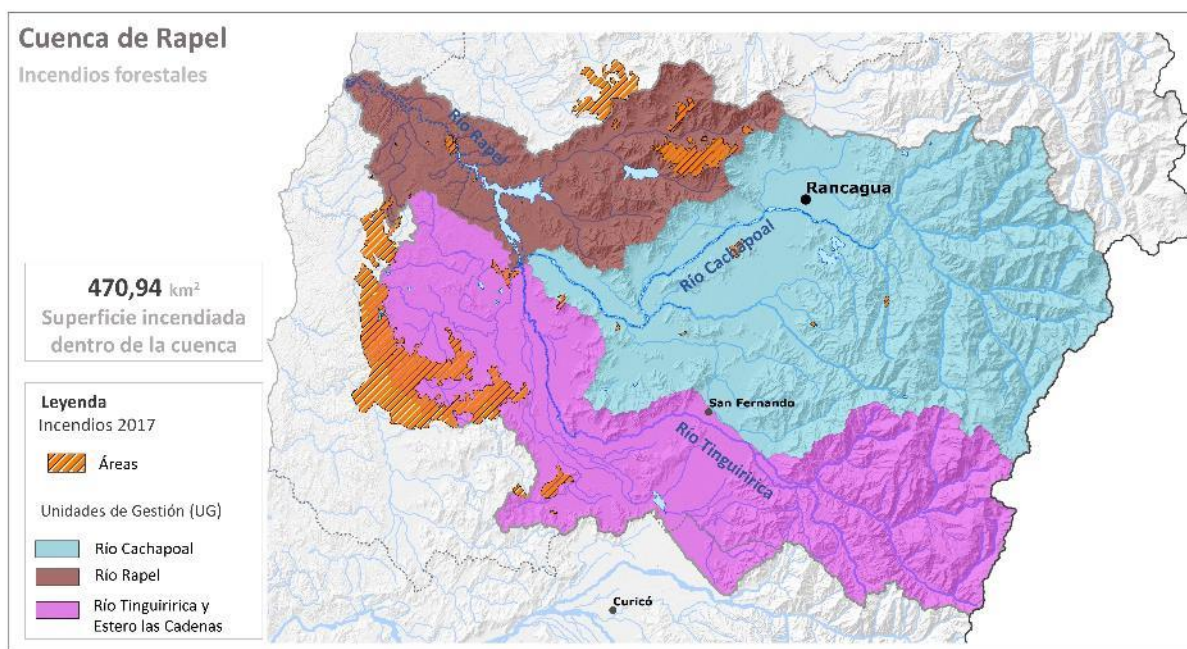
Por otra parte, se presentan amenazas con un origen antrópico. Sobre todo, dentro de estas últimas, se encuentran los incendios forestales y actividades o condiciones bioclimáticas que han alterado la calidad de agua del embalse Rapel, parte importante del ecosistema de la cuenca en estudio (Peña & Suárez, 2020).

2.3.4.1 Incendios forestales

En cuanto a los incendios forestales, desde el año 2010 hasta el 2018 se registraron un total de 1.586 eventos de esta naturaleza en la cuenca Rapel. La temporada 2017-2018 fue especialmente compleja en términos de daños al ecosistema, identificándose 278 puntos de incendios forestales sólo en la zona determinada por la cuenca en estudio.

Los “megaincendios” del 2017, según el informe del Centro del Clima y Resiliencia CR2 (2020), provocaron la destrucción de distintas comunidades vegetales como matorrales, plantaciones de coníferas, bosques nativos, plantaciones de hoja ancha, pastizales y bosques mixtos; y la emisión de alrededor de 100 millones de toneladas de CO₂. El área de los incendios de la temporada descrita se visualiza en la **Figura 2-23**.

De esta forma, los incendios potencian las condiciones de amenaza de los ecosistemas. Por ejemplo, dentro de los ecosistemas en peligro crítico de amenaza, un 9% de la superficie de bosque caducifolio y un 18% del bosque esclerófilo han sufrido incendios alguna vez durante este siglo, a nivel nacional. Así, un 47% de la superficie incendiada ha afectado algún ecosistema nativo en peligro crítico, lo que viene a demostrar la gravedad de la situación que pueden vivir estos bosques (Centro del Clima y Resiliencia, 2020). Asimismo, los incendios pueden afectar el ciclo hidrológico de una cuenca debido a la pérdida de vegetación, disminución de la materia orgánica y los cambios en las propiedades del suelo, causando una disminución en las tasas de infiltración, disponibilidad de agua y aumento de escurrimiento (González, 2017).



Fuente: Elaboración propia con datos de CONAF (2018)

Figura 2-23 Superficie afectada por incendios forestales temporada 2016-2017

2.3.4.2 Impactos de la minería

La minería ha sido históricamente una de las actividades extractivas que afecta los ecosistemas acuáticos y terrestres. Esto ha generado algunos conflictos socioambientales con comunidades que habitan la cuenca, como ocurrió el año 2007 ante actividades de

exploración de terrenos cercanos al Embalse Rapel por parte de Cementos Polpaico, quienes se encontraron con la defensa de los terratenientes y del Comité de Defensa y Desarrollo Ecológico El Manzano – Lago Rapel.

Asimismo, la industria extractiva minera construye tranques de relaves con el fin de depositar desechos tóxicos líquidos. En la cuenca río Rapel, han sido especialmente importantes los tranques Cauquenes y Carén. El año 2020, la Superintendencia del Medio Ambiente formuló cargos en contra de la empresa Minera Valle Central, asociada a la faena División El Teniente, relativos a los relaves depositados en el tranque Cauquenes. El informe indicó que el transporte de relaves superó la capacidad máxima autorizada por la DGA; además, la empresa no realizó una aplicación anual de polímeros o supresores de polvo en superficie del tranque, afectando directamente en el estado de conservación de flora del sector y la especie en peligro de extinción *Avellanita bustillosii* Phi, un arbusto endémico de la zona (OLCA, 2020).

Por otra parte, el embalse de relaves Carén, almacena sulfuros de cobre en el sector de la Laguna Carén y muy próximo a la Reserva Nacional Roblería de Loncha. Además, la actividad de los relaves es el pasivo ambiental minero más significativo según su tamaño y riesgo, representando entre el 60% y 80% del total minero. Entre las amenazas asociadas a la presencia de tranques de relaves se encuentra el riesgo inminente de filtraciones de desechos tóxicos como cianuro, arsénico, plomo, cadmio, zinc, mercurio, entre otros; y el colapso de la infraestructura que salvaguarda estos desechos producto de, por ejemplo, eventos extremos, como ha pasado en casos icónicos como mina El Soldado en Valparaíso; Chañaral; o mina Las Palmas en Penciahue (Medvinsky-Roa, Caroca y Vallejo, 2016).

2.3.4.3 Actividades agrícolas, cárnicas y agroindustrias

La agroindustria produce contaminación ambiental a través de la descarga de residuos orgánicos o peligrosos en los suministros hídricos, emisión de polvo o gases que deterioran la calidad del aire y producen sustancias tóxicas, y la utilización de maquinaria peligrosa para la seguridad y salud de los trabajadores. Las grandes agroindustrias resultan ser fuentes importantes de contaminación a nivel local, mientras que la contaminación producida por pequeñas industrias es a menor escala y con un efecto acumulativo en una determinada región geográfica, producto del poco acceso a tecnologías más limpias. Entre la contaminación puntual de la agroindustria, se encuentran efectos producidos por el uso y abuso de productos fitosanitarios como pesticidas, bonos químicos, herbicidas y fungicidas, utilizados en las labores propias de este sector económico, lo que no sólo afecta directamente a los ecosistemas naturales, sino también a la trabajadores y población cercana a los centros de producción (Gama, Guarnizo, & Mogollón, 2014).

Estos autores proponen considerar las amenazas de la agroindustria, con especial énfasis en las aguas residuales; la calidad del aire; los residuos; la deforestación y la erosión, que pueden afectar severamente los ecosistemas. Para el caso de aguas residuales, sus efectos son detallados con mayor precisión en la sección 4.2.3 del presente documento.

2.3.4.4 Impactos en cuerpos de agua

El uso de los fertilizantes se asocia, básicamente, con una contaminación de las aguas subterráneas poco profundas, con compuestos solubles (Nitrógeno y Fósforo) gracias a una percolación desde la superficie de la corteza terrestre. Esto se traduce en una reducción profunda e irreversible del potencial de uso de estas aguas. En general, se tiene que la alteración de las propiedades físico-químicas de los cuerpos de agua puede ser estimada a partir de su densidad algal, la materia en suspensión y materia orgánica disuelta coloreada (Peña y Suárez, 2020).

El embalse Rapel, por ejemplo, ha contado con numerosos problemas de sedimentación y eutrofización, debido a la presión producida por actividades silvoagropecuarias y turísticas, además de aportes de contaminantes arrastrados por los tributarios del embalse (Ibarra, 2013; Octave, 2017). Al respecto, la presencia de contaminantes en los ecosistemas acuáticos, usualmente antrópicos, provoca la alteración de las propiedades fisicoquímicas de éstos, sobre todo a la luz de la frágil homeostasis ecológica que los caracterizan, amenazando la capacidad de resiliencia de sus servicios ecosistémicos (Peña & Suárez, 2020).

A través de un análisis comparativo de imágenes multiespectrales para medir parámetros de densidad algal, materia en suspensión y materia orgánica disuelta coloreada, estos autores identificaron una tendencia hacia el empeoramiento de la calidad del agua del embalse Rapel entre 1975 y 2016, que se condicen principalmente con mayor presencia algal (clorofila) y a un incremento de materia en suspensión en el cuerpo de agua.

2.4 Infraestructura hídrica

La infraestructura hídrica da cuenta de cómo las personas han intervenido los sistemas naturales y, en particular, el ciclo hidrológico, con el propósito de acceder al agua, disponer de ella en otras estaciones, trasvasarla, depurarla, e incluso desalarla, accediendo de esta forma a las aguas marinas del borde costero.

2.4.1 Infraestructura Hidráulica

2.4.1.1 Embalses

Dentro de la infraestructura hídrica, los embalses se configuran como obras de ingeniería que tienen como fin la acumulación y resguardo del agua para su aprovechamiento posterior. Es fundamental identificar los embalses y sus características en una cuenca, en tanto funcionan como garante de la distribución de agua potable en períodos de sequía.

La cuenca en estudio cuenta con más de 120 obras de acumulación, de las cuales 3 corresponden a uso de abastecimiento de agua potable y saneamiento, localizados en la comuna de Machalí y propiedad de Codelco, División El Teniente; 43 embalses son utilizados

para riego y recreación; 7 embalses corresponden a relaves mineros de División El Teniente y Minera Chancón, principalmente.

Los embalses más importantes para la cuenca, por su capacidad, son tres: **Embalse Rapel (695 hm³)**, asociado a la hidroeléctrica de mismo nombre, propiedad de ENEL; el **Embalse Convento Viejo (ECV, 233 hm³)**, en la parte alta de la cuenca del río Rapel, subcuenca río Tinguiririca; y el **Embalse Los Cristales (10 hm³)**.

En cuanto al **Embalse Convento Viejo**, surge a partir de la preocupación por regar los valles, sobre todo por la pérdida de caudales de aguas superficiales durante los meses de invierno, comenzando la construcción de su primera etapa el año 1983. Actualmente, el embalse acumula aguas del Estero Chimbarongo y del canal Teno-Chimbarongo, con el propósito de regular sus caudales, entregando una mayor capacidad y estabilidad de riego. Aumenta la disponibilidad de agua en la zona actualmente regada del valle de Chimbarongo y permite incorporar a riego los valles de Lolol, Nilahue y Pumanque. Durante los últimos años, se han ejecutado las últimas obras de ampliación del embalse Convento Viejo, incrementando su capacidad hasta 237 millones de metros cúbicos (Embalse Convento Viejo, 2022).

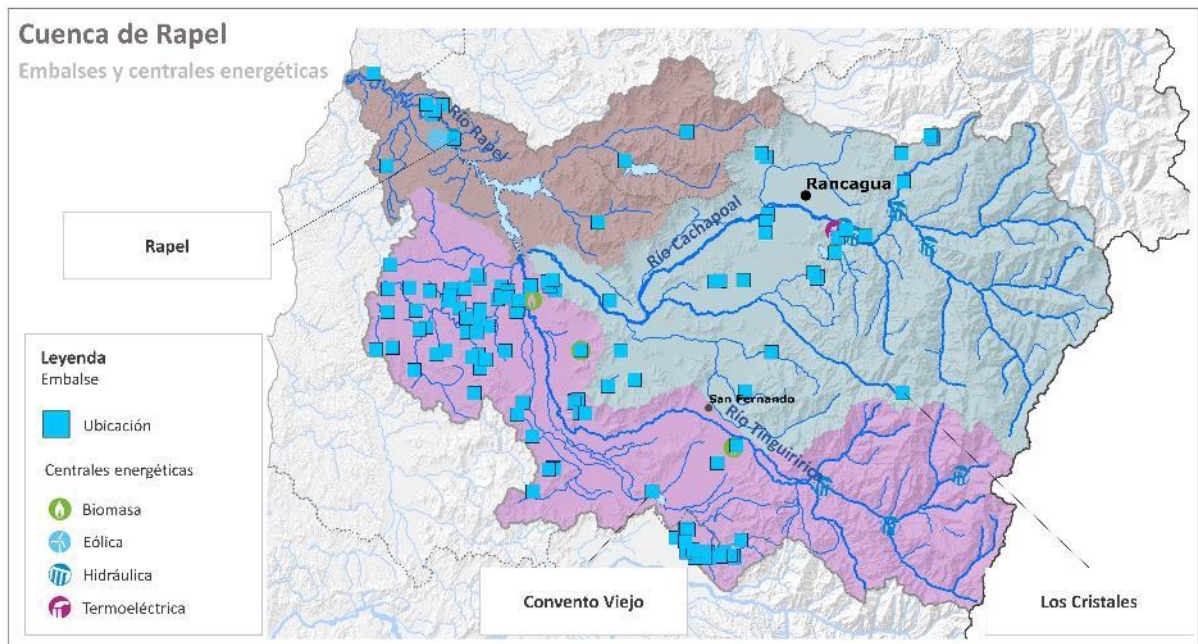
En específico, las últimas partes del proyecto del embalse Convento Viejo incluyeron el diseño y construcción de una red de canales que distribuyen las aguas para el riego de al menos 17.000 ha. en el valle de Lolol-Ñilahué. En particular, la fracción de la red primaria de riego se emplaza en el sector de Ñilahué y corresponde a un canal de transferencia con 3,5 km. de longitud, que capta sus aguas desde una bocatoma en el estero Nerquihue, transmitiendo un caudal de 3,6 m³/s (Concesionaria Convento Viejo, 2011).

En la **Figura 2-24**, se representan espacialmente los embalses existentes dentro de la Cuenca de Rapel.

2.4.1.2 Trasvases

Dentro de las obras hidráulicas, los trasvases procuran incrementar la disponibilidad de agua en zonas concretas donde existe riesgo de escasez hídrica, o bien, donde es necesario otorgar mayor aprovisionamiento para las actividades que lo requieran. Usualmente, los trasvases llevan agua desde una cuenca a otra, por lo que es necesario identificarlos para comprender los recursos hídricos que efectivamente se aprovechan dentro de la cuenca en estudio.

Uno de los principales trasvases presentes en la cuenca Rapel, no sólo por su tamaño sino también por su función en tanto contribuye a dos de las actividades más importantes de la cuenca, es el trasvase río Teno-Estero Chimbarongo. Se trata de un canal construido por la empresa ENDESA para, por un lado, aportar en la generación de energía hidroeléctrica y, por otro, responder a la necesidad de aumentar la capacidad de riego del embalse Convento Viejo en los inicios de su construcción, permitiendo la generación en el sistema Embalse Convento Viejo y Embalse Rapel en la cuenca homónima al norte, específicamente en la subcuenca Río Tinguiririca y Estero Las Cadenas (Dirección General de Aguas, 2012).



Fuente: DGA (2020)

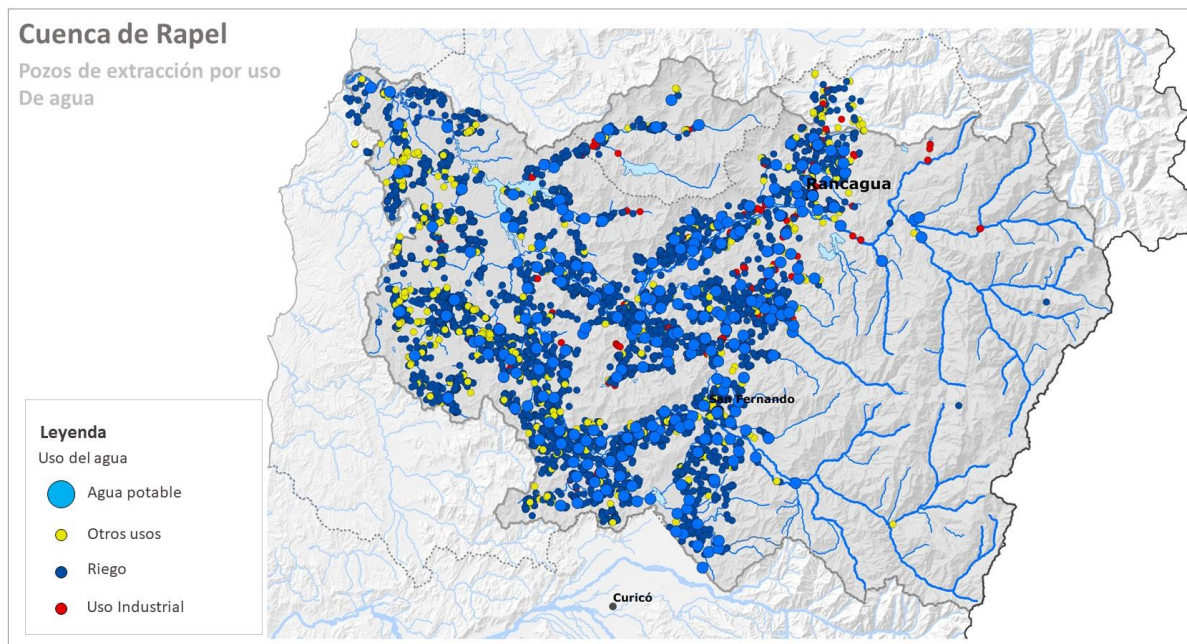
Figura 2-24 Embalses y centrales energéticas en la Cuenca de Rapel

El canal cuenta con un desarrollo de 19,6 kilómetros y una capacidad de 65 m³/s. Algunos estudios mencionaron que, del total de la capacidad del canal, 40 m³/s estarían destinados a riego y 25 m³/s a la generación de energía hidroeléctrica a través del embalse Convento Viejo y posteriormente hacia la hidroeléctrica Rapel. Los caudales provenientes del río Teno se descargan así, en el embalse Convento Viejo en primera instancia (Gómez, 2001).

2.4.1.3 Pozos

Los pozos se configuran como obras hidráulicas que buscan extraer agua subterránea, por lo que su identificación y características permite entender el contexto de cada lugar y permite explicar situaciones, por ejemplo, de escasez hídrica o de otorgamiento de aguas para actividades productivas, comprendiendo el panorama general de las diferentes subcuencas.

Según los derechos otorgados subterráneos, en la cuenca del Rapel existen 5.608 extracciones entre los diferentes usos; 78% uso agrícola, 9% consumo humano, 13% otros usos. En la **Figura 2-25** se presentan la ubicación de la infraestructura según su uso.



Fuente: Elaboración propia en base a información otorgada por DGA

Figura 2-25 Pozos de extracción por uso de agua (Potable urbana, Potable Rural, Agrícola, industrial, otros)

2.4.2 Centrales Hidroeléctricas

En Chile, las centrales hidroeléctricas generan aproximadamente un 44% de la potencia instalada en el Sistema Interconectado Central (SIC), que abastece a casi el 93% de la población del país. En este sentido, esta infraestructura se considera como una forma de producción con un bajo costo de operación asociado. Las centrales pueden ser de pasada o embalse, teniendo estas últimas la capacidad de regular y almacenar volumen de agua, respondiendo rápidamente a las fluctuaciones de demandas que se producen en un día (Guzmán, 2013).

En la cuenca del río Rapel, existen 14 estaciones hidroeléctricas; 8 de ellas se encuentran dentro de los límites de la subcuenca río Tinguiririca, 8 más en la subcuenca río Cachapoal y 1 perteneciente a la subcuenca río Rapel, operación homónima de tipo embalse en la parte baja de la cuenca en estudio. La **Tabla 2-10** presenta un resumen con las estaciones hidroeléctricas presentes en la cuenca, destacando su nombre, la empresa a la que pertenece, el tipo de estación y la potencia de cada una.

Tabla 2-10 Centrales hidroeléctricas presentes en la Cuenca Río Rapel

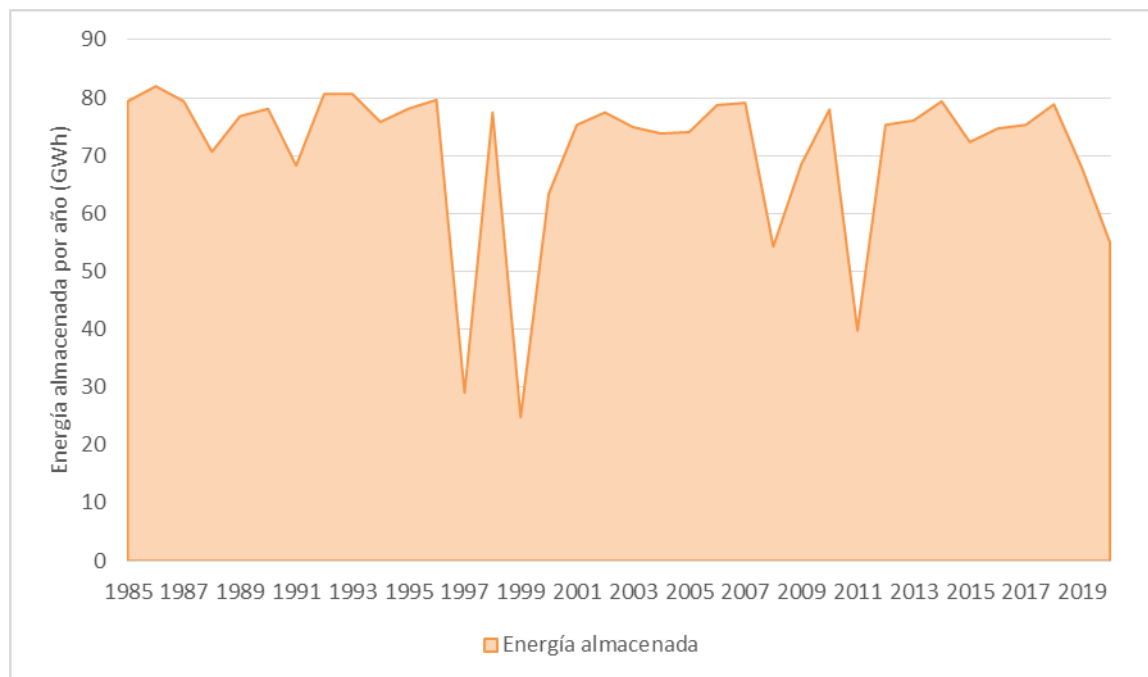
Nombre	Propiedad	Tipo	Potencia (MW)	Localización Subcuenca
Convento Viejo	Embalse Convento Viejo	Hidráulica pasada	16,0	Río Tinguiririca
La Higuera	Tinguiririca Energía	Hidráulica pasada	170,0	
La Confluencia		Hidráulica pasada	155,0	
San Andrés	Hidroeléctrica San Andrés	Hidráulica pasada	40,3	
Dos Valles	Hidroeléctrica Dos Valles	Mini Hidráulica pasada	4,5	
El Paso	Hidroeléctrica El Paso Ltda.	Hidráulica pasada	60,0	
Corrales	Hidro. Corrales SpA	Mini hidráulica pasada	3,0	
Las Damas	Hidroeléctrica Dos Valles	Hidráulica pasada	12,0	
Total por Subcuenca Tinguiririca			460,8	
Cipresillos	Eléctrica Cipresillos SpA	Hidráulica pasada	9,0	Río Cachapoal
Nido de Águilas	Hidro. Nido de Águilas S.A	Hidráulica pasada	125,0	
Chacayes	Pacific Hydro	Hidráulica pasada	112,0	
Pangal		Hidráulica pasada	37,0	
Coya		Mini hidráulica pasada	12,0	
Sauzal	ENEL	Hidráulica pasada	76,8	
Sauzalito		Mini hidráulica pasada	12,0	
La Compañía II	Empresa eléctrica La Compañía	Mini hidráulica pasada	2,5	
Total por Subcuenca			386,3	
Rapel	ENEL	Hidráulica embalse	378,0	Río Rapel
Total por Cuenca			1.225,1	

Fuente: Elaboración propia

Las empresas con mayor presencia en la cuenca de estudio son Pacific Hydro y ENEL, con tres centrales cada una. Por otro lado, entre las centrales con mayor potencia energética se encuentra el embalse Rapel de ENEL, con 378 MW; seguida de la hidráulica de pasada La Confluencia (163,2 MW); central de pasada La Higuera (155 MW); y Sauzal, de la empresa ENEL, con 76,8 MW.

La empresa ENEL ha formado parte del desarrollo territorial de la cuenca, al estar presente desde la década de los 60' como Endesa; gracias a la construcción de la central Rapel, trayendo incluso cambios respecto a las actividades económicas del sector, donde la presencia del lago artificial impulsó el vuelco de la actividad económica hacia el turismo en las localidades cercanas. Por su parte, la central Sauzal comenzó su funcionamiento en mayo de 1948 y quedó concluida en julio de 1955, mediante un convenio entre Chilectra y CORFO, abasteciendo principalmente a la ciudad de Santiago. Sauzalito, por su parte, formó parte de una etapa en la que se avanzó hacia la consolidación de un sistema interconectado entre las distintas regiones geográficas (ENEL, 2020).

El embalse Rapel cuenta con una capacidad de 680 hm³ (DGA, 2004). La **Figura 2-26** muestra la energía acumulada anualmente desde 1985 a la actualidad, según datos de la Comisión Nacional de Energía. Los datos muestran un promedio anual de 70,9 GWh desde su funcionamiento hasta hoy en día, con fuertes descensos los años 1997, 1999 y 2011; y con una tendencia a la baja en la energía almacenada los últimos tres años.



Fuente: Elaboración propia en base a Comisión Nacional de Energía (2020)

Figura 2-26 Energía almacenada en embalse Rapel 1985-2020

Por otro lado, Pacific Hydro ha operado por más de 20 años en Chile, produciendo energía con proyectos, sobre todo en la región de O'Higgins. Si bien algunas de las centrales de las cuales es propietario son Chacayes, Pangal y Coya; también participa, juntamente con la multinacional Statkraft mediante un *joint venture* (Statkraft, 2022), en la operación de las centrales hidroeléctricas La Higuera y La Confluencia, situadas en la subcuenca del río Tinguiririca y con una alta potencia energética.

2.4.3 Infraestructura de Riego

La infraestructura de riego corresponde a un conjunto de estructuras u obras que hacen posible que una determinada área pueda ser cultivada mediante la aplicación de aguas necesarias para su crecimiento (Comisión Nacional de Riego, 2022).

La cuenca de Rapel está formada por cauces importantes como el río Cachapoal, río Claro de Rengo, río Tinguiririca y esteros como Zamorano, Las Toscas y Chimbarongo, dentro de

los cuales se forma un entramado de infraestructura para conducción y redistribución de aguas.

En este sentido, la red de canales de la cuenca de Rapel constituye una de las tantas infraestructuras de la cuenca. Según antecedentes de la E-SIIR, de la Comisión Nacional de Riego, la red de canales existente alcanza aproximadamente 5.700 km de longitud.

Como se observa en la **Tabla 2-11**, los canales se distribuyen mayormente en la unidad de gestión río Cachapoal, en menor medida en río Tinguiririca, y ya en una cifra más baja en estero Las Cadenas y río Rapel.

Tabla 2-11 Canales según unidades de gestión

Unidad de Gestión	Canales		Bocatomas	
	km	%	Número	%
Cachapoal	3.203	56,20%	283	35,82%
Tinguiririca	1.997	38,17%	324	41,01%
Río Tinguiririca y Chimbarongo	1.978	34,70%	269	34,05%
Esteros Las Cadenas	19	3,47%	55	6,96%
Rapel	321	5,63%	183	23,16%
Total	5.700		790	

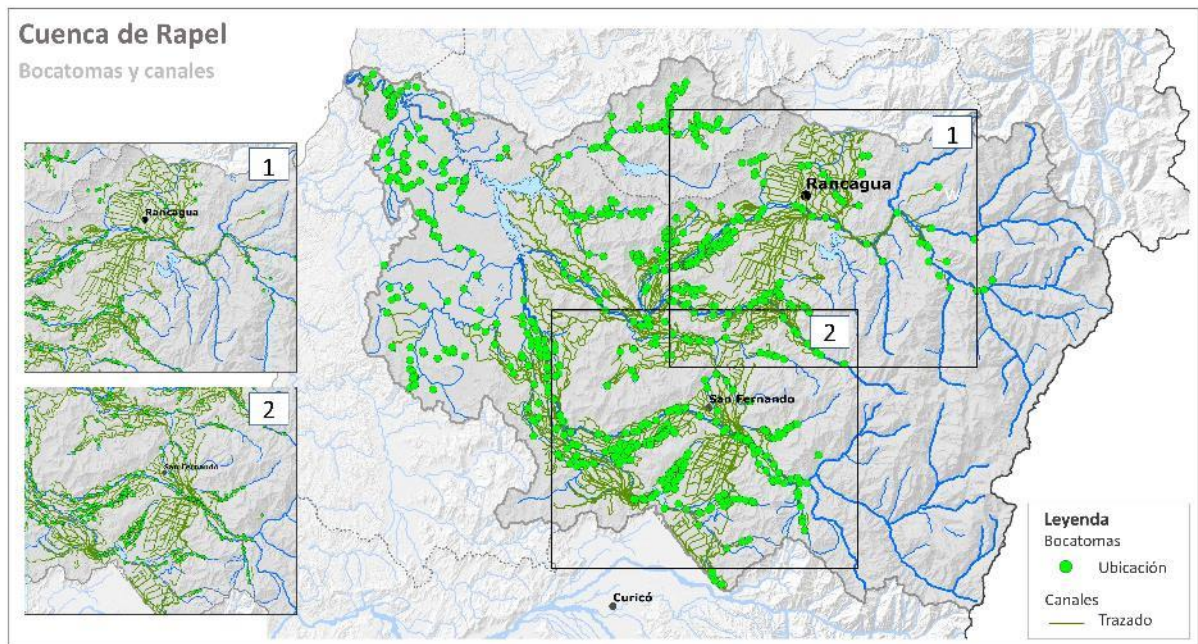
Fuente: Elaboración propia a partir de E-SIIR (2021)

En la **Figura 2-27** se observa la distribución espacial de la infraestructura de canales dentro de cada unidad de gestión.

La cuenca de Rapel y su infraestructura de riego también cuentan con elementos de captación como bocatomas, los cuales según E-SIIR, son aproximadamente 790. La distribución según las unidades de gestión se visualiza en la siguiente figura.

Para el desarrollo del estudio y para los aspectos de la modelación, la cuenca fue dividida en zonas de riego (**Figura 2-28**). Estas delimitaciones ayudan a la concatenación de áreas que compartan o tengan infraestructuras de similar tipo.

En el caso del estado de la estructura de canales, se puede decir que, en Cachapoal hay necesidad de mejora de obras de riego, puesto que, no más del 50% de aquellos sectores con superficies bajo canales recibe recursos, esto debido a la escasa eficiencia de la conducción de agua. Además, se requieren mejoras en obras de captación, distribución y sistemas de monitoreo.



Fuente: Elaboración propia a partir de E-SIIR (2021)

Figura 2-27 Canales y bocatomas en la Cuenca Rapel

En el caso de Tinguiririca, existen solo dos organizaciones de usuarios que cuentan con reparto de aguas eficiente. Chimbarongo, tiene el 100% de bocatomas con sistema de telemetrías y compuertas automatizadas, lo que determina que su reparto sea eficiente. Otras organizaciones no tienen los sistemas mencionados, como en estero Güirivilo, donde la mayor parte de las obras son de tipo provisionarias.

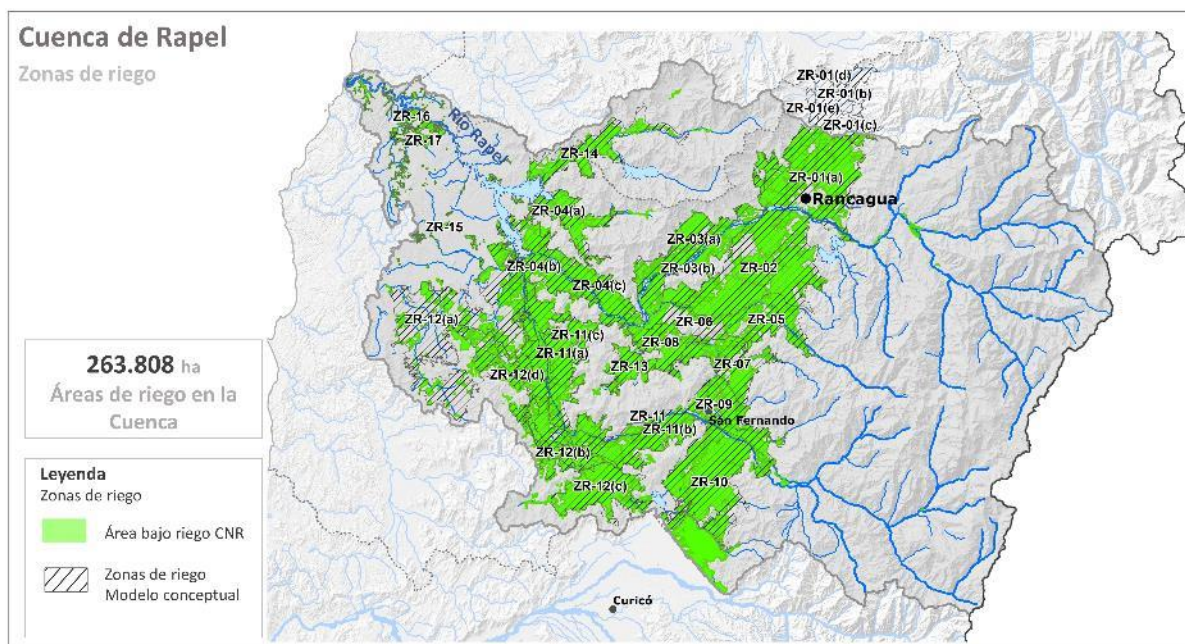
Para Rapel, si bien, no existe mucha bibliografía que aborde el estado de canales y tecnología, se puede indicar que la gran mayoría de canales de regadío cuenta con restricciones por superar normativa de parámetros microbiológicos.

La superficie bajo riego para la totalidad de la cuenca de Rapel corresponde a 212.478 ha., que sumando la superficie que riega la Junta de Vigilancia Primera Sección el Cachapoal asciende a 219.784 ha. (**Tabla 2-12 y Figura 2-28**).

Tabla 2-12 Superficie de Riego Cuenca del Rapel

Sector de riego	Área (ha)	Zonas de Riego WEAP
Primera Cachapoal	50.374	
Dentro de cuenca	43.068	ZR-01a; ZR-02
Fuera de la cuenca (Codegua)	7.306	ZR-01b,c,d,e
Segunda Cachapoal	13.719	ZR-03a,b
Tercera Cachapoal	24.894	ZR-04a,b,c
Rio Claro	10.002	ZR-05,ZR-06
Zamorano	10.567	ZR-08,ZR-13
UG Cachapoal	109.556	
Tinguiririca	59.529	ZR-07,ZR-09,ZR-10,ZR-11a,b
Chimbarongo + Pequeños esteros	31.038	ZR-12b,c,d
Las cadenas	8.712	ZR-12a
UG Tinguiririca	99.280	
Alhué	6.225	ZR-14
Rapel	4.724	ZR-15,ZR-16,ZR-17
UG Rapel	10.949	
Total (Cuenca Rapel)	212.478	
Total (Cuenca Rapel +Codegua)	219.784	

Fuente: CNR (2021)



Fuente: Modificado de CNR (2006)

Figura 2-28 Diagrama de Zonas de Riego cuenca de Rapel

La cuenca se caracteriza por mantener una compleja red de canales que en su totalidad permiten la distribución de aguas de riego para los distintos sistemas que los componen. Es así como la tecnificación de cada una de estas estructuras puede variar tanto entre unidades de gestión como entre juntas de vigilancia. Por lo mismo, se subraya la importancia de mantener un catastro actualizado de cada uno de los elementos que componen esta trama, como lo son canales, bocatomas, etc. Para más información, ver **Anexo H, sección 2.**

2.4.4 Infraestructura Sanitaria

La infraestructura sanitaria se conforma como parte de las diferentes obras que buscan otorgar provisión de agua en sectores urbanos y rurales, así como también servicios sanitarios, influyendo directamente en la seguridad hídrica de las personas.

2.4.4.1 Provisión de agua potable en sectores urbanos

En Chile el 99,7 % de la población está cubierto por empresas sanitarias (SISS, 2020). La Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) es la institución normativa y fiscalizadora de las empresas sanitarias que prestan los servicios de agua potable y alcantarillado. Estas empresas son entidades de servicio en formato de concesionaria por un periodo de tiempo estipulado. Por otra parte, la SISS tiene atribuciones respecto al servicio de agua potable en: otorgar concesión de servicios sanitarios, fijación de tarifas por los servicios (agua potable y alcantarillado) y fiscalización de la normativa vigente.

En la cuenca de estudio existe 1 empresa sanitaria abasteciendo centros urbanos, siendo ESSBIO S.A. la empresa que abastece la totalidad de las localidades urbanas de la cuenca del río Rapel, con un total de **2.871.540** clientes. Las ciudades de Rancagua, San Fernando y Machalí son aquellas que concentran una mayor cantidad de clientes (ver **Tabla 2-13**).

Tabla 2-13 Número de clientes de empresa sanitaria ESSBIO por localidad

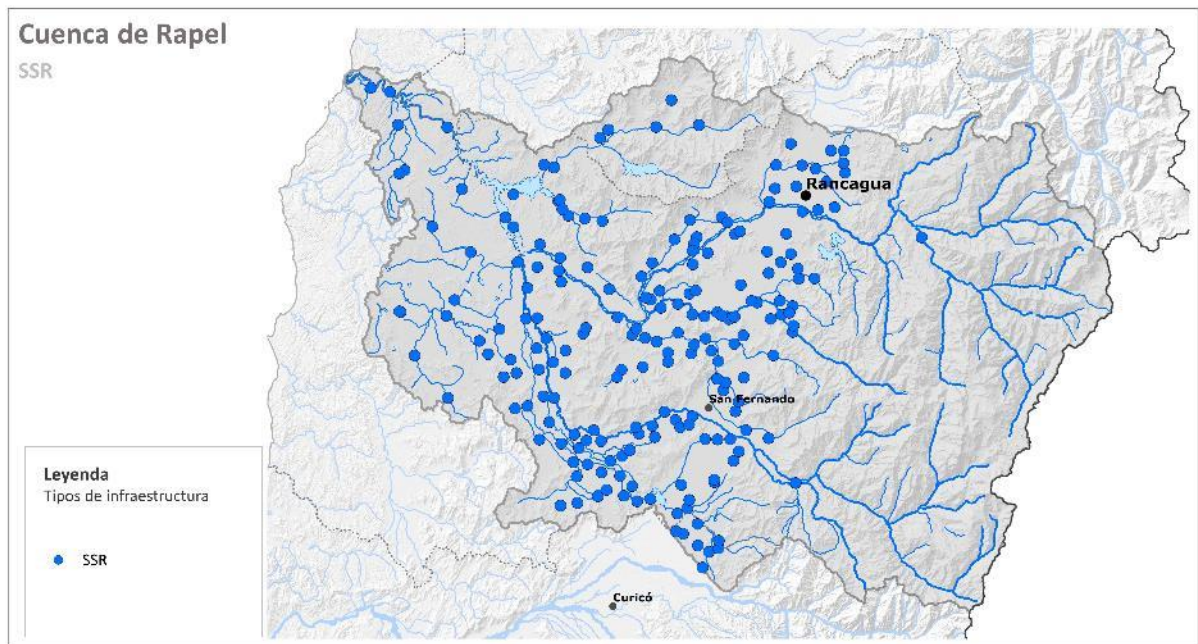
Localidad	Clientes	Localidad	Clientes
Boca de Rapel	9.055	Lo Miranda	41.266
Chépica	26.292	Malloa	10.718
Chimbarongo	77.282	Machalí	221.312
Codegua	31.930	Nancagua	38.997
Coinco	9.594	Olivar Alto	20.731
Coltauco	35.166	Navidad	6.411
Coya	7.086	Palmilla	13.578
Doñihue	34.903	Pelequén	12.126
Graneros	120.397	Peralillo	22.311
Las Cabras	34.221	Peumo	40.603
Población	6.890	Pichidegua	24.567
Puente Negro	9.698	Placilla	9.290
Quinta de Tilcoco	35.221	Rosario	29.554
Rancagua	1.184.543	San Fernando	295.868
Rengo	195.699	Santa Cruz	126.664
Requínoa	44.770	San Vicente de Tagua Tagua	94.797
Total Cuenca			2.871.540

Fuente: SISS, 2021

En la cuenca Rapel existen 32 localidades urbanas que cuentan con suministro de agua potable, proporcionado únicamente por la empresa ESSBIO. Además, existe una dotación total de 24 Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) que proporcionan este servicio para las diferentes localidades.

2.4.4.2 Provisión de agua potable en sectores rurales

Por su parte, para el entorno rural, el informe de Análisis de Servicios Sanitarios Rurales (SSR) para la cuenca del río Rapel (DOH, 2021) reporta un **total de 200 SSR**, 188 ubicados en la región del Libertador Bernardo O'Higgins, 7 en la Región del Maule y 5 en la Región Metropolitana. La **Figura 2-29** muestra la distribución de estos SSR, concentrados sobre todo en la zona del valle de la cuenca.



Fuente: Elaboración propia con datos DGA (2021)

Figura 2-29 Localización SSR

2.4.4.3 Plantas de Tratamientos de Aguas Servidas

Para el caso de las aguas servidas de las localidades de Graneros, Machalí y Rancagua, éstas son llevadas a la PTAS de Rancagua; las aguas servidas de Codegua y Mostazal son llevadas a la PTAS de San Francisco de Mostazal; en el caso de la localidad de Rosario, Pelequén y Rengo, sus aguas servidas son tratadas en la PTAS de Rengo; y similar situación ocurre con las aguas servidas de la localidad de Lo Miranda y Doñihue, tratadas en la PTAS de ésta última.

Adicionalmente, las localidades de Quinta de Tilcoco, Coya y Puente Negro no presentan sistemas de recolección de aguas servidas.

2.4.5 Minería y tranques de relave

Si bien la minería se configura como actividad productiva, los tranques de relaves asociados a esta actividad suelen ser obras hidráulicas importantes, al almacenar grandes volúmenes de agua.

La principal actividad minera en la cuenca Rapel procede de las faenas de División El Teniente, localizado en la comuna de Machalí. Junto con la gran minería, se encuentra la mediana minería representada por Minera Valle Central (que procesa los relaves de El

Teniente para recuperar cobre y molibdeno). Según datos del Consejo Minero (2019), la minería representa el 2% del total de consumo de agua en la región.

En cuanto a las faenas mineras presentes en la cuenca en estudio, se identificaron un total de 389 faenas, la mayor parte de ellas relacionadas con CODELCO (99 faenas) y Minera Florida Ltda. (91 faenas), ubicada en la comuna de Alhué. 118 del total de faenas corresponden a minas subterráneas y 6 minas de rajo abierto. El cobre es el mineral principal que se extrae del total de faenas, con 140 puntos de producción de cobre en sus diferentes etapas; junto con el oro, con 217 faenas que tienen este mineral como el principal resultado de su producción.

Según el catastro de tranques de relaves, del Servicio Nacional de Geología y Minería (última actualización al 10 de agosto del 2020), en la cuenca en estudio se localizan un total de 9 tranques de relaves; 5 de ellos forman parte de la faena de División El Teniente, de Codelco, y 3 de ellos de la Compañía Minera El Inglés. El detalle de los tranques de relaves identificados y el volumen autorizado y actual se encuentra representado en la **Tabla 2-14**.

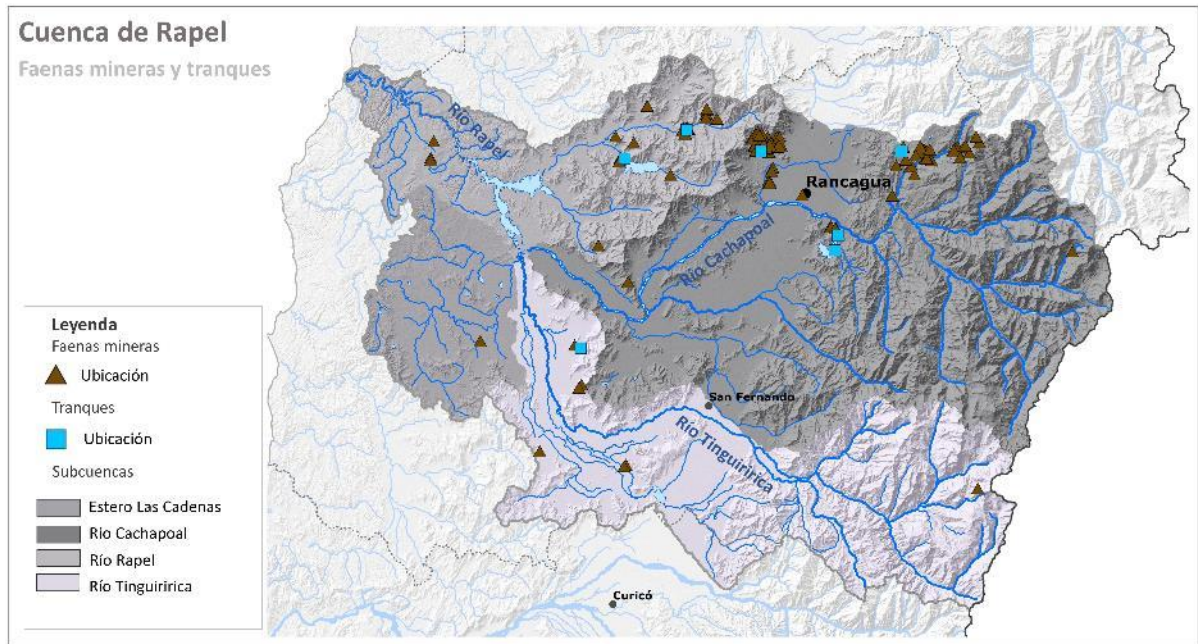
Por último, el total de faenas mineras y tranques presentes en la cuenca río Rapel se encuentran identificadas en la **Figura 2-30**. En esta infografía destaca la gran cantidad de faenas mineras en el sector oriente desde Rancagua, en la comuna de Machalí, donde se inserta la principal actividad minera de la cuenca Rapel: División El Teniente.

Tabla 2-14 Tranques de relaves y volumen autorizado/actual en la cuenca río Rapel

Empresa	Faena	Vol. Autorizado (m³)	Vol. Actual (m³)
Cía. Minera El Inglés	Planta El Inglés	70.600	0
Cía. Minera El Inglés	Planta El Inglés	116.400	0
Cía. Minera El Inglés	Planta El Inglés	171.111	0
Min. Valle Central	El Teniente	242.666.667	190.406.575
Min. Los Robles	Rumana de Chacón	30.660	0
CODELCO	El Teniente	13.333.333	0
CODELCO	El Teniente	1.450.000	0
CODELCO	El Teniente	1.450.000	0
CODELCO	El Teniente	1.200	0

Fuente: Elaboración propia en base a Catastro de Depósitos de Relaves SERNAGEOMIN¹⁰

¹⁰ <https://www.sernageomin.cl/datos-publicos-deposito-de-relaves/>



Fuente: DGA (2020)

Figura 2-30 Faenas Mineras y Tranques de Relave

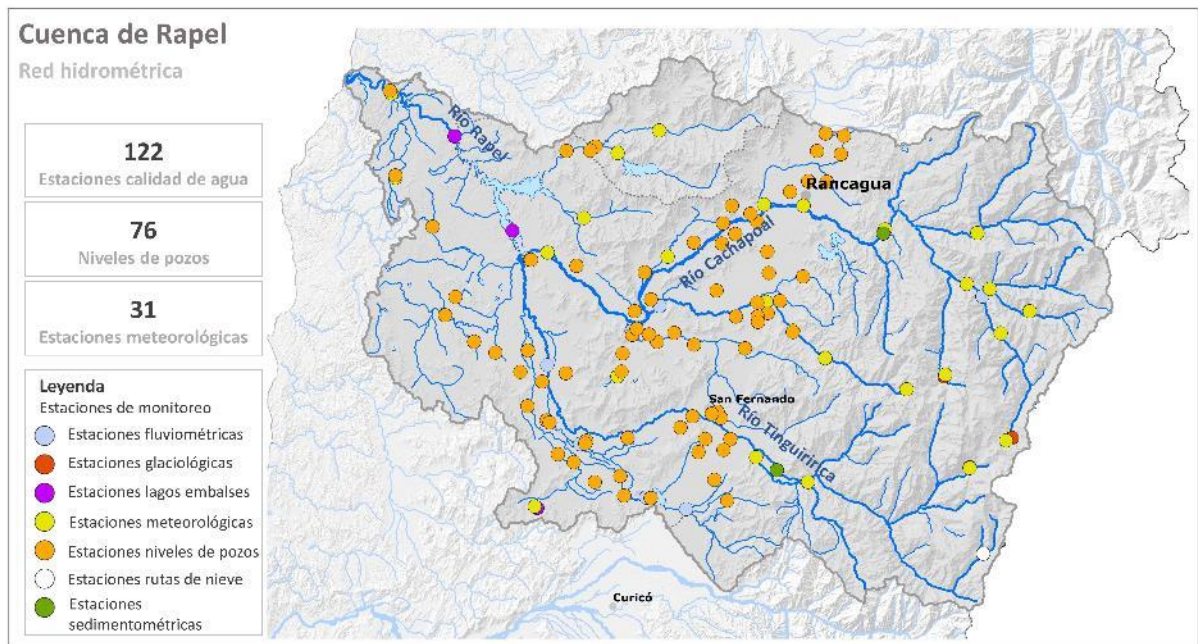
2.4.6 Redes de medición

Las redes de medición se configuran como parte importante de la infraestructura hídrica en tanto buscan monitorear y recabar información sobre los recursos hídricos presentes en cada cuenca. De esta manera, identificar las diferentes redes y estaciones de monitoreo, permite no sólo dar cuenta de los recursos hídricos, sino también las brechas de información asociadas a la posible falta de redes de medición en una cuenca.

2.4.6.1 Red Hidrométrica

La cuenca de Rapel dispone una red hidrométrica vigente con 31 estaciones meteorológicas y 18 fluviométricas. Respecto a las estaciones de medición de sedimentos, la cuenca dispone de 2 estaciones, una estación en río Cachapoal y otra en el río Tinguiririca. Con respecto a las estaciones que miden niveles de pozos, en la cuenca se cuenta con un total de 76 estaciones; junto con 3 estaciones glaciológicas; 3 estaciones con medición de lagos y embalses; y 1 estación de rutas de nieve, localizada aguas arriba del río Tinguiririca.

La distribución de estas estaciones se presenta en la **Figura 2-31**.

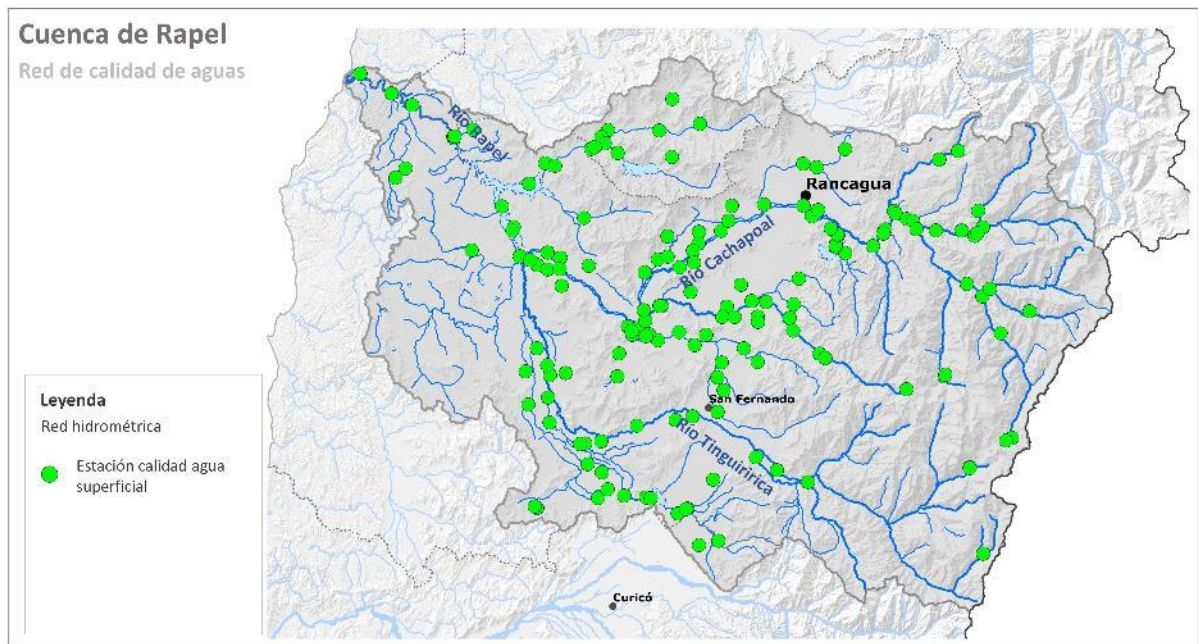


Fuente: DGA (2020)

Figura 2-31 Red hidrométrica en la Cuenca de Rapel

2.4.6.2 Red de Calidad de Aguas

La Dirección General de Aguas reporta 122 estaciones de monitoreo de Calidad de Aguas, sin embargo, 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 2-32**.



Fuente: DGA (2020)

Figura 2-32 Red Calidad de Aguas en la Cuenca de Rapel

2.5 Nuevas fuentes de agua

El uso creciente de los recursos hídricos producto de una mayor demanda poblacional, por las actividades productivas, al mismo tiempo que se dispone de una oferta decreciente producto de una explotación de las aguas por sobre la disponibilidad real, resulta en una necesidad constante por acceder a nuevas fuentes de agua que permitan reducir el riesgo de abastecimiento y contribuir a la seguridad hídrica de las personas, de los ecosistemas y de las actividades productivas. A continuación, se evalúa la posibilidad de acceder a nuevas fuentes de agua en esta cuenca, como pueden ser acuíferos y su recarga, la operatividad de embalses, reutilización de aguas, trasvases y el rol de nieves y glaciares.

2.5.1 Embalses

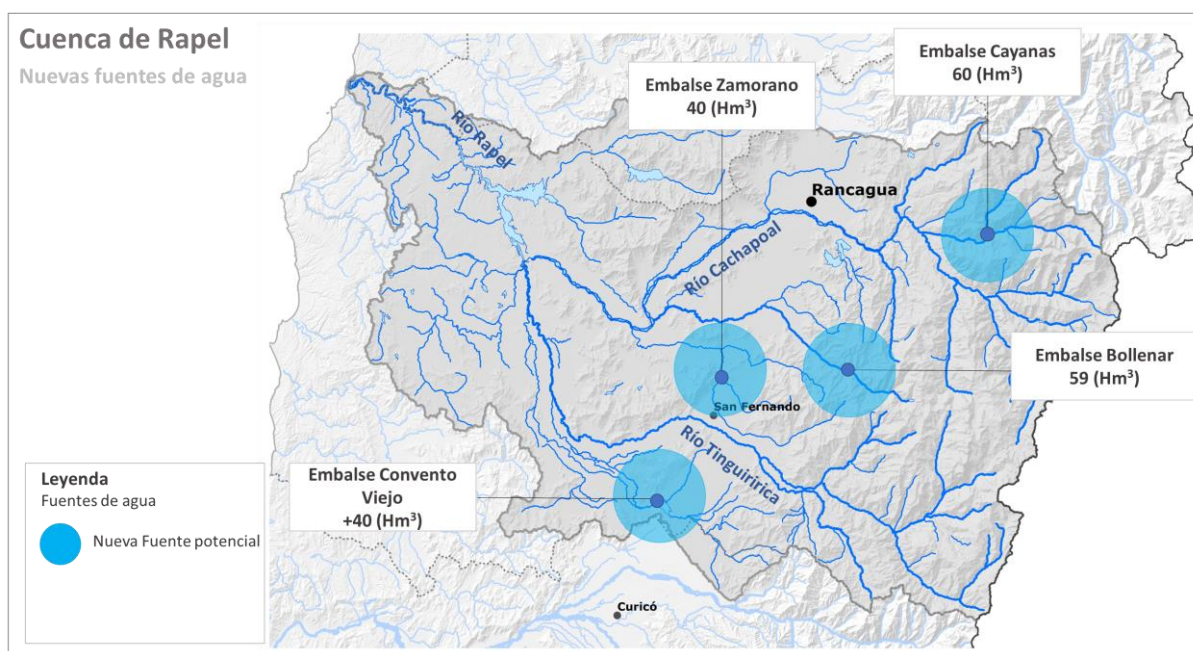
Pese a que la cuenca río Rapel actualmente cuenta con un total de 932 hm³ de agua embalsados, existe demanda por la construcción de nuevos embalses que permitan aumentar la seguridad de riego debido a la disminución del recurso hídrico en temporadas estivales. A continuación, la **Tabla 2-15** muestra la capacidad y la superficie de los embalses proyectados para la cuenca, a partir de información recopilada de los embalses priorizados del Ministerio de Obras Públicas; estudios de prefactibilidad; y de las menciones realizadas por las organizaciones de usuarios en cada cuenca.

Tabla 2-15 Proyección de embalses de regulación cuenca Rapel

ID	Embalse	Subcuenca	Cauce	Capacidad (hm ³)
1	Las Cayanas	Pangal	Confluencia río Blanco y río paredones (Agua arriba de la central Pangal)	60
2	Bollenar	Río Claro de Rengo	Claro de Rengo	59
3	Convento Viejo 3.0	Chimbarongo	Estero Chimbarongo	40 (277 total)
4	Zamorano	Estero Zamorano	Estero Zamorano	40
				199

Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 2-33** se identifica la ubicación de este embalse proyectado.



Fuente: Elaboración propia con datos del Plan Nacional de Embalses 2019 y otros documentos

Figura 2-33 Embalses proyectados en la cuenca del Río Rapel

2.5.1.1 Embalse Las Cayanas

El embalse Las Cayanas se encuentra cercano a la estación de seguimiento meteorológico del mismo nombre, en la primera sección del río Cachapoal. Esta obra ha sido solicitada por la Junta de Vigilancia de esta sección, y ya fue mencionada en el Plan de Gestión de Riego del río Cachapoal (CNR, 2016). Esta obra podría ser de carácter multipropósito, en tanto podría proveer de seguridad hídrica tanto a los regantes del valle, como a Codelco División El Teniente. Por la misma razón, la minera ha realizado también estudios preliminares para evaluar su viabilidad.

2.5.1.2 Embalse Bollenar

El proyecto de construir el Embalse Bollenar, nace a partir de estudios de prefactibilidad ejecutados por la Comisión Nacional de Riego entre los años 2013 y 2015. En complemento, entre el 2019 y 2021 se desarrolló el estudio de factibilidad por parte de la Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas, el que concluyó que el tipo de presa más conveniente sería el CFRD (Concrete Face Rockfill Dam), conformado por rellenos de naturaleza mixta de enrocados compactados, extraídos desde dos canteras ubicadas en la zona de inundación y material granular de río. Esta presa tendría una altura máxima de unos 106,5 m, con un volumen de almacenamiento de 59 hm³, que permitirá tener una capacidad de riego para 9.000 ha.

La construcción del embalse Bollenar permitirá regular los recursos hídricos del río Claro de Rengo. Esta zona altamente productiva posee actualmente una superficie bajo cota de canal estimada de 7.700 ha, de las cuales sólo es posible regar del orden de 5.700 ha. Esta obra de regulación permitirá regar con 85% de seguridad la totalidad de las 7.700 ha, bajo cota de canal y regar nuevas áreas de riego sobre cota de canal mediante bombeo.

Los pasos siguientes de esta obra consisten en gestionar los recursos necesarios para que durante 2022 se continúe con las siguientes etapas, como estudios de impacto ambiental y el diseño de ingeniería propiamente tal, para la alternativa seleccionada, antes de definir la construcción del embalse Bollenar, cuya inversión sería de alrededor de 150 millones de dólares¹¹.

2.5.1.3 Embalse Convento Viejo

El Embalse Convento Viejo cuenta con distintas etapas de desarrollo. En 1993, se terminó la construcción del embalse Convento Viejo Etapa I, incluyendo una obra evacuadora de crecidas pluviales. El año 2003 se iniciaron los estudios para la Etapa II, que consiste en

¹¹ Revisado en <http://elurbanorural.cl/mop-ohiggins-recibe-informe-final-del-estudio-de-factibilidad-construccion-embalse-bollenar-de-rengo/>

elevar a 237 millones de metros cúbicos la capacidad de embalse, ampliando la zona de riego. Su ejecución comenzó el año 2004 y concluyó el año 2009.

El nuevo embalse acumula las aguas del estero Chimbarongo y del canal Teno – Chimbarongo, con el propósito de regular sus caudales, entregando una mayor capacidad y estabilidad de riego. Aumenta la disponibilidad de agua en la zona actualmente regada del valle de Chimbarongo y permite incorporar a riego los valles de Lolol, Nilahue y Pumanque¹².

Actualmente el Embalse Convento Viejo provee 130 hm³ al sector de riego de Pumanque, sumado a 37,7 hm³ que proporciona a la Junta de Vigilancia del Estero Chimbarongo (27,7 hm³) más los derramistas (10,0 hm³). El Proyecto Integral de Riego Marchigüe considera además poner bajo riego un total de 10.000 ha., en lo que se denomina la Fase 3 de la Etapa 2.

2.5.1.4 Embalse Río Claro de Tinguiririca

No existen registros previos de esta obra. Sin embargo, fue propuesta por la Junta de Vigilancia de la primera sección del río Tinguiririca, como una alternativa para contrarrestar los menores flujos estivales previstos ante el derretimiento de las masas glaciares que hoy en día proveen de seguridad hídrica a la cuenca. Por la misma razón, el volumen estimado (20 hm³) es completamente referencial.

2.5.2 Acuíferos

La cuenca cuenta con 20 Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común (SHAC), los que en su conjunto tienen un stock estimado de 78.298 hm³ para el período 2011-2020, un 2,2% inferior al estimado para la década anterior. La recarga estimada para la última década es de 243,99 m³/s, un 7,9% inferior a lo estimado para la década 2001 – 2010.

En este sentido, la reserva contenida en los acuíferos es de alrededor de 14 veces la demanda proyectada para el período 2021 a 2050, mientras que la recarga sería alrededor de 1,4 veces la demanda proyectada.

En este sentido, y considerando además la alta proporción de SHAC que se encuentran en sectores de prohibición, se plantea que no es posible considerar la recarga natural de los acuíferos como una fuente alternativa a una menor disponibilidad de aguas superficiales, dado tanto la tasa de uso actual como la correlación que existe entre ambas.

¹² Revisado en <http://www.ecv.cl/historia.html>

Sin embargo, sí se estima que una recarga gestionada de acuíferos, como base para una gestión dinámica de estos continentes, puede ser considerada como una nueva fuente que permita abordar la menor disponibilidad y mayor variabilidad hídrica esperada a futuro.

2.5.3 Nieves y glaciares

Dentro de las nuevas fuentes de agua, la División El Teniente de Codelco en conjunto con la Junta de Vigilancia del río Cachapoal Primera Sección, desde el año 2005, llevan a cabo un programa de Estimulación de Precipitaciones o «siembra de nubes», que busca aumentar el caudal del cauce natural y disponer de mayor cantidad de agua para el consumo humano, la agricultura, generación eléctrica y minera.

El programa consta de 12 equipos generadores ubicados en la zona cordillerana del Alto Cachapoal, que realizan el trabajo de inyectar yoduro de plata a las nubes, lo que luego incrementa la precipitación sólida para acumular nieve durante la temporada. Dentro de los terrenos de la División, dos de ellos se encuentran en Colón y Chapa Verde. El yoduro de plata se quema a altas temperaturas (entre 900° y 1.100°). Las corrientes ascendentes favorecen que los cristales de yoduro lleguen hasta la nube (puede alcanzar los 3.000 metros, dependiendo de las condiciones).

2.6 Gobernanza del agua a nivel de Cuenca

2.6.1 Mapa de agentes

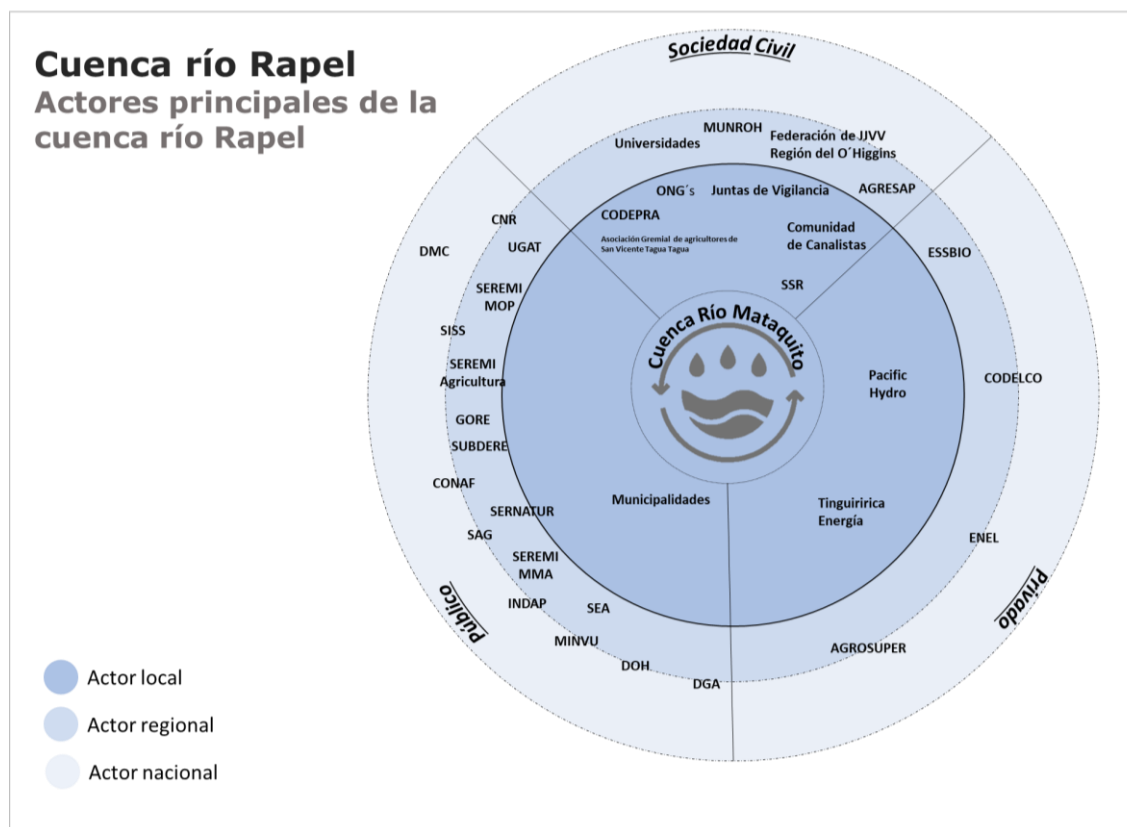
La Gobernanza del agua hace alusión al conjunto de actores, reguladores, usuarios o beneficiarios que interactúan en torno al recurso hídrico, y que permiten dar forma a una serie de normas o acuerdos, explícitos e implícitos, para la gestión del recurso.

En lo principal, se pueden distinguir actores públicos, que corresponden a los organismos del Estado con facultad normativa, fiscalizadora, de estudio, planificación y fomento sobre las aguas y los usuarios.

Los actores privados corresponden principalmente a titulares o beneficiarios directos de un derecho de aprovechamiento de agua consuntivo o no consuntivo. Destacan por cantidad y volumen destinado los usuarios con giro agrícola, organizados en Comunidades de Agua, Asociaciones de Canalistas, Juntas de Vigilancia y una Federación de Juntas a nivel regional. Por escala de trabajo, se priorizó el contacto con la Federación regional y las Juntas de Vigilancia.

2.6.1.1 Actores principales

Los principales actores que componen la gobernanza de la cuenca río Rapel, se presentan en la **Figura 2-34**, y se clasifican según Seguridad Hídrica relacionada a sus atribuciones, funciones, iniciativas o relacionamiento con otros actores. Adicionalmente, estos son descritos en el Anexo J3, sección 2.



Fuente: Elaboración propia en base a actividades de participación ciudadana del presente estudio.
(ver Anexo I)

Figura 2-34 Principales actores de la cuenca río Rapel

Una de las motivaciones del Plan Estratégico es identificar aquella infraestructura e instituciones que toman decisiones respecto al recurso hídrico, de manera que se pueda proponer una cartera de acciones y de terceros público-privados. A partir de ello, se ha definido como propósito particular del Plan Estratégico la **Seguridad Hídrica**, la que se aplica a las personas, a los ecosistemas y a las actividades productivas.

En ese sentido, se define a la seguridad hídrica como el "acceso al agua en un nivel de cantidad y calidad adecuada, definida por cada cuenca, para su sustento y aprovechamiento en el tiempo, tanto para la salud, subsistencia, desarrollo socioeconómico y la conservación de los ecosistemas, manteniendo una alta resiliencia frente a amenazas asociadas a sequías, crecidas y contaminación" (Universidad de Chile, 2017, pág. 16).

El mismo estudio propone, para efectos de implementar o dar operatividad al concepto antes definido, cuatro dimensiones que se asumen representan los principales requerimientos o preocupaciones que la sociedad demanda:

- 1) Agua en calidad y cantidad adecuada y accesible para el consumo humano;
- 2) Agua en calidad y cantidad adecuada y accesible para asegurar el desarrollo productivo sustentable;
- 3) Cuerpos de agua en cantidad y calidad para garantizar la salud humana, el medioambiente y los diferentes usos; y
- 4) Reducción de los riesgos relacionados a eventos extremos.

A partir de esta base conceptual, en los siguientes apartados se abordarán los actores relacionados con seguridad hídrica para las personas, ecosistemas y actividades productivas. En la **Tabla 2-16** se identifican los principales actores de la cuenca según tipo de seguridad hídrica a la cual se encuentran relacionados.

Tabla 2-16 Actores principales de la cuenca según relación con el tipo de seguridad hídrica

Actores	SH Personas	SH Ecosistemas	SH Act. productivas	SH ante Eventos Extremos
Gobierno Central y Regional				
Delegado presidencial Región del Libertador General Bernardo O'Higgins	x	x	x	x
Delegados presidenciales provincias (Cachapoal, Cardenal Caro y Colchagua)	x	x	x	x
Gobierno Regional Libertador General Bernardo O'Higgins (GORE)	x	x	x	x
Gobierno local				
Municipalidades (33 comunas)	x	x	x	x
Asociación de Municipios de O'Higgins (MUROH)	x			
Secretarías Regionales Ministeriales				
Seremi Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU)	x	x		x
Seremi Ministerio de Medio Ambiente (MMA)		x		
Seremi Ministerio de Obras Públicas (MOP)	x			x
Seremi Ministerio de Agricultura (MINAGRI)				
Seremi Ministerio de Energía		x	x	
Seremi Ministerio de Minería		x	x	
Servicios Públicos y Direcciones Regionales				
Corporación Nacional Forestal (CONAF).		x		
Servicio Agrícola y Ganadero (SAG).		x	x	
Servicio de Evaluación Ambiental (SEA)	x	x	x	
Dirección General de Aguas (DGA)	x	x	x	
Dirección de Obras Hidráulicas (DOH)	x		x	x
Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS)	x			

Actores	SH Personas	SH Ecosistemas	SH Act. productivas	SH ante Eventos Extremos
Superintendencia Del Medio Ambiente (SMA)		x		
Oficina Nacional de Emergencia (ONEMI).	x			x
Dirección Meteorológica de Chile (DMC)	x		x	
Comisión Nacional de Riego (CNR)			x	
Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP)			x	
Actores privados				
Codelco		x	x	
ENEL		x	x	
ESSBIO	x	x		
Pacific Hydro		x	x	
Tinguiririca Energía		x	x	
Agrosuper			x	
Cámara Chilena de la Construcción			x	
Asociación gremial de agricultores de San Vicente de Tagua Tagua y Pichidegua (AGRESAP)			x	
Sociedad civil				
Servicios de Saneamiento Rural (SSR)	x			
ONG - MODATIMA, PICHIDEGUA UNIDOS		x		
Universidades		x	x	
Asociación Gremial de Servicios de Agua Potable	x			
Corporación de Desarrollo y Protección del Embalse Rapel (CODEPRA)			x	
Organizaciones de Usuarios de Agua (OUAs)				
Federación de Juntas de Vigilancia R. O'Higgins	x	x	x	
JV - Chimbarongo		x	x	
JV - Tinguiririca		x	x	
JV - Zamorano		x	x	
JV - Cachapoal 1S		x	x	
JV - Cachapoal 2S		x	x	
JV - Cachapoal 3S		x	x	
JV - Claro Rengo (1 y2)		x	x	
JV - Las Palmas		x	x	
JV – Estero Zamorano		x	x	
JV – Estero Puquillay		x	x	
JV – Estero Chimbarongo		x	x	
JV – Canal La Leonera		x	x	
JV – Canal silvano		x	x	
JV – Río Peuco		x	x	

Fuente: Elaboración propia en base a actividades de participación ciudadana del presente estudio.
(ver Anexo I, sección 3.1)

2.6.1.2 Mapa de actores. Relación interés- influencia.

Las relaciones entre diferentes actores dentro de una gobernanza, suele plasmarse a través de mapas o grafo de actores. A continuación (**Figura 2-35**) se presenta el mapa de actores correspondiente a la cuenca de Rapel. La metodología para la elaboración de esta figura se especifica directamente en el Anexo I – PAC, sección 3.1.

En el mapa de actores se pueden identificar diferentes intereses e influencias según el tipo de seguridad hídrica que se esté enfocando. Por ejemplo, en términos de **seguridad para consumo humano**, empresas sanitarias como ESSBIO juegan un rol mucho más importante, teniendo un alto grado de influencia e interés en este ámbito; mientras que actores como los SSR, SISS y la DOH, mantienen una alta influencia, pero menor interés en comparación con las empresas sanitarias, en tanto su papel da cuenta directamente de la distribución y saneamiento de aguas para consumo humano.

En el caso de la **seguridad para ecosistemas**, instituciones como CONAF, la DGA y el Ministerio de Medio Ambiente cumplen un rol más importante en la medida en que tiene directa injerencia en los sistemas hídricos y gestión de aguas asociados a diferentes ecosistemas y medioambientes. Mientras que instituciones como el MINVU u otras ONGs pueden tener menor influencia dentro de las decisiones que se tomen en este asunto.

Finalmente, para la **seguridad hídrica de actividades productivas**, es posible identificar mayor injerencia de actores privados y grandes empresas que influyen en la gestión de los recursos hídricos de la cuenca, mientras que instituciones públicas como la DOH tienen un menor grado de interés. Por último, ante **desastres naturales** toma mayor protagonismo la DGA y la DOH como instituciones asociadas a obras públicas, directamente relacionadas con la adaptación y medidas correspondientes a posibles eventos extremos.

2.6.1.3 Comunicación y relación entre actores

Los actores de la cuenca se comunican y se relacionan entorno a temas relativos al recurso hídrico según sus atribuciones, funciones, intereses y obligaciones. Esta comunicación se puede distinguir según sea:

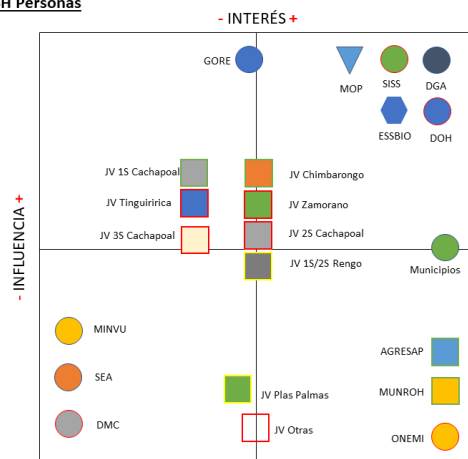
Relaciones materiales y/o financiero: Se trata de relaciones que se pueden materializar en acciones, proyectos o iniciativas concretas y/o mantiene relaciones basadas específicamente en traspasos monetarios o financiamientos desde una parte hacia otra.

Relaciones de gestión: Son relaciones basadas en gestión de solicitudes de información, requerimientos de conocimiento técnico, trámites administrativos que no necesariamente se materialice en proyectos específicos.

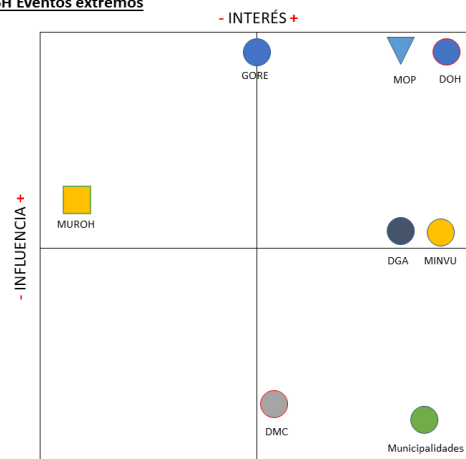
Según dichos conceptos se genera el siguiente grafo de relaciones entre actores (**Figura 2-36**).

Cuenca río Rapel Mapa de actores

SH Personas

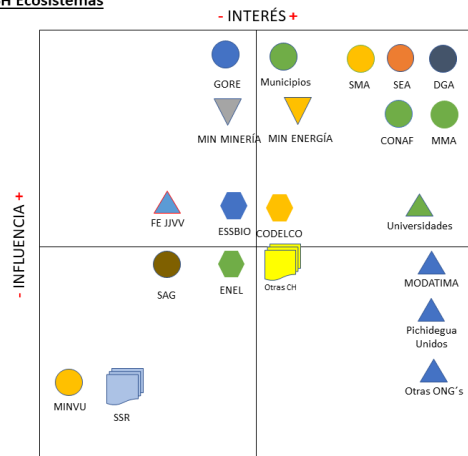


SH Eventos extremos

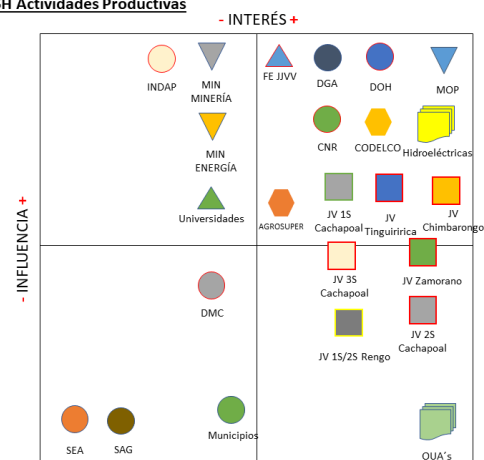


Cuenca río Rapel Mapa de actores

SH Ecosistemas

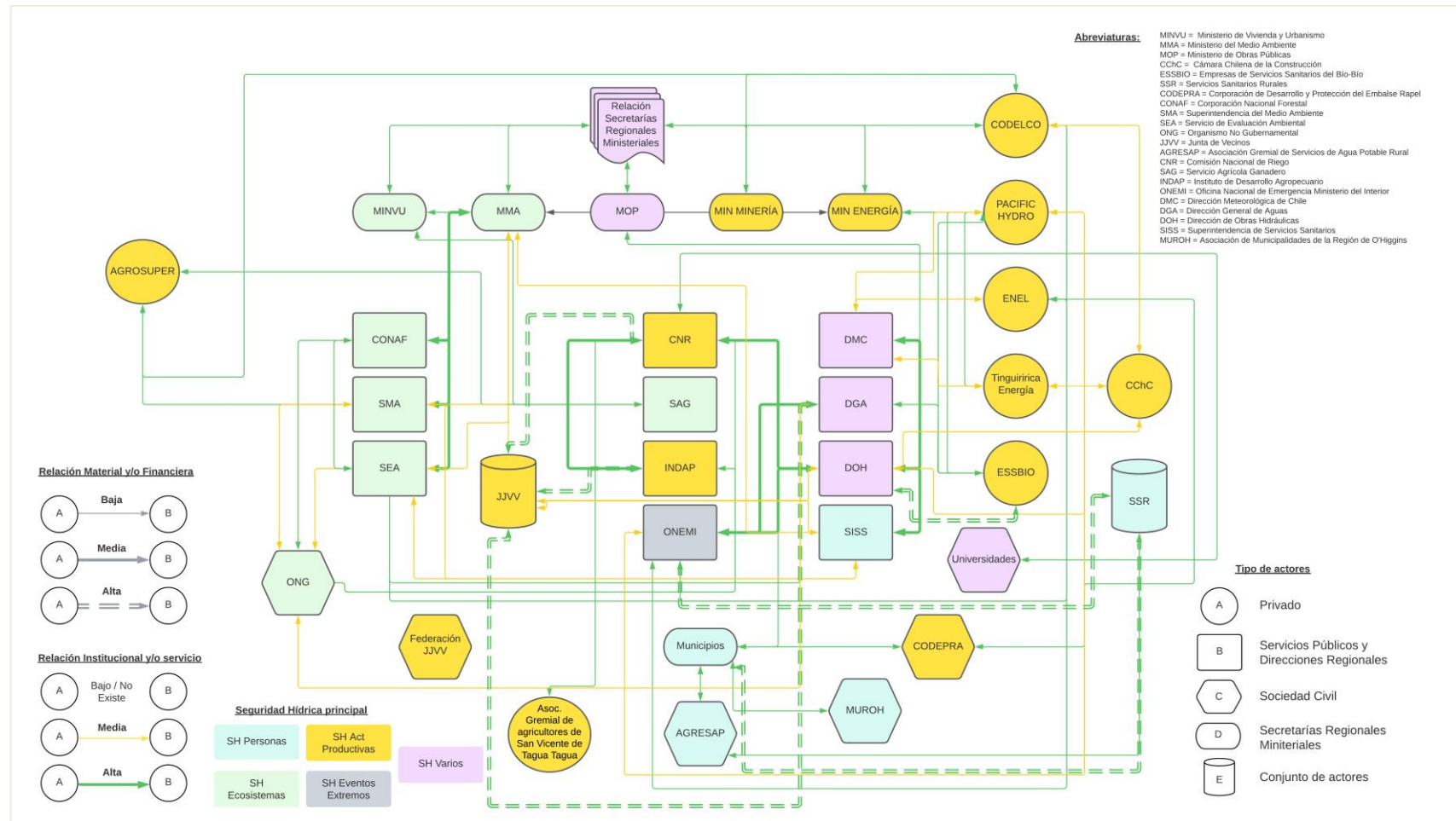


SH Actividades Productivas



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-35 Mapa de actores



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-36 Grafo de actores según relaciones y tipo

2.6.1.3.1 Diagnóstico de Organizaciones de Usuarios de Aguas cuenca del río Rapel

Las Organizaciones de Usuarios de Aguas que coexisten en la cuenca del río Rapel se presentan en la **Tabla 2-17** y detalles en **Tabla 2-18**. En esta última, se identifican 9 juntas de vigilancia debidamente formalizadas en la DGA y 6 juntas funcionando sólo de hecho.

Tabla 2-17 Organizaciones de Usuarios de Aguas que coexisten en la cuenca del Río Rapel

Juntas de Vigilancia		Asociaciones de Canalistas		Comunidades de Agua	
Inscrita en DGA	De hecho	Inscrita en DGA	De hecho	Inscrita en DGA	De hecho
9	2	42	16	383	49

Fuente: Elaboración propia en base al CPA

Tabla 2-18 Juntas de Vigilancia presentantes en la Cuenca río Rapel

Nombre Junta de Vigilancia	Estado de Formalización
Junta de Vigilancia del Río Tinguiririca Primera Sección	Formalizada con número de registro 13 en DGA
Junta de Vigilancia Estero Zamorano	Formalizada con número de registro 15 en DGA
Junta de Vigilancia de la Primera Sección del río Claro de Rengo	Formalizada con número de registro 24 en DGA
Junta de Vigilancia del Estero Chimbarongo	Formalizada con número de registro 26 en DGA
Junta de Vigilancia de la Segunda Sección del río Cachapoal y sus afluentes	Formalizada con número de registro 28 en DGA
Junta de Vigilancia del río Cachapoal Primera Sección y sus afluentes	Formalizada con número de registro 31 en DGA
Junta de Vigilancia de la Tercera Sección del río Cachapoal	Formalizada con número de registro 40 en DGA
Junta de Vigilancia del Estero Puquillay	Formalizada con número de registro 43 en DGA
Junta de Vigilancia del Estero Las Palmas (de Peumo)	Formalizada con número de registro 48 en DGA
Junta de Vigilancia Río Rapel	No formalizada, funciona de hecho
Junta de Vigilancia del Estero Las Palmas	No formalizada, funciona de hecho
Junta de Vigilancia del Estero Codegua	No formalizada, funciona de hecho
Junta de Vigilancia del Estero Tipaume Primera Sección.	No formalizada, funciona de hecho
Junta de Vigilancia del Río Claro de Rengo Segunda Sección	No formalizada, funciona de hecho
Junta de Vigilancia del Saneamiento de Estero Zanjón, San Vicente	No formalizada, funciona de hecho

Fuente: Elaboración propia en base a Diagnóstico de Organizaciones de Usuarios DGA, 2018

Estructura Financiera

Su estructura financiera dice relación con si las organizaciones de usuarios de aguas han podido llevar a cabo funciones de recaudación y aprobación en materia presupuestaria. Tal como se describe en la **Tabla 2-19**, 9 juntas de vigilancia aprueban el estado financiero mediante asamblea de presupuesto anual, en 5 juntas no existe organización para la estructura financiera.

Tabla 2-19 Juntas de Vigilancia según criterio financiero

Nombre Junta de Vigilancia	Estado Financiero
Junta de Vigilancia del Río Tinguiririca Primera Sección	Aprueba mediante asamblea presupuesto anual.
Junta de Vigilancia Estero Zamorano	Aprueba mediante asamblea presupuesto anual.
Junta de Vigilancia de la Primera Sección del Río Claro de Rengo	Aprueba mediante asamblea presupuesto anual.
Junta de Vigilancia del Estero Chimbarongo	Aprueba mediante asamblea presupuesto anual.
Junta de Vigilancia de la Segunda Sección del río Cachapoal y sus afluentes	Aprueba mediante asamblea presupuesto anual.
Junta de Vigilancia del río Cachapoal Primera Sección y sus afluentes	Aprueba mediante asamblea presupuesto anual.
Junta de Vigilancia de la Tercera Sección del Río Cachapoal	Aprueba mediante asamblea presupuesto anual.
Junta de Vigilancia del Estero Puquillay	Aprueba mediante asamblea presupuesto anual.
Junta de Vigilancia del Estero Las Palmas (de Peumo)	Aprueba mediante asamblea presupuesto anual.
Junta de Vigilancia Río Rapel	No existe organización en el cauce para tener estructura financiera
Junta de Vigilancia del estero Las Palmas	No existe organización en el cauce para tener estructura financiera
Junta de Vigilancia del estero Codegua	No existe organización en el cauce para tener estructura financiera
Junta de Vigilancia del estero Tipaume Primera Sección.	No existe organización en el cauce para tener estructura financiera
Junta de Vigilancia del río Claro de Rengo Segunda Sección	No existe organización en el cauce para tener estructura financiera
Junta de Vigilancia del Saneamiento de estero Zanjón, San Vicente	Sin Información

Fuente: CNR (2011, 2015) y DGA (2018b)

Estructura Administrativa

Más allá de si la organización está conformada de manera legal, es decir, con su respectiva inscripción en el registro público de organizaciones de usuarios de la DGA; es importante mencionar si estas juntas de vigilancia cuentan con una estructura administrativa que les permita cumplir las funciones que les mandata el Código de aguas (ver **Tabla 2-20**).

Tabla 2-20 Estado administrativo de Juntas de Vigilancia

Nombre Junta de Vigilancia	Estado Administrativo
Junta de Vigilancia del Río Tinguiririca Primera Sección	Cuenta con directiva al día elegida por sus socios. Cuenta con celadores y funciones administrativas propias de una OUA.
Junta de Vigilancia estero Zamorano	Cuenta con directiva al día elegida por sus socios. Cuenta con celadores y funciones administrativas propias de una OUA.
Junta de Vigilancia de la Primera Sección del río Claro de Rengo	Cuenta con directiva al día elegida por sus socios. Cuenta con celadores y funciones administrativas propias de una OUA.
Junta de Vigilancia del estero Chimbarongo	Cuenta con directiva al día elegida por sus socios. Cuenta con celadores y funciones administrativas propias de una OUA.
Junta de Vigilancia de la Segunda Sección del río Cachapoal y sus afluentes	Cuenta con directiva al día elegida por sus socios. Cuenta con celadores y funciones administrativas propias de una OUA.
Junta de Vigilancia del río Cachapoal Primera Sección y sus afluentes	Cuenta con directiva al día elegida por sus socios. Cuenta con celadores y funciones administrativas propias de una OUA.
Junta de Vigilancia de la Tercera Sección del río Cachapoal	Cuenta con directiva al día elegida por sus socios. Cuenta con celadores y funciones administrativas propias de una OUA.
Junta de Vigilancia del Estero Puquillay	Cuenta con administración sencilla, sin profesionales ni elementos administrativos relevantes.
Junta de Vigilancia del Estero Las Palmas (de Peumo)	Cuenta con administración sencilla, sin profesionales ni elementos administrativos relevantes.
Junta de Vigilancia Río Rapel	Cuenta con administración sencilla, sin profesionales ni elementos administrativos relevantes.
Junta de Vigilancia del Estero Las Palmas	Cuenta con administración sencilla, sin profesionales ni elementos administrativos relevantes.
Junta de Vigilancia del Estero Codegua	Cuenta con administración sencilla, sin profesionales ni elementos administrativos relevantes.
Junta de Vigilancia del Estero Tipaume Primera Sección.	Cuenta con administración sencilla, sin profesionales ni elementos administrativos relevantes.
Junta de Vigilancia del Río Claro de Rengo Segunda Sección	Cuenta con administración sencilla, sin profesionales ni elementos administrativos relevantes.
Junta de Vigilancia del Saneamiento de Estero Zanjón, San Vicente	Sin Información.

Fuente: CNR (2011, 2015) y DGA (2018b)

Área de influencia de Juntas de vigilancia

Siendo las Juntas de vigilancia el núcleo central de las Organizaciones de usuarios de la cuenca, a continuación, se detalla la influencia territorial de cada una de ellas (**Tabla 2-21**).

Tabla 2-21 Influencia territorial de Juntas de vigilancia.

Nombre Junta de Vigilancia	Influencia Territorial
Junta de Vigilancia del Río Tinguiririca Primera Sección	Esta Junta ejerce la acción que le otorgan los Estatutos y el Código de Aguas en el Río Tinguiririca, desde el nacimiento de dicho Río y en cada uno de sus afluentes en la Cordillera de los Andes por el Oriente, hasta la confluencia del mismo Río con el estero de Chimbarongo por el Poniente.
Junta de Vigilancia Estero Zamorano	Cuenta con directiva al día elegida por sus socios. Cuenta con celadores y funciones administrativas propias de una OUA.
Junta de Vigilancia de la Primera Sección del río Claro de Rengo	Su situación geográfica y su radio de acción está comprendido entre el Estero Tipaume y el cordón de cerros de Cerrillos al Norte, cerros de San Luis por el sur, faldeos cordilleranos al oriente y carretera 5 Sur al poniente. El radio de acción aquí expuesto está estructurado mediante un eje central comprendido entre el pueblo de Rengo, el Río Claro y su nacimiento en el Embalse Laguna Los Cristales, en la Cordillera de Los Andes.
Junta de Vigilancia del Estero Chimbarongo	Son miembros de esta Junta de Vigilancia las Asociaciones de Canalistas y las Comunidades de Agua que tienen derechos constituidos en el Estero Chimbarongo y en el Embalse de Convento Viejo. Ejerce la acción que le otorgan el Código de Aguas y los Estatutos en el Estero Chimbarongo, desde el nacimiento de éste y de sus afluentes en la cordillera de los Andes por el oriente, hasta su confluencia con el río Tinguiririca y en el embalse de Convento Viejo, acción que se ejerce tanto en la administración y distribución de las aguas, como en la jurisdicción que le confiere la Ley. La superficie de riego alcanza a las 36.000 ha. aprox.
Junta de Vigilancia de la Segunda Sección del río Cachapoal y sus afluentes	Entre la desembocadura del Estero La Cadena sector Punta de Cortez, Comuna de Doñihue y la desembocadura del Estero Purén o Idahue en la Comuna de Coltauco, dando origen a La Junta de Vigilancia del Río Cachapoal y sus afluentes.
Junta de Vigilancia del río Cachapoal Primera Sección y sus afluentes	Dentro del área de jurisdicción de la Junta se encuentran los ríos Coya, Pangal, Las Leñas, Cortaderal, Cipreses y otros esteros y quebradas menores quienes a su vez, vierten sus aguas al Río Cachapoal quien finalmente riega las áreas ya mencionadas, una cuenca hidrográfica con una superficie de 2.522,0 km ² a la altura de Puente Termas, según información proporcionada por la Dirección General de Aguas como área para el "Aforo DGA Puente Termas". Debe agregarse la cuenca del Río Claro de Cauquenes cuya confluencia con el Cachapoal está bajo Puente Termas.
Junta de Vigilancia de la Tercera Sección del río Cachapoal	Su jurisdicción comprende desde la confluencia del Estero Purén o Idahue con el río Cachapoal, hasta su confluencia con el río Tinguiririca en el lugar denominado La Junta. Las comunas que riega son Peumo, Las Cabras y Pichidegua.
Junta de Vigilancia del Estero Puquillay	La jurisdicción de esta Junta de Vigilancia comprende el Estero Puquillay, desde la bocatoma del Canal Cerrillos hasta la desembocadura en el Estero Chimbarongo.

Nombre Junta de Vigilancia	Influencia Territorial
Junta de Vigilancia del Estero Las Palmas (de Peumo)	No existe información.
Junta de Vigilancia Río Rapel	Confluencia de los ríos Cachapoal y Tinguiririca, a unos 6 km al oeste de la localidad de Las Cabras, al interior de la Cordillera de la Costa donde hoy se ubica el embalse Rapel. Desde este punto el río corre en dirección NO hasta su desembocadura en el mar, cercana al pueblo de Navidad. En este recorrido no recibe afluentes significativos, siendo el de mayor importancia el estero Alhué
Junta de Vigilancia del Estero Las Palmas	Las aguas proceden del cauce natural denominado Estero Las Palmas.
Junta de Vigilancia del Estero Codegua	Toda la cuenca u hoya hidrográfica del estero Codegua, desde el tramo comprendido entre su nacimiento en coordenadas UTM (m) Norte: 6.245.000 y Este: 372.100 Datum 1956 y hasta su término en la confluencia con el estero El Tronco donde comienza el río.
Junta de Vigilancia del estero Tipaume Primera Sección.	No existe información.
Junta de Vigilancia del río Claro de Rengo Segunda Sección	No existe información.
Junta de Vigilancia del Saneamiento de estero Zanjón, San Vicente	Sin Información.

Fuente: CNR (2011, 2015) y DGA (2018b)

2.6.2 Brechas de coordinación

Se identificaron aquellas brechas y/o conflictos en la coordinación entre servicios públicos, entre servicios públicos y actores privados, o entre privados, que afecten el desarrollo de temas relevantes para la gestión de los recursos hídricos en la cuenca. El objetivo es identificar las coordinaciones que se necesitan modificar para mejorar la gestión de los recursos hídricos en todos sus aspectos.

A continuación, se presentan la **Tabla 2-22** donde se identifica por temáticas la situación actual de la coordinación, imagen objetivo y brecha definida.

Tabla 2-22. Brechas y Conflictos de coordinación entre actores

Tema	Situación Actual	Imagen Objetivo	Brecha / conflicto
BCOORD 01 Coordinación entre actores	Existen distintos actores que tienen relación y toma de decisión en aspectos de los RRHP	Coordinación entre las instituciones público - privadas centralizadas en un órgano de cuenca.	Decisiones asimétricas por los diferentes actores. Falta de instrumentos de planificación. Priorización de metas individuales a las colectivas.
BCOORD 02 Agua potable rural	Existencia de una Asociación Gremial de Servicios de Agua Potable VI región que promueve la unión, el desarrollo y la representación de los Servicios de Agua Potable Rural de la VI región, aportando asesorías para resolver situaciones que afecten a las Cooperativas y Comités en el ámbito de la capacitación producción y distribución del agua potable y del saneamiento ambiental, además de desarrollar actividades educativas de capacitación y coordinación para sus asociados.	Existencia de una asociación que agrupe todos los SSR de la cuenca y se preocupe de defender los derechos del sector rural en el tema del agua potable y el alcantarillado, apoyando a los servicios afilados.	AGRESAP VI Región no tiene asociados a todos lo SSR y, por lo tanto, actualmente no representa la totalidad de la cuenca.
BCOORD 03 Difusión de la información	Actores de la sociedad civil como ONG's, SSR y OUA'S insuficientemente incluidas dentro de las decisiones tomadas por instituciones públicas	Difusión continua en temas de los recursos hídricos a través de una plataforma o método conocido y accesible por todos los actores de la cuenca	Actores desinteresados y/o sin medios de comunicación con otros actores para mantenerse actualizados en temas relacionados con los RRHP.
BCOORD 04 Oficinas locales o provinciales de servicios públicos	Servicios Públicos y Direcciones Regionales tienen una sola oficina regional, como es el ejemplo de la DGA.	Servicios Públicos y Direcciones Regionales presentes de forma física en oficinas permanentes al menos dentro de las UG identificadas en este Plan.	Caso. La DGA tiene solo una oficina para una cuenca con 13.766 km ² . Los usuarios del agua no tienen acceso al servicio público de una forma sencilla o accesible.
BCORRD 05 Extracción de áridos	Solicitudes de extracciones de áridos entregados a distintas municipalidades y no analizada a nivel de tramo de cauce.	Solicitudes de extracciones de áridos consolidada para la evaluación macro del eje del cauce (mirada global).	Las solicitudes mayores a 50.000 m ³ son revisadas y aprobadas por municipalidades, independientemente que el tramo del río este compartido por más de una municipalidad.

Fuente: Talleres de Participación Ciudadana

2.6.3 Brechas de información

A diferencia de las brechas de coordinación, donde el elemento clave es la interacción que resulta de la relación entre los distintos actores, las brechas de información (**Tabla 2-23**) tienen que ver con la falta de antecedentes que no permiten lograr una correcta utilización del recurso hídrico.

Tabla 2-23. Brechas de información

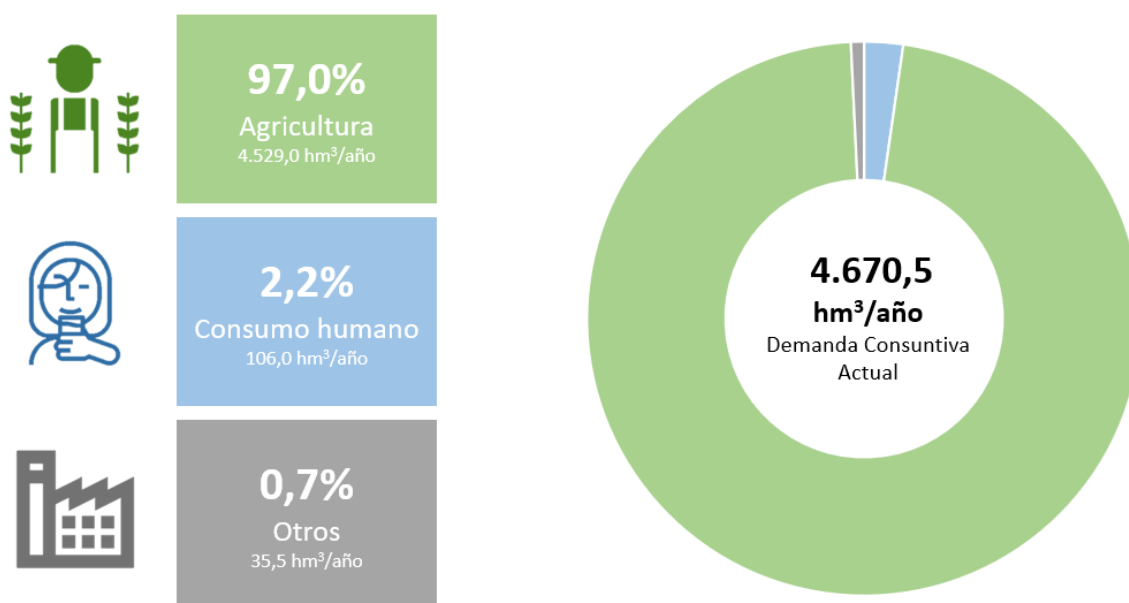
Tema	Situación Actual	Imagen Objetivo	Brecha / conflicto
BINF 01 Servicios Sanitarios Rurales	Información no consolidada del estado y funcionamiento de los SSR, principalmente de la recolección y tratamiento de aguas servidas	Base de datos con visualización que permita conocer características básicas de agua potable y recolección y tratamiento de aguas servidas.	No existe un reporte de la infraestructura de recolección y tratamiento de aguas servidas.
BINF 02 Hidrogeología	Información hidrogeológica de detalle inexistente o no consolidada.	Conocimiento hidrogeológico de detalle para gestionar las aguas subterráneas.	Pozos existentes no emiten datos de caudal instantáneo, ni nivel de la napa. Zonas sin estudios hidrogeológicos (ver 5.2.5.2).
BINF 03 Catastro de usuarios de agua	Catastro de usuarios del agua no actualizado	Catastro de usuarios del agua actualizado y procedimiento de actualización continuo en el tiempo.	Último estudio oficial respecto al catastro de usuarios del agua tiene más de 30 años (DGA, 1985)
BINF 04 Embalse Rapel	Existencia de estaciones fluviométricas de medición de algunas entradas en el embalse Rapel pero que no permite generar un balance confiable de masas.	Acuerdo público privado de medición de entradas y salidas del embalse Rapel para la mejora de su gestión.	Falta de medición en el embalse Rapel.
BINF 05 Tecnología y big data	Evolución en la toma de datos, como es la implantación de MEE superficial y subterránea, pero sin recursos públicos para el análisis de la información.	Se cuenta con información y recursos a nivel regional para analizar los datos que se producen localmente.	La nueva cantidad de información es mayor a la capacidad en recursos humanos de análisis de información existente en la oficina regional de la DGA.
BINF 06 Información de glaciares	Existencia de estudios y rutas de nieve, sin embargo, completan la información necesaria para disponer de información para la gestión de los glaciares y sus deshielos en su totalidad.	Existencia de estudios y rutas de nieve que permita gestión de los glaciares y sus deshielos en su totalidad.	Actualmente se están estudiando la ejecución de 6 rutas de nieves adicionales a las actuales, sin embargo, se requieren 3 rutas más.

Fuente: Taller 1 y 2 PAC

3 DEMANDA FÍSICA Y LEGAL

Comprender la demanda física (es decir, la demanda de agua efectiva de diferentes actividades), así como también la demanda legal (relacionada con los derechos de aprovechamiento de aguas), permite dar cuenta de las necesidades hídricas de las principales actividades y usos del agua en una cuenca; identificando asimismo aquellas brechas asociadas a la escasez hídrica. En este capítulo, se exploran las demandas de agua para uso humano, necesidades mínimas ambientales para ecosistemas, demanda agrícola, minera, industrial, pecuaria, hidroeléctrica, entre otras.

La demanda física y legal se explica, en gran parte, por las principales actividades productivas que se desarrollan en una cuenca. Al respecto, la cuenca río Rapel, tal como se ha indicado en el apartado 2.1.4.4 Actividad económica, basa su economía en actividades ligadas al sector agropecuario. Esta afirmación se puede observar gráficamente en la **Figura 3-1**, en total, la cuenca tiene una demanda física actual de **4.671 hm³/año** (2015-2020).



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-1 Distribución de la demanda consuntiva bruta, cuenca del Rapel

3.1 Demanda para uso humano

Comprender cuánta agua se necesita para satisfacer a la población de una cuenca es parte fundamental de la seguridad hídrica para las personas. La demanda de agua para uso humano considera el consumo a nivel urbano y rural, actual y futuro, incorporando tendencias de desarrollo de la población en el mediano y largo plazo.

3.1.1 Demanda histórica y actual

En la cuenca la demanda actual para el consumo humano en el **sector urbano es de 46,98 hm³/año** con una producción de 77,85 hm³/año (demanda bruta), datos promedio 2015-2019 (SISS, 2020). La naturaleza de la fuente de la demanda es principalmente subterránea, siendo Curepto la única localidad con captaciones mixtas. El consumo humano actual en el **sector rural es de 22,50 hm³/año** para una demanda producción de 28,17 hm³/año (ver **Tabla 3-1**). La metodología de cálculo y el apéndice de resultados se encuentran en el anexo F1, secciones 2.1. a 2.3.- y carpeta F2.

La producción total¹³ de agua potable en la cuenca es igual a 106,01 hm³/año. Mayoritariamente el consumo humano proviene de fuentes subterráneas, siendo de un 99%. La demanda superficial se ubica en las localidades de la Boca de Rapel (64 l/s), Coya (15 l/s) y Rancagua-Machalí (700+200 l/s). En conclusión, **la demanda por consumo humano es dependiente a las fuentes subterráneas.**

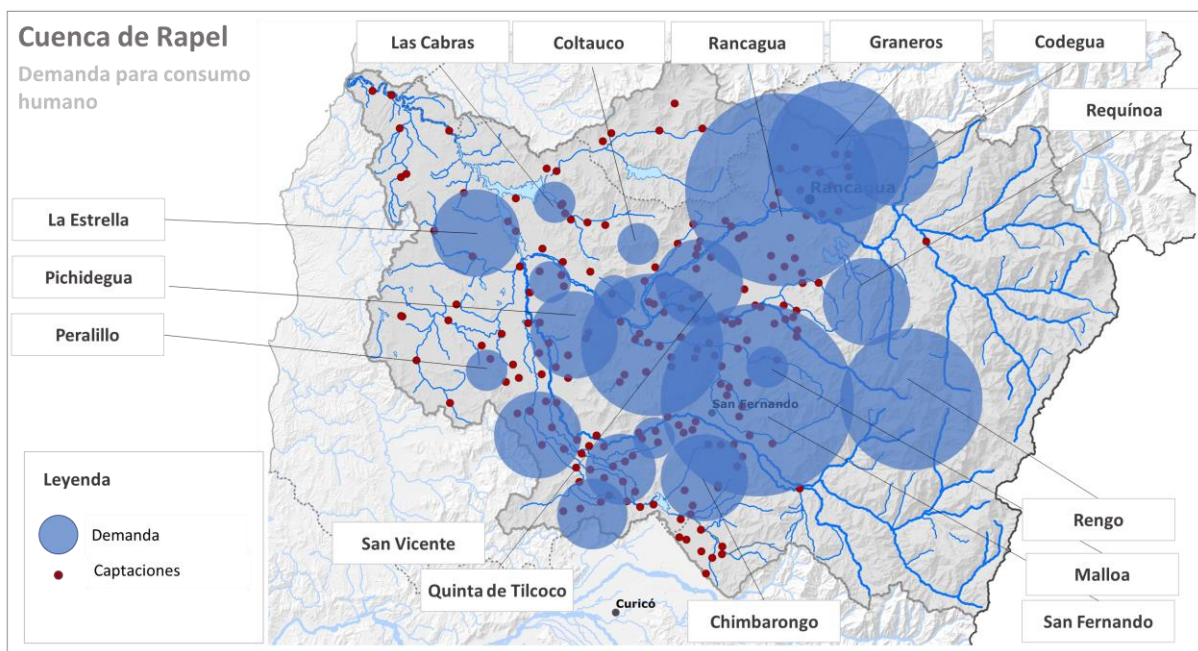
En complemento, la **Figura 3-2** presenta la distribución espacial de la demanda bruta para consumo humano y la ubicación de los SSR – APR (200). Actualmente la mayoría de estos sistemas no tienen red de alcantarillado ni planta de tratamiento de aguas servidas, pues actualmente existe aproximadamente un 52% del total de SSR sin sistema de aguas servidas (DOH, 2020), y en promedio sólo un 51,64% del total de localidades rurales tiene acceso a red de alcantarillado (Fundación Chile, 2016).

¹³ Sector urbano, sistemas sanitarios rurales y aporte por camiones aljibe

Tabla 3-1 Demanda hídrica actual para consumo humano por SHAC (hm³/año), año 2020

SHAC	D. Rural		D. Urbana		Demanda Total	
	Prod.	Cons.	Prod.	Cons.	Prod.	Cons.
Doñihue-Coinco-Coltauco	1,92	1,47	2,24	1,20	4,16	2,67
Rio Cachapoal Alto	0,07	0,05	0,28	0,14	0,35	0,19
Graneros – Rancagua	2,01	1,66	39,93	25,56	41,94	27,22
Peumo-Pichidegua-Las Cabras	2,01	1,57	2,45	1,54	4,46	3,11
Olivar	1,89	1,47	2,49	1,24	4,38	2,71
Requínoa-Rosario-Rengo	2,84	2,25	8,26	4,87	11,10	7,12
Pelequén-Malloa-San Vicente de Tagua Tagua	2,86	2,20	2,63	1,62	5,49	3,82
Tinguiririca Superior	4,12	3,29	4,77	2,85	8,89	6,14
Chimbarongo	1,90	1,51	2,12	1,10	4,02	2,61
San Fernando	1,66	1,31	6,95	4,27	8,61	5,58
Rio Rapel bajo junta estero Rosario	0,69	0,58	0,27	0,14	0,96	0,72
Tinguiririca Inferior	2,15	1,78	0,44	0,29	2,59	2,07
Cadenas Marchigüe	0,56	0,49	0,13	0,09	0,69	0,58
Codegua	-	-	4,88	2,08	4,88	2,08
Cadenas Yerbabuenas	0,26	0,23	S/D	S/D	0,26	0,23
El Monte - Tinguiririca	0,19	0,17	S/D	S/D	0,19	0,17
Embalse Rapel	0,21	0,17	S/D	S/D	0,21	0,17
Estero Alhué	0,97	0,77	S/D	S/D	0,97	0,77
Estero El Rosario - Costeras VI	0,50	0,40	S/D	S/D	0,50	0,40
Estero Las Palmas	0,81	0,67	S/D	S/D	0,81	0,67
Laguna San Vicente	0,33	0,28	S/D	S/D	0,33	0,28
Río Rapel antes junta estero Rosario	0,22	0,16	S/D	S/D	0,22	0,16
Total (hm³/año)	28,17	22,50	77,85	46,98	106,01	69,49

Fuente: (1) Elaboración propia en base a datos DOH (2020); (2) SISS & ESSBIO (2020)



Fuente:(1) Elaboración propia en base a datos DOH (2020); (2) SISS & ESSBIO (2020)

Figura 3-2 Demanda para consumo humano. Distribución de la demanda bruta. Ubicación de captaciones.

En adición a lo expuesto anteriormente, se adjunta en la **Tabla 3-2** el volumen producido anualmente en la cuenca, en sectores urbanos, sectores rurales y el aporte de la producción en camiones aljibe con respecto al total.

Tabla 3-2 Resumen Volumen producido según tipo de suministro en la cuenca. Periodo 2015-2020 hm³/año

Tipo de suministro	Volumen producido (hm ³ /año)
Urbano	77,85
Rural	28,17
Camión aljibe	0,07
Total	106,09

Fuente: (1) Elaboración propia en base a datos DOH (2020); (2) SISS & ESSBIO (2020)

En conclusión, la demanda de agua para consumo humano **se concentra en el SHAC de Graneros Rancagua**, sobre todo por la presencia de la ciudad Rancagua. Por su parte, en el desglose de la **Tabla 3-2**, se puede apreciar que la demanda rural se concentra en el sector de Cachapoal y Tinguiririca superior.

3.1.2 Demanda proyectada

A continuación, en la **Tabla 3-3**, se exponen cifras respecto a la demanda histórica y proyectada de consumo humano en el área urbana, dentro de la cuenca de Rapel¹⁴. En total, la **producción de agua potable urbana aumentaría** el valor actual, pasando de **77,84** hm³/año a **107,94** hm³/año. El consumo mantiene la misma tendencia, pasando de **46,98** a **65,89** hm³/año según proyección al año 2050.

En esta tendencia es de especial relevancia considerar la presencia de grandes ciudades como Rancagua, que han mantenido un crecimiento constante a lo largo de las últimas décadas, por lo que su proyección de aumento poblacional es alta y, con ello, el consumo de agua potable que se requiere para asegurar la dotación de los habitantes a este recurso. Esta situación se observa claramente en el SHAC Graneros – Rancagua, el cual tiene un aumento de 27,76 hm³/año proyectado al 2050, representando cerca del 52,91% de todo el consumo que aumenta según las proyecciones.

En tanto, la tendencia esperada de crecimiento de población rural refleja un aumento proporcional al aumento de la demanda bruta para consumo humano (**Tabla 3-4**). Se deben evaluar las reservas de DAA para poder abastecer dicho aumento poblacional y de esta forma no se genere un problema futuro.

3.1.3 Eficiencia de uso

En relación con el agua potable en sector urbano (APU), es necesario considerar la pérdida por ineficiencia, que se define como la suma del agua perdida desde la captación hasta la facturación. Por lo tanto, es el conjunto de pérdidas relacionadas con el estado de la infraestructura, más la pérdida comercial.

En el año 2020, los sistemas urbanos registran una **pérdida promedio de un 32%**, y presenta una **tendencia levemente decreciente** (ESSBIO, 2021). Los datos presentados por la DOH indican que para el **sector rural** la eficiencia se encuentra alrededor del **20,0%**.

Las pérdidas por eficiencia (excepto la comercial) repercuten en el flujo subsuperficial y la recarga del acuífero. Esta consideración se toma para el desarrollo del modelo hidrológico, extrayendo aquello que no se volverá a percolar.

¹⁴ La metodología para desarrollar esta información, así como los resultados, se encuentran descritos en el anexo F, secciones 2.1 a 2.3.

Tabla 3-3 Demanda histórica y proyectada consumo humano urbano (hm³/año)

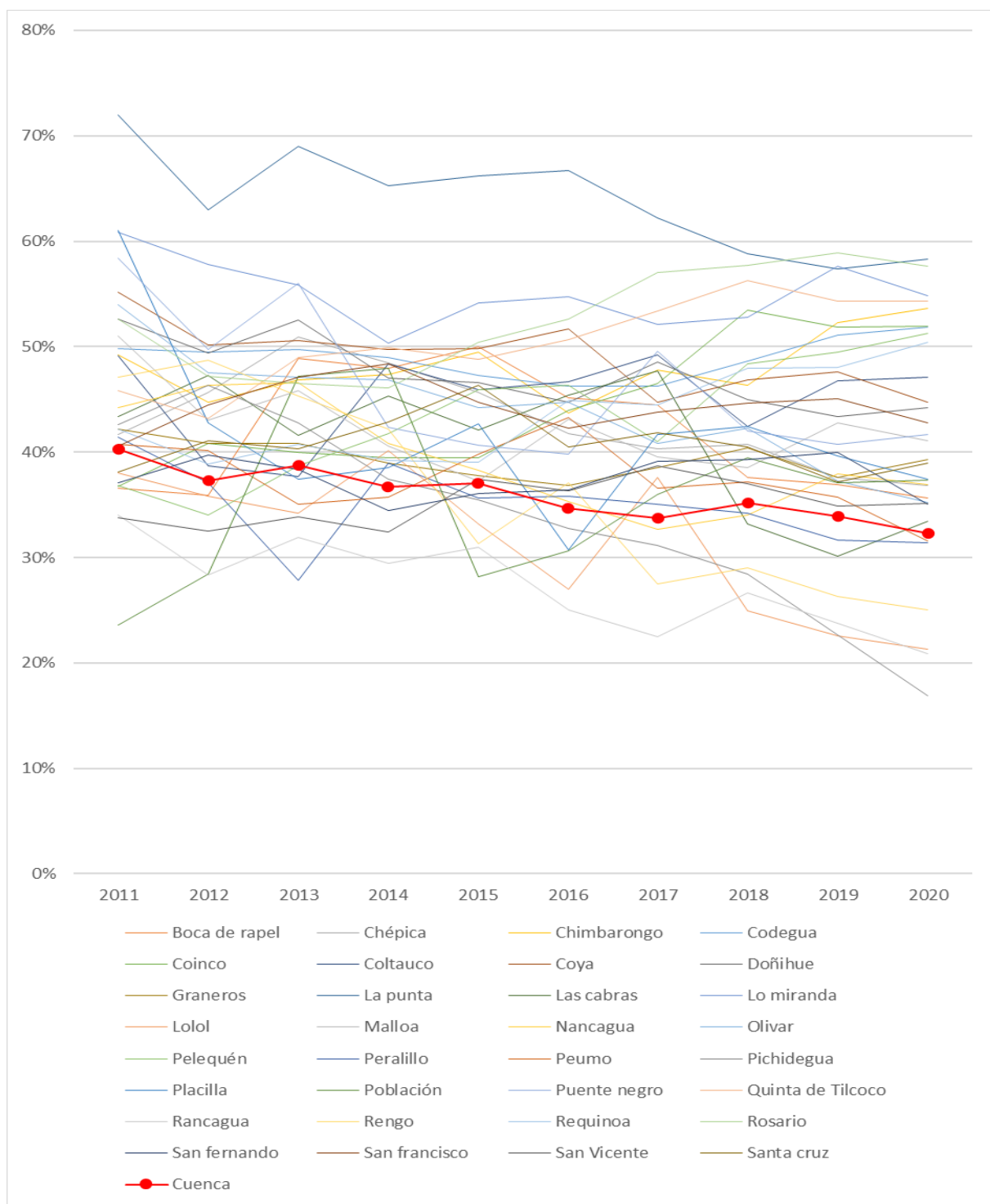
SHAC	2000-2015		2020-2030		2030-2040		2040-2050	
	Prod.	Cons.	Prod.	Cons.	Prod.	Cons.	Prod.	Cons.
Doñihue-Coinco-Coltauco	1,23	0,77	2,62	1,41	2,94	1,58	3,22	1,73
Rio Cachapoal Alto	0,23	0,11	0,40	0,18	0,52	0,24	0,54	0,25
Graneros - Rancagua	27,68	18,18	42,53	28,42	48,17	32,15	55,44	37,02
Peumo-Pichidegua-Las Cabras	1,95	1,12	2,43	1,48	2,61	1,57	2,79	1,67
Olivar	1,76	0,78	2,93	1,36	3,35	1,54	3,81	1,75
Requínoa-Rosario-Rengo-Quinta Tilcoco	6,31	3,41	9,73	5,52	10,93	6,15	12,26	6,90
Pelequén-Malloa-San Vicente de Tagua Tagua	1,84	1,20	2,90	1,87	3,19	2,07	3,48	2,26
Tinguiririca Superior	3,76	2,04	5,13	3,01	5,58	3,24	5,98	3,47
Chimbarongo	1,39	0,72	2,52	1,30	2,73	1,42	2,99	1,55
San Fernando	5,39	3,34	8,08	4,99	8,95	5,55	9,85	6,11
Rio Rapel bajo junta estero Rosario	0,14	0,07	0,31	0,16	0,33	0,17	0,32	0,17
Tinguiririca Inferior	0,33	0,20	0,47	0,29	0,51	0,32	0,54	0,34
Cadenas Marchigüe	0,04	0,06	0,15	0,11	0,17	0,12	0,18	0,13
Codegua	3,40	1,69	5,38	2,09	5,97	2,31	6,55	2,54
Total (hm³/año)	55,47	33,69	85,57	52,19	95,92	58,43	107,94	65,89

Fuente: (1) Elaboración propia en base a datos DOH (2020); (2) SISS & ESSBIO (2020)

Tabla 3-4 Evolución de la demanda consumo humano en sector rural

SHAC	1990-2020		2021		2050	
	Prod.	Cons.	Prod.	Cons.	Prod.	Cons.
Doñihue-Coinco-Coltauco	1,44	1,10	1,92	1,47	3,54	2,71
Rio Cachapoal Alto	0,05	0,04	0,07	0,05	0,13	0,10
Graneros – Rancagua	1,61	1,33	2,01	1,66	3,17	2,61
Peumo-Pichidegua-Las Cabras	1,65	1,28	2,01	1,57	2,94	2,31
Olivar	1,35	1,05	1,89	1,47	3,65	2,83
Requínoa-Rosario-Rengo	2,34	1,86	2,84	2,25	4,10	3,26
Pelequén-Malloa-San Vicente de Tagua Tagua	2,33	1,79	2,86	2,20	4,33	3,33
Tinguiririca Superior	3,44	2,75	4,12	3,29	5,81	4,64
Chimbarongo	1,53	1,22	1,90	1,51	2,90	2,31
San Fernando	1,38	1,09	1,66	1,31	2,39	1,89
Rio Rapel bajo junta estero Rosario	0,58	0,49	0,69	0,58	0,95	0,80
Tinguiririca Inferior	1,82	1,51	2,15	1,78	2,94	2,43
Cadenas Marchigüe	0,48	0,42	0,56	0,49	0,74	0,65
Codegua	-	-	-	-	-	-
Cadenas Yervas Buenas	0,22	0,19	0,26	0,23	0,36	0,32
El Monte - Tinguiririca	0,16	0,15	0,19	0,17	0,25	0,23
Embalse Rapel	0,18	0,15	0,21	0,17	0,28	0,23
Estero Alhué	0,70	0,56	0,97	0,77	1,81	1,45
Estero El Rosario - Costeras VI	0,41	0,32	0,50	0,40	0,76	0,60
Estero Las Palmas	0,66	0,55	0,81	0,67	1,19	1,00
Laguna San Vicente	0,29	0,24	0,33	0,28	0,45	0,37
Río Rapel antes junta estero Rosario	0,18	0,14	0,22	0,16	0,29	0,22
	22,79	18,21	28,17	22,50	42,96	34,29

Fuente: (1) Elaboración propia en base a datos DOH (2020); (2) SISS & ESSBIO (2020)



Fuente: Elaboración propia en base a SISS & ESSBIO (2020)

Figura 3-3 Evolución de porcentaje de pérdidas en sector urbano

3.1.4 Derechos de aprovechamiento de agua

El informe de la DGA (2021) "Sustentabilidad de asentamientos humanos rurales en Chile. Análisis desde los servicios sanitarios rurales – cuenca del Rapel. SIT 470" es una de las iniciativas ejecutadas para el cumplimiento de la Ley N°20.998, que intenta establecer una línea de base de la situación jurídico-administrativa en cuanto a la propiedad y uso de los DAA.

El diagnóstico realizado permite un análisis del mercado de agua a nivel de fuente (SSR) y el conocimiento de los posibles escenarios futuros.

La cuenca tiene 111,50 hm³/año de volumen otorgado por DAA en SSR, sin embargo, existen 7,01 hm³/año con déficit¹⁵ acumulado respecto a los 58 sistemas¹⁶ que no tienen DAA o no cumplen el 100% de su demanda actual. Esta situación se agrava para las estimaciones de aumento de la población, siendo 68 sistemas afectados (equivalentes a 10,56 hm³/año).

De la totalidad de los SSR afectados, 55 pueden satisfacer su demanda con gestión DGA, 2 solicitando DAA de reserva y 11 se localizan en lugares donde no existe disponibilidad de constitución de nuevos derechos, por lo tanto, se deben realizar acciones de adquisición de derechos de terceros.

Respecto a los DAA para uso en sector urbano, las empresas sanitarias presentan los antecedentes técnicos y legales (DAA) en sus Planes de Desarrollo respecto a la explotación actual y el caudal promedio.

3.2 Necesidades mínimas ambientales

Las demandas ambientales pueden asociarse tanto a los ecosistemas terrestres como a los ecosistemas acuáticos de la cuenca.

Desde el punto de vista de los ecosistemas terrestres, la demanda corresponde a las aguas empleadas por la vegetación y los animales para sus procesos biológicos, crecimiento, alimentación y reproducción. En este sentido, la demanda ambiental corresponde al

¹⁵ Se considera un factor de diseño multiplicador de Caudal de 1,5 respecto a la demanda media.

¹⁶ La Arboleda Valle Hermoso, Cunaquito Cruce de Apalta Santa Elvira, Calleuque, Alcones El Sauce, Rinconada de Alcones, La Quebrada La Pitra Peñablanca, Marchigue, Trinidad Los Maitenes, El Camarón, La Dehesa, San Carlos El Rincón, El Heraldo, Peor es Nada, Morza, El Cisne, Esmeralda, Los Lirios Teno, San Antonio El Cuadro, San José de lo Toro, Colonia de Quinta, La Platina El Porvenir Santa María, La Lucana Santa Marta, San Enrique, Cooperativa Copequén Ltda., El Bosque San Ramón, El Cajón El Guindal, Miraflores, El Romeral, La Esperanza, Pataguas Orilla, La Capilla de Limahue, La Estacada Alto Río, Cantarrana, Hijuela del Medio, Barrancas de Pichi, Pincha, El Asiento, Chacayes, Licancheu La Vega de Pupuyá, Guadala, Caserío de Talca, Huilquío Ltda., El Rosario Ltda., Santa Amalia, Quelentaro, Chumaco, Chanqueahue, El Trebal de Cerrillos, San José de Marchigue, Los Aromos El Durazno, Pulín, Tuniche Las Cabras, La Unión

conjunto de la evapotranspiración potencial de las masas de vegetación natural existentes en la cuenca, la cual se descuenta desde la precipitación ocurrida en el territorio.

Tabla 3-5 Derechos otorgados por SHAC. Agua potable urbana

SHAC	Producción hm³/año	Derechos l/s	Derechos hm³/año
Doñihue-Coinco-Coltauco	2,24	168,00	5,30
Rio Cachapoal Alto	0,28	50,00	1,58
Graneros - Rancagua	39,93	2.497,90	78,77
Peumo-Pichidegua-Las Cabras	2,45	216,50	6,83
Olivar	2,49	180,00	5,68
Requínoa-Rosario-Rengo-Quinta Tilcoco	8,26	653,30	20,60
Pelequén-Malloa-San Vicente de Tagua Tagua	2,63	200,20	6,31
Tinguiririca Superior	4,77	298,00	9,40
Chimbarongo	2,12	103,00	3,25
San Fernando	6,95	409,00	12,90
Rio Rapel bajo junta estero Rosario	0,27	900,00	28,38
Tinguiririca Inferior	0,44	52,00	1,64
Cadenas Marchigüe	0,13	50,00	1,58
Codegua	4,88	418,80	13,21
Total	77,85	6.196,70	195,42

Fuente: FAT (Essbio, 2016)

Desde el punto de vista de los ecosistemas acuáticos, la demanda ambiental corresponde a la necesidad de mantener los hábitats acuáticos en relación con la cantidad y calidad de las aguas, de manera tal que se asegure la continuidad de éstos.

A nivel de cuenca no existe una estimación de los caudales ecológicos, pero en este caso se puede deducir del porcentaje de los caudales medios según se emplea para la determinación del caudal pasante mínimo en los procesos de evaluación de impacto ambiental. Este criterio se tomará como indicador hídrico de la cuenca para la toma de decisiones.

3.2.1 Caudal ecológico

El caudal ecológico está establecido de acuerdo con el Decreto supremo N°14, de 2012, del Ministerio del Medio Ambiente, que aprueba el Reglamento para la Determinación del Caudal Ecológico Mínimo, y modificado por el Decreto Supremo N°71, de 2014.

Para el estudio se obtuvieron resultados de caudal ecológico mínimo mensual según los caudales entregados por la simulación del modelo hidrológico (ver metodología de modelos

probabilísticos en anexo F1, sección 3.; y detalles del cálculo para caudal ecológico en anexo F3.3). En este contexto, se calculó el caudal ecológico en dos periodos: 1990-2020 y 2020-2050. A continuación, en la **Tabla 3-6** y **Tabla 3-7** se presenta el caudal (naturalizado e intervenido, respectivamente) estimado para el periodo de tiempo 1990-2020. Para mayor detalle ver apéndice F3.3 de resultados en el Anexo F.

Tabla 3-6 Caudal ecológico mínimo (naturalizado) por nodos (hm³/mes)

N	UG	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	Anual
1	Rapel	89,2	89,2	89,2	89,2	89,2	89,2	89,2	89,2	89,2	89,2	89,2	89,2	1.070,4
6	Tinguiririca	28,0	32,0	43,2	50,7	50,7	50,7	50,7	50,7	50,7	50,7	48,0	36,8	542,9
10	Cachapoal	44,9	55,7	59,1	59,1	59,1	59,1	59,1	59,1	59,1	46,7	54,6	48,3	663,9

Fuente: Elaboración propia en base a datos simulados

Tabla 3-7 Caudal ecológico mínimo (intervenido) por nodos (hm³/mes)

N	UG	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	Anual
1	Rapel	40,8	61,9	56,3	81,6	81,6	81,6	67,1	40,8	40,8	61,0	40,8	40,8	695,1
6	Tinguiririca	17,6	35,3	35,3	35,3	35,3	17,6	17,6	17,6	17,6	17,6	17,6	17,6	282
10	Cachapoal	44,9	26,8	40,5	22,4	44,9	44,9	33,9	32,2	43,5	44,5	38,9	38,8	456,2

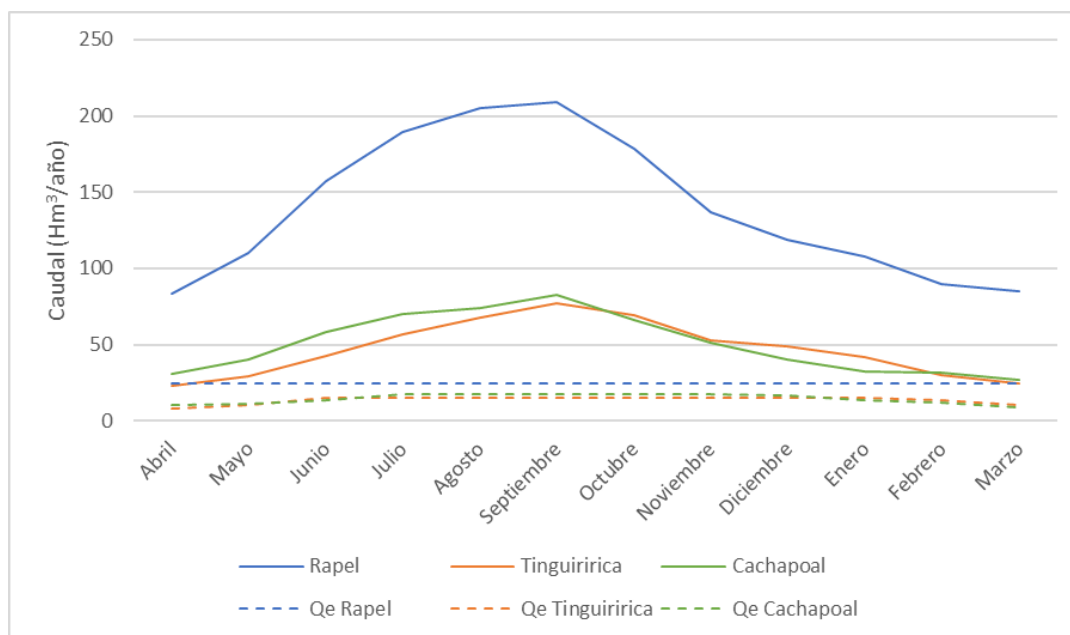
Fuente: Elaboración propia en base a datos simulados

Complementariamente, la **Figura 3-4** y **Figura 3-5** muestran la distribución de los datos según caudal de excedencia con un 85% (según caudal naturalizado e intervenido¹⁷, respectivamente), comparado con el caudal ecológico mínimo durante un período hídrico anual en el período 2021-2050.

De estos resultados se desprende que, durante gran parte de los meses, los valores sobrepasan el caudal ecológico mínimo para esta cuenca. Sin embargo, durante los meses de enero, febrero, marzo y abril los caudales se encuentran en valores muy cercanos al caudal ecológico, por lo que variaciones que generen una mayor disminución del caudal durante estos períodos de tiempo, podría llegar a afectar la preservación de los valores ecológicos y la supervivencia de ecosistemas acuáticos en los cauces de los ríos y afluentes de la cuenca río Rapel.

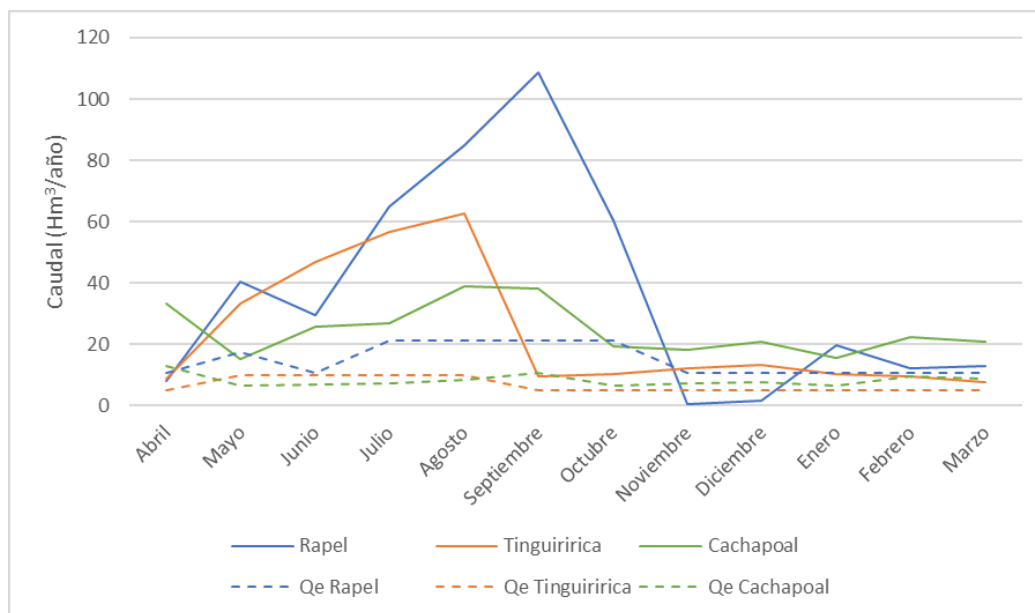
¹⁷ La diferencia entre caudal naturalizado e intervenido se explica directamente a partir de los cálculos del modelo. Mientras el caudal intervenido está asociado a datos levantados por mediciones (incluyendo extracciones, descargas y desvíos de aguas); el caudal naturalizado corresponde a un cálculo donde se elimina la influencia de dichas variables, con el objetivo de simular el caudal de un curso sin influencias externas al ciclo natural del agua.

Sin embargo, los datos de caudal intervenido muestran que existen meses como noviembre y diciembre, donde los caudales bajan considerablemente en el nodo 1 río Rapel. Esto se explica, puesto que gran parte del agua que llega desde río Cachapoal se integra al embalse Rapel y sólo un pequeño porcentaje desembalsa en el nodo 1. Por tal motivo, se tiene que en los meses de noviembre y diciembre, a nivel general, los valores de caudales se encuentran por debajo del caudal ecológico mínimo para el período proyectado 2021-2050.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos de nodos

Figura 3-4 Caudal en el período 2021-2050 según probabilidad de excedencia de 85% y Caudal Ecológico Mínimo (naturalizado) para unidades de gestión cuenca río Rapel



Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos de nodos

Figura 3-5 Caudal en el período 2021-2050 según probabilidad de excedencia de 85% y Caudal Ecológico Mínimo (intervenido) para unidades de gestión cuenca río Rapel

3.2.2 Sistemas protegidos

Para obtener el consumo ambiental o de protección ambiental, se tomó en consideración lo expuesto en DGA (2017), SIT N°419, estudio denominado "Estimación de la Demanda Actual, Proyecciones Futuras y Caracterización de la Calidad de los Recursos Hídricos en Chile". En este documento se trabaja con el concepto de protección ambiental referido a todas aquellas acciones personales o comunitarias que tiendan a defender, mejorar o potenciar la calidad de los recursos naturales de determinado ecosistema. Esto se relaciona con las acciones modificadoras causadas por las actividades humanas, las cuales se ven reflejadas en el deterioro significativo que presentan una gran cantidad de ecosistemas a nivel nacional.

En referencia a esta metodología la cuenca del Rapel se priorizaron Sitios Prioritarios para la Biodiversidad (SPI): río Claro de Rengo y Precordillera Sur.

A continuación, la **Tabla 3-8** muestra los caudales para protección ambiental de la cuenca en estudio

Tabla 3-8. Caudales para Protección Ambiental cuenca del río Rapel (m³/s)

SPI	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
Río Claro De Rengo	11	7	4	4	7	11	13	12	10	10	14	15	9
Precord Andina Sur	109	63	33	24	31	46	51	40	38	50	83	122	51
Precord. Andina Sur	5	2	1	3	9	21	25	21	19	21	22	15	14
Total	114	65	35	27	40	67	76	61	57	71	105	136	65

Fuente: (DGA, 2017) Estimación de la Demanda Actual, Proyecciones Futuras y Caracterización de la Calidad de los Recursos Hídricos en Chile. S.I.T. N° 419

3.3 Demanda agrícola

Para el cálculo de la demanda agrícola, se dispone como información base el estudio de la CNR (2021) "Análisis Oferta Hídrica y su Impacto en la Agricultura Zona Centro de Chile" contrarrestado con los datos del último Censo Agropecuario del 2007, y el catastro frutícola de ODEPA.

Se utilizó el promedio de superficie efectivamente regada en los últimos años, validado con los actores de la cuenca en diferentes reuniones de trabajo. Finalmente, la superficie adoptada para el cálculo y para la modelación hidrológica equivale a **251.293 ha.** (Tabla 2-12). Considerando el área regada en el sector Codegua por aguas procedentes de la Primera Sección del río Cachapoal, suman un total de 258.599 ha.

Por el sur de la cuenca el trasvase es a favor de la cuenca del río Rapel. La cuenca recibe **60 m³/s** (Derechos eventuales) de la cuenca del Mataquito a través del Canal Teno Chimbarongo. En el Anexo F1, sección 2.4 se presenta la metodología y los resultados en detalle de los puntos siguientes.

3.3.1 Demanda histórica y actual

Para la caracterización de la demanda agrícola se define la demanda neta y la demanda Bruta (sus definiciones se encuentran en el Anexo C - Glosario). La cuenca del río Rapel en el periodo actual (2000-2014), presenta una demanda neta promedio de 2.237 hm³/año y una demanda bruta promedio de 5.652 hm³/año. La distribución espacial de la demanda se presenta en la **Tabla 3-9.**

Tabla 3-9 Demanda Bruta y Neta por zona de riego (hm³/año), periodo histórico y actual.

Fuentes principales	Período Histórico (1990-2014) Hm ³ /año		Período Actual (2015-2020) Hm ³ /año		Período completo (1990-2020) Hm ³ /año	
	DN	DB	DN	DB	DN	DB
Primera Cachapoal	614	1.573	663	1.346	632	1.529
Segunda Cachapoal	226	599	204	446	216	570
Tercera Cachapoal	238	619	222	461	230	588
Rio Claro	100	263	92	198	96	250
Zamorano	99	260	99	212	98	250
UG Cachapoal	1.277	3.313	1.280	2.663	1.273	3.187
Tinguiririca	524	1.366	518	1.091	522	1.312
Chimbarongo +	244	595	263	459	248	569
Las cadenas	43	100	73	127	55	105
UG Tinguiririca	811	2.060	854	1.677	825	1.986
Alhué	63	157	60	111	60	149
Rapel	49	122	44	77	43	113
UG Rapel	111	279	104	189	103	262
Total	2.199	5.652	2.237	4.529	2.202	5.435

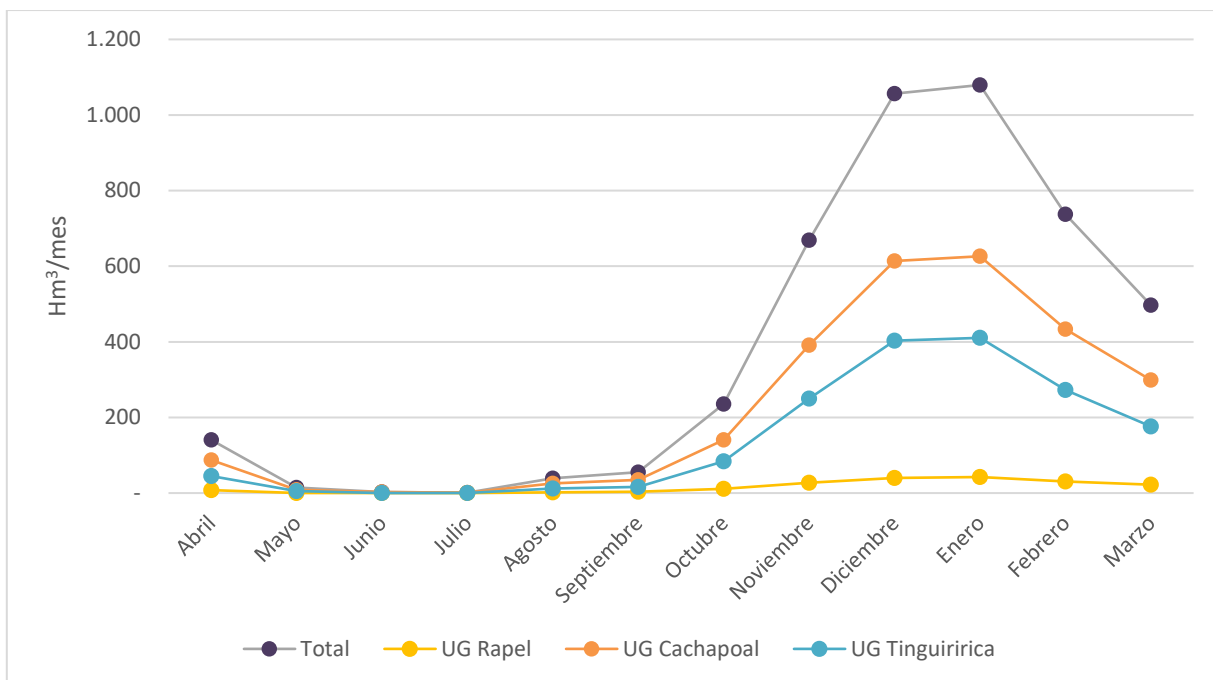
DN = Demanda Neta, DB = Demanda Bruta

Fuente: Elaboración propia en base a datos CNR (2021)

Existe una diferencia significativa entre la demanda neta y la bruta, es decir, se identificó la potencialidad de recuperación de agua en el aumento de la eficiencia. Esta línea de acción se desarrollará en los puntos posteriores (7, 8 y 9).

En la **Figura 3-6**, se presenta la distribución de la demanda bruta a lo largo del año. En los meses de septiembre a abril la demanda agrícola se mantiene constante, teniendo como punto máximo el que se presenta en el mes de enero.

Para aspectos de la modelación, la demanda es distribuida en las superficies de riego nombradas en la **Tabla 2-12**, estos están formados por un conjunto de "Zonas de Riego (ZR)" buscando la distribución semejante a la realidad. En el Anexo F2, carpeta "AGR" se encuentra la metodología para la limitación de estas zonas de riego. En conclusión, el modelo tiene incluida la demanda como "Demand Site" vinculando la superficie (Anexo H, sección 2.2.1.8.).



Fuente: Elaboración propia en base a datos CNR (2021)

Figura 3-6 Distribución anual de la Demanda neta por zona de riego, periodo actual 2015-2020 (hm³/año)

3.3.2 Demanda proyectada

La variabilidad de la demanda de agua agrícola es alta, ya que está sujeta al mismo tiempo a la variación de superficie regada, los métodos de riego y a la disponibilidad efectiva del recurso, organización territorial, desarrollo regional, entre otros factores. En particular, si se analizan las estadísticas de superficie arrojada por los censos agropecuarios de 1987, 1997 y 2007, se tiene una tendencia no constante.

Por su parte, la demanda proyectada muestra unas tasas crecientes similares a las observadas a la fecha. Tanto la demanda bruta como la demanda neta aumentarían a una **tasa anual de 0,05%** desde 2020 hasta 2050.

Sin embargo, para aspectos de modelación, al igual que la eficiencia, la superficie se mantiene fija en el tiempo y, por lo tanto, la demanda neta y bruta varían según la precipitación efectiva. A continuación, en la **Tabla 3-10** se presenta la variabilidad de la demanda sin cambio de superficie de riego, dicha variabilidad depende únicamente del factor climático.

Tabla 3-10 Demanda Bruta y Neta por zona de riego (hm³/año), periodo proyectado

Fuentes principales	2021-2030 Hm ³ /año		2031-2040 Hm ³ /año		2041-2050 Hm ³ /año		2021-2050 Hm ³ /año	
	DN	DB	DN	DB	DN	DB	DN	DB
Primera Cachapoal	657	1.289	657	1.288	670	1.313	661	1.313
Segunda Cachapoal	200	425	200	424	203	432	201	432
Tercera Cachapoal	221	444	219	440	224	450	221	450
Rio Claro	91	189	91	189	92	192	91	192
Zamorano	95	198	95	197	96	201	95	201
UG Cachapoal	1.264	2.546	1.260	2.538	1.285	2.588	1.269	2.588
Tinguiririca	515	1.051	513	1.047	521	1.063	516	1.063
Chimbarongo +	262	437	260	433	265	441	262	441
Las cadenas	78	130	77	128	79	132	78	132
UG Tinguiririca	855	1.617	850	1.609	865	1.636	856	1.636
Alhué	60	107	60	107	61	109	60	109
Rapel	47	78	46	77	48	79	47	79
UG Rapel	107	185	106	184	108	188	107	188
Total	2.226	4.348	2.217	4.331	2.258	4.412	2.233	4.412

DN Demanda Neta, DB Demanda Bruta

Fuente: Elaboración propia en base a datos CNR (2021)

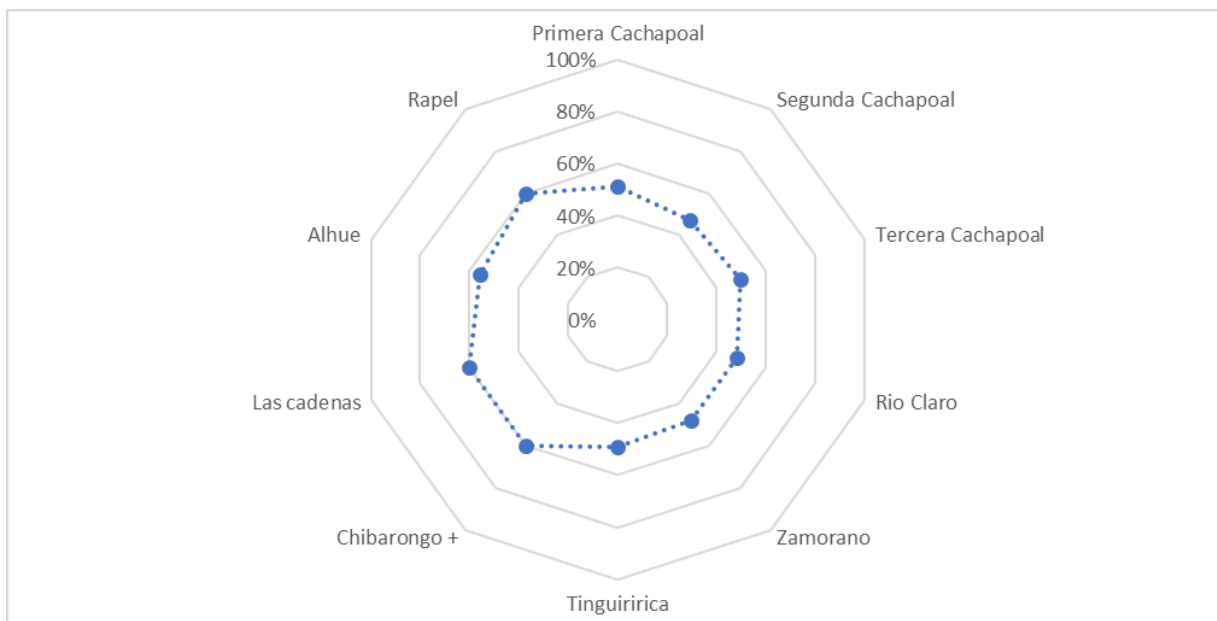
Estos resultados indican un aumento leve de las demandas netas y brutas (considerando la superficie fija y eficiencia de riego fija), eso se debe, como se ha indicado, a la variabilidad climática, es decir, la demanda hídrica de la planta es mayor debido a la reducción de las precipitaciones.

Por su parte, el aumento en las temperaturas proyectadas incide directamente en la evapotranspiración de la vegetación y, por lo tanto, en la cantidad de agua que la planta demanda. Por ejemplo, para el período 2020-2030, la temperatura promedio para la cuenca arroja 12,4°C; aumentando para el período 2030-2040 a 12,5°C; y luego para el período 2040-2050 llegando a los 12,9°C en promedio.

3.3.3 Eficiencia de uso

Una componente clave en el aumento de la superficie regada la constituye el aumento de la eficiencia en el uso de agua de riego, la que considera tanto las obras de captación y conducción del recurso, como la tecnificación del riego intrapredial. La estimación al año 2020 muestra que todas las zonas de riego tienen una **tendencia creciente**, llegando a un promedio para la cuenca de **51% de eficiencia**. El punto de partida en el año 1990 se encuentra por debajo del 35%. Dicha eficiencia, para aspectos de modelación, se mantiene fija desde 2020, de esta forma los escenarios de modelación serán comparable entre sí, sin tener influencias de otro parámetro, como es la eficiencia. Sin embargo, y como se ha comentado en el punto anterior, es importante para la cuenca la continuación o aumento de las acciones que han permitido la mejora de la eficiencia hasta llegar a una eficiencia

objetivo, siendo ésta la potencialmente factible para el territorio y tipo de actores. De esta forma, las líneas de acción del Plan estratégico incluyen la mejora de la tecnificación intrapredial y extrapredial.



Fuente: Elaboración propia a partir de DGA (2017a) & Datos de Ley de Riego (CNR, 2021b)¹⁸

Figura 3-7 Eficiencia de riego estimada para el año actual (2021)

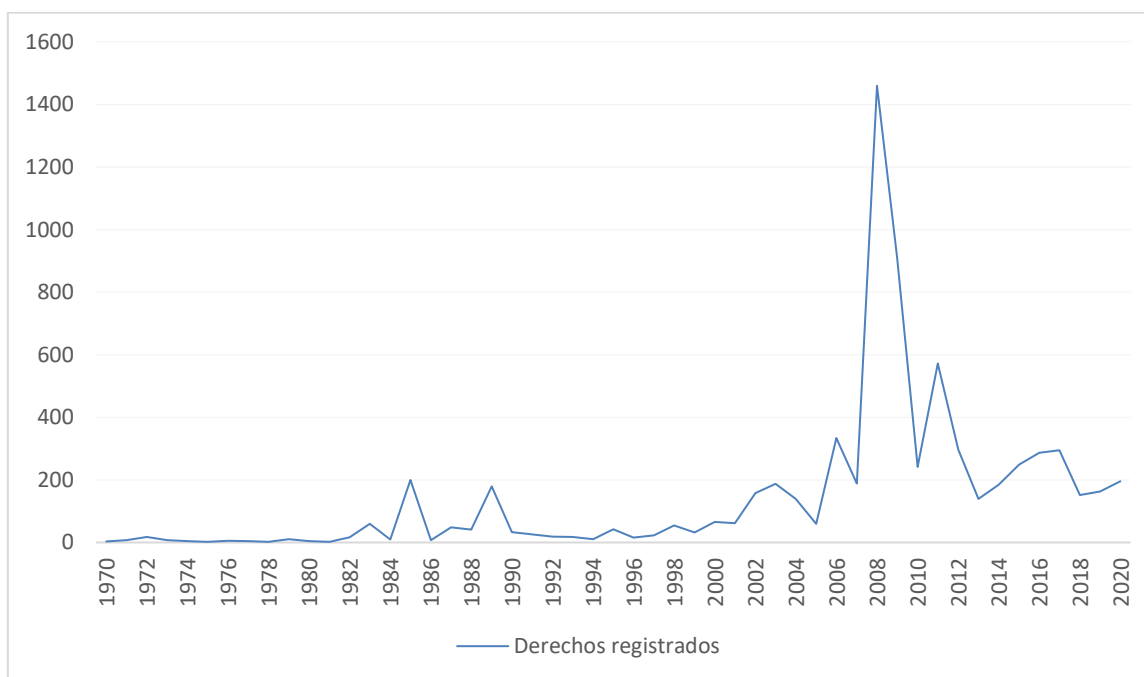
La **Figura 3-7** presenta la distribución de las eficiencias de riego donde se pueden observar mayores porcentajes en la zona Rapel y en Las Cadenas, cercana al 80% de eficiencia en los sistemas de riego. En contraste, las zonas con menor porcentaje de eficiencia corresponden a Tercera Cachapoal, río Claro, Zamorano y Tinguiririca; con valores cercanos al 40% de eficiencia.

3.3.4 Derechos de aprovechamiento de agua

La Dirección General de Aguas, según Artículo 122 del Código de Aguas, debe llevar un Catastro Público de Aguas. Según los Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA) registrados en la DGA, la cuenca de estudio tiene 5.973 derechos otorgados y efectivamente georreferenciados, de los cuales 5.142 son subterráneos, 439 superficiales consuntivos y 392 superficiales no consuntivos. En este contexto la información respecto

¹⁸ Área de riego bonificada por la Ley de Riego 18.450, periodo 2008-2020

al uso no es completa, por lo tanto, para la presentación de los DAA de uso agrícola se considerar una hipótesis en relación con la demanda física total. Es decir, se consideran derechos de aprovechamiento de aguas el 95% de los derechos concedidos totales. El total de derechos registrados dentro de la cuenca río Rapel, ha tenido un notorio crecimiento dentro de los últimos 50 años, como se puede apreciar en la **Figura 3-8**.

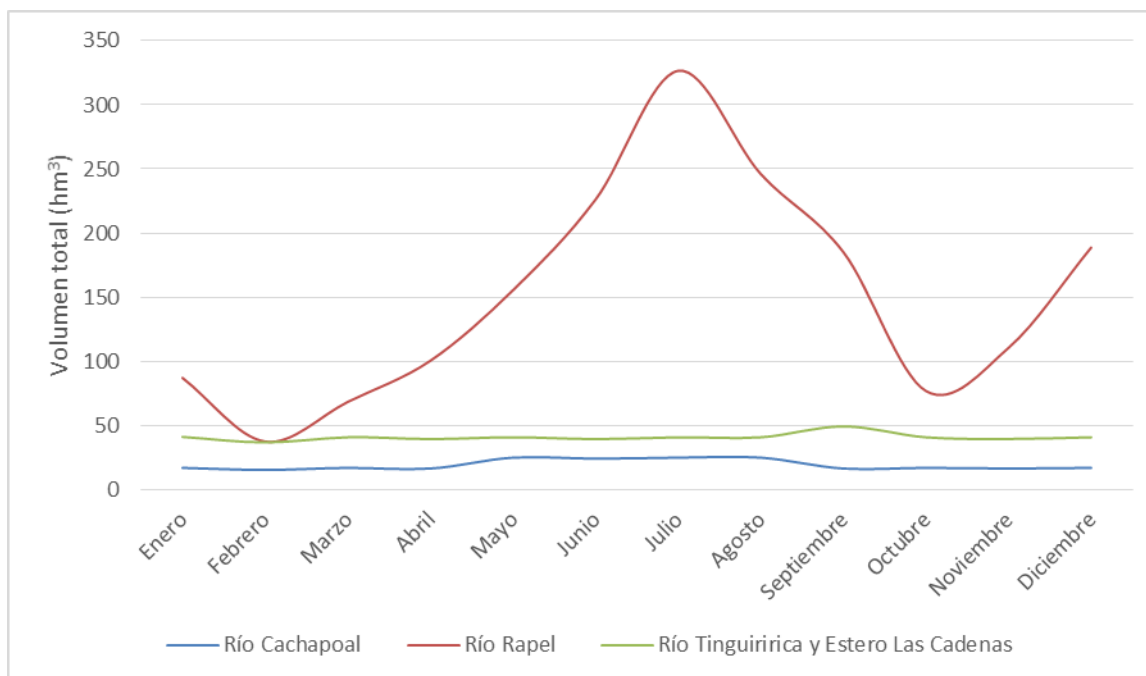


Fuente: Elaboración propia en base a derechos históricos disponibles en sitio web DGA (2022)

Figura 3-8 Derechos históricos registrados en la cuenca Río Rapel

Dentro de los derechos superficiales, 410 se encuentran dentro de los límites de la Unidad de Gestión río Cachapoal, 94 en río Rapel y 326 en Tinguiririca/Estero Las Cadenas.

Entre los derechos consuntivos de naturaleza superficial en la cuenca de estudio (ver **Figura 3-9**), éstos se encuentran regulados por un total de 219 hm³ totales para la UG río Cachapoal; 1.719 hm³ para UG río Rapel y 465 hm³ para UG río Tinguiririca y estero Las Cadenas. El detalle respecto a su distribución según cada mes se encuentra en la **Tabla 3-11**.



Fuente: Elaboración propia en base a registro de derechos DGA

Figura 3-9 Derechos superficiales consuntivos por mes y total anual según Unidad de Gestión, Cuenca del Río Rapel

En cuanto a los derechos subterráneos, éstos se encuentran distribuidos en 31 diferentes Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común (SHAC), con un total de 5.142 derechos otorgados en la cuenca. Según unidad de gestión, la mayor parte de los derechos subterráneos se encuentran dentro de la UG río Tinguiririca y estero Las Cadenas, con 2.615; le sigue río Cachapoal con 1.758; y río Rapel con 769 derechos otorgados. El detalle del volumen total asignados según derechos de otorgamiento de agua para cada unidad de gestión se encuentra especificado en la **Tabla 3-12**.

Tabla 3-11 Total derechos en hm³/año, otorgados en la cuenca Río Rapel

Unidad de Gestión	Sectores	Ejercicio	Total Anual (hm ³)	Total acumulado (hm ³)
Río Cachapoal	Cachapoal bajo norte	Permanente	187	187
	Cachapoal bajo sur	Permanente	2.479	2.666
		Eventual	5.893	8.559
	Cachapoal alto	Permanente	4.483	13.042
		Eventual	8.801	21.776
	Estero Zamorano	Permanente	143	21.986
	Río Claro	Permanente	0	21.986
		Eventual	865	22.850
Río Rapel	Tinguiririca bajo	Permanente	64	22.914
	Estero Alhué	Permanente	98	98
		Eventual	13	111
	Estero La Palmilla	Permanente	15	126
	Rapel Bajo	Permanente	4.299	4.425
		Eventual	8.972	13.397
Río Tinguiririca y Estero Las Cadenas	Embalse Convento Viejo	Permanente	1.546	1.546
		Eventual	29	1.574
	Estero Chimbarongo y Chépica	Permanente	3.415	4.989
		Eventual	3.968	8.958
	Estero Las Cadenas	Permanente	238	9.196
	Estero San Miguel	Permanente	14	9.210
		Eventual	0	9.210
	Río Claro	Permanente	158	9.368
		Eventual	219	9.587
	Tinguiririca Alto	Permanente	5.266	14.853
		Eventual	5.370	20.224
	Tinguiririca Bajo	Permanente	163	20.387
		Eventual	6	20.393

Fuente: Elaboración propia en base a registro de derechos DGA

Tabla 3-12 Derechos de aprovechamiento de aguas subterráneos, uso agrícola. Total anual (hm³) derechos según unidad de gestión

Unidad de Gestión	Total Anual (hm ³)
Río Cachapoal	859,1
Río Rapel	143,5
Río Tinguiririca y Estero Las Cadenas	847,6
Total	1.850,1

Fuente: Elaboración propia en base a registro de derechos DGA

3.4 Demanda minera

La demanda minera fue calculada a partir de antecedentes disponibles según la metodología entregada en el **anexo F1. sección 2.6**. La mayor parte de la producción minera en la cuenca río Rapel se encuentra representada por la Corporación Nacional del Cobre CODELCO, y su división El Teniente, localizada en la comuna de Machalí.

3.4.1 Demanda histórica y actual

La demanda hídrica superficial minera corresponde a **49,85 hm³/año** con referencia al 2020, las dos principales captaciones de agua son: Captación Coya, con 33,6 hm³/año (con un promedio mensual de 1.081 l/s) y Captación Pangal, con 16,2 hm³/año (promedio mensual de 522 l/s).

Según Garcés (2011), la producción de División El Teniente, junto con su demanda hídrica, se divide en cuatro principales procesos: extracción de mineral, concentración por flotación, fundición y electro-refinación. Al ser una mina subterránea, el uso de agua es bajo para extracción de mineral; sin embargo, uno de los procesos que más consume este recurso es la fundición, estimándose entre 8 a 15 m³/tonelada de cobre blíster producido.

Considerando la todas las captaciones existentes, subterráneas y agua recirculada la demanda actual es de 51,40 hm³/año.

3.4.2 Demanda proyectada

En base a la demanda de los últimos años se proyecta valores hasta 2050. En este sentido, la demanda se considera casi invariable en el tiempo (**Tabla 3-13**). A nivel de planificación en minería se debe considerar las 5 metas de desarrollo sustentable a 2030 de CODELCO, siendo una de ellas la reducción en 60% el consumo de aguas continentales.

Tabla 3-13 Demanda minera actual y proyectada, CODELCO División El Teniente

Demanda minera	Demanda (hm³/año)
Actual	51,40
Proyectada (2050)	51,79

Fuente: Elaboración propia

3.4.3 Derechos de aprovechamiento de agua

Para las demandas mineras, la mayor parte de los derechos de aprovechamiento se encuentran concentrados en CODELCO División El Teniente. A continuación, se presenta el detalle respecto a los DAA no consuntivos otorgados para industrias de minería. En la **Tabla 3-14** es posible observar que, si bien la mayor parte de los DAA otorgados están asociados

a CODELCO División El Teniente, también es importante considerar los derechos otorgados para exploraciones relacionadas con la industria de la minería.

Tabla 3-14 DAA otorgados para minería en cuenca río Rapel

Nombre solicitante	Volumen anual otorgado (hm ³ /año)
CODELCO Chile División El Teniente	2.712,93
Compañía Minera Rosario de Rengo	63,07
Exploraciones, inversiones y asesorías Huturi S.A.	14.296,21
Exploraciones	266,68
Total	17.338,89

Fuente: Elaboración propia en base a DAA otorgados por DGA

3.5 Demanda industrial

La demanda industrial se encuentra representada, principalmente, por la producción de 41 diferentes industrias relativas a actividades económicas como alimentos y bebidas, industrias frutícolas, entre otras, con un total de **15,4 hm³/año** de demanda hídrica para el año 2020. La metodología para proyecciones de demanda industrial es descrita en el **anexo F1. Sección 2.5.3.**

3.5.1 Demanda histórica y actual

La mayor parte de la demanda industrial actual de la cuenca río Rapel, la concentra la unidad de gestión río Cachapoal, con un 97,4% del total de la demanda, tal como se muestra en la **Tabla 3-15**. Le sigue la unidad de gestión Río Tinguiririca y Las Cadenas; mientras que la UG río Rapel no presenta demanda industrial.

Tabla 3-15 Demanda industrial por Unidad de Gestión en la cuenca río Rapel

Nombre	Demanda Industrial (hm ³ /año)	Porcentaje del total
Río Cachapoal	15,0	97,4%
Río Rapel	-	0,0%
Río Tinguiririca y Las Cadenas	0,4	2,6%
Total	15,4	100,0%

Fuente: Elaboración propia¹⁹

¹⁹ Ver Anexo F1 – Metodología, Sección 2.5

3.5.2 Demanda proyectada

Adicionalmente, la **Tabla 3-16** muestra las proyecciones para la demanda industrial desde la actualidad hasta el año 2050. En ella es posible observar que la demanda irá en aumento, creciendo un 92,8% desde 2020 hasta 2050, llegando a casi 30 millones de metros cúbicos (hm³) al año.

Tabla 3-16 Demanda Industrial proyectada en la cuenca río Rapel

UG	Demanda actual (hm ³ /año)	Demanda 2030 (hm ³ /año)	Demanda 2040 (hm ³ /año)	Demanda 2050 (hm ³ /año)
Río Cachapoal	15,0	19,6	24,3	28,9
Río Rapel	-	-	-	-
Río Tinguiririca y Las Cadenas	0,4	0,6	0,7	0,9
Total	15,4	20,2	25,0	29,8

Fuente: Elaboración propia

3.5.3 Derechos de aprovechamiento de aguas

Para el caso del sector industrial, los derechos de aprovechamiento de aguas otorgados se especifican en la **Tabla 3-17**, dando un total de 8.877,17 hm³/año.

Tabla 3-17 Derechos de aprovechamiento de aguas otorgados a industrias, cuenca río Rapel

Nombre solicitante	Volumen anual otorgado (hm ³ /año)
Chilgener S.A.	504,57
Compañía General de Electricidad Industrial	1.930,69
Megaridos Ltda.	5,67
Salmones Quinched	3,53
SCL Energía	6.432,71
Total	8.877,17

Fuente: Elaboración propia en base a DAA otorgados por DGA

3.6 Demanda pecuaria

La demanda pecuaria corresponde al consumo de agua asociado a la producción industrial, a nivel predial o de subsistencia de ganado de distintos tipos. Particularmente destaca la capacidad instalada para la producción de ganado porcino.

3.6.1 Demanda histórica y actual

La demanda de agua proveniente de actividades económicas ligadas al rubro pecuario representa un total de **22,76 hm³/año** para la cuenca del Río Rapel en el año 2020, según proyecciones realizadas en base al año 2015. De este total, la mayoría forma parte de la producción porcina, seguida de producción de pollos y gallinas, tal como es posible ver en la **Tabla 3-18**; siendo los sectores de Pupuyá y Chumaco aquellos que más se repiten entre aquellos con mayor productividad y demanda.

Entre las unidades de gestión que mayor cantidad de agua demandan, se encuentra río Rapel con 14,23 hm³/año, sobre todo con producción porcina (89% del total demandado); seguida de Cachapoal, con 4,65 hm³/año, ligado asimismo a la producción porcina (71% del total demandado); y Tinguiririca, con una demanda total anual de 3,88 hm³/año, representada también en su mayor parte por la producción porcina (90% del total demandado).

Tabla 3-18 Demanda hídrica pecuaria según tipo de ganado, año 2020

Tipo de ganado	UG Cachapoal (hm ³ /año)	UG Tinguiririca (hm ³ /año)	UG Rapel (hm ³ /año)
Bovino	0,21	0,17	0,17
Ovino	0,01	0,03	0,10
Caprino	0,00	0,01	0,00
Pollos y Gallinas	0,90	0,07	1,28
Otras aves	0,05	0,00	0,00
Porcino	3,30	3,50	12,59
Equino	0,15	0,09	0,07
Camélido	0,00	0,00	0,00
Otros	0,03	0,00	0,00
Total	4,65	3,88	14,23

Fuente: Elaboración propia en base a SISS (2015)

3.6.2 Demanda proyectada

A continuación, se presenta la demanda proyectada en la industria pecuaria de la cuenca Rapel. La **Tabla 3-19** muestra la comparación entre el promedio de demanda pecuaria actual (período 2015-2020) y el promedio de la demanda proyectada (2021-2050).

Tabla 3-19 Demanda pecuaria actual (promedio 2015-2020) y demanda proyectada (2021-2050) comparada

UG	Demanda actual (hm ³ /año) 2015-2020	Demanda proyectada (hm ³ /año) (2021-2050)
Cachapoal	4,53	6,00
Tinguiririca	3,38	5,94
Rapel	12,15	22,22
Total	20,06	34,16

Fuente: Elaboración propia en base a SISS (2015)

3.6.3 Derechos de aprovechamiento de agua

No se ha identificado uso pecuario dentro del listado de registro de Derechos de Aprovechamiento de aguas de la Dirección General de Aguas. Se considera que dicho uso está implícito dentro del listado de uso para riego, silvoagropecuaria y otros usos.

3.7 Demanda hidroeléctrica

3.7.1 Demanda histórica y actual

La demanda hidroeléctrica de la cuenca río Rapel se encuentra asociada, principalmente, a 6 centrales, las cuales consideran un caudal máximo turbinable de 853 m³/s, equivalente a **2.247 hm³/año**. El detalle respecto a la demanda según cada una de las hidroeléctricas y las unidades de gestión respectivas se encuentra presentado en la **Tabla 3-20**.

Tabla 3-20 Demanda hídrica de centrales hidroeléctricas en cuenca río Rapel

UG	Central	Caudal máximo turbinable (hm ³ /año)
Cachapoal	Chacayes	191,1
	Pangal	27,7
	Coya	79,1
	Sauzal	210,8
	Sauzalito	158,1
Total UG Cachapoal		666,8
Rapel	Rapel	1.581,1
Total UG Rapel		1.581,1
Total		2.247,8

Fuente: Elaboración propia en base a caudal máximo turbinable

Así, en la cuenca río Rapel, la central hidroeléctrica Rapel concentra alrededor del 70% del caudal máximo turbinable de toda la cuenca, por lo que se trata de aquella que puede demandar una mayor cantidad de agua a lo largo de un año, con 1.581 hm³/año; siguiéndole la central hidroeléctrica Sauzal con 210,8 hm³/año (alrededor de un 9% del total); y Central Chacayes con 191,1 hm³/año (alrededor del 8% total). En términos de unidades de gestión, la UG Cachapoal representa un total de 666,8 hm³/año y UG Rapel 1.581 hm³/año.

3.7.2 Demanda proyectada

La demanda hidroeléctrica proyectada no está determinada por el aumento en la potencia instalada dentro de la cuenca, sino que por la disminución en la oferta de agua en los cauces naturales. En consecuencia, se estimó que la demanda es permanente en el tiempo, sin perjuicio de los resultados de la evaluación futura de generación potencial.

3.7.3 Derechos de aprovechamiento de aguas

Del total de derechos de aprovechamiento de aguas otorgados para usos no consuntivos, 79 DAA pertenecen a diferentes hidroeléctricas. La mayor parte de estos derechos los tiene la empresa Pacific Hydro Chile S.A., junto con su proyecto de planta Chacayes. A continuación, la **Tabla 3-21** muestra el total de volumen otorgado en hm³/año según los diferentes solicitantes asociados a empresas hidroeléctricas que, en total, asciende a **5.431,31 hm³/año**.

Tabla 3-21 Volumen otorgado de DAA para empresas hidroeléctricas

Nombre solicitante	Volumen anual otorgado (hm³/año)
Electro Austral Generación Ltda.	138,89
ENDESA	473,04
Hidroeléctrica Cachapoal S.A.	171,64
Hidroeléctrica Dos Valles SpA	227,77
Hidroeléctrica El Paso SpA	666,65
Hidroeléctrica La Higuera	950,66
Hidroeléctrica San Andrés	27,69
HydroChile	83,31
Pacific Hydro Chacayes	54,11
Pacific Hydro Chile	2.637,55
Total	5.431,31

Fuente: Elaboración propia en base a DAA otorgados por DGA

3.8 Demandas para uso recreacional y cultural

En la cuenca del Rapel existe un ZOIT, "Lago Rapel", ubicado según su nombre en el embalse Rapel. Dicha zona fue declarada como ZOIT en 2014 por Decreto del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo N°126. La zona de interés abarca el territorio del embalse Rapel con las actividades y emprendimientos turísticos. En este ámbito se generó una corporación sin ánimo de lucro para el desarrollo y protección del lago, CODEPRA.

Dentro de las acciones de conservación, anualmente ENEL por solicitud de CODEPRA resguarda una cota mínima de 104 msnm para los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero. Sin embargo, ENEL queda bajo requerimientos del Coordinación Eléctrico Nacional. Dicha demanda queda reflejada en el modelo hidrológico como requerimiento de cota mínima para dichos meses.

3.9 Sistematización de la demanda

En conclusión, la cuenca tiene una demanda total consuntiva bruta de 4.671 hm³/año, incluyendo una demanda por caudal ecológico en la desembocadura del río Rapel (sección 3.2). A continuación, la **Tabla 3-22** muestra la síntesis de la demanda consuntiva para la cuenca río Rapel en los diferentes períodos de tiempo estudiados.

Tabla 3-22 Síntesis de la demanda actual (2020), hm³/año

Demanda hm ³ /año Sectores	Consumo humano		NMA	Agri.	Ind.	Pec.	HE	Total, C.	Total, NC
	APU	SSR							
Primera Cachapoal	45,10	1,96		1.346					
Segunda Cachapoal	4,73	3,80		446					
Tercera Cachapoal	5,57	1,36		461					
Rio 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 3-23**). 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 3-23 Síntesis de la demanda proyectado (2040-2050), hm³/año

Demanda hm³/año	Consumo humano		NMA	Agri.	Ind.	Pec.	HE	Total, C.	Total, NC
Sectores	APU	SSR							
Primera Cachapoal	62,52	3,13		1.313					
Segunda Cachapoal	7,03	7,10		432					
Tercera Cachapoal	6,55	1,87		450					
Rio 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

4 OFERTA DE AGUA

La oferta del agua en una cuenca permite una mejor comprensión sobre cómo opera la cuenca y cuáles son las principales problemáticas. Si bien es necesario dar cuenta de las extracciones y demandas, identificar la oferta de agua es el hilo conductor entre las variables ambientales, sociales y físicas de una cuenca. En este capítulo, se aborda la oferta de agua superficial y subterráneas de la cuenca río Rapel, poniendo atención en las variables que explican esta oferta, la cantidad y calidad del agua, posibles fuentes de contaminación, derechos de aprovechamiento de aguas y glaciares.

4.1 Agua Superficial

4.1.1 Fuentes

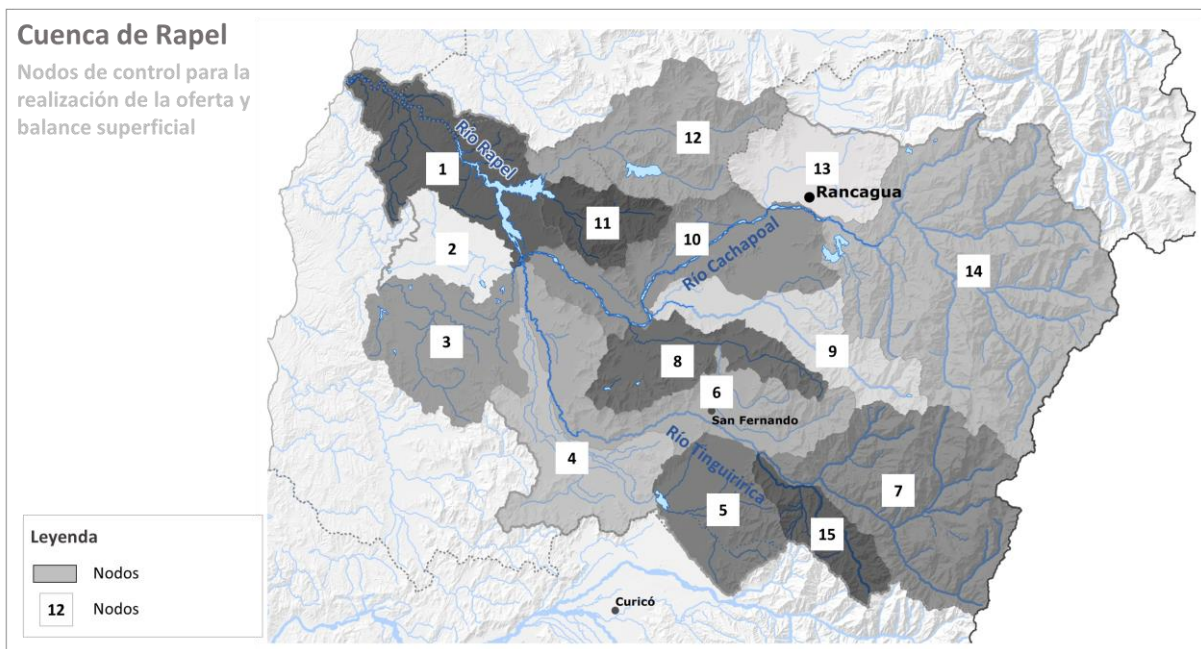
Dentro de las fuentes superficiales de mayor envergadura de la cuenca, se cuenta con dos ríos principales, **río Cachapoal y Tinguiririca**, más dos esteros: Alhué y estero Las Cadenas. Este conjunto de cauces termina en el embalse Rapel, el cual forma el río Rapel para luego desembocar en el Océano 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 (ver sección 2.1.3.1) 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 4-1**.

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 4-1 Nodos de control para la realización de la oferta y balance superficial

4.1.2 Oferta en la fuente

La oferta en la fuente 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 4-1**).

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 **3.377hm³/año**.

La metodología de análisis de la oferta se presenta en el Anexo F1 (sección 3) y los resultados del análisis en el apéndice F3. Finalmente, en el Anexo H se presenta la metodología para la generación de los datos en el modelo hidrológico WEAP, sección 2.2.1.

4.1.2.1 Oferta Histórica y actual

En este punto se entrega la oferta histórica (1990-2014) y actual (2015-2020) para el régimen natural e intervenido, según **Tabla 4-1** y **Tabla 4-2** respectivamente.

La oferta en régimen natural para el periodo histórico es de **5.794 hm³/año (Tabla 4-1)** con mayor caudal en el mes de septiembre, teniendo en general caudales punta entre los meses invernales y de deshielo (julio hasta octubre).

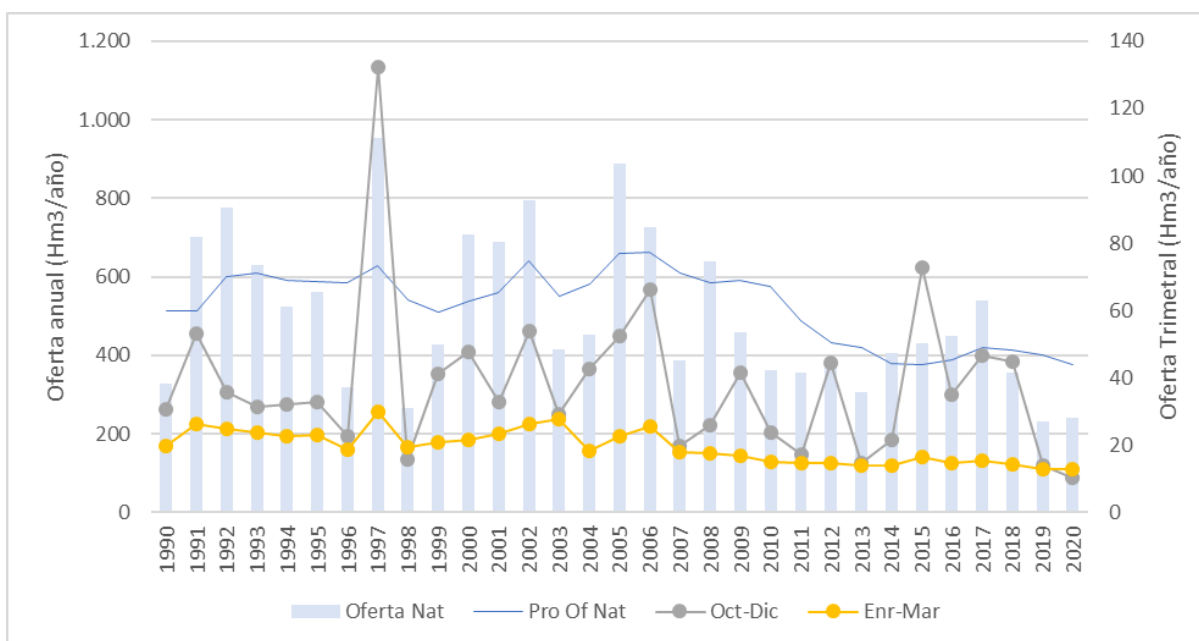
La **Figura 4-2** muestra la oferta histórica desde 1990 hasta 2020, con datos anuales y trimestrales (primer y último trimestre de cada año). En el eje izquierdo, se muestran los datos de la oferta anual total, correspondiente a las barras en color azul pálido junto con el promedio de la oferta anual con línea azul. En ese sentido, se observa que la oferta se comporta de manera irregular hasta el año 2006 aproximadamente, para luego disminuir progresivamente hasta la actualidad.

Complementariamente, el eje derecho muestra los datos trimestrales, la línea gris representa los datos del último trimestre, considerablemente mayores que el primer trimestre del año, representado por la línea con puntos amarillos. La comparación de ambos es importante no sólo porque ambos van a la baja, sino porque la brecha de agua entre ambos trimestres se va estrechando progresivamente, lo que implica una menor oferta tanto en meses primaverales como estivales.

Dada la localización de cada uno de los nodos, teóricamente la sumatoria de la oferta del caudal de los nodos 8, 9, 13 y 14 (ver **Figura 4-1**) corresponde al caudal total del nodo que le corresponde, en este caso, el nodo 10 correspondiente a la unidad de gestión río Cachapoal. La misma situación ocurre, en teoría, con los nodos 4, 5, 7 y 15 (ver **Figura**

4-1) para el caso correspondiente del nodo ubicado en río Tinguiririca. El caudal total es posible identificarlo a partir de los datos obtenidos en el nodo 1 correspondiente a río Rapel, en base a los caudales obtenidos con anterioridad.

Sin embargo, los resultados de los principales nodos no se condicen necesariamente con la sumatoria total de los nodos que le preceden. Esto se debe a que los lineamientos teóricos se basan en cálculos que consideran un escenario óptimo que, entre otros elementos, no dan cuenta de contextos en el que existen desvíos e infiltración de agua a los acuíferos, por lo que en la realidad los datos de caudales aguas arriba no siempre se condicen con el total aguas abajo.



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

Figura 4-2 Oferta histórica en régimen natural en la desembocadura del Río Rapel, periodo 1990-2020

Tabla 4-1 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 4-1)

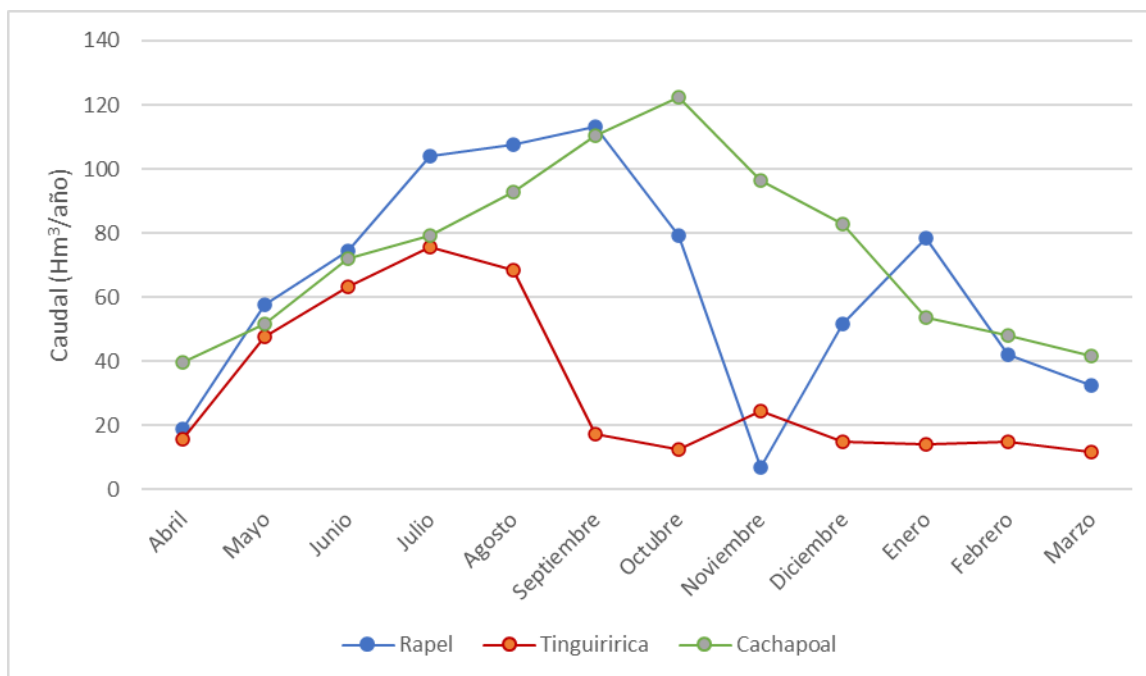
La **Tabla 4-2** muestra que la oferta en un escenario intervenido es de 5.259 hm³/año (1990-2014). La diferencia entre oferta natural e intervenida es de 535 hm³/año. Asimismo, los datos demuestran que existe una disminución de un 41,7% entre el caudal histórico y actual, para el caso de un escenario natural; y de un 42,6% menos para el caudal intervenido en la cuenca.

Tabla 4-2 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 4-1)

Por otro lado, los resultados arrojaron que la oferta hídrica se acumula en los meses de julio a noviembre, donde el mayor volumen se presenta en el mes de noviembre. La **Figura 4-3** representa el caudal de excedencia con un 85% en los puntos de control en las Unidades de Gestión de la cuenca, correspondientes a los nodos 1, 6 y 10 (río Rapel, río Tinguiririca y río Cachapoal, respectivamente). En él es posible identificar que la distribución del caudal sigue una curva cóncava en los primeros cinco meses del año hidrológico, aumentando considerablemente en los meses de agosto, septiembre y octubre, producto de las precipitaciones propias del derretimiento de las nieves.



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

Figura 4-3 Caudal en el período 1990-2020 según probabilidad de excedencia de 85%. Unidades de Gestión, cuenca río Rapel

4.1.2.2 Oferta proyectada

Por otra parte, como se ha mencionado en el punto 2.2.2.3 “Escenarios de cambio climático” y en el Anexo H (sección 2.2.1.); 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 4-3** y **Tabla 4-4**, 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 4-3 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 4-1)

Dados los datos históricos, actuales y proyectados de caudales según las unidades de gestión de la cuenca río Rapel, se demostró que existe una disminución constante de estos a través del tiempo. Se han analizado caudales, tanto a nivel histórico (desde 1990 hasta la actualidad), como también a nivel proyectado (al año 2050).

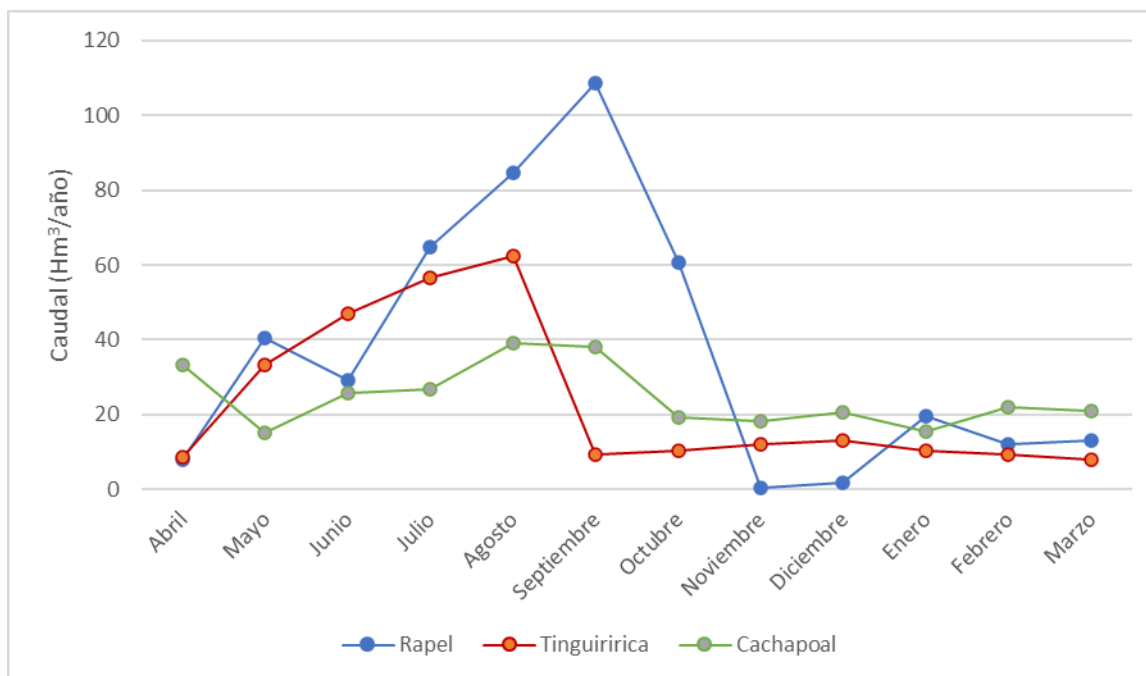
Por otro lado, la distribución de los datos demostró que existen diferencias entre cómo se han comportado los caudales históricos en comparación con la situación actual, donde existe una mayor concentración en los meses primaverales, cuando es posible explicar el aumento de caudales producto del derretimiento de las nieves. El comportamiento de los datos históricos hasta la actualidad forma parte de una distribución normal para el caso de cuencas con régimen mixto pluvio-nival.

Tabla 4-4 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- Modflow). Anexo F3. (Ver Figura 4-1)

La **Figura 4-4** representa el caudal de excedencia con un 85% en los puntos de control en las Unidades de Gestión de la cuenca, correspondientes a los nodos 1, 6 y 10 (ver Figura 4-1).



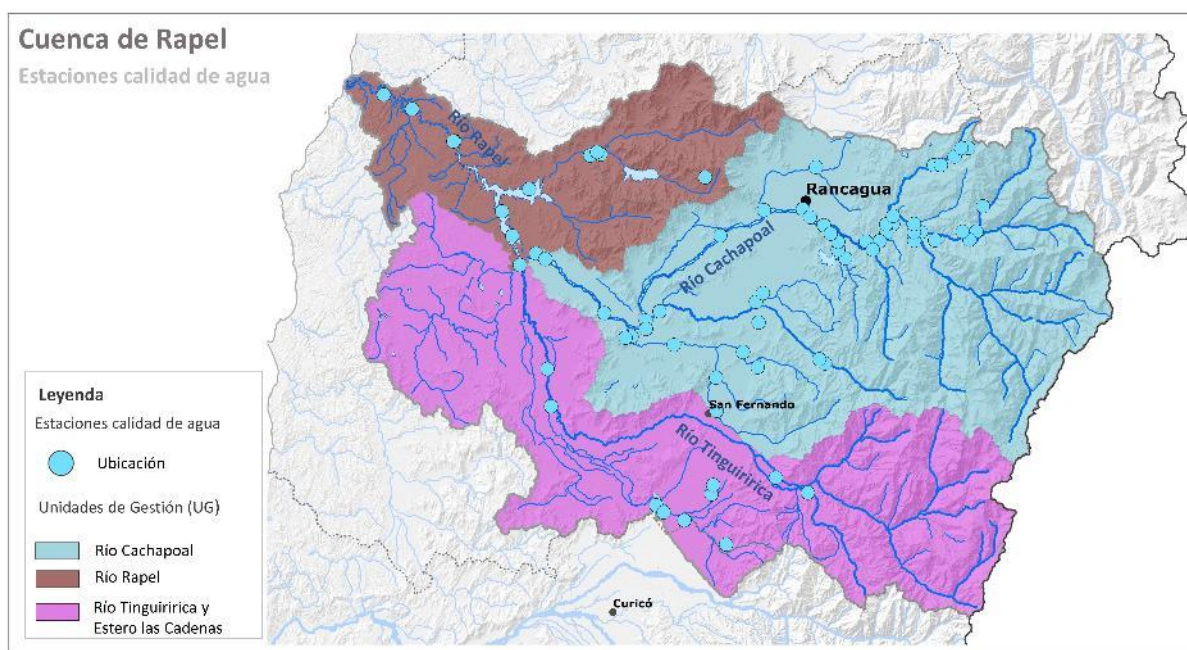
Fuente: Elaboración propia en base a datos del Modelo hidrogeológico actual (Acoplado -WEAP-Modflow)

Figura 4-4 Caudal proyectado en el período 2021-2050 según probabilidad de excedencia de 85% en cuenca río Rapel

Sin embargo, es interesante notar que, para un escenario proyectado, el comportamiento de los datos tiende a distribuirse de manera levemente diferente. Para el año 2050, los caudales de la cuenca Rapel se concentrarían mucho más en los meses primaverales en comparación con el caudal invernal. La situación proyectada, en este sentido, podría explicar una tendencia que profundiza la dependencia en la oferta de agua producto del derretimiento de las nieves.

4.1.3 Calidad del agua

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. Con respecto a las 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, tal como se muestra en la **Figura 4-5**.

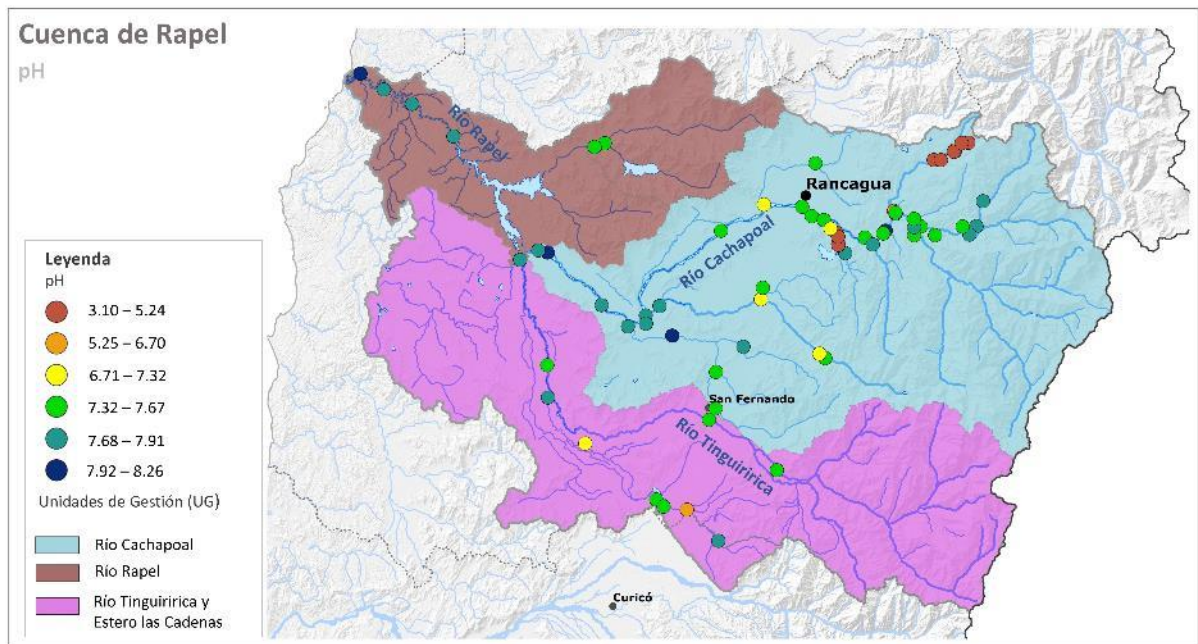


Fuente: Elaborada a partir de datos DGA (2020)

Figura 4-5 Estaciones de calidad de aguas superficiales cuenca del río Rapel

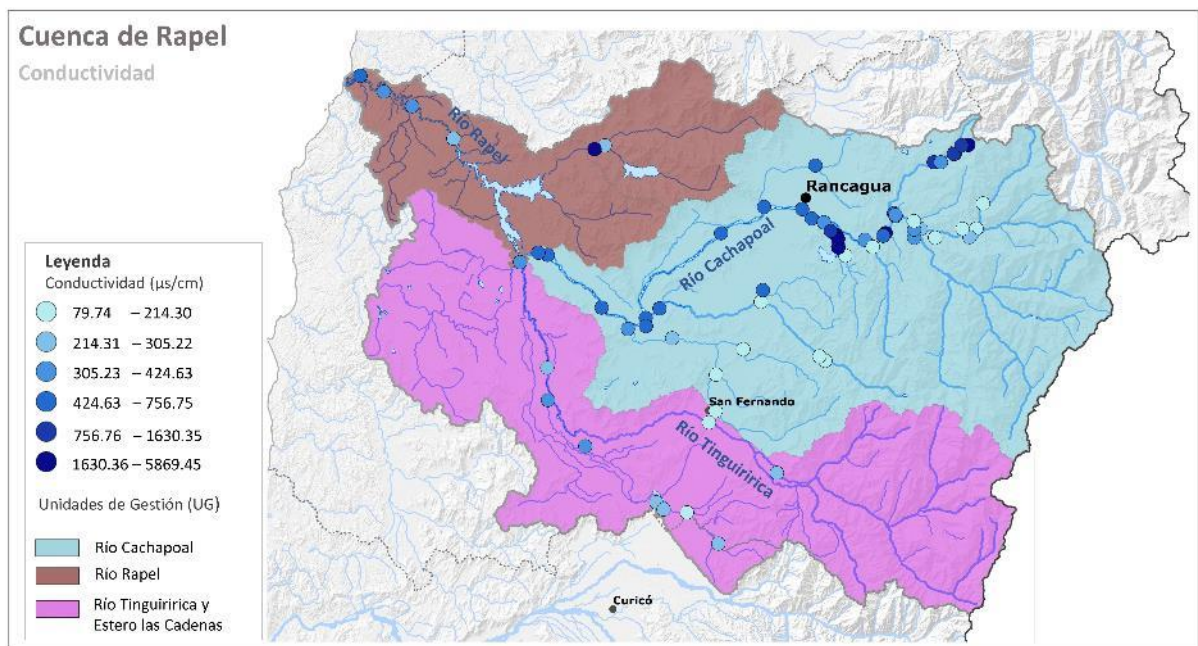
En relación con el análisis de calidad de aguas superficiales, de acuerdo con el “Mapa Hidroquímico de Chile” (DGA, 2019), la cuenca del río Rapel presenta calidad “no buena” dentro del índice de calidad de agua ODS. A continuación, la **Figura 4-6**, **Figura 4-7** y **Figura 4-8** muestran los principales 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.

La **Figura 4-6** muestra que 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.



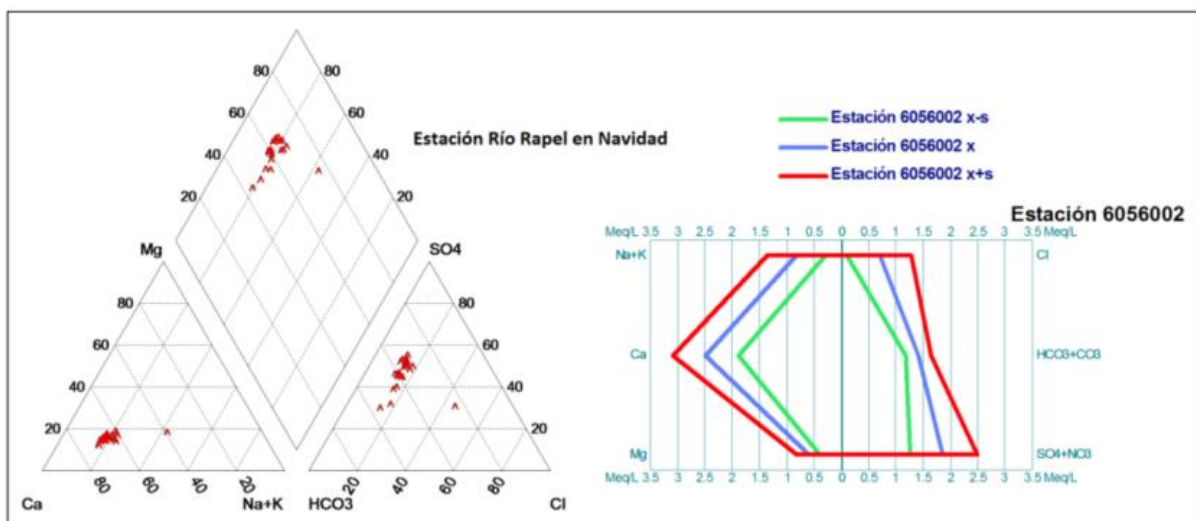
Fuente: Elaborada a partir de datos (DGA, 2019)

Figura 4-6 pH cuenca del río Rapel



Fuente: Elaborada a partir de datos (DGA, 2019)

Figura 4-7 Conductividad SSR estudiados dentro de la cuenca de Rapel



Fuente: Extraída de (DGA, 2017)

Figura 4-8 Diagramas de Piper y Stiff Estación hidrométrica de calidad de aguas superficiales Río Rapel en Navidad

A partir de la **Figura 4-8**, 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 que se muestra en la **Figura 4-7**. Por otro lado, no hay cambios sustanciales a nivel de cuenca en los niveles de arsénico.

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 señalar 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.

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.

4.1.4 Fuentes de contaminación

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 en la parte alta de las cuencas. En ese sentido, es importante el caso de las actividades mineras y sus impactos en glaciares y cursos de agua. Prácticas de exploración y explotación de yacimientos, han provocado contaminación y acidificación de las aguas, debido a la reacción química del material de descarte cuando entra en contacto con la atmósfera, siendo especialmente grave debido a la percolación aguas abajo hacia ríos y esteros, afectando el consumo humano, la agricultura y los ecosistemas.

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).

4.1.5 Derechos de aprovechamiento de aguas concedidos

En la oferta superficial, la cuenca de río Rapel tiene 888,84 hm³/año derechos superficiales otorgados, según registro DGA. La **Tabla 4-5** presenta los derechos otorgados en volumen anual según los sectores de riego definidos.

Tabla 4-5 Total anual y acumulado (Hm³/año) derechos otorgados según Unidad de Gestión, Sector y Tipo de Ejercicio en la cuenca Río Rapel

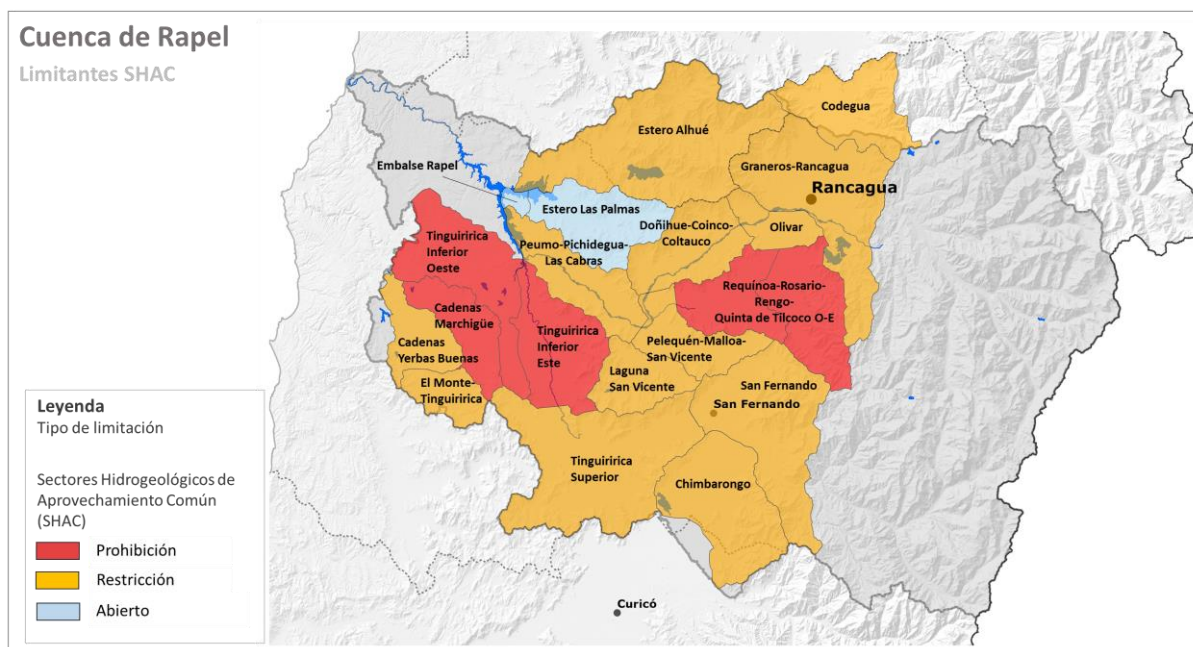
UG	Nodo	Sectores	Ejercicio	Total Anual (hm³/año)
Cachapoal	8	Zamorano	Permanente	5,07
		Río Claro	Permanente	0,93
	9	Claro Rengo	Permanente	26,65
		Cachapoal Bajo	Permanente	5,42
	10	Cachapoal Bajo	Permanente	39,09
		Cachapoal Alto	Permanente	18,04
	13	Cachapoal Norte	Permanente	1,08
		Cachapoal Sur	Permanente	6,34
	14	Cachapoal Alto	Permanente	93,27
			Eventual	31,88
Tinguiririca	15	Río Claro	Permanente	4,97
	7	Tinguiririca Alto	Permanente	3,20
	5	Convento Viejo	Permanente	0,22
			Eventual	30,00
	4	Chimbarongo y Chépica	Permanente	419,86
	6	Convento Viejo	Permanente	0,70
		Tinguiririca Bajo	Permanente	25,78
			Eventual	6,31
Rapel	2	Rapel Bajo	Permanente	3,04
	3	Las Cadenas	Permanente	0,62
	11	Las Palmas	Permanente	0,34
	12	Alhué	Permanente	5,70
			Eventual	13,83
	1	Rapel Bajo	Permanente	229,52
			Eventual	357,45
Total Cuenca			Permanente	888,84
			Eventual	439,47
			Total General	1.329,56

Fuente: Elaboración propia a partir de registros históricos de derechos superficiales otorgados por Dirección General de Aguas

4.2 Agua subterránea

4.2.1 Sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común

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 (ver **Figura 4-9**). Los límites administrativos de los SHAC se encuentran dentro de la región Libertador General Bernardo O'Higgins, a excepción del SHAC Codegua, situado entre la región Metropolitana y región Libertador General Bernardo O'Higgins.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4-9 Estados de SHAC según limitación, cuenca río Rapel

En la **Tabla 4-6** y **Tabla 4-7** se observa el sector acuífero del Cachapoal y Codegua, el cual actualmente posee zonas con restricción y prohibición de uso de aguas subterráneas. Los SHAC de Graneros – Rancagua y Olivar, Requinoa – Rosario – Rengo Quinta de Tilcoco, y Codegua se encuentran en prohibición, la categoría de acuerdo con la Resolución DGA 75 publicada en el Diario Oficial en 2007 (GORE, 2011). En el sector de acuíferos de Tinguiririca, los SHAC en prohibición son Tinguiririca Inferior y Las Cadenas – Marchigüe.

Las aguas subterráneas presentan direcciones de escurrimiento variadas en la cuenca del Rapel: en la zona de Codegua la dirección de escurrimiento presenta una dirección de sur a norte, por lo que aquellos flujos subterráneos de esta zona evacúan principalmente fuera de la cuenca y se integran a la cuenca del Maipo que limita por el norte con la zona de estudio.

Por otro lado, el agua que no es evacuada hacia fuera de la cuenca sigue una dirección de norte a sur, viaja desde el sector de Angostura de Paine para luego confluir con el agua proveniente desde la cordillera de Los Andes. Éstas, en su conjunto, se dirigen siguiendo el avance del río Cachapoal para luego desembocar hacia el Embalse Rapel. Por otro lado, las aguas desde las localidades de San Fernando y San Vicente de Tagua Tagua tienen una dirección de este a oeste siguiendo el avance del río Cachapoal, confluyendo (en las cercanías de Peumo) con las aguas provenientes desde el norte, para así desembocar en el embalse Rapel.

Tabla 4-6. Ubicación y estado de limitación de los sectores acuíferos, subcuenca Cachapoal y Codegua

Subcuenca Cachapoal y Codegua		
Sector	Descripción	E
Graneros – Rancagua	Este sector se ubica en la parte alta del relleno acuífero del Cachapoal, es decir, al norte del río Cachapoal entre las localidades de Graneros y Rancagua.	R
Olivar	Este sector se encuentra asociado a la localidad de Olivar y se ubica al sur de la localidad de Rancagua. La localidad de Olivar está delimitada superiormente por el río Cachapoal y termina aguas arriba de la división del valle hacia Doñihue y Requínoa.	P
Doñihue - Coinco – Coltauco	Este sector se compone de las localidades de Doñihue, Coinco y Coltauco. Sus principales fuentes superficiales son el curso intermedio del Cachapoal y el Estero Idahue.	R
Requínoa – Rosario - Rengo Quinta de Tilcoco	Este sector se compone de las localidades de Requínoa, Rosario, Rengo y Quinta de Tilcoco y está asociado a la cuenca del río Claro.	P
Pelequén - Malloa - San Vicente de Tagua Tagua	Este sector se compone de las localidades de Pelequén, Malloa y San Vicente de Tagua Tagua. La cuenca del estero Zamorano es el principal aporte superficial.	R
Peumo - Pichidegua - Las Cabras	Este sector que se ubica el parte inferior del río Cachapoal, se compone de las localidades de Peumo, Pichidegua y Las Cabras y representa la descarga del valle hacia el embalse Rapel.	R
Codegua	Ubicado entre la región Metropolitana y región Libertador General Bernardo O'Higgins.	P

Fuente: DGA 2006

En otra zona de la cuenca, las aguas pertenecientes al sector de Alhué se mueven siguiendo la dirección del estero del mismo nombre, para finalmente integrarse al Embalse Rapel. En su mayoría, las aguas que escurren desde esta zona provienen desde la cordillera de La Costa y desde el embalse Carén. Por otro lado, desde la localidad de Chimbarongo el agua fluye en una dirección de este a oeste, hasta encontrarse con el Embalse Convento Viejo y así continuar desplazándose; estas aguas siguen una dirección paralela al río Tinguiririca

para luego encontrarse con las aguas provenientes desde Marchigüe y finalmente desembocar por el sur en el embalse Rapel.

Tabla 4-7. Ubicación y estado de limitación de los sectores acuíferos, subcuenca Tinguiririca

Subcuenca Tinguiririca		
Sector	Descripción	E
Tinguiririca Superior	Este sector corresponde a la parte intermedia del río Tinguiririca. Se encuentra delimitado superiormente aguas debajo de la localidad de San Fernando por el lado del río Tinguiririca y por el embalse Convento viejo por el lado del estero Chimbarongo. Su descarga se produce aguas abajo de la localidad de Santa Cruz.	R
Tinguiririca Inferior	Este sector corresponde a la parte baja del río Tinguiririca y su llegada al embalse Rapel. Se encuentra delimitado aguas arriba por la zona del Tinguiririca Superior.	P
San Fernando	Este sector corresponde a la parte alta del río Tinguiririca, aguas arriba de la localidad de San Fernando. Entre los cursos superficiales se le asocia la parte alta del río Tinguiririca y el estero Antivero.	R
Chimbarongo	Este sector corresponde a la localidad de Chimbarongo y se encuentra aguas arriba del embalse Convento Viejo.	R
El Monte	Este sector corresponde al estero El Monte.	R
Las Cadenas – Yervas Buenas	Este sector corresponde a la zona del estero Las Cadenas, aguas abajo del estero El Monte y abarca la cuenca aportante del estero Yervas Buenas. Su límite inferior corresponde al estero Las Rosas.	R
Las Cadenas – Marchigüe	Este sector corresponde al relleno asociado al estero Las Cadenas entre el estero la Rosa y la Confluencia del estero las Cadenas con el estero Peralillo.	P
Laguna San Vicente	Este sector se ubica al sur de la localidad de San Vicente de Tagua Tagua y se encuentra asociado a la Laguna San Vicente.	R

Fuente: DGA 2006

En la cuenca existen angostamientos principalmente en la zona que acompaña al río Cachapoal, específicamente al norte del Estero Zamorano. Este angostamiento produce afloramientos debido a que el flujo que se dirige desde el norte hacia el río Cachapoal no puede fluir con suficiente libertad. Estos angostamientos se observan también en la zona de Malloa, sin embargo, debido a la naturaleza de la dirección de los flujos no es muy probable encontrar afloramientos en esta zona. Finalmente, en la zona de Santa Cruz, específicamente en las zonas laterales al curso del río Tinguiririca, también se producen

afloramientos, los que principalmente se producen por la gran cantidad de aguas subterráneas disponibles en ese sector.

4.2.2 Oferta en la fuente

4.2.2.1 Oferta histórica y actual

Para la caracterización de la oferta Subterránea en los SHAC se utiliza el Volumen o Stock, la Recarga (I/s), y el nivel de la napa. Para ver la metodología de cálculo referirse al Anexo H, sección 2.2.2. En la **Tabla 4-8, Tabla 4-9 y Tabla 4-10** 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 4-8 Volumen húmedo 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 4-9 Recarga 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 4-10 Nivel de la Napa (Profundidad - m). Periodo Histórico y actual

SHAC	Sup km ²	Período Histórico		Período Completo
		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

4.2.2.2 Oferta proyectada

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 4-11**, **Tabla 4-12** y **Tabla 4-13**, 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 4-11 Volumen húmedo de los acuíferos (Stock - hm³). Periodo Proyectado

SHAC	Volumen Bruto	Periodo 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 - Modflow). Anexo F3.4

Tabla 4-12 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 - Modflow). Anexo F3.4

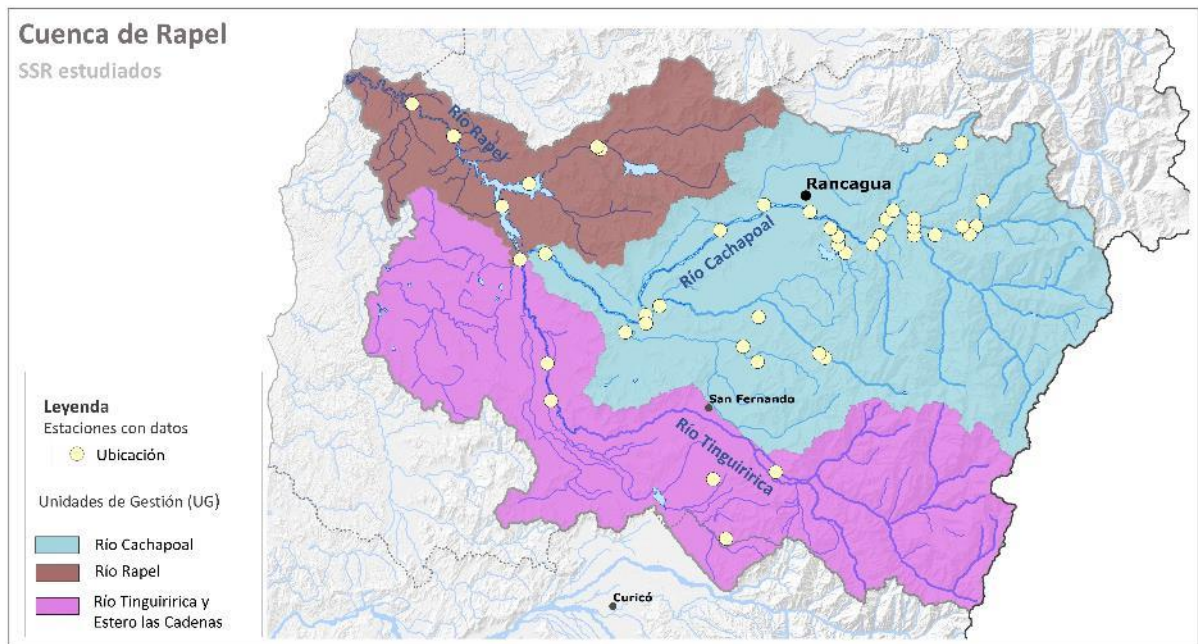
Tabla 4-13 Nivel de la Napa (Profundidad- m). Periodo Proyectado

SHAC	Sup km ²	Periodo 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 - Modflow). Anexo F3.4

4.2.3 Calidad del agua

La principal fuente de información y análisis sobre la calidad de las aguas subterráneas dentro de la cuenca de Rapel es el "Diagnóstico de la calidad de las aguas subterráneas de la región del Libertador Bernardo O'Higgins" (DGA, 2015) y el estudio de DGA (2018c) realizado a partir de éste, donde se realizaron mediciones de laboratorio de calidad de aguas de 43 SSR insertas en la cuenca. La **Figura 4-10** muestra la distribución de los SSR estudiados, los que se presentan cerca de los principales cursos fluviales.



Fuente: Elaborada a partir de datos DGA (2015)

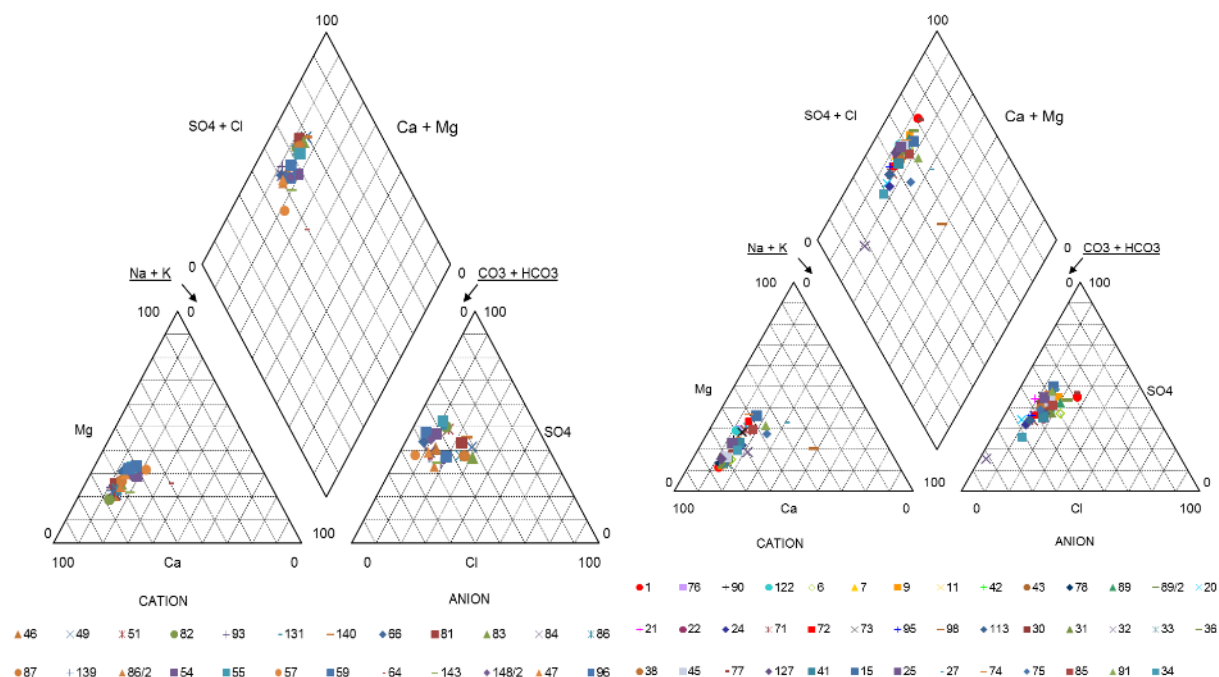
Figura 4-10 SSR estudiados dentro de la cuenca del río Rapel

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 NO_3 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, aunque 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

Manganeso, 1 pozo superó Hierro y 1 pozo superó Manganeso 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 4-11** grafica esta información a través de un diagrama de Piper.



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

Figura 4-11 Representación mediante diagrama de Piper de las características químicas de las aguas subterráneas muestreadas en el acuífero Tinguiririca y Cachapoal

En el seguimiento de la calidad de aguas subterráneas (DGA, 2018c), las principales conclusiones son:

Concentración de iones: En el trayecto de las aguas por el sector medio del acuífero Cachapoal (sectores Doñihue-Coinco-Coltauco), se evidencia un incremento en la concentración de los aniones sulfato y cloruro, tendencia que se ve reforzada y complementada con el aumento de Magnesio y Sodio con el paso de las aguas en el sector Peumo-Pichidegua-Las Cabras. Las aguas del acuífero Tinguiririca presentan diferencias con las del acuífero Cachapoal, principalmente en cuanto a la concentración total de iones (resulta mayor en este último). Se distinguen diferencias entre las aguas subterráneas en la zona del valle del río Tinguiririca y las aguas subterráneas que fluyen más al sur, por el valle del estero Chimbarongo (aguas abajo del embalse Convento Viejo)

Nitrato (NO_3^-): Respecto a su origen, se puede señalar que una parte importante proviene de fuentes de materia orgánica como depósitos de estiércol, alcantarillados, fosas sépticas y de productos de origen químico que se utilizan en la agricultura (fertilizantes). Además, el nitrato se puede movilizar fácilmente con el agua e infiltrarse hasta alcanzar el acuífero, lo que lo hace especialmente importante cuando está disponible en grandes cantidades.

Dentro de este parámetro se suelen considerar afectadas aquellas aguas que superan o puedan alcanzar la concentración indicada en la norma de agua potable (50 mg/L de NO_3). Dentro de las mediciones se evidencian concentraciones más elevadas en las comunas de Peumo, Las Cabras, Quinta de Tilcoco, Chépica, Chimbarongo y en San Fernando. Al considerar el estándar de agua potable (NCh409/2005), se puede concluir que en un pozo (Comité de A.P.R. Los Romos La Pedrina) la concentración de Nitratos fue superior a 50 mg/L. 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 el acuífero Cachapoal (21 mg/L de NO_3), finalmente el acuífero Tinguiririca presentó el promedio más elevado (22 mg/L de NO_3). La comparación por sector acuífero permite evidenciar que el sector Peumo-Pichidegua-Las Cabras presentó, en promedio, la mayor concentración de Nitratos (37.8 mg/L de NO_3), seguido por el sector acuífero Chimbarongo (25,8 mg/L de NO_3) y San Fernando (25,3 mg/L de NO_3).

De acuerdo con el estudio “Determinación de la Presencia de Nitrógeno de diversas fuentes en Aguas Subterráneas en un Acuífero Agrícola” (GP Consultores Ltda, 2013), en aguas subterráneas del sector de Pichidegua, se indica que, no obstante la intensiva utilización de fuentes nitrogenadas en la superficie del terreno, las mediciones de N-Nitratos en el sistema de aguas subterráneas muestra bajas concentraciones en el entorno de 5 mg-N/L, normalmente bajo los 10 mg-N/L.

En el sistema acuífero, las norias con mayores concentraciones mostraron que existe una fuente próxima a cada una de ellas y que aportan estacionalmente diferentes concentraciones de N-Nitrato (probablemente asociados al regadío). Adicionalmente, 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). Una comparación por sector acuífero permite evidenciar que el sector Peumo – Pichidegua - Las Cabras (Sector 1) presenta en promedio la mayor concentración de Nitratos (37,8 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.

Amonio (NH_4) y Fosfato (PO_4): Los análisis de Amonio (NH_4) informaron que este ion no fue detectado en las aguas subterráneas, debido a que las concentraciones resultaron

mínimas, menores al límite de detección del laboratorio ($< 0,01$ mg/L de NH_4). Los análisis de fosfato (PO_4) detectaron la presencia de este ion en 9 de los 70 pozos, con concentraciones que van en el rango 0,3 mg/L a 0,9 mg/L. Para este parámetro no se dispone de una concentración máxima de referencia pues no está regulado para agua potable o para agua de riego. En términos generales, el fosfato en el agua subterránea tiene su origen en los aportes que hace la materia orgánica existente en el suelo, además de los aportes de fertilizantes y sustancias de origen industrial que pueden lixiviar hasta llegar al acuífero.

Microelementos: Un aspecto positivo a destacar es que ningún pozo registró concentraciones superiores a la norma de agua potable (NCh 409/2005) para los parámetros plata, aluminio, boro, cadmio, cobalto, cromo, cobre, mercurio, molibdeno, níquel, plomo y selenio (ver **Tabla 4-14**).

4.2.4 Fuentes de contaminación

La contaminación de las aguas se puede generar principalmente por las aguas servidas originadas de usos domésticos, efluentes mineros y residuos industriales líquidos, de la lixiviación de sales al suelo, contaminación difusa por fertilizantes y pesticidas en aguas subterráneas (Santibáñez, 2018).

Con respecto a la actividad minera, diversos estudios (Rodríguez y Candela, 1998; Kirschbaum y Murray, 2011; Oviedo-Anchundia et al., 2017) han demostrado 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.

Esta última fuente, dadas las características socioeconómicas de la cuenca, es de especial relevancia. Como se describió anteriormente, los nitratos pueden ser contaminantes importantes, al ser un compuesto soluble y, por tanto, ser capaz de trasladarse grandes distancias (tanto a nivel superficial como subterráneo) cuando está disuelto. Esta condición representa un problema cuando existe contaminación de este compuesto, siendo la utilización de fertilizantes y desechos de actividades ganaderas las principales fuentes de contaminación difusas de aguas subterráneas. Según el informe de la Dirección General de Aguas de "Seguimiento de la calidad del agua subterránea año 2018", existen altas concentraciones de nitrato en los SHAC de Graneros-Rancagua, Peumo-Pichidegua-Las Cabras, Requínoa-Rosario-Rengo-Quinta de Tilcoco y Tinguiririca Superior.

Tabla 4-14 Resumen de los resultados de análisis químicos de microelementos en aguas subterráneas de la VI Región

Parámetro	Símbolo	Límite de detección de laboratorio DGA	Límite agua potable (NCh 409/2005)	Límite agua de riego (NCh 1333)	Observación
Plata	Ag	0,01 mg/L	-	0,2 mg/L	No detectado
Aluminio	Al	0,5 mg/L	-	5 mg/L	No sobrepasa normas
Arsénico	As	0,001 mg/L	0,01 mg/L	0,1 mg/L	Sobrepasa norma de agua potable en 2 pozos: A.P.R. Idahue de San Vicente (acuífero Laguna San Vicente) y A.P.R. La Arboleda Valle Hermoso (acuífero Tinguiririca Inferior)
Boro	B	1 mg/L	-	0,75 mg/L	No detectado
Cadmio	Cd	0,01 mg/L	0,01 mg/L	0,01 mg/L	No detectado
Cobalto	Co	0,04 mg/L	-	0,050 mg/L	No detectado
Cromo	Cr	0,05 mg/L	0,05 mg/L	0,1 mg/L	No detectado
Cobre	Cu	0,02 mg/L	2 mg/L	0,2 mg/L	No sobrepasa normas
Hierro	Fe	0,02 mg/L	0,3 mg/L	5 mg/L	Sobrepasa norma de agua potable en 2 pozos: Coop. Juan Nuñez Valenzuela Ltda. PLANTA N ₂ (acuífero Pelequén Malloa-San Vicente de Tagua Tagua) y Pozo Isla del Guindo (acuífero Tinguiririca Superior)
Mercurio	Hg	0,002 mg/L	0,001 mg/L	0,001 mg/L	No detectado
Manganeso	Mn	0,02 mg/L	0,1 mg/L	0,2 mg/L	Sobrepasa norma de agua potable en 7 pozos: A.P.R. Idahue (acuífero Doñihue Coinco-Coltauco), A.P.R. El Niche, A.P.R. Pencahue Bajo, Coop. Juan Nuñez Valenzuela Ltda. PLANTA N ₂ , A.P.R. Los Maitenes Tagua Tagua (todos en acuífero Pelequén-Malloa-San Vicente de Tagua Tagua), A.P.R. Idahue de San Vicente (Laguna San Vicente) y A.P.R. Nenquén El Tambo La Puerta (acuífero Tinguiririca Superior)
Molibdeno	Mo	0,05 mg/L	-	0,010 mg/L	No detectado
Níquel	Ni	0,05 mg/L	-	0,2 mg/L	No detectado
Plomo	Pb	0,07 mg/L	0,05 mg/L	5 mg/L	No detectado
Selenio	Se	0,001 mg/L	0,01 mg/L	0,02 mg/L	No detectado
Zinc	Zn	0,01 mg/L	3 mg/L	2 mg/L	Sobrepasa norma de agua potable en 1 pozo: A.P. Cooperativa Auquino

Fuente: Elaboración propia a partir de (DGA, 2018)

La NCh 409/2005 establece como máximo para el nitrato concentraciones de 50 mg/L, sin embargo, para identificar cambios en las aguas subterráneas que sean atribuibles a una fuente de contaminación difusa, es necesario considerar concentraciones de nitratos mayores a 30 mg/L (Dirección General de Aguas, 2018d).

4.2.5 Derechos de aprovechamiento de aguas concedidos

En cuanto a los derechos subterráneos, éstos se encuentran distribuidos en 31 Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común (SHAC): la mayor parte de ellos se encuentran en los SHAC Tinguiririca superior (935 DAA) y Tinguiririca Inferior (711 DAA); seguido de Peumo-Pichidegua-Las Cabras con 373 derechos y Cadenas Marchigüe, con 350 derechos. Según la unidad de gestión, el mayor caudal de derechos se encuentra dentro de la UG Cachapoal, con 904,33 hm³/año; le sigue río Tinguiririca con 902,23 hm³/año y Rapel con 150,98 hm³/año (ver **Tabla 4-15**).

Tabla 4-15 Total anual (Hm³/año) de derechos otorgados según unidad de gestión en la Cuenca Río Rapel

Unidad de Gestión	Total Anual (hm ³ /año)
Cachapoal	904,33
Rapel	150,98
Tinguiririca y Estero Las Cadenas	892,23
Total	1947,54

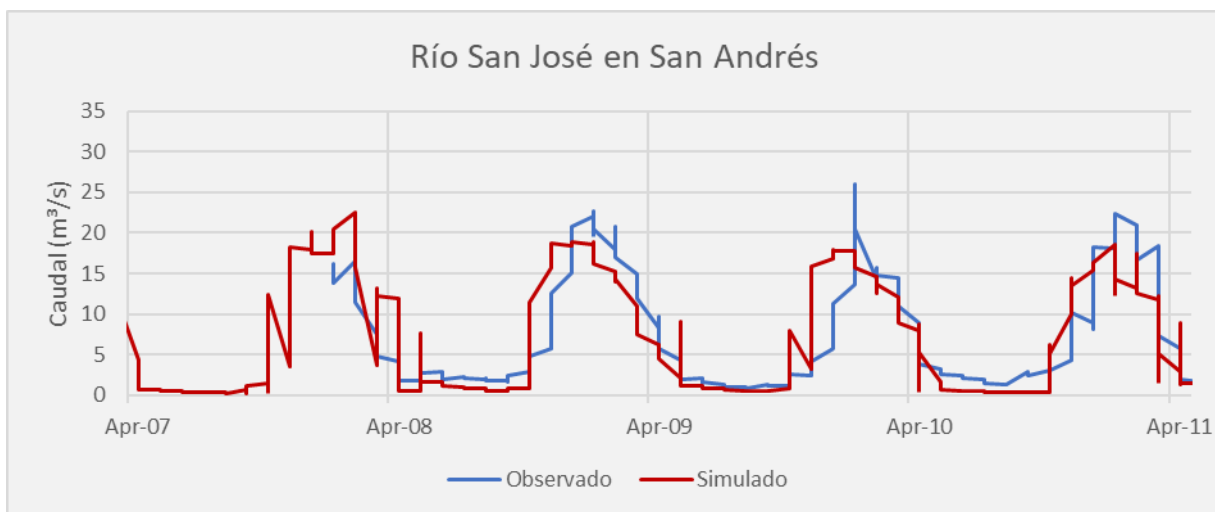
Fuente: Elaboración propia a partir de registros históricos DAA DGA.

4.3 Glaciares

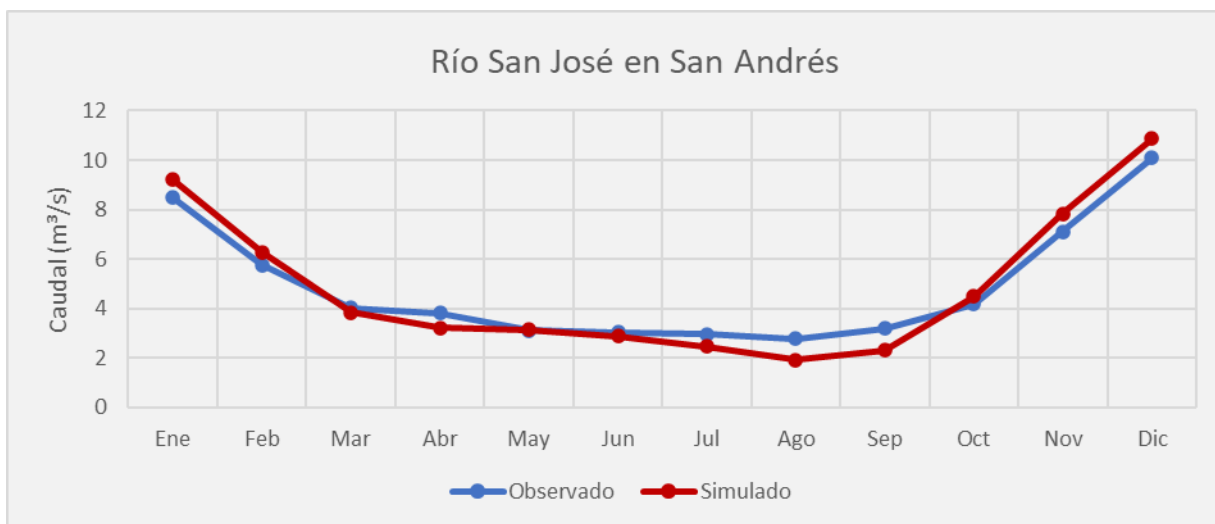
El comportamiento actual y proyectado de los glaciares es clave, en tanto aportan en la regulación hídrica de las cuencas, sobre todo de aquellas que no cuentan con embalses de cabecera, al ser repositorios de agua dulce. A pesar de esto, se dispone de escasa información sobre el estado y funcionamiento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

continuación, la **Figura 4-12** se muestran series de caudales simulados y observados para la estación río San José en San Andrés.



(a)



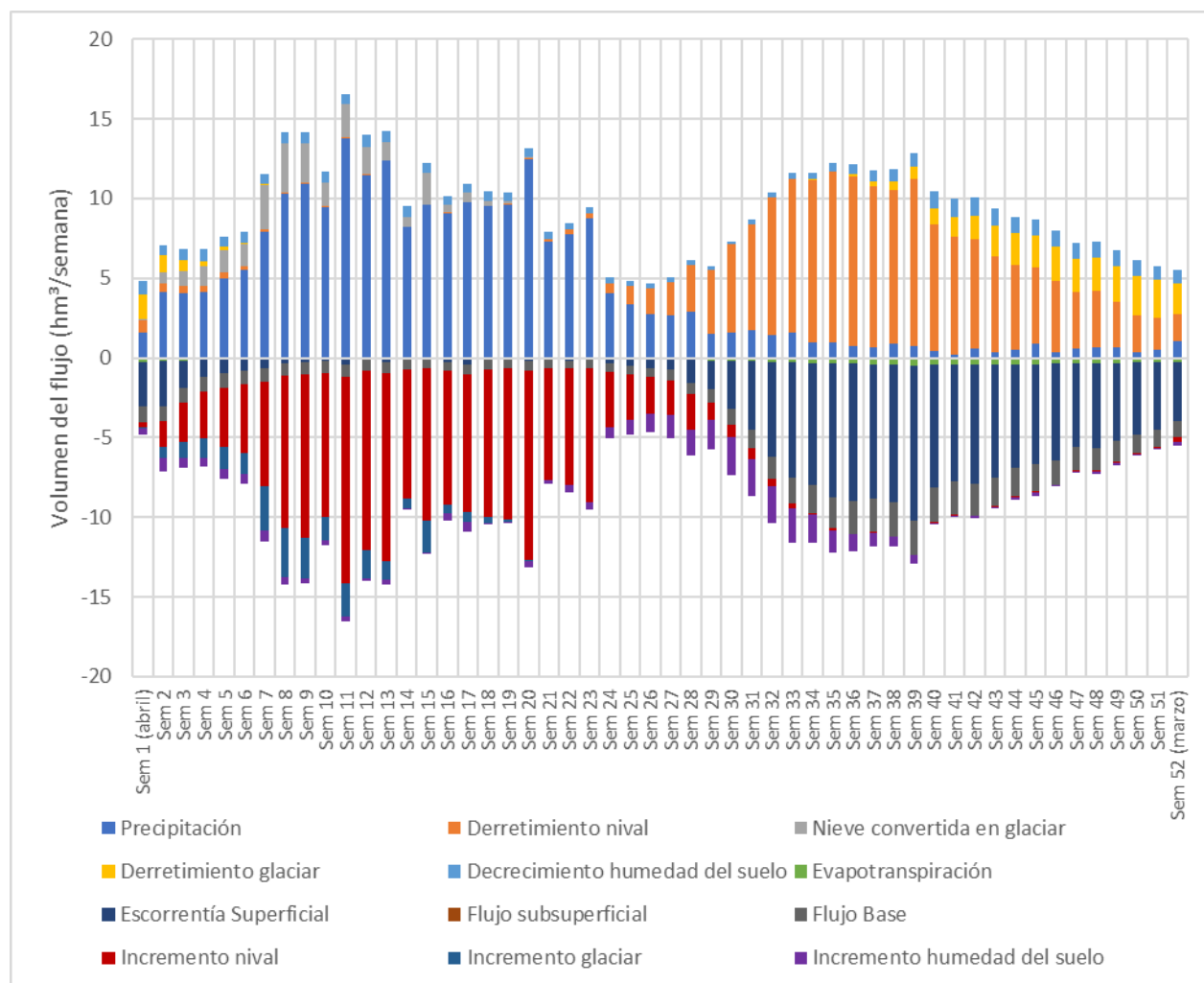
(b)

Fuente: Elaboración propia

Figura 4-12 (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)



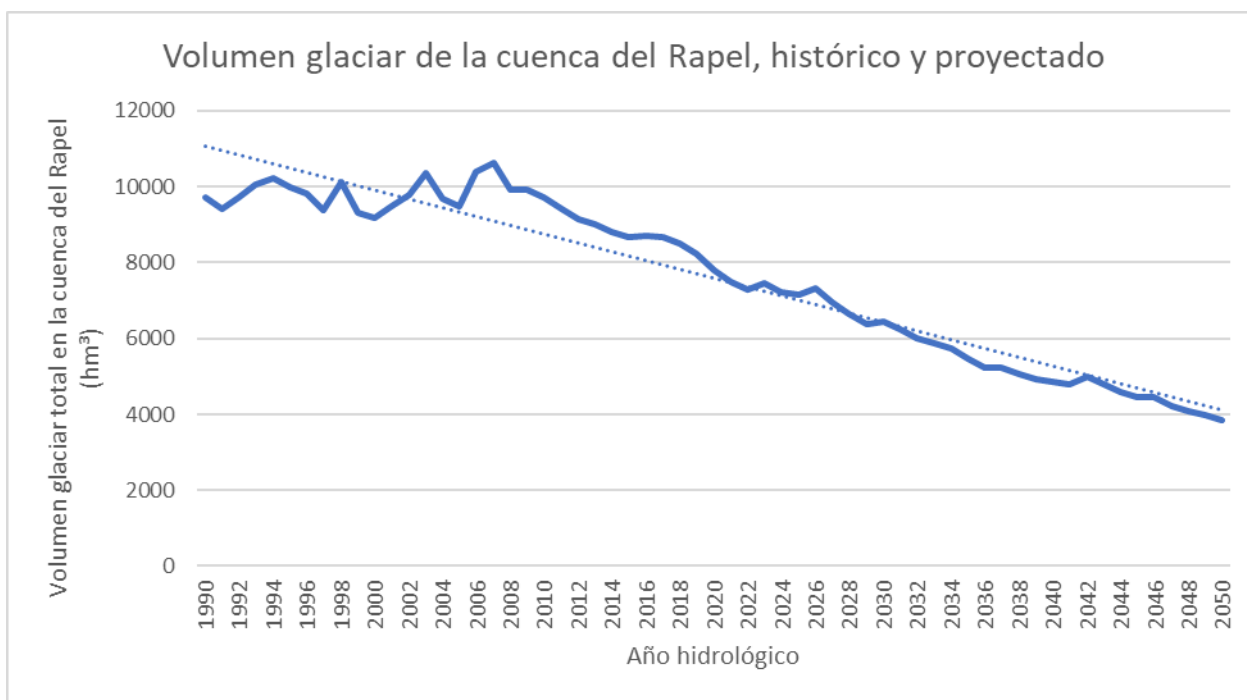
Nota: Amarillo (derretimiento glaciar), Naranja (derretimiento nival)

Figura 4-13 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 4-14** 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 4-14 Volumen glaciar periodo histórico y proyectado

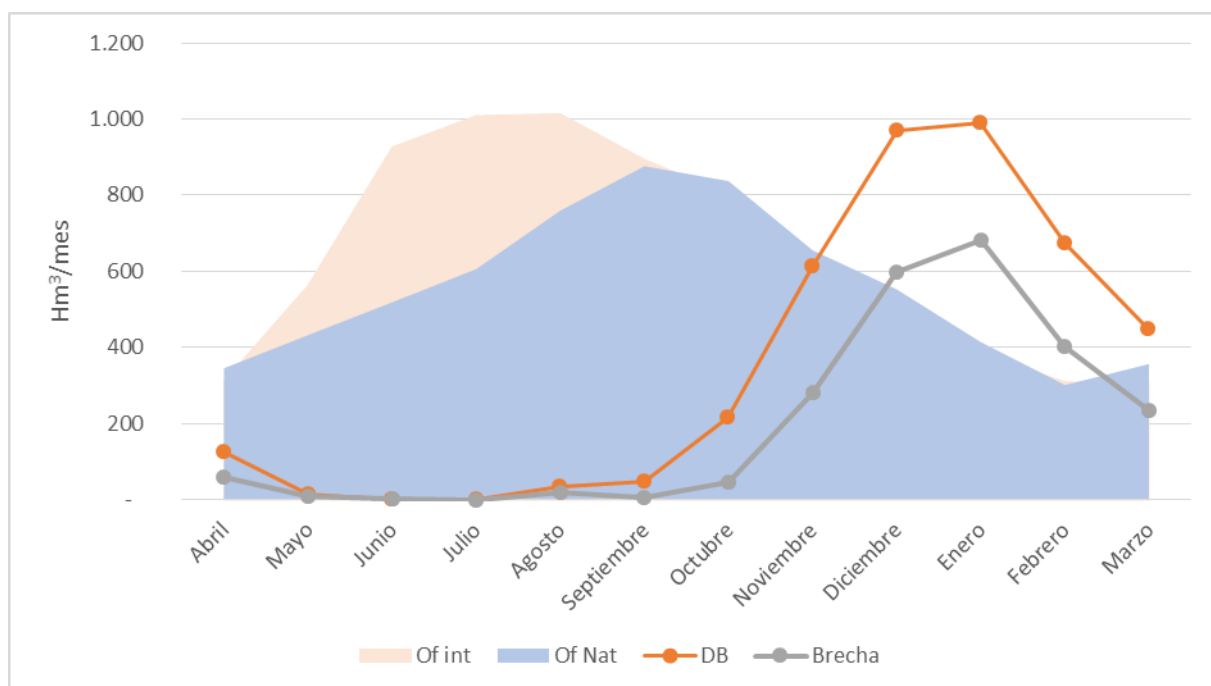
5 BALANCE DE AGUA

El balance de agua considera tanto la oferta como las diferentes variables que explican las pérdidas de agua de una cuenca. Por lo tanto, se configura como parte esencial para identificar las problemáticas de escasez hídrica o falta de agua en diferentes sectores o subcuencas. A continuación, y como antecedente de las brechas, se presenta el análisis del balance hídrico, que corresponde a la síntesis de la información y resultados generados de los balances hídricos en la cuenca, según el desarrollo del modelo hidrológico actual y modelo hidrogeológico conceptual.

La cuenca tiene una oferta natural de **8.889 hm³/año** (2000-2014) y una demanda consuntiva anual de **5.659 hm³/año**, **siendo por lo tanto una cuenca excedentaria en un análisis anual**. Sin embargo, la brecha se presenta por el déficit hídrico en el periodo estival.

En la **Figura 5-1** se presenta el balance hídrico superficial a nivel de cuenca. La demanda de consumo humano e industrial no se ha considerado por ser cubierta por fuentes subterráneas, a excepción de la Planta de Codelco que está dentro del sistema de la primera JV Cachapoal. Se puede observar que la oferta natural es mayoritariamente mayor a la demanda bruta (DB), sin embargo, en los meses de noviembre a marzo marca una Brecha hídrica definida por el área entre la línea naranja y el área azul, que igualmente está representada por la línea gris. La línea azul, caudal tomado en Bocatoma, refleja el límite de captación en los meses de diciembre a marzo, adicionalmente se puede observar que el punto de intersección entre DB y Bocatoma genera un cambio de pendiente en la línea de Brecha.

La situación anterior debe ser complementada con la disponibilidad subterránea. Existen SHAC que se encuentran en situación de restricción (13) y prohibición (5) debido a la relación entre recarga y otorgamiento de derechos de aprovechamiento de agua (demanda). En la **Tabla 5-1** se resume la brecha de balance hídrico definido como **BBAL1. Déficit estacional entre oferta y demanda**.



Fuente: Elaboración propia en base a datos de modelación

Figura 5-1 Balance Hídrico superficial a nivel de cuenca río Rapel. Oferta natural, oferta intervenida, oferta captada en bocatomas, brecha y demanda agrícola

Tabla 5-1 Brecha de balance hídrico en la cuenca del río Rapel para todos los usos

Demanda	Brecha Hm³/año 2014-2020
Agua potable Urbana	30,09
Agua potable Rural	14,79
Necesidades mínimas ambientales (Q eco)	16,15
Agrícola	1.525
Otras brechas	71,01
Total	1.657,04

Fuente: Elaboración propia

Actualización del Balance Hídrico Nacional en las Cuencas de las Macrozonas Norte y Centro (DGA, 2018a).

Desde el punto de vista superficial, el modelo WEAP considera los cauces principales en la cuenca, que corresponden a:

Río Blanco	Río Claro
Río Paredones	Río Clarillo
Río Pangal	Río del Azufre
Río Coya	Estero Chimbarongo
Río de Las Leñas	Estero Lima
Río Cortaderal	Estero Chépica
Río Cachapoal	Estero Las Toscas
Río Claro de Cauquenes	Estero Calleuque
Estero La Cadena	Estero Yervas Buenas
Estero Pichigudo	Estero Las Cadenas
Río Claro de Rengo	Estero San Miguel
Estero Rigolemo	Estero Alhué
Estero Roma	Estero Carén
Estero Zamorano	Estero Las Palmas
Río del Portillo	Estero Tipaume
Río San José	Estero Machalí
Río Tinguiririca	Río Rapel

Adicionalmente, para la modelación de la cuenca, ésta ha sido subdividida en 65 subcuencas, las que a su vez han sido esquematizadas en bandas de elevación y usos de suelo (ver anexo H, sección 2.2.1.2). A partir de productos grillados se han definido forzantes meteorológicas en las bandas de elevación de estas subcuencas, que corresponden a precipitación, temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y fracción de nubosidad. Estas forzantes meteorológicas se describen y referencian en la sección 2.2.1.3 perteneciente al Anexo H, donde también se presenta en la sección 2.2.1.4, la evaluación de ajuste del producto CR2-MET versus las observaciones de las estaciones meteorológicas presentes en la zona.

Por otra parte, también han sido consideradas las demandas de agua de las principales localidades de la cuenca, dentro de las cuales se consideran Boca de Rapel, Chépica, Chimbarongo, Codegua, Coinco, Coltauco, Coya, Doñihue, Graneros, La Punta, Las Cabras, Lo Miranda, Malloa, Nancagua, Olivar Alto, Pelequén, Peralillo, Peumo, Pichidegua, Placilla, Población, Puente Negro, Quinta de Tilcoco, Rancagua, Rengo, Requínoa, Rosario, San Fernando, San Francisco de Mostazal, San Vicente de Tagua Tagua y Santa Cruz. En el

Anexo F1, sección 2.1 se presenta en detalle el cálculo del volumen de agua demandado por estas localidades.

Para caracterizar la actividad agrícola y su demanda de agua en la cuenca del Rapel, se han definido 28 zonas de riego ubicadas principalmente en la zona de valle intermedio, cordillera de la Costa y desembocadura (todo incluido en el modelo de valle y costa), dentro de las que se han considerado las categorías: Forrajeras Permanentes, Viñas y Parronales, Frutales, Cultivos y Forrajeras Anuales, y Hortalizas, Flores y Semilleros (Anexo H, sección 2.2.1.8.). Estas zonas de riego reciben abastecimiento desde fuentes superficiales y/o subterráneas. En el caso de fuentes superficiales, el abastecimiento se realiza a través de una red densa y compleja de canales, dentro de la cual se han considerado los canales de las juntas de vigilancia de los ríos Cachapoal, Tinguiririca, Claro de Rengo, Claro, y los canales de los esteros Chimbarongo, Güirivilo, Las Toscas, Puquillay y Zamorano (Anexo H, sección 2.2.1.6). Por otra parte, para el abastecimiento de las zonas de riego desde fuentes de agua subterráneas se han considerado los derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas constituidos en la cuenca, multiplicando los caudales asociados a éstos por un factor de uso con variación trimestral (Anexo H, sección 2.2.2.6); estos puntos de extracción han sido incluidos en el modelo y, gracias al acople de los modelos superficial y subterráneo en la zona de valle y costa, la extracción es realizada desde WEAP en el modelo MODFLOW del acuífero. Hay que destacar que, para efectos del presente modelo, se considera que el abastecimiento de las zonas de riego se suple sin considerar algún tipo de preferencia entre la extracción de aguas superficiales versus la extracción de aguas subterráneas.

En la modelación también han sido considerados los embalses Rapel y Convento Viejo, con capacidades de 669 hm³ y 237,2 hm³, respectivamente (ver anexo H, sección 2.2.1.7). El primero ubicado en el sector oeste de la cuenca, en la zona de la cordillera de la Costa, en donde se unen los ríos Cachapoal y Tinguiririca con el estero Alhué formando el río Rapel. El segundo está ubicado sobre el estero Chimbarongo, en la zona sur de la cuenca del Rapel, cerca de la localidad de Chimbarongo. En el caso de centrales hidroeléctricas, las que han sido consideradas en el modelo, corresponden a Chacayes, Pangal, Coya, Sauzal, Sauzalito y Rapel considerando la información entregada por las empresas hidroeléctricas Pacific Hydro Chile S.A. y ENEL S.A (ver anexo H, sección 2.2.1.7).

Gracias al acople de los modelos superficial y subterráneo en la zona de valle y costa mencionado anteriormente, es posible comunicar ambos modelos y simular, en cada paso de tiempo de modelación, procesos tales como recargas de aguas subterráneas provenientes desde la percolación natural de la precipitación o de aguas de riego, extracciones desde puntos específicos e interacciones río-acuífero (percolación desde ríos a acuíferos y afloramientos).

Para generar el modelo integrado de aguas superficiales y subterráneas en la zona de valle y costa, ha sido necesario crear y calibrar un modelo de aguas subterráneas en MODFLOW. Este modelo ha sido construido representando el acuífero de la cuenca a partir de un solo estrato continuo y donde es modelado el acuífero en su totalidad, a diferencia de estudios

anteriores (DGA, 2005; Hidrogestión, 2009), en donde se modelaron por separado los acuíferos pertenecientes a las zonas de Alhué, Cachapoal y Tinguiririca.

Es importante mencionar que primeramente se crea un modelo MODFLOW de calibración, el que abarca desde abril de 2012 hasta diciembre de 2019 y que es trabajado en una primera instancia sin ser acoplado a WEAP (Anexo H, sección 2.2.2.9). El objetivo de este modelo es calibrar las propiedades físicas del acuífero a través de la comparación entre niveles estáticos simulados y niveles observados de pozos en el área de modelación. La calibración del modelo MODFLOW se realiza comparando los niveles simulados versus los niveles observados, para los diferentes pozos de observación presentes en la zona, siendo estos pozos de observación, fuente de origen y distribución espacial analizada y presentada en el Anexo H de la sección 2.2.2.6. Por otro lado, se destaca que el periodo escogido para la calibración responde exclusivamente a la información disponible en los pozos de observación presentes en la zona, ya que a pesar de querer extender el periodo de calibración años antes del 2012, no se posee la información suficiente para calibrar en periodos anteriores a esa fecha (Anexo H, sección 2.2.2.9).

El modelo de calibración se construye considerando los principales cauces y ríos de la zona, buscando caracterizar diversos parámetros hidráulicos de ellos, por esta razón es necesario recopilar mediciones y datos de diversos estudios para caracterizar parámetros como la conductancia, el ancho del lecho, el ancho del cauce, entre otros. Por otro lado, se considera la recarga del acuífero, aquella que se cuantifica mediante el cálculo de la infiltración por precipitación y la infiltración por riego. Esta última consiste en considerar toda aquella porción del agua de riego que no es consumida por los cultivos y que termina siendo infiltrada al acuífero. La capacidad del acuífero para infiltrar se estima mediante un coeficiente de infiltración, el que a su vez también es estimado con una proporción lineal en función del rango de conductividades distribuidas espacialmente en la zona (Anexo H, sección 2.2.2.4).

Con respecto a las extracciones del modelo, se procesaron todos los derechos de aguas subterráneas presentes en la zona de modelación. Aquellos derechos fueron clasificados según su uso, ya sea este riego, bebida/saneamiento, uso industrial, APR, etc. La razón de esta clasificación responde a que los caudales de extracción deben ser ponderados según su uso, ya que difícilmente los caudales extraídos para riego serán iguales y constantes durante todo el año. Para el caso de extracciones para riego, se incluye un factor de uso que captura la influencia de la temporada del año, ya que en meses de estiaje se entiende que estos pozos reciban un mayor uso que en otros periodos. En el Anexo H sección 2.2.2.6, se menciona el factor de ponderación según cada uso dado para el derecho de extracción.

Con respecto a las condiciones de borde requeridas para el modelo se consideran condiciones de niveles constantes en los límites por el norte con Maipo y por el sur con el Mataquito (Anexo H, sección 2.2.2.8). Estas condiciones de borde son colocadas inicialmente para calibrar el modelo, sin embargo, para el posterior acople del modelo, se calculó un flujo a ingresar en los bordes del modelo, de manera de reemplazar esta condición de borde de nivel por una de caudal. La razón para generar este cambio es porque al colocar un nivel constante, podría generar resultados incorrectos, dado que al considerar horizontes lejanos de modelación (hacia el año 2050), el nivel de aguas real ocurrido

décadas a futuro en el acuífero, podría distar considerablemente del valor impuesto como condición de borde, lo que generaría flujos externos fuera de la realidad que podría esperarse.

Finalmente, para caracterizar los embalses de la zona tales como el embalse Rapel y el embalse Convento Viejo, fue necesario recopilar información histórica acerca de sus niveles para así ingresar estos en el modelo. Se destaca que el embalse Rapel fue ingresado como una condición de borde de nivel constante, mientras que el embalse Convento Viejo se ingresa como una condición de borde de nivel general. La diferencia entre ambas condiciones de borde se debe a que el embalse Convento Viejo se encuentra dentro de la zona de modelación, por lo que, la naturaleza de la condición de borde es diferente.

Luego, con el modelo de calibración MODFLOW calibrado (Anexo H, sección 2.2.2.9), se procede a construir el segundo modelo denominado modelo de acople. El modelo de acople es un modelo que se construye a partir del modelo de calibración y posee las mismas propiedades hidrogeológicas del modelo calibrado, con la diferencia que este es un modelo que abarca un periodo de un mes partiendo desde abril de 1985, es decir, desde el inicio del periodo correspondiente a la modelación integrada. Se destaca que este modelo de acople sólo considera algunas de las condiciones de borde mencionadas en el párrafo anterior, siendo considerados los elementos de ríos y las condiciones de bordes de nivel constante. El resto de los elementos y condiciones de borde como pozos de extracción y condiciones de borde de nivel general se eliminan del modelo de acople, dejando así al modelo superficial como el responsable de calcular sus efectos en el acople de ambos modelos.

Una vez listo el modelo de acople se procede a generar una capa de acople en SIG, esta capa tiene como objetivo conectar cada celda del modelo de acople MODFLOW con los diferentes elementos superficiales de WEAP. Con la capa elaborada y ambos modelos (superficiales y subterráneos) calibrados por sí solos, se procede a acoplar los modelos y así obtener un modelo acoplado que modela la interacción de aguas superficiales y subterráneas del sector. Realizado el acople, se debe calibrar nuevamente el modelo WEAP – MODFLOW, buscando corroborar el grado de ajuste entre los caudales simulados y los observados en las estaciones fluviométricas, y corroborar el grado de ajuste entre los niveles de napa simulados y observados en pozos del sector. Finalmente, con el modelo WEAP - MODFLOW acoplado y calibrado, se pueden generar diversos escenarios para luego ser implementados en el modelo y así evaluar la respuesta de la cuenca, en términos superficiales y subterráneos.

Como ya se ha comentado, para el periodo proyectado de modelación (abril de 2019 a marzo de 2050) se han considerado forzantes de precipitación y temperatura provenientes de resultados de modelos GCM incluidos en el estudio Aplicación de la Metodología de Actualización del Balance Hídrico Nacional en las Cuencas de las Macrozonas Norte y Centro (DGA, 2018d).

Adicionalmente a la modelación del escenario base de la cuenca en los periodos histórico y proyectado (escenario sin considerar medidas de gestión propuestas en este plan), se han

modelado escenarios que consideran medidas de gestión cuyo objetivo es resolver las brechas hídricas identificadas en la cuenca.

Finalmente, mediante este modelo hidrológico integrado es posible evaluar los criterios de sustentabilidad de acuíferos DGA, contando para ello con todo el periodo simulado, tanto histórico como proyectado. Esto es mencionado más en detalle en el punto 5.3 de este informe.

Todo lo recientemente descrito se encuentra incorporado en general en el Anexo H, donde además se incluye una descripción al detalle del modelo hidrológico elaborado para este plan.

5.1.2 Balance de agua actual

En el análisis del balance de aguas se considera periodos de tiempo según año hidrológico (abril-marzo), estos pueden ser presentados por cuenca o SHAC según el balance hídrico superficial o subterráneo, respectivamente. Dicho esto, el análisis define los siguientes periodos de tiempo:

Balance histórico: Abril 1990- Marzo 2015

Balance actual: Abril 2015- Marzo 2021

Balance histórico + actual o "histórico completo": Abril 1990- Marzo 2021

Balance proyectado: Abril 2021- Marzo 2050

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

Precipitación ($\text{hm}^3/\text{año}$): Volumen de agua caída en el periodo analizado dentro del área geográfica estudiada.

Afloramientos ($\text{hm}^3/\text{año}$): Volumen de agua que se eleva al flujo superficial (río) desde el acuífero.

Otras entradas ($\text{hm}^3/\text{año}$): Aporte de agua al sistema superficial por retornos de uso de agua con procedencia subterránea.

Evapotranspiración ($\text{hm}^3/\text{año}$): Pérdida de agua de los cultivos, o masa vegetal, por transpiración y del suelo por evaporación.

Percolación ($\text{hm}^3/\text{año}$): Volumen de agua infiltrado al sistema de aguas subterráneas (acuíferos), por precipitación natural o riego.

Interferencia río acuífero ($\text{hm}^3/\text{año}$): Volumen de agua infiltrado al sistema de aguas subterráneas (acuíferos) desde el río.

Escurrimiento mar ($\text{hm}^3/\text{año}$): Volumen de agua que desemboca en el mar.

Trasvases otras cuencas ($\text{hm}^3/\text{año}$): Volumen de agua trasvasado desde la cuenca del Mataquito (Canal Teno Chimbarongo).

Otras Salidas($\text{hm}^3/\text{año}$): 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 5-2** 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 5-2 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%
Escurrecimiento 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- Modflow). 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 5-3** presenta el desglose del balance subterráneo según las entradas y salidas en $\text{hm}^3/\text{año}$.

Tabla 5-3 Balance hídrico subterráneo, escenario base ($\text{hm}^3/\text{año}$). Período Histórico y actual.

	Rapel		Cachapoal		Tinguiririca		Cuenca	
	1990-2014	2015-2020	1990-2014	2015-2020	1990-2014	2015-2020	1990-2014	2015-2020
Entradas ($\text{hm}^3/\text{año}$)								
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 ($\text{hm}^3/\text{año}$)								
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 ($\text{hm}^3/\text{año}$)	-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

5.1.3 Balance de agua proyectado

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 5-4**.

Tabla 5-4 Balance hídrico de aguas superficiales, período proyectado

Salidas entradas	2021-2050 (hm³/año)	2031-2040 (hm³/año)	Comparación periodos			
			1990-2020/ 2021-2050		1990-2020/ 2031-2040	
			Δ (hm³/año)	Variación %	Δ (hm³/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 5-5** presenta el balance subterráneo en el periodo proyectado de 2021-2050.

Tabla 5-5 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 - Modlflow). Anexo H, sección 3.2

5.2 Brechas hídricas

La Seguridad Hídrica de una cuenca está dada por múltiples factores. Identificar las brechas que impiden llegar a una mayor seguridad hídrica para las personas, ecosistemas, actividades productivas y ante eventos extremos; es parte fundamental en la comprensión de las principales problemáticas de una cuenca.

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 **Figura 5-3**.



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-3 Ejes de Planificación

- **Seguridad Hídrica para las Personas:** Síntesis de la información levantada en el diagnóstico de la línea base en infraestructura hidráulica, demandas actuales y futuras en el consumo humano y saneamiento. Consiste en la provisión de agua para consumo humano y saneamiento, en cantidad, calidad y en la oportunidad requerida para un desarrollo adecuado a nivel individual y colectivo, ya sea en condiciones urbanas o rurales. Se realizó un análisis de la seguridad hídrica para las personas, en localidades urbanas abastecidas por las empresas sanitarias, sistemas de saneamiento rural (SSR) y sistemas individuales por camiones aljibes o alternativas no convencionales.
- **Seguridad Hídrica para los ecosistemas:** Síntesis de la información levantada en el diagnóstico de la línea base en aspectos de la situación actual en los ecosistemas acuáticos y terrestres de la cuenca, así como los pasivos ambientales presentes. Se refiere a la provisión de agua y condiciones de protección, soporte territorial, estudio y otros para la mantención de los ecosistemas terrestres y acuáticos continentales presentes en la cuenca.
- **Seguridad Hídrica para las actividades productivas:** Síntesis de la información levantada en el diagnóstico de la línea base en demandas actuales de cada sector productivo (minería, agricultura, pecuario), estado de la infraestructura, proyecciones, limitaciones y desarrollo futuro para la satisfacción de la demanda de

dichas actividades. Las actividades productivas que dependen de la provisión de agua en la cuenca corresponden principalmente al sector agrícola, provistas por agua superficial y subterránea.

- **Seguridad Hídrica ante Eventos Extremos:** Síntesis de información levantada en el diagnóstico de eventos extremos sobre las personas.
- **Gestión institucional:** Síntesis de la información levantada en el diagnóstico de la línea base en el estado actual de la información en recursos hídricos, coordinación entre actores, gestión y fiscalización del recurso.
- **Gobernanza:** Síntesis de la información levantada en el diagnóstico de la línea base en el estado actual de la información en recursos hídricos, coordinación entre actores, gestión y fiscalización del recurso.

A continuación, se presenta el análisis por Eje Estratégico.

5.2.1 Seguridad Hídrica para las Personas

En el año 2010, la Asamblea General de las Naciones Unidas reconoció el derecho de todos los seres humanos a tener acceso a una cantidad de agua suficiente para el uso doméstico y personal (entre 50 y 100 litros de agua por persona y día), segura, aceptable y asequible (el coste del agua no debería superar el 3% de los ingresos del hogar), y accesible físicamente (la fuente debe estar a menos de 1.000 metros del hogar y su recogida no debería superar los 30 minutos)²⁰.

En consecuencia, 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.

En la cuenca del río Rapel, los problemas centrales identificados se analizan según su destino, es decir: en sistemas urbanos, rurales o sistemas individualizados (localidades desconcentradas). A la vez, éstos se subdividen según aspectos de disponibilidad de suministro, tratamiento de aguas servidas y administración de los sistemas. A continuación, la **Tabla 5-6** 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).

²⁰ Revisado en <https://www.un.org/es/global-issues/water>

Tabla 5-6 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% perdidas (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%)²¹ 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

Las brechas se detallan a continuación.

²¹ Actualmente no se conoce la cifra exacta de SSR sin saneamiento o con problemas de operación.

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

Como una aproximación para identificar la población en riesgo de abastecimiento de agua potable, se tomó como referencia el Censo de Población y Vivienda del año 2017 (INE), específicamente la identificación de número de viviendas abastecidas por pozos o norias, camiones aljibe, fuentes superficiales (ríos, vertientes, esteros, canales, lagos), o de origen de agua ignorado. Si bien es una información que cuenta con algunos años de antigüedad, proporciona una metodología estándar que permite comparar distintas cuencas entre sí. Adicionalmente, el número de viviendas corresponde a las viviendas con moradores al momento del Censo.

En lo principal, se tomó la información contenida en la pregunta número cinco del CENSO 2017, que consulta sobre el “origen del agua” de cada vivienda. En esta pregunta se despliegan las opciones de “Red Pública”, que podría corresponder al agua entregada por las empresas sanitarias o un SSR, “Pozo o noria”, “Camión aljibe” y finalmente “Río, vertiente, estero, canal, lago” entendidos como afloramientos.

La información desagregada a nivel comunal fue ponderada en relación con el porcentaje de la comuna emplazada dentro de la cuenca, para obtener una proporción de las viviendas por fuente de agua dentro del área de estudio. Se estimó de esta forma un total de **11.272** viviendas en condición de inseguridad hídrica, a partir de la información censal.

La **Tabla 5-7** 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.

Tabla 5-7. 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 5-8**), la que equivale a **1,86 hm³/año**.

Tabla 5-8. 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).

5.2.1.2 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. Dado que en general existe un aumento proyectado de la población, la producción de agua potable urbana también crecerá en todas las unidades de gestión. 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 (ver **Tabla 5-9**); en menor medida, la UG Rapel considera una producción muy baja de agua potable urbana, lo que indica dinámicas más asociadas a asentamientos rurales.

Los resultados indican que se tiene una brecha relacionada con el déficit hídrico para consumo humano en áreas urbanas de **30,09 hm³/año**.

Tabla 5-9 Brecha de producción de agua potable urbana según tendencia proyectada al 2050 (hm³/año)

Sectores	Producción agua potable urbana actual (hm ³ /año)	Producción agua potable urbana proyectada (hm ³ /año)	Brecha (hm ³ /año)
Primera Cachapoal	45,10	62,52	17,42
Segunda Cachapoal	4,73	7,03	2,30
Tercera Cachapoal	5,57	6,55	0,98
Río Claro	10,30	14,94	4,64
Zamorano	0,58	0,80	0,22
UG Cachapoal	66,28	91,84	25,56
Tinguiririca	9,06	12,84	3,78
Chimbarongo	2,10	2,76	0,66
Las cadenas	0,13	0,18	0,05
UG Tinguiririca	11,30	15,78	4,48
Alhué	-	-	-
Rapel	0,27	0,32	0,05
UG Rapel	0,27	0,32	0,05
Total	77,85	107,94	30,09

Fuente: Elaboración propia a partir de datos Censo 2017

Tabla 5-10 Brecha de producción de Servicios de Saneamiento Rural según tendencia proyectada al 2050 (hm³/año)

Sectores	Producción agua potable rural actual (hm ³ /año)	Producción agua potable rural proyectada (hm ³ /año)	Brecha (hm ³ /año)
Primera Cachapoal	1,96	3,13	1,17
Segunda Cachapoal	3,80	7,10	3,30
Tercera Cachapoal	1,36	1,87	0,50
Río Claro	3,66	5,48	1,82
Zamorano	3,96	5,74	1,77
UG Cachapoal	14,75	23,32	8,56
Tinguiririca	3,49	4,94	1,44
Chimbarongo	4,07	5,86	1,79
Las Cadenas	1,74	2,39	0,65
UG Tinguiririca	9,30	13,19	3,89
Alhué	1,77	3,00	1,22
Rapel	2,34	3,46	1,12
UG Rapel	4,11	6,46	2,34
Total	28,17	42,96	14,79

Fuente: Elaboración propia a partir de datos Censo 2017

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 (ver **Tabla 5-10**). La mayor brecha se da en la demanda de la UG Cachapoal, sector Segunda Cachapoal

Finalmente, en la **Tabla 5-11** se resumen la brecha proyectada para consumo humano. Dadas las proyecciones, se tiene que los mayores desafíos giran en torno a las brechas de consumo humano en áreas urbanas, con un total de 30,09 hm³/año, en comparación con una brecha rural de 14,79 hm³/año. En ambos casos, la UG Cachapoal revierte especial importancia al ser la que tiene mayor brecha tanto para consumo humano en áreas urbanas como rurales. El resultado es un aumento del 42% del volumen proyectado respecto del volumen actual satisfecho.

Tabla 5-11 Resumen de la brecha proyectada al 2050 (hm³/año)

Sectores	Brecha Urbana (hm³/año)	Brecha Rural (hm³/año)	Brecha Total
Primera Cachapoal	17,42	1,17	18,59
Segunda Cachapoal	2,30	3,30	5,60
Tercera Cachapoal	0,98	0,50	1,48
Río Claro	4,64	1,82	6,46
Zamorano	0,22	1,77	1,99
UG Cachapoal	25,56	8,56	34,12
Tinguiririca	3,78	1,44	5,22
Chimbarongo	0,66	1,79	2,45
Las Cadenas	0,05	0,65	0,70
UG Tinguiririca	4,48	3,89	8,37
Alhué	-	1,22	1,22
Rapel	0,05	1,12	1,17
UG Rapel	0,05	2,34	2,39
Total	30,09	14,79	44,88

Fuente: Elaboración propia a partir de datos SISS, 2021 & DGA, 2021b

Además, el informe “Sustentabilidad de asentamientos rurales en Chile” de la Dirección General de Aguas SIT 470 (DGA, 2021b), identifica una serie de brechas asociadas a la ineficiencia en el sistema de distribución y almacenamiento del agua, lo que provoca una sobreestimación de los requerimientos de agua por parte de las comunidades rurales, de manera que se plantea poder avanzar hacia la disminución de la pérdida de agua a través de mejoras en la infraestructura de los SSR.

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.

5.2.1.3 BPER 3. Infraestructura de abastecimiento 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%**.

5.2.1.4 BPER 4. Baja cobertura de Saneamiento rural

La Ley N° 20.998, que regula los Servicios Sanitarios Rurales, establece, entre otros aspectos, que los SSR pasarán a ser de dependencia del Ministerio de Obras Públicas, y quedarán bajo la supervisión de la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS).

En consecuencia, la Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas creó la Subdirección de Servicios Sanitarios Rurales con las nuevas funciones, entre las cuales están “ejecución de la política de asistencia y promoción de las organizaciones sociales, capacitando, apoyando, asistiendo y asesorando a los servicios sanitarios rurales, en el proceso de implementación de la Ley y en el pleno funcionamiento de los Servicios Sanitarios Rurales del país” (doh.cl).

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.

5.2.1.5 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.

5.2.1.6 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.

5.2.2 Seguridad Hídrica para los Ecosistemas

Los ecosistemas de una cuenca constituyen una macro infraestructura verde que permite la continuidad del ciclo hidrológico, renovando las fuentes de agua superficiales y subterráneas. En este sentido, la relevancia de los ecosistemas es recogida dentro del Objetivo de Desarrollo N°6, Agua Limpia y Saneamiento, como en el Objetivo N°15, Vida de los Ecosistemas Terrestres. Complementariamente, el Objetivo N°14 considera explícitamente a la Vida Submarina.

En consecuencia, 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 5-12** muestra las brechas asociadas, la situación actual y deseada, así como también el ID correspondiente (BECO = Brechas Ecosistemas).

Tabla 5-12 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

5.2.2.1 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. La identificación de brechas asociadas a caudal ecológico por mes y período estudiado se muestra en Anexo F5.2. En ella es posible observar que los valores promedio de caudales anuales no registran, en general, brechas en caudales ecológicos.

Sin embargo, en las entrevistas a actores claves de la cuenca se comentó la disminución de los caudales superficiales. Por ese motivo, 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. En ese sentido, la **Tabla 5-13** y **Tabla 5-14** muestran la sumatoria acumulada en promedio y por mes, de brechas de caudal ecológico acumulada para cada año.

Tabla 5-13 Brecha promedio acumulada de caudal ecológico por mes, UG Rapel, Tinguiririca y Cachapoal (hm³/mes), período 1990-2020

UG	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Total ac
Rapel	1,94	S/B	-	-	-	-	-	5,31	1,51	0,77	0,32	0,17	10,03
Tinguiririca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cachapoal	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	1,94	-	-	-	-	-	-	5,31	1,51	0,77	0,32	0,17	10,03

Fuente: Elaboración propia

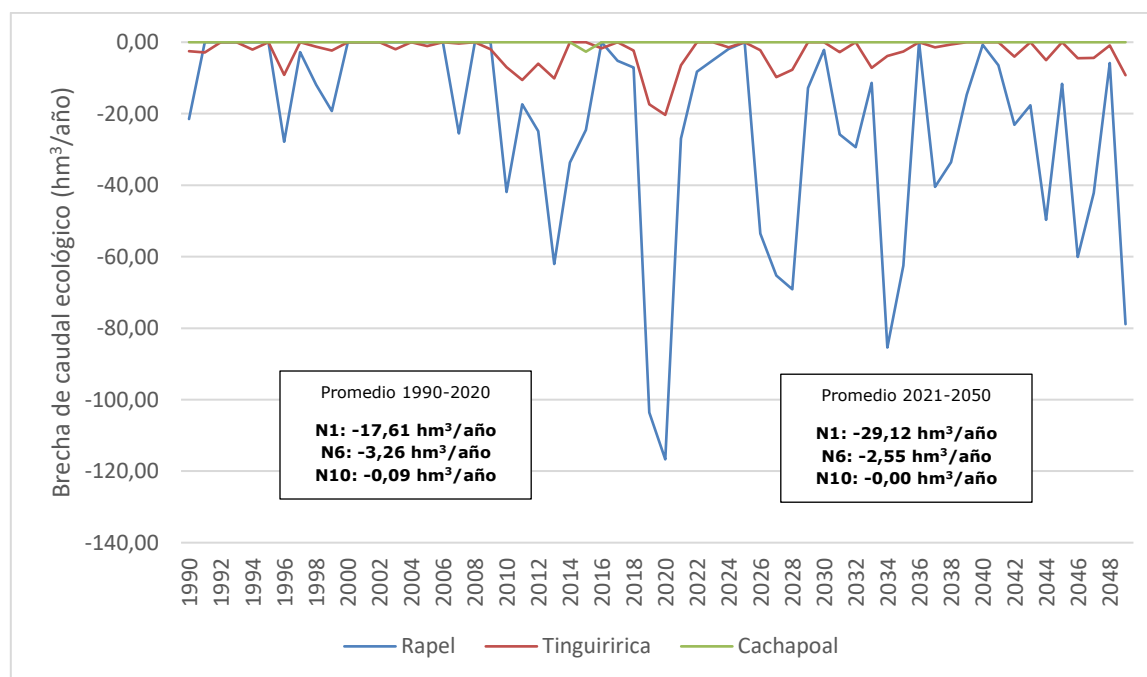
Tabla 5-14 Brecha promedio acumulada de caudal ecológico por mes, UG Rapel, Tinguiririca y Cachapoal (hm³/mes), período 2021-2050

UG	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Total ac
Rapel	1,70	-	-	-	-	-	-	8,80	4,87	-	0,44	0,34	16,15
Tinguiririca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cachapoal	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	1,70	-	-	-	-	-	-	8,80	4,87	-	0,44	0,34	16,15

Fuente: Elaboración propia

La **Figura 5-4** 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 5-4 Brecha de caudal ecológico anual, nodos 1-6-10 (hm³/año)

5.2.2.2 BECO 2. Deterioro de la calidad de las aguas

De acuerdo con la calidad de las aguas superficiales, dentro de los parámetros hay una tendencia al aumento de pH y conductividad eléctrica, sobre todo en la UG Tinguiririca y Estero Las Cadenas. En contraste, en general el pH tiene una tendencia alcalina en casi la totalidad de la cuenca, sobre todo en la parte baja de la misma y en estaciones del río Cachapoal. En relación con los parámetros de aguas subterráneas, según DGA (2016), el acuífero Rapel posee un pH entre 6 y 8, por lo tanto, se trata de un acuífero neutro.

Asimismo, es importante señalar que el Departamento de Conservación y Protección de los Recursos Hídricos de la DGA realizó una minuta sobre los cambios de metodología para el cálculo del ODS 6.3.2. (DGA, 2021a).

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 (ver sección 5.2.1.4) 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. A continuación, la **Tabla 5-15** muestra el estado actual, la imagen objetivo y la brecha asociada en cada una de las unidades de gestión.

Tabla 5-15 Brecha en monitoreo de calidad de aguas

UG	Estado actual	Imagen Objetivo al 2050	Brecha
Cachapoal	30 Estaciones de calidad de aguas Superficiales	33 Estaciones de calidad de aguas Superficiales	3 Estaciones de calidad de aguas Superficiales
	43 Estaciones de calidad de aguas subterráneos	43 Estaciones de calidad de aguas subterráneos	0 Estaciones de calidad de aguas subterráneos
Tinguiririca y Las Cadenas	4 Estaciones de calidad de aguas Superficiales	9 Estaciones de calidad de aguas Superficiales	5 Estaciones de calidad de aguas Superficiales
	50 Estaciones de calidad de aguas subterráneos	54 Estaciones de calidad de aguas subterráneos	4 Estaciones de calidad de aguas subterráneos
Rapel	9 Estaciones de calidad de aguas Superficiales	11 Estaciones de calidad de aguas Superficiales	2 Estaciones de calidad de aguas Superficiales
	11 Estaciones de calidad de aguas subterráneos	14 Estaciones de calidad de aguas subterráneos	3 Estaciones de calidad de aguas subterráneos
TOTAL	43 Estaciones de calidad de aguas Superficiales	54 Estaciones de calidad de aguas Superficiales	10 Estaciones de calidad de aguas Superficiales
	114 Estaciones de calidad de aguas subterráneos	121 Estaciones de calidad de aguas subterráneos	7 Estaciones de calidad de aguas subterráneos

Fuente: Elaboración propia

5.2.2.3 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., incluidos tanto humedales naturales como artificiales (embalses o tranques de riego actúan como hábitat de aves migratorias o peces).

Según la plataforma Freshwater Ecosystems Explorer (FEE), 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 se presentan en la **Tabla 5-16**.

El estado tendencial se obtiene de la proyección de la tendencia de superficie permanente, *Freshwater Ecosystems Explorer (FEE)*. Se complementa la brecha con la falta de protección de humedales lacustres, palustres y ribereños, que podrían tener necesidades de reservas ambientales (en DAA).

Tabla 5-16 Brecha pérdida de humedales y ecosistemas acuáticos (ha)

UG	Estado actual Ha	Estado tendencial (2045) Ha	Pérdida de superficie (Brecha) Ha	Comentario
Cachapoal	10.258	5.847	- 4.411	La proyección se realiza mediante la tendencia de superficie permanente FEE. ²² Falta de protección de humedales lacustres, palustres y ribereños. Instauración de zonas de exclusión de DAA en zonas prioritarias.
Tinguiririca y Las Cadenas	9.083	5.177	- 3.906	La proyección se realiza mediante la tendencia de superficie permanente FEE. Falta de protección de humedales lacustres, palustres y ribereños. Instauración de zonas de exclusión de DAA en zonas prioritarias.
Rapel	12.069	6.879	- 5.190	La proyección se realiza mediante la tendencia de superficie permanente FEE. Falta de protección de humedales lacustres, palustres y ribereños. Instauración de zonas de exclusión de DAA en zonas prioritarias.
Total	31.410	23.093	-13.507	

Fuente: Elaboración propia

5.2.2.4 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 (ver **Figura 5-5**) muestra un alza en la deforestación desde el año

²² Freshwater Ecosystems Explorer

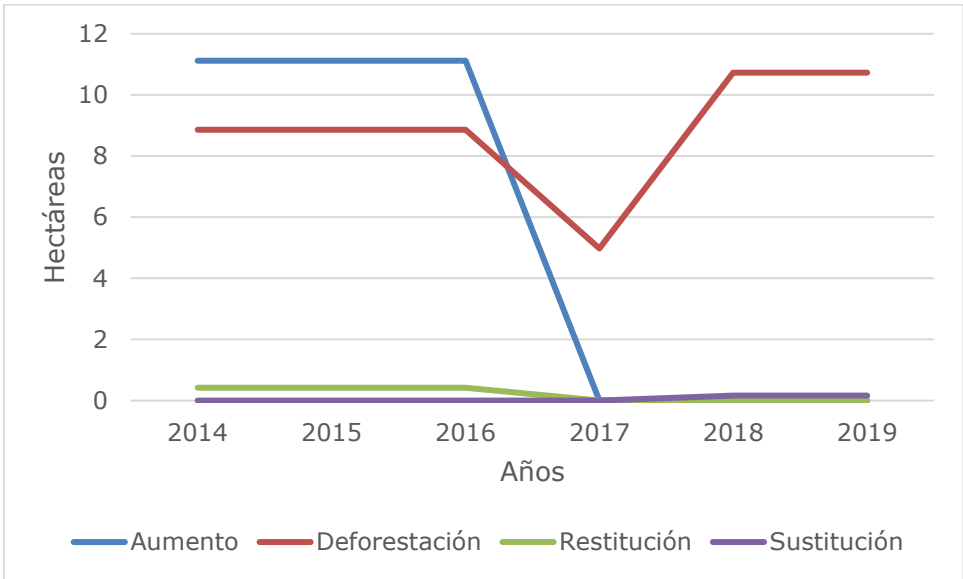
2017, y una disminución en la tendencia evolutiva del bosque drástico, teniendo como punto de inflexión los incendios generados en el año 2017. Por otro lado, la sustitución y la restitución no han tenido variaciones importantes de superficie durante los últimos años.

El análisis anterior se presenta de manera resumida, identificando las brechas asociadas con la cuenca río Rapel, en la **Tabla 5-17**.

Tabla 5-17 Pérdida de vegetación natural

	Brecha Ha.	Definición de la brecha
Cuenca Río Rapel	374,5 ha.	Superficie neta perdida de bosque nativo en la cuenca entre 2000 y 2020 ²³ .

Fuente: Elaboración propia con datos IDE MINAGRI



Fuente: Elaboración propia con datos IDE MINAGRI

Figura 5-5 Cambio forestal 2013-2019 en la cuenca del río Rapel

²³ En relación con tendencia al aumento de deforestación anual al año 2025

5.2.2.5 BECO 5. Erosión del Suelo

Según estudio realizado por CIREN en el año 2010 (actualizado al 2020), se identifican 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. Ambos ítems consideran las siguientes categorías: otros usos, sin erosión, erosión no aparente, erosión ligera, erosión moderada, erosión severa, erosión muy severa.

Para la cuenca río Rapel se identificó la erosión severa y muy severa para ambos ítems, según unidad de gestión, cuyo resultado se encuentra en la **Tabla 5-18**.

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.

Tabla 5-18 Superficie según tipo de erosión asociada (ha)

Grado erosión	Cachapoal	Tinguiririca	Rapel	Total
Severa	62.126	52.751	59.418	174.296
Muy Severa	58.877	30.447	14.812	104.137
Subtotal	121.004	83.198	74.230	278.432
Total UG (ha)	629.900	393.200	353.600	1.376.700
Total degradado %	19,21%	21,16%	20,99%	20,22%

Fuente: Elaboración propia con datos IDE MINAGRI

En resumen, la brecha apunta a identificar la cantidad de superficie erosionada de la cuenca río Rapel, que afecta en los suelos y en los ecosistemas hídricos de la cuenca y que debe ser atendida con miras a la seguridad hídrica de los ecosistemas.

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

El embalse Rapel es uno de los cuerpos de agua icónicos de la cuenca y de la región, que destaca no solo por ser una de las primeras centrales hidroeléctricas del país (se puso en servicio en 1968), sino porque se ha constituido en un polo de atracción turístico. Como resultado, se instauró la Corporación de Desarrollo y Protección del Embalse Rapel, CODEPRA. Si bien se trata de un embalse, que 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.

En relación con las cargas que llegan al embalse a través de los tributarios, es posible concluir que los mayores aportes de sulfatos y molibdeno provienen del estero Alhué, que recibe las descargas de aguas claras de relaves del embalse Carén (Codelco El Teniente). Por otra parte, el estero Las Palmas y los ríos Cachapoal y Tinguiririca son los que contienen los mayores aportes de nutrientes (nitrógeno y fósforo total) y coliformes fecales.

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 msnm²⁴.

Por lo tanto, se deben formalizar los acuerdos entre público privados (DGA, CODEPRA, ENEL, Juntas de Vigilancia, ONGs) respecto al uso multipropósito del embalse y la gestión para su 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.

5.2.3 Seguridad Hídrica para las Actividades Productivas

Las actividades productivas son la base de la producción alimentaria, así como en su rol de abastecer de productos y servicios que permiten el desarrollo de las personas y de una economía local. En este sentido, se busca proveer del agua necesaria para cada actividad, mientras se resguarde el uso eficiente de este recurso y el consumo de agua dulce se encuentre dentro de niveles sostenibles con respecto al estrés hídrico de la cuenca (Meta 6.4 del ODS N°6).

En consecuencia, la seguridad hídrica para las actividades productivas 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, que representa la mayor

²⁴ 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.>

demanda de la cuenca (97%). En el Anexo J1, sección 5 se presenta el árbol de problema. A partir de estos antecedentes, a continuación, se definen las brechas por tipo de actividad.

Los factores o causas principales que afectan el desarrollo de la actividad agrícola son el cambio climático y la disminución de disponibilidad de agua en cauces naturales, lo que se ve acentuado por la baja capacidad de regulación -natural y construida- de la cuenca. A esto se suma una baja eficiencia en el uso del agua para la agricultura, debido a problemas en la infraestructura de captación (bocatomas) y conducción (canales), así como barreras técnicas, económicas y sociales para la tecnificación del riego en los usuarios de menor tamaño. Complementariamente, existen problemas para la constitución de Organizaciones de Usuarios de Agua (OUA), así como problemas de operación y financiamiento de las OUA de menor tamaño.

Estos factores dan cuenta del problema central, que es la **Menor seguridad de riego**. Las brechas definidas son presentadas en la **Tabla 5-19**, identificando situación deseada, actual y el ID correspondiente (BPRO = Brecha Act. Productivas).

Tabla 5-19 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	100% 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

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

Como se ha adelantado en el punto 5.2.1, el sector agrícola refleja una brecha estacional en los meses de noviembre a marzo. En la cuenca del río Rapel la brecha total es de 1.492 hm³/año para el periodo actual (2015-2020) (**Tabla 5-21**) y 1.385 hm³/año en el periodo histórico (2000-2014) (**Tabla 5-20**) ascendiendo a 1.525 hm³/año en 2041-2050 (**Tabla 5-22**).

Tabla 5-20 Brecha agrícola por sectores de riego. Periodo histórico 2000-2014

Sector	Área (ha)	Demanda Neta (DN) (hm ³ /año)	Demanda Bruta (DB) (hm ³ /año)	Dotación (m ³ /ha)	EF %	Brecha (hm ³ /año)	Brecha (%)
Primera Cachapoal	43.068	632	1.529	14.682	41%	507	33%
Segunda Cachapoal	13.719	216	570	15.728	38%	123	22%
Tercera Cachapoal	24.894	230	588	9.241	39%	96	16%
Rio Claro	10.002	96	250	9.610	38%	76	30%
Zamorano	10.567	98	250	9.321	39%	88	35%
UG Cachapoal	102.250	1.273	3.187	12.448	40%	889	28%
Tinguiririca	59.529	522	1.312	8.777	40%	332	25%
Chimbarongo	31.038	248	569	8.001	44%	79	14%
Las cadenas	8.712	55	105	6.270	52%	29	28%
UG Tinguiririca	99.280	825	1.986	8.314	42%	440	22%
Alhué	6.225	60	149	9.705	41%	55	37%
Rapel	4.724	43	113	9.107	38%	0	0%
UG Rapel	10.949	103	262	9.447	40%	55	21%
Total	212.478	2.202	5.435	10.362	41%	1.385	25%

Fuente: Elaboración propia en base a datos del Modelo hidrogeológico actual acoplado (Weap - Modflow). Anexo F5.1

Tabla 5-21 Brecha agrícola por sectores de riego. Periodo actual 2015-2020

Sector	Área (ha)	Demanda Neta (DN) (hm ³ /año)	Demanda Bruta (DB) (hm ³ /año)	Dotación (m ³ /ha)	EF %	Brecha (hm ³ /año)	Brecha (%)
Primera Cachapoal	43.068	663	1.346	15.392	49%	615	46%
Segunda Cachapoal	13.719	204	446	14.870	46%	133	30%
Tercera Cachapoal	24.894	222	461	8.918	48%	48	10%
Rio Claro	10.002	92	198	9.198	47%	74	38%
Zamorano	10.567	99	212	9.360	47%	96	45%
UG Cachapoal	102.250	1.280	2.663	12.516	48%	966	36%
Tinguiririca	59.529	518	1.091	8.704	47%	346	32%
Chimbarongo	31.038	263	459	8.464	57%	87	19%
Las cadenas	8.712	73	127	8.340	57%	50	39%
UG Tinguiririca	99.280	854	1.677	8.597	51%	484	29%
Alhué	6.225	60	111	9.616	54%	40	36%
Rapel	4.724	44	77	9.378	57%	2	3%
UG Rapel	10.949	104	189	9.513	55%	42	22%
Total	212.478	2.237	4.529	10.530	49%	1.492	33%

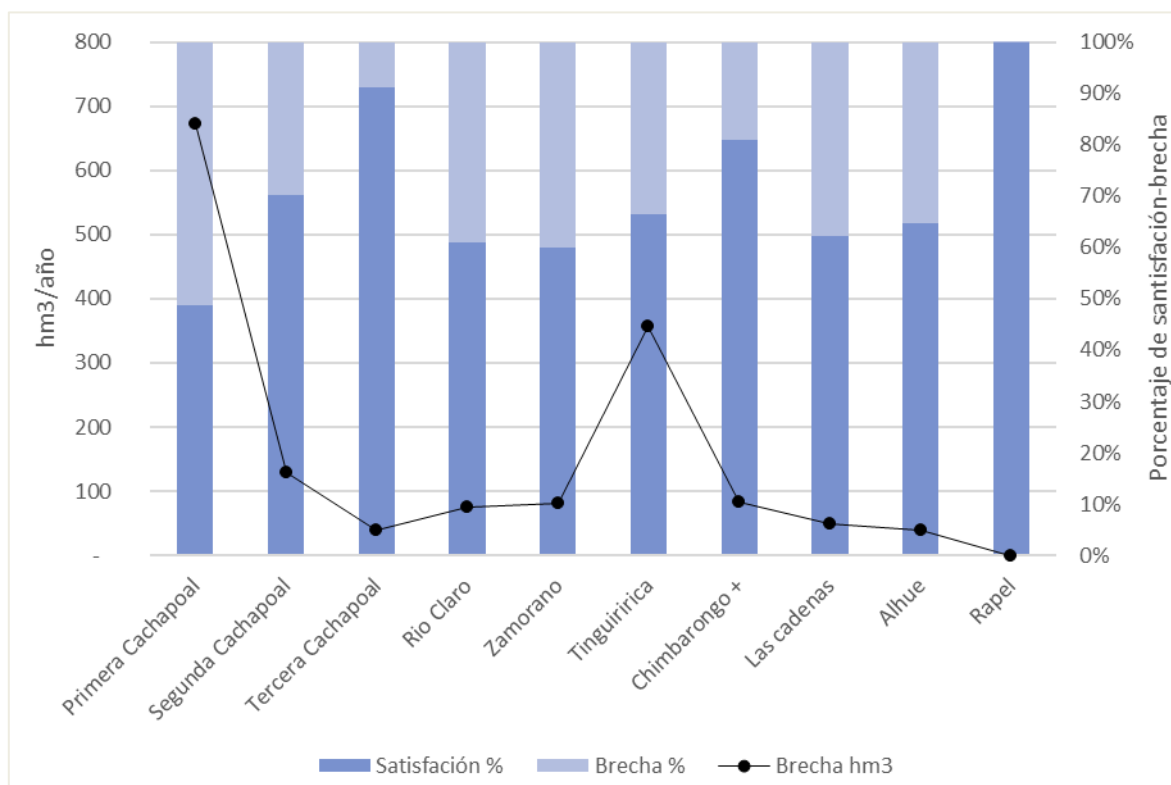
Fuente: Elaboración propia en base a datos del Modelo hidrogeológico actual acoplado (Weap - Modiflow). Anexo F5.1

Tabla 5-22 Brecha agrícola por sectores de riego. Periodo proyectado 2041-2050

Sector	Área (ha)	Demanda Neta (DN) (hm ³ /año)	Demanda Bruta (DB) (hm ³ /año)	Dotación (m ³ /ha)	EF %	Brecha (hm ³ /año)	Brecha (%)
Primera Cachapoal	43.068	670	1.313	15.547	51%	673	51%
Segunda Cachapoal	13.719	203	432	14.803	47%	128	30%
Tercera Cachapoal	24.894	224	450	8.999	50%	40	9%
Rio Claro	10.002	92	192	9.207	48%	75	39%
Zamorano	10.567	96	201	9.116	48%	80	40%
UG Cachapoal	102.250	1.285	2.588	12.568	50%	997	39%
Tinguiririca	59.529	521	1.063	8.749	49%	356	34%
Chimbarongo	31.038	265	441	8.533	60%	84	19%
Las cadenas	8.712	79	132	9.085	60%	50	38%
UG Tinguiririca	99.280	865	1.636	8.711	53%	490	30%
Alhué	6.225	61	109	9.768	56%	38	35%
Rapel	4.724	48	79	10.071	60%	0	0%
UG Rapel	10.949	108	188	9.899	58%	38	20%
Total	212.478	2.258	4.412	10.628	51%	1.525	35%

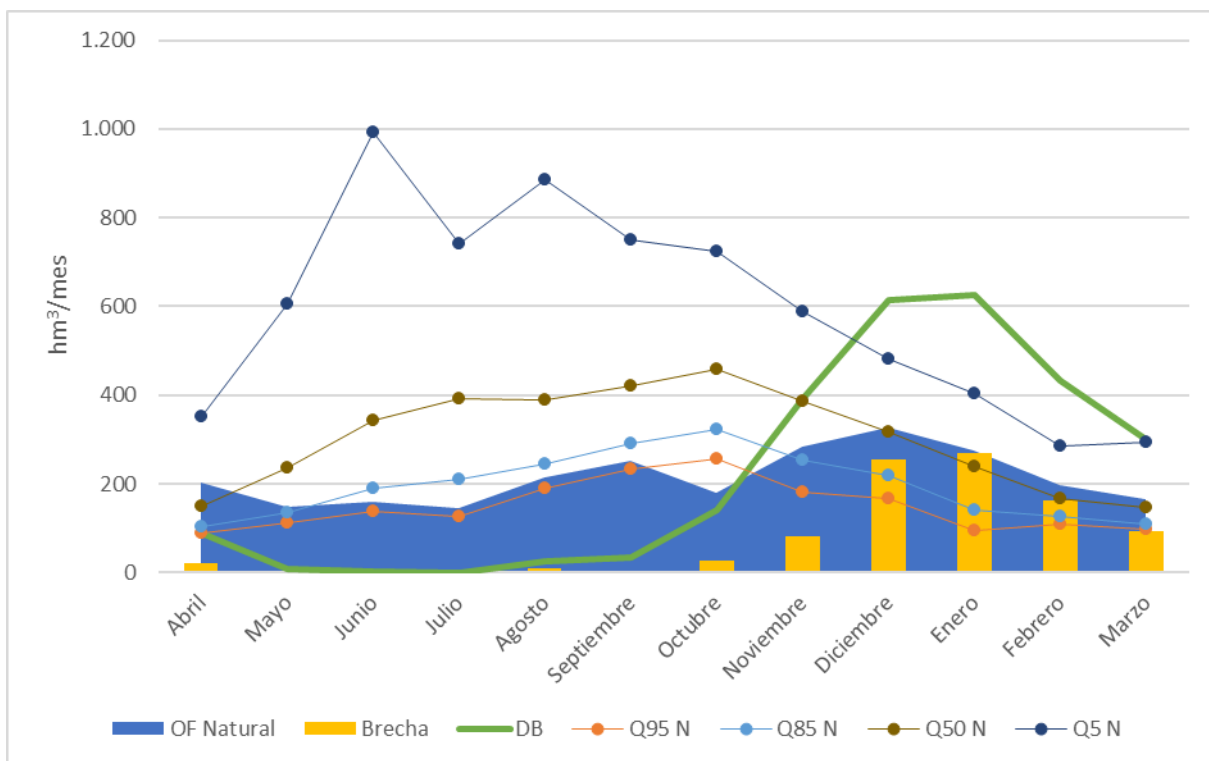
Fuente: Elaboración propia en base a datos del Modelo hidrogeológico actual acoplado (Weap - Modiflow). Anexo F5.1

El porcentaje de la brecha agrícola aumenta en 4 puntos para el periodo proyectado (2040-2051) respecto al histórico, y 2 puntos respecto al periodo actual. 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 5-6**).



Fuente: Elaboración propia en base a datos del Modelo hidrogeológico actual acoplado (Weap - Modflow). Anexo F5

**Figura 5-6 Demanda Satisfecha en agricultura y brecha hídrica $\text{hm}^3/\text{año}$.
Presentado por sectores de riego en el periodo proyectado 2041-2050.**



Fuente: Elaboración propia en base a modelación hidrológica

Datos correspondientes a los sectores de riego: secciones del río Cachapoal, Estero Zamorano y río Claro de Rengo. OF Natural (Oferta Natural Nodo 10 Río Cachapoal), Brecha (Brecha hídrica agrícola), DB (Demanda Bruta) Q95 N, Q85 N, Q50 N, Q5 N (Oferta según probabilidades de excedencia en escenario natural).

Figura 5-7 Distribución anual de la brecha agrícola Sector Cachapoal (UG) hm³/mes. PE Oferta Naturalizada

Los meses con brecha hídrica son desde octubre hasta marzo, donde enero tiene la brecha punta. De esta forma se refleja la estacionalidad de la brecha hídrica para agricultura.

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.

A continuación, la **Tabla 5-23** muestra la brecha hídrica para actividades productivas asociadas a la industria pecuaria, con un total de 14,08 hm³/año proyectado al 2050; siendo la UG Rapel la que tiene un mayor valor.

Tabla 5-23 Brecha hídrica pecuaria al año 2050

UG	Demanda actual hm³/año (2015-2020)	Demanda proyectada hm³/año (2021-2050)	Brecha Pecuaria
Cachapoal	4,53	6,00	1,47
Tinguiririca	3,38	5,94	2,56
Rapel	12,15	22,22	10,07
Total	20,06	34,14	14,08

Fuente: Elaboración propia en base a SISS (2020)

En el caso de la demanda industrial, la información de la sección **3.5 Demanda industrial** reveló una demanda hídrica actual de 15,4 hm³/año, con una demanda proyectada al 2050 de 30,0 hm³/año. Esto, demuestra que existe una brecha hídrica asociada a demanda industrial de **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.

5.2.3.2 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. Estos dos puntos presentan una reducción del volumen entre el periodo histórico y el proyectado como se indica en la **Tabla 5-24**.

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).

Tabla 5-24 Variabilidad de oferta superficial para el uso minero, Codelco DET

Captación	Periodo Estival*				Promedio Anual
	Promedio hm ³ /mes		Variación Caudal		Variación del volumen
	1990-2021	2022-2050	hm ³ /mes	%	hm ³ /año
Pangal	130,16	66,69	-63,47	-49%	-393,75
Coya	11,14	5,94	-5,19	46%	-39,67
Total					-433,42

*enero, febrero y marzo.

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

Considerando los derechos de aprovechamiento otorgados a CODELCO en ambos puntos, la variación de escorrentía no afectaría la posible reducción de reparto. Sin embargo, en contexto de los puntos anteriores de una distribución conjunta para toda la cuenca se puede definir, según la demanda actual, una brecha hídrica.

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

En complemento, a nivel nacional CODELCO ha definido dentro de sus objetivos estratégicos al 2030 la reducción en 60% del consumo de aguas continentales. En este sentido, se propone reducir el porcentaje de volumen en captaciones de ríos y agua subterráneas.

5.2.3.3 BPRO 3. Baja seguridad hídrica en el secano interior

El secano interior de la cuenca del Rapel corresponde a la vertiente occidental de la cordillera de la Costa y cordones intermedios, comprendiendo los siguientes sectores:

- Sector Rapel
 - o Estero Carén
 - o Estero Alhué y Estero del Piche
 - o Estero El Rosario
 - o Río Rapel en su tramo bajo (aguas debajo de Central Rapel)
- Sector Tinguiririca
 - o Estero Las Cadenas
 - o Estero San Miguel

Las comunas asociadas son Lolol, Pumanque, Marchigüe, La Estrella, Litueche, Navidad y Alhué.

Ese sector se caracteriza por presentar fuentes de agua superficial que escurren en forma intermitente (con excepción del río Rapel), y que particularmente se han visto afectadas por la reducción de precipitaciones experimentadas 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.

5.2.3.4 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% utiliza un método de riego tradicional (Tendido o surco) y solamente 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 del año 2007, la agricultura se centra en pequeños y medianos agricultores (50%, <20 ha.), los cuales tienen mayor problema de acceso a estos proyectos por aspectos administrativos o técnicos.

Según el ajuste elaborado de la eficiencia de riego de los datos anteriores la cuenca tiene una **eficiencia del 51%**.

5.2.3.5 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. Si bien el Plan de Gestión de Riego de las cuencas del río Cachapoal y ríos Maipo y Rapel (CNR, 2015) no establece un número exacto para estimar una brecha cuantitativa, sí lo hace de una manera cualitativa al validar las brechas en todos los sectores de la cuenca en cuanto a la necesidad de regularización y saneamiento de derechos de aprovechamiento de agua. 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 actualización 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 en consideración puesto que, dado el mercado del agua existente, la información de quien tiene los derechos de aprovechamiento es muy dinámica.

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

5.2.3.6.1 OUs no formalizadas

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. En ese sentido, la correcta inscripción en el departamento de organizaciones de usuarios de aguas en la Dirección General de Aguas es relevante para el correcto desarrollo de estas.

En la cuenca del río Rapel, existen numerosas juntas de vigilancia que aún no cierran su proceso de formalización como lo son 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.

En todas estas, aún no existe un inicio de proceso desde lo formal, por lo que es relevante poder iniciarlo. Todas reflejan una brecha importante desde el punto de vista de la formalización de OUs, pero así también de perfeccionar la gobernanza que debe ir aparejada en cada una de las cuencas.

5.2.3.6.2 Déficit de capacidades técnicas

Uno de los inconvenientes principales que se da en materia de organizaciones de usuarios de aguas, es la formación y surgimiento de líderes que se quieran hacer cargo de las labores que nacen de esta actividad. Es por lo anterior que 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 OUs para manejar temáticas sobre cambio climático y de adaptación en general.

5.2.3.7 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.

Actualmente, el río Cachapoal está dividido en tres secciones para la distribución de las aguas, las cuales han llegado a generar un acuerdo (*Redistribución de aguas entre Juntas de Vigilancia del Río Cachapoal, 2021*²⁵). Es un ejemplo de mejora de acuerdos de los actores de la cuenca, el cual debe afianzarse en el tiempo.

En consecuencia, se estima que existe una brecha de coordinación en la gestión de las aguas superficiales, producto del seccionamiento de la administración de los cauces principales.

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

Ausencia de Comunidades de Aguas Subterráneas en acuíferos cerrados

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 existencia de SHAC cerrados, aún no se ha generado el proceso para formalizar las Comunidades de Aguas Subterráneas.

Por resoluciones DGA, se establecieron zonas de restricciones de aguas subterráneas en la cuenca. Según lo estipulado en el Código de Aguas, este hecho permite la formación de una Comunidad de Aguas Subterráneas. Pese a ello, las comunidades no han tenido apoyo para su formación y tampoco para la difusión de esta situación. Así, se presenta una brecha asociada a las Comunidades de Aguas Subterráneas, definida por falta de conocimiento y en el 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.

²⁵ <https://www.federacionjuntas.cl/noticias/dga-mop-o-higgins-logran-historico-acuerdo-de-redistribucion-de-aguas-entre-juntas-de-vigilancia-del-rio-cachapoal>

5.2.4 Seguridad Hídrica ante Eventos Extremos

Si bien se aprecia en la **Tabla 2-7** que la mayor parte de las comunas de la cuenca del río Rapel no han enfrentado regularmente declaraciones de escasez, sí se identificó una condición precaria en el secano interior de la cuenca, principalmente los sectores de Marchigüe, La Estrella, Rapel y Alhué, entre otros. En este caso, a la disminución de precipitaciones se agrega un retroceso en las fuentes naturales, principalmente aguas subterráneas, lo que afecta particularmente a la agricultura familiar campesina. La **Tabla 5-25** muestra la situación deseada y actual de la brecha asociada a eventos extremos, además del ID correspondiente (BEXT = Brecha Eventos Extremos).

Tabla 5-25 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

5.2.4.1 BEXT1. Falta de acciones adaptativas ante la escasez hídrica

Tal y como se señala en el numeral 2.2.2, Eventos Extremos y variabilidad climática, si bien la sequía aparece como uno de estos 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. Los **22 decretos dictados** para la cuenca del río Rapel destacan por la amplitud del año 2020, que comprendió 35 comunas. Históricamente, se identifica que un gran número han sido decretados en la comuna de Alhué y Santo Domingo (8) y San Pedro (10). En la parte sur de la cuenca, destaca Teno (7).

En concreto, 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.

5.2.5 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 conforme 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 5-26**.

Tabla 5-26 Brechas para la Gestión Institucional

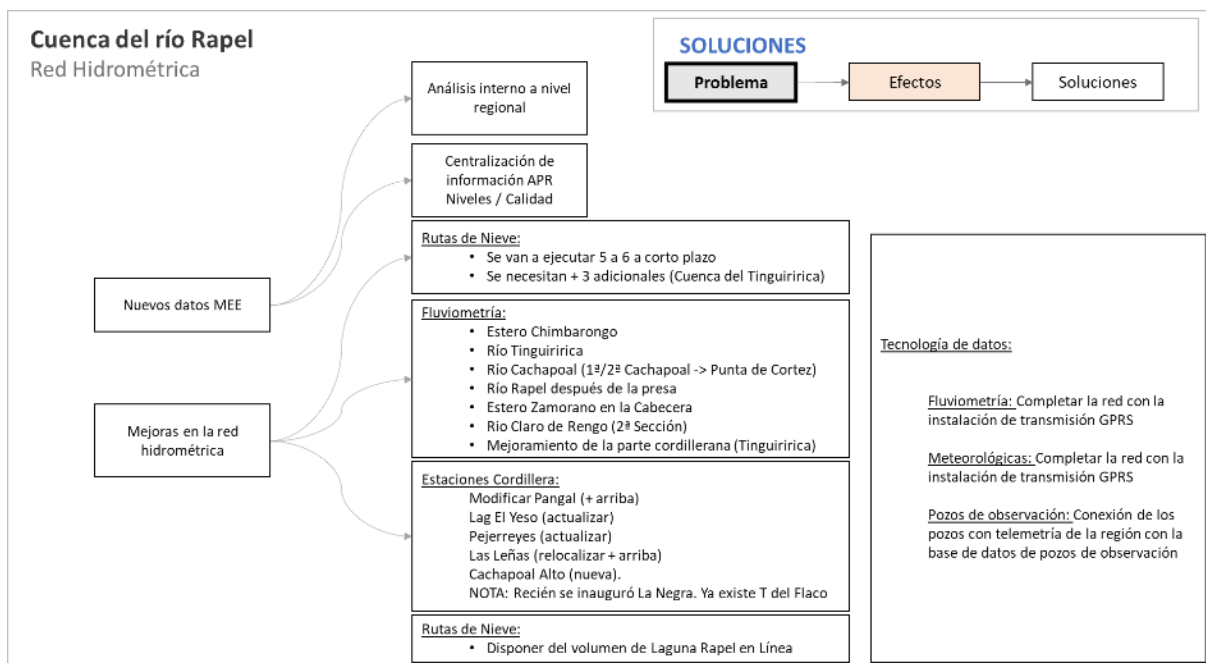
Componente	Situación Deseada	Situación Actual	Brecha	ID
Generación de Información Primaria	Se cuenta con una red hidrométrica que describe adecuadamente los procesos hidrológicos e hidrogeológicos de la cuenca.	No se cuenta con información completa a nivel de cuenca, y algunos equipos requieren renovación.	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	No se cuenta con un registro actualizado, ni a nivel público (Catastro Público de Aguas), ni a nivel	Existen vacíos de información respecto de los derechos de aprovechamiento de agua que dificultan	BGES 3

Componente	Situación Deseada	Situación Actual	Brecha	ID
	usos efectivos en el territorio, facilitando la fiscalización.	privado (Rol de regantes).	los procesos de gestión, y sobre todo dificultan una labor de fiscalización efectiva.	
Capacidades de análisis	Se cuenta con información y recursos a nivel regional para analizar los datos que se producen localmente.	No se cuenta con capacidades de análisis a nivel regional.	Se requiere de profesionales destinados al análisis de información regional, los que cuenten además con los recursos adecuados.	BGES 4
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 éstas. La administración se realiza en forma analógica. No existen acreditaciones de profesionales.	Faltan procedimientos administrativos actualizados, expeditos, 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

5.2.5.1 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 considera para las estaciones fluviométricas y meteorológicas la necesidad de desarrollo de estaciones tanto en cantidad como tecnología, además de ampliación en la red según la **Figura 5-8**.



Fuente: Elaboración propia en base a minuta DGA Regional

Figura 5-8 Falta de estaciones de la red hidrométrica y de calidad de aguas

5.2.5.2 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. La existencia de estas brechas se debe a varias razones, entre estas, limitaciones propias de la plataforma WEAP-MODFLOW, a la falta de información base y confiable, a simplificaciones realizadas con fines de modelación, etc.

Por un lado, se detectó una falencia en la organización de usuarios de agua a nivel superficial, 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 la misma línea, aún no se establecen comunidades de agua subterránea de los distintos sectores de acuíferos que existen. A su vez, las comunidades de agua potable rural no poseen un nivel de organización centralizado a nivel de cuenca sobre información respectiva a la extracción por derecho que poseen.

Además, se identificó la necesidad de ampliar la red de medición de las estaciones fluviométricas en conjunto con una mejora en la tecnología de obtención de datos. 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 último de identificar los caudales que se infiltran en el acuífero y se evaporan desde los canales de riego, y efectivamente son consumidos en los cultivos.

En relación con las actividades productivas, el embalse Rapel fue modelado a cabalidad en términos de sus entradas y salidas, sin embargo, no fue posible simular correctamente los volúmenes embalsados. Esto se atribuye principalmente a que el embalse Rapel está condicionado constantemente por demandas hidroeléctricas que carecen de temporalidad y cuyo comportamiento general difícilmente puede ser condensado con alguna regla de operación. Sobre centrales hidroeléctricas, existe una falta de información de microcentrales eléctricas de pasada respecto al modo de operación y características de caudal que turbinan por la central. Por último, relativo a la actividad minera de la cuenca, es importante continuar con la mayor obtención de antecedentes de los distintos actores distribuidos en la cuenca (además de División El Teniente), cuya información no siempre es de fácil acceso, pero es parte fundamental para la recopilación de antecedentes que permitan definir con mayor detalle la demanda total requerida por esta actividad.

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. A pesar de que se haya logrado un buen desempeño con valores de KGE superiores a 0,75 en la estación "Río San José en San Andrés" (estación fluviométrica aguas abajo del glaciar Universidad), esto no quiere decir que se represente adecuadamente la dinámica glaciar a lo largo de toda la cuenca, puesto que no se cuenta con información suficiente para comparar los resultados. Además, 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.

Se deja constancia de estas oportunidades de mejora, para que se tomen en cuenta al revisar el trabajo en su conjunto y que en una futura actualización se puedan remediar estos puntos (anexo H, sección 5).

5.2.5.3 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, 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.

En consecuencia, la brecha identificada es la falta de información sistematizada de los DAA, puntos de extracción y demanda final (Catastro de usuarios, Actualización).

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

Dentro de la oficina regional se complementa los recursos humanos con las atribuciones que tiene la dirección a nivel regional. Sin embargo, existen nuevos desafíos para la DGA regional ya que se incorporan cambios tales como mayor información (Monitoreo de extracciones efectivas, red hidrométrica), además de la implementación del presente plan.

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, que implica un mayor monitoreo de extracciones efectivas, red hidrométrica y la implementación del presente Plan.

5.2.5.5 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 precisamente 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 menos plataformas informáticas para tal efecto. En forma complementaria, no existen 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.

5.2.6 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 estructuras y

reglas que regulen los flujos de información y de coordinación. La brecha identificada se presenta en la **Tabla 5-27**.

Tabla 5-27 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

5.2.6.1 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. Por un lado, existe una gran cantidad de servicios públicos con competencia en la gestión de los recursos hídricos, y por el otro, los propietarios de los derechos de aprovechamiento de agua cuentan con una relativa independencia en el uso del recurso.

En un contexto de abundancia relativa, estas falencias o brechas quedan cubiertas por la excedencia del recurso, pero ante el aumento en la demanda y la disminución de la oferta, quedan al descubierto la falta de mecanismos de coordinación y, sobre todo, los vacíos de coordinación.

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.

En consecuencia, la brecha identificada es la falta de coordinación entre actores públicos y privados para la gobernanza de la cuenca.

5.2.6.2 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.

5.2.7 Síntesis de las brechas hídricas

A continuación, se presenta una síntesis con las principales brechas hídricas presentadas en este capítulo. Como se puede observar en la **Tabla 5-28**, 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 5-28 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)²⁶.

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

5.3 Sustentabilidad de acuíferos

Con el fin de estimar una demanda máxima sustentable de recursos hídricos subterráneos desde los sectores acuíferos, la Dirección General de Aguas establece un método para determinar ésta a través de la operación de un modelo de simulación de flujo subterráneo.

Este método busca maximizar la explotación posible de obtener desde cada SHAC, evaluando cambios en la demanda y sujeto a una serie de restricciones que determina cada criterio. En este trabajo se comparan los resultados de los diferentes escenarios modelados a través de los 5 criterios estandarizados que diferencian si el sector acuífero cumple con ser sustentable o no:

²⁶ 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.

-
- **Criterio 1. Descensos sustentables en el tiempo a nivel de sector acuífero.** Se hace un cálculo para comprobar si en los últimos 20 años de simulación el nivel disminuye más de 1m. (criterio 1a) y si el volumen disminuye en más de 5% (criterio 1b).
 - **Criterio 2. Interferencia río acuífero.** Se calcula que la interacción entre el río y el acuífero no se vea afectada. Esto se comprueba verificando la siguiente desigualdad:
 - $\Delta Q \leq 10\% Q_{ANUAL,85\%}$
 - **Criterio 3. Satisfacción de la demanda.** El sector evaluado debe permitir una extracción de al menos el 95% de la demanda ingresada al modelo.
 - **Criterio 4. Pozos secos.** La cantidad de pozos secos del sector no puede superar el 5% del total.
 - **Criterio 5. Afección a sectores abiertos.** El aumento de extracción en un sector no puede afectar la disponibilidad sustentable desde otro lugar aguas abajo.

5.3.1 Evaluación

En la **Tabla 5-29** se presentan en forma resumida los resultados provenientes del análisis de sustentabilidad de acuíferos (para el escenario base) utilizando los 4 primeros criterios antes descritos.

Tabla 5-29 Resumen Cumplimiento de Criterios de Sustentabilidad

SHAC	Escenario Base				
	Criterio 1a "Disminución de Nivel Estático"	Criterio 1b "Disminución de Volumen"	Criterio 2 "Interferencia río acuífero"	Criterio 3 "Satisfacción de Demanda"	Criterio 4 "Pozos secos"
Codegua	NO	SI	NO	NO	NO
Graneros - Rancagua	SI	NO	SI	NO	SI
Estero Alhué	SI	NO	SI	NO	SI
Olivar	SI	SI	SI	NO	SI
Requínoa-Rosario-Rengo-Quinta Tilcoco Este	SI	SI	SI	NO	SI
Requínoa-Rosario-Rengo-Quinta Tilcoco Oeste	SI	SI	SI	NO	SI
Doñihue-Coinco-Coltauco	SI	SI	SI	NO	SI
Estero Las Palmas	NO	NO	SI	SI	NO
Embalse Rapel	SI	NO	SI	SI	SI
San Fernando	SI	SI	SI	NO	SI
Pelequén-Malloa-San Vicente de Tagua Tagua	SI	SI	SI	NO	SI
Peumo-Pichidegua-Las Cabras	SI	SI	SI	NO	SI
Chimbarongo	SI	SI	SI	NO	SI
Laguna San Vicente	SI	SI	SI	NO	SI
Tinguiririca Inferior Este	SI	SI	SI	NO	SI
Tinguiririca Inferior Oeste	SI	SI	SI	NO	SI
Tinguiririca Superior	SI	SI	SI	NO	SI
Cadenas Marchigüe	SI	SI	SI	NO	SI
Cadenas Yervas Buenas	SI	SI	SI	SI	SI
El Monte - Tinguiririca	NO	SI	SI	NO	SI

Nota: Un "Sí" indica que se cumple el criterio de sustentabilidad, y un "No" que no cumple.

Fuente: Elaboración propia en base al modelo actualizado del presente estudio

Finalmente, para analizar el criterio 5, se realizan múltiples simulaciones usando otras cantidades de demanda, analizando así, si es que se ven afectados los demás SHACs aguas abajo. Para los siguientes SHACs se aumentaron las extracciones subterráneas en un 5% desde el año 2020:

- Codegua
- Graneros Rancagua
- Olivar
- Requínoa – Rosario – Rengo – Quinta de Tilcoco – Este
- Requínoa – Rosario – Rengo – Quinta de Tilcoco – Oeste
- Doñihue – Coinco – Coltauco
- San Fernando
- Pelequén
- Laguna San Vicente
- Estero Las Palmas
- Estero Alhué
- Tinguiririca Superior
- Chimbarongo
- Cadenas Yerbas Buenas
- El Monte – Tinguiririca

Con este aumento se obtuvieron los resultados de sustentabilidad y se buscó analizar que sucedía en los SHACs aguas debajo de los sectores de aprovechamiento común ya mencionado. Luego, se mantuvo este aumento en los SHACs y se procedió a realizar un aumento del 10% en los derechos subterráneos para los siguientes SHACs restantes:

- Peumo – Pichidegua – Las Cabras
- Embalse Rapel
- Tinguiririca Inferior Oeste
- Tinguiririca Inferior Este
- Cadenas Marchigüe

Finalmente, para los tres escenarios propuestos, escenario base, escenario de 5% de aumento SHACs aguas arriba y escenario de 5% de aumento en SHACs aguas arriba – 10% de aumento en SHACs aguas abajo, se obtienen los siguientes resultados agrupados para los criterios de sustentabilidad (ver **Tabla 5-30** a **Tabla 5-34** a continuación).

Tabla 5-30 Resumen Cumplimiento Criterio 1a "Disminución de Nivel Estático"

SHAC	Criterio 1a "Disminución de Nivel Estático"		
	Escenario Base	Aumento 5% Extracciones SHAC Aguas Arriba	Aumento 5% Extracciones SHAC Aguas Arriba y 10% Extracciones SHAC Aguas Abajo
Codegua	NO	NO	NO
Graneros - Rancagua	SI	SI	SI
Estero Alhué	SI	SI	SI
Olivar	SI	SI	SI
Requínoa-Rosario-Rengo-Quinta Tilcoco Este	SI	SI	SI
Requínoa-Rosario-Rengo-Quinta Tilcoco Oeste	SI	SI	SI
Doñihue-Coinco-Coltauco	SI	SI	SI
Estero Las Palmas	NO	NO	NO
Embalse Rapel	SI	SI	SI
San Fernando	SI	SI	SI
Pelequén-Malloa-San Vicente de Tagua Tagua	SI	SI	SI
Peumo-Pichidegua-Las Cabras	SI	SI	SI
Chimbarongo	SI	SI	SI
Laguna San Vicente	SI	SI	SI
Tinguiririca Inferior Este	SI	SI	SI
Tinguiririca Inferior Oeste	SI	SI	SI
Tinguiririca Superior	SI	SI	SI
Cadenas Marchigüe	SI	SI	SI
Cadenas Yervas Buenas	SI	SI	SI
El Monte - Tinguiririca	NO	NO	NO

Nota: Un "SI" indica que se cumple el criterio de sustentabilidad, y un "No" lo contrario.

Fuente: Elaboración propia en base al modelo actualizado del presente estudio

Tabla 5-31 Resumen Cumplimiento Criterio 1b "Disminución del Volumen"

SHAC	Criterio 1b "Disminución de Volumen"		
	Escenario Base	Aumento 5% Extracciones SHAC Aguas Arriba	Aumento 5% Extracciones SHAC Aguas Arriba y 10% Extracciones SHAC Aguas Abajo
Codegua	SI	SI	SI
Graneros - Rancagua	NO	SI	NO
Estero Alhué	NO	NO	NO
Olivar	SI	SI	SI
Requínoa-Rosario-Rengo-Quinta Tilcoco Este	SI	SI	SI
Requínoa-Rosario-Rengo-Quinta Tilcoco Oeste	SI	SI	SI
Doñihue-Coinco-Coltauco	SI	SI	SI
Estero Las Palmas	SI	SI	SI
Embalse Rapel	SI	SI	SI
San Fernando	SI	SI	SI
Pelequén-Malloa-San Vicente de Tagua Tagua	SI	SI	SI
Peumo-Pichidegua-Las Cabras	SI	SI	SI
Chimbarongo	SI	SI	SI
Laguna San Vicente	SI	SI	SI
Tinguiririca Inferior Este	SI	SI	SI
Tinguiririca Inferior Oeste	SI	SI	SI
Tinguiririca Superior	SI	SI	SI
Cadenas Marchigüe	SI	SI	SI
Cadenas Yervas Buenas	SI	SI	SI
El Monte - Tinguiririca	NO	NO	NO

Nota: Un "Sí" indica que se cumple el criterio de sustentabilidad, y un "No" lo contrario.

Fuente: Elaboración propia en base al modelo actualizado del presente estudio

Tabla 5-32 Resumen Cumplimiento Criterio 2 "Interferencia Río Acuífero"

SHAC	Criterio 2 "Interferencia río acuífero"		
	Escenario Base	Aumento 5% Extracciones SHAC Aguas Arriba	Aumento 5% Extracciones SHAC Aguas Arriba y 10% Extracciones SHAC Aguas Abajo
Codegua	NO	NO	NO
Graneros - Rancagua	SI	SI	SI
Estero Alhué	SI	SI	SI
Olivar	SI	SI	SI
Requínoa-Rosario-Rengo-Quinta Tilcoco Este	SI	SI	SI
Requínoa-Rosario-Rengo-Quinta Tilcoco Oeste	SI	SI	SI
Doñihue-Coinco-Coltauco	SI	SI	SI
Estero Las Palmas	SI	SI	SI
Embalse Rapel	SI	SI	SI
San Fernando	SI	SI	SI
Pelequén-Malloa-San Vicente de Tagua Tagua	SI	SI	SI
Peumo-Pichidegua-Las Cabras	SI	SI	SI
Chimbarongo	SI	SI	SI
Laguna San Vicente	SI	SI	SI
Tinguiririca Inferior Este	SI	SI	SI
Tinguiririca Inferior Oeste	SI	SI	SI
Tinguiririca Superior	SI	SI	SI
Cadenas Marchigüe	SI	SI	SI
Cadenas Yervas Buenas	SI	SI	SI
El Monte - Tinguiririca	SI	SI	SI

Nota: Un "SI" indica que se cumple el criterio de sustentabilidad, y un "No" lo contrario.

Fuente: Elaboración propia en base al modelo actualizado del presente estudio

Tabla 5-33 Resumen Cumplimiento Criterio 3 "Satisfacción de Demanda"

SHAC	Criterio 3 "Satisfacción de Demanda"		
	Escenario Base	Aumento 5% Extracciones SHAC Aguas Arriba	Aumento 5% Extracciones SHAC Aguas Arriba y 10% Extracciones SHAC Aguas Abajo
Codegua	NO	NO	NO
Graneros - Rancagua	NO	NO	NO
Estero Alhué	NO	NO	NO
Olivar	NO	NO	NO
Requínoa-Rosario-Rengo-Quinta Tilcoco Este	NO	NO	NO
Requínoa-Rosario-Rengo-Quinta Tilcoco Oeste	NO	NO	NO
Doñihue-Coinco-Coltauco	NO	NO	NO
Estero Las Palmas	SI	SI	SI
Embalse Rapel	SI	SI	SI
San Fernando	NO	NO	NO
Pelequén-Malloa-San Vicente de Tagua Tagua	NO	NO	NO
Peumo-Pichidegua-Las Cabras	NO	NO	NO
Chimbarongo	NO	NO	NO
Laguna San Vicente	NO	NO	NO
Tinguiririca Inferior Este	NO	NO	NO
Tinguiririca Inferior Oeste	NO	NO	NO
Tinguiririca Superior	NO	NO	NO
Cadenas Marchigüe	NO	NO	NO
Cadenas Yervas Buenas	SI	SI	SI
El Monte - Tinguiririca	NO	NO	NO

Nota: Un "Sí" indica que se cumple el criterio de sustentabilidad, y un "No" lo contrario.

Fuente: Elaboración propia en base al modelo actualizado del presente estudio

Tabla 5-34 Resumen Cumplimiento Criterio 4 "Satisfacción de Demanda"

SHAC	Criterio 4 "Pozos secos"		
	Escenario Base	Aumento 5% Extracciones SHAC Aguas Arriba	Aumento 5% Extracciones SHAC Aguas Arriba y 10% Extracciones SHAC Aguas Abajo
Codegua	NO	NO	NO
Graneros - Rancagua	SI	SI	SI
Estero Alhué	SI	SI	SI
Olivar	SI	SI	SI
Requínoa-Rosario-Rengo-Quinta Tilcoco Este	SI	SI	SI
Requínoa-Rosario-Rengo-Quinta Tilcoco Oeste	SI	SI	SI
Doñihue-Coinco-Coltauco	SI	SI	SI
Estero Las Palmas	NO	NO	NO
Embalse Rapel	SI	SI	SI
San Fernando	SI	SI	SI
Pelequén-Malloa-San Vicente de Tagua Tagua	SI	SI	SI
Peumo-Pichidegua-Las Cabras	SI	SI	SI
Chimbarongo	SI	SI	SI
Laguna San Vicente	SI	SI	SI
Tinguiririca Inferior Este	SI	SI	SI
Tinguiririca Inferior Oeste	SI	SI	SI
Tinguiririca Superior	SI	SI	SI
Cadenas Marchigüe	SI	SI	SI
Cadenas Yervas Buenas	SI	SI	SI
El Monte - Tinguiririca	SI	NO	NO

Nota: Un "Sí" indica que se cumple el criterio de sustentabilidad, y un "No" lo contrario.

Fuente: Elaboración propia en base al modelo actualizado del presente estudio

5.3.2 Conclusiones de los criterios de sustentabilidad

Para la evaluación de los criterios de sustentabilidad de los acuíferos de la cuenca del río Rapel se ha usado el modelo acoplado WEAP-MODFLOW. Este enfoque permite superar algunos de los problemas que se presentan en los estudios más clásicos en que se hace solo uso de la modelación subterránea en MODFLOW, a través de la simulación de caudales de ríos y conexiones entre actores superficiales.

A partir de esta simulación en el modelo acoplado, se comprueban los 5 criterios de sustentabilidad, en el que se puede ver que la mayoría de estos se ven comprometidos para el escenario base actual, esto se debe principalmente a que la mayoría de los SHACs de la cuenca del río Rapel se encuentran como sector con zona de restricción o derechamente en zona de prohibición. Los aumentos del 5% en SHACs aguas arriba y 10% en SHACs aguas abajo dan luces de cuanto más se podría extraer de los SHACs para que el porcentaje de cumplimiento de los criterios del escenario base disminuya en 1%, de lo que se llevan a valores máximos de un 10% y un 5% para los SHACs definidos en la presente sección.

5.4 Indicadores hídricos de la cuenca

Los indicadores hídricos reflejan el estado actual de la cuenca según la línea base levantada, tanto de información primaria como secundaria, y los resultados del modelo hidrológico. Estos, presentan de una forma específica y medible aquellos aspectos, en los que se debe hacer seguimiento; en la ejecución del plan y su comparación con otras cuencas limítrofes.

De esta forma se diferencian tres tipos de indicadores: de estado, impacto y de proceso.

- **Indicadores de estado:** corresponden a variables hidrológicas e hidrogeológicas que cambian en el tiempo por parámetros meteorológicos o acciones antrópicas. El seguimiento del indicador no busca llegar a un meta objetivo si no estar sostenible en el tiempo
- **Indicadores de Impacto:** corresponden a variables de estado de la cuenca de los ejes de seguridad hídrica, o de la institucionalidad y gobernanza. Para estos indicadores se dispone de un estado de línea de base (actual) y un estado deseado al final del Plan Estratégico. Con el propósito de alinear los Planes Estratégicos con estándares internacionales, y reforzar el concepto de Gestión Sostenible de Recursos Hídricos, es que se incorporó como Indicadores de Impacto a los Indicadores asociados a las metas del ODS N°6, Agua Limpia y Saneamiento.
- **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.

5.4.1 Definición de indicadores

En la **Tabla 5-35** y **Tabla 5-36** se presentan los indicadores hídricos de estado e impacto de la cuenca, que preceden a los indicadores de proceso descritos en el numeral 9.1.1.

5.4.1.1 Indicadores de Estado

Los indicadores de estado se presentan en la **Tabla 5-35**.

Tabla 5-35. Definición de Indicadores de Estado

ID	Indicador	Unidad	Definición	Metodología
1.1	Variación de la oferta Naturalizada	%	Caudal disponible en la cuenca sin intervención del hombre, respecto al valor de referencia (histórico)	Resultado del modelo WEAP - MODFLOW. Caudal medido en desembocadura Valor de referencia: últimos 30 años
1.2	Volumen embalsado en SHAC	%	Volumen de agua contenido en los SHAC de la cuenca, respecto al valor de referencia (histórico)	Estimación mediante balance de recarga y extracciones. Complemento con niveles de acuífero registrados en pozos de observación. Promedio anual del periodo (10 años) Valor de referencia: últimos 30 años
1.3	Variación del volumen almacenamiento SHAC	%	Variación del volumen almacenado dentro de un periodo estudiado, respecto al valor de referencia (histórico)	Resultados del modelo WEAP – MODFLOW. Sumatorio de la variación del volumen almacenado en los SHAC como promedio anual del periodo (10 años) Valor de referencia: últimos 30 años
1.4	Brecha hídrica total	hm ³ /año	Brecha hídrica anual de agua para las personas, ecosistemas y actividades productivas	Suma de las estimaciones parciales de la brecha hídrica para personas, ecosistemas y actividades productivas

Fuente: Elaboración propia

5.4.1.2 Indicadores de Impacto

Los indicadores de impacto se presentan en la **Tabla 5-36**.

Tabla 5-36. Definición de Indicadores de Impacto

ID	Indicador	Unidad	Definición	Metodología	ODS
2	Seguridad Hídrica para las Personas				
2.1	IPER 1 Proporción de la población que utiliza servicios de suministro de agua potable gestionados sin riesgos	%	Personas que tienen acceso al agua potable con una dotación por encima de 50 l/día	(Población total - población abastecida por camiones aljibes) / población total	ODS 6, Meta 6.1.1
2.2	IPER 2 Proporción de la población que utiliza servicios de saneamiento gestionados sin riesgos, incluidas instalaciones para el lavado de manos con agua y jabón	%	Personas que tienen acceso a la gestión de Aguas Servidas, urbanas o rurales	(Población total - población sin sistema de tratamiento de aguas servida) / población total	ODS 6, Meta 6.2.1
2.3	IPER 3 Brecha hídrica para consumo humano	hm ³ /año	Volumen de agua no provisto a las personas que se encuentran en condición de inseguridad hídrica	Personas abastecidas por camión aljibe X consumo 140 l/día	N/A
3	Seguridad Hídrica para los Ecosistemas				
3.1	IECO 1 Nivel de Estrés Hídrico	%	Extracción de agua dulce en proporción a los recursos de agua dulce disponibles en la cuenca	Demanda total bruta consuntiva de agua entre la oferta anual naturalizada (media)	ODS 6, Meta 6.4.2

ID	Indicador	Unidad	Definición	Metodología	ODS
3.2	IECO 2 Proporción de aguas residuales tratadas de manera adecuada	%	Volumen de aguas tratadas en relación con el volumen consumido total	(Población total - población sin sistema de tratamiento de aguas servidas) / población total	ODS 6, Meta 6.3.1
3.3	IECO 3 Proporción de masas de agua de buena calidad	%	Proporción de masa de agua sin presencia de alteración de su estado natural por contaminación o reducción de la disponibilidad superficial	Información obtenida a partir del Observatorio Georreferenciado ²⁷ , Ministerio de Obras Públicas. Sección "Mapa hidroquímico", índice de calidad de agua ODS 6.3.2.	ODS 6, Meta 6.3.2
3.4	IECO 4 Superficie de ecosistemas relacionados con el agua con el paso del tiempo	%	Variación en superficie de los ecosistemas acuáticos	Se obtiene desde los datos de seguimiento global del ODS 6. Plataforma Freshwater Ecosystems Explorer ²⁸ . Selección de un área específica e identificación de la variable.	ODS 6, Meta 6.6.1
3.5	IECO 5 Proporción de Superficie de Bosque Nativo en la cuenca	%	Variación de la superficie vegetal no degradada dentro de la cuenca	Cálculo a partir de SIMEF (Sistema Integrado de Monitoreo de Ecosistemas Forestales Nativos de Chile), Balance de tipo de cambio superficie 2015-2019: Aumento+ Restitución – Deforestación – sustitución	ODS 15, Meta 15.1.1
3.6	IECO 6 Proporción de Superficie de suelo con erosión leve a moderada	%	Variación de la superficie erosionada severa o muy severa dentro de la cuenca	Cálculo a partir de Catastro de suelos degradados (CIREN) sobre el nivel de erosión (severa y muy severa).	ODS 15, Meta 15.3.1
4	Seguridad de agua para las actividades productivas				

²⁷ <https://snia.mop.gob.cl/observatorio/>

²⁸ <https://map.sdg661.app/>

ID	Indicador	Unidad	Definición	Metodología	ODS
4.1	IPRO 1 Cambio en el uso eficiente de los recursos hídricos con el paso del tiempo	USD/m ³	Eficiencia de uso del agua medida entre el valor en dólares agregado y el volumen de agua utilizada	PIB del agua en la cuenca dividido entre el volumen neto de agua consumido al año: PIB Agua / (Demanda Neta Agrícola Demanda Neta Pecuaria)	ODS 6, Meta 6.4.1
4.2	IPRO 2 Porcentaje de uso eficiente en la actividad agrícola	%	Volumen requerido por ETP de la planta entre el volumen bruto	Demanda Neta / Demanda Bruta	N/A
4.3	IPRO 3 Brecha hídrica para Actividad agrícola	hm ³ /año	Volumen requerido para cumplir el 100% de la satisfacción de la demanda	Resultados del modelo WEAP – MODFLOW. Satisfacción de la demanda equivalente en volumen anual Calculo según el promedio anual en el periodo definido	N/A
Gestión Institucional y gobernanza					
6.1	IGOB 1 Proporción de agua gestionada por Juntas de Vigilancia registradas por la DGA	%	Proporción de agua superficial que se gestiona en forma adecuada según el estándar actual	Volumen de agua (hm ³ /año) consuntivo y superficial destinado a cuencas sin juntas de vigilancia, dividido entre el consumo total de agua en la cuenca	N/A
6.2	IGOB 2 Proporción de agua subterránea gestionada por Comunidades de Aguas Subterráneas (CAS)	%	Proporción de agua Subterránea que se gestiona en forma adecuada según el estándar actual	Volumen de agua (hm ³ /año) consuntivo destinado a sectores sin Comunidades de Aguas Subterráneas, dividido entre el consumo total de agua subterránea en la cuenca	N/A
6.3	IGOB 3 Gestión Integrada de Recursos Hídricos	Adimensional		Grado de Gestión Integrada de Recursos Hídricos	OSD 6.5.1

Fuente: Elaboración propia

5.4.2 Cuantificación de indicadores

5.4.2.1 Indicadores de Estado

Una vez definidos los indicadores, en la **Tabla 5-37** se presentan los valores actuales de los indicadores de impacto y los proyectados.

Tabla 5-37. Definición de Indicadores de Estado

Indicador	Volumen anual (hm ³ /año)			Variación (%)	
	Periodo histórico	Periodo actual	Periodo Proyectado	Actual	Proyectada
Variación de la oferta Naturalizada	9.099	8.998	6.657	-1,11%	-26,84%
Volumen embalsado en SHAC	74.589	74.827	71.704	+0,32%	-3,87%
Variación del volumen almacenamiento SHAC	0,56	0,49	0,74	-12,50%	32,14%

Histórico (1990-2014), actual (2014-2020), proyectado (2021-2050)

Fuente: Elaboración propia según puntos 4.1.2 y 4.2.2

Se espera mantener y aumentar el volumen almacenado en los acuíferos, asegurando así la sustentabilidad de éstos.

5.4.2.2 Indicadores de Impacto

Una vez definidos los indicadores, se debe definir la meta o rango de metas a los cuales se espera optar como resultado del Plan Estratégico. La **Tabla 5-38** presenta este análisis.

Tabla 5-38. Determinación de Indicadores de Impacto

ID	Indicador	Unidad	Valor Actual	Meta	Años	Observaciones
Seguridad Hídrica para las Personas						
2.1	IPER 1 Proporción de la población que utiliza servicios de suministro de agua potable gestionados sin riesgos	%	96,0 %	100,0%	5	Se espera que en un plazo de 5 años el 100% de la población acceda al agua en forma segura y sin riesgo.
2.2	IPER 2 Proporción de la población que utiliza servicios de saneamiento gestionados sin riesgos, incluidas instalaciones para el lavado de manos con agua y jabón	%	Desconocido	70 %	30	Se espera reducir la brecha de saneamiento en un 30% en 30 años.
2.3	IPER 3 Brecha hídrica para consumo humano	hm ³ /año	44,88 hm³ 28	0,0	30	Se espera reducir la brecha de consumo humano a cero en el corto plazo
Seguridad Hídrica para los ecosistemas						
3.1	IECO 1 Nivel de Estrés Hídrico	%	75,5 % (5.228/6.922)	<=75,5 %	Cumple	Se espera mantener los niveles de estrés hídrico dentro del rango observado actual, que corresponden a una situación particularmente extrema de la cuenca. La meta es permanente.

ID	Indicador	Unidad	Valor Actual	Meta	Años	Observaciones
3.2	IECO 2 Proporción de aguas residuales tratadas de manera adecuada	%	84,6 % (según INE)	92,3%	30	Se espera reducir a la mitad la brecha de acceso al saneamiento. El 84,6% se determinó bajo el supuesto de que el 40% de la población rural accede a saneamiento en la actualidad.
3.3	IECO 3 Proporción de masas de agua de buena calidad	%	100 %	100 %	Cumple	Se espera contar con la totalidad de las masas de agua de la cuenca en buena calidad (> 80%). Indicador de cumplimiento.
3.4	IECO 4 Superficie de ecosistemas relacionados con el agua con el paso del tiempo	%	31.410	31.410	30	A lo menos mantener la superficie observada en 2020.
3.5	IECO 5 Proporción de Superficie de Bosque Nativo en la cuenca	Ha.	29,48%	29,51%	30	Se espera recuperar la superficie afectada en los últimos 20 años (374,5 ha), y reducir o compensar la pérdida de superficies nuevas.
3.6	IECO 6 Proporción de Superficie de suelo con erosión leve a moderada	%	79,8%	87,3%	30	Se espera recuperar un 7,6% de la cuenca para el año 2050, que corresponde a la superficie en categoría de erosión muy severa.
3.7	IECO 7 Brecha hídrica para los ecosistemas acuáticos	hm³/año	0,00 hm³/año	0,00 hm³/año	30	Se espera mantener el valor de la brecha hídrica para los ecosistemas acuáticos.

ID	Indicador	Unidad	Valor Actual	Meta	Años	Observaciones
Seguridad hídrica para las actividades productivas						
4.1	IPRO 1 Cambio en el uso eficiente de los recursos hídricos con el paso del tiempo	USD/m ³	1,96 (4.135 millones USD / 2.110 hm ³)	> 1,96	20	Se espera aumentar el retorno de las actividades productivas agrícolas, mediante el aumento de la eficiencia en el uso del agua.
4.2	IPRO 2 Porcentaje de uso eficiente en la actividad agrícola	%	50,8 %	>70,0 %	20	Se espera incrementar la eficiencia promedio de uso del agua a un 70% al año 2050, a nivel intrapredial.
4.4	IPRO 3 Brecha hídrica para Actividad agrícola	hm ³ /año	2.539	0,0	30	Se espera que para el año 2050 se reduzca a cero la brecha de agua para las actividades productivas.
Gestión institucional y gobernanza						
5.1	IGOB 1 Proporción de agua gestionada por Juntas de Vigilancia registradas por la DGA	adimensional	56 % (9 Juntas inscritas de 16)	100 %	10	Se espera que el 100% de las aguas subterráneas que se utilizan esté bajo la supervisión de una Junta de Vigilancia.
5.2	IGOB 2 Proporción de agua subterránea gestionada por Comunidades de Aguas Subterráneas (CAS)	%	0 %	100 %	--	Se espera que el 100% de las aguas subterráneas que se utilizan esté bajo la supervisión de una CAS.
5.3	IGOB 3 Gestión Integrada de Recursos Hídricos	%	0 %	100 %	10	Se espera que el 100% de las aguas subterráneas que se utilizan esté bajo la supervisión de una CAS.

Fuente: Elaboración propia

5.4.3 Análisis del impacto esperado del Plan

De la **Tabla 5-38** se tiene el valor objetivo o meta para cada uno de los indicadores de impacto, o indicadores hídricos de la cuenca, por eje estratégico. A continuación, se presenta un análisis de las propuestas realizadas.

El principal impacto esperado en el corto plazo es la solución de la brecha de población atendida por camiones aljibe. Este aspecto es crítico, y debe materializarse en un plazo de 5 años. En complemento, en este período se deben realizar los estudios requeridos para abordar las brechas de mayor dimensión y complejidad, cuyas soluciones deben abordarse en el mediano y largo plazo.

Respecto del balance hídrico, el impacto esperado del Plan es equilibrar la oferta y demanda en el largo plazo (resolver la brecha hídrica), con énfasis en ajustar la demanda a la oferta sostenible de agua dentro de la cuenca. Para esto, se debe monitorear el estado de los SHAC, y el nivel de estrés hídrico, que debiera tender a mantenerse en los niveles actuales.

En el eje de seguridad hídrica para las personas, tal y como se mencionó, se espera resolver en el corto plazo la brecha hídrica de personas abastecidas por camiones aljibe, y en el mediano y largo plazo disponer de las condiciones para abordar la demanda creciente. Respecto del acceso a saneamiento, se entiende que esta es una meta que puede ser alcanzada en el mediano y largo plazo, y que no necesariamente es requisito alcanzar el 100% de cobertura dentro del horizonte del Plan Estratégico, dada la inversión requerida.

En el eje de seguridad hídrica para los ecosistemas se espera avanzar en la proporción de aguas residuales tratadas (que se asimila al porcentaje de la población que accede a saneamiento), mientras que se espera mantener la calificación de las masas de agua según calidad de agua. Para esto se debe avanzar tanto en el aspecto normativo (Norma Secundaria de Calidad de Aguas del río Rapel), como en la gestión, que pasa por el control y autocontrol de los usuarios responsables de la contaminación actual. Así mismo, se debiera alcanzar una mayor comprensión de los factores que inciden en la pérdida de ecosistemas acuáticos, y la recuperación de servicios ecosistémicos a nivel de cuenca, asociados al suelo y la vegetación.

En el eje de seguridad hídrica para las actividades productivas se espera mejorar la disponibilidad de agua para la agricultura, al mismo tiempo que se aumenta significativamente la eficiencia en su uso, lo que se traduciría en una mayor rentabilidad por volumen de agua y un cambio positivo en la eficiencia en el uso de este recurso.

Respecto de la gestión institucional, se espera aumentar la proporción de las aguas que se encuentra bajo la coordinación de Juntas de Vigilancia y Comunidades de Aguas Subterráneas (CAS).

5.5 Escenarios de gestión

Para la generación de escenarios se realizó un análisis previo de la brecha hídrica para cada tipo de uso. Dentro del apartado siguiente se realiza una **evaluación de estrategias de balance hídrico** para la reducción de las brechas definidas en el punto 5.2. Estas estrategias son la base para la definición de los escenarios de gestión.

En este sentido se definieron un escenario base y **3 escenarios de gestión** para ser modelados, con el propósito de determinar la respuesta del sistema frente a distintas estrategias definidas para abordar la brecha hídrica.

La evaluación de los escenarios no limita la incorporación de distintas soluciones dentro del Plan, como la automatización o el aumento de la eficiencia de riego. Estas acciones se consideran en forma explícita dentro de la calculadora hídrica, instrumento construido para una evaluación de eficiencia (costo / beneficio) de las distintas alternativas que darán cuerpo al Plan Estratégico.

5.5.1 Evaluación económica de alternativas

El Balance Hídrico se utiliza, en este caso, desde el punto de vista de la gestión. En lo principal, consiste en un análisis a nivel de balance anual de masas de agua sobre el total de la cuenca y las unidades de gestión, el cual busca mantener un equilibrio entre la oferta, la demanda y la sostenibilidad de los sistemas naturales al año 2050.

Para la generación del balance se siguieron los siguientes pasos:

- Definición de las Unidades de Gestión y sectores asociados.
- Definición de las metas de agua a gestionar, las que responden a la brecha hídrica identificada por los modelos, así como a las expectativas de los usuarios.
- Evaluación de las estrategias (conjunto de Soluciones) a emplear para resolver la brecha.

La definición de las Metas se realizó a partir de la brecha hídrica proyectada al año 2050, a lo que se sumó una revisión de los proyectos que se encuentran en distintos estados de desarrollo dentro del territorio, así como las expectativas propias de los distintos sectores productivos. De esta forma, para la evaluación de las estrategias se fijó un rango posible, que se encuentra entre la brecha prevista al año 2050, y las expectativas de los usuarios. Al valor máximo de este rango se le denominó **Meta de Consenso**. Al respecto, existen tres resultados posibles: que la evaluación conjunta de las estrategias y los resultados del modelo señale que es posible alcanzar el valor de la meta; que se alcance un valor inferior a la meta, pero que este se encuentre por sobre la brecha hídrica al año 2050, lo que es igualmente satisfactorio; o bien que se determine que no es posible satisfacer la brecha hídrica al año 2050, caso en el que se deben adoptar medidas adicionales que no necesariamente se encuentran dentro del alcance de un Plan de Gestión Hídrica.

En complemento, se definieron una serie de **Criterios de Sustentabilidad** que deben ser cumplidos por la totalidad de las estrategias a evaluar. Estos criterios son los siguientes:

Dentro de cualquier estrategia, se satisfará en primera instancia la seguridad hídrica para las personas, ya sea en contexto urbano o rural.

Para la gestión de aguas superficiales se debe satisfacer siempre un caudal base, que se determina mediante la fórmula del caudal ecológico de un cauce natural.

Para la gestión de las aguas subterráneas, se propone una **Gestión Dinámica de Acuíferos**, la que se entiende como la recarga previa de aguas subterráneas bajo una premisa de excedencia de un 10% en relación con las aguas que efectivamente serán extraídas. Esta excedencia permite, por un lado, disponer de un volumen de reserva para el caso de eventos de sequías prolongadas, y por el otro, resguardarse ante la incertidumbre asociada al uso dinámico de las aguas subterráneas.

Se incorporó además un factor que castiga el aumento en la eficiencia de riego, dado que parte de las pérdidas actuales se convierten en derrames que benefician a otros usuarios de la zona. En consecuencia, aumentar la eficiencia beneficiaría a unos en desmedro de otros usuarios. El factor de efectividad empleado es de un 50% en la primera sección del Cachapoal, y de un 70% para el resto de los sectores. Se tomó esta decisión en función de la experiencia de los mismos usuarios.

La evaluación de las estrategias se realizó a partir de un análisis económico de cada conjunto de soluciones y criterios de sustentabilidad definidos. Para esto, se determinó el costo de inversión y operación requerido para aportar 1 hm³ de agua al año, para cada una de las soluciones propuestas, y se realizó una proyección de estos en el horizonte del Plan (30 años), con el propósito de determinar el precio del agua asociado a un retorno igual a cero. Para esto se empleó una **Calculadora Hídrica**, que determina el precio del agua de largo plazo asociado a un conjunto de iniciativas. De esta forma, es posible comparar el aporte de cada estrategia en función del esfuerzo económico, y determinar aquellas que tienen una mayor eficiencia en términos de inversión y operación por unidad de volumen de agua aportado (m³).

A continuación, se presenta el análisis realizado para cada una de las Unidades de Gestión de la cuenca del río Rapel: Cachapoal, Tinguiririca, Rapel.

5.5.1.1 Unidad de Gestión Cachapoal

La unidad de gestión Cachapoal comprende desde el inicio de este curso de agua, hasta su confluencia con el embalse Rapel.

5.5.1.1.1 Definición de Metas de Balance

La brecha hídrica identificada para este sector es de 1.033,9 hm³ al año 2050, según se tiene en la **Tabla 5-39**, la que considera la provisión de agua para las personas y la de caudal ecológico. A futuro se agrega un caudal ecológico adicional por 40,0 hm³, ya que la brecha actual pudiera estar subestimada.

Si bien se proyecta el embalse Las Cayanas por 50 hm³, no se incluirá una demanda agrícola o minera adicional, por lo que su aporte estaría exclusivamente destinado a cubrir brechas futuras. A diferencia de lo anterior, el embalse Bollenar (59 hm³) se proyecta para un uso de un 80% promedio (47,2 hm³).

En consecuencia, se evaluarán estrategias que permitan gestionar un mínimo de 1.121,1 hm³/año.

Tabla 5-39 Definición metas de gestión al año 2050, Unidad de Gestión Cachapoal

Eje	Cachapoal 1 ^a Sección	Cachapoal 2 ^a Sección	Cachapoal 3 ^a Sección	Río Claro	Estero Zamorano	Total
Personas (urbano)	17,4	2,3	0,98	4,6	0,2	25,6
Personas (rural)	1,0	2,9	0,5	1,6	1,6	7,6
Ecosistemas	--	--	--	--	--	--
Agricultura	618,9	131,5	40,4	76,4	79,3	946,4
Otros	54,4	--	--	--	--	52,9
Brecha hídrica	691,7	136,7	41,8	82,6	81,1	1.033,9
Aumento demanda	0,0	--	--	47,2	--	47,2
Q Eco adicional	10,0	10,0	10,0	5,0	5,0	40,0
Total (Meta)	701,7	146,7	51,8	134,8	86,1	1.121,1

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se evalúan las estrategias de balance hídrico para aguas superficiales, aguas subterráneas y compuesta.

5.5.1.1.2 Sector Cachapoal Primera Sección

A continuación, en la **Tabla 5-40** se describen las estrategias principales que se evaluaron para determinar las de mayor viabilidad.

Tabla 5-40. Definición de estrategias para la Unidad de Gestión Cachapoal

Estrategia	Gestión de aguas superficiales	Gestión de aguas subterráneas	Gestión Compuesta
Gestión de Aguas Superficiales	Embalse Las Cayanass, 50 hm ³	---	Embalse Las Cayanass, 50 hm ³
Gestión Dinámica de Acuíferos	---	Nuevos pozos asociados a recarga de acuíferos	Nuevos pozos asociados a recarga de acuíferos
Gestión de la Demanda de Agua (factor 50%)	Aumenta la eficiencia de conducción extrapredial y de riego intrapredial	Aumenta la eficiencia de conducción extrapredial y de riego intrapredial	Aumenta la eficiencia de conducción extrapredial y de riego intrapredial
Meta	702 hm³	702 hm³	702 hm³

Fuente: Elaboración propia

Estrategia de Gestión de aguas Superficiales: Para esta estrategia se tomó como base la construcción del embalse Las Cayanass (50 hm³). En complemento, se revisó el esfuerzo en reducción de la demanda de agua para consumo agrícola, con el propósito de determinar el aporte potencial en la reducción de la brecha.

Estrategia de Gestión de aguas Subterráneas: Para esta estrategia se supuso que la brecha total se aborda a partir de una Gestión Dinámica de Acuíferos complementada con aumento en la eficiencia de riego.

Estrategia de Gestión Compuesta: La estrategia compuesta consideró la construcción del embalse Las Cayanass con el volumen propuesto inicialmente, y que el resto de la brecha proyectada se resuelve en parte mediante Gestión Dinámica de Acuíferos, y en parte mediante aumento en la eficiencia de riego.

En la **Tabla 5-41** y **Tabla 5-42** se presenta la evaluación de cada una de estas estrategias, y el resultado final en términos de inversión requerida (CAPEX), y el precio del agua resultante (\$/m³). Se incorporó dentro del análisis el precio del agua bajo el supuesto de un subsidio a la inversión de un 70%.

Tabla 5-41. Sector Cachapoal Primera Sección. Estrategia de Gestión de Aguas Superficiales

Partidas	Acción	Magnitud	Aporte (hm³/año)	Costo de Inversión (Millones \$)
Gestión de Aguas Superficiales	Embalse Las Cayanas (hm ³)	50	35,0	154.967
Gestión Dinámica de Acuíferos	Nuevos pozos hasta 50m (N° pozos)	--	--	--
	Nuevos pozos hasta 100m (N° pozos)	383	372,3	28.724
	Recarga de aguas subterráneas desde (N° puntos de recarga)	78,8	-393,9	17.727
	Recarga de aguas subterráneas desde canales (km de canal)	200,0	-15,6	325
	Reserva dinámica (10%)	10%	37,2	--
Gestión de la Demanda de Agua	Automatización de compuertas (ha beneficiadas)	5.000	2,5	101
	Embalses de regulación corta (50.000 m ³)	100	0,5	2.837
	Tecnificación desde riego Tendido, surco, otro a riego por Goteo (ha tecnificada)	31.776	255,2	175.561
	Tecnificación desde Aspensor, pivote a riego por Goteo (ha tecnificada)	1.114	1,4	6.155
	Tecnificación desde riego Goteo, cinta, micro aspensor a Agro 4.0 (ha tecnificada)	1.000	0,3	3.593
	Revestimiento de canales (> 2 m ³ /s) (km de canal)	-	-	-
	Revestimiento de canales (> 1,0 hasta 2,0 m ³ /s) (km de canal)	300	26,2	35.981
	Capacitación en riego (usuario capacitado)	2.000	8,2	2.200
Total			701,7	470.294
Precio del agua (\$/m ³)				88
Precio del Agua con subsidio a la inversión de un 70% (\$/m ³)				51

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-42. Sector Cachapoal Primera Sección. Estrategia de Gestión de Aguas Subterráneas

Partidas	Acción	Magnitud	Aporte (hm ³ /año)	Costo de Inversión (Millones \$)
Gestión de Aguas Superficiales	Embalses	--	--	--
Gestión Dinámica de Acuíferos	Nuevos pozos hasta 50m (N° pozos)	--	--	--
	Nuevos pozos hasta 100m (N° pozos)	407,3	407,3	9.427,50
	Recarga de aguas subterráneas desde (N° puntos de recarga)	86,5	-432,4	19.460
	Recarga de aguas subterráneas desde canales (km de canal)	200,0	-15,6	325
	Reserva dinámica (10%)	10 %	40,7	--
Gestión de la Demanda de Agua	Automatización de compuertas (ha beneficiadas)	5.000,0	2,5	2.837
	Embalses de regulación corta (50.000 m ³)	100,0	0,5	175.561
	Tecnificación desde riego Tendido, surco, otro a riego por Goteo (ha tecnificada)	31.776,0	255,2	6.155
	Tecnificación desde Aspersor, pivote a riego por Goteo (ha tecnificada)	1.114,0	1,4	3.593
	Tecnificación desde riego Goteo, cinta, micro aspersor a Agro 4.0 (ha tecnificada)	1.000,0	0,3	101
	Revestimiento de canales (> 2 m ³ /s) (km de canal)	-	-	-
	Revestimiento de canales (> 1,0 hasta 2,0 m ³ /s) (km de canal)	300,0	13,1	17.960
	Capacitación en riego (usuario capacitado)	2.000,0	8,2	2.200
Total			701,7	323.802
Precio del agua (\$/m ³)				76
Precio del Agua con subsidio a la inversión de un 70% (\$/m ³)				48

Fuente: Elaboración propia

La **Tabla 5-43** presenta el resumen de las estrategias evaluadas. En el análisis, la estrategia de gestión compuesta se igualó con la estrategia de aguas superficiales, ya que la segunda no era capaz de alcanzar la meta por sí sola.

Si bien la estrategia de gestión de aguas subterráneas es menor en términos de inversión y de costo relativo del agua, se eligió la estrategia de Gestión Compuesta ya que proporciona mayor flexibilidad a la hora de gestionar la cuenca, y permite la integración con otros actores de la cuenca, particularmente Codelco División El Teniente.

Tabla 5-43. Resumen de estrategias para el sector Cachapoal Primera Sección

Componente de Gestión	Impacto	Estrategia		
		Gestión de aguas superficiales	Gestión de aguas subterráneas	Gestión Compuesta
Gestión de Aguas Superficiales	Aumento disponibilidad (hm ³ /año)	+ 35,0	--	+ 35,0
Gestión Dinámica de Acuíferos	Aumento disponibilidad (hm ³ /año)	+ 372,3	+ 407,3	+ 372,3
Gestión de la Demanda de Agua	Aumento de eficiencia (hm ³ /año)	+ 294,4	+ 294,4	+ 294,4
Total	(hm³/año)	+ 701,7	+ 701,7	+ 701,7
Meta	(hm³/año)	+ 701,7	+ 701,7	+ 701,7
Inversión	(Millones \$)	470.294	323.802	470.294
Costo del agua	Sin subsidio a la inversión (\$/m³)	88	76	88
	Con 70% de subsidio a la inversión (\$/m³)	51	48	51

Fuente: Elaboración propia

5.5.1.1.3 Sector Cachapoal Segunda Sección

A continuación, en la **Tabla 5-44** se describen las estrategias principales que se evaluaron para determinar las de mayor viabilidad.

Tabla 5-44. Definición de estrategias para el sector Cachapoal Segunda Sección

Estrategia	Gestión de aguas superficiales	Gestión de aguas subterráneas	Gestión Compuesta
Gestión de Aguas Superficiales	--	---	--
Gestión Dinámica de Acuíferos	--	Nuevos pozos asociados a recarga de acuíferos	--
Gestión de la Demanda de Agua	---	Aumenta la eficiencia de conducción extrapredial y de riego intrapredial	--
Meta		146,7 hm³	

Fuente: Elaboración propia

Estrategia de Gestión de aguas Superficiales: No se desarrolló esta estrategia, ya que no se cuenta con recursos adicionales salvo la eficiencia hídrica.

Estrategia de Gestión de aguas Subterráneas: Para esta estrategia se supuso que la brecha total se aborda a partir de una Gestión Dinámica de Acuíferos complementada con aumento en la eficiencia de riego.

Estrategia de Gestión Compuesta: No se desarrolló esta estrategia ya que es igual a la de aguas subterráneas.

Tabla 5-45. Sector Cachapoal Segunda Sección. Estrategia de Gestión de Aguas Subterráneas

Partidas	Acción	Magnitud	Aporte (hm ³ /año)	Costo de Inversión (Millones \$)
Gestión de Aguas Superficiales	Embalses	--	--	--
Gestión Dinámica de Acuíferos	Nuevos pozos hasta 50m (N° pozos)	--	--	--
	Nuevos pozos hasta 100m (N° pozos)	72,3	70,2	5.419,39
	Recarga de aguas subterráneas desde (N° puntos de recarga)	12,3	-61,7	9.256
	Recarga de aguas subterráneas desde canales (km de canal)	200,0	-15,6	1.084
	Reserva dinámica (10%)	10%	7,0	
Gestión de la Demanda de Agua	Automatización de compuertas (ha beneficiadas)	3.000,0	1,5	61
	Embalses de regulación corta (50.000 m ³)	100,0	0,5	2.837
	Tecnificación desde riego Tendido, surco, otro a riego por Goteo (ha tecnificada)	6.500,0	62,9	30.926
	Tecnificación desde Aspersor, pivote a riego por Goteo (ha tecnificada)	344,0	0,5	1.637
	Tecnificación desde riego Goteo, cinta, micro aspersor a Agro 4.0 (ha tecnificada)	500,0	0,2	1.547
	Revestimiento de canales (> 2 m ³ /s) (km de canal)	-	-	-
	Revestimiento de canales (> 1,0 hasta 2,0 m ³ /s) (km de canal)	100,0	8,7	11.994
	Capacitación en riego (usuario capacitado)	500,0	2,1	550
Total			146,7	65.310
Costo del agua (\$/m ³)				64
Costo del agua con subsidio a la inversión de un 70% (\$/m ³)				40

Fuente: Elaboración propia

La **Tabla 5-46** presenta el resumen de las estrategias evaluadas. En el análisis, la estrategia de aguas subterráneas es la única que permite alcanzar la meta dentro del plan, ya que no se cuenta con otros recursos superficiales. En consecuencia, es la estrategia seleccionada.

Tabla 5-46 Resumen de estrategias para el sector Cachapoal Segunda Sección

Componente de Gestión	Impacto	Estrategia		
		Gestión de aguas superficiales	Gestión de aguas subterráneas	Gestión Compuesta
Gestión de Aguas Superficiales	Aumento disponibilidad (hm ³ /año)	--	--	--
Gestión Dinámica de Acuíferos	Aumento disponibilidad (hm ³ /año)	--	+ 70,2	--
Gestión de la Demanda de Agua	Aumento de eficiencia (hm ³ /año)	--	+ 76,5	--
Total	(hm³/año)	--	+ 146,7	--
Meta	(hm³/año)	--	+ 146,7	--
Inversión	(Millones \$)	--	65.310	--
Costo del agua	Sin subsidio a la inversión (\$/m³)	--	64	--
	Con 70% de subsidio a la inversión (\$/m³)	--	40	--

Fuente: Elaboración propia

5.5.1.1.4 Sector Cachapoal Tercera Sección

A continuación, en la **Tabla 5-47** se describen las estrategias principales que se evaluaron para determinar las de mayor viabilidad.

Tabla 5-47. Definición de estrategias para el sector Cachapoal Tercera Sección

Estrategia	Gestión de aguas superficiales	Gestión de aguas subterráneas	Gestión Compuesta
Gestión de Aguas Superficiales	--	---	--
Gestión Dinámica de Acuíferos	--	Nuevos pozos asociados a recarga de acuíferos	--
Gestión de la Demanda de Agua	--	Aumenta la eficiencia de conducción extrapredial y de riego intrapredial	--
Meta	--	51,8 hm³	--

Fuente: Elaboración propia

Estrategia de Gestión de aguas Superficiales: No se desarrolló esta estrategia, ya que no se cuenta con recursos adicionales salvo la eficiencia hídrica.

Estrategia de Gestión de aguas Subterráneas: Para esta estrategia se supuso que la brecha total se aborda a partir de una Gestión Dinámica de Acuíferos complementada con un aumento en la eficiencia de riego.

Estrategia de Gestión Compuesta: No se desarrolló esta estrategia ya que es igual a la de aguas subterráneas.

En la **Tabla 5-48** se presenta la evaluación de cada una de estas estrategias, y el resultado final en términos de inversión requerida (CAPEX), y el Costo del agua resultante (\$/m³). Se incorporó dentro del análisis el Costo del agua bajo el supuesto de un subsidio a la inversión de un 70%.

Tabla 5-48. Sector Cachapoal Tercera Sección. Estrategia de Gestión de Aguas Subterráneas

Partidas	Acción	Magnitud	Aporte (hm ³ /año)	Costo de Inversión (Millones \$)
Gestión de Aguas Superficiales	Embalses	--	--	--
Gestión Dinámica de Acuíferos	Nuevos pozos hasta 50m (N° pozos)	--	--	--
	Nuevos pozos hasta 100m (N° pozos)	26,7	26,0	668,25
	Recarga de aguas subterráneas desde (N° puntos de recarga)	2,6	-13,0	1.954
	Recarga de aguas subterráneas desde canales (km de canal)	200,0	-15,6	1.084
	Reserva dinámica (10%)	10%	2,6	
Gestión de la Demanda de Agua	Automatización de compuertas (ha beneficiadas)	1.000,0	0,5	20
	Embalses de regulación corta (50.000 m ³)	100,0	0,5	2.837
	Tecnificación desde riego Tendido, surco, otro a riego por Goteo (ha tecnificada)	2.250,0	20,0	9.828
	Tecnificación desde Aspersor, pivote a riego por Goteo (ha tecnificada)	500,0	0,7	2.184
	Tecnificación desde riego Goteo, cinta, micro aspersor a Agro 4.0 (ha tecnificada)	-	-	-
	Revestimiento de canales (> 2 m ³ /s) (km de canal)	-	-	-
	Revestimiento de canales (> 1,0 hasta 2,0 m ³ /s) (km de canal)	-	-	-
	Capacitación en riego (usuario capacitado)	1.000,0	4,1	1.100
Total			51,8	19.676
Costo del agua (\$/m ³)				48
Costo del agua con subsidio a la inversión de un 70% (\$/m ³)				25

Fuente: Elaboración propia

La **Tabla 5-49** presenta el resumen de las estrategias evaluadas. En el análisis, la estrategia de aguas subterráneas es la única que permite alcanzar la meta dentro del plan, ya que no se cuenta con otros recursos superficiales. En consecuencia, es la estrategia seleccionada. Según el análisis realizado, el Costo del agua es de \$48 pesos / m³.

Tabla 5-49. Resumen de estrategias para el sector Cachapoal Tercera Sección

Componente de Gestión	Impacto	Estrategia		
		Gestión de aguas superficiales	Gestión de aguas subterráneas	Gestión Compuesta
Gestión de Aguas Superficiales	Aumento disponibilidad (hm ³ /año)	--	--	--
Gestión Dinámica de Acuíferos	Aumento disponibilidad (hm ³ /año)	--	+ 26,0	--
Gestión de la Demanda de Agua	Aumento de eficiencia (hm ³ /año)	--	+ 25,8	--
Total	(hm³/año)	--	+ 51,8	--
Meta	(hm³/año)	--	+ 51,8	--
Inversión	(Millones \$)	--	19.676	--
Costo del agua	Sin subsidio a la inversión (\$/m³)	--	48	--
	Con 70% de subsidio a la inversión (\$/m³)	--	25	--

Fuente: Elaboración propia

5.5.1.1.5 Sector Río Claro

A continuación, en la **Tabla 5-50** se describen las estrategias principales que se evaluaron para determinar las de mayor viabilidad.

Tabla 5-50. Definición de estrategias para el sector río Claro

Estrategia	Gestión de aguas superficiales	Gestión de aguas subterráneas	Gestión Compuesta
Gestión de Aguas Superficiales	Embalse Bollenar, 59 hm ³	---	Embalse Bollenar, 59 hm ³
Gestión Dinámica de Acuíferos	---	Nuevos pozos asociados a recarga de acuíferos	Nuevos pozos asociados a recarga de acuíferos
Gestión de la Demanda de Agua	Aumenta la eficiencia de conducción extrapredial y de riego intrapredial	Aumenta la eficiencia de conducción extrapredial y de riego intrapredial	Aumenta la eficiencia de conducción extrapredial y de riego intrapredial
Meta	180 hm³	180 hm³	180 hm³

Fuente: Elaboración propia

Estrategia de Gestión de aguas Superficiales: Para esta estrategia se tomó como base la construcción del embalse Bollenar (59 hm³). En complemento, se revisó el esfuerzo en reducción de la demanda de agua para consumo agrícola, con el propósito de determinar el aporte potencial en la reducción de la brecha.

Estrategia de Gestión de aguas Subterráneas: Para esta estrategia se supuso que la brecha total se aborda a partir de una Gestión Dinámica de Acuíferos complementada con aumento en la eficiencia de riego.

Estrategia de Gestión Compuesta: La estrategia compuesta consideró la construcción del embalse Bollenar con el volumen propuesto inicialmente, y que el resto de la brecha proyectada se resuelve en parte mediante Gestión Dinámica de Acuíferos, y en parte mediante aumento en la eficiencia de riego.

En la **Tabla 5-51**, **Tabla 5-52** y **Tabla 5-53**, se presenta la evaluación de cada una de estas estrategias, el resultado final en términos de inversión requerida (CAPEX), y el Costo del agua resultante (\$/m³). Se incorporó dentro del análisis el Costo del agua bajo el supuesto de un subsidio a la inversión de un 70%.

Tabla 5-51. Sector Río Claro. Estrategia de Gestión de Aguas Superficiales

Partidas	Acción	Magnitud	Aporte (hm³/año)	Costo de Inversión (Millones \$)
Gestión de Aguas Superficiales	Embalse Bollenar	59,0	41,3	171.358,69
Gestión Dinámica de Acuíferos	Nuevos pozos hasta 50m (N° pozos)	--	---	-
	Nuevos pozos hasta 100m (N° pozos)	21,2	20,6	1.588,92
	Recarga de aguas subterráneas desde (N° puntos de recarga)	3,0	-14,9	2.231
	Recarga de aguas subterráneas desde canales (km de canal)	100,0	-7,8	542
	Reserva dinámica (10%)	10 %	2,1	
Gestión de la Demanda de Agua	Automatización de compuertas (ha beneficiadas)	1.000,0	0,5	20
	Embalses de regulación corta (50.000 m ³)	50,0	0,3	1.418
	Tecnificación desde riego Tendido, surco, otro a riego por Goteo (ha tecnificada)	7.132,0	65,4	32.114
	Tecnificación desde Aspersor, pivote a riego por Goteo (ha tecnificada)	250,0	0,4	1.126
	Tecnificación desde riego Goteo, cinta, micro aspersor a Agro 4.0 (ha tecnificada)	-	-	-
	Revestimiento de canales (> 2 m ³ /s) (km de canal)	-	-	-
	Revestimiento de canales (> 1,0 hasta 2,0 m ³ /s) (km de canal)	50,0	4,4	5.997
	Capacitación en riego (usuario capacitado)	500,0	2,1	550
Total			134,8	216.946
Costo del agua (\$/m ³)				140
Costo del agua con subsidio a la inversión de un 70% (\$/m ³)				59

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-52. Sector Río Claro. Estrategia de Gestión de Aguas Subterráneas

Partidas	Acción	Magnitud	Aporte (hm ³ /año)	Costo de Inversión (Millones \$)
Gestión de Aguas Superficiales	Embalses	--	--	--
Gestión Dinámica de Acuíferos	Nuevos pozos hasta 50m (N° pozos)	30,0	29,2	750,00
	Nuevos pozos hasta 100m (N° pozos)	39,6	38,5	2.972,59
	Recarga de aguas subterráneas desde (N° puntos de recarga)	11,8	-58,9	8.835
	Recarga de aguas subterráneas desde canales (km de canal)	200,0	-15,6	1.084
	Reserva dinámica (10%)	10%	6,8	
Gestión de la Demanda de Agua	Automatización de compuertas (ha beneficiadas)	1.000,0	0,5	20
	Embalses de regulación corta (50.000 m ³)	50,0	0,3	1.418
	Tecnificación desde riego Tendido, surco, otro a riego por Goteo (ha tecnificada)	6.500,0	59,6	29.268
	Tecnificación desde Aspersor, pivote a riego por Goteo (ha tecnificada)	250,0	0,4	1.126
	Tecnificación desde riego Goteo, cinta, micro aspersor a Agro 4.0 (ha tecnificada)	-	-	-
	Revestimiento de canales (> 2 m ³ /s) (km de canal)	-	-	-
	Revestimiento de canales (> 1,0 hasta 2,0 m ³ /s) (km de canal)	50,0	4,4	5.997
	Capacitación en riego (usuario capacitado)	500,0	2,1	550
Total			134,8	52.021
Costo del agua (\$/m ³)				58
Costo del agua con subsidio a la inversión de un 70% (\$/m ³)				35

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-53. Sector Río Claro. Estrategia de Gestión Compuesta

Partidas	Acción	Magnitud	Aporte (hm³/año)	Costo de Inversión (Millones \$)
Gestión de Aguas Superficiales	Embalses	59,0	41,3	171.359
Gestión Dinámica de Acuíferos	Nuevos pozos hasta 50m (N° pozos)	-	-	-
	Nuevos pozos hasta 100m (N° pozos)	27,1	26,4	2.0356
	Recarga de aguas subterráneas desde (N° puntos de recarga)	4,2	-21,2	3.187
	Recarga de aguas subterráneas desde canales (km de canal)	100,0	-7,8	542
	Reserva dinámica (10%)	10%	2,6	
Gestión de la Demanda de Agua	Automatización de compuertas (ha beneficiadas)	1.000,0	0,5	20
	Embalses de regulación corta (50.000 m ³)	50,0	0,3	1.418
	Tecnificación desde riego Tendido, surco, otro a riego por Goteo (ha tecnificada)	6.500,0	59,6	29.268
	Tecnificación desde Aspersor, pivote a riego por Goteo (ha tecnificada)	250,0	0,4	1.126
	Tecnificación desde riego Goteo, cinta, micro aspersor a Agro 4.0 (ha tecnificada)	-	-	-
	Revestimiento de canales (> 2 m ³ /s) (km de canal)	-	-	-
	Revestimiento de canales (> 1,0 hasta 2,0 m ³ /s) (km de canal)	50,0	4,4	5.997
	Capacitación en riego (usuario capacitado)	500,0	2,1	550
Total			134,8	215.503
Costo del agua (\$/m ³)				141
Costo del agua con subsidio a la inversión de un 70% (\$/m ³)				61

Fuente: Elaboración propia

La **Tabla 5-54** presenta el resumen de las estrategias evaluadas. En el análisis, si bien la estrategia de menor costo es la de aguas subterráneas, se considera que el embalse Bollenar ya cuenta con avance en ingeniería, por lo que es probable que se construya. En este caso, se selecciona la estrategia compuesta.

Según el análisis realizado, el Costo del agua es de \$141 pesos / m³.

Tabla 5-54. Resumen de estrategias para el sector río Claro

Componente de Gestión	Impacto	Estrategia		
		Gestión de aguas superficiales	Gestión de aguas subterráneas	Gestión Compuesta
Gestión de Aguas Superficiales	Aumento disponibilidad (hm ³ /año)	+ 41,3	--	+ 41,3
Gestión Dinámica de Acuíferos	Aumento disponibilidad (hm ³ /año)	+ 20,6	+ 67,7	+ 26,4
Gestión de la Demanda de Agua	Aumento de eficiencia (hm ³ /año)	+ 72,9	+ 67,1	+ 67,1
Total	(hm³/año)	+ 134,8	+ 134,8	+ 134,8
Meta	(hm³/año)	+ 134,8	+ 134,8	+ 134,8
Inversión	(Millones \$)	216.946	52.021	215.503
Costo del agua	Sin subsidio a la inversión (\$/m³)	140	58	141
	Con 70% de subsidio a la inversión (\$/m³)	59	35	61

Fuente: Elaboración propia

Dada la diferencia en costo, se recomienda evaluar la recarga de acuíferos como una alternativa en este sector.

5.5.1.1.6 Sector Estero Zamorano

A continuación, en la **Tabla 5-55** se describen las estrategias principales que se evaluaron para determinar las de mayor viabilidad.

Tabla 5-55. Definición de estrategias para el sector estero Zamorano

Estrategia	Gestión de aguas superficiales	Gestión de aguas subterráneas	Gestión Compuesta
Gestión de Aguas Superficiales	---	---	---
Gestión Dinámica de Acuíferos	---	Nuevos pozos asociados a recarga de acuíferos	---
Gestión de la Demanda de Agua	---	Aumenta la eficiencia de conducción extrapredial y de riego intrapredial	---
Meta	---	86,1 hm³	---

Fuente: Elaboración propia

Estrategia de Gestión de aguas Superficiales: No se desarrolló esta estrategia, ya que no se cuenta con recursos adicionales salvo la eficiencia hídrica.

Estrategia de Gestión de aguas Subterráneas: Para esta estrategia se supuso que la brecha total se aborda a partir de una Gestión Dinámica de Acuíferos complementada con aumento en la eficiencia de riego.

Estrategia de Gestión Compuesta: No se desarrolló esta estrategia ya que es igual a la de aguas subterráneas.

En la **Tabla 5-56** se presenta la evaluación de esta estrategia, el resultado final en términos de inversión requerida (CAPEX), y el Costo del agua resultante (\$/m³). Se incorporó dentro del análisis el Costo del agua bajo el supuesto de un subsidio a la inversión de un 70%.

Tabla 5-56. Sector Estero Zamorano. Estrategia de Gestión de Aguas Subterráneas

Partidas	Acción	Magnitud	Aporte (hm³/año)	Costo de Inversión (Millones \$)
Gestión de Aguas Superficiales	Obra de Acumulación (hm ³)	--	---	--
Gestión Dinámica de Acuíferos	Nuevos pozos hasta 50m (N° pozos)	15,0	14,6	375,00
	Nuevos pozos hasta 100m (N° pozos)	29,2	28,4	2.191,00
	Recarga de aguas subterráneas desde (N° puntos de recarga)	5,5	-27,6	4.137
	Recarga de aguas subterráneas desde canales (km de canal)	100,0	-7,8	542
	Reserva dinámica (10%)	10%	7,6	
Gestión de la Demanda de Agua	Automatización de compuertas (ha beneficiadas)	1.000,0	0,5	20
	Embalses de regulación corta (50.000 m ³)	50,0	0,3	1.418
	Tecnificación desde riego Tendido, surco, otro a riego por Goteo (ha tecnificada)	3.950,0	31,3	15.363
	Tecnificación desde Aspersor, pivote a riego por Goteo (ha tecnificada)	240,0	0,3	933
	Tecnificación desde riego Goteo, cinta, micro aspersor a Agro 4.0 (ha tecnificada)	-	-	-
	Revestimiento de canales (> 2 m ³ /s) (km de canal)	-	-	-
	Revestimiento de canales (> 1,0 hasta 2,0 m ³ /s) (km de canal)	100,0	8,7	11.994
	Capacitación en riego (usuario capacitado)	500,0	2,1	550
Total			86,1	39.312
Costo del agua (\$/m ³)				56
Costo del agua con subsidio a la inversión de un 70% (\$/m ³)				35

Fuente: Elaboración propia

La **Tabla 5-57** presenta el resumen de las estrategias evaluadas. En el análisis, la estrategia de aguas subterráneas es la única, por lo que es la alternativa seleccionada.

Según el análisis realizado, el Costo del agua es de \$56 pesos / m³.

Tabla 5-57. Resumen de estrategias para el sector Estero Zamorano

Componente de Gestión	Impacto	Estrategia		
		Gestión de aguas superficiales	Gestión de aguas subterráneas	Gestión Compuesta
Gestión de Aguas Superficiales	Aumento disponibilidad (hm ³ /año)	--	--	--
Gestión Dinámica de Acuíferos	Aumento disponibilidad (hm ³ /año)	--	+ 43,0	--
Gestión de la Demanda de Agua	Aumento de eficiencia (hm ³ /año)	--	+ 43,1	--
Total	(hm³/año)	--	+ 86,1	--
Meta	(hm³/año)	--	+ 86,1	--
Inversión	(Millones \$)	--	39.312	--
Costo del agua	Sin subsidio a la inversión (\$/m³)	--	56	--
	Con 70% de subsidio a la inversión (\$/m³)	--	35	--

Fuente: Elaboración propia

5.5.1.2 Unidad de Gestión Tinguiririca

La unidad de gestión Tinguiririca comprende desde el nacimiento de este curso de agua, hasta su confluencia con el embalse Rapel. Considera los sectores del Estero Chimbarongo, Estero Seco y Las Cadenas.

5.5.1.2.1 Definición de Metas de Balance

La brecha hídrica identificada para este sector es de 594,3 hm³ al año 2050, según se tiene en la **Tabla 5-58**, la que considera la provisión de agua para las personas y la de caudal ecológico. La brecha original es de 544,3 hm³, pero por acuerdo con Chimbarongo se aumentó la brecha en 50,0 hm³ en este sector, ya que se evidenció la posibilidad de que el

modelo pudiera estar subestimando la brecha al 2050. Para el período proyectado al 2050 se agrega un caudal ecológico adicional por 22,0 hm³, habida cuenta de esta subestimación.

Si bien se proyecta el embalse Rio Claro de Tinguiririca por 20 hm³, no se incluirá una demanda agrícola adicional, por lo que su aporte estaría exclusivamente destinado a cubrir brechas futuras. A diferencia de lo anterior, se incluye un aumento de demanda de 109,6 hm³ para cubrir el proyecto Integral de Riego de Marchigüe (10.000 ha).

En consecuencia, se evaluarán estrategias que permitan gestionar un mínimo de 723,4 hm³/año.

Tabla 5-58 Definición metas de gestión al año 2050, Unidad de Gestión Tinguiririca

Eje	Tinguiririca	Chimbarongo	Las Cadenas	Total
Personas (urbano)	3,8	0,7	0,1	4,6
Personas (rural)	1,7	1,3	0,5	3,5
Ecosistemas	1,5	0,5	0,6	2,6
Agricultura	355,2	110,9	115,0	581,0
Otros	2,6	50,0	--	52,6
Brecha hídrica	364,7	163,4	116,2	594,3
Aumento demanda	--	--	109,6	109,6
Q Eco adicional	20,0	2,0	--	22,0
Total (Meta)	384,7	165,4	225,8	725,9

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se evalúan las estrategias de balance hídrico para aguas superficiales, aguas subterráneas y compuesta.

5.5.1.2.2 Sector Tinguiririca

A continuación, en la **Tabla 5-59** se describen las estrategias principales que se evaluaron para determinar las de mayor viabilidad.

Tabla 5-59. Definición de estrategias para el sector Tinguiririca

Estrategia	Gestión de aguas superficiales	Gestión de aguas subterráneas	Gestión Compuesta
Gestión de Aguas Superficiales	Embalse Río Claro por 20 hm ³	---	Embalse Río Claro por 20 hm ³ Trasvase a Convento Viejo por 42 hm ³ y recuperación del 50%.
Gestión Dinámica de Acuíferos	Nuevos pozos asociados a recarga de acuíferos	Nuevos pozos asociados a recarga de acuíferos	Nuevos pozos asociados a recarga de acuíferos
Gestión de la Demanda de Agua	Aumenta la eficiencia de conducción extrapredial y de riego intrapredial	Aumenta la eficiencia de conducción extrapredial y de riego intrapredial	Aumenta la eficiencia de conducción extrapredial y de riego intrapredial
Meta	385 hm³	385 hm³	385 hm³

Fuente: Elaboración propia

Estrategia de Gestión de aguas Superficiales: Para esta estrategia se tomó como base la construcción del embalse Río Claro de Tinguiririca (20 hm³), y una eventual compra al Embalse Convento Viejo (20 hm³). En complemento, se revisó el esfuerzo en reducción de la demanda de agua para consumo agrícola, con el propósito de determinar el aporte potencial en la reducción de la brecha.

Estrategia de Gestión de aguas Subterráneas: Para esta estrategia se supuso que la brecha total se aborda a partir de una Gestión Dinámica de Acuíferos complementada con aumento en la eficiencia de riego.

Estrategia de Gestión Compuesta: La estrategia compuesta consideró la construcción del embalse Río Claro de Tinguiririca (20 hm³), con el volumen propuesto inicialmente, y además un trasvase que lleve 42 hm³ desde Tinguiririca al embalse Convento Viejo, y que recupere el 50% de ese volumen (paga con el 50% restante). El resto de la brecha proyectada se resuelve en parte mediante Gestión Dinámica de Acuíferos, y en parte mediante aumento en la eficiencia de riego.

En la **Tabla 5-60**, **Tabla 5-61** y **Tabla 5-62** se presenta la evaluación de cada una de estas estrategias, el resultado final en términos de inversión requerida (CAPEX), y el Costo del agua resultante (\$/m³). Se incorporó dentro del análisis el Costo del agua bajo el supuesto de un subsidio a la inversión de un 70%.

Tabla 5-60. Sector Tinguiririca. Estrategia de Gestión de Aguas Superficiales

Partidas	Acción	Magnitud	Aporte (hm³/año)	Costo de Inversión (Millones \$)
Gestión de Aguas Superficiales	Embalse Río Claro de Tinguiririca (hm ³)	20,0	14,0	56.000
	Compra de agua a Embalse Convento Viejo (hm ³)	21,0	21,0	---
Gestión Dinámica de Acuíferos	Nuevos pozos hasta 50m (N° pozos)	40,0	38,9	1.000,00
	Nuevos pozos hasta 100m (N° pozos)	121,4	118,0	9.102,04
	Recarga de aguas subterráneas desde (N° puntos de recarga)	31,4	-157,0	23.546
	Recarga de aguas subterráneas desde canales (km de canal)	200,0	-15,6	1.084
	Reserva dinámica (10%)	10 %	20,0	
Gestión de la Demanda de Agua	Automatización de compuertas (ha beneficiadas)	3.000,0	1,5	61
	Embalses de regulación corta (50.000 m ³)	100,0	0,5	2.837
	Tecnificación desde riego Tendido, surco, otro a riego por Goteo (ha tecnificada)	19.000,0	176,5	86.724
	Tecnificación desde Aspersor, pivote a riego por Goteo (ha tecnificada)	1.000,0	1,5	4.564
	Tecnificación desde riego Goteo, cinta, micro aspersor a Agro 4.0 (ha tecnificada)	-	-	-
	Revestimiento de canales (> 2 m ³ /s) (km de canal)	-	-	-
	Revestimiento de canales (> 1,0 hasta 2,0 m ³ /s) (km de canal)	100,0	8,7	11.994
	Capacitación en riego (usuario capacitado)	1.000,0	4,1	1.100
Total			384,7	198.011
Costo del agua (\$/m ³)				78
Costo del agua con subsidio a la inversión de un 70% (\$/m ³)				44

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-61. Sector Tinguiririca. Estrategia de Gestión de Aguas Subterráneas

Partidas	Acción	Magnitud	Aporte (hm ³ /año)	Costo de Inversión (Millones \$)
Gestión de Aguas Superficiales	Embalses	--	--	--
Gestión Dinámica de Acuíferos	Nuevos pozos hasta 50m (N° pozos)	60,0	58,3	1.500,00
	Nuevos pozos hasta 100m (N° pozos)	137,4	133,5	10.302,65
	Recarga de aguas subterráneas desde (N° puntos de recarga)	39,1	-195,5	29.321
	Recarga de aguas subterráneas desde canales (km de canal)	200,0	-15,6	1.084
	Reserva dinámica (10%)	10 %	19,2	
Gestión de la Demanda de Agua	Automatización de compuertas (ha beneficiadas)	3.000,0	1,5	61
	Embalses de regulación corta (50.000 m ³)	100,0	0,5	2.837
	Tecnificación desde riego Tendido, surco, otro a riego por Goteo (ha tecnificada)	19.000,0	176,5	86.724
	Tecnificación desde Aspersor, pivote a riego por Goteo (ha tecnificada)	1.000,0	1,5	4.564
	Tecnificación desde riego Goteo, cinta, micro aspersor a Agro 4.0 (ha tecnificada)	-	-	-
	Revestimiento de canales (> 2 m ³ /s) (km de canal)	-	-	-
	Revestimiento de canales (> 1,0 hasta 2,0 m ³ /s) (km de canal)	100,0	8,7	11.994
	Capacitación en riego (usuario capacitado)	1.000,0	4,1	1.100
Total			384,7	149.487
Costo del agua (\$/m ³)				62
Costo del agua con subsidio a la inversión de un 70% (\$/m ³)				38

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-62. Sector Tinguiririca. Estrategia de Gestión Compuesta

Partidas	Acción	Magnitud	Aporte (hm³/año)	Costo de Inversión (Millones \$)
Gestión de Aguas Superficiales	Embalse Río Claro de Rengo (hm ³)	20	14,0	56.000
	Trasvase a Embalse Convento Viejo (hm ³)	42	21,0	25.000
Gestión Dinámica de Acuíferos	Nuevos pozos hasta 50m (Nº pozos)	67,0	65,2	1.675,99
	Nuevos pozos hasta 100m (Nº pozos)	94,3	91,7	7.074,07
	Recarga de aguas subterráneas desde (Nº puntos de recarga)	31,4	-157,0	23.546
	Recarga de aguas subterráneas desde canales (km de canal)	200,0	-15,6	1.084
	Reserva dinámica (10%)	10%	15,7	
Gestión de la Demanda de Agua	Automatización de compuertas (ha beneficiadas)	3.000,0	1,5	61
	Embalses de regulación corta (50.000 m ³)	100,0	0,5	2.837
	Tecnificación desde riego Tendido, surco, otro a riego por Goteo (ha tecnificada)	19.000,0	176,5	86.724
	Tecnificación desde Aspersor, pivote a riego por Goteo (ha tecnificada)	1.000,0	1,5	4.564
	Tecnificación desde riego Goteo, cinta, micro aspersor a Agro 4.0 (ha tecnificada)	-	-	-
	Revestimiento de canales (> 2 m ³ /s) (km de canal)	-	-	-
	Revestimiento de canales (> 1,0 hasta 2,0 m ³ /s) (km de canal)	100,0	8,7	11.994
	Capacitación en riego (usuario capacitado)	1.000,0	4,1	1.100
Total			384,7	221.659
Costo del agua (\$/m ³)				92
Costo del agua con subsidio a la inversión de un 70% (\$/m ³)				57

Fuente: Elaboración propia

La **Tabla 5-63** presenta el resumen de las estrategias evaluadas. En el análisis no resulta fácil seleccionar la estrategia más adecuada. Si bien la estrategia de gestión de aguas subterráneas es la de menor inversión y menor costo del agua, la estrategia de aguas superficiales es más estable, y menos compleja que la estrategia compuesta. Por esta razón, se selecciona la estrategia de Gestión de aguas Superficiales. En este caso, los excedentes no trasvasados a Convento Viejo debieran utilizarse para recarga de acuífero.

Según el análisis realizado, el Costo del agua es de \$78 pesos / m³.

Tabla 5-63 Resumen de estrategias para el sector Tinguiririca

Componente de Gestión	Impacto	Estrategia		
		Gestión de aguas superficiales	Gestión de aguas subterráneas	Gestión Compuesta
Gestión de Aguas Superficiales	Aumento disponibilidad (hm ³ /año)	+ 35,0	--	+ 35,0
Gestión Dinámica de Acuíferos	Aumento disponibilidad (hm ³ /año)	+ 156,8	+ 191,8	+ 156,8
Gestión de la Demanda de Agua	Aumento de eficiencia (hm ³ /año)	+ 192,9	+ 192,9	+ 192,9
Total	(hm³/año)	+ 384,7	+ 384,7	+ 384,7
Meta	(hm³/año)	+ 384,7	+ 384,7	+ 384,7
Inversión	(Millones \$)	198.011	149.487	221.659
Costo del agua	Sin subsidio a la inversión (\$/m³)	78	62	92
	Con 70% de subsidio a la inversión (\$/m³)	44	38	57

Fuente: Elaboración propia

5.5.1.2.3 Sector Chimbarongo

A continuación, en la **Tabla 5-64** se describen las estrategias principales que se evaluaron para determinar las de mayor viabilidad.

Tabla 5-64. Definición de estrategias para el sector Chimbarongo

Estrategia	Gestión de aguas superficiales	Gestión de aguas subterráneas	Gestión Compuesta
Gestión de Aguas Superficiales	Embalse Convento Viejo, compra	---	Embalse Convento Viejo, compra
Gestión Dinámica de Acuíferos	---	Nuevos pozos asociados a recarga de acuíferos	Nuevos pozos asociados a recarga de acuíferos
Gestión de la Demanda de Agua	Aumenta la eficiencia de conducción extrapredial y de riego intrapredial	Aumenta la eficiencia de conducción extrapredial y de riego intrapredial	Aumenta la eficiencia de conducción extrapredial y de riego intrapredial
Meta	165,4 hm³	165,4 hm³	165,4 hm³

Fuente: Elaboración propia

Estrategia de Gestión de aguas Superficiales: Para esta estrategia se tomó como base la compra al Embalse Convento Viejo. En complemento, se revisó el esfuerzo en reducción de la demanda de agua para consumo agrícola, con el propósito de determinar el aporte potencial en la reducción de la brecha.

Estrategia de Gestión de aguas Subterráneas: Para esta estrategia se supuso que la brecha total se aborda a partir de una Gestión Dinámica de Acuíferos complementada con aumento en la eficiencia de riego.

Estrategia de Gestión Compuesta: La estrategia compuesta consideró la compra de agua a Convento Viejo, Gestión Dinámica de Acuíferos, y aumento en la eficiencia de riego.

En la **Tabla 5-65**, **Tabla 5-66** y **Tabla 5-67** se presenta la evaluación de cada una de estas estrategias, el resultado final en términos de inversión requerida (CAPEX), y el Costo del agua resultante (\$/m³). Se incorporó dentro del análisis el Costo del agua bajo el supuesto de un subsidio a la inversión de un 70%.

Tabla 5-65. Sector Chimbarongo. Estrategia de Gestión de Aguas Superficiales

Partidas	Acción	Magnitud	Aporte (hm³/año)	Costo de Inversión (Millones \$)
Gestión de Aguas Superficiales	Compra de agua a Convento Viejo	78,7	78,7	--
Gestión Dinámica de Acuíferos	Nuevos pozos hasta 50m (N° pozos)	--	--	--
	Nuevos pozos hasta 100m (N° pozos)	--	--	--
	Recarga de aguas subterráneas desde (N° puntos de recarga)	--	--	--
	Recarga de aguas subterráneas desde canales (km de canal)	--	--	--
	Reserva dinámica (10%)	--	--	--
Gestión de la Demanda de Agua	Automatización de compuertas (ha beneficiadas)	500,0	0,3	10
	Embalses de regulación corta (50.000 m ³)	20,0	0,1	567
	Tecnificación desde riego Tendido, surco, otro a riego por Goteo (ha tecnificada)	9.000,0	72,8	35.775
	Tecnificación desde Aspersor, pivote a riego por Goteo (ha tecnificada)	500,0	0,6	1.987
	Tecnificación desde riego Goteo, cinta, micro aspersor a Agro 4.0 (ha tecnificada)	-	-	-
	Revestimiento de canales (> 2 m ³ /s) (km de canal)	-	-	-
	Revestimiento de canales (> 1,0 hasta 2,0 m ³ /s) (km de canal)	100,0	8,7	11.994
	Capacitación en riego (usuario capacitado)	1.000,0	4,1	1.100
Total			165,4	51.433
Costo del agua (\$/m ³)				54
Costo del agua con subsidio a la inversión de un 70% (\$/m ³)				40

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-66. Sector Chimbarongo. Estrategia de Gestión de Aguas Subterráneas

Partidas	Acción	Magnitud	Aporte (hm ³ /año)	Costo de Inversión (Millones \$)
Gestión de Aguas Superficiales	Embalses	--	--	--
Gestión Dinámica de Acuíferos	Nuevos pozos hasta 50m (N° pozos)	30,0	29,2	750,00
	Nuevos pozos hasta 100m (N° pozos)	51,0	49,6	3.825,21
	Recarga de aguas subterráneas desde (N° puntos de recarga)	14,2	-71,1	10.658
	Recarga de aguas subterráneas desde canales (km de canal)	200,0	-15,6	1.084
	Reserva dinámica (10%)	10%	7,9	
Gestión de la Demanda de Agua	Automatización de compuertas (ha beneficiadas)	500,0	0,3	10
	Embalses de regulación corta (50.000 m ³)	20,0	0,1	567
	Tecnificación desde riego Tendido, surco, otro a riego por Goteo (ha tecnificada)	9.000,0	72,8	35.775
	Tecnificación desde Aspersor, pivote a riego por Goteo (ha tecnificada)	500,0	0,6	1.987
	Tecnificación desde riego Goteo, cinta, micro aspersor a Agro 4.0 (ha tecnificada)	-	-	-
	Revestimiento de canales (> 2 m ³ /s) (km de canal)	-	-	-
	Revestimiento de canales (> 1,0 hasta 2,0 m ³ /s) (km de canal)	100,0	8,7	11.994
	Capacitación en riego (usuario capacitado)	1.000,0	4,1	1.100
Total			165,4	67.751
Costo del agua (\$/m ³)				57
Costo del agua con subsidio a la inversión de un 70% (\$/m ³)				34

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-67. Sector Chimbarongo. Estrategia de Gestión Compuesta

Partidas	Acción	Magnitud	Aporte (hm³/año)	Costo de Inversión (Millones \$)
Gestión de Aguas Superficiales	Compra de agua a Convento Viejo	30,0	30,0	--
Gestión Dinámica de Acuíferos	Nuevos pozos hasta 50m (N° pozos)	10,0	9,7	75,00
	Nuevos pozos hasta 100m (N° pozos)	40,1	39,0	903,12
	Recarga de aguas subterráneas desde (N° puntos de recarga)	7,6	-38,1	1.713
	Recarga de aguas subterráneas desde canales (km de canal)	200,0	-15,6	325
	Reserva dinámica (10%)	10 %	4,9	3
Gestión de la Demanda de Agua	Automatización de compuertas (ha beneficiadas)	500,0	0,3	170
	Embalses de regulación corta (50.000 m ³)	20,0	0,1	10.732
	Tecnificación desde riego Tendido, surco, otro a riego por Goteo (ha tecnificada)	9.000,0	72,8	596
	Tecnificación desde Aspersor, pivote a riego por Goteo (ha tecnificada)	500,0	0,6	-
	Tecnificación desde riego Goteo, cinta, micro aspersor a Agro 4.0 (ha tecnificada)	-	-	-
	Revestimiento de canales (> 2 m ³ /s) (km de canal)	-	-	-
	Revestimiento de canales (> 1,0 hasta 2,0 m ³ /s) (km de canal)	100,0	8,7	3.598
	Capacitación en riego (usuario capacitado)	1.000,0	4,1	330
Total			165,4	61.486
Costo del agua (\$/m ³)				57
Costo del agua con subsidio a la inversión de un 70% (\$/m ³)				38

Fuente: Elaboración propia

La **Tabla 5-68** presenta el resumen de las estrategias evaluadas. Las tres estrategias permiten alcanzar la meta, pero la estrategia compuesta lo hace a un costo razonable y compensando riesgos entre la gestión dinámica de acuíferos y el abastecimiento a través de compra de agua al Embalse Convento Viejo, por lo que es la seleccionada.

Según el análisis realizado, el Costo del agua es de \$57 pesos / m³.

Tabla 5-68 Resumen de estrategias para el sector Chimbarongo

Componente de Gestión	Impacto	Estrategia		
		Gestión de aguas superficiales	Gestión de aguas subterráneas	Gestión Compuesta
Gestión de Aguas Superficiales	Aumento disponibilidad (hm ³ /año)	+ 78,7	--	+ 30,0
Gestión Dinámica de Acuíferos	Aumento disponibilidad (hm ³ /año)	--	+ 78,7	+ 48,7
Gestión de la Demanda de Agua	Aumento de eficiencia (hm ³ /año)	+ 86,7	+ 86,7	+ 86,7
Total	(hm³/año)	+ 165,4	+ 165,4	+ 165,4
Meta	(hm³/año)	+ 165,4	+ 165,4	+ 165,4
Inversión	(Millones \$)	51.433	67.751	61.486
Costo del agua	Sin subsidio a la inversión (\$/m³)	54	57	57
	Con 70% de subsidio a la inversión (\$/m³)	40	34	38

Fuente: Elaboración propia

5.5.1.2.4 Sector Estero La Cadena

A continuación, en la **Tabla 5-69** se describen las estrategias principales que se evaluaron para determinar las de mayor viabilidad.

Tabla 5-69. Definición de estrategias para la Unidad de Gestión Cachapoal

Estrategia	Gestión de aguas superficiales	Gestión de aguas subterráneas	Gestión Compuesta
Gestión de Aguas Superficiales	---	---	Trasvase desde Embalse Convento Viejo
Gestión Dinámica de Acuíferos	---	---	Nuevos pozos asociados a recarga de acuíferos
Gestión de la Demanda de Agua	---	---	Aumenta la eficiencia de conducción extrapredial y de riego intrapredial
Meta	---	---	225,8 hm³

Fuente: Elaboración propia

Estrategia de Gestión de aguas Superficiales: No se identificó fuentes alternativas de aguas superficiales, salvo el Embalse Convento Viejo, que se incluirá dentro de la estrategia compuesta.

Estrategia de Gestión de aguas Subterráneas: No se identificó fuentes alternativas de aguas subterráneas.

Estrategia de Gestión Compuesta: La estrategia compuesta consideró la compra de agua a Convento Viejo, Gestión Dinámica de Acuíferos, y aumento en la eficiencia de riego. Se tomó como supuesto que no existen pérdidas relevantes en la conducción del agua hasta el proyecto integral de riego Marchigüe.

En la **Tabla 5-70** se presenta la evaluación de cada una de estas estrategias, el resultado final en términos de inversión requerida (CAPEX), y el Costo del agua resultante (\$/m³). Se incorporó dentro del análisis el Costo del agua bajo el supuesto de un subsidio a la inversión de un 70%.

Tabla 5-70. Sector La Cadena. Estrategia de Gestión Compuesta

Partidas	Acción	Magnitud	Aporte (hm³/año)	Costo de Inversión (Millones \$)
Gestión de Aguas Superficiales	Proyecto Integral de Riego Marchigüe	109,7	109,7	22.800
Gestión Dinámica de Acuíferos	Nuevos pozos hasta 50m (N° pozos)	6,9	6,7	172
	Nuevos pozos hasta 100m (N° pozos)	-	-	-
	Recarga de aguas subterráneas desde (N° puntos de recarga)	1,5	-7,4	1.106
	Recarga de aguas subterráneas desde canales (km de canal)	-	-	-
	Reserva dinámica (10%)	10 5	0,7	
Gestión de la Demanda de Agua	Automatización de compuertas (ha beneficiadas)	-	-	-
	Embalses de regulación corta (50.000 m ³)	50,0	0,3	1.418
	Tecnificación desde riego Tendido, surco, otro a riego por Goteo (ha tecnificada)	7.700,0	97,8	48.063
	Tecnificación desde Aspersor, pivote a riego por Goteo (ha tecnificada)	270,0	0,5	1.685
	Tecnificación desde riego Goteo, cinta, micro aspersor a Agro 4.0 (ha tecnificada)	-	-	-
	Revestimiento de canales (> 2 m ³ /s) (km de canal)	-	-	-
	Revestimiento de canales (> 1,0 hasta 2,0 m ³ /s) (km de canal)	100,0	8,7	11.994
	Capacitación en riego (usuario capacitado)	500,0	2,1	550
Total			225,8	87.788
Costo del agua (\$/m ³)				63
Costo del agua con subsidio a la inversión de un 70% (\$/m ³)				49

Fuente: Elaboración propia

La **Tabla 5-71** presenta el resumen de las estrategias evaluadas. La Estrategia Compuesta resume todas las inversiones, las que alcanzan a 87.788 millones de pesos.

Según el análisis realizado, el Costo del agua es de \$63 pesos / m³.

Tabla 5-71. Resumen de estrategias para el sector Estero La Cadena

Componente de Gestión	Impacto	Estrategia		
		Gestión de aguas superficiales	Gestión de aguas subterráneas	Gestión Compuesta
Gestión de Aguas Superficiales	Aumento disponibilidad (hm ³ /año)	--	--	+ 109,7
Gestión Dinámica de Acuíferos	Aumento disponibilidad (hm ³ /año)	--	--	+ 6,7
Gestión de la Demanda de Agua	Aumento de eficiencia (hm ³ /año)	--	--	+ 109,4
Total	(hm³/año)	--	--	+ 225,8
Meta	(hm³/año)	--	--	+ 225,8
Inversión	(Millones \$)	--	--	87.788
Costo del agua	Sin subsidio a la inversión (\$/m³)	--	--	63
	Con 70% de subsidio a la inversión (\$/m³)	--	--	49

Fuente: Elaboración propia

5.5.1.3 Unidad de Gestión Rapel

La unidad de gestión Rapel comprende el embalse Rapel, la cuenca del río Rapel que nace desde la central hidroeléctrica del mismo nombre, y la cuenca del estero Alhué.

5.5.1.3.1 Definición de Metas de Balance

La brecha hídrica identificada para este sector es de 83,9 hm³ al año 2050, según se tiene en la **Tabla 5-72**, la que considera la provisión de agua para las personas y la de caudal ecológico, así como demanda pecuaria no satisfecha (distribución estimada entre sectores).

Adicionalmente, a futuro se agrega un caudal ecológico adicional por 30,0 hm³, ya que la brecha actual pudiera estar subestimada.

Se incluye un aumento de demanda de 109,4 hm³ para cubrir el proyecto Integral de Riego sector Rapel (10.000 ha). No se incluye en el análisis el aumento de volumen del embalse Convento Viejo, por encontrarse asociado a este proyecto de riego.

En consecuencia, se evaluarán estrategias que permitan gestionar un mínimo de 223,3 hm³/año.

Tabla 5-72 Definición de metas de gestión al año 2050, Unidad de Gestión Rapel

Eje	Alhué	Rapel	Total
Personas (urbano)	--	0,1	0,1
Personas (rural)	1,1	1,0	2,1
Ecosistemas	15,0	14,1	29,1
Agricultura	38,4	0,2	38,6
Otros	10,0	4,1	14,1
Brecha hídrica	64,5	19,5	83,9
Aumento demanda	--	109,4	109,4
Q Eco adicional	5,0	25,0	30,0
Total (Meta)	69,5	153,9	223,3

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se evalúan las estrategias de balance hídrico para aguas superficiales, aguas subterráneas y compuesta.

5.5.1.3.2 Sector Estero Alhué

A continuación, en la **Tabla 5-73** se describen las estrategias principales que se evaluaron para determinar las de mayor viabilidad.

Tabla 5-73 Definición de estrategias para la Unidad de Gestión Cachapoal

Estrategia	Gestión de aguas superficiales	Gestión de aguas subterráneas	Gestión Compuesta
Gestión de Aguas Superficiales	--	---	--
Gestión Dinámica de Acuíferos	--	Nuevos pozos asociados a recarga de acuíferos	--
Gestión de la Demanda de Agua	--	Aumenta la eficiencia de conducción extrapredial y de riego intrapredial	--
Meta	--	101,0 hm³	--

Fuente: Elaboración propia

Estrategia de Gestión de aguas Superficiales: No se identificaron fuentes alternativas de aguas superficiales.

Estrategia de Gestión de aguas Subterráneas: Se identificó como la única alternativa posible de revisar.

Estrategia de Gestión Compuesta: No se identificaron fuentes alternativas de aguas superficiales, por lo que se evaluó solo a las aguas subterráneas.

En la **Tabla 5-74** se presenta la evaluación de cada una de estas estrategias, y el resultado final en términos de inversión requerida (CAPEX), y el Costo del agua resultante (\$/m³). Se incorporó dentro del análisis el Costo del agua bajo el supuesto de un subsidio a la inversión de un 70%.

Tabla 5-74 Sector Estero Alhué. Estrategia de Gestión de Aguas Subterráneas

Partidas	Acción	Magnitud	Aporte (hm ³ /año)	Costo de Inversión (Millones \$)
Gestión de Aguas Superficiales	Embalses	--	--	--
Gestión Dinámica de Acuíferos	Nuevos pozos hasta 50m (N° pozos)	-	-	-
	Nuevos pozos hasta 100m (N° pozos)	35,0	34,0	2.626,07
	Recarga de aguas subterráneas desde (N° puntos de recarga)	7,5	-37,4	5.616
	Recarga de aguas subterráneas desde canales (km de canal)	-	-	-
	Reserva dinámica (10%)	10%	3,4	--
Gestión de la Demanda de Agua	Automatización de compuertas (ha beneficiadas)	-	-	-
	Embalses de regulación corta (50.000 m ³)	20,0	0,1	567
	Tecnificación desde riego Tendido, surco, otro a riego por Goteo (ha tecnificada)	3.700,0	32,4	15.911
	Tecnificación desde Aspersor, pivote a riego por Goteo (ha tecnificada)	-	-	-
	Tecnificación desde riego Goteo, cinta, micro aspersor a Agro 4.0 (ha tecnificada)	-	-	-
	Revestimiento de canales (> 2 m ³ /s) (km de canal)	-	-	-
	Revestimiento de canales (> 1,0 hasta 2,0 m ³ /s) (km de canal)	20,0	1,7	2.399
	Capacitación en riego (usuario capacitado)	300,0	1,2	330
Total			69,5	27.449
Costo del agua (\$/m ³)				67
Costo del agua con subsidio a la inversión de un 70% (\$/m ³)				42

Fuente: Elaboración propia

La **Tabla 5-75** presenta el resumen de las estrategias evaluadas. En el análisis, la estrategia de aguas subterráneas permite aportar 52,5 de los 101 hm³ requeridos al año. Según el análisis realizado, el Costo del agua es de \$58 pesos / m³.

Tabla 5-75 Resumen de estrategias para el sector Alhué

Componente de Gestión	Impacto	Estrategia		
		Gestión de aguas superficiales	Gestión de aguas subterráneas	Gestión Compuesta
Gestión de Aguas Superficiales	Aumento disponibilidad (hm ³ /año)	--	--	--
Gestión Dinámica de Acuíferos	Aumento disponibilidad (hm ³ /año)	--	+ 34,0	--
Gestión de la Demanda de Agua	Aumento de eficiencia (hm ³ /año)	--	+ 35,5	--
Total	(hm³/año)	--	+ 69,5	--
Meta	(hm³/año)	--	+ 69,5	--
Inversión	(Millones \$)	--	27.449	--
Costo del agua	Sin subsidio a la inversión (\$/m³)	--	67	--
	Con 70% de subsidio a la inversión (\$/m³)	--	42	--

Fuente: Elaboración propia

5.5.1.3.3 Sector Rapel

A continuación, en la **Tabla 5-76** se describen las estrategias principales que se evaluaron para determinar las de mayor viabilidad.

Tabla 5-76. Definición de estrategias para la Unidad de Gestión Cachapoal

Estrategia	Gestión de aguas superficiales	Gestión de aguas subterráneas	Gestión Compuesta
Gestión de Aguas Superficiales	Proyecto integral de riego Rapel	---	---
Gestión Dinámica de Acuíferos	---	---	---
Gestión de la Demanda de Agua	Aumenta la eficiencia de conducción extrapredial y de riego intrapredial	---	---
Meta	153,9 hm³	---	---

Fuente: Elaboración propia

Estrategia de Gestión de aguas Superficiales: Se identificó el Proyecto Integral de Riego Rapel, para poner en riego 10.000 ha en el secano interior.

Estrategia de Gestión de aguas Subterráneas: No se identificaron fuentes de aguas subterráneas.

Estrategia de Gestión Compuesta: No se identificaron fuentes alternativas de aguas subterráneas, por lo que se evaluó solo a las aguas superficiales.

En la **Tabla 5-77** se presenta la evaluación de cada una de estas estrategias, el resultado final en términos de inversión requerida (CAPEX), y el Costo del agua resultante (\$/m³). Se incorporó dentro del análisis el Costo del agua bajo el supuesto de un subsidio a la inversión de un 70%.

Tabla 5-77. Sector Rapel. Estrategia de Gestión Compuesta

Partidas	Acción	Magnitud	Aporte (hm³/año)	Costo de Inversión (Millones \$)
Gestión de Aguas Superficiales	Elevación de agua (m3/s)	8,4	109,4	264.125
Gestión Dinámica de Acuíferos	Nuevos pozos hasta 50m (N° pozos)	-	-	-
	Nuevos pozos hasta 100m (N° pozos)	-	-	-
	Recarga de aguas subterráneas desde (N° puntos de recarga)	-	-	-
	Recarga de aguas subterráneas desde canales (km de canal)	-	-	-
	Reserva dinámica (10%)	-	-	-
Gestión de la Demanda de Agua	Automatización de compuertas (ha beneficiadas)	-	-	-
	Embalses de regulación corta (50.000 m ³)	50,0	0,3	1.418
	Tecnificación desde riego Tendido, surco, otro a riego por Goteo (ha tecnificada)	3.664,2	38,5	18.904
	Tecnificación desde Aspersor, pivote a riego por Goteo (ha tecnificada)	100,0	0,2	516
	Tecnificación desde riego Goteo, cinta, micro aspersor a Agro 4.0 (ha tecnificada)	-	-	-
	Revestimiento de canales (> 2 m ³ /s) (km de canal)	-	-	-
	Revestimiento de canales (> 1,0 hasta 2,0 m ³ /s) (km de canal)	50,0	4,4	5.997
	Capacitación en riego (usuario capacitado)	300,0	1,2	330
Total			153,9	291.290
Costo del agua (\$/m3)				50
Costo del agua con subsidio a la inversión de un 70% (\$/m3)				43

Fuente: Elaboración propia

La **Tabla 5-78** presenta el resumen de las estrategias evaluadas. La estrategia de aguas superficiales es la única viable, dado que se depende del Proyecto Integral de Riego Rapel para poner en riego las 10.000 ha consideradas en el plan.

Según el análisis realizado, el Costo del agua es de \$50 pesos / m³.

Tabla 5-78 Resumen de estrategias para el sector Rapel

Componente de Gestión	Impacto	Estrategia		
		Gestión de aguas superficiales	Gestión de aguas subterráneas	Gestión Compuesta
Gestión de Aguas Superficiales	Aumento disponibilidad (hm ³ /año)	+ 109,4	--	--
Gestión Dinámica de Acuíferos	Aumento disponibilidad (hm ³ /año)	--	--	--
Gestión de la Demanda de Agua	Aumento de eficiencia (hm ³ /año)	+ 44,5	--	--
Total	(hm³/año)	+ 153,9	--	--
Meta	(hm³/año)	+ 153,9		
Inversión	(Millones \$)	291.290	--	--
Costo del agua	Sin subsidio a la inversión (\$/m³)	50	--	--
	Con 70% de subsidio a la inversión (\$/m³)	43	--	--

Fuente: Elaboración propia

5.5.1.4 Resumen de Estrategia de Balance Hídrico a nivel de cuenca

La estrategia de balance hídrico para la cuenca corresponde al consolidado de las estrategias seleccionadas para cada una de las unidades de gestión, que en total representan 2.120 hm³ al año, a un costo de 1.476.119 millones de pesos, y costo del agua promedio de \$ 77/m³. Se refleja la estrategia que, en cada sector, presentó una mejor posibilidad de ser implementada. Del análisis, se tiene que la opción más conveniente pasa por una Gestión Dinámica de Acuíferos (784 hm³) sumada al aumento de la eficiencia de riego (976 hm³). A continuación, la **Tabla 5-79** presenta los componentes de gestión de la estrategia de balance hídrico para las unidades de gestión de Cachapoal, Tinguiririca y Rapel.

Tabla 5-79. Resumen de Estrategia de Balance Hídrico

Componente	Cachapoal 1aS	Cachapoal 2aS	Cachapoal 3aS	Río Claro	Estero Zamorano	Tinguiririca	Chimbarongo	La Cadena	Alhué	Rapel	Total
Gestión de Aguas Superficiales (hm ³)	35	--	--	41	--	35	30	110	--	109	360
Gestión Dinámica de Acuíferos (hm ³)	372	70	26	26	43	157	49	7	34	--	784
Gestión de la Demanda de Agua (hm ³)	294	77	26	67	43	193	87	109	36	45	976
Total (hm ³)	702	147	52	135	86	385	165	226	70	154	2.120
Meta (hm ³)	702	147	52	135	86	385	165	226	70	154	2.120
Inversión (millones de \$)	470.294	65.310	19.676	215.503	39.312	198.011	61.486	87.788	27.449	291.290	1.476.119
Costo del agua (\$)	88	64	48	141	56	78	57	63	67	50	77
Costo del agua (\$) (70% subsidio)	51	40	25	61	35	44	38	49	42	43	46

Fuente: Elaboración propia

5.5.2 Escenarios de Gestión

Se definieron cuatro escenarios de gestión a ser modelados, con el propósito de determinar la respuesta del sistema frente a distintas estrategias definidas para abordar la brecha hídrica.

La selección de los escenarios de gestión se realizó a través de una propuesta de evaluación de escenarios con los diferentes actores de la cuenca que participaron a lo largo del estudio.

La evaluación de los escenarios no limita la incorporación de distintas soluciones dentro del Plan, como la automatización o el aumento de la eficiencia de riego. Estas acciones se consideran en forma explícita dentro de la calculadora hídrica, instrumento construido para una evaluación de eficiencia (costo / beneficio) de las distintas alternativas que darán cuerpo al Plan Estratégico.

Por lo tanto, cada escenario responde a una brecha definida en la sección 5.2 *Brechas hídricas*, en relación con un objetivo planteado. En la **Tabla 5-80** se presentan los escenarios seleccionados.

Tabla 5-80 Escenarios de gestión seleccionados según objetivo y brecha a reducir

ID	Escenario	Objetivo	Brecha principal	Brecha complementaria
E1	Gestión de agua superficiales	Reducir la brecha estacional de déficit hídrico con regulación superficial	BECO1. Déficit hídrico estacional entre oferta actual y demanda de agua para la agricultura y otros usos	BPER 2. Déficit hídrico para consumo humano en la situación proyectada según la tendencia poblacional
E2	Gestión de caudal ecológico	Asegurar el caudal ecológico en puntos estratégicos de gestión de agua superficial	BECO1. Deterioro de ecosistemas acuáticos por inexistencia de caudal ecológico	
E3	Gestión de acuíferos	Reducir la brecha estacional de déficit hídrico con gestión de los acuíferos	BECO1. Déficit hídrico estacional entre oferta actual y demanda de agua para la agricultura y otros usos	BPER 2. Déficit hídrico para consumo humano en la situación proyectada según la tendencia poblacional
E4	Formulación del plan	Establecer seguridad hídrica para personas, ecosistemas y actividades productivas	BECO1. Déficit hídrico estacional entre oferta actual y demanda de agua para la agricultura BECO1. Deterioro de ecosistemas acuáticos por inexistencia de caudal ecológico BPRO 4. Baja eficiencia relativa de la Eficiencia de Riego	BPER 2. Déficit hídrico para consumo humano en la situación proyectada según la tendencia poblacional BPRO 3. Baja seguridad hídrica en el secano interior

Fuente: Elaboración propia

5.5.2.1 Escenario 1: Gestión de aguas superficiales

Una de las demandas permanentes de los usuarios de la cuenca es el desarrollo de infraestructura de regulación, que permita un traspaso intra o interanual de los recursos excedentarios de los meses de invierno. Los embalses que han sido considerados en este escenario son presentados en la **Tabla 5-81**.

Tabla 5-81 Escenario de Gestión de aguas superficiales

ID	Embalse	Subcuenca	Cauce	Capacidad (hm ³)	Superficie adicional de riego (ha.)	Zonas de riego abastecidas
1	Cayanas	Pangal	Confluencia río Blanco y río paredones	60	N/A	ZR-01a ZR-02
2	Bollenar	Claro de Rengo	Claro de Rengo	59	3.000	ZR-05 ZR-06
3	Convento Viejo 3.0	Chimbarongo	Estero Chimbarongo	40 (aumento)	4.000	ZR-12(b), ZR-12(c) y ZR-12(d).
4	Zamorano	Est. Zamorano	Estero Zamorano	40	N/A	ZR-08 ZR-13
				199		

Fuente: Elaboración propia

Para el análisis de sensibilidad de los escenarios en el período actual se divide en dos sub-escenarios según las siguientes hipótesis:

Escenario 1.1 Regulación: Se incluye los embalses presentados en la **Tabla 5-81**, pero no se considera la nueva superficie potencial de riego. El volumen muerto del embalse es el 10% de su capacidad.

Escenario 1.2 Regulación +desarrollo: Se incluye los embalses presentados en la **Tabla 5-81**, y se considera la nueva superficie potencial de riego. El volumen muerto del embalse es el 10% de su capacidad.

Estos embalses, con las superficies de riego potencial, fueron incorporados dentro del modelo desde el año 2035, y se simuló la capacidad del sistema para proveer los recursos en función de los escenarios de cambio climático, así como los efectos en la seguridad de riego de los territorios que se encuentran dentro del área de influencia de cada una de estas obras de regulación. La metodología de la creación del escenario de gestión se encuentra en el Anexo H, sección 2.3.

5.5.2.2 Escenario 2: Gestión caudal ecológico y embalse Rapel

El embalse Rapel es una Zona de Interés Turística (ZOIT) dependiente del ciclo hidrológico natural como las acciones antrópicas que le preceden. Actualmente existe la actividad original de hidroelectricidad, pero además un alto desarrollo turístico. En este sentido la ZOIT debe compartir requerimientos de agua con distintas actividades: agrícola, eléctrica, minera, consumo humano, entre otras. A este conflicto se le añade la calidad del cuerpo de agua que está influenciado por los mismos pasivos ambientales de las demandas anteriores.

En este contexto, el escenario de gestión busca obtener una relación de caudales ecológicos y cota del embalse si se considera que la desembocadura del río Rapel debe estar en condiciones mínimas y no llegar a caudales bajos o nulos (ver **Tabla 5-82** para caudal ecológico). A partir de estos antecedentes, se hacen las siguientes consideraciones:

- Caudal ecológico mínimo en la desembocadura de los principales ríos (Tinguiririca, Cachapoal y Rapel)
- Las actividades aguas arriba quedan en un nivel de prioridad por debajo de las anteriores

Tabla 5-82 Escenario Caudal ecológico. Caudal mínimo en punto de control (m³/s)

N	UG	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
1	Rapel	33,85	33,85	33,85	33,85	33,85	33,85	33,85	33,85	33,85	33,85	33,85	33,85
6	Tinguiririca	10,63	12,14	16,39	19,24	19,24	19,24	19,24	19,24	19,24	19,24	18,21	13,96
10	Cachapoal	17,04	21,14	22,43	22,43	22,43	22,43	22,43	22,43	22,43	17,72	20,72	18,33

Fuente: Elaboración propia

5.5.2.3 Escenario 3: Gestión de acuíferos (adicional)

La cuenca dispone de un conjunto de acuíferos, con una capacidad total de almacenamiento de 74.827 hm³, con recargas equivalentes a 247.050 l/s. Sin embargo, existe una diversidad de explotación y características hidrogeológicas dentro de la cuenca, lo que ha originado limitaciones en el uso del agua subterránea en algunos sectores.

En las Resoluciones 381 de noviembre 2005, 251 de octubre de 2011, 139 de julio de 2009, y 392 de noviembre del 2011, la Dirección General de Aguas declara como área de Prohibición un total de 6 SHAC en la cuenca, además de otros SHAC que se encuentran en restricción para nuevas extracciones de aguas subterráneas. Dicho aquello, la explotación de este tipo de acuíferos debe realizarse de forma sustentable y poniendo especial atención en no superar su capacidad de almacenamiento, así como también que dada la categoría legal que se le impone, los derechos de aprovechamiento que se declaren serán de carácter provisorio.

Se define la factibilidad de dar una explotación sustentable a un acuífero, realizando baterías de pozos profundos que suplan la falta de agua en los meses críticos para el riego.

Al respecto, se propone la reducción de la brecha agrícola en situaciones de extrema sequía, para ello se considera un valor de referencia de la brecha histórica (mensual) tendiendo a mantener dicha brecha en el tiempo, evitando el aumento de la brecha en las proyecciones.

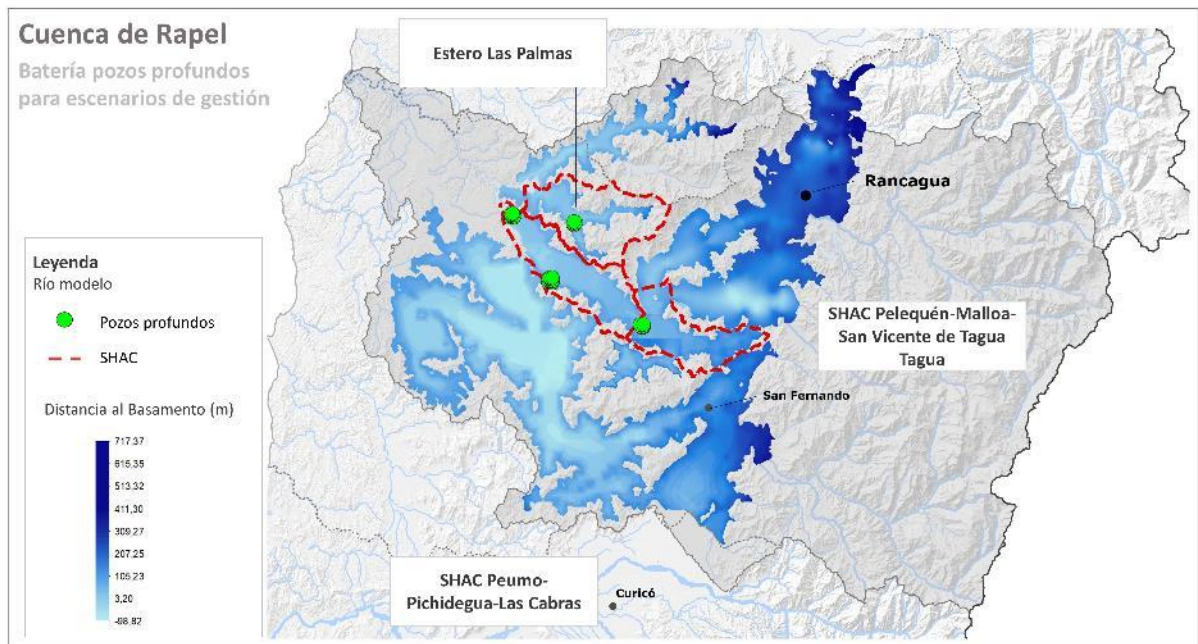
La hipótesis considerada para el funcionamiento de los pozos de emergencia se relaciona con el caudal pasante en los puntos de control. Si el caudal disponible es menor al 85% de excedencia, los pozos comienzan a extraer a caudal nominal. Solo se consideran los meses de mayor demanda de riego, es decir de diciembre a abril. La **Tabla 5-83** presenta las características de las baterías de pozos incluidas en el escenario y su ubicación (**Figura 5-9**). Son 40 pozos profundos de 90 l/s que extraen agua desde los acuíferos a partir del año 2026 desde diciembre a abril al 75% del tiempo y dirige esas aguas a las zonas de riego con mayores falencias.

Tabla 5-83 Características de la batería de pozos. Escenario 3.1

Acuífero	SHAC	ZR	Sector	Q Pozo (l/s)	Nº de Pozos	Vol. Año* (hm³/año)
AC_07	Peumo-Pichidegua-Las Cabras	ZR_15 (40%)	Tercera Sección Cachapoal	90	10	21,9
		ZR_04_b (60%)			15	
AC_09	Estero las Palmas	ZR_14	Estero Las Palmas		7	6,1
AC_06	Pelequén-Malloa-San Vicente de Tagua Tagua	ZR_08	Tercera Sección Cachapoal		8	7,0
Total					40	35.0

*5 meses 18 horas al día

Fuente: Elaboración propia



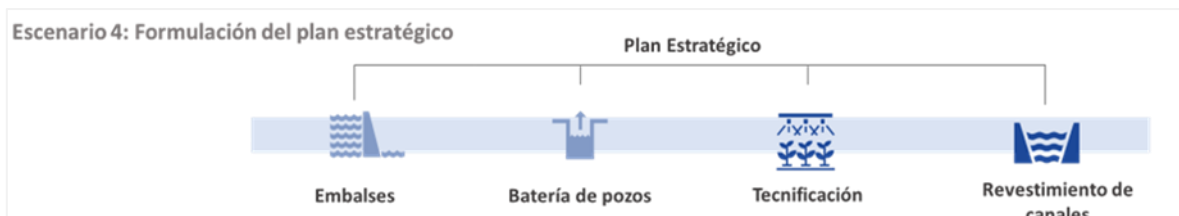
Fuente: Elaboración propia en base a modelo desarrollado

Figura 5-9 Ubicación de Pozos de emergencia en la cuenca Rapel

El objetivo de estas baterías de pozos es suplir el agua faltante durante la época de riego, lo que se logra bombeando un gran caudal desde el acuífero en estos meses, y vertiéndolo en canales de distribución superficial, tales como canales de agua o ríos.

5.5.2.4 Escenario 4. Formulación del Plan Estratégico

El Plan Estratégico se formuló a partir de una estructura de Ejes Estratégicos, Líneas de Acción e iniciativas, las que se detallan en el punto 5.1.1. Parte de las iniciativas son generadas para reducir la brecha hídrica. El objetivo del presente escenario es simular los resultados de balance que generarían la ejecución del Plan Estratégico propuesto, basados en 3 tipos de alternativas (1) Gestión de aguas Superficiales, (2) Gestión de aguas Subterráneas, (3) Gestión de la eficiencia de riego por el método de riego, y (4) Gestión de pérdidas por infraestructura (**Figura 5-10**).



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-10 Escenario de gestión 4. Formulación del plan

(1) Gestión de aguas Superficiales - **Embalses**: Obras de acumulación en las subcuencas Pangal, Claro de Rengo, Chimbarongo, Est. Zamorano con la ejecución de los embalses: Cayanas (60 hm³), Bollenar (59 hm³), Convento Viejo 3.0 (+40 hm³).

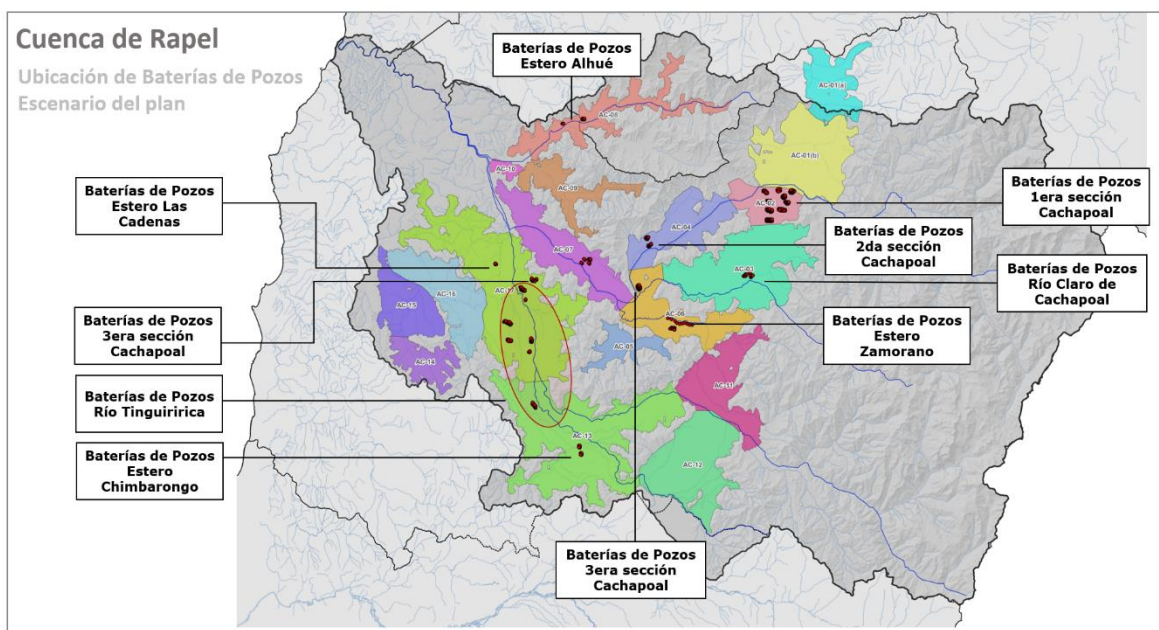
A su vez sobre este mismo escenario, se evaluaron nuevas superficies potenciales de riego para el sector en estero las Cadenas (Marchigüe), en Rapel (sector La Estrella) y en el sector río Claro de Cachapoal.

Tabla 5-84 Nuevas superficies agrícolas en escenarios del plan

Sector	Superficie adicional de riego (ha)	Zona de riego asociada
Estero Las Cadenas (Marchigüe)	10.000	ZR_12_a
Rapel (Sector La Estrella)	10.217	ZR_15
Río Claro de Cachapoal	3.000	ZR_05 Y ZR_07

Fuente: Elaboración propia

(2) Gestión de aguas Subterráneas - **Batería de pozos +Recarga**: El escenario con pozos profundos plantea la extracción de aguas subterráneas como una herramienta para cubrir el déficit hídrico de las zonas de riego. Para ello, se incluyen 320 baterías de pozos profundos a partir del año 2026, cada una considera 3 pozos que extraen 75 l/s desde los acuíferos y dirige esas aguas a las zonas de riego con mayores falencias. La ubicación de estas baterías de pozos se encuentra en la Figura 5-11 y las características específicas en la **Tabla 5-85**.



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-11 Ubicación baterías de pozos para escenario del plan

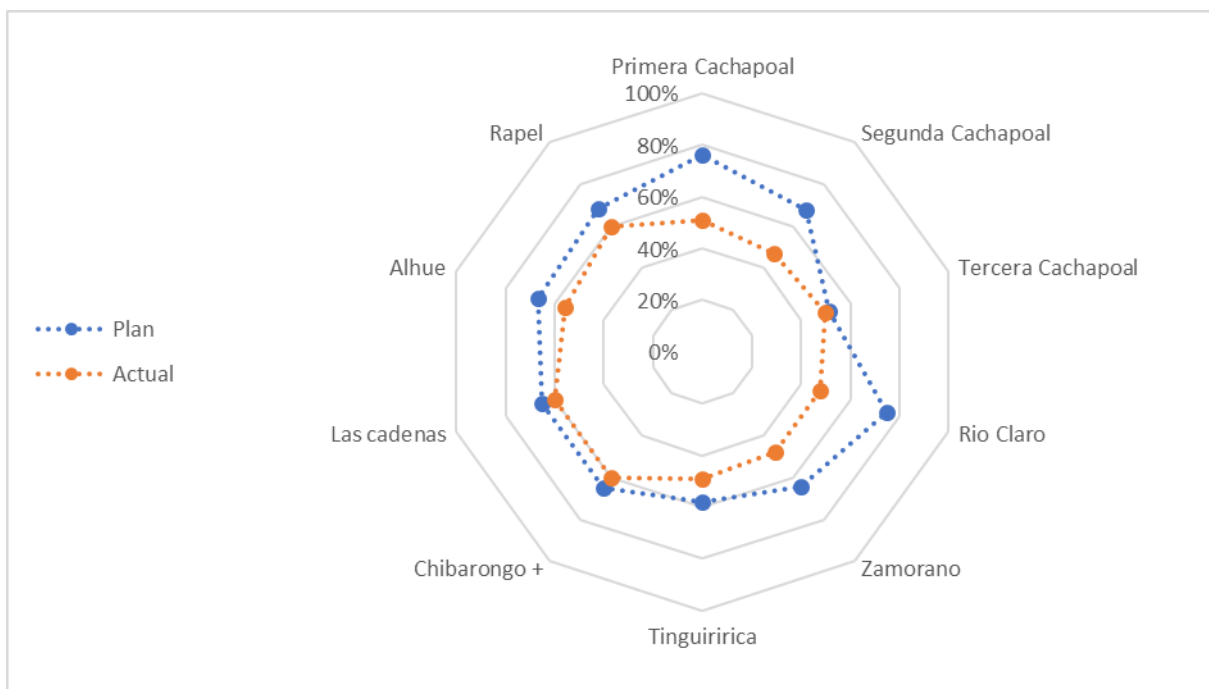
Tabla 5-85 Baterías de pozos implementadas en el escenario del plan

Unidad de gestión	Sector	Extracción desde acuífero (hm3 año)	Nº de pozos equivalentes	Nº de Baterías de pozos
Río Cachapoal	Sector Cachapoal 1era sección	310	426	142
	Sector Cachapoal 2da sección	71	97	32
	Sector Cachapoal 3era sección	24	33	11
	Río Claro de Cachapoal	26	36	12
	Estero Zamorano	38	53	18
Río Tinguiririca	Río Tinguiririca	153	209	70
	Chimbarongo	53	73	24
	Estero Las Cadenas	6	9	3
Río Rapel	Alhué	19	25	8
Total		700	960	320

Fuente: Elaboración propia

Recarga de agua subterránea. De forma complementaria a la iniciativa de batería de pozos, se considera que estos pozos sean recargados de abril a agosto con un 110% del agua extraída en el periodo de su uso (periodo de riego).

(3) Gestión de la eficiencia de riego - **Aumento de la tecnificación:** Según la tecnificación actual levantada (sección 3.3.3) se considera un aumento lineal de la tecnificación hasta el valor indicado. Dicho valor se alcanza en el año 2031.



Fuente: Elaboración propia en base a datos del Censo (2007)

Figura 5-12 Propuesta de aumento de la eficiencia de riego. Escenario de formulación del plan

(4) Gestión de perdidas por infraestructura - **Revestimiento de canales:** Se considera una mejora en el revestimiento de canales por km que representa un ahorro en la disponibilidad superficial.

(5) **Trasvases:** Desde el río Tinguiririca se trasvasan al embalse convento Viejo 40 Hm³ en los meses de mayo a agosto desde el año 2036, para utilizar estos caudales en los meses de riego. De los 40 Hm³ trasvasados el ECV entrega al río Tinguiririca 20 Hm³ desde diciembre a marzo, los otros 20 Hm³ quedan en el embalse a cambio del servicio de embalsar aguas. Desde el ECV se trasvasan al sector de Marchigüe 109,7 Hm³ (según disponibilidad).

La metodología utilizada dentro de la Plataforma WEAP se presenta en el punto 2.2.3 del anexo H y los resultados en el apéndice H-1.

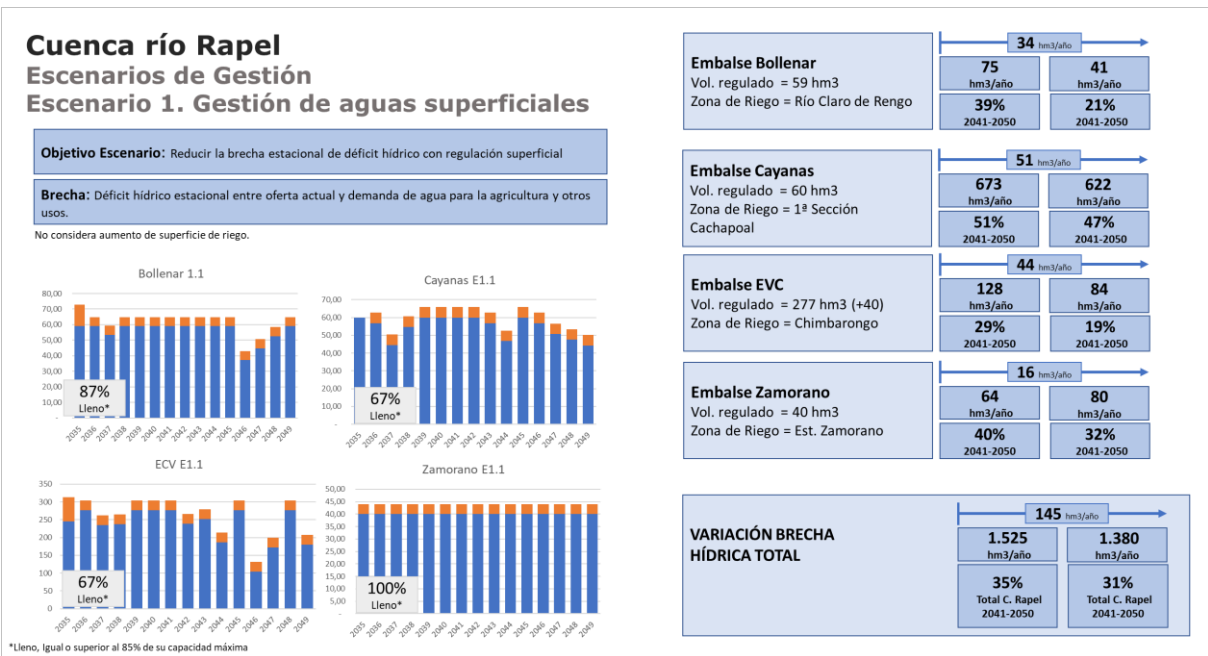
5.5.2.5 Resultados de escenarios de gestión

Los escenarios de gestión permiten el análisis de iniciativas que permitan la reducción de las brechas definidas en el punto 5.2. Cada escenario es evaluado según su objetivo y los elementos que son modificados según el escenario base. Principalmente los indicadores hídricos a revisar son:

Brecha hídrica en agricultura: Promedio de la variación de la brecha hídrica en agricultura total y/o por zonas de riego, entre el escenario base y el escenario analizado. Se expresa $\text{hm}^3/\text{año}$ y porcentaje respecto a la Demanda bruta.

Capacidad realmente regulada: Porcentaje de años que el embalse proyectado llega a una capacidad superior del 85% de su volumen máximo.

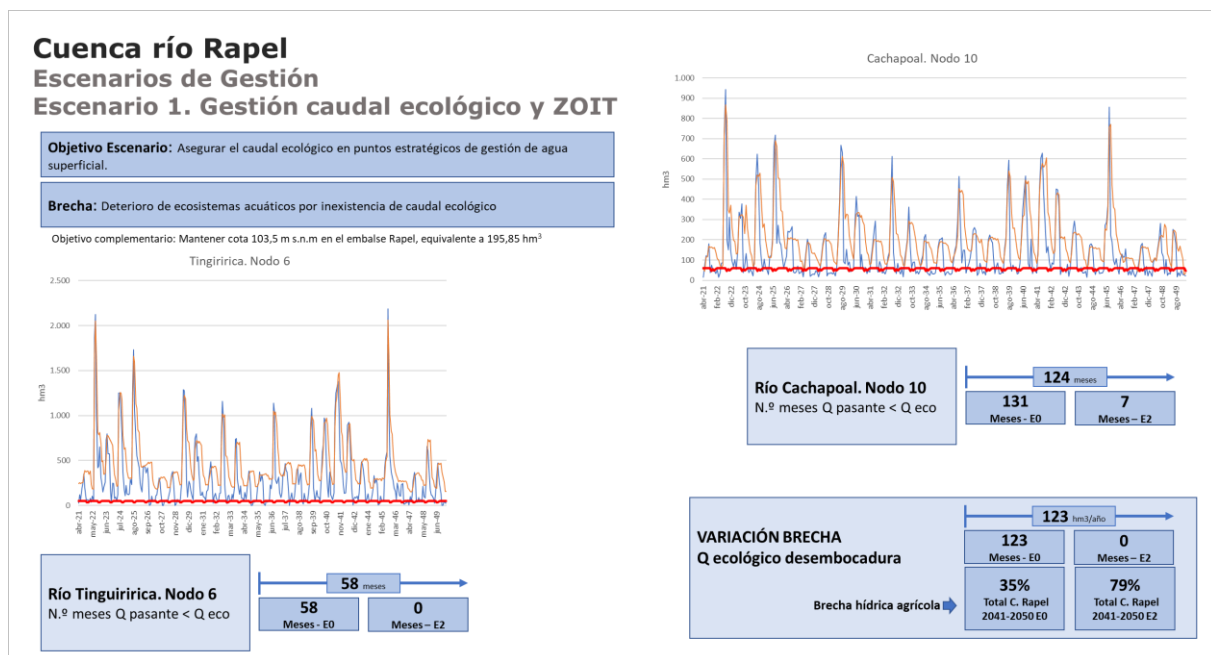
Todos los indicadores son revisados para el periodo de tiempo 2041-2050.



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-13 Resultados Escenario 1. Gestión de aguas superficiales

De forma indicativa, los embalses presentan una factibilidad favorable según el modelo utilizado, sin embargo, este análisis se debe generar a un nivel con mayor detalle para llegar a conclusiones específicas de factibilidad técnica. Respecto a la reducción de la brecha agrícola, a nivel de cuenca se reduce 4 puntos porcentuales, equivalentes a una reducción de $145 \text{ hm}^3/\text{año}$.



Fuente: Elaboración propia

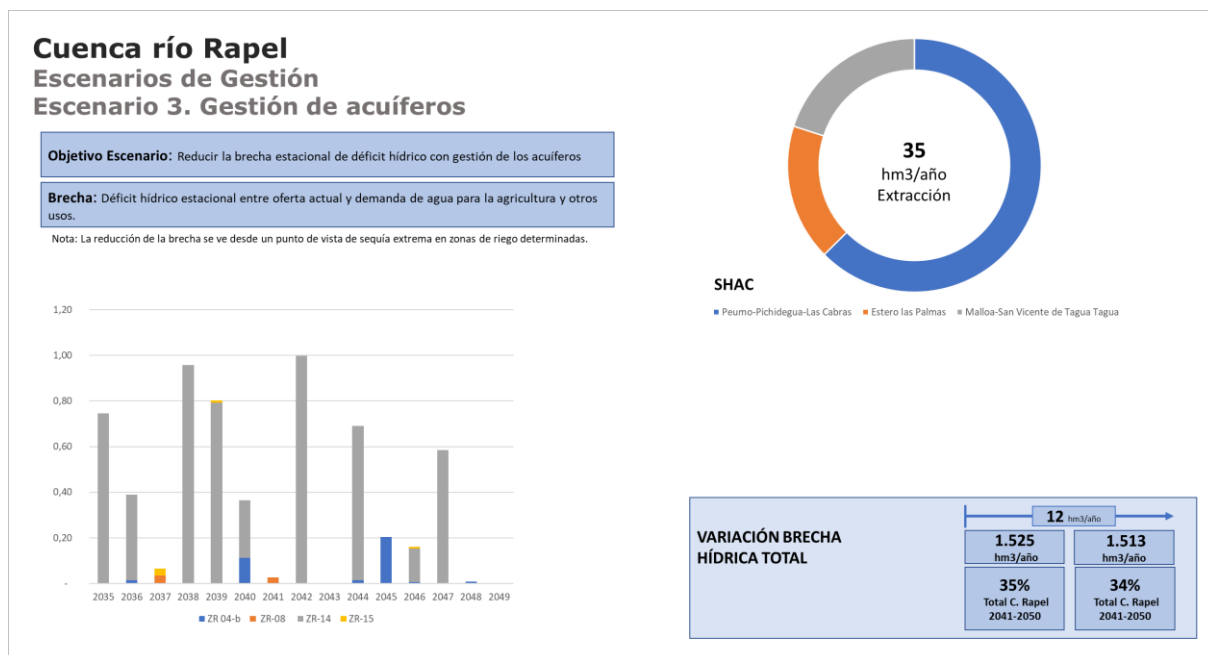
Figura 5-14 Resultados Escenario 2. Gestión de caudal ecológico

El embalse Rapel fue modelado a cabalidad en términos de sus entradas y salidas, sin embargo, no fue posible simular correctamente los volúmenes embalsados. Esto se atribuye principalmente a que el embalse Rapel está condicionado constantemente por demandas hidroeléctricas que carecen de temporalidad y cuyo comportamiento general difícilmente puede ser condensado con alguna regla de operación (Anexo H, sección 5.6).

Se cumple el objetivo del cumplimiento del caudal ecológico mínimo propuesto por los nodos de control 1,6 y 10, sin embargo, la brecha hídrica en la agricultura asciende 44 puntos. Por lo tanto, se debe revisar la propuesta de caudal ecológico mínimo en relación con las actividades productivas de la cuenca dentro del modelo numérico.

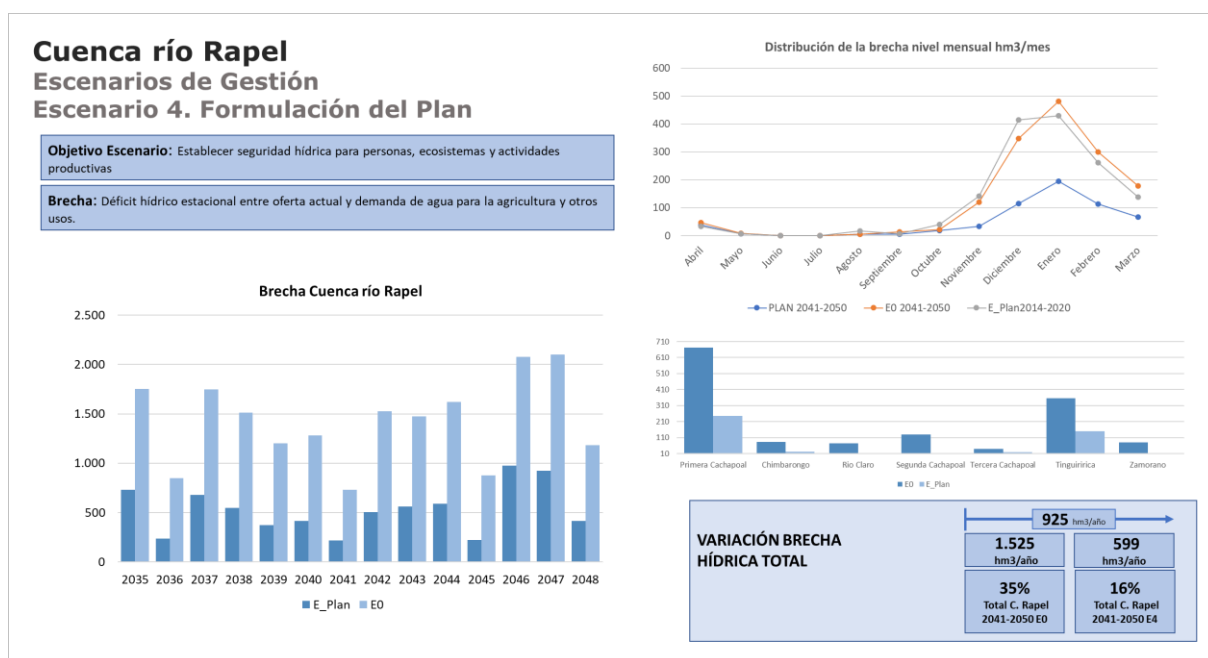
La batería de pozos propuesta, con un volumen máximo 35 hm³/año, según la modelación, reduce la brecha en 1 punto equivalente a 12 hm³/año.

El conjunto de iniciativas que forman el plan propuesto permite la reducción en 19 puntos equivalente a 925 hm³/año (16% brecha total). La brecha persiste en la zona de riego correspondiente a la primera sección del Cachapoal equivalente a 245 hm³/año (**Tabla 5-86**).



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-15 Resultados Escenario 3. Gestión de acuíferos



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-16 Resultados Escenario 4. Formulación del plan

Tabla 5-86 Brecha agrícola por sectores de riego. Periodo histórico 2041-2050. Escenario 4, formulación del plan

Año	DN (Hm3/año)	DB (Hm3/año)	Dotación (M3/Ha)	EF %	Brecha	Brecha (%)
Primera Cachapoal	670	881	15.547	76%	245	28%
Segunda Cachapoal	203	299	14.803	68%	11	4%
Tercera Cachapoal	224	434	8.999	52%	20	5%
Rio Claro	105	140	10.522	75%	8	5%
Zamorano	96	149	9.116	64%	1	1%
UG Cachapoal	1.298	1.903	12.697	68%	285	15%
Tinguiririca	535	923	8.989	58%	149	16%
Chimbarongo +	265	407	8.533	65%	23	6%
Las cadenas	168	259	19.313	65%	137	53%
UG Tinguiririca	968	1.589	9.753	61%	309	19%
Alhué	61	80	9.768	76%	5	6%
Rapel	128	168	27.032	76%	-	0%
UG Rapel	188	248	17.216	76%	5	2%
Total	2.455	3.740	11.554	66%	599	16%

Fuente: Elaboración propia en base a datos del Modelo hidrogeológico actual acoplado (Weap - Modflow). Anexo F5.1

Los escenarios y resultados presentados son indicativos con el objeto de visualizar alternativas de gestión de aguas superficiales y subterráneas. Se debe considerar que existen brechas de información, por lo tanto, los datos son a nivel informativo. Los resultados de los escenarios de gestión se presentan en el anexo H.

5.6 Mercado del agua

En base a las transacciones de los DAA registrados por los Conservadores de Bienes Raíces dentro de la base de datos de la DGA (DGA, 2022), se ha analizado la tendencia central de valores de caudales según los siguientes criterios:

- Tipo de Transacción: Compraventa
- Valor de la transacción: expresada en unidades de fomento (UF), dólar estadounidense (USD) o pesos chilenos (CLP), de manera que puedan actualizarse a UF, conforme a la paridad monetaria que existiera en el momento de la transacción
- Caudal: Volumen por unidad de tiempo (l/s u otra que permita transformarse en l/s)
- Naturaleza del derecho: Subterráneo y superficial
- Tipo del derecho: Consuntivo y no consuntivo
- Tipo del ejercicio: Permanente y continuo
- Observaciones: el valor de la transacción no ha de incluir el de ningún otro bien (otros DAA, predio, etc.) que no sea el del propio DAA registrado
- Fecha (veinte últimos años, desde enero de 2001 a diciembre de 2020)

- Agrupación de registros iguales: registros con datos idénticos de fechas, naturaleza del agua, caudal promedio, tipo de derecho, ejercicio del derecho, valor total de la transacción, unidad moneda y observaciones, se han tratado como una única transacción para evitar el falseamiento de los resultados del tratamiento estadístico

El detalle de la metodología se encuentra en el **Apéndice J1 Mercado del Agua**. Los resultados del análisis se presentan en la **Tabla 5-87**.

Tabla 5-87 Valor mediana de UF/(l/s) según CBR y categorías. Cuenca del Rapel

CBR	Ia Naturaleza aguas superficiales				Ib Naturaleza aguas subterráneas
	IIa Tipo de derecho consuntivo		IIb Tipo de derecho no consuntivo		IIa Tipo de derecho consuntivo
	IIIa Ejercicio permanente	IIIb Ejercicio eventual	IIIa Ejercicio permanente	IIIb Ejercicio eventual	IIIa Ejercicio permanente
Peralillo	39,64	-	-	-	134,90
Litueche	-	-	-	-	-
Peumo	-	-	-	-	43,37
Pichilemu	-	-	-	-	-
Rancagua	104,11	-	-	-	102,29
Rengo	142,50	-	-	-	147,75
San Fernando	53,46	-	0,17	-	80,36
San Vicente de Tagua Tagua	31,31	-	-	-	46,16
Santa cruz	58,59	-	-	-	66,84

Fuente: Elaboración propia en base a DGA (2022)

Como conclusión del análisis, se genera una identificación de brechas respecto al trabajo realizado en relación a los objetivos propuestos.

Falta de uniformidad de la base de datos de partida CBR-SNIA, relativa a la identificación de diferentes unidades, problemas en los valores de la transacción, presencia de valores nulos, duplicidad de las transacciones y transacciones con valor de otros bienes (tierra).

Estas deficiencias se traducen en una merma considerable de datos válidos para su análisis estadístico. Así, de las más de 57.000 transacciones de compraventa registradas a nivel cuenca (Rapel) sólo ha sido posible tratar apenas 1.100.

6 ACCIONES

Una iniciativa es una acción que ha sido priorizada, para la cual se asigna un responsable, un presupuesto y un plazo de implementación. Para elaborar la cartera de iniciativas se recurrió a los antecedentes recopilados por el “Plan de Inversión en Infraestructura Hídrica”²⁹ (MOP, 2021) y también por la información que posee el Banco integrado de proyectos, sobre el cual se obtuvo tanto el catastro como los criterios de clasificación.

A nivel regional desde el año 2011 se ha invertido en recursos hídricos y medio ambiente relacionado con el agua cerca de 2 Billones y medio de pesos. En **Tabla 6-1** se muestra el total de dinero invertido desde el año 2011 según temáticas involucradas.

Tabla 6-1 Cartera iniciativas Región del Libertador Bernardo O’ Higgins

Clasificación General	Número de Iniciativas (2011-2021)	Presupuesto asociado (Millones de \$)
Región del Libertador Bernardo O’ Higgins	2.004	2.705.032
Clasificación por temática		
Agua Potable	801	1.157.7567
Aguas Lluvias	203	75.839
Evacuación de Aguas servidas	300	993.443
Medio Ambiente (relacionado con recursos hídricos)	41	30.743
Recursos hídricos (planes y otros)	16	3.872
Riego (Principalmente instrumentos de fomento al riego)	N/A	66.130
Riego (Programas y estudios)	174	226.654
Silvicultura	51	9.767
Agricultura	373	106.515
Defensas Fluviales Marítimas	34	98.084
Clasificación por Organismo que financia		
Agua Potable Rural MOP	529	549.930
Comisión Nacional de Riego	35	75.689
Dirección de Obras Hidráulicas	295	326.623
Dirección General de Aguas	2	233
Gobierno Regional de Región del Libertador Bernardo O’ Higgins	1.084	1.770.156
Municipios, CONAF y Otros	52	48.161

Fuente: Elaboración propia a partir de (BIP, 2021)

²⁹ Pendiente de publicación

En la **Tabla 6-2**, se visualiza un histórico de los montos invertidos en iniciativas desde los distintos órganos que están involucrados en los recursos hídricos en la cuenca del río Rapel.

Tabla 6-2 Montos invertidos por año (2011-2022)

Año	Monto (Millones de \$)
2011	\$123.086
2012	\$133.589
2013	\$164.361
2014	\$192.836
2015	\$169.140
2016	\$257.923
2017	\$340.784
2018	\$228.741
2019	\$332.238
2020	\$400.877
2021 (no cuenta con inversión de Ley de Riego)	\$427.587

Fuente: Elaboración propia a partir de Banco Integrado de Proyectos (2021)

Por otro lado, es interesante identificar cuánto se ha invertido por temática durante los últimos 4 años, información que es mostrada en la **Tabla 6-3**.

Tabla 6-3 Montos invertidos por temática en los últimos 4 años

Año	Temática	Monto (Millones de \$)
2018	Agua Potable	100.279
	Evacuación Aguas Servidas	75.753
	Medio Ambiente	320
	Riego	9.364
2019	Agua Potable	147.151
	Evacuación Aguas Servidas	114.507
	Medio Ambiente	9.020
	Riego	12.451
	Recursos Hídricos	199
2020	Agua Potable	179.783
	Evacuación Aguas Servidas	120.274
	Medio Ambiente	8.488
	Riego	31.093
	Recursos Hídricos	980
2021	Agua Potable	163.217
	Evacuación Aguas Servidas	135.284
	Medio Ambiente	8.526
	Riego	27.997
	Recursos Hídricos	999

Fuente: Elaboración propia en base a BIP 2021

6.1 Seguridad Hídrica para las Personas

6.1.1 Agua Potable Urbana y Rural

En el caso del agua potable urbana y rural existen mejoramientos y ampliaciones de los sistemas de agua potable rural, como así también estudios hidrogeológicos y construcciones de sistemas de APR. En la cuenca del río Rapel los que destacan son:

- Mejoramiento APR Pelequén Viejo Portezuelo, Comuna de Malloa
- Mejoramiento y Ampliación del sistema APR de Chumaco
- Ampliación servicio APR el Arrozal a sector Santa Julia, Graneros

La inversión de agua potable urbana y rural durante los últimos 10 años es de aproximadamente 1 billón de pesos (1 millón de millones de pesos).

6.1.2 Aguas servidas y Aguas Lluvias

La inversión en cuanto a aguas servidas y aguas lluvias, no es menor en la región. De hecho, según lo que indican las tablas anteriores son una de las fuentes de financiamiento mayoritarias. Dentro de las iniciativas más relevantes se encuentran:

- Conservación del sistema secundario de Aguas Lluvias VI región.
- Construcción Colectores Primarios sistema Cachapoal.

La inversión en esta materia en los últimos 10 años es de aproximadamente 630 mil millones de pesos.

6.2 Seguridad Hídrica para los Ecosistemas

La Norma Secundaria de Calidad Ambiental para la protección de las Aguas Continentales Superficiales de la cuenca del Río Rapel se encuentra en tramitación desde el año 2016, según consta en la plataforma de planes y normas del ministerio del medio ambiente³⁰. La última actividad registrada corresponde a una reunión del Comité Operativo realizada en agosto de 2019, en la que se abordó la presentación "Aspectos técnicos y metodológicos utilizados en la elaboración del proyecto de NSCA de la cuenca Rapel", y la presentación "Estado de avance AGNES proyecto de NSCA de la cuenca Rapel". No se tiene registro de actividades posteriores.

Complementariamente, el año 2011, CSIRO desarrolló el "Diagnóstico y Plan de Gestión para la Calidad de Agua del Embalse Rapel", con financiamiento del Gobierno Regional (FIC).

El plan de gestión para el embalse Rapel, entrega las bases para iniciar el mejoramiento de la condición actual de eutrofización del embalse. Como objetivo general, se busca poder llevar a cabo, medidas de varios tipos, las cuales promuevan la rehabilitación y protección de la calidad del agua del embalse. Para poder llevar a cabo este objetivo, se definieron los siguientes objetivos específicos, los cuales apuntaron a:

- Crear un sistema de vigilancia y alerta temprana de floraciones microalgales, para que la comunidad local y turistas del embalse Rapel, estuvieran informados sobre su presencia y permanencia, minimizando de este modo, los riesgos en la salud humana y actividades turísticas.
- Lograr una calidad de agua compatible con los usos múltiples que se realizan en embalse Rapel, a través del control de la eutrofización.

³⁰ Revisado en

https://planesynormas.mma.gob.cl/normas/expediente/index.php?tipo=busqueda&id_expediente=928012

-
- Promover a la diversificación turística que actualmente se desarrolla en torno al embalse Rapel.
 - Concientizar y promover el sentido de responsabilidad a la comunidad local y turistas, respecto a la problemática ambiental que hoy en día tiene el embalse Rapel.
 - Gestionar e implementar proyectos de investigación orientados al control de la eutrofización y manejo sustentable del embalse y su área de drenaje.
 - Asegurar la adecuada aplicación de los programas de gestión específicos definidos para el embalse Rapel y su área de drenaje.

La elaboración del plan de gestión se realiza en base a información científica generada a través de las campañas de muestreo del presente proyecto, como también, en base al uso de información científico - técnica bibliográfica. Una componente importante a considerar para la elaboración de esta propuesta fue la participación de la comunidad local involucrada con el embalse Rapel, a través de talleres de participación. De estos talleres, se obtuvo información de los actores relevantes vinculados al embalse, sobre los usos actuales y potenciales, problemáticas ambientales, entre otros.

En relación con toda la información obtenida, se identifican seis programas específicos de gestión, los cuales fueron denominados como:

1.- Alerta temprana y medidas de contingencia; 2.- Rehabilitación; 3.- Turismo y Recreación; 4.- Educación ambiental; 5.- Investigación y 6.- Administración. Cada uno de estos programas cuenta con objetivo general y específico, con un cronograma de actividades y, por último, con una priorización de las actividades y sus respectivos costos asociados para un horizonte de 4 años.

6.3 Seguridad Hídrica para las Actividades Productivas

Las principales acciones relacionadas con Seguridad Hídrica para actividades productivas están orientadas a obras hidráulicas, proyectos para mejora de riegos, entre otros. Esto se encuentra en línea con algunas acciones ya identificadas en años anteriores y que se listaron en la sección **6. ACCIONES**.

6.3.1 Obras Hidráulicas

En la cuenca destaca el estudio de prefactibilidad del Embalse Bollenar, desarrollado por la Dirección de Obras Hidráulicas, el cual plantea una obra de almacenamiento por 59 hm³.

Complementariamente, en el sector del secano interior y costero, la Comisión Nacional de Riego realizó en el año 2019 el estudio "Diagnóstico para Plan de Desarrollo Agrícola y Abastecimiento Hídrico en el Secano de la VI región". Este estudio concluyó con una cartera de doce proyectos, dos de los cuales comprenden la mayor parte de la nueva superficie de riego. Estos estudios de gran tamaño corresponden a la ampliación del área de riego del

Embalse Convento Viejo en la comuna de Marchigüe, con aproximadamente 10.000 ha. de riego; y al Proyecto Integral de Riego Rapel, que riega parte de las comunas de Navidad, Litueche y La Estrecha, con 10.200 ha. de riego.

Finalmente, se presentan las alternativas evaluadas para ampliar la capacidad de almacenamiento del Embalse Convento Viejo.

6.3.1.1 Embalse Bollenar

El proyecto de construir el Embalse Bollenar, nace a partir de estudios de prefactibilidad ejecutados por la Comisión Nacional de Riego entre los años 2013 y 2015. En complemento, entre el 2019 y 2021 se desarrolló el estudio de factibilidad por parte de la Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas, el que concluyó que el tipo de presa más conveniente sería el CFRD (*Concrete Face Rockfill Dam*), conformado por rellenos de naturaleza mixta de enrocados compactados, extraídos desde dos canteras ubicadas en la zona de inundación y material granular de río. Esta presa tendría una altura máxima de unos 106,5 m, con un volumen de almacenamiento de 59 hm³, que permitirá tener una capacidad de riego para 9.000 ha.

La construcción del embalse Bollenar permitirá regular los recursos hídricos del río Claro de Rengo. Esta zona altamente productiva posee actualmente una superficie bajo cota de canal estimada de 7.700 ha, de las cuales sólo es posible regar del orden de 5.700 ha. Esta obra de regulación permitirá regar con 85% de seguridad la totalidad de las 7.700 ha, bajo cota de canal y regar nuevas áreas de riego sobre cota de canal mediante bombeo.

Los pasos siguientes de esta obra consisten en gestionar los recursos necesarios para que durante 2022 se continúe con las siguientes etapas, como estudios de impacto ambiental y el diseño de ingeniería propiamente tal, para la alternativa seleccionada, antes de definir la construcción del embalse Bollenar, cuya inversión sería de alrededor de 150 millones de dólares³¹.

6.3.1.2 Embalse Las Cayanas

El embalse Las Cayanas fue incorporado dentro de las iniciativas reconocidas por la Comisión Nacional de Riego en una presentación del año 2012 denominada "Condición Hídrica en Chile"³². Adicionalmente, la Junta de Vigilancia de la Primera sección del río Cachapoal cuenta con estudios de ingeniería elaborados por CODELCO División El Teniente, siendo el más reciente del año 2019.

³¹ Revisado en <http://elurbanorural.cl/mop-ohiggins-recibe-informe-final-del-estudio-de-factibilidad-construccion-embalse-bollenar-de-rengo/>

³² <https://research.csiro.au/gestionrapel/wp-content/uploads/sites/79/2016/11/Condici%C3%B3n-H%C3%ADdrlica-en-Chile-2012.pdf>

En este estudio, se concluye la viabilidad hidrológica del embalse para un volumen de hasta 59 hm³, y se estimó un costo de construcción de 75,3 millones de dólares.

En consecuencia, si bien esta obra no se encuentra actualmente dentro de los planes de los distintos servicios públicos relacionados, sí lo ha estado previamente y está dentro de las posibilidades de actores como CODELCO.



Fuente: Junta de Vigilancia Primera Sección Cachapoal, 2010

Figura 6-1 Ubicación del Embalse Las Cayanas

El año 2010 se realizó un estudio producto de un convenio de colaboración entre la Comisión Nacional de Riego y la Junta de Vigilancia de la Primera Sección del río Cachapoal. En este estudio se concluyó lo siguiente:

- El posible embalse se ubicaría en terrenos pertenecientes a la DIVISIÓN TENIENTE de CODELCO CHILE.
- A unos 1.800 m aguas abajo de la implantación elegida por SMFE³³ se encuentra la bocatoma de la Central Pangal de propiedad de PHC. Ello constituye la existencia de un usuario con derechos de agua, lo que podría incidir en la operación del embalse. Por otra parte, ello representa también la existencia de obras en operación que la construcción del

³³ Sigla en inglés de Soil Mechanics and Foundation Engineering. Se refiere a la empresa norteamericana que realizó el estudio original de emplazamiento del embalse Las Cayanas.

posible embalse deberá considerar especialmente para no afectarlas tanto en lo físico como en lo operacional.

- El área presenta numerosos deslizamientos, remociones en masa de magnitud y gran heterogeneidad de suelos, lo que llevó a SMFE a calificar el terreno fundación como inusualmente difícil. Esto no es sinónimo de que la obra no se pueda construir, sólo debe considerarse como un llamado de alerta por mayores costos.
- Los problemas principales en el diseño del embalse serían los asentamientos, el control de filtraciones y el gran arrastre sólido del río.

Costeado el proyecto de SMFE para un embalse de 59 Hm³ con precios unitarios del año 2010, se tuvo una inversión probable **de US\$ 75.279.800** considerando el nivel monetario vigente al 16/12/2009.

6.3.1.3 Ampliación de Embalse Convento Viejo

El Embalse Convento Viejo cuenta con distintas etapas de desarrollo. En 1993, se terminó la construcción del embalse Convento Viejo Etapa I, incluyendo una obra evacuadora de crecidas pluviales. El año 2003 se iniciaron los estudios para la Etapa II, que consiste en elevar a 237 millones de metros cúbicos la capacidad de embalse, ampliando la zona de riego. Su ejecución comenzó el año 2004 y concluyó el año 2009.

El nuevo embalse acumula las aguas del estero Chimbarongo y del canal Teno – Chimbarongo, con el propósito de regular sus caudales, entregando una mayor capacidad y estabilidad de riego. Aumenta la disponibilidad de agua en la zona actualmente regada del valle de Chimbarongo y permite incorporar a riego los valles de Lolol, Nilahue y Pumanque³⁴.

Actualmente el Embalse Convento Viejo provee 130 hm³ al sector de riego de Pumanque, sumado a 37,7 hm³ que proporciona a la Junta de Vigilancia del Estero Chimbarongo (27,7 hm³) más los derramistas (10,0 hm³). El Proyecto Integral de Riego Marchigüe considera además poner bajo riego un total de 10.000 ha., en lo que se denomina la Fase 3 de la Etapa 2.

Una eventual ampliación permitiría aportar 60 hm³ al sector de Marchigüe (Estero La Cadena). Se incorpora la obra sin un presupuesto asociado.

A continuación, la **Figura 6-2** muestra el área de riego para el Embalse Convento Viejo.

³⁴ Revisado en <http://www.ecv.cl/historia.html>



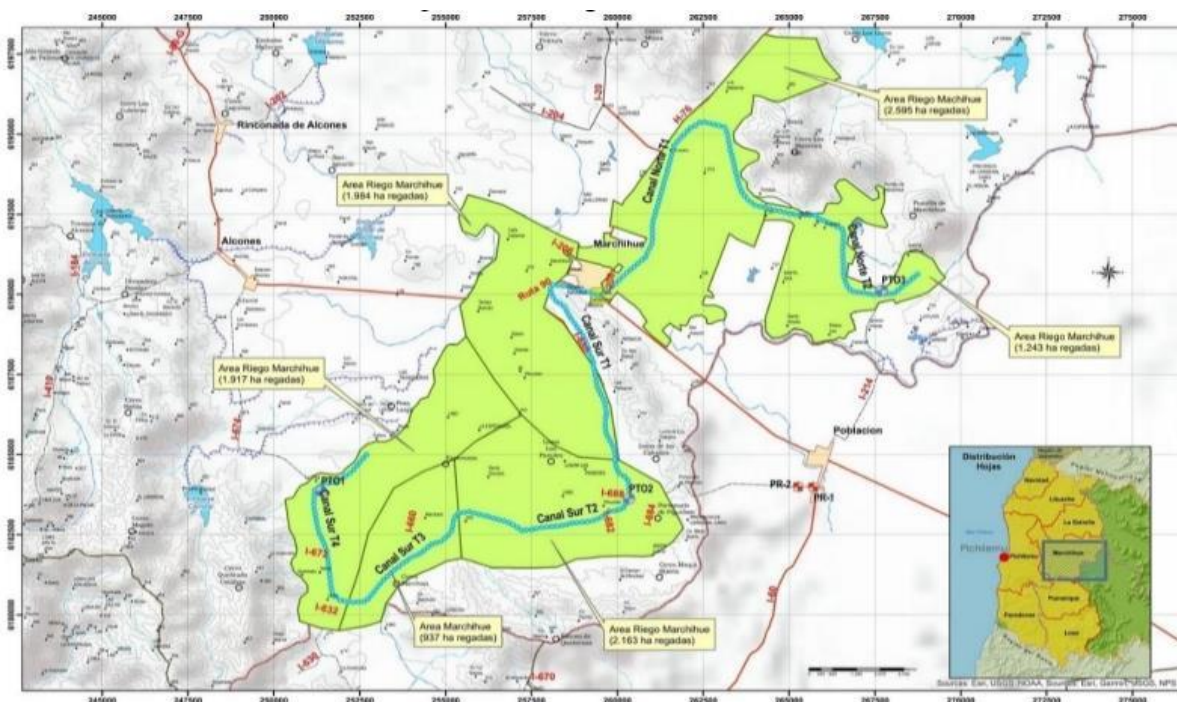
Fuente: Revisado en <http://www.ecv.cl>

Figura 6-2 Áreas de riego de Embalse Convento Viejo

6.3.1.4 Proyecto Integral de Riego Marchigüe

El objetivo del proyecto es ampliar el área de riego del Embalse Convento Viejo a través del mejoramiento de canales y esteros, principalmente a través del canal Población, y la construcción de otras obras que lleven el agua hasta la comuna de Marchigüe, regando aproximadamente 10.000 nuevas ha, con 388 predios (CNR, 2019). Esta ampliación se denomina Fase 3 de la Etapa 2³⁵. A continuación, la Figura 6-3 muestra las áreas de riego del proyecto Sector Marchigüe.

³⁵ Revisado en <http://www.ecv.cl/historia.html>



Fuente: CNR, 2019

Figura 6-3 Proyecto de riego sector Marchigüe

Las obras que considera el proyecto en su conjunto son:

- Mejoramiento del Estero Las Toscas en una longitud de 8 km
- Mejoramiento de la barrera y bocatoma del canal Yáquil en Las Toscas
- Mejoramiento y ampliación del canal Yáquil en una extensión de 12 km, como alimentador de Las Toscas – Población
- Mejoramiento canal Población en una extensión de 32 km
- Construcción de nuevo canal de 10 km desde Población a Yerbas Buenas
- Sistema de distribución Marchigüe – Las Cadenas

Por otro lado, se proyectó una red primaria a través de 2 grandes canales entubados: Canal Sur (Tramo 1 a 4), y Canal Norte (Tramos 1 y 2). El potencial de esta zona es óptimo para el desarrollo de arándanos, cítricos, ciruelo europeo, duraznero, kiwi, nogal y vid vinífera. Además, es factible el cultivo de hortalizas tales como choclo, lechuga, melón, poroto granado, sandía y tomate.

El presupuesto total es de **733.465 UF**, el cual comprende las obras anexas, canales, mitigaciones ambientales y otras.

Actualmente, este proyecto se encuentra en la fase de evaluación de factibilidad en el Ministerio de Desarrollo Social. Una vez obtenida la resolución, se debe someter a evaluación de impacto ambiental previo a la fase de construcción.

6.3.1.5 Proyecto Integral de Riego Rapel

El proyecto comienza con la captación de aguas desde el río Rapel, las que son elevadas hacia los sectores de nuevo riego, que representan una superficie de 10.217 ha., agrupadas en 4 áreas, dependiendo de su altitud. Este sector agrupa un total de 367 propiedades agrícolas, en donde actualmente se pueden cultivar sin limitaciones hortalizas, arándanos, cítricos, ciruelo europeo, frambuesa, nogal y palto, y eventualmente, almendro, dependiendo del cambio de las condiciones climáticas. En las viñas, las condiciones son óptimas para vides viníferas. Los recursos se capturarán desde una bocatoma en el río Rapel, la que entregará agua para los embalses. La bocatoma fue diseñada para un caudal de 6.332 l/s, el que permite abastecer la superficie total del proyecto.

La primera parte del proyecto consiste en una planta elevadora de gran capacidad que recibe las aguas captadas desde el río Rapel y las bombea en un desnivel de casi 200 m, donde se encuentra el primer punto de entrega hacia los embalses. La **Tabla 6-4** y la **Figura 6-4** presentan los cuatro sectores de riego contenidos en el proyecto.

Tabla 6-4 Proyecto Integral de Riego Rapel

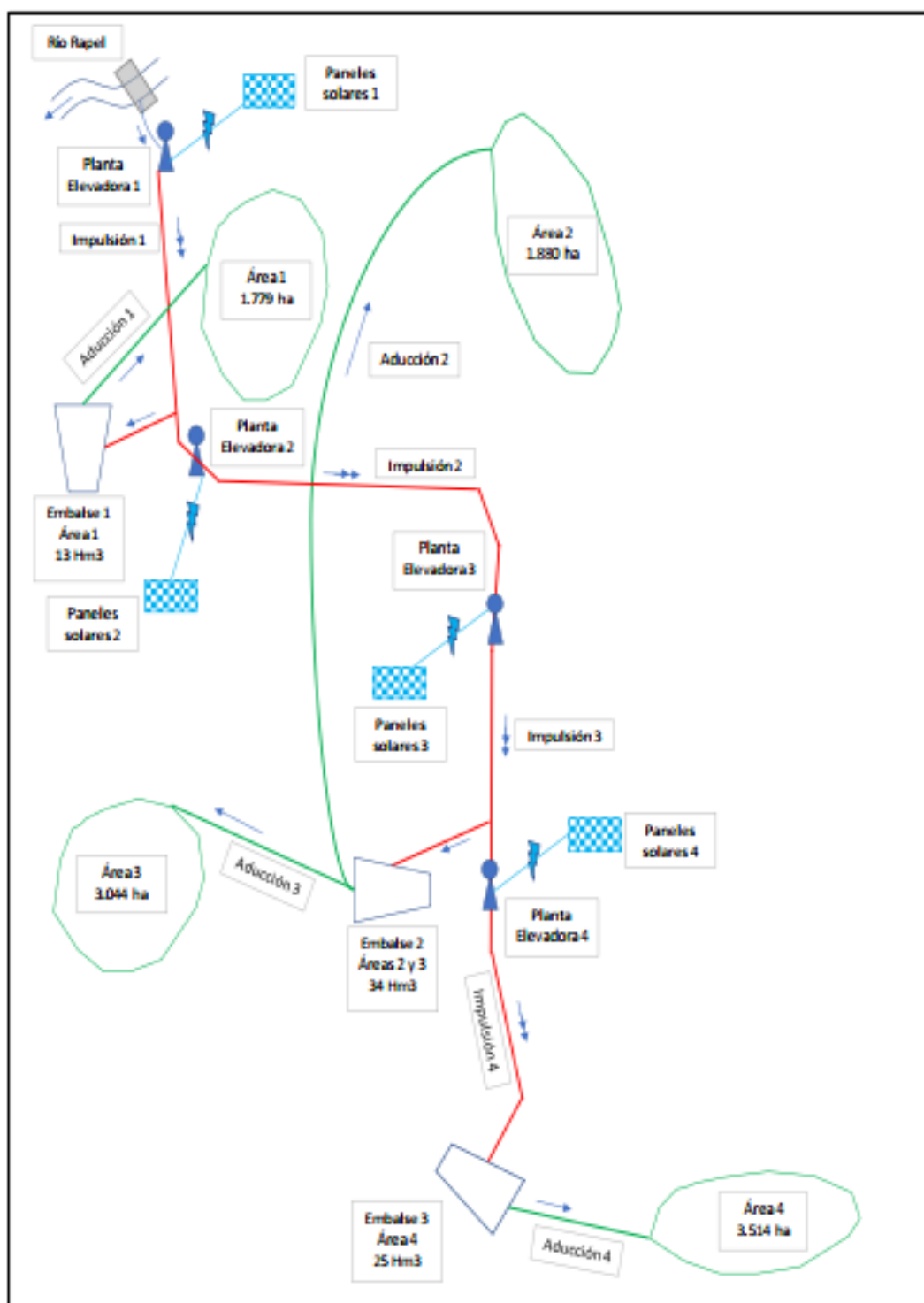
Área	Altura de muro (m)	Almacenamiento (hm ³)	Superficie regada (ha.)
1	23	13,13	1.779
2	20	13,46	1.880
3	20	21,05	3.044
4	55	24,60	3.514
Total		72,24	10.217

Fuente: CNR, 2019

Dentro del proyecto evaluado, se señala que se optó por consolidar los embalses para satisfacer las necesidades hídricas de las áreas 2 y 3. El costo estimado del proyecto es de **264.125 millones de pesos** (8.496.866 UF).

En la actualidad, la Comisión Nacional de Riego se encuentra desarrollando el proyecto "Construcción Sistema de Riego Río Rapel, Región de O'Higgins (Código BIP 40014090-0)". El objetivo general del estudio de Prefactibilidad es evaluar y proponer a lo menos dos alternativas de proyectos integrales, que permitan dar solución al abastecimiento de agua para riego, principalmente a las comunas de Navidad, Litueche y la Estrella, generando los diseños preliminares de las obras necesarias de captación, conducción, acumulación y distribución del agua obtenida desde el río Rapel, estimando los costos, beneficios agroeconómicos y rentabilidad privada y social para cada alternativa propuesta. Se espera que sus resultados estén disponibles para el mes de agosto de 2022.

El paso siguiente corresponde al estudio de prefactibilidad a ser ejecutado por la Dirección de Obras Hidráulicas.



Fuente: CNR, 2019

Figura 6-4 Proyecto Integral de Riego Rapel

6.3.2 Tecnificación del riego

La tecnificación en riego por parte de la inversión que realiza la ley de riego ha sido altamente beneficiosa para los usuarios. Actualmente las bonificaciones de esta ley cubren alrededor de 15.000 hectáreas con una inversión neta que desde el año 2011 suma un total de **\$66.130.947.33.-** De esta forma, el promedio de inversión en 10 años es de alrededor de \$ 6.613 millones por año.

6.3.3 Organizaciones de Usuarios de Agua

En el caso de las iniciativas que van en directo beneficio de las Organizaciones de usuarios de aguas, se encuentran dentro de las más relevantes:

Saneamiento y Regularización de derechos de aguas río Tinguiririca.

Diagnóstico desarrollo del riego en la Segunda Sección río Claro y estero Zamorano

Diagnóstico para desarrollar plan de riego en cuenca de Cachapoal y Tinguiririca.

Difusión sobre gestión técnica legal y organizacional en usos de aguas subterráneas región de O'Higgins.

Entre todas estas iniciativas mandatadas por la Comisión Nacional de Riego se presupuestaron cerca de nueve mil millones de pesos.

6.3.4 Iniciativas de empresas privadas

En la cuenca se encuentran agroindustrias y particularmente la División El Teniente de CODELCO. Actualmente, esta división administra las aguas del tranque de relaves Carén, desde donde realiza una descarga de hasta 1.000 l/s hacia las aguas del Estero Alhué, en su tramo medio. Estas aguas son empleadas por los agricultores de la cuenca, donde representaría aproximadamente un 25% del total de la oferta de agua.

Dentro de la estrategia corporativa de CODELCO se encuentra la disminución del consumo de agua fresca, en todas sus divisiones. En División El Teniente se está evaluando optimizar el uso de agua en espesadores, así como la recirculación de agua desde el Tranque Carén (a través de la canaleta de relave), e incluso la desalación en el largo plazo.

En el escenario de recirculación de agua, se podría generar un conflicto con los usuarios del agua de Estero Alhué, ya que verían mermada la disponibilidad de agua, abriendo un frente no esperado por CODELCO.

6.4 Seguridad Hídrica ante Eventos Extremos

6.4.1 Defensas fluviales

La Dirección de Obras Hidráulicas desarrolló en el año 2008 el “Diagnóstico, Proposición de Defensas Fluviales y Plan de Manejo en Río Cachapoal. Tramo: Puentes Ruta 5 hasta Las Juntas, Región de O’Higgins”, instrumento que cubre el río Cachapoal, desde el puente de la Ruta 5 Sur hasta la localidad de Las Juntas, en una longitud aproximada de 85 km, y está orientado a dar solución a problemas de inundación que afecten poblaciones, infraestructura pública y otras, a través de medidas estructurales, y no-estructurales.

En el año 2012, la DOH desarrolló también la “Consultoría Diseño de obras fluviales Río Cachapoal, sectorial Región del Libertador Bernardo O’Higgins”, que complementó en el año 2014 con financiamiento FNDR, para los tramos Puente Alto, Lo Miranda, El Crucero, Idahue Etapa 2, Monte Lorenzo Etapa 2, Monte Lorenzo Abajo, El Molino, Tunca Abajo, Viceparroquia, Pichidegua, Pataguas Orilla, Santa Julia.

En el río Tinguiririca se desarrolló el “Proyecto Defensas Fluviales Río Tinguiririca, Sector Puente La Gloria” (MOP Vialidad, 1990) que consideró el diseño de ingeniería de detalle de 3 km de obras de defensas fluviales por ambas riberas. En el año 2013, la DOH realizó el estudio de “Consultoría Diseño de obras fluviales Río Tinguiririca, Región del Libertador Bernardo O’Higgins”.

Las defensas fluviales se han ido implementando progresivamente en el tiempo, sin que se haya completado el total de las obras diseñadas originalmente.

6.5 Gestión institucional

6.5.1 Dirección General de Aguas

La Dirección General de aguas, dentro de sus atribuciones, también tiene la inversión en la conservación de estaciones meteorológicas. En ese sentido, la institución ha invertido cerca de 230 millones de pesos en estas iniciativas.

A nivel regional, la gestión institucional comprende distintas acciones. Por un lado, con fecha 30 de diciembre de 2021 y mediante la Resolución Exenta N° 1.399/21, se ordena a los usuarios de aguas superficiales cuyos puntos de captación se encuentran ubicados en la región de O’Higgins, específicamente en la cuenca del río Rapel, instalar y mantener sistemas de medición y de transmisión de extracciones efectivas (MEE).

En la resolución se establecen requerimientos diferenciados para las obras de captación según fueron comprendidas o no en la Resolución exenta DGA VI N°19 de 2021, según se muestra en las tablas siguientes.

Tabla 6-5 Niveles de exigencia para obras de captación ubicadas en las áreas de la cuenca del Rapel no comprendidas en la resolución DGA VI (Exenta) N° 19/21, y que no corresponden a la subcuenca del río Rapel

Componente	Niveles de Exigencia			
	Caudales muy pequeños	Menor	Medio	Mayor
Rango de caudales DAA consuntivos (l/s)	Igual o menor a 500 l/s	Mayor a 500 l/s y menor o igual a 1.000 l/s	Mayor a 1.000 l/s y menor a 5.000 l/s	Igual o mayor a 5.000 l/s
Rango de caudales DAA no consuntivos	Igual o menor a 500 l/s	Mayor a 500 l/s y menor o igual a 1.000 l/s	Mayor a 1.000 l/s y menor a 5.000 l/s	Igual o mayor a 5.000 l/s
Frecuencia de medición	1 medición/mes	1 medición/mes	1 medición/hora	1 medición/hora
Frecuencia de transmisión	1 transmisión / mes	1 transmisión / mes	1 transmisión / medición	1 transmisión / medición
Desfase entre la medición y la transmisión	Máximo 1 mes	Máximo 1 mes	Máximo 7 días	Máximo 7 días
Plazo para instalación del sistema de medición y registro en el SW DGA / MEE	24 meses	24 meses	18 meses	12 meses
Plazo para instalación de sistema de transmisión y comienzo transmisiones	30 meses	30 meses	24 meses	18 meses

Fuente: DGA VI, Resolución Ex N° 1.399/21

Desde el punto de vista de la fiscalización, desde el año 2018 se han realizado más de 441 investigaciones, de las cuales en 25 se corroboró infracciones al Código de Aguas, con multas por más de 1.500 millones de pesos.

Tabla 6-6 Niveles de exigencia para obras de captación ubicadas en las áreas de la cuenca del Rapel no comprendidas en la resolución DGA VI (Exenta) N° 19/21, y que sí corresponden a la subcuenca del río Rapel

Componente	Niveles de Exigencia			
	Caudales muy pequeños	Menor	Medio	Mayor
Rango de caudales DAA consuntivos (l/s)	Igual o menor a 10 l/s	Mayor a 10 l/s y menor o igual a 30 l/s	Mayor a 30 l/s y menor a 60 l/s	Igual o mayor a 60 l/s
Rango de caudales DAA no consuntivos	Igual o menor a 10 l/s	Mayor a 10 l/s y menor o igual a 30 l/s	Mayor a 30 l/s y menor a 60 l/s	Igual o mayor a 60 l/s
Frecuencia de medición	1 medición/mes	1 medición/mes	1 medición/hora	1 medición/hora
Frecuencia de transmisión	1 transmisión /mes	1 transmisión /mes	1 transmisión /medición	1 transmisión /medición
Desfase entre la medición y la transmisión	Máximo 1 mes	Máximo 1 mes	Máximo 7 días	Máximo 7 días
Plazo para instalación del sistema de medición y registro en el SW DGA / MEE	24 meses	24 meses	18 meses	12 meses
Plazo para instalación de sistema de transmisión y comienzo transmisiones	30 meses	30 meses	24 meses	18 meses

Fuente: DGA VI, Resolución Ex N° 1.399/21

6.6 Gobernanza

La cuenca cuenta con dos iniciativas previas, ejecutadas por CSIRO, para la implementación de una gestión integrada de recursos hídricos.

- CSIRO, 2010. Plan de Gestión Para la Implementación de la Estrategia de Gestión Integrada de la Cuenca Rapel.
- Bennison et al., 2021. Plan de Gestión Integrada para los Recursos Hídricos de la Cuenca del Rapel. Fundación CSIRO Chile.

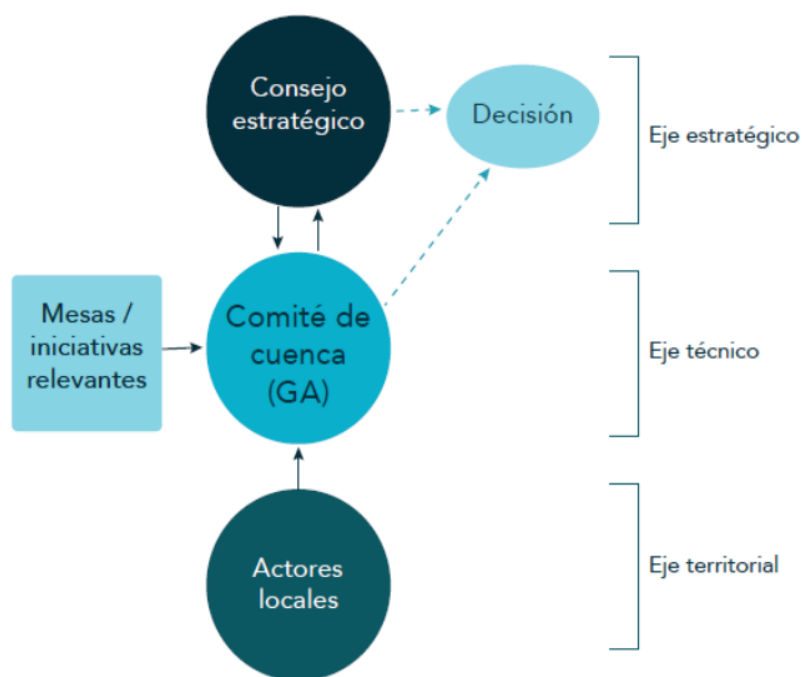
Según se indica en el informe de Bennison *et al.* (2021), como resultado de estas iniciativas, se formó el Grupo Asesor (GA) de la cuenca del Rapel, que colaboró en las primeras reuniones del Plan Estratégico. Dado el gran número y diversidad de actores, posteriormente se priorizó el trabajo por grupos temáticos o de trabajo.

En este informe se propone una estructura de gobernanza para la cuenca del Rapel, basada en la institucionalidad regional actual, que consta de tres instancias principales de participación: los Actores Locales, el Comité de Cuenca y el Consejo Estratégico. Los Actores Locales, que incluyen a usuarios de agua, funcionarios públicos, instituciones

académicas y científicas, representantes del medio ambiente, turismo y la sociedad civil, son la instancia formal de participación ciudadana y aportan información territorial valiosa, levantan preocupaciones y desafíos sobre los recursos hídricos, proponen oportunidades para avanzar hacia la visión de la cuenca y dan legitimidad y sentido práctico al proceso de gobernanza.

El Comité de Cuenca, basado en el GA actual, está compuesto por hasta 19 representantes de diferentes sectores y su objetivo es avanzar hacia la visión de la cuenca mediante la colaboración participativa y la toma de decisiones basadas en la mejor evidencia científica disponible. El Comité de Cuenca actualiza la visión de la cuenca, desarrolla un Plan de Gestión Integrada de Recursos Hídricos (PGIRH), sistematiza información relevante relacionada con los recursos hídricos, adopta medidas para promover la gestión integrada, sostenible y sustentable de las aguas de la cuenca y apoya la difusión y educación ciudadana.

El Consejo Estratégico, compuesto por hasta 9 representantes del sector público, privado y de la sociedad civil, proporciona orientación estratégica económica y política al Comité de Cuenca. Esta estructura organizacional busca garantizar la autonomía del Comité de Cuenca y su independencia de intereses particulares, y en este sentido, se propone que se materialice en una corporación de derecho privado sin fines de lucro.



Fuente: Bennison et al., 2021

Figura 6-5 Estructura de Gobernanza de la cuenca de Rapel

El presupuesto anual para el funcionamiento del Consejo de Cuenca es de \$71.058.750.-

6.7 Revisión de Planes Existentes

6.7.1 Plan Regional de Recursos Hídricos 2020 – 2029

El Plan Regional de Recursos Hídricos 2020 – 2029, de la región de O´Higgins, aborda una caracterización hidrológica de las cuencas que forman parte de la región, la que también incluye la subcuenca del Maipo, no abordada en este Plan, así como el secano costero.

Las iniciativas priorizadas son las siguientes:

1. **Plan de recarga de acuíferos subterráneos**, a ser ejecutado por la Comisión Nacional de Riego, y contempla un estudio para evaluar y monitorear esta experiencia inicialmente en la segunda sección del Río Cachapoal³⁶.
2. **Mitigación de la Sequía**, que además del estudio de recarga de acuíferos considera una mesa participativa con servicios públicos relacionados, la que funcionó entre 2020 y 2021.
3. **Constitución de derechos de agua provisionales con cargo a la recarga de acuíferos**, que apunta a facilitar la facultad legal de la DGA establecida en el artículo 67 del Código de Aguas.
4. **Constitución de comunidades de aguas subterráneas**, mediante el establecimiento de incentivos concretos y adecuada coordinación entre los distintos entes públicos (CNR, INDAP y DGA principalmente), para ir constituyendo dichas comunidades de aguas en los distintos sectores acuíferos, partiendo por aquellos en los que exista un uso más intensivo. Se propuso como meta constituir dos CAS al año.
5. **Digitalización**, que incluye Monitoreo de Extracciones Efectivas, promoción de la telemetría, plataformas de información en línea de la DGA, extracción de áridos, etc.
6. **Educación**, cultura del agua, sistema de inversiones públicas (APR, Juntas de Vigilancia, OUAs), fomento al riego y fortalecimiento.
7. **Innovación**, mediante una Gobernanza para el manejo integrado de los recursos hídricos, tecnología, desalinización, ERNC y otros.
8. **Legal**, mediante asesoría permanente a mesas de trabajo y coordinación con DGA.
9. **Fortalecimiento de DGA**, mediante la incorporación de 1 profesional financiado por el GORE durante 10 años.
10. **Limitación de subdivisiones de 5.000 m**, mediante una propuesta de modificación de Ley 3.516, limitándola a 3,0 ha.
11. **Transferencia de Recursos GORE a INDAP, CORFO, DOH y DGA**, con el objeto de acelerar la inversión en infraestructura, y compromiso para la búsqueda de recursos internacionales.
12. **Formación de Capital Humano**, específicamente en capital social en recursos hídricos, nuevas tecnologías de agricultura de precisión y riego, gobernanza y gestión.

³⁶ Este estudio se encuentra actualmente en ejecución

13. **Avanzar en Calidad de Aguas**, mediante la implementación de sistemas de tratamiento para eliminar coliformes fecales y metales pesados.
14. **Nuevas fuentes de agua**, como reutilización de aguas servidas, desalinización, captura de agua del aire y otros.
15. **Estudios**, que permitan desarrollar inversiones y obras que aseguren la pronta entrada en operación de las soluciones que se propongan.
16. **Fomentar la creación de Juntas de Vigilancia y OUA**, para reducir el nivel de conflictos en cauces no regulados.

El Plan priorizó 23 iniciativas, las que en su conjunto tienen un presupuesto de \$ 9.933 millones de pesos en estudios, y \$165.300 millones de pesos en inversión (infraestructura). De esta forma, el costo total del Plan es de \$175.233 millones de pesos (UF 5.745.344, al año 2021). La inversión promedio anual estimada es de 17.523 millones de pesos.

6.7.2 Plan de Riego Cachapoal (CNR)

Se revisó el Estudio Básico Diagnóstico para Desarrollar Plan de Riego en Cachapoal (CNR, 2017) y en Tinguiririca (CNR, 2016), identificándose las siguientes iniciativas. En la **Tabla 6-7** se listaron las iniciativas que mencionan exclusivamente a la cuenca del Rapel y sus afluentes.

En complemento, el equipo profesional del presente Plan participó de las actividades asociadas a la Propuesta de **Plan de Acción Regional de Cambio Climático** para la región de O'Higgins, instrumento que todavía se encuentra en desarrollo.

Tabla 6-7 Iniciativas contenidas en Planes Existentes

Iniciativa	Fuente
Diagnóstico de condiciones técnicas, legales y económicas para el emplazamiento de un embalse de cabecera en la Cuenca del Cachapoal.	PGR Cachapoal
Mejoramiento de obras de captación y conducción del sistema de riego del Río Peuco.	PGR Cachapoal
Transferencia Tecnológica en Riego Tecnificado y Métodos de Riego para los Agricultores del Río Cachapoal, Río Peuco y Estero Codegua	PGR Cachapoal
Transferencia para la Gestión Eficiente de las Juntas de Vigilancia del Río Peuco y Estero Codegua.	PGR Cachapoal
Transferencia para la Gestión Eficiente de las Juntas de Vigilancia del Río Cachapoal	PGR Cachapoal
Transferencia Tecnológica y Gestión Eficiente para las OUAs de la Segunda Sección del Río Claro de Rengo	PGR Cachapoal
Diagnóstico y recopilación de antecedentes técnicos y legales para el traslado de pozos profundos en la Primera Sección del Río Claro	PGR Cachapoal
Programa de Capacitación y Transferencia Técnica en Métodos de Riego y Manejo Hídrico de Cultivos para los Agricultores del Río Claro de Rengo	PGR Cachapoal

Iniciativa	Fuente
Transferencia Tecnológica y Gestión Eficiente para las OUAs del Estero Zamorano.	PGR Cachapoal
Programa de Capacitación y Transferencia Técnica en Métodos de Riego y Manejo Hídrico de Cultivos para los Agricultores del Estero Zamorano	PGR Cachapoal
Transferencia Tecnológica para la Gestión Eficiente de los Recursos Hídricos en el Secano de las comunas de Litueche, La Estrella y Navidad.	PGR Cachapoal
Estudio de Prefactibilidad para la construcción de un sistema de abastecimiento de agua para el secano de las comunas de Litueche, La Estrella y Navidad.	PGR Cachapoal
Diagnóstico para identificar necesidades de Regulación de Agua a través de Microtranques en el Secano de la VI Región.	PGR Cachapoal
Programa de Capacitación y Transferencia Técnica en Métodos de Riego y Manejo Hídrico de Cultivos para los Agricultores del Secano Interior y Costero de la Cuenca del río Cachapoal-Rapel	PGR Cachapoal
Estudio Básico Diagnóstico para micro proyectos en Tinguiririca, Sexta Región	PGR Tinguiririca
Programa Transferencia tecnológica y acompañamiento para mejorar eficiencia del riego en la cuenca del Tinguiririca	PGR Tinguiririca
Estudio Básico Diagnóstico para micro proyectos extraprediales en la Zona de Riego	PGR Tinguiririca
Estudio Básico para el proyecto "Alternativas de conducción de aguas, Marchigüe"	PGR Tinguiririca
Plan piloto para la distribución de aguas desde tranques de la Concesionaria Convento Viejo (CCV)	PGR Tinguiririca
Estudio Diagnóstico del Estado Actual de los Tranques existentes en la Zona de Riego	PGR Tinguiririca
Estudio Diseño de Tranques y de mejoras en tranques existentes en la Zona de Riego	PGR Tinguiririca
Estudio Básico Diagnóstico para micro proyectos mitigación ambiental en Tinguiririca, Sexta Región	PGR Tinguiririca
Estudio Identificación de nuevos puntos de captación y acumulación de aguas lluvias en la Zona de Secano	PGR Tinguiririca
Estudio Diseño de Tranques y de mejoras en tranques existentes en la Zona de Secano	PGR Tinguiririca
Estudio Diagnóstico del Estado Actual de los Tranques existentes en la Zona de Secano	PGR Tinguiririca
Estudio de Embalse de regulación en el río Tinguiririca	PGR Tinguiririca
Programa de Transferencia para el Fortalecimiento de las OUA	PGR Tinguiririca
Plan piloto para la administración de tranques comunitarios	PGR Tinguiririca
Estudio Identificación de nuevos puntos de captación y acumulación de aguas lluvias en Zona de Riego	PGR Tinguiririca
Estudio de aprovechamiento de aguas no utilizadas (del fin de semana y/o no uso nocturno) en la Zona de Riego	PGR Tinguiririca

Fuente: PGR Cachapoal (CNR, 2017) y PGR Tinguiririca (CNR, 2016).

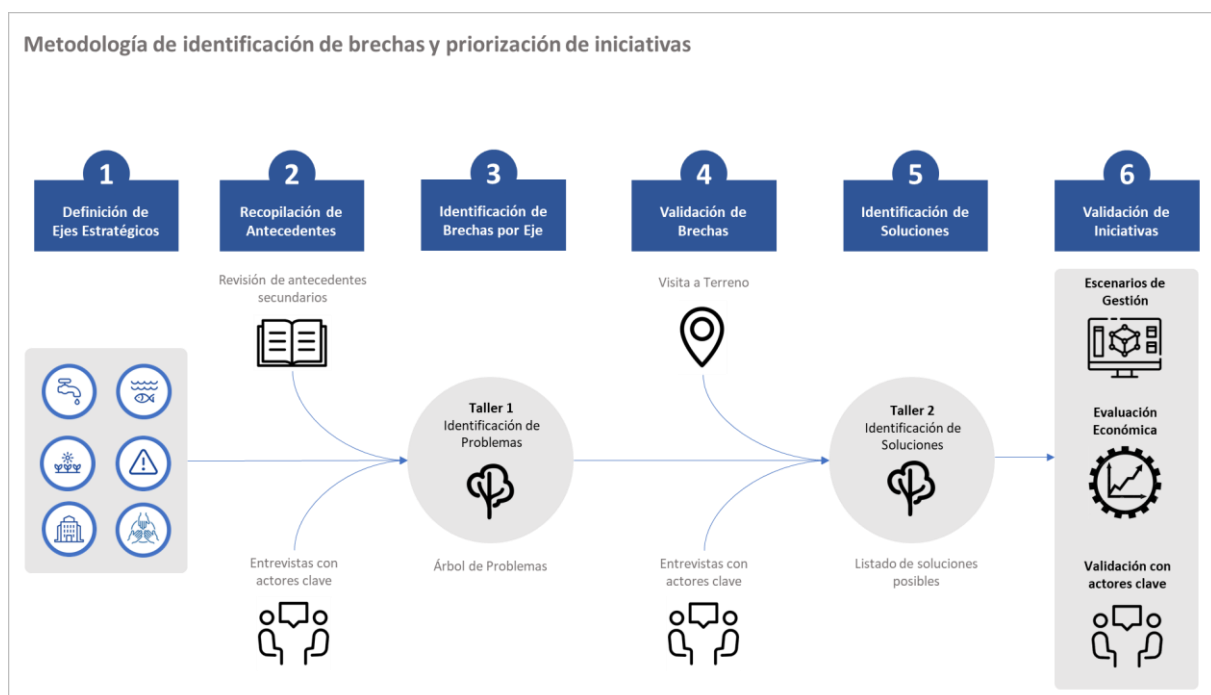
7 CARTERA DE INICIATIVAS PROPUESTAS

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**, y la **Figura 2-2** presenta su alcance territorial.

En la Figura 7-1 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 7-1 Metodología de selección de iniciativas

A continuación, se presenta la síntesis de alternativas priorizadas por eje estratégico. En cada una de ellas se describe el proceso de análisis (árbol de soluciones), las acciones de validación realizadas con los actores de la cuenca, y el análisis económico que justifica su valorización.

7.1 Síntesis de Alternativas

A continuación, se presenta la síntesis de alternativas priorizadas por eje estratégico, a partir de las brechas identificadas previamente en el numeral 5.2 del presente informe. En cada una de ellas se describe el proceso de análisis y las acciones de validación realizadas con los actores de la cuenca.

En complemento, para el resto de los Ejes de trabajo, las iniciativas propuestas fueron costeadas ya sea a partir de evaluación de precios unitarios según valores de referencia, o bien a partir de presupuestos de estudios, programas o proyectos similares realizados dentro de la cuenca, en la región o sectores con características similares. En cada iniciativa se presenta el detalle de los valores de referencia empleados.

El Anexo K.1 contiene el listado valorizado de la totalidad de las iniciativas del Plan Estratégico.

El Anexo K.2 presenta el análisis económico de las distintas alternativas de solución de la brecha hídrica consideradas.

El Anexo K.3 presenta la memoria de cálculo de los costos de las iniciativas priorizadas a partir del árbol de problemas.

El Anexo K.4 presenta las fichas de las iniciativas descritas a continuación.

7.1.1 Seguridad Hídrica para las Personas

La seguridad hídrica para las personas consiste en la provisión de agua para consumo humano y saneamiento, en cantidad, calidad y en la oportunidad requerida para un desarrollo adecuado a nivel individual y colectivo, ya sea en condiciones urbanas o rurales.

Se identificaron tres líneas estratégicas: PER 1 - Seguridad hídrica para viviendas conectadas a sistemas públicos de agua potable urbana; PER 2 - Seguridad hídrica para viviendas conectadas a sistemas públicos de agua potable urbana; y PER 3 Seguridad Hídrica para viviendas desconectadas de las Redes Públicas de Agua. Estas se presentan junto con las medidas asociadas en la **Tabla 7-1**.

Tabla 7-1 Iniciativas de Seguridad Hídrica para las personas y Brechas asociadas

Línea de Acción	Iniciativa	Brecha
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
PER 2 - Seguridad Hídrica para la Red Pública Rural	PER 2.1: Plan de Desarrollo Integrado de Infraestructura Hidráulica y Sanitaria	BPER1. Población en riesgo de abastecimiento de agua potable 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
	PER 2.2: Programa de Capacitación y Acreditación de Dirigentes de SSR	BPER 5. Administración de SSR con debilidades en gestión actual y proyectada para la Ley de Saneamiento Rural
	PER 2.3: Programa de Registro y Profesionalización de los SSR	BPER 5. Administración de SSR con debilidades en gestión actual y proyectada para la Ley de Saneamiento Rural
	PER 2.4: Programa de Apoyo para la elaboración de Planes de Inversión y de Mantenimiento Preventiva	BPER 3. Infraestructura de abastecimiento y saneamiento con pérdidas y estado regular BPER 5. Administración de SSR con debilidades en gestión actual y proyectada para la Ley de Saneamiento Rural
	PER 2.5: Proyecto para un Sistema de información para los Servicios Sanitarios Rurales	BPER 5. Administración de SSR con debilidades en gestión actual y proyectada para la Ley de Saneamiento Rural
	PER 2.6: Proyecto de Instalación de Telemetría en los Servicios Sanitarios Rurales	BPER 5. Administración de SSR con debilidades en gestión actual y proyectada para la Ley de Saneamiento Rural

Línea de Acción	Iniciativa	Brecha
	PER 2.7: Plan de Aumento en la cobertura del sistema de abastecimiento de agua para consumo humano en sectores rurales	BPER1. Población en riesgo de abastecimiento de agua potable
	PER 2.8: Plan de Aumento en la cobertura de saneamiento rural	BPER 4. Baja cobertura de Saneamiento rural
	PER 2.9: Estudio Técnico para la incorporación de Sistemas de Saneamiento alternativos	BPER 4. Baja cobertura de Saneamiento rural
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 en riesgo de abastecimiento de agua potable

Fuente: Elaboración propia

El detalle de las Líneas de Acción e iniciativas se presenta en el punto siguiente.

7.1.1.1 PER 1: Seguridad Hídrica para la Red Pública Urbana

Esta línea de acción corresponde al aumento material de la seguridad hídrica para las personas que se abastecen de las redes públicas de agua potable urbana, dentro del territorio operacional de la empresa sanitaria.

7.1.1.1.1 PER 1.1: Aumento en la cobertura considerado dentro de los Planes de Desarrollo de la empresa sanitaria

La brecha BPER2, Déficit hídrico para consumo humano en la situación proyectada según la tendencia poblacional, estimó que el volumen de agua adicional para mantener el aprovisionamiento para consumo humano en zonas urbanas es de 30,1 hm³ al año 2050. Esta mayor demanda corresponde al aumento del número de clientes en sectores urbanos, por lo que se deberán extender las redes por parte de la empresa sanitaria a cargo de la concesión.

El propósito de esta iniciativa es provisionar dentro del Plan Estratégico las inversiones requeridas para cubrir la demanda adicional identificada en sectores urbanos, y que estarán contenidas dentro de los Planes de Desarrollo de la empresa sanitaria correspondiente. De esta forma, la iniciativa puede ser considerada como catastrada, mientras que la estimación es totalmente referencial.

En consecuencia, las actividades principales no están definidas en este punto, ya que responderán a las condiciones particulares de cada centro poblado. Por lo mismo, solo se procedió a una estimación general de costos, a partir de parámetros estandarizados.

El número de beneficiarios estimado corresponde a 248.057 personas (aumento de la población urbana estimado al año 2050). Si se considera la densidad de habitantes por vivienda que se presenta en la **Tabla 5-8**, el número de viviendas totales es de 82.139.

Se realizó una estimación del costo por ampliación de 1 arranque en la red (por cada vivienda), bajo el supuesto que se trata de a lo menos 8 arranques por km lineal de distribución (Anexo K5). En consecuencia, se dimensionó la red de distribución, cantidad de válvulas y arranques para esta cantidad de viviendas. Al costo material del arranque individual, se incorporó otros costos de obras complementarias, como pueden ser plantas elevadoras de agua potable, extensiones de ductos entre sectores, obras especiales, atraviesos, etc., así como los costos de ingeniería y permisos, e imprevistos. El costo estimado llegó a \$8,3 millones de pesos por vivienda, por lo que, al considerar el total de viviendas a incorporar a la red pública urbana, el monto alcanza **\$681.754.- millones de pesos**.

La duración de esta medida es de 30 años, y su implementación se produce en el largo plazo.

La institución responsable es la empresa sanitaria asignada a la concesión de los sectores urbanos dentro de la cuenca, con la supervisión de la SISS. El financiamiento es privado, en tanto está definido así por el modelo de concesiones.

Esta iniciativa se relaciona con la iniciativa PER 2.1 Plan de Desarrollo Integrado de Infraestructura Sanitaria, la cual se espera que provea estrategias que permitan, por ejemplo, la interconexión de sectores urbanos y rurales, entre otros.

La meta asociada es la provisión de los 30,1 hm³ señalados, y el indicador de proceso corresponde a los hm³ de agua efectivamente provistos, como aumento de oferta.

7.1.1.2 PER 2: Seguridad Hídrica para la Red Pública Rural

Esta Línea de Acción agrupa a las iniciativas destinadas a mejorar la operación actual y ampliar las redes de los Servicios Sanitarios Rurales.

7.1.1.2.1 PER 2.1: Plan de Desarrollo Integrado de Infraestructura Hidráulica y Sanitaria

Las brechas BPER1, BPER2 y BPER3 señalan, respectivamente, la existencia de una porción de la Población en riesgo de abastecimiento de agua potable y un conjunto de viviendas efectivamente abastecidas por camiones aljibe; el déficit hídrico para consumo humano en la situación proyectada según la tendencia poblacional; y la existencia de infraestructura de abastecimiento y saneamiento con pérdidas y estado regular. La brecha BPER 6 señala además que los SSR no están conectados ni coordinados para los desafíos del cambio climático y aumento de la demanda no regulada

Con el propósito de aumentar el desempeño del indicador IPER 1, proporción de la población que accede al agua en forma segura y sin riesgo, que, si bien es de un 96,0%, detrás de esta cifra se identifica a lo menos un total de 1.540 viviendas abastecidas mediante camiones aljibe. Complementariamente, se espera un aumento de la demanda de agua por crecimiento poblacional equivalente a 44,95 hm³ al año 2050.

Como una primera aproximación general a este problema, complejo por lo demás, esta iniciativa considera la realización de un estudio técnico de largo plazo del desarrollo poblacional en la cuenca, con el propósito de identificar no solo las tendencias actuales de crecimiento, basadas en condiciones históricas, sino que también incorpore escenarios de desarrollo contruidos a partir de condiciones potenciales, como puede ser el desarrollo turístico, o bien el establecimiento de nuevos polos rurales que se conviertan en urbanos.

Ante estos escenarios, se deben evaluar distintas alternativas de provisión de recursos hídricos, dentro de las que destacan:

- La interconexión de sistemas urbanos con SSR aledaños
- La interconexión entre SSR cercanos, con el propósito de mejorar, en conjunto, la Seguridad Hídrica del conjunto de localidades
- La incorporación de los embalses de regadío como fuentes principales o de respaldo de los SSR aledaños

- La incorporación de los embalses de regadío como fuente de respaldo para los sistemas urbanos

Se trata de un estudio técnico, que debiera ser actualizado con la misma frecuencia en que se actualizan los Planes de Desarrollo de las empresas sanitarias. De la misma forma, las recomendaciones de este estudio debieran ser incorporadas dentro de la planificación de las obras hidráulicas (embalses y canales), así como ser revisadas y complementadas por la estructura de gobernanza propuesta para la cuenca. Se relaciona directamente con las iniciativas PER 1.1: Aumento en la cobertura del sistema de abastecimiento de agua en sectores urbanos y PER 2.7: Aumento en la cobertura del sistema de abastecimiento de agua para consumo humano en sectores rurales. La diferencia con éstas es que la iniciativa PER 2.1 es exclusivamente un estudio de gabinete, mientras que las otras iniciativas buscan dimensionar la inversión requerida para abordar el abastecimiento de agua para las personas.

Los beneficiarios corresponden a todos los habitantes de la cuenca del Rapel, ya que en su concepción comprende a la totalidad de las localidades urbanas y rurales.

Tabla 7-2. Partidas del Plan de Desarrollo Integrado

Partida	Alcance	Monto (millones de \$)
Estudio tendencial	Revisión de tendencias de desarrollo demográfico y del consumo de agua. Definición de escenarios potenciales	100
Estudio de déficit hídrico	Determinación del déficit hídrico desde fuentes naturales o déficit legal por disponibilidad de derechos de aprovechamiento de agua	100
Evaluación de alternativas de interconexión	Evaluación de alternativas de interconexión de infraestructura hidráulica y sanitaria Revisión de condiciones regulatorias y operacionales de la interconexión Evaluación de los costos de inversión y operación e impacto en tarifa	300
Total		500

Fuente: Elaboración propia

Como se presenta en la **Tabla 7-2**, el costo total estimado es de **\$500 millones de pesos**; el período de desarrollo es de 12 meses; y se espera que se implemente en el corto plazo. Dado los distintos niveles de gestión que comprende esta iniciativa, se propone que sea liderada por el Gobierno Regional, con fondos regionales.

La meta de este indicador es la ejecución del estudio técnico, y coincide con el indicador de proceso.

7.1.1.2.2 PER 2.2: Programa de Capacitación y Acreditación de Dirigentes de SSR

La brecha BPER5: Administración de SSR con debilidades en gestión actual y proyectada para la Ley de Saneamiento Rural, hace referencia a las debilidades operacionales de los Servicios Sanitarios Rurales, las que en este caso se refieren a la falta de personal de dirección, administrativo y operacional que cuente con las competencias necesarias para desempeñarse en los SSR.

En consecuencia, el propósito de esta iniciativa es contar con una masa crítica de directores, administradores, profesionales y técnicos cuya capacidad pueda ser comprobada ante la autoridad, para lo cual se propone un programa de formación permanente orientado a cada uno de estos cargos dentro de los APR.

A continuación, se presenta una breve referencia de los contenidos que se pudieran abordar en estos cursos, los que sin duda deben ser complementados al momento de ser diseñados. La duración debiera ser de aproximadamente 100 horas pedagógicas cada uno.

Este programa debe ser dictado por una entidad técnica autorizada, que pueda emitir las certificaciones correspondientes. Se espera acreditar a lo menos 60 personas al año, en estas tres categorías (directores, administradores, y operadores), con un costo anual de \$30 millones de pesos. La iniciativa debe ser de carácter permanente, por lo que, en los 30 años del plan, alcanzará un total de \$900 millones de pesos. La institución responsable es la Subdirección de Servicios Sanitarios de la Dirección de Obras Hidráulicas de la DOH, con financiamiento es sectorial, aunque puede ser complementado con fondos regionales. El detalle se presenta en la **Tabla 7-4**.

Dentro de los contenidos de la capacitación se debe considerar los módulos y alcances del Sistema de Información para los Servicios Sanitarios Rurales propuesto en PER 2.5.

Los beneficiarios directos pueden ser considerados como las 60 personas capacitadas por año, por 30 años, lo que equivale a 1.800 personas. En forma indirecta, se beneficiará a todas las personas que habitan en los sectores rurales de la cuenca.

La meta de esta iniciativa es capacitar 60 personas al año por 30 años. El indicador de proceso es el número de personas efectivamente capacitadas.

La iniciativa se complementa con PER 2.3: Programa de Registro y Profesionalización de los SSR, ya que esta iniciativa requiere de profesionales acreditados para trabajar en los SSR.

Tabla 7-3. Contenidos de referencia para la acreditación de directores, administradores y técnicos

Curso	Legales	Administrativos	Operacionales
Directores	Legislación sanitaria (Ley 20.998) Código de Aguas Servidumbres, comodatos y otros	Gestión de personas Prevención de Riesgos Rol del director Rendición de cuentas Auditoría de cuentas Control de pagos y morosidad Cálculo de tarifas	Calidad de aguas y su monitoreo Nociones generales de infraestructura hidráulica y obras sanitarias
Administradores	Legislación sanitaria (Ley 20.998) Código de Aguas Legislación laboral Servidumbres, comodatos y otros	Gestión de personas Prevención de Riesgos Rol del Gerente Rendición de cuentas Auditoría de cuentas Control de pagos y morosidad Cálculo de tarifas	Calidad de aguas y su monitoreo Elementos de infraestructura hidráulica y obras sanitarias Operación y mantenimiento de redes de saneamiento
Técnicos	Legislación laboral	Prevención de Riesgos Registros	Calidad de aguas y su monitoreo Instalación de infraestructura hidráulica y obras sanitarias Operación y mantenimiento de redes de saneamiento

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-4. Partidas para la Profesionalización de los SSR

Curso	N° de personas por curso	Cantidad de cursos al año	N° de años	Costo Unitario (Millones de \$)	Costo Total (millones de \$)
Directores	20	1	30	10	300
Administradores	20	1	30	10	300
Técnicos y operadores	20	1	30	10	300
Total					900

Fuente: Elaboración propia

7.1.1.2.3 PER 2.3: Programa de Registro y Profesionalización de los SSR

La brecha BPER5: Administración de SSR con debilidades en gestión actual y proyectada para la Ley de Saneamiento Rural, hace referencia a las debilidades operacionales de los Servicios Sanitarios Rurales, las que se deben en este caso a la no dependencia del Ministerio de Obras Públicas, y a la ausencia en muchos casos de profesionales que administren el SSR, recayendo la responsabilidad de administración en el directorio o bien en profesionales de tipo administrativo, pero no técnicos.

El propósito de esta iniciativa es promover el registro de los SSR en el Ministerio de Obras Públicas, así como promover la contratación de profesionales para que realicen una gerencia en cada servicio, de cara a la implementación de la Ley 20.998 de Servicios Sanitarios Rurales.

Para esto, se proponen dos actividades principales: en primer lugar, el apoyo a la elaboración de las carpetas técnicas requeridas para la incorporación de los SSR al registro del MOP; y, en segundo término, un subsidio a la contratación de administradores o gerentes. Ambas iniciativas se detallan a continuación.

Programa de incorporación de SSR al registro MOP

Según se establece en el artículo transitorio segundo de la Ley N° 20.998, "Los comités y cooperativas de agua potable rural que se encuentren prestando servicios a la entrada en vigor de esta ley se entenderán titulares de sus respectivas licencias, por el solo ministerio de la ley. Sin embargo, dentro de los dos años siguientes a la entrada en vigor del reglamento de esta ley, los comités y cooperativas de agua potable rural existentes deberán solicitar su inscripción en el registro de operadores de servicios sanitarios rurales, para lo cual deberán acreditar la vigencia de su personalidad jurídica y la efectividad de estar prestando el servicio. Además, deberán especificar el área que sirven."

Si bien este requerimiento se ha postergado, para acceder a la condición de "licenciario" de la concesión rural, los SSR deben elaborar una carpeta técnica que acredite, entre otros, la vigencia de la organización, de su directiva, de los estatutos, la tenencia de los derechos

de aprovechamiento de agua superficiales o subterráneos, y la demarcación del área operacional del servicio. Se desconoce la cantidad de SSR no inscritos en el MOP.

En consecuencia, para incentivar la inscripción de los SSR que actualmente no son de dependencia del MOP, se propone la realización de una consultoría externa que capacite a los directores de estos SSR en la necesidad y conveniencia del registro de los mismos, señalando las ventajas de estar al alero de la Dirección de Obras Hidráulicas, así como que también recopile los antecedentes, regularice los antecedentes pendientes, presente y tramite hasta su aprobación la inscripción de, a lo menos, 50 SSR. Se estima que esta actividad tiene un costo de \$165 millones de pesos. La duración de este programa es de 18 meses.

Tabla 7-5. Estimación de costos de registro de SSR

Partida	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (Millones de \$)	Costo Total (Millones de \$)
Contacto y capacitación	HP	800	0,05	40
Recopilación y regularización de antecedentes	HP	1.000	0,05	50
Tramitación	HP	500	0,05	25
Costos operacionales y legales	SSR	50	1,00	50
Total				165

Fuente: elaboración propia

Subsidio a la profesionalización de los Servicios Sanitarios Rurales

En complemento a la primera actividad, se propone el establecimiento de Incentivos a la profesionalización de los SSR que se encuentran en categoría de menores (78 SSR con menos de 300 arranques), mediante un subsidio a la contratación de profesionales para la administración de estos servicios, el que se reduzca progresivamente al cabo de un tiempo. Estos subsidios pudieran ser concursables. El rol de estos profesionales es operar como administrador o asesor de la administración, y la meta es concretar la incorporación al registro de SSR de la DOH, poner a punto las materias administrativas requeridas por la Ley de 20.998 para los SSR, y contribuir a la elaboración de los Planes de Inversión y de Mantenimiento Preventiva mencionados en PER 2.3.

Tabla 7-6. Partidas para la Profesionalización de los SSR

Partida	Alcance	Cantidad	Costo Unitario (millones de \$)	Costo Total (Millones de \$)
Programa de incorporación de SSR al registro MOP	Programa técnico	1 programa	150	150
Subsidio a la profesionalización de los Servicios Sanitarios Rurales	Subsidio por \$10 millones anuales, por 5 años, para contratación de profesionales acreditados	78 SSR	50	3.900
Total				4.050

Fuente: Elaboración propia

El monto del subsidio propuesto es de \$10 millones para un período de 5 años, lo que equivale al 50% del costo de contratación anual de un profesional de tipo gerencial. Se pudiera distribuir este subsidio en forma decreciente dentro de los 5 años propuestos.

El total de arranques identificados es de 95.079, para los 200 SSR de la cuenca. La población estimada dentro de los 78 SSR seleccionados es de 50.145 personas, aunque se caracteriza por una alta variabilidad de los residentes.

La duración general de la iniciativa es de 5 años, de los cuales se consideran 18 meses para el programa de inscripción de los SSR. La institución responsable es la Subdirección de Servicios Sanitarios Rurales de la DOH, y el financiamiento es sectorial, aunque puede ser complementado con fondos regionales.

La meta de esta iniciativa es contar con un programa de inscripción de SSR en el MOP y el subsidio a 78 SSR por 5 años. Los indicadores de proceso corresponden al número de SSR efectivamente inscritos en el MOP, y el número de SSR efectivamente subsidiados durante el período.

La iniciativa se complementa con PER 2.2: Capacitación y Acreditación, que promueve la acreditación de profesionales que trabajen en los SSR.

7.1.1.2.4 PER 2.4: Programa de Apoyo para la elaboración de Planes de Inversión y de Mantenimiento Preventiva

Esta iniciativa responde a la BPER 3. Infraestructura de abastecimiento y saneamiento con pérdidas y estado regular y a la brecha BPER 5. Administración de SSR con debilidades en gestión actual y proyectada para la Ley de Saneamiento Rural. La justificación de la medida está en los problemas operacionales identificados en los SSR catastrados, que en general cuentan con una gran cantidad de arranques pendientes.

El propósito de esta iniciativa es prestar un apoyo permanente a los SSR para que elaboren los instrumentos de planificación requeridos por la Ley 20.998 (Planes de Acción y de Inversiones), y que además elaboren un Plan de Mantenimiento preventiva de sus instalaciones, que oriente, dimensione y programe las intervenciones a realizar en el tiempo.

El origen de la iniciativa corresponde a las alternativas discutidas dentro del proceso de participación ciudadana del Plan estratégico.

Descripción de la medida e impacto sobre la brecha

La Ley 20.998, de Servicios Sanitarios Rurales, establece que los Servicios Sanitarios Rurales dependen de una Subdirección de Servicios Sanitarios Rurales de la Dirección de Obras Hidráulicas, a la cual "le corresponderá efectuar estudios, gestión comunitaria, inversiones de agua potable, inversiones de saneamiento, proyectos de agua potable, proyectos de saneamiento y llevar el registro de los operadores" (art. 72).

Se incluye la elaboración de dos planes: Planes de Acción, destinados al cumplimiento de los requerimientos de acreditación de cada SSR para obtener la licencia de operación (con la cual se convierten en "Licenciarios"), y los Planes de Inversión, que contienen una descripción técnica general y un cronograma de las obras proyectadas para un plazo de cinco años, con su respectivo plan de inversiones, si correspondiere. La normativa se presenta en el presente informe.

La medida propuesta por el presente Plan considera, entonces:

1. Apoyo a los SSR para la elaboración de los Planes de Inversión, que incorporen las mejoras en infraestructura y los arranques pendientes.
2. Apoyo a los SSR para la elaboración de Planes de Mantenimiento preventiva, que consisten en un instrumento para el seguimiento de las mantenciones mayores de cada servicio.

Respecto de los **Planes de Inversión**, se espera que estos incorporen las medidas contenidas en PER 2.6 (instalación de telemetría), PER 2.7 (aumento de cobertura de agua potable rural), y PER 2.8 (Saneamiento), así como el crecimiento natural de cada centro poblado y las obras requeridas para su atención. Una de las ventajas de contar con una asesoría transversal a los Planes de Inversión es que de esta forma se pueden incorporar conexiones o integración entre distintos SSR, o de los SSR con las redes urbanas, que de otra forma no serían identificadas.

Respecto de los **Planes de Mantenimiento Preventiva**, se espera que estos incorporen las tareas de mantenimiento de la infraestructura existente, con el propósito de que se mejore la vida útil y estándar de operación de ésta. Las labores de mantenimiento deben ser cargadas en el Sistema de Información para los SSR propuesto en la medida PER 2.4.

No se incluyen los Planes de Acción, ya que esta tarea quedó incorporada dentro de las funciones del profesional propuesto en la iniciativa PER 2.3 de este Plan.

Para materializar este apoyo, se propone la contratación de una asesoría quinquenal, que permanentemente colabore en la elaboración de los planes de inversión y de mantención, de manera que se disponga de un estándar común para todos los SSR de la cuenca. Para el caso que el propio SSR haya realizado su propio Plan, se propone su revisión y las correspondientes propuestas de mejora.

Respecto del Plan de Mantención, se refiere específicamente a un programa de corto y mediano plazo, no acotado a 5 años, que incorpore las mantenciones mayores de las instalaciones de cada SSR, incluyendo captaciones, impulsiones, conducciones, y otras obras especiales. El propósito es que esta información pueda ser incorporada dentro del Sistema de Información de los SSR, y se pueda realizar un seguimiento operativo de las mismas, sin perjuicio de que se vayan reflejando progresivamente dentro del Plan de Inversiones quinquenal.

Para determinar el costo de cada partida, se trabajó a partir de las horas de consultoría requeridas en cada caso, las que se detallan en el Anexo K5. Los montos son referenciales. El costo total se presenta en la **Tabla 7-7**.

Tabla 7-7. Partidas del Plan de Desarrollo y Mantención Preventiva

Partida	Alcance	Monto (millones de \$)
Diagnóstico en terreno	Catastro en terreno de la totalidad de los SSR de la cuenca. Diagnóstico de obras de captación, tratamiento, conducción y saneamiento.	400
Programa de mantención y reemplazo	Programa de mantención de partes y piezas. Definición de insumos críticos. Definición de ruta crítica para la mantención preventiva.	200
Programa de Desarrollo	Programa de ampliación de instalaciones y redes de distribución.	200
Total		800

Fuente: Elaboración propia

El plazo de desarrollo de este estudio es de 12 meses, y debiera ser actualizado en forma quinquenal. De esta forma, en el plazo del Plan, el programa debiera ser ejecutado en 6 oportunidades, con un costo agregado de \$4.800 millones de pesos. En este sentido, esta iniciativa se desarrolla en forma permanente.

La medida se implementa a nivel de cuenca, y los beneficiarios son indirectos, y corresponden al total de la población abastecida por los SSR.

El Plan se debe actualizar en forma quinquenal, y se trata de una actividad permanente. El organismo formulador e implementador de la iniciativa es la Subdirección de Servicios Sanitarios Rurales de la Dirección de Obras Hidráulicas.

El seguimiento y los hitos asociados corresponden a la verificación de la elaboración y aprobación de los programas de desarrollo y mantención, en forma quinquenal. Se propone

además la construcción de indicador de calidad de operación de SSR, y gestionar de acuerdo con este estándar.

7.1.1.2.5 PER 2.5: Proyecto para un Sistema de información para los Servicios Sanitarios Rurales

La brecha BPER6 señala que existen desafíos en torno a los SSR que no se encuentran suficientemente conectados ni coordinados de cara a los desafíos del cambio climático y al aumento de la demanda no regulada.

El propósito de esta iniciativa es contar con un canal de comunicación para la gestión de los SSR, que permita recopilar información de las fuentes naturales (cantidad y calidad), así como permitir el seguimiento de los programas de mantención y operación de las instalaciones.

Para abordar esta brecha se propone la creación de un Sistema de Información de Servicios Sanitarios Rurales, que cuente con tres módulos principales: Módulo de Control de Fuentes de Agua, Módulo de Calidad de Aguas, y Módulo de Mantención Preventiva, los que se describen a continuación.

Módulo de Control de Fuentes de Agua: Sistema de seguimiento en línea de niveles estáticos y dinámicos de las fuentes de agua, principalmente pozos, con el propósito de contar con información en tiempo real y con respaldo histórico sobre la evolución de cada una de las fuentes naturales. De esta forma, se podrá construir tendencias y anticipar colapso de estas fuentes, al mismo tiempo que se dispondrá de una nueva fuente de información para aportar al seguimiento del acuífero.

Módulo de Calidad de Aguas: Sistema integrado de información de calidad de aguas proporcionadas por los SSR, que recoja en una sola plataforma los distintos tipos de análisis de calidad de aguas realizados a lo largo del país. Esta plataforma debiera ser alimentada en forma automática por los laboratorios acreditados para realizar los análisis de calidad de aguas, y de esta forma asegurar que no existirán costos adicionales ni errores de transcripción.

Módulo de Mantención Preventiva: Sistema de seguimiento operacional de los SSR, con el propósito de disponer de información actualizada y aportada por los propios usuarios sobre ciertos parámetros operacionales, como producción de agua, registro de aplicación de productos, problemas técnicos o detenciones en la producción de agua, entre otros. En particular, se espera que a partir del análisis de la información de producción y consumo se pueda contar con sistema de mantención preventiva que mejore el uso de la infraestructura, al mismo tiempo que permita tener una estimación de las pérdidas, y se pueda gestionar este componente que pudiera ser relevante en ciertos SSR.

El desarrollo de esta plataforma se estima en 12 meses, y no se consideran dentro de la partida los costos de administración y mantención futuros. Esta iniciativa puede tener alcance nacional, ya que no existen limitaciones espaciales para la plataforma propuesta.

En el futuro, es posible agregar módulos adicionales a esta plataforma, para la administración y generación de reportes requeridos por la Ley 20.998, entre otros.

La meta asociada consiste en el desarrollo de la plataforma y sus tres módulos. El indicador de proceso asociado corresponde al hito de puesta en marcha de esta plataforma informática y la carga de datos de los SSR.

Las iniciativas relacionadas con PER 4.2 son: Instalación de Telemetría en los Servicios Sanitarios Rurales, que promueve la instalación de telemetría en los SSR y cuyo desarrollo debiera estar controlado por el programa de mantención preventiva; y PER 4.3: Sistema de información para los Servicios Sanitarios Rurales, plataforma que debiera finalmente alojar el programa y realizar su seguimiento en línea, sin perjuicio de las actualizaciones quinquenales.

Tabla 7-8. Partidas del Sistema de Información de Servicios Sanitarios Rurales

Partida	Alcance	Monto (millones de \$)
Módulo de control de fuentes de agua	Desarrollo e implementación de un sistema informático que reciba, en línea, los niveles observados en las fuentes naturales de agua de los servicios sanitarios rurales, y permita anticipar problemas de abastecimiento.	200
Módulo de Calidad de Aguas	Gestión de perfiles de usuario. Carga de SSR, y usuarios autorizados. Acceso de laboratorios, carga de datos manuales y mediante archivos predefinidos Reportes. Definición de Alertas automáticas. Descarga de datos. Conexión con otros sistemas.	200
Módulo de Mantención Preventiva	Desarrollo e implementación de un sistema informático que contenga los principales aspectos de mantención preventiva de los servicios sanitarios rurales, destinado a ser un apoyo para la operación de los SSR.	200
Total		600

Fuente: Elaboración propia

7.1.1.2.6 PER 2.6: Proyecto de Instalación de Telemetría en los Servicios Sanitarios Rurales

La brecha BPER6 señala que existen desafíos en torno a los SSR que no se encuentran suficientemente conectados ni coordinados de cara a los desafíos del cambio climático y al aumento de la demanda no regulada.

El propósito de la iniciativa es contar con información en tiempo real de las fuentes de agua, construir un registro de niveles que permita anticipar potenciales quiebres en la disponibilidad, y mejorar la comprensión de las fuentes de agua a nivel de la cuenca.

Para esto se propone la instalación de sistemas de medición en tiempo real de caudales y niveles de pozos, cuyos registros se envíen mediante telemetría para el seguimiento en línea de los niveles de pozos, así como la extracción que se realiza. De la misma manera, se espera seguir los niveles en las fuentes de agua superficiales y las tasas de extracción.

Para determinar el costo de instalación, se revisaron cotizaciones de instalación de sistemas similares, y se aplicó un factor de seguridad de un 25%. Con esto, el valor por sistema instalado es de \$7,61 millones de pesos.

El total de sistemas a instalar alcanza a los 101 SSR de la cuenca, por lo que el costo total de esta iniciativa es de **\$768,6 millones de pesos (Tabla 7-9)**. Se propone un plazo de implementación de 10 años (mediano plazo). No existe un número de beneficiarios directos definido.

Tabla 7-9. Costo de Instalación de Telemetría en la Cuenca

Partida	Cantidad (SSR)	Costo Unitario (Millones de \$)	Costo Total (Millones de \$)
Sistema de telemetría (niveles y caudales)	200	7,6	1.522,0
Total (Millones de \$)			1.522,0

Fuente: Elaboración propia

La institución responsable es la Subdirección de Servicios Sanitarios Rurales de la Dirección de Obras Hidráulicas de la DOH, con financiamiento es sectorial, aunque puede ser complementado con fondos regionales. La meta corresponde a 101 SSR con telemetría instalada, y el indicador de proceso es el número de SSR con telemetría efectivamente instalada.

Las iniciativas relacionadas con PER 4.1 son: Programa de Mantenimiento Preventiva de Servicios Sanitarios Rurales, que promueve el catastro y programación de la infraestructura de los SSR; y PER 4.3: Sistema de información para los Servicios Sanitarios Rurales, plataforma que debiera finalmente alojar el programa y realizar su seguimiento en línea, sin perjuicio de las actualizaciones quinquenales.

7.1.1.2.7 PER 2.7: Plan de Aumento en la cobertura del sistema de abastecimiento de agua para consumo humano en sectores rurales

La brecha BPER2, Déficit hídrico para consumo humano en la situación proyectada según la tendencia poblacional, estimó que el volumen de agua adicional para mantener el aprovisionamiento para consumo humano es de 14,8 hm³ al año 2050.

El propósito de esta iniciativa es provisionar dentro del Plan Estratégico a las inversiones asociadas para cubrir la demanda adicional identificada en sectores rurales. La estimación es referencial.

Las actividades principales no están definidas en este punto, ya que responderán a las condiciones particulares de cada servicio sanitario rural (SSR). Por lo mismo, solo se procedió a una estimación general de costos, a partir de parámetros estandarizados. Sin embargo, las estrategias generales a nivel de cuenca deben ser evaluadas en la medida PER 2.1 Plan de Desarrollo Integrado de Infraestructura Hidráulica y Sanitaria, que específicamente considera los siguientes puntos:

- La interconexión de sistemas urbanos con SSR aledaños
- La interconexión entre SSR cercanos, con el propósito de mejorar, en conjunto, la Seguridad Hídrica del conjunto de localidades
- La incorporación de los embalses de regadío como fuentes principales o de respaldo de los SSR aledaños
- La incorporación de los embalses de regadío como fuente de respaldo para los sistemas urbanos

Y posteriormente la medida PER 2.4 Programa de Apoyo para la elaboración del Planes de Inversión y de Mantenimiento Preventiva, que permite la implementación de los planes específicos a nivel de SSR o conjunto de SSR.

En este sentido, se reitera que el alcance de la presente medida es dimensionar el esfuerzo requerido para aumentar la cobertura rural al 2050. En este caso, el número de beneficiarios estimado corresponde a 116.062 personas (aumento de la población rural estimado al año 2050), lo que según la densidad promedio de habitantes por vivienda (**Tabla 5-8**), corresponde a 38.432 viviendas.

Se realizó una estimación del costo por ampliación de 1 arranque en la red (por cada vivienda), bajo el supuesto que se trata de a lo menos 8 arranques por km lineal de distribución (Anexo K5). En consecuencia, se dimensionó la red de distribución, cantidad de válvulas y arranques para esta cantidad de viviendas. Al costo material del arranque individual, se incorporó otros costos de obras complementarias, como pueden ser plantas elevadoras de agua potable, extensiones de ductos entre sectores, obras especiales, atravesos, etc., así como los costos de ingeniería y permisos, e imprevistos. El costo así estimado llegó a \$8,3 millones de pesos por vivienda, por lo que, al considerar el total de viviendas a incorporar a la red pública urbana, el monto alcanza a **\$318.986.- millones de pesos.**

La duración de esta medida es de 30 años, y su implementación se produce en el largo plazo.

La institución responsable es la Subdirección de Servicios Sanitarios Rurales de la DOH. El financiamiento es público, de carácter sectorial.

Esta iniciativa se relaciona con la iniciativa PER 1.1 Plan de Desarrollo Integrado de Infraestructura Sanitaria, la cual se espera que provea estrategias que permitan, por ejemplo, la interconexión de sectores urbanos y rurales, entre otros.

La meta asociada es la provisión de los 14,8 hm³ señalados, y el indicador de proceso corresponde a los hm³ de agua efectivamente provistos, como aumento de oferta.

7.1.1.2.8 PER 2.8: Plan de Aumento en la cobertura de saneamiento rural

Esta iniciativa responde a la brecha BPER4. Baja cobertura de Saneamiento rural, que señala que se desconoce el porcentaje de SSR que cuentan con sistemas de tratamiento de aguas servidas, y que para efectos de análisis se estimó en un 40%.

El propósito de esta iniciativa es aumentar la cobertura de los sistemas de saneamiento de aguas servidas en el sector rural de la cuenca, hasta el 70% en 30 años.

En consecuencia, se consideró como meta de esta iniciativa el aumento de la cobertura en SSR, desde 40% hasta 70% en un plazo de 30 años (1% al año), con un total de 60 SSR beneficiados. A esto se deberá incorporar, en una segunda fase, al resto de los SSR de la cuenca.

Tabla 7-10. Costo referencial del Sistema de Saneamiento Rural

Partida	Cantidad de SSR	Costo Unitario (Millones de \$)	Costo Total (millones de \$)
Sistemas de Saneamiento Rural	60	10.428	625.680
Total			625.680

Fuente: Elaboración propia

Esta iniciativa beneficiaría al 30% de la población rural (221.60 personas en total), por lo que los beneficiarios serían alrededor de 66.318 personas. Como se tiene de la **Tabla 7-10**, el costo total es de **\$ 625.680 millones de pesos**. El plazo de inversión es de 30 años.

La inversión es responsabilidad de la Subdirección de Servicios Sanitarios Rurales de la DOH, y el financiamiento es sectorial, aunque puede ser complementado con fondos regionales.

La iniciativa se relaciona con PER 2.2, Incorporación de Sistemas de Saneamiento alternativos, que propone la realización de estudios que permitan validar la incorporación de sistemas de saneamiento basados en lagunas de aireación o similares.

7.1.1.2.9 PER 2.9: Estudio Técnico para la incorporación de Sistemas de Saneamiento alternativos

La brecha BPER4. Baja cobertura de Saneamiento rural señala que aproximadamente un 60% de los 200 SSR de la cuenca no cuenta con alcantarillado. En la iniciativa PER 2.8 se propuso aumentar la cobertura de alcantarillado y tratamiento de aguas servidas. En complemento, en las actividades de participación ciudadana se solicitó evaluar la incorporación de sistemas de saneamiento alternativos para las aguas servidas.

En consecuencia, se propone estudiar la incorporación de nuevos tipos de sistemas de saneamiento, principalmente asociados a sistemas naturales del tipo “lagunas de aireación”, con el propósito de incorporar Soluciones basadas en la Naturaleza a los sistemas tradicionales.

La actividad principal consiste en un estudio técnico no de la metodología en sí, que ya ha sido evaluada, sino que la factibilidad, conveniencia técnica, económica y ambiental y legal que defina estándares, condiciones de diseño, restricciones y parámetros operacionales para sistemas de saneamiento basados en lagunas de aireación o similares. Se estima que el costo de implementación es de \$250 millones de pesos. Los beneficiarios son todos los usuarios de la cuenca.

Tabla 7-11. Estudio Técnico de Nuevos Sistemas de Saneamiento

Partida	Alcance	Monto (millones de \$)
Estudio Técnico	Estudio técnico, económico y ambiental que defina estándares, condiciones de diseño, restricciones y parámetros operacionales para sistemas de saneamiento basados en lagunas de aireación o similares.	250.000
Total		250.000

Fuente: Elaboración propia

La duración del estudio es de 12 meses, y se espera que se ejecute en un plazo de 5 años (corto plazo). La institución responsable es la Subdirección de Servicios Sanitarios Rurales de la DOH, y el financiamiento es sectorial, aunque puede ser complementado con fondos regionales.

7.1.1.3 PER 3: Seguridad Hídrica para viviendas desconectadas de las Redes Públicas de Agua

7.1.1.3.1 PER 3.1 – Plan para la seguridad hídrica en viviendas desconectadas de las Redes Públicas de Agua

Esta iniciativa responde a la brecha BPER 1 Población en riesgo de abastecimiento de agua potable, que señala que, según el Censo de Vivienda y Población del año 2017, un total 11.272 viviendas se encontraban fuera de las redes públicas de agua potable, de las cuales 7.202 viviendas se abastecen de agua potable mediante pozos, 854 mediante ríos, vertientes u otras fuentes superficiales, 1.540 mediante camiones aljibe, y 1.675 no tienen fuente identificada.

En consecuencia, la medida se justifica en la necesidad de determinar, para cada caso, cual es la solución que proporciona seguridad de abastecimiento, e identificar también aquellas viviendas sin factibilidad de agua.

El objetivo es diagnosticar el estado actual, proponer e implementar la solución requerida para cada una de las viviendas desconectadas de las Redes Públicas de Agua Potable urbanas o rurales, e identificar aquellas viviendas sin factibilidad de agua.

La medida surge de una propuesta de la empresa consultora, y consiste en la elaboración e implementación de un Plan para viviendas desconectadas de las Redes Públicas de Agua, que determine la pertinencia de conectarlas a las redes de agua potable urbana o rural, integrarlas a abastos colectivos (o Redes Participativas de Agua), a mejoras de los abastos individuales, y finalmente identificar el conjunto de viviendas sin factibilidad de agua.

Las viviendas fuera de la red son 11.272, por lo que se debe determinar qué grupos de viviendas pudieran ser gestionadas en forma conjunta, y por complemento, qué viviendas corresponden a situaciones aisladas. Para esto, se debe realizar un catastro de viviendas, partiendo de la información censal ya descrita, la cual se debe actualizar a partir de las Fichas de Información Básica de Emergencia Hídrica (FIBEH), elaboradas por cada municipio, y que permiten gestionar el abastecimiento de agua mediante camiones aljibe. Estas fichas fueron implementadas en el año 2021 debido a la necesidad de una nueva forma de catastro para emergencias por Déficit Hídrico, que levante información específica de la disponibilidad de agua en los hogares, y cómo su escasez ha afectado a la población. Estas variables no son consideradas en la FIBE, y, por lo tanto, la División de Focalización y la Unidad de Información Social en Emergencias, lanzó la Ficha Básica de Emergencia Hídrica (FIBEH), la cual se convierte en el nuevo instrumento de catastro social en emergencias por Déficit Hídrico. La FIBEH, además de identificar a las familias afectadas por la escasez hídrica, recopila información técnica sobre el uso del agua, formas de abastecimiento, medios de almacenamiento y necesidades técnicas de las familias³⁷. Estos

³⁷ Revisado en <http://fibe.gob.cl/fibeh/>

antecedentes están consolidados en el Sistema de Información Social en Emergencias, del Ministerio de Desarrollo Social y Familia³⁸.

A partir de este catastro de viviendas en condición de inseguridad hídrica, se debe realizar un análisis espacial que permita determinar, por ejemplo, cercanía entre viviendas, cercanía a fuentes de agua, a Servicios Sanitarios Rurales, etc., así como la distribución específica de las viviendas abastecidas mediante camiones aljibe (no todas las viviendas desconectadas de la red se encuentran en problemas de abastecimiento). De este análisis, se tienen los siguientes tipos de viviendas:

1. Viviendas que están dentro de los sectores de expansión de las redes urbanas o rurales
2. Viviendas que pueden agregarse dentro de un abasto colectivo
3. Viviendas aisladas, o donde las condiciones de riesgo o asociatividad no hacen aconsejable implementar un abasto colectivo y se deben complementar las fuentes propias
4. Viviendas sin factibilidad de agua

Se analizan las soluciones por separado.

Viviendas dentro de la expansión de Redes Públicas de Agua

Para estas viviendas se estima que la mejor alternativa es la conexión a la red pública correspondiente. En este caso, para las redes urbanas se cuenta con la acción catastrada de los Planes de Desarrollo de la empresa sanitaria (PER 1.1) y para los SSR, se incorporó la medida PER 2.7.

Viviendas que pueden ser incorporadas dentro de una RPA (abasto colectivo)

El concepto de abasto colectivo existe dentro de las opciones que el Estado y los gobiernos locales gestionan el abastecimiento de agua en los sectores rurales. En particular, las Redes Participativas de Agua (RPA) se encuentran dentro de esta categoría, y a nivel práctico corresponden a una adaptación de la experiencia denominada "Red Participativa de Agua Potable de Catrumán", en la comuna de Ancud, Chiloé³⁹. En lo principal, esta iniciativa parte de la organización de viviendas que se encuentran en sectores dispersos, por debajo de la cobertura establecida para los Servicios Sanitarios Rurales, por lo que no son beneficiarios de esta política pública. Dada esta condición, las RPA buscan gestionar en forma colectiva una fuente común de agua, que sea estable en el tiempo, y construir un aprovechamiento común de la misma, ya sea mediante captura de aguas superficiales en una quebrada (en el caso de Catrumán), pero bien pudiera ser un pozo de aprovechamiento común u otra fuente superficial. Un aspecto relevante es la protección de la fuente de agua común

³⁸ Accesible para servicios públicos en <https://sise.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/>

³⁹ Revisado en <https://redaguaChiloé.wordpress.com/> y visitada en terreno por el equipo consultor.

mediante manejo de micrositios, de manera de promover la mantención o mejora de los servicios ecosistémicos del territorio a nivel local.

En este sentido, existen tres aspectos clave para la implementación de una RPA:

1. Contar con un conjunto de viviendas con una densidad inferior a la requerida para el establecimiento de un Servicio Sanitario Rural
2. Contar con una fuente de agua común, que sea estable en el tiempo
3. Contar con un capital social que permita la organización de grupos de viviendas dispersas

Una vez identificados los grupos de viviendas candidatas a establecer una RPA, se debe iniciar una fase de levantamiento de información en terreno, y de identificación, caracterización y coordinación de los usuarios locales, con el propósito de determinar la factibilidad técnica, económica y social para el establecimiento de la RPAP.

Como se señaló, una componente relevante de las RPA es la protección de las fuentes de agua identificadas, mediante un manejo a nivel local del entorno de éstas. De esta manera, se busca resguardar los servicios ecosistémicos, y particularmente la provisión de agua para las personas. Para esto se debe proponer un plan de manejo específico para el territorio de influencia. Este manejo de micrositios considera alternativas tales como:

- Orden de las explotaciones forestales y de vegetación nativa en la microcuenca aportante, con el propósito de proteger la fuente natural de cambios en la calidad del agua, aumentos drásticos de la escorrentía y/o disminución de la recarga, entre otros. En este caso, se trata principalmente de plantaciones de eucalipto.
- Propuesta de manejo de la microcuenca aportante, promoviendo el manejo ambiental adecuado de aquellas fuentes de riesgo para la calidad, cantidad u oportunidad de las aguas.
- Recuperación y enriquecimiento de la cuenca aportante con vegetación nativa, interviniendo aquellos sectores degradados o con procesos de erosión activos, con el propósito de aumentar la biodiversidad, incorporando especies que pudieran constituir fuente de recursos secundarios, como especies melíferas, estableciendo zonas de exclusión de ganado, etc.
- Manejo de la fuente mediante ecotecnias⁴⁰ que favorezcan la recuperación del ciclo hidrológico, mediante zanjas de infiltración, fajinas para el control de erosión, barreras para el control de aporte de sedimentos u otras relacionadas.
- Mejoras en la infraestructura de captación y conducción de las aguas.
- Trabajo participativo, con la comunidad local, para que la solución se construya en conjunto, y que ellos aporten tanto la disposición al ordenamiento territorial, como

⁴⁰ Las ecotecnias son instrumentos desarrollados para aprovechar eficientemente los recursos naturales y materiales, permitiendo la elaboración de productos y servicios, así como el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y materiales diversos para la vida diaria.

aportes en mano de obras, maquinaria o materiales de construcción, cuando sea necesario.

Dependiendo de la naturaleza del sitio a intervenir, los resultados esperados son:

- Mejora en la cantidad, calidad y oportunidad del agua provista por la fuente natural
- Desarrollo de infraestructura hidráulica básica, para el caso de sectores dispersos, que permita distribuir agua a nivel domiciliario en zonas que carezcan de esta posibilidad
- Establecimiento de instancias locales de colaboración que permitan avanzar en niveles de organización y gestión del territorio desde lo local

Viviendas aisladas (fuera de las RPA)

Las RPA pueden ser una opción para grupos de viviendas, pero existen condiciones donde no son adecuadas:

- Las viviendas se encuentran alejadas unas de otras, haciendo imposible cualquier tipo de conexión mediante infraestructura
- Las viviendas cuentan con una fuente individual estable a la fecha, por lo que el nivel de riesgo (y la percepción de este) es baja, a lo menos de momento
- No existe capital social debido a conflictos anteriores, desconocimiento, desconfianza u otros, los que no permiten avanzar en un proceso conjunto

En este caso, se propone en tanto sea posible:

- Identificación de fuentes individuales de agua
- Propuesta de mejora para los abastos individuales (posiblemente pozos)
- Propuesta de manejo del sitio para protección de la fuente

Dadas las condiciones generales de disponibilidad de agua en fuentes naturales y precipitaciones, se debe evaluar las condiciones locales de disponibilidad de agua. De lo contrario, las viviendas quedarían en la categoría siguiente: Viviendas sin factibilidad de Agua.

Viviendas sin factibilidad de agua

Adicionalmente, existirá una proporción de viviendas que no tendrán solución aparente, debido a que se emplazan en sectores sin factibilidad de agua. Se debe elaborar este listado para determinar la cantidad de estas viviendas y estudiar medidas complementarias.

Dentro de esta categoría se debiera incorporar, también, a aquellas viviendas que se encuentran haciendo uso irregular del terreno donde se emplazan (tomas), ya que no son sujetos de inversión pública. En este caso, la respuesta corresponde a la decisión política para la resolución del problema principal constituido por los asentamientos irregulares.

Las etapas requeridas para la implementación de la iniciativa son:

- a) Plan para intervención de Viviendas desconectadas de la Red Pública de Agua
- b) Elaboración e implementación de un programa de Redes Participativas de Agua
- c) Elaboración e implementación de un programa de mejora de abastos individuales
- d) Elaboración de un programa de contingencia para viviendas sin factibilidad de agua

El costo estimado total de la iniciativa es de **\$16.660 millones de pesos**. Las **Tabla 7-12** y **Tabla 7-13** entregan los costos referenciales y las partidas de red participativa de agua.

En complemento a la elaboración del Plan, se estimó un costo potencial de implementación de los distintos programas a proponer. El costo de conexión de las viviendas desconectadas a las redes públicas de agua potable urbana queda contenido dentro de los Planes de Desarrollo de las empresas sanitarias. En complemento, la conexión a las redes de agua potable rural queda comprendida dentro de la medida PER 2.6 Aumento de la cobertura en sectores rurales por arranques pendientes. En consecuencia, no se incluyen dentro del presente análisis. Si se incluye el costo de las Redes Participativas de Agua y soluciones individuales.

Tabla 7-12. Plan para Viviendas desconectadas de la Red Pública de Agua

Partida	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (Millones de \$)	Costo Total (Millones de \$)
Identificación de universo de viviendas desconectadas de la red y subconjunto abastecido por camiones aljibe	Hp	1.000	0,05	50
Clasificación de viviendas según solución potencial (conexión a red pública, RPA, mejoramiento individual y sin factibilidad)	Hp	1.000	0,05	50
Programa de conexión de viviendas a la red pública APU y APR	Hp	1.000	0,05	50
Programa de implementación de Redes Participativas de Agua	Hp	1.000	0,05	50
Programa de mejora de captaciones individuales	Hp	1.000	0,05	50
Programa de contingencia para viviendas sin factibilidad de agua	Hp	1.000	0,05	50
Costos operacionales	Mes	12	5	60
Costo Total				360

Fuente: Elaboración propia

Las redes participativas de agua (RPA), como se definió previamente, corresponden a una provisión de agua en forma comunitaria a partir de una fuente común. En la **Tabla 7-13** se presenta una estimación del costo de implementación.

Para la estimación de las soluciones individuales, se tomó como referencia a las “Islas Urbanas”, cada una de las cuales se estimó en \$10 millones de pesos, mediante cotización con empresas proveedoras del sistema.

Tabla 7-13. Partidas para una Red Participativa de Agua

Partida	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (millones de \$)	Costo Total (millones de \$)
Acompañamiento de la RPA	Hp	300	0,05	15
Diseño participativo	Hp	200	0,05	10
Obras de captación	Gl	1	5	5
Obras de Acumulación (Cisterna 200 m ³)	Gl	3	5	15
Filtrado y potabilización	Gl	1	3	3
Obras de distribución	Km	5	1	5
Obras anexas (Cercado,	Gl	1	5	5
Costos operacionales, movimiento de tierra, otros	Gl	1	5	5
Total				63

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-14 Resumen de la protección de fuentes de agua

Partida	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (Millones de \$)	Costo Total (Millones de \$)
Plan para viviendas desconectadas de la Red Pública de Agua	Gl	1	360	360
Redes Participativas de Agua	RPA	100	63	6.300
Mejoramiento de abastos individuales	Fuente individual	1.000	10	10.000
Costo Total				16.660

Fuente: Elaboración propia

No es posible determinar en forma preliminar el número de RPAs potencialmente constituidas, por lo que se tomará como supuesto una base de 100 RPA, cada una de las cuales incluya 5 viviendas. Adicionalmente, se consideró el mejoramiento de 1.000 abastos individuales. En conjunto, ambas soluciones podrían dar solución a aproximadamente 1.000 viviendas. Sin embargo, la cantidad total y la situación de cada vivienda solo se podrá tener

una vez que se elabore el Plan para Viviendas desconectadas de la Red Pública de Agua (**Tabla 7-12**).

Se estima que la inversión requerida para la extensión de redes es de \$16.660 millones de pesos. Si bien el número de fuentes es estimativo, se puede considerar que serán beneficiadas unas 1.500 viviendas, lo que da un costo por vivienda de \$11,11 millones de pesos.

La ubicación corresponde a toda la cuenca, específicamente a las viviendas que se encuentran desconectadas de las Redes Públicas de Agua. Los beneficiarios corresponden en forma directa a las 11.272 viviendas consideradas dentro del universo de estudio.

Se espera que se implemente entre el corto y mediano plazo (hasta 10 años). El organismo formulador e implementador de la iniciativa es el Gobierno Regional, el mismo que se espera que financie esta medida.

Otros organismos participantes son los municipios de la región, Dirección General de Aguas, CONAF, INDAP y otros.

El seguimiento corresponde a la cantidad de viviendas con diagnóstico y con solución implementada.

7.1.2 Seguridad Hídrica para los Ecosistemas

La seguridad hídrica de los ecosistemas consiste en la capacidad de la cuenca de proveer de agua en cantidad, calidad y en la oportunidad necesaria para la mantención de los ecosistemas terrestres y acuáticos. De la misma forma, se incorpora dentro de este análisis a la capacidad de la cuenca de mantener los servicios ecosistémicos que dan sustento al ciclo hidrológico, incluyendo las cabeceras de agua, entendidas como las zonas de recarga de acuíferos.

Se realizó un análisis de los ecosistemas de la cuenca, diferenciando entre ecosistemas acuáticos y ecosistemas terrestres. A continuación, la **Tabla 7-15** identifica las iniciativas y líneas de acción propuestas.

Tabla 7-15. Iniciativas de Seguridad Hídrica para los Ecosistemas y Brechas asociadas

Línea de Acción	Iniciativa	Brecha
ECO 1 - Gestión y Protección de los Cauces Naturales	ECO 1.1 - Estudio de Definición de caudales ambientales y estándares de calidad de agua	BECO 1. Deterioro de ecosistemas acuáticos por déficit estacional de caudal ecológico BECO 2. Deterioro de la calidad de las aguas
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	BECO 2. Deterioro de la calidad de las aguas
ECO 2 – Protección de Humedales	ECO 2.1 – Estudio de vulnerabilidad de humedales	BECO 3. Pérdida de humedales y ecosistemas acuáticos por cambio de uso del suelo
ECO 2 – Protección de Humedales	ECO 2.2 – Programa de Protección de Humedales Urbanos	BECO 3. Pérdida de humedales y ecosistemas acuáticos por cambio de uso del suelo
ECO 3 – Revertir la degradación de los ecosistemas terrestres	ECO 3.1 – Programa de Restauración de ecosistemas terrestres	BECO 4. Pérdida de vegetación natural
ECO 3 – Revertir la degradación de los ecosistemas terrestres	ECO 3.2 – Programa de Recuperación de suelos degradados	BECO 5. Erosión del Suelo
ECO 4 – Acuerdo marco del Embalse Rapel	ECO 4.1 – Proyecto para obtención de Acuerdo marco del Embalse Rapel	BECO 6. El embalse no dispone de una gobernanza propia y efectiva que permita resguardar su estado futuro

Fuente: Elaboración propia

7.1.2.1 ECO 1: Gestión y Protección de los Cauces Naturales

Esta Línea de Acción considera la necesidad de contar con una estrategia para la **Gestión y Protección de los Cauces Naturales de la cuenca**, a partir de la definición de unos Caudales Ambientales y unos estándares mínimos de calidad de agua para la cuenca del Rapel, considerando las tres Unidades de Gestión definidas.

Se entiende por caudal ambiental al flujo mínimo o de base que permite el sustento de los servicios ecosistémicos del cauce, así como la mantención de los usos in situ del agua. En particular, en la cuenca resulta relevante la mantención de un caudal en la desembocadura del río, en atención a los posibles efectos que esto pudiera tener respecto de la intrusión salina que afecta no solo a los ecosistemas acuáticos costeros, sino que también a las captaciones de agua para consumo humano y otros usos productivos.

7.1.2.1.1 ECO 1.1: Estudio de Definición de caudales ambientales y estándares de calidad de agua mínimos

Esta iniciativa responde a las brechas BECO1: Deterioro de ecosistemas acuáticos por déficit estacional de caudal ecológico y BECO2: Deterioro de la calidad de las aguas.

Se propone un estudio técnico que determine los caudales ambientales mínimos para distintos tramos de río dentro de la cuenca río Rapel, para cada mes del año. Este estudio debe incorporar no solo la mantención de los ecosistemas acuáticos, sino que también la calidad de las aguas y los usos in situ que se dan dentro de la cuenca, incluyendo el uso turístico, recreacional, así como los caudales de dilución. Complementariamente, se requiere definir unos estándares mínimos de calidad de aguas en las fuentes naturales.

En este sentido, resulta de interés identificar y valorar los servicios ecosistémicos del cauce, incorporando este concepto dentro del propósito de gestión de la cuenca. Al igual que la NSCA, se debe definir tramos o sectores homogéneos dentro del cauce, y definir sus características actuales y valores objetivo.

En particular, se propone evaluar la relación que pudiera existir entre los caudales observados en la desembocadura del río Rapel y el fenómeno de intrusión salina, con el propósito de verificar si existe algún grado de correlación entre ambos eventos, y cuáles serían las condiciones que inciden (por ejemplo, que el proceso ocurre en condiciones de alta marea y bajo caudal).

Este estudio, además, puede ser considerado como una versión simplificada de la Norma Secundaria de Calidad de Aguas, y en este sentido, es un instrumento que sirve para la obtención de acuerdos de gestión a la espera de la dictación de la norma definitiva. De la misma forma, el estudio pudiera ser reemplazado por una versión resumida de los estudios previos de la Norma.

Este estudio debe partir recopilando la información disponible en los estudios preliminares de la NSCA del Rapel. En consecuencia, no considera mediciones en terreno, y se estima

que tiene una duración de 12 meses, y se programó para ser implementado en el corto plazo. Los beneficiarios corresponden a todos los habitantes de la cuenca.

Tabla 7-16. Partidas para la definición de caudales ambientales y estándares de calidad de agua

Partida	Alcance	Monto (millones de \$)
Estudio	Estudio técnico hidrológico, ambiental, social y de económico sobre los caudales ambientales mínimos.	100
Estudio	Identificación y valoración preliminar de servicios ecosistémicos en la cuenca	50
Estudio	Definición de estándares mínimos de calidad de agua	50
Total		200

Fuente: Elaboración propia

La institución responsable de su implementación es el Ministerio de Medio Ambiente, y el financiamiento es de tipo sectorial. La meta asociada es la ejecución del estudio técnico, y el indicador de cumplimiento es el estudio ejecutado.

Esta iniciativa se relaciona con la ECO 4.1 Acuerdo marco sobre el embalse Rapel.

7.1.2.1.2 ECO 1.2: Estudios para la Dictación de la Norma Secundaria de Calidad Ambiental del río Rapel

Esta iniciativa responde a las brechas BECO1: Deterioro de ecosistemas acuáticos por inexistencia de caudal ecológico y BECO2: Deterioro de la calidad de las aguas.

El propósito de la iniciativa es contar con una Norma Secundaria de Calidad de Aguas para la cuenca del río Rapel, la que regule el estado objetivo del curso de agua y sea mandado para los usuarios de la cuenca.

Según se establece en el DS N° 38/2013, del Ministerio de Medio Ambiente, que Aprueba Reglamento para la Dictación de Normas de Calidad Ambiental y de Emisión, las normas secundarias de calidad ambiental "son aquellas que establecen los valores de las concentraciones y períodos, máximos o mínimos, permisibles de sustancias, elementos, energía o combinación de ellos, cuya presencia o carencia en el ambiente pueda constituir un riesgo para la protección o conservación del medio ambiente, o la preservación de la naturaleza".

La discusión de la Norma Secundaria de Calidad de Aguas del río Rapel⁴¹ comenzó en el año 2005, y la última actuación de agosto del 2019 corresponde a la 8ª reunión del Comité Operativo de la Norma, donde se presentó Aspectos técnicos y metodológicos utilizados en la elaboración del proyecto de NSCA de la cuenca Rapel, así como el estado de avance AGIES proyecto de NSCA de la cuenca Rapel. No existen registros posteriores a esa fecha.

Si bien no se han observado deterioros significativos en la calidad de las aguas en las fuentes naturales, se propone la insistencia en la dictación de este instrumento, que proporciona un contexto formal a los acuerdos que se puedan alcanzar entre los usuarios de la cuenca.

Ante la total incerteza de las actividades pendientes y plazos asociados para concluir con la dictación de la NSCA del Río Rapel, se provisionó un monto de **\$500 millones** como valor referencial. El responsable es la Subsecretaría de Medio Ambiente del Ministerio de Medio Ambiente. El período de desarrollo es de 5 años, y se espera que se concrete en el corto plazo.

La meta asociada a esta iniciativa es la dictación de la norma, y el indicador de proceso es el acto legal que la promulgue.

La iniciativa se relaciona con la iniciativa ECO 1.1: Definición de caudales ambientales y estándares de calidad de agua mínimos, ya que esta se basa en los antecedentes recopilados a la fecha para preparar un documento técnico provisorio.

7.1.2.2 ECO 2: Plan de Protección de Humedales

Esta Línea de Acción considera la necesidad de contar con un **Plan de Protección de humedales, urbanos y rurales**, dentro de la cuenca del Río Rapel. Para esto, se propone trabajar con la Mesa de Humedales constituida en la región, con el propósito de resguardar los humedales existentes, tanto a nivel de la cuenca principal como las cuencas aportantes, y tanto a nivel cordillerano como en su desembocadura.

7.1.2.2.1 ECO 2.1: Estudio de vulnerabilidad de Humedales

Esta iniciativa da respuesta a la brecha BECO3: Pérdida de humedales y ecosistemas acuáticos por cambio de uso del suelo. Según el explorador de ecosistemas acuáticos de Naciones Unidas, empleado para la determinación de las variaciones en el ODS 6, Meta 6.4.1⁴², en los últimos 20 años, en la cuenca del Rapel se ha perdido un total de 10,97 km² de superficie de lagos y ríos permanentes (un 43,7% del total), y un total de 26,25 km² de

⁴¹ Expediente Electrónico de Planes y Normas del Ministerio de Medio Ambiente. Revisado con fecha 28 de septiembre de 2021, en:

https://planesynormas.mma.gob.cl/normas/expediente/index.php?tipo=busqueda&id_expediente=928012

⁴² <https://map.sdg661.app/>

superficie estacional (un 54,4% del total). Respecto de los embalses, si se compara la superficie mínima de los espejos de agua, esta se ha visto reducida desde 69,4 hasta 61,52 km² (un 11,3%).

El propósito es identificar los factores climáticos, territoriales y antrópicos que inciden en la variación anual y estacional de los humedales de la cuenca, con el propósito de proponer los planes de gestión requeridos para su sostenibilidad en el tiempo.

En consecuencia, se propone:

- Una actualización del catastro de humedales urbanos y rurales de la cuenca, y su delimitación, para que sirva de línea base para evaluaciones futuras. Para esto se debe realizar una evaluación de fuentes satelitales, que permita reconstruir el indicador descrito para la evaluación global del ODS 6.6.1, pero con mayor precisión. Se espera identificar además parámetros tróficos del agua.
- Una evaluación detallada de las superficies que han sufrido un mayor cambio en el tiempo dentro de la microcuenca que abastece a cada humedal, con el propósito de determinar qué procesos son los que han tenido mayor incidencia en la variación de cada humedal. En particular, se espera que se realice una evaluación de la vegetación de ribera de cada cuerpo de agua.
- La identificación de las presiones antrópicas que pudieran estar incidiendo en el desarrollo del humedal, como extracciones de agua, descarga de elementos a los cauces, urbanizaciones, redes viales, proyectos industriales, explotación forestal, u otros.
- Realizar una propuesta de buenas prácticas para el manejo de estos humedales, y una propuesta específica para recuperar los principales humedales identificados.
-

Esta iniciativa tiene un período de 24 meses y se espera que se desarrolle en el mediano plazo. La institución responsable es el Ministerio de Medio Ambiente, a través de la Seremi de la región de O'Higgins. El financiamiento propuesto es mixto sectorial y regional. No se identificaron beneficiarios directos.

La meta de la iniciativa es el estudio técnico ejecutado, y el indicador de proceso es el informe técnico de este estudio.

Esta iniciativa se relaciona con ECO 2.2: Protección de Humedales Urbanos, ya que proporcionará insumos para una mejor comprensión de estos humedales.

Tabla 7-17. Partidas para el Estudio de Vulnerabilidad de Humedales

Partida	Costo Total (Millones de \$)
Identificación satelital de humedales y su variabilidad temporal	100
Identificación de cambios de uso del suelo en la microcuenca aportante a cada humedal	100
Identificación de presiones antrópicas que afecten a cada humedal identificado	100
Propuesta de un plan de gestión para la recuperación de cada humedal	100
Total	400

Fuente: Elaboración propia

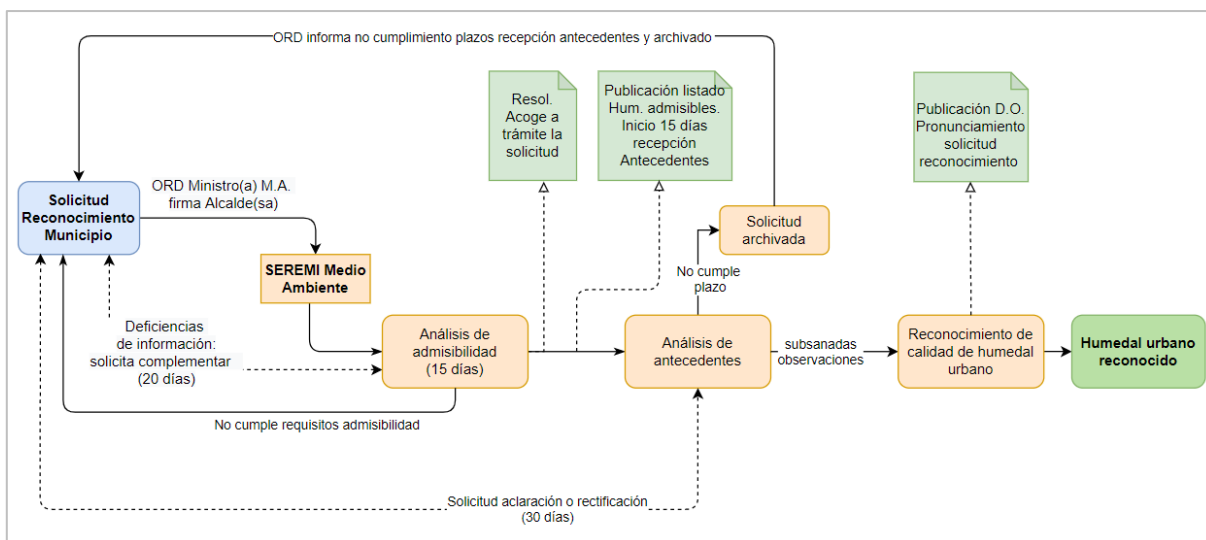
7.1.2.2.2 ECO 2.2: Programa de Protección de Humedales Urbanos

Esta iniciativa da respuesta a la brecha BECO3: Pérdida de humedales y ecosistemas acuáticos por cambio de uso del suelo. Dentro de la cuenca se identificó solo una solicitud para constituir un humedal urbano (Bellavista de Teno, en la comuna homónima), el cual no fue admitido a tramitación toda vez que no se pudo demostrar que el humedal se encontraba dentro del radio urbano comunal.

El propósito de la iniciativa es promover el establecimiento de, a lo menos, 5 humedales urbanos en la cuenca del río Rapel.

La Ley N° 21.202 (Ministerio de Medio Ambiente, 2020) modifica diversos cuerpos legales con el objetivo de proteger los humedales urbanos. Según se señala en su artículo N°1, “tiene por objeto proteger los humedales urbanos declarados por el Ministerio del Medio Ambiente, de oficio o a petición del municipio respectivo, entendiendo por tales todas aquellas extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina, cuya profundidad en marea baja no exceda los seis metros y que se encuentren total o parcialmente dentro del límite urbano”. El proceso de reconocimiento de un humedal urbano comienza con la solicitud realizada por el municipio respectivo. A continuación, se presenta este proceso según se expone en el portal de Humedales de Chile, del Ministerio del Medio Ambiente⁴³.

⁴³ <https://humedaleschile.mma.gob.cl/humedales-urbanos/>



Fuente: Ministerio de Medio Ambiente

Figura 7-2 Proceso de tramitación de solicitudes de humedales urbanos

Ante esta ausencia de declaraciones, se propone el estudio e identificación de nuevos humedales urbanos, tendientes a contar con 5 humedales protegidos en la cuenca (no se cuenta con una referencia al respecto, por lo que pudieran ser menos humedales).

Adicionalmente, se propone destinar fondos para el acompañamiento de estas solicitudes, de manera tal que se facilite la instalación de estos humedales. Estos fondos consisten en el apoyo para la dictación de las ordenanzas municipales respectivas, así como campañas de educación ambiental e información respecto de los humedales, señalética e infraestructura básica en cada sitio. Estas obras están sujetas a las características de cada humedal, por lo que su alcance depende de los humedales priorizados.

En la región se ha implementado una Mesa Técnica Regional de Humedales, que es el espacio idóneo para conducir esta iniciativa.

Preliminarmente, dentro de la cuenca se identificaron los siguientes humedales urbanos que potencialmente pudieran ser protegidos en este contexto: Doñihue, Cachapoal, Coltauco, Olivar, Malloa y Placilla (Tinguiririca), entre otros.

Complementariamente, se propone incorporar dentro de esta iniciativa aquellos humedales, y particularmente los cauces de ríos y sus riberas, producto de la extracción de áridos, desarrollo inmobiliario, o cualquier otro factor relacionado. En este sentido, se puede revisar la incorporación de ciertos humedales amenazados a esta categoría de protección.

Tabla 7-18. Partidas del Estudio de Protección de Humedales

Partida	Alcance	Monto (millones de \$)
Estudio General	Identificación y priorización de humedales urbanos potenciales en la cuenca	100
Solicitudes de reconocimiento	Elaboración de 5 solicitudes de reconocimiento municipal, lo que incluye su tramitación hasta el reconocimiento del humedal urbano	250
Ordenanzas municipales	Actualización de 5 ordenanzas municipales	50
Apoyo a la implementación	Obras de apoyo a la instalación de los humedales priorizados: campaña de difusión y educación ambiental en la comunidad; defensas perimetrales, instalación de señaléticas, infraestructura básica, entre otros. Esta partida está sujeta a las características de cada sitio.	600
Total		1.000

Fuente: Elaboración propia

La duración de los estudios es de 12 meses por humedal, a lo que se agrega un período de 18 meses que incluye los plazos de tramitación del reconocimiento e implementación de las acciones en cada humedal. Se propone que esta iniciativa sea financiada por el Gobierno Regional, y que sea implementada en el corto plazo.

No se identificaron beneficiarios directos de la iniciativa. Se establece una relación con la iniciativa ECO 2.1: Estudio de vulnerabilidad de Humedales, la que proveerá de antecedentes técnicos para la justificación de la solicitud, así como la elaboración del plan de gestión.

La meta asociada es la declaración de 5 humedales urbanos con la respectiva implementación de acciones de apoyo, mientras que el indicador de proceso es el número de humedales urbanos declarados y con implementación completa.

7.1.2.3 ECO 3: Revertir la Degradación de los ecosistemas terrestres

Esta Línea de Acción considera la necesidad de contar con un **Plan de Protección y Restauración de los ecosistemas terrestres y los servicios ecosistémicos asociados**.

7.1.2.3.1 ECO 3.1: Programa de Restauración de Ecosistemas Terrestres

La brecha BECO4: Pérdida de Vegetación Terrestre estimó que en la cuenca existen 374,5 ha de bosque nativo, cuya vegetación ha sido deforestada o sustituida en los últimos 20 años.

En consecuencia, se propone como iniciativa la recuperación de la superficie de bosque nativo perdida en los últimos 20 años dentro la cuenca, en un plazo de 10 años.

En particular, se propone recuperar parte de las cabeceras de agua, entendidas como la porción de la cuenca donde se produce la recarga de acuíferos, así como recarga de agua en el suelo. La idea es utilizar el suelo como un almacenamiento temporal de agua, y aprovechar los flujos base.

Se propone como estrategia una restauración pasiva de estos ecosistemas, que requiere de "la determinación, contención o eliminación de los factores limitantes que impiden la regeneración natural y a su vez conocer las condiciones de sitio que aumenten su probabilidad de éxito" (CONAF, 2010)⁴⁴. Para esto, se requiere de una evaluación de aquellos sectores que tienen potencial de restauración (los que no necesariamente deben coincidir con los sectores intervenidos)

Para estimar el costo de restauración de 1,0 ha se tomó como referencia el documento: "Evaluación de técnicas pasivas y activas para la recuperación del bosque esclerófilo de Chile central" (Pablo Becerra, Cecilia Smith-Ramírez, Eduardo Arellano. 2018). El manejo propuesto es básico, pudiendo amplificarse por 3 y hasta 4 veces los costos en función del riego posterior. El costo por hectárea se presenta en la **Tabla 7-19**.

Tabla 7-19. Estimación de costo de forestación de 1,0 de bosque nativo (referencial)

Partida	\$/planta	Plantas/ha	Total
Costo tratamiento de policarbonato: Incluye compra de plantas, flete plantas, construcción cerco, mantención de cerco perimetral, hoyadura, plantación, aplicación policarbonato	3.438	400	1.375.200
Riego (2 veces por verano)	2.000	400	800.000
		Total	2.175.200

Fuente: Elaboración propia

⁴⁴ CONAF, 2010. "Implementación de un estudio a largo plazo del potencial de restauración pasiva del bosque esclerófilo de Chile central". Proyecto 058/2010

Tabla 7-20. Estimación de costo de la iniciativa (referencial)

Partida	Superficie (ha)	Costo (\$/ha)	(Millones)	Total (Millones \$)
Restauración	374,5	2,2		823,9
			Total	823,9

Fuente: Elaboración propia

Con este valor, el **costo total de la iniciativa es de \$823,9 millones de pesos (Tabla 7-20).**

El período de implementación es de 10 años, y el plazo de desarrollo es el mediano plazo (hasta 10 años). La institución responsable es la Corporación Nacional Forestal, y la fuente de financiamiento es sectorial. No se identificó beneficiarios directos.

La meta es alcanzar las 374,5 ha recuperadas, y el indicador de proceso corresponde a la superficie efectivamente bonificada. Se supone, además, que se controla adecuadamente los procesos de deforestación que pudieran ocurrir en la cuenca de manera tal que se recupera la superficie de bosque nativo.

Esta iniciativa no se relaciona directamente con otras dentro del Plan, no obstante, se produce una sinergia con ECO 3.2: Recuperación de suelos degradados.

7.1.2.3.2 ECO 3.2: Programa de Recuperación de suelos degradados

La brecha BECO5: Erosión del suelo se basa en el antecedente de que, según CIREN, en la cuenca existe un total de 104.137 ha erosionadas en forma muy severa, que representan el 7,6% de la superficie total de la cuenca.

El propósito de la iniciativa es recuperar la totalidad de las superficies que se encuentran en categoría de erosión severa o muy severa.

Para esto se propone la restauración de estas superficies. La restauración de suelos contribuye a frenar los procesos erosivos, y posteriormente recuperar capas de vegetación, captura de carbono e infiltración de agua, similar al proceso de la fase de restauración pasiva. De esta manera, se favorece el almacenamiento de agua a nivel del suelo, recomponiendo los flujos base del ciclo hidrológico.

El **Programa de Recuperación de Suelos Degradados** es un instrumento de fomento del Ministerio de Agricultura, establecido por la Ley N°20.412 de 2010 por un lapso de 12 años, contados desde la vigencia de la Ley. El Programa es coordinado por la Subsecretaría de Agricultura y ejecutado por el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) y el Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP). Su objetivo es recuperar el potencial productivo de los suelos agropecuarios degradados y mantener los niveles de mejoramiento alcanzado. Está dirigido a todos los productores agrícolas del país (personas naturales o jurídicas), sean propietarios, arrendatarios, comodatarios, usufructuarios o medieros, que cumplan con los

requisitos establecidos en la Ley N°20.412, su reglamento y las bases de sus respectivos concursos públicos.

Si bien es un programa con foco productivo, dentro de las actividades susceptibles de bonificación se encuentra el “**Establecimiento de una cubierta vegetal en suelos descubiertos o con cobertura deteriorada**: su objetivo es el establecimiento o regeneración de una cubierta vegetal permanente en suelos degradados, así como también mantener los niveles recuperados”.

El costo promedio de las solicitudes de bonificación del SIRSD de la región del Maule es de \$195.356/ha⁴⁵, por lo que el costo total de la iniciativa para recuperar las 104.137 ha degradadas identificadas es de **\$20.340,8 millones de pesos**.

La institución responsable es el Servicio Agrícola y Ganadero y el programa de Restauración de Suelos Degradados (SIRSD). Sin embargo, se ve como limitante la cantidad de operadores acreditados para operar este sistema, que restringe el acceso de los agricultores a este programa. Se debe evaluar este aspecto para aumentar la cobertura de la iniciativa.

El período de desarrollo de la iniciativa es de 30 años, y se espera una implementación progresiva en superficies anuales equivalentes. En consecuencia, el plazo de desarrollo es de 30 años. No se identificó beneficiarios directos.

La meta asociada es de 104.137 ha a recuperar, y el indicador de proceso es el número de ha efectivamente recuperadas.

Esta iniciativa no se relaciona directamente con otras dentro del Plan, no obstante, se produce una sinergia con ECO 3.1: Recuperación de Ecosistemas Terrestres.

7.1.2.4 **ECO 4: Acuerdo marco sobre embalse Rapel**

7.1.2.4.1 **ECO 4.1: Proyecto para obtención de Acuerdo marco sobre el Embalse Rapel**

Como se señala en la brecha BECO6, el embalse Rapel es en sí un nodo dentro de la cuenca, ya que en su espejo se concentran los aportes de agua, nutrientes y contaminantes de las cuencas superiores, al mismo tiempo que recoge expectativas de buena parte de los actores que existen en su entorno. En este sentido, la afectación del embalse constituye un impacto ambiental para la cuenca.

El propósito de esta iniciativa es el desarrollo de un programa de consenso para la gestión del embalse Rapel, el cual sea gestionado desde el sistema de gobernanza propuesto para la cuenca. Este programa debe ser acotado, basado en estudios y consensos previos, y, sobre todo, debe comprometer la participación y financiamiento de los actores y servicios

⁴⁵ Informado por profesionales del Servicio Agrícola y Ganadero de la región en reunión de coordinación.

públicos asociados. Es clave el liderazgo que el sistema de gobernanza propuesto pueda proporcionar a este “capítulo” territorial de la estructura mayor.

No se proponen acciones concretas, por lo que la iniciativa no tiene costo asociado. Es posible relacionarla con la iniciativa ECO 1.1, Definición de caudales ambientales y estándares de calidad de agua mínimos, ya que el programa Rapel debe incorporar estos elementos.

Se propone que la medida se impulse desde el Gobierno Regional, por la relevancia del embalse Rapel en el contexto regional. No se asignó un presupuesto a este acuerdo, mientras que el período de desarrollo de este acuerdo es de no más de 12 meses, y se espera que se implemente en el corto plazo.

La meta asociada es la elaboración del programa, y el indicador de proceso es el acta de suscripción de este acuerdo.

7.1.3 Seguridad Hídrica para las Actividades Productivas

Las actividades productivas que dependen de la provisión de agua en la cuenca corresponden principalmente al desarrollo agrícola, seguido por la producción industrial del sector forestal.

A continuación, la **Tabla 7-21** identifica las principales iniciativas para la Seguridad Hídrica de Actividades Productivas.

Tabla 7-21. Iniciativas de Seguridad Hídrica para las Actividades Productivas

Línea de Acción	Iniciativa	Brecha
PRO 1 – Estudio de Nuevas Fuentes de Agua para Agricultura	PRO 1.1 - Embalse Bollenar	BPRO 1. Déficit hídrico estacional entre oferta actual y demanda de agua para la agricultura y otros usos
PRO 1 – Estudio de Nuevas Fuentes de Agua para Agricultura	PRO 1.2 –Embalse Las Cayanas	BPRO 1. Déficit hídrico estacional entre oferta actual y demanda de agua para la agricultura y otros usos BPRO 2. Disminución de la oferta de agua superficial para el uso minero
PRO 1 – Estudio de Nuevas Fuentes de Agua para Agricultura	PRO 1.3 - Embalse río Claro de Tinguiririca	BPRO 1. Déficit hídrico estacional entre oferta actual y demanda de agua para la agricultura y otros usos
PRO 1 – Estudio de Nuevas Fuentes de Agua para Agricultura	PRO 1.4 – Proyecto de Aumento de Capacidad Embalse Convento Viejo	BPRO 1. Déficit hídrico estacional entre oferta actual y demanda de agua para la agricultura y otros usos
PRO 2 - Gestión Dinámica de Acuíferos	PRO 2.1 – Estudio de Factibilidad de la Gestión Dinámica de Acuíferos	BPRO 1. Déficit hídrico estacional entre oferta actual y demanda de agua para la agricultura y otros usos
PRO 2 - Gestión Dinámica de Acuíferos	PRO 2.2 – Programa de implementación de una Gestión Dinámica de Acuíferos en Unidad de Gestión Cachapoal	BPRO 1. Déficit hídrico estacional entre oferta actual y demanda de agua para la agricultura y otros usos
PRO 2 - Gestión Dinámica de Acuíferos	PRO 2.3 – Programa de implementación de una Gestión Dinámica de Acuíferos en Unidad de Gestión Tinguiririca	BPRO 1. Déficit hídrico estacional entre oferta actual y demanda de agua para la agricultura y otros usos
PRO 2 - Gestión Dinámica de Acuíferos	PRO 2.4 – Programa de implementación de una Gestión Dinámica de Acuíferos en Unidad de Gestión Rapel	BPRO 1. Déficit hídrico estacional entre oferta actual y demanda de agua para la agricultura y otros usos
PRO 3 - Fortalecimiento del secano interior y la agricultura familiar campesina	PRO 3.1 – Proyecto Integral de Riego Marchigüe	BPRO 3. Baja seguridad hídrica en el secano interior
PRO 3 - Fortalecimiento del secano interior y la agricultura familiar campesina	PRO 3.2 – Proyecto Integral de Riego Rapel	BPRO 3. Baja seguridad hídrica en el secano interior

Línea de Acción	Iniciativa	Brecha
PRO 3 - Fortalecimiento del secano interior y la agricultura familiar campesina	PRO 3.3 - Programa de apoyo al secano interior de Marchigüe	BPRO 3. Baja seguridad hídrica en el secano interior
PRO 3 - Fortalecimiento del secano interior y la agricultura familiar campesina	PRO 3.4 - Programa de apoyo al secano interior de Rapel y La Estrella	BPRO 3. Baja seguridad hídrica en el secano interior
PRO 3 - Fortalecimiento del secano interior y la agricultura familiar campesina	PRO 3.5 Programa de apoyo al valle de Alhué	BPRO 3. Baja seguridad hídrica en el secano interior
PRO 4 - Aumento en la eficiencia del uso del agua	PRO 4.1 – Plan de Aumento de la Eficiencia de Riego	BPRO 4: Baja eficiencia relativa de la Eficiencia de Riego
PRO 4 - Aumento en la eficiencia del uso del agua	PRO 4.2 – Programa para el Aumento de la Eficiencia de Riego Unidad de Gestión Cachapoal	BPRO 4: Baja eficiencia relativa de la Eficiencia de Riego
PRO 4 - Aumento en la eficiencia del uso del agua	PRO 4.3 – Programa para el Aumento de la Eficiencia de Riego Unidad de Gestión Tinguiririca	BPRO 4: Baja eficiencia relativa de la Eficiencia de Riego
PRO 4 - Aumento en la eficiencia del uso del agua	PRO 4.4 – Programa para el Aumento de la Eficiencia de Riego Unidad de Gestión Rapel	BPRO 4: Baja eficiencia relativa de la Eficiencia de Riego
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
PRO 6- Gestión de Organizaciones de Usuarios de Agua	PRO 6.1 – Programa de Regularización de Organizaciones de Usuarios de Agua	BPRO 6. Organizaciones de Usuarios de Agua no regularizadas y con déficit de capacidades técnicas
PRO 6- Gestión de Organizaciones de Usuarios de Agua	PRO 6.2 – Programa de Constitución de Comunidades de Aguas Subterráneas en la cuenca del Rapel	BPRO 8. Falta de coordinación para la gestión de las aguas subterráneas

Línea de Acción	Iniciativa	Brecha
PRO 6- Gestión de Organizaciones de Usuarios de Agua	PRO 6.3 – Proyecto para el Acuerdo de distribución de agua entre Juntas de Vigilancia del río Cachapoal	BPRO 7. Falta de coordinación producto del seccionamiento de cauces principales

Fuente: Elaboración propia

Las iniciativas se presentan a continuación.

7.1.3.1 PRO 1: Nuevas fuentes de aguas superficiales

7.1.3.1.1 PRO 1.1: Embalse Bollenar

La iniciativa se relaciona con la brecha BPRO 1. Baja Seguridad Hídrica para las Actividades Productivas, y el propósito es continuar con los estudios técnicos del proyecto Embalse Bollenar.

El Embalse Bollenar se encuentra en la Primera Sección del río Claro de Rengo, en la región de O'Higgins. Actualmente se encuentra en ejecución el estudio de factibilidad⁴⁶, por mandato de la Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas. Este estudio se realiza a continuación de la consultoría "Estudio de prefactibilidad de Mejoramiento del Sistema de Riego en Río Claro de Rengo" (CNR, 2012).

El proyecto consiste en un embalse ubicado aguas abajo (aproximadamente a 17,5 km) del actual Embalse Laguna Los Cristales. El estudio de prefactibilidad concluyó que, en la situación actual, los regantes están ocupando todos los recursos hídricos que escurren por el río, incluso aquellos que corresponden a derechos no consuntivos, destinados a proyectos hidroeléctricos, aún no materializados. Lo anterior permite regar 6.065 ha. con una seguridad de 52%, y 3.200 ha. con una seguridad de 85%. Si no se usaran los derechos hidroeléctricos, al regar con 85% de seguridad, la superficie se reduciría a 1.650 ha.

En la situación futura con embalse, se considera sólo regular los derechos de los regantes, ya que no hay derechos fiscales que se puedan asignar al proyecto. Por lo tanto, se deberán dejar pasar los derechos de terceros y el caudal ecológico. En esas condiciones, el área de riego seguro alcanzaría aproximadamente a 5.200 ha.

El estudio de factibilidad del Embalse Bollenar⁴⁷ del año 2021, mandatado por la DOH, concluyó que la obra es factible, para un volumen de aproximadamente 59 hm³. De manera similar, la modelación hidrológica realizada en el presente proyecto concluyó que el volumen determinado cuenta con respaldo hidrológico. El paso siguiente, al que corresponde esta iniciativa, es la elaboración del estudio de impacto ambiental y los diseños de ingeniería de detalle, pasos previos a la licitación de la construcción y posterior entrada en operación.

Para estimar el costo de los estudios de ingeniería y permisos ambientales, se tomó como referencia el Convenio de Programación entre el MOP y el Gobierno Regional del Maule para la ejecución del Estudio de Factibilidad Avanzada del Embalse La Jaula.

⁴⁶ Mercado Público, Licitación Id 975-17-O120: "Consultoría Estudio Factibilidad Embalse Bollenar"

⁴⁷ <http://elurbanorural.cl/mop-ohiggins-recibe-informe-final-del-estudio-de-factibilidad-construccion-embalse-bollenar-de-rengo/>

Tabla 7-22. Presupuesto de los estudios previos del embalse Bollenar

Partida	Total
Estudio de Factibilidad Avanzada	3.900
Asesoría Ingeniería	350
EIA + RCA	425
Total (Millones de \$)	4.675

Fuente: Convenio de Programación MOP-Gobierno Regional del Maule, 2020.

Para estimar el costo de construcción de la obra, se tomó el monto indicado en el estudio de Prefactibilidad del embalse Bollenar del año 2021, en el que costo de construcción la obra se estimó en **\$171.358 millones de pesos**.

Tabla 7-23. Presupuesto total del embalse Bollenar

Partida	Total	Duración (años)	Plazo	Responsable	Financiamiento
Estudios de ingeniería y permisos ambientales	4.675	4 a 5	Corto plazo	MOP	Sectorial
Construcción	171.358	3	Largo Plazo	MOP	Sectorial
Total (Millones de \$)	176.033				

Fuente: MOP, Varios

La institución responsable es la Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas. Los estudios de ingeniería y permisos ambientales tienen una duración estimada de 4 a 5 años, y se espera que se desarrollen en el corto plazo; mientras que la construcción de la obra tiene una duración de 3 años, y se espera que se ejecute en el largo plazo. El financiamiento es sectorial, pero es posible incorporar aportes regionales.

Si se toma un consumo promedio de 70.000 m³ por usuario al año⁴⁸, sobre el 90% del volumen regulado (90% de 59 hm³ equivale a 53,1 hm³), se tiene un total de 759 beneficiarios potenciales. No se asocia con otras iniciativas del Plan.

⁴⁸ Se obtiene al considerar propietarios con una superficie regada de 7,0 ha en promedio, y un consumo de agua de 10.000 m³/ha/año.

La meta asociada es el aporte de 59 hm³ a la regulación de la cuenca, y el indicador de proceso es el embalse puesto en operación.

7.1.3.1.2 **PRO 1.2: Embalse Las Cayanas**

La iniciativa se relaciona con la brecha BPRO 1. Baja Seguridad Hídrica para las Actividades Productivas, y el propósito es el disponer de una solución integrada para mejorar la seguridad hídrica en la Unidad de Gestión Cachapoal y Rapel, incorporando a CODELCO División El Teniente (DET) como un actor relevante.

Para esto se propone avanzar en los estudios técnicos del embalse Las Cayanas, que corresponde a una idea de proyecto para almacenamiento de agua en la parte alta de la cuenca del río Cachapoal, específicamente dentro de la Primera Sección de este río. El almacenamiento serviría para mejorar la seguridad de riego de esta sección, al mismo tiempo que aumentaría la seguridad de abastecimiento para CODELCO DET.

Este embalse fue incluido dentro de los escenarios de gestión del modelo de simulación, contando con respaldo hidrológico. En particular, se simuló el aporte de este embalse en 50 hm³, que es volumen resultante de un estudio interno de CODELCO DET.

Se propone como acción inicial la realización del estudio de prefactibilidad del Embalse Las Cayanas, en la parte alta del río Rapel (Primera Sección), con el propósito de determinar las alternativas para el desarrollo de esta obra. Este embalse no ha sido considerado dentro de las programaciones anteriores, principalmente por el conflicto potencial entre los derechos de aprovechamiento consuntivos que alimentarían al embalse, con un derecho no consuntivo ubicado en este tramo.

Colaboración con CODELCO División El Teniente

En la actualidad, dentro de los planes que se evalúan para la gestión de riesgos de abastecimiento de recursos estratégicos (agua) en CODELCO DET está la recirculación de agua desde el Tranque Carén, mediante una tubería de impulsión ubicada en la misma canaleta de relave; y en última instancia, la desalación e impulsión de agua de mar.

Ambas alternativas presentan costos de inversión significativos, al mismo tiempo que pudieran tener externalidades negativas desde el punto de vista ambiental y social. En el caso de la elevación desde el Tranque Carén, se restan recursos desde una cuenca que ha sido fuertemente afectada por la disminución de precipitaciones en los últimos años. En el caso de la desalinización, además del costo asociado, requiere disponer de una concesión marina y la intervención del borde costero, además de las tuberías de impulsión asociadas.

Frente a esta estrategia, se plantea que CODELCO se beneficie de las aguas embalsadas en el embalse Las Cayanas (para el caso que esta obra tenga factibilidad hidrológica), para satisfacer los 11 hm³ estimados de brecha hídrica al año 2050, y a cambio de esta regulación, contribuya al financiamiento de la construcción del embalse. Adicionalmente,

se podrían incorporar medidas adicionales como la contribución a la tecnificación del riego en la primera sección del Cachapoal para compensar el volumen utilizado.

A partir del costo de estudios similares, se estima que el estudio de prefactibilidad tiene un valor de **\$600 millones de pesos**, y una duración de 24 meses. Se espera que se ejecute en el corto plazo. La institución responsable es la Comisión Nacional de Riego, con fondos sectoriales.

Posterior al estudio de prefactibilidad elaborado por la Comisión Nacional de Riego, se pasa a un estudio de prefactibilidad elaborado por la Dirección de Obras Hidráulicas del MOP, que profundiza en la evaluación de alternativas y aspectos de construcción de la obra. Se estimó este estudio en \$4.250 millones de pesos, a partir de los antecedentes presentados en la **Tabla 7-22**, al igual que para estimar los costos del estudio de ingeniería de detalle y permisos ambientales (\$4.675 millones).

Para estimar el costo de construcción del embalse se utilizó un polinomio construido a partir de los costos y volumen embalsado de los 26 embalses contenidos en el Plan Nacional de Embalses, la que se detalla en el anexo K5 de este informe.

El costo total estimado es de **\$154.967 millones de pesos**. La duración de una obra de este tipo es de 3 a 4 años, y se espera que se materialice en el largo plazo. Los beneficiarios directos de la obra se pueden estimar en 714⁴⁹.

La institución responsable de la construcción es el Ministerio de Obras Públicas. El financiamiento es sectorial, pero es posible incorporar aportes regionales. No existe relación con otras iniciativas.

La meta asociada es el aporte de 50 hm³ a la regulación de la cuenca, y el indicador de proceso es el embalse puesto en operación.

⁴⁹ Para este cálculo referencial se supuso que los propietarios poseen en promedio 7,0 ha, y una demanda de agua de 70.000 m³ al año.

Tabla 7-24. Presupuesto total del embalse Las Cayanas

Partida	Total	Duración (años)	Plazo	Responsable	Financiamiento
Estudio de Prefactibilidad	600	2	Corto Plazo	CNR	Sectorial
Estudio de Prefactibilidad (MOP)	4.250	3 a 4	Mediano plazo	MOP	Sectorial
Estudios de ingeniería y permisos ambientales	4.675	4 a 5	Largo plazo	MOP	Sectorial
Construcción	154.967	3	Largo Plazo	MOP	Sectorial
Total (Millones de \$)	164.495				

Fuente: MOP, Varios

7.1.3.1.3 PRO 1.3: Embalse Río Claro de Tinguiririca

La iniciativa se relaciona con la brecha BPRO 1. Baja Seguridad Hídrica para las Actividades Productivas, y el propósito es suplir la pérdida de regulación natural de la subcuenca del Tinguiririca, producto del retroceso de los glaciares.

Para esto, se propone un embalse de 20 hm³ en el río Claro de Tinguiririca, el cual fue evaluado dentro de los escenarios de gestión del Plan, contando con respaldo hidrológico.

A partir del costo de estudios similares, se estima que el estudio de prefactibilidad tiene un valor de **\$600 millones de pesos**, y una duración de 24 meses. Se espera que se ejecute en el corto plazo. La institución responsable es la Comisión Nacional de Riego, con fondos sectoriales.

Posterior al estudio de prefactibilidad elaborado por la Comisión Nacional de Riego, se pasa a un estudio de prefactibilidad elaborado por la Dirección de Obras Hidráulicas del MOP, que profundiza en la evaluación de alternativas y aspectos de construcción de la obra. Se estimó este estudio en \$4.250 millones de pesos, a partir de los antecedentes presentados en la **Tabla 7-25**, al igual que para estimar los costos del estudio de ingeniería de detalle y permisos ambientales (\$4.675 millones).

Para determinar el costo de construcción se utilizó un polinomio construido a partir de los costos y volumen embalsado de los 26 embalses contenidos en el Plan Nacional de Embalses, la que se detalla en el anexo K4 de este informe.

El costo total estimado es de **\$56.000 millones de pesos**. La duración de una obra de este tipo es de 3 a 4 años, y se espera que se materialice en el largo plazo. La institución responsable es el Ministerio de Obras Públicas. El financiamiento es sectorial, pero es posible incorporar aportes regionales.

Tabla 7-25. Presupuesto total del embalse Río Claro de Tinguiririca

Partida	Total	Duración (años)	Plazo	Responsable	Financiamiento
Estudio de Prefactibilidad	600	2	Corto Plazo	CNR	Sectorial
Estudio de Prefactibilidad (MOP)	4.250	3 a 4	Mediano plazo	MOP	Sectorial
Estudios de ingeniería y permisos ambientales	4.675	4 a 5	Largo plazo	MOP	Sectorial
Construcción	56.000	3	Largo Plazo	MOP	Sectorial
Total (Millones de \$)	65.525				

Fuente: MOP, Varios

Los beneficiarios directos de la obra se pueden estimar en 286⁵⁰. Y la iniciativa no se relaciona con otras propuestas de este Plan.

La meta asociada es el aporte de 20 hm³ a la regulación de la cuenca, y el indicador de proceso es el embalse puesto en operación.

⁵⁰ Para este cálculo referencial se supuso que los propietarios poseen en promedio 7,0 ha, y una demanda de agua de 70.000 m³ al año.

7.1.3.1.4 PRO 1.4: Proyecto de Aumento de Capacidad Embalse Convento Viejo

La iniciativa se relaciona con la brecha BPRO 1. Baja Seguridad Hídrica para las Actividades Productivas, y el propósito es el aumentar la seguridad hídrica en el área regada del estero Chimbarongo y Tinguiririca bajo, al mismo tiempo que se aumenta la disponibilidad de agua para el Proyecto Integral de Riego Marchigüe.

El Embalse Convento Viejo se ubica en la cuenta del Estero Chimbarongo, en las provincias de Colchagua y Cardenal Caro, en la región de O'Higgins. La obra, actualmente en operación, consideró la ampliación del Embalse Convento Viejo (Etapa I), de capacidad 27 millones de m³ preexistente, a uno de capacidad de 237 millones de m³ (Etapa II), más una red de canales matrices, principales y secundarios, para el riego de una superficie que originalmente ascendía a las 26.000 ha., del valle de Nilahue. Entre los beneficios de la obra destaca que incrementa la seguridad de riego de las 38.000 ha. de los valles de Chimbarongo, Las Toscas y Güirivilo⁵¹.

Actualmente la obra tiene la capacidad de peraltar el muro en 1m, aumentando el volumen almacenado en 34 hm³. En forma adicional, existe la capacidad de aumentar su capacidad hasta un volumen de 454 hm³ en el caso que se peralte en 6 m.

La modelación hidrológica realizada en este Plan señala que es viable aumentar la capacidad de embalse en 34 hm³, pero no sería viable aumentar el volumen más allá de esta cifra.

En consecuencia, se propone el aumento de la capacidad de embalse, el que se estima tiene un costo de **\$ 8.500 millones de pesos**. Las obras de construcción tomarían un período de 12 meses, y se espera que se puedan concretar en el corto plazo.

Si se considera un volumen útil equivalente al 90% de la ampliación, los beneficiarios directos de la obra se pueden estimar en 437⁵². La institución responsable es la empresa concesionaria del embalse, por lo que el financiamiento es privado. Esta iniciativa se relaciona con PRO 3.1 Proyecto Integral de Riego Marchigüe.

7.1.3.2 PRO 2: Gestión Dinámica de Acuíferos

La gestión dinámica de acuíferos se entiende como la capacidad de manejar en forma variable un volumen de aguas subterráneas asociado a sus variables significativas, es decir, recarga, volumen disponible, expectativas futuras de mantención de esas variables, así como las exógenas, infiltración, recarga artificial, regulación de derechos, distribución variable por sectores, intercambio por derechos superficiales y otras, que tienen que ver con la Gestión Integral de la Cuenca, incluidos ese o los acuíferos en explotación.

⁵¹ Revisado en <http://www.concesiones.cl/proyectos/Paginas/detalleExplotacion.aspx?item=12>

⁵² Para este cálculo referencial se supuso que los propietarios poseen en promedio 7,0 ha, y una demanda de agua de 70.000 m³ al año.

En su expresión más simple (y como fue empleada en la Calculadora Hídrica) se utilizó una premisa de excedencia de un 10% en relación con las aguas que efectivamente serán extraídas. Esta excedencia permite, por un lado, disponer de un volumen de reserva para el caso de eventos de sequías prolongadas, y por el otro, resguardarse ante la incertidumbre asociada al uso dinámico de las aguas subterráneas.

A continuación, se presentan las iniciativas para la gestión dinámica en cada una de las Unidades de Gestión, así como un estudio de prefactibilidad para su materialización.

7.1.3.2.1 **PRO 2.1: Estudio de factibilidad de la Gestión dinámica de Acuíferos**

La iniciativa se relaciona con la brecha BPRO 1. Baja Seguridad Hídrica para las Actividades Productivas.

El propósito de esta iniciativa es evaluar a nivel de estudio de ingeniería de prefactibilidad, la viabilidad de realizar una gestión dinámica de acuíferos en la cuenca, señalando los sectores propicios y volúmenes de agua a ser gestionados, así como alternativas para la regla de operación que aseguren la sustentabilidad de las aguas subterráneas.

Las partes del estudio son las siguientes:

1. **Determinación de zonas de recarga.** Estudio geofísico de las zonas de recarga, para elaborar modelos hidrogeológicos conceptuales locales que refinan el conocimiento que ya existe de la cuenca, y que permita refinar los modelos numéricos desarrollados. Se propone complementar con seguimiento mediante marcadores radioactivos.
2. **Evaluación de alternativas de recarga.** A partir de la caracterización local del acuífero, se debe determinar las técnicas de recarga de acuíferos más apropiadas: escarificación del lecho del río, recarga a través de canales de riego (mediante riego invernial), o puntos de inyección u otras similares. Se debe definir además un sistema de contabilización de las aguas recargadas, con el propósito de permitir un recuento adecuado de los volúmenes de agua aportados al acuífero.
3. **Determinar los puntos de extracción.** Estos puntos dependerán de las zonas en que se verifique el aumento de la disponibilidad producto de la demanda, o bien que estén asociados a zonas de demanda, y cuya extracción y efectos en acuíferos laterales se ve complementada por la misma recarga. De la misma forma, se debe evaluar los mecanismos de distribución, ya sea en pozos nuevos de tipo comunitario, o en pozos existentes donde se pudiera otorgar un caudal provisorio asociado a este volumen. Se debe definir si las aguas extraídas se entregarán en forma directa desde los pozos, o bien se utilizarán para descargar a canales de regadío ya existentes.
4. **Regla de Operación del Acuífero.** Se debe definir además la regla de operación de la Gestión Dinámica de acuíferos, la que debe responder a la relación de propiedad de los derechos de agua previamente recargados, así como las obras requeridas para su materialización.

Se estima que este estudio de ingeniería a nivel de factibilidad tiene un costo de **\$650 millones de pesos (Tabla 7-26)** y requiere de un período de ejecución de 24 meses. Se espera que se ejecute en el corto plazo, y no se identificaron beneficiarios directos.

Tabla 7-26. Estimación de costo del estudio de recarga de acuíferos

Partida	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (Millones de \$)	Costo Total (Millones de \$)
Determinación de Zonas de Recarga	HP	4.000	0,05	200
Estudio geofísico	GI	4	50	200
Puntos de extracción	HP	3.000	0,05	150
Regla de Operación	HP	2.000	0,05	100
			Total	650

Fuente: Elaboración propia

La institución responsable de su ejecución es la Comisión Nacional de Riego, con financiamiento sectorial.

La meta asociada es la ejecución del estudio de ingeniería, y el indicador de proceso es el informe técnico.

Las iniciativas asociadas son PRO 2.2, PRO 2.3 y PRO 2.4, que cuantifican a nivel preliminar la recarga potencial estimada para cada una de las tres unidades de gestión de la cuenca: Cachapoal, Tinguiririca y Rapel.

7.1.3.2.2 PRO 2.2: Programa de implementación de una Gestión Dinámica de acuíferos en la Unidad de Gestión Cachapoal

Esta iniciativa se desprende de la iniciativa se relaciona con la brecha BPRO 1. Baja Seguridad Hídrica para las Actividades Productivas, y propone una Gestión Dinámica de Acuíferos como parte de las iniciativas para abordarla. El propósito es disponer de alternativas a las obras de regulación tradicional (embalses), e incorporar a los acuíferos a la gestión de la regulación, promoviendo su valor y conservación.

Las propuestas resultan del análisis realizado sobre el modelo hidrológico e hidrogeológico de la cuenca, el balance hídrico entre oferta y demanda de agua en cada unidad de gestión y sector específico, y la participación de los usuarios de agua. De esta manera, se tiene una propuesta referencial -validada por el modelo hidrológico- sobre los volúmenes de agua a ser considerados potencialmente dentro de una Gestión Dinámica de los Acuíferos asociados a cada unidad de gestión (**Tabla 7-27**).

Tabla 7-27. Unidad de Gestión Cachapoal. Gestión Dinámica de Acuíferos

Acción	Extracción (hm³/año)	Recarga (hm³/año)	Costo de Inversión (Millones \$)
Uso de nuevos pozos hasta 50m	+ 41		1.043
Uso de nuevos pozos hasta 100m	+ 497		38.371
Recarga de aguas subterráneas desde puntos de recarga		-529	79.413
Recarga de aguas subterráneas desde canales		-62	4.338
SubTotal (hm³/año)	+ 538	-592	123.165
Reserva dinámica(hm³/año)		-54	

Fuente: Elaboración propia

En la **Tabla 7-27** se distinguen las obras o acciones que resultan en la extracción o recarga del acuífero (en hm³/año). Las obras de recarga aportan al acuífero (suman), mientras que las obras de extracción sustraen agua del acuífero (restan, aparecen con signo negativo). La diferencia entre ambos totales resulta en la variación del acuífero tras la gestión dinámica, que en este caso se ha forzado a que sea positiva o favorable. El detalle de los valores por Unidad de Gestión y Sector se tienen del numeral 5.5.1 de este informe, y del Anexo K2, Calculadora Hídrica.

En este caso, el aporte efectivo de la Gestión Dinámica de Acuíferos equivale al 48,0% del total de la brecha estimada (538 de 1.121 hm³/año). El número de beneficiarios se estimó a partir del volumen gestionado⁵³, y es de 5.785 usuarios.

El plazo de implementación es de 10 años, y la institución responsable es la Comisión Nacional de Riego, con financiamiento sectorial.

La meta asociada es la gestión dinámica de 538 hm³, considerando la reserva como un adicional. El indicador de proceso es el volumen de agua gestionado al año.

La iniciativa se relaciona con PRO 2.1, Estudio de implementación de la Gestión Dinámica de Acuíferos, ya que este estudio se espera que determine las zonas potenciales de manejo en el acuífero.

⁵³ Se estimó una demanda bruta de 10.000 m³/ha/año, y 9,3 ha en promedio por usuario, lo que da una demanda bruta agregada de 70.000 m³/año por usuario. Para determinar la superficie promedio regional se tomó el antecedente proporcionado por el VII Censo Silvoagropecuario y Forestal de 2007 (210.691 ha), dividida por el número de explotaciones con tierra (22.678), lo que da 9,3 ha bajo riego por explotación.

7.1.3.2.3 PRO 2.3: Programa de implementación de una Gestión Dinámica de acuíferos en la Unidad de Gestión Tinguiririca

Esta iniciativa se desprende de la iniciativa se relaciona con la brecha BPRO 1. Baja Seguridad Hídrica para las Actividades Productivas, y propone una Gestión Dinámica de Acuíferos como parte de las iniciativas para abordarla. El propósito es disponer de alternativas a las obras de regulación tradicional (embalses), e incorporar a los acuíferos a la gestión de la regulación, promoviendo su valor y conservación.

Las propuestas resultan del análisis realizado sobre el modelo hidrológico e hidrogeológico de la cuenca, el balance hídrico entre oferta y demanda de agua en cada unidad de gestión y sector específico, y la participación de los usuarios de agua. De esta manera, se tiene una propuesta referencial -validada por el modelo hidrológico- sobre los volúmenes de agua a ser considerados potencialmente dentro de una Gestión Dinámica de los Acuíferos asociados a cada unidad de gestión (**Tabla 7-28**).

En este caso, el aporte efectivo de la Gestión Dinámica de Acuíferos equivale al 27,3% del total de la brecha estimada (212 de 776 hm³/año). El número de beneficiarios se estimó a partir del volumen gestionado⁵⁴, y es de 2.280 usuarios.

El plazo de implementación es de 10 años, y la institución responsable es la Comisión Nacional de Riego, con financiamiento sectorial. La meta asociada es la gestión dinámica de 212 hm³, considerando la reserva como un adicional. El indicador de proceso es el volumen de agua gestionado al año.

Tabla 7-28. Unidad de Gestión Tinguiririca. Gestión Dinámica de Acuíferos

Acción	Extracción (hm ³ /año)	Recarga (hm ³ /año)	Costo de Inversión (Millones \$)
Uso de nuevos pozos hasta 50m	55		1.422
Uso de nuevos pozos hasta 100m	157		12.112
Recarga de aguas subterráneas desde puntos de recarga		-202	30.360
Recarga de aguas subterráneas desde canales		-31	2.169
SubTotal (hm³/año)	212	-234	46.064
Reserva dinámica(hm³/año)		-21	

Fuente: Elaboración propia

⁵⁴ Se estimó una demanda bruta de 10.000 m³/ha/año, y 9,3 ha en promedio por usuario, lo que da una demanda bruta agregada de 70.000 m³/año por usuario. Para determinar la superficie promedio regional se tomó el antecedente proporcionado por el VII Censo Silvoagropecuario y Forestal de 2007 (210.691 ha), dividida por el número de explotaciones con tierra (22.678), lo que da 9,3 ha bajo riego por explotación.

La iniciativa se relaciona con PRO 2.1, Estudio de implementación de la Gestión Dinámica de Acuíferos, ya que este estudio se espera que determine las zonas potenciales de manejo en el acuífero.

7.1.3.2.4 PRO 2.4: Programa de implementación de una Gestión Dinámica de acuíferos en la Unidad de Gestión Rapel

Esta iniciativa se desprende de la iniciativa se relaciona con la brecha BPRO 1. Baja Seguridad Hídrica para las Actividades Productivas, y propone una Gestión Dinámica de Acuíferos como parte de las iniciativas para abordarla. El propósito es disponer de alternativas a las obras de regulación tradicional (embalses), e incorporar a los acuíferos a la gestión de la regulación, promoviendo su valor y conservación.

Las propuestas resultan del análisis realizado sobre el modelo hidrológico e hidrogeológico de la cuenca, el balance hídrico entre oferta y demanda de agua en cada unidad de gestión y sector específico, y la participación de los usuarios de agua. De esta manera, se tiene una propuesta referencial -validada por el modelo hidrológico- sobre los volúmenes de agua a ser considerados potencialmente dentro de una Gestión Dinámica de los Acuíferos asociados a cada unidad de gestión (**Tabla 7-29**).

En este caso, el aporte efectivo de la Gestión Dinámica de Acuíferos equivale al 15,2% del total de la brecha estimada (34 de 223 hm³/año). El número de beneficiarios se estimó a partir del volumen gestionado⁵⁵, y es de 366 usuarios.

Tabla 7-29. Unidad de Gestión Rapel. Gestión Dinámica de Acuíferos

Acción	Extracción (hm ³ /año)	Recarga (hm ³ /año)	Costo de Inversión (Millones \$)
Uso de nuevos pozos hasta 50m	-		-
Uso de nuevos pozos hasta 100m	34		2.626
Recarga de aguas subterráneas desde puntos de recarga		-37	5.616
Recarga de aguas subterráneas desde canales		-	-
SubTotal hm³/año)	34	-37	8.242
Reserva dinámica(hm³/año)		-3	

Fuente: Elaboración propia

⁵⁵ Se estimó una demanda bruta de 10.000 m³/ha/año, y 9,3 ha en promedio por usuario, lo que da una demanda bruta agregada de 93.000 m³/año por usuario. Para determinar la superficie promedio regional se tomó el antecedente proporcionado por el VII Censo Silvoagropecuario y Forestal de 2007 (210.691 ha), dividida por el número de explotaciones con tierra (22.678), lo que da 9,3 ha bajo riego por explotación.

El plazo de implementación es de 10 años, y la institución responsable es la Comisión Nacional de Riego, con financiamiento sectorial.

La meta asociada es la gestión dinámica de 34 hm³, considerando la reserva como un adicional. El indicador de proceso es el volumen de agua gestionado al año.

La iniciativa se relaciona con PRO 2.1, Estudio de implementación de la Gestión Dinámica de Acuíferos, ya que este estudio se espera que determine las zonas potenciales de manejo en el acuífero.

7.1.3.3 PRO 3: Fortalecimiento del secano interior y la agricultura familiar campesina

7.1.3.3.1 PRO 3.1: Proyecto Integral de Riego en sector Marchigüe

Esta iniciativa se asocia a la brecha BPRO3, Baja seguridad hídrica en el secano interior, y su propósito es aumentar la disponibilidad de agua en el sector de Marchigüe, con aguas provenientes del embalse Convento Viejo.

Para esto, se propone implementar el Proyecto Integral de Riego Marchigüe (ya descrito en el numeral 6.3.1.4, Acciones Catastradas

El presupuesto total es de **22.800 millones de pesos (733.465 UF)**, el cual comprende las obras anexas, canales, mitigaciones ambientales y otras (CNR, 2019).

Actualmente este proyecto se encuentra en la fase de evaluación de factibilidad en el Ministerio de Desarrollo Social. Una vez obtenida la resolución, se debe someter a evaluación de impacto ambiental previo a la fase de construcción probablemente mediante una Declaración de Impacto Ambiental. El costo del proceso de evaluación ambiental se supuso en **\$200 millones de pesos**.

Tabla 7-30. Partidas del Plan de Integral de Riego

Partida	Total	Duración (años)	Plazo	Responsable	Financiamiento
Evaluación de impacto Ambiental (DIA)	200	1 a 2	Corto Plazo	MOP	Sectorial
Construcción	22.800	2 a 3	Mediano Plazo	MOP	Sectorial
Total (Millones de \$)	23.000				

Fuente: Elaboración propia

La tramitación de una Declaración de Impacto Ambiental es de 12 a 18 meses, mientras que el período de construcción de una obra de este tipo es de 2 a 3 años, por lo que se requieren unos 4 a 5 años para su entrada en operación.

Se espera que se materialice en el corto a mediano plazo. Los beneficiarios directos de la obra se estimaron en 388, según el estudio inicial de la Comisión Nacional de Riego.

La institución responsable es el Ministerio de Obras Públicas. El financiamiento es sectorial, pero es posible incorporar aportes regionales.

Esta iniciativa se relaciona con PRO 3.3, Programa de apoyo al secano interior de Marchigüe, que busca asegurar la participación de pequeños agricultores dentro del trazado de esta obra.

La meta es disponer de 10.000 nuevas hectáreas bajo riego, y el indicador de proceso es la superficie efectivamente beneficiada.

7.1.3.3.2 PRO 3.2: Proyecto Integral de Riego (PIR) sector Rapel

Esta iniciativa se asocia a la brecha BPRO3, Baja seguridad hídrica en el secano interior, y su propósito es aumentar la disponibilidad de agua en el sector de Rapel, comunas de La Estrella, Navidad y Litueche.

En la actualidad, la Comisión Nacional de Riego se encuentra desarrollando el proyecto "Construcción Sistema de Riego Río Rapel, Región de O'Higgins (Código BIP 40014090-0)". El objetivo general del estudio de Prefactibilidad es evaluar y proponer a lo menos dos alternativas de proyectos integrales, que permitan dar solución al abastecimiento de agua para riego, principalmente a las comunas de Navidad, Litueche y la Estrella, generando los diseños preliminares de las obras necesarias de captación, conducción, acumulación y distribución del agua obtenida desde el Río Rapel, estimando los costos, beneficios agroeconómicos y rentabilidad privada y social para cada alternativa propuesta. Se espera que sus resultados estén disponibles para el mes de agosto de 2022. El proyecto se describe en el capítulo 6, Cartera de Acciones Catastradas, 6.3.1.5.

Dentro del proyecto evaluado, se señala que se optó por consolidar los embalses para satisfacer las necesidades hídricas de las áreas 2 y 3. Según los estudios preliminares desarrollados por la Comisión Nacional de Riego, el costo estimado del proyecto es de **264.125 millones de pesos** y tendría una superficie beneficiada potencial de 10.217 ha, alcanzando a 1.099 usuarios⁵⁶.

⁵⁶ Se estimó una demanda bruta de 10.000 m³/ha/año, y 9,3 ha en promedio por usuario, lo que da una demanda bruta agregada de 93.000 m³/año por usuario. Para determinar la superficie promedio regional se tomó el antecedente proporcionado por el VII Censo Silvoagropecuario y Forestal de 2007 (210.691 ha), dividida por el número de explotaciones con tierra (22.678), lo que da 9,3 ha bajo riego por explotación.

El paso siguiente corresponde al estudio de prefactibilidad a ser ejecutado por la Dirección de Obras Hidráulicas. Este estudio tiene un costo referencial de \$4.250 millones de pesos y le sucedería el estudio de ingeniería de detalle y los permisos ambientales, descritos en la **Tabla 7-31**.

La institución responsable es el Ministerio de Obras Públicas. El financiamiento es sectorial, pero es posible incorporar aportes regionales.

Tabla 7-31. Presupuesto total del PIR Rapel

Partida	Total (Millones de pesos)	Duración (años)	Plazo	Responsable	Financiamiento
Estudio de Prefactibilidad (MOP)	4.250	3 a 4	Mediano plazo	MOP	Sectorial
Estudios de ingeniería y permisos ambientales	4.675	4 a 5	Largo plazo	MOP	Sectorial
Construcción	264.125	3	Largo Plazo	MOP	Sectorial
Total (Millones de \$)	273.050				

Fuente: MOP, Varios

Esta iniciativa se relaciona con PRO 3.4, Programa de apoyo al secano interior de Rapel, que busca asegurar la participación de pequeños agricultores dentro del trazado de esta obra.

La meta es disponer de 10.217 nuevas hectáreas bajo riego, y el indicador de proceso es el número de hectáreas efectivamente beneficiadas.

7.1.3.3.3 PRO 3.3: Programa de apoyo al secano interior de Marchigüe

Esta iniciativa se asocia a la brecha BPRO3, Baja seguridad hídrica en el secano interior, y su propósito es fortalecer las capacidades de la cuenca y lograr que el Proyecto Integral de Riego (PIR) Marchigüe también tenga un impacto efectivo en la agricultura familiar campesina del sector.

El secano interior sur de la cuenca, compuesto por las comunas de Marchigüe, Pumanque y Lolol (subcuenas del Estero La Cadena y Estero San Miguel) se ha visto particularmente afectado por la sequía observada en los últimos años, lo que se suma a la precariedad de la producción agropecuaria.

Si bien se proyecta un PIR para el sector de Marchigüe, se estima que es necesario resguardar distintos núcleos de producción agropecuaria a nivel de subsistencia y pequeños propietarios, que principalmente se abastece de fuentes subterráneas, y que no accederá a los beneficios de la nueva zona de riego, ya sea por ubicación o por capacidades técnicas.

La propuesta contempla un estudio y posterior desarrollo de proyectos individuales, bajo la lógica de nodos o *clusters*, que multiplique el efecto del proyecto integral de riego en el territorio. Es decir, que se pueda distribuir y almacenar el agua disponible, asegurando la cobertura a sectores alejados de la red primaria de distribución prevista.

En el “Diagnóstico para Plan de Desarrollo Agrícola y Abastecimiento en el Secano de la VI región” (CNR, 2019), se consideran distintas alternativas de proyectos de menor envergadura, dentro y fuera de la cuenca, los que tienen en promedio un costo de inversión de entre \$ 6.266.778 /ha, y hasta \$27.776.144 /ha (valor promedio de \$16.779.354 / ha).

Tomando el valor medio como referencia, se propone el desarrollo de una superficie de 500 ha complementaria a los proyectos ya considerados, por un valor total de **\$ 8.390 millones** de pesos. El número de usuarios beneficiados sería de 100, pensando en unidades productivas de 5,0 ha cada una⁵⁷.

Tabla 7-32. Presupuesto total del Programa de Apoyo Marchigüe

Partida	Superficie (ha)	Inversión (millones de \$/ha)	Inversión total (Millones de \$)
Inversión en proyectos anexos al PIR Marchigüe	500	16,78	8.390

Fuente: elaboración propia

El período de implementación es de 5 años, y se espera que se implemente en el largo plazo (más de 10 años).

La institución responsable es la Dirección de Obras Hidráulicas del MOP. El financiamiento es sectorial, pero es posible incorporar aportes regionales.

Esta iniciativa se relaciona con PRO 3.1, Proyecto Integral de Riego Marchigüe, que busca asegurar la participación de pequeños agricultores dentro del trazado de esta obra.

La meta es disponer de 500 nuevas hectáreas bajo riego, y el indicador de proceso es la superficie efectivamente beneficiada.

⁵⁷ Se consideró 5 y no 7 ha por usuario, pensando en que esta iniciativa está enfocada en un segmento menor al promedio.

7.1.3.3.4 PRO 3.4: Programa de apoyo al secano interior de Rapel y La Estrella

Esta iniciativa se asocia a la brecha BPRO3, Baja seguridad hídrica en el secano interior, y su propósito es fortalecer las capacidades de la cuenca y lograr que el Proyecto Integral de Riego Rapel también tenga un impacto efectivo en la agricultura familiar campesina del sector.

El secano interior norte de la cuenca, compuesto por las comunas de Navidad, Litueche y La Estrella (subcuencas del Estero El Rosario y tramo bajo del río Rapel) se ha visto particularmente afectado por la sequía observada en los últimos años, lo que se suma a la precariedad de la producción agropecuaria.

Si bien se proyecta un Proyecto Integral de Riego para el sector de Rapel, se estima que es necesario resguardar distintos núcleos de producción agropecuaria a nivel de subsistencia y pequeños propietarios, que principalmente se abastece de fuentes subterráneas, y que no accederá a los beneficios de la nueva zona de riego, ya sea por ubicación o por capacidades técnicas.

La propuesta contempla un estudio y posterior desarrollo de proyectos individuales, bajo la lógica de nodos o *clusters*, que multiplique el efecto del proyecto integral de riego en el territorio. Es decir, que se pueda distribuir y almacenar el agua disponible, asegurando la cobertura a sectores alejados de la red primaria de distribución prevista.

En el “Diagnóstico para Plan de Desarrollo Agrícola y Abastecimiento en el Secano de la VI región” (CNR, 2019), se consideran distintas alternativas de proyectos de menor envergadura, dentro y fuera de la cuenca, los que tienen en promedio un costo de inversión de entre \$ 6.266.778 / ha., y hasta \$27.776.144 / ha. (valor promedio de \$16.779.354 / ha.). Tomando el valor medio como referencia, se propone el desarrollo de una superficie de 500 ha. complementaria a los proyectos ya considerados, por un valor total de **\$ 8.390 millones de pesos**. El número usuarios beneficiados sería de 100, pensando en unidades productivas de 5,0 ha cada una⁵⁸.

Tabla 7-33. Presupuesto total del Programa de Apoyo Rapel

Partida	Superficie (ha)	Inversión (millones de \$/ha)	Inversión total (Millones de \$)
Inversión en proyectos anexos al PIR Rapel	500	16,78	8.390

Fuente: elaboración propia

El período de implementación es de 5 años, y se espera que se implemente en el largo plazo (más de 10 años).

⁵⁸ Se consideró 5 y no 7 ha por usuario, pensando en que esta iniciativa está enfocada en un segmento menor al promedio.

La institución responsable es la Dirección de Obras Hidráulicas del MOP. El financiamiento es sectorial, pero es posible incorporar aportes regionales.

Esta iniciativa se relaciona con PRO 3.2, Proyecto Integral de Riego Rapel, que busca asegurar la participación de pequeños agricultores dentro del trazado de esta obra.

La meta es disponer de 500 nuevas hectáreas bajo riego, y el indicador de proceso es el número de ha efectivamente beneficiadas.

7.1.3.3.5 PRO 3.5: Programa de apoyo al valle de Alhué

Esta iniciativa se asocia a la brecha BPRO3, Baja seguridad hídrica en el secano interior, y su propósito es fortalecer la seguridad hídrica del valle de Alhué, a nivel de Agricultura Familiar Campesina.

La cuenca del Estero Alhué se ha visto severamente afectada por el proceso de sequía, y como consecuencia, se ha visto interrumpido por varios años el escurrimiento superficial del estero Alhué. De esta forma, los productores agrícolas locales utilizan principalmente aguas subterráneas, y complementariamente y en forma localizada, las aguas que entrega Codelco desde el Tranque Carén.

En consecuencia, se propone la realización de un estudio de específico que evalúe el balance hídrico local, y las alternativas de solución, ya sean a nivel de manejo del acuífero y la cuenca aportante, como los aportes externos que resultan del tranque Carén. Este estudio debiera resultar en un desarrollo de a lo menos el 5% de la superficie del valle, en forma piloto. Esto equivale a 311,3 ha, las que tomando el valor medio de 16,78 millones de \$/ha expuesto en PRO 3.4 como referencia, tiene un costo total de **\$ 5.223 millones de pesos**. El número de usuarios beneficiados sería de 60, pensando en unidades productivas de 5,0 ha cada una⁵⁹.

Se espera que se conforme a lo menos una comunidad de aguas subterráneas que permita una mejor gestión del acuífero. Se propone, particularmente, una evaluación de la eficiencia de riego, la definición de superficie sostenible, y análisis locales del impacto del uso de las aguas desde el tranque Carén. Esta comunidad se incluye dentro de la iniciativa PRO 6.2.

El programa está compuesto por 2 medidas relacionadas entre sí.

⁵⁹ Se consideró 5 y no 7 ha por usuario, pensando en que esta iniciativa está enfocada en un segmento menor al promedio.

Tabla 7-34. Presupuesto total del Programa de Apoyo Rapel

Partida	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (Millones de \$)	Costo total (Millones de \$)	Responsable
Estudio de alternativas de seguridad hídrica para la agricultura familiar campesina en el valle de Alhué	Estudio	1	250	250	CNR
Inversión en proyectos de riego y asociados	Ha beneficiada	311,3	16,78	5.223	DOH
Total				5.473	

Fuente: elaboración propia

El período del estudio es de 2 años, y se espera que se implemente en el corto plazo; mientras que implementación de las obras requiere de 5 años, y se espera que se implemente en el mediano plazo (5 a 10 años).

La institución responsable es la Comisión Nacional de Riego, para el estudio de alternativas, mientras que el desarrollo de éstas es iniciativa del MOP, Dirección de Obras Hidráulicas. El financiamiento es sectorial, pero es posible incorporar aportes regionales.

Esta iniciativa se relaciona con PRO 6.4, Constitución de Comunidades de Aguas Subterráneas.

La meta es proveer de seguridad hídrica a 311,3 nuevas hectáreas, y el indicador de proceso es el número de ha efectivamente beneficiadas. No se busca aumentar la superficie regada.

7.1.3.4 PRO 4: Aumento en la eficiencia en el uso del agua en agricultura

7.1.3.4.1 PRO 4.1: Plan de aumento en la eficiencia de riego

La brecha BPRO2: Baja eficiencia relativa de la Eficiencia de Riego señala que, existiendo una proporción de agua para riego que no alcanza a ser satisfecha en la temporada, la eficiencia de riego todavía tiene un espacio para ser mejorada y contribuir a mejorar la seguridad hídrica.

En consecuencia, el propósito de esta iniciativa es cuantificar la eficiencia de riego objetivo para la cuenca, lo que se traduce en una menor demanda bruta de agua, y así contribuir a la resiliencia de las unidades productivas ante disminuciones en la disponibilidad de agua.

En concreto, se propone que la eficiencia de riego efectiva se utilice como un indicador directo sobre el consumo de agua en la agricultura, y que, al respecto, se establezcan metas de consumo en función de la superficie agrícola, y que se emplee un conjunto de intervenciones ya sea de programación del riego, capacitación de los usuarios, como mejoramiento de los sistemas de riego intra y extraprediales.

De esta forma, un levantamiento detallado de la superficie de riego a nivel de cuenca, permite elaborar un Plan de aumento en la eficiencia en el uso del agua (similar a la curva de adopción de la tecnología que se utiliza en los estudios agroeconómicos de embalses), donde se proyecte la inversión potencial a facilitar mediante los instrumentos públicos (Ley 18.450 de Fomento a la Inversión Privada en obras de Riego y Drenaje y financiamiento a pequeños propietarios a través de INDAP), tendiente a alcanzar una meta de reducción en el consumo de agua. Las partidas de este estudio son las siguientes:

1. **Determinación de la superficie de Riego.** A partir de los resultados del estudio "Análisis Oferta Hídrica y su Impacto en la Agricultura Zona Centro", se debe determinar la superficie de referencia sobre la cual se trabajará. Más allá del valor total -que también está considerado en el presente Plan- se debe precisar los cultivos potenciales y la demanda neta de agua.
2. **Determinación de la demanda Bruta de agua.** A partir de la información del Censo Agropecuario, estimar la eficiencia de riego actualizada. Incorporar los proyectos beneficiados por la Ley de Fomento a la Inversión Privada en Obras de Riego y Drenaje.
3. **Determinar las Metas de Eficiencia Hídrica.** En porcentaje de eficiencia a nivel de cuenca. Si bien se espera que la eficiencia provea de holguras para aumentar la superficie de nuevo riego, también provee seguridad al disminuir el consumo por hectárea de cultivo.
4. **Plan de Aumento de la Eficiencia.** La planificación tradicional de la inversión en Fomento al riego se basa en los presupuestos históricos. En este caso, se propone realizar una planificación en función de las metas de eficiencia definidas en el punto anterior. Este plan debe estar ajustado a los tipos de cultivo, tamaño de los propietarios, y avance esperado en el tiempo.

Tabla 7-35. Partidas del Plan de Desarrollo Integrado

Partida	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (Millones de \$)	Costo Total (Millones de \$)
Determinación de superficie de riego	hp	500	0,05	25
Estimación de Eficiencia de riego	hp	500	0,05	25
Definición de metas de eficiencia hídrica	hp	1.000	0,05	50
Plan de aumento de eficiencia de riego	hp	2.000	0,05	100
Total				200

Fuente: Elaboración propia

Se estima el costo de este programa en **\$200.000.000.- (doscientos millones de pesos)**, y debe ejecutarse en el corto plazo, pues precede a las iniciativas PRO 4.2, 4.3 y 4.4. La institución responsable es la Comisión Nacional de Riego, y los fondos son sectoriales. No se identificaron beneficiarios directos.

La meta asociada es la ejecución del estudio técnico, y el indicador de proceso es el informe final.

7.1.3.4.2 PRO 4.2: Programa para el Aumento de Eficiencia en la Unidad de Gestión Cachapoal

Esta iniciativa responde a la brecha BPRO2: Baja eficiencia relativa de la Eficiencia de Riego. El propósito es aumentar la eficiencia de riego en la unidad de gestión.

Para aumentar la eficiencia de riego, se identificó un conjunto de acciones, las que cada uno por separado o en conjunto, permiten aumentar la eficiencia de riego. Para determinar las acciones y la magnitud asociada, se trabajó con las superficies de riego por tipo de cultivo, sistema de riego y tamaño del productor. Se consideró además un porcentaje de eficiencia de la medida, que en este caso fue de un 70% (que el 70% de la eficiencia aportada se tradujo en reducción de la demanda, ya que el otro 30% es reutilizado por otros usuarios dentro de la cuenca, por ejemplo, como derrames). Esta iniciativa depende de PRO 4.1: Plan de aumento en la eficiencia de riego para su ejecución. A continuación, en la **Tabla 7-36** se proponen las obras para el aumento en la eficiencia del uso del agua en agricultura.

En este caso, se propone que la eficiencia o menor consumo de agua en la agricultura aporte con 507,0 hm³ al año, equivalentes al 45,2% de la brecha identificada (1.121 hm³/año). El principal aporte consiste en la tecnificación de a lo menos 54.924 ha.

El costo de la iniciativa es de \$ 360.603 millones de pesos, para un plazo de desarrollo de 30 años, pero concentrado en los primeros 10 años (dos tercios del total). La institución responsable es la Comisión Nacional de Riego, y la fuente de financiamiento es sectorial.

Para estimar el número de beneficiarios se tomó un consumo promedio de 93.000 m³/año por productor promedio⁶⁰, con lo que el aumento de eficiencia equivale a 5.452 usuarios.

La meta es aumentar la eficiencia en el uso del agua en 507,0 hm³ al año, al año 2050, mientras que el indicador de proceso es el volumen de agua efectivamente reducido.

Tabla 7-36. Unidad de Gestión Cachapoal. Aumento de eficiencia en el uso del agua

Acción	Unidad	Magnitud	Aporte (hm³/año)	Costo de Inversión (Millones \$)
Automatización de compuertas	ha beneficiadas	11.000	5,5	223
Embalses de regulación corta (50.000 m ³)	Nº embalses	400 ⁶¹	2,0	11.346
Tecnificación desde riego Tendido, surco, otro a riego por Goteo	ha tecnificada	50.976	429,0	260.946
Tecnificación desde Aspersor, pivote a riego por Goteo	ha tecnificada	2.448	3,3	12.035
Tecnificación desde riego Goteo, cinta, micro aspersor a Agro 4.0	ha tecnificada	1.500	0,5	5.139
Revestimiento de canales (> 2 m ³ /s)	km revestido	-	-	-
Revestimiento de canales (> 1,0 hasta 2,0 m ³ /s)	km revestido	550	48,1	65.964
Capacitación en riego	usuarios capacitados	4.500	18,5	4.949
Total			507,0	360.603

Fuente: Elaboración propia

⁶⁰ Se estimó una demanda bruta de 10.000 m³/ha/año, y 9,3 ha en promedio por usuario, lo que da una demanda bruta agregada de 93.000 m³/año por usuario. Para determinar la superficie promedio regional se tomó el antecedente proporcionado por el VII Censo Silvoagropecuario y Forestal de 2007 (210.691 ha), dividida por el número de explotaciones con tierra (22.678), lo que da 9,3 ha bajo riego por explotación.

⁶¹ Por indicación de la Comisión Nacional de Riego, se supuso que los embalses de regulación corta contribuyen marginalmente a la acumulación de agua, mientras su aporte está en la eficiencia de riego. En este sentido, se contabilizó sólo un 10% del volumen potencialmente almacenado como contribución a la eficiencia.

7.1.3.4.3 PRO 4.3: Programa para el Aumento de Eficiencia en la Unidad de Gestión Tinguiririca

Esta iniciativa responde a la brecha BPRO2: Baja eficiencia relativa de la Eficiencia de Riego. El propósito es aumentar la eficiencia de riego en la unidad de gestión.

Para aumentar la eficiencia de riego, se identificó un conjunto de acciones, las que cada uno por separado o en conjunto, permiten aumentar la eficiencia de riego. Para determinar las acciones y la magnitud asociada, se trabajó con las superficies de riego por tipo de cultivo, sistema de riego y tamaño del productor. Se consideró además un porcentaje de eficiencia de la medida, que en este caso fue de un 70% (que el 70% de la eficiencia aportada se tradujo en reducción de la demanda, ya que el otro 30% es reutilizado por otros usuarios dentro de la cuenca, por ejemplo, como derrames). Esta iniciativa depende de PRO 4.1: Plan de aumento en la eficiencia de riego para su ejecución.

A continuación, en la **Tabla 7-37** se proponen las obras para el aumento en la eficiencia del uso del agua en agricultura.

En este caso, se propone que la eficiencia o menor consumo de agua en la agricultura aporte con 388,9 hm³ al año, equivalentes al 50,1% de la brecha identificada (776 hm³/año). El principal aporte consiste en la tecnificación de a lo menos 37.470 ha.

El costo de la iniciativa es de \$ 222.421 millones de pesos, para un plazo de desarrollo de 30 años, pero concentrado en los primeros 10 años (dos tercios del total). La institución responsable es la Comisión Nacional de Riego, y la fuente de financiamiento es sectorial.

Para estimar el número de beneficiarios se tomó un consumo promedio de 93.000 m³/año por productor promedio⁶², con lo que el aumento de eficiencia equivale a 4.182 usuarios.

La meta es aumentar la eficiencia en el uso del agua en 388,9 hm³ al año, al año 2050, mientras que el indicador de proceso es el volumen de agua efectivamente reducido.

⁶² Se estimó una demanda bruta de 10.000 m³/ha/año, y 9,3 ha en promedio por usuario, lo que da una demanda bruta agregada de 93.000 m³/año por usuario. Para determinar la superficie promedio regional se tomó el antecedente proporcionado por el VII Censo Silvoagropecuario y Forestal de 2007 (210.691 ha), dividida por el número de explotaciones con tierra (22.678), lo que da 9,3 ha bajo riego por explotación.

Tabla 7-37. Unidad de Gestión Tinguiririca. Aumento de eficiencia en el uso del agua

Acción	Unidad	Magnitud	Aporte (hm³/año)	Costo de Inversión (Millones \$)
Automatización de compuertas	ha beneficiadas	3.500	1,8	71
Embalses de regulación corta (50.000 m ³)	Nº embalses	170 ⁶³	0,9	4.822
Tecnificación desde riego Tendido, surco, otro a riego por Goteo	ha tecnificada	35.700	347,2	170.561
Tecnificación desde Aspersor, pivote a riego por Goteo	ha tecnificada	1.770	2,7	8.237
Tecnificación desde riego Goteo, cinta, micro aspersor a Agro 4.0	ha tecnificada	-	-	-
Revestimiento de canales (> 2 m ³ /s)	km revestido	-	-	-
Revestimiento de canales (> 1,0 hasta 2,0 m ³ /s)	km revestido	300	26,2	35.981
Capacitación en riego	usuarios capacitados	2.500	10,3	2.749
Total			388,9	222.421

Fuente: Elaboración propia

7.1.3.4.4 PRO 4.4: Programa para el Aumento de Eficiencia en la Unidad de Gestión Rapel

Esta iniciativa responde a la brecha BPRO2: Baja eficiencia relativa de la Eficiencia de Riego. El propósito es aumentar la eficiencia de riego en la unidad de gestión.

Para aumentar la eficiencia de riego, se identificó un conjunto de acciones, las que cada uno por separado o en conjunto, permiten aumentar la eficiencia de riego. Para determinar las acciones y la magnitud asociada, se trabajó con las superficies de riego por tipo de cultivo, sistema de riego y tamaño del productor. Se consideró además un porcentaje de

⁶³ Por indicación de la Comisión Nacional de Riego, se supuso que los embalses de regulación corta contribuyen marginalmente a la acumulación de agua, mientras su aporte está en la eficiencia de riego. En este sentido, se contabilizó sólo un 10% del volumen potencialmente almacenado como contribución a la eficiencia.

eficiencia de la medida, que en este caso fue de un 70% (que el 70% de la eficiencia aportada se tradujo en reducción de la demanda, ya que el otro 30% es reutilizado por otros usuarios dentro de la cuenca, por ejemplo, como derrames). Esta iniciativa depende de PRO 4.1: Plan de aumento en la eficiencia de riego para su ejecución.

A continuación, en la **Tabla 7-38** se proponen las obras para el aumento en la eficiencia del uso del agua en agricultura.

Tabla 7-38. Unidad de Gestión Rapel. Aumento de eficiencia en el uso del agua

Acción	Unidad	Magnitud	Aporte (hm³/año)	Costo de Inversión (Millones \$)
Automatización de compuertas	ha beneficiadas	-	-	-
Embalses de regulación corta (50.000 m ³)	Nº embalses	70 ⁶⁴	0,4	1.986
Tecnificación desde riego Tendido, surco, otro a riego por Goteo	ha tecnificada	7.364	70,9	34.815
Tecnificación desde Aspersor, pivote a riego por Goteo	ha tecnificada	100	0,2	516
Tecnificación desde riego Goteo, cinta, micro aspersor a Agro 4.0	ha tecnificada	-	-	-
Revestimiento de canales (> 2 m ³ /s)	km revestido	-	-	-
Revestimiento de canales (> 1,0 hasta 2,0 m ³ /s)	km revestido	70	6,1	8.395
Capacitación en riego	usuarios capacitados	600	2,5	660
Total			80,0	46.371

Fuente: Elaboración propia

En este caso, se propone que la eficiencia o menor consumo de agua en la agricultura aporte con 80,0 hm³ al año, equivalentes al 35,9% de la brecha identificada (223 hm³/año). El principal aporte consiste en la tecnificación de a lo menos 37.470 ha.

El costo de la iniciativa es de \$ 222.421 millones de pesos, para un plazo de desarrollo de 30 años, pero concentrado en los primeros 10 años (dos tercios del total). La institución responsable es la Comisión Nacional de Riego, y la fuente de financiamiento es sectorial.

⁶⁴ Por indicación de la Comisión Nacional de Riego, se supuso que los embalses de regulación corta contribuyen marginalmente a la acumulación de agua, mientras su aporte está en la eficiencia de riego. En este sentido, se contabilizó sólo un 10% del volumen potencialmente almacenado como contribución a la eficiencia.

Para estimar el número de beneficiarios se tomó un consumo promedio de 93.000 m³/año por productor promedio⁶⁵, con lo que el aumento de eficiencia equivale a 860 usuarios.

La meta es aumentar la eficiencia en el uso del agua en 80,0 hm³ al año, al año 2050, mientras que el indicador de proceso es el volumen de agua efectivamente reducido.

7.1.3.5 PRO 5: Derechos de Aprovechamiento de Agua

7.1.3.5.1 PRO 5.1 – Programa de Regularización y saneamiento de derechos de aprovechamiento de agua

La brecha BPRO 5. Precariedad legal de los títulos asociados a los derechos de aprovechamiento de agua apunta a los derechos de aprovechamiento de agua no inscritos o no actualizados en el Catastro Público de Aguas, lo que limita tanto el acceso a financiamiento individual como colectivo de las organizaciones de usuarios de agua a las que pertenecen los usuarios.

El propósito de la iniciativa es regularizar derechos de aprovechamiento de aguas no inscritos, y sanear aquellos que se encuentran en alguna condición de desactualización. De la misma forma, se busca su inscripción en el Catastro Público de Aguas.

En general, se estima que existe una alta tasa de derechos que se encuentran no inscritos o no perfeccionados, si bien no se dispone de una cuantificación de los derechos no actualizados. Esto se suma a las nuevas exigencias de la actualización del Código de Aguas, que establece plazos para la inscripción de estos derechos de aprovechamiento de agua. En consecuencia, se hace urgente la implementación de uno o más programas destinados a este propósito.

En consecuencia, se requiere una iniciativa que realice el catastro de derechos de aprovechamiento pendientes, realice las acciones pendientes para su actualización en el Conservador de Bienes Raíces respectivo, y solicite su inscripción en el Catastro Público de Aguas de la DGA.

Los beneficiarios de este programa serían, principalmente, pequeños y medianos agricultores de las organizaciones de usuarios de agua de la cuenca. Se estima que la cantidad de beneficiarios directos es de 500 usuarios. Se propone aumentar en 500 usuarios adicionales, incluyendo usuarios de aguas subterráneas que ya cuenten con su derecho inscrito, pero desactualizado, con el propósito de favorecer la constitución de las Comunidades de Aguas Subterráneas de la Cuenca.

⁶⁵ Se estimó una demanda bruta de 10.000 m³/ha/año, y 9,3 ha en promedio por usuario, lo que da una demanda bruta agregada de 93.000 m³/año por usuario. Para determinar la superficie promedio regional se tomó el antecedente proporcionado por el VII Censo Silvoagropecuario y Forestal de 2007 (210.691 ha), dividida por el número de explotaciones con tierra (22.678), lo que da 9,3 ha bajo riego por explotación.

Según se tiene de la **Tabla 7-39**, se estimó el costo de la iniciativa en **\$658.000.000.-** y una duración de 36 meses. La entidad responsable es la Comisión Nacional de Riego, y la fuente de financiamiento es sectorial. El número de beneficiarios potenciales es de 1.000 usuarios.

La meta específica corresponde a la inscripción de 1.000 derechos de aprovechamiento de aguas en el Catastro Público de Aguas (500 superficiales y 500 subterráneos), y el indicador de proceso es el número de derechos efectivamente inscritos.

Las iniciativas relacionadas son 6.1, Formalización de Comunidades de Agua de Rapel, y 6.2, Constitución de Comunidades de Aguas Subterráneas, ya que requieren que los usuarios cuenten con sus derechos de aprovechamiento al día.

Tabla 7-39. Costo de saneamiento de derechos de aprovechamiento de agua

Partida	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (Millones de \$)	Costo Total (Millones de \$)
Catastro de Derechos de aprovechamiento de aguas	hp	3.000	0,05	150
Saneamiento de derechos de aprovechamiento de aguas	gl	1.000	0,2	200
Costos legales	DAA	1.000	0,2	200
Costos operacionales	Mes	36	3	108
Total				658

Fuente: Elaboración propia

7.1.3.6 PRO 6: Gestión de Organizaciones de Usuarios de Agua

7.1.3.6.1 PRO 6.1: Programa de Regularización de Organizaciones de Usuarios de Agua

La brecha BPRO3: Falta de capacidades en las organizaciones de usuarios de agua en este caso se manifiesta en la no inscripción de numerosas juntas de vigilancia que aún no cierran su proceso de formalización como lo son 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.

El propósito de la iniciativa es regularizar la situación de esteros y canales, ya sea inscribiéndolos como juntas de vigilancia, o como comunidades de agua integrada a una junta de orden mayor.

En consecuencia, se requiere una iniciativa destinada a la promover la resolución de las barreras o problemas administrativos y legales de estas organizaciones, la que concluya con su constitución como comunidad de aguas o junta de vigilancia, o su anexión a otra junta ya existente, y su posterior inscripción en el Catastro Público de Aguas. Las actividades principales son:

- **Catastro de Usuarios de Agua.** Se debe identificar a los usuarios que efectivamente utilizan el agua dentro del canal, actualizando el rol de regantes. En cada caso, se debe identificar además la cantidad de agua que utilizan.
- **Catastro de Derechos de Aprovechamiento de Aguas.** Se debe identificar la necesidad de actualizar derechos de aprovechamiento de agua por organización. Para esto, se realizará una revisión en el o los Conservadores de Bienes Raíces respectivos, y se compara contra el Catastro Público de Aguas.
- **Inscripción de Juntas de Vigilancia.** Para esto, se debe primero actualizar las directivas, estatutos y otros requerimientos administrativos, para luego proceder a la solicitud ante la Dirección General de Aguas.

La ejecución de esta iniciativa tiene aparejados costos operacionales y legales, cuyo análisis se presenta en la **Tabla 7-40**.

El costo estimado de la iniciativa es de \$980 millones de pesos, a ser ejecutada en un período de 3 años, dentro del corto plazo. La institución responsable es la Unidad de Organizaciones de Usuarios y Eficiencia Hídrica de la Dirección General de Aguas, y el financiamiento es sectorial.

La iniciativa está asociada a PRO 5.1: Regularización y saneamiento de derechos de aprovechamiento de agua en la cuenca. No se identificó beneficiarios directos.

La meta respectiva es la inscripción de 20 Organizaciones de Usuarios de Agua en el Catastro Público de Aguas, y el indicador de proceso es el número de Organizaciones de Usuarios efectivamente inscritas.

Tabla 7-40. Costo del programa de inscripción de Juntas de Vigilancia

Partida	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (Millones de \$)	Costo Total (Millones de \$)
Catastro de usuarios	Hp	6.000	0,05	300
Catastro de Derechos de aprovechamiento de aguas	Hp	4.000	0,05	200
Inscripción de Juntas de vigilancia y otras OUA	Hp	5.000	0,05	250
Costos legales	OUA	20	5	50
Costos operacionales	Mes	36	5	180
Total				980

Fuente: Elaboración propia

7.1.3.6.2 PRO 6.2: Programa de Constitución de Comunidades de Aguas Subterráneas en la cuenca del Rapel

La brecha BPRO3: Falta de capacidades en las organizaciones de usuarios de agua en este caso se manifiesta en la ausencia de comunidades de aguas subterráneas constituidas en la cuenca.

El propósito de la iniciativa es promover la constitución de comunidades de aguas subterráneas, ya que son una organización clave para la gestión dinámica de acuíferos.

Se debe priorizar las CASUB constituidas dentro de la cuenca, en función del análisis de sustentabilidad de acuíferos. Sin embargo, debieran constituirse todas las CASUB que sean requeridas. En forma preliminar, se debe priorizar los acuíferos del secano interior, y aquellas zonas priorizadas para una Gestión Dinámica de Acuíferos. Además, dada la alta división de los sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común de la cuenca, se sugiere revisar la posibilidad de constituir CASUB que agrupen a más de un SHAC.

En consecuencia, se propone una iniciativa para la constitución de comunidades de aguas subterráneas para a lo menos 10 de los 42 los SHAC de la cuenca. Para esto se requiere identificar a los derechos de aprovechamiento de agua relacionados e iniciar el trámite en su sede judicial. Las actividades asociadas son:

- **Construcción del Registro de Comuneros para el SHAC:** Catastro de los derechos de aprovechamiento de agua en el Catastro Público de Aguas, Conservadores de Bienes Raíces y otras fuentes judiciales.
- **Organización de usuarios y comunidades:** Coordinación de actores para la constitución de las comunidades de aguas subterráneas.
- **Constitución de CAS:** Tramitación judicial para la constitución de las Comunidades de aguas subterráneas.

El detalle de las partidas asociadas se presenta en la **Tabla 7-41**.

Tabla 7-41. Partidas para la constitución de Comunidades de Aguas Subterráneas

Partida	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (Millones de \$)	Costo Total (Millones de \$)
Catastro de Derechos de aprovechamiento de aguas	Hp	1.000	0,05	50
Organización de usuarios y comunidades	Hp	2.000	0,05	100
Constitución de CAS	Hp	2.000	0,05	100
Costos legales	CAS	10	10	100
Costos operacionales	Mes	24	3	72
Total				422

Fuente: Elaboración propia

Se estima que el costo de la iniciativa es de **\$422.000.000.-** y tiene una duración de 24 meses, y se espera que se implemente en el corto plazo. La institución responsable es la Unidad de Organizaciones de Usuarios y Eficiencia Hídrica de la Dirección General de Aguas, y el financiamiento es sectorial.

No se identificó un conjunto de beneficiarios directos. La iniciativa depende de PRO 5.1: Regularización y saneamiento de derechos de aprovechamiento de agua en la cuenca. La meta respectiva es la inscripción de 10 comunidades de aguas subterráneas en el Catastro Público de Aguas, y el indicador de proceso es el número de comunidades efectivamente inscritas.

7.1.3.6.3 PRO 6.3: Proyecto para el Acuerdo de distribución de agua entre Juntas de Vigilancia del río Cachapoal

La brecha BPRO3: Falta de capacidades en las organizaciones de usuarios de agua, en este caso se manifiesta en la ausencia de mecanismos formales de coordinación para la gestión de la cuenca en su totalidad, toda vez que se cuenta con tres secciones: primera, segunda y tercera sección.

El propósito es promover un acuerdo de distribución de agua que reúna a las tres juntas de vigilancia, y que permita, por un lado, mejorar la seguridad hídrica de los usuarios del agua, y por el otro, promover el cumplimiento de estándares ambientales de caudal ecológico.

En este sentido, el nuevo acuerdo viene a formalizar el acuerdo previo, y complementarlo con elementos adicionales, como pudiera ser los caudales ecológicos o la gestión del embalse Rapel.

El acuerdo se justifica en la necesidad de realizar un estudio técnico específico de caudales y su afectación potencial a las distintas bocatomas del cauce. Para esto, además del modelo WEAP, se debe realizar una modelación del eje hidráulico del cauce, así como la carga del catastro de captaciones.

Trabajos de terreno: Levantamiento del eje hidráulico del río Cachapoal y obras de captación. Para esto se puede coordinar un levantamiento LIDAR con perfiles transversales, además de la monografía de las obras de captación.

Modelación detallada del cauce y caudales: Modelación de distribución de caudales y satisfacción de alturas de agua en las distintas obras hidráulicas catastradas

Acuerdo de distribución: Gestión de un acuerdo operacional con las juntas de vigilancia y organizaciones de usuarios de agua de la cuenca

Tabla 7-42. Partidas para la definición de un acuerdo de distribución de agua

Partida	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (Millones de \$)	Costo Total (Millones de \$)
Trabajos de terreno	hp	1.000	0,05	50
Modelación del cauce y caudales	hp	1.000	0,05	50
Acuerdo de distribución	hp	1.000	0,05	50
Trabajos de terreno	Gl	1	100	100
			Total	250

Fuente: Elaboración propia

Se incluye el análisis en la memoria de cálculo del anexo K5, y se presenta el resumen de las partidas mencionadas en la **Tabla 7-42**.

Se estima que el costo de la iniciativa es de **\$250.000.000.-** y tiene una duración de 12 meses. La institución responsable es la Unidad de Organizaciones de Usuarios y Eficiencia Hídrica de la Dirección General de Aguas, y el financiamiento es sectorial.

No se identificó beneficiarios directos. La iniciativa se relaciona con ECO 1.1: Definición de Caudales Ambientales y Estándares de Calidad de Agua.

La meta respectiva es la suscripción del acuerdo entre las juntas de vigilancia, y el indicador de proceso es el acta de acuerdo respectiva.

7.1.4 Seguridad Hídrica ante Eventos Extremos

La seguridad hídrica ante eventos extremos apunta a las acciones de prevención de los efectos de la sequía, en cualquiera de sus formas, y la escasez que resulta de la misma; y, por otro lado, ante la acumulación de precipitaciones que pudiera resultar en inundaciones, aluviones o procesos de remoción en masa. En la cuenca, los efectos principales se observan a nivel de sequía y escasez, principalmente.

Tabla 7-43. Iniciativas de Seguridad Hídrica para la Gestión institucional

Línea de Acción	Iniciativa	Brecha
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
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

Fuente: Elaboración propia

7.1.4.1 EXT 1: Programas de Adaptación al Cambio Climático a nivel local

Se considera necesario diseñar planes de emergencia para aquellos sectores donde no se han identificado soluciones viables dentro de este Plan Estratégico.

7.1.4.1.1 EXT 1.1: Programa de Adaptación al Cambio Climático para el valle de Alhué

La brecha BEXT1: Falta de acciones adaptativas ante la escasez hídrica, apunta en este caso a sectores que se encuentran en un estado de escasez permanente, por lo que las medidas de emergencia temporales pierden su efectividad, ya que en rigor se trata de una zona rezagada.

El propósito de la iniciativa es implementar un conjunto de acciones para recuperar parte de los servicios ecosistémicos del valle de Alhué, y con esto el valor productivo para las personas que los habitan.

El valle de Alhué se encuentra en la vertiente poniente del cordón de Altos de Cantillana, al mismo tiempo que corresponden a cuencas laterales sin conexión a la red principal. Adicionalmente, se dispone de escasa información meteorológica, hidrológica e hidrogeológica que permitan una adecuada comprensión de la realidad de la cuenca.

En consecuencia, se plantea la necesidad de realizar un programa específico que aborde el abastecimiento de agua en estas cuencas, y que impulse, por ejemplo, iniciativas a partir de Soluciones basadas en la Naturaleza como captura de aguas lluvia, zanjas de infiltración, barreras para control de erosión, recuperación de la vegetación y otras, que contribuyan al

micromanejo del ciclo hidrológico. Se incorpora además la capacitación a las personas para un manejo eficiente del agua disponible, tanto a nivel agropecuario como domiciliario.

Los beneficiarios de esta iniciativa son pequeños propietarios que se encuentran dentro del segmento que puede ser considerado como "Agricultura Familiar Campesina", cuya producción se destina en parte a la subsistencia y en parte a la comercialización o intercambio de sus productos. En este segmento se manifiestan de manera no diferenciada la producción agropecuaria, la ganadera, y otras actividades comerciales. En este sentido, el aporte de agua se entiende que aporta a la unidad nuclear familia – unidad productiva, ya que se entiende que no son diferenciables (ya que se trata de una economía de subsistencia).

En concreto, se propone:

Sistemas de Captura de Aguas Lluvia (SCALL): A pesar de la disminución de precipitaciones experimentada en el secano interior de la región, un SCALL de 100 m² permite capturar 10 m³ de agua por cada 100 mm de precipitaciones. Es decir, con una precipitación anual de 250 mm, captará 25 m³, volumen de respaldo que puede ser relevante para la mantención de producción agrícola de subsistencia (chacras, invernaderos), e incluso para la bebida de personas y animales.

Zanjas de infiltración: Se estimó que 1 km de zanjas de infiltración pueden recargar 2.560 m³/año de agua, la que puede pasar a ser parte del acuífero, o bien parte del flujo base que alimenta las microcuencas del terreno. En consecuencia, se propone implementar masivamente este sistema, en conjunto con otras ecotecnias que permitan controlar la erosión, favorecer la formación de suelo en sectores degradados, y la recarga de agua. Se espera que 100 km de zanja aporten un volumen de 0,26 hm³/año. Las referencias al cálculo se encuentran en la memoria de la calculadora hídrica.

Restauración de cuenca a nivel de micrositios: se propone realizar planes de restauración de cuenca en torno a fuentes de agua individuales o colectivas, como sectores dispersos de abastecimiento de agua para consumo humano, con el propósito de favorecer la recuperación de suelo, recarga de agua y mejoras en su calidad. Esta intervención corresponde a un micro manejo territorial, con planes de ordenamiento, recuperación de vegetación, implementación de infraestructura y otras ecotecnias. Experiencias similares se han observado en el sur del país, con excelentes resultados para el establecimiento de Redes Participativas de Agua.

Capacitación a los usuarios en uso eficiente del agua: trabajo con agricultores y habitantes del territorio para mejorar el uso del agua no solo en el contexto agropecuario, sino que también en el domiciliario, favoreciendo la reutilización de agua, compostaje, deshidratado de alimentos, entre otras ecotecnias que aumenten su resiliencia a la escasez de agua.

Si bien existen iniciativas aisladas respecto de las acciones propuestas, en este caso se trata de un Programa integrado de Recuperación de servicios ecosistémicos, preparando el territorio.

Tabla 7-44. Estimación del costo del Programa de Adaptación al Cambio Climático de Alhué

Partida	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (Millones de \$)	Costo Total (Millones de \$)
Sistemas de Captura de Aguas Lluvia	ud	300	10,0	3.000
Zanjas de infiltración	Km lineal	100	1,2	120
Restauración de Cuenca a nivel de micrositio	Sitios	20	50,0	1.000
Capacitación a los usuarios en uso eficiente del agua (300 personas mínimo)	Gl	1	100	100
Total				4.220

Fuente: Elaboración propia

El número de beneficiarios es variable, pero a través de los SCALL se puede identificar a lo menos 300 familias. Dado que es un plan social, que incluye capacitación a más personas dentro de cada familia, el número de beneficiarios se podría extender a 1.200.

El costo del Plan es de \$4.220 millones de pesos, según se tiene de la **Tabla 7-44**. Si bien en su implementación coinciden distintos servicios, se considera que, por su carácter integral, debiera ser abordado por el Gobierno Regional, en el corto y mediano plazo. La fuente de financiamiento es regional, pudiendo complementarse con fondos sectoriales.

No cuenta con iniciativas relacionadas en forma directa. La meta asociada corresponde a la implementación del Plan, y el indicador de proceso es el plan efectivamente implementado.

7.1.4.1.2 EXT 1.2: Programa de Adaptación al Cambio Climático para secano interior de Rapel

La brecha BEXT1: Falta de acciones adaptativas ante la escasez hídrica, apunta en este caso a sectores que se encuentran en un estado de escasez permanente, por lo que las medidas de emergencia temporales pierden su efectividad, ya que en rigor se trata de una zona rezagada.

El propósito de la iniciativa es implementar un conjunto de acciones para recuperar parte de los servicios ecosistémicos del secano interior de la cuenca, y con esto el valor productivo para las personas que los habitan.

El secano interior abarca una franja asociada a las comunas de Navidad, Litueche, La Estrella, Navidad, Marchigüe y Pumanque, y comprende amplios sectores con producción tradicional de secano (como su nombre lo indica), asociados a producción ganadera y principalmente producción a nivel de agricultura familiar campesina.

Se plantea la necesidad de realizar un plan específico que aborde el abastecimiento de agua en estas cuencas, y que impulse, por ejemplo, iniciativas a partir de Soluciones basadas en la Naturaleza como captura de aguas lluvia, zanjas de infiltración, barreras para control de erosión, recuperación de la vegetación y otras, que contribuyan al micromanejo del ciclo hidrológico. Se incorpora además la capacitación a las personas para un manejo eficiente del agua disponible, tanto a nivel agropecuario como domiciliario.

Los beneficiarios de esta iniciativa son pequeños propietarios que se encuentran dentro del segmento que puede ser considerado como “Agricultura Familiar Campesina”, cuya producción se destina en parte a la subsistencia y en parte a la comercialización o intercambio de sus productos. En este segmento se manifiestan de manera no diferenciada la producción agropecuaria, la ganadera, y otras actividades comerciales. En este sentido, el aporte de agua se entiende que aporta a la unidad nuclear familia – unidad productiva, ya que se entiende que no son diferenciables (ya que se trata de una economía de subsistencia).

En concreto, se propone:

Sistemas de Captura de Aguas Lluvia (SCALL): A pesar de la disminución de precipitaciones experimentada en el secano interior, un SCALL de 100 m² permite capturar 10 m³ de agua por cada 100 mm de precipitaciones. Es decir, con una precipitación anual de 250 mm, captará 25 m³, volumen de respaldo que puede ser relevante para la mantención de producción agrícola de subsistencia (chacras, invernaderos), e incluso para la bebida de personas y animales.

Zanjas de infiltración: Se estimó que 1 km de zanjas de infiltración pueden recargar 2.560 m³/año de agua, la que puede pasar a ser parte del acuífero, o bien parte del flujo base que alimenta las microcuencas del terreno. En consecuencia, se propone implementar masivamente este sistema, en conjunto con otras ecotecnias que permitan controlar la erosión, favorecer la formación de suelo en sectores degradados, y favorecer la recarga de agua. Se espera que 200 km de zanja aporten un volumen de 0,52 hm³/año. Las referencias al cálculo se encuentran en la memoria de la calculadora hídrica.

Restauración de cuenca a nivel de micrositos: Se propone realizar planes de restauración de cuenca en torno a fuentes de agua individuales o colectivas, como sectores dispersos de abastecimiento de agua para consumo humano, con el propósito de favorecer la recuperación de suelo, recarga de agua y mejoras en su calidad. Esta intervención corresponde a un micro manejo territorial, con planes de ordenamiento, recuperación de vegetación, implementación de infraestructura y otras ecotecnias. Experiencias similares se han observado en el sur del país, con excelentes resultados para el establecimiento de Redes Participativas de Agua.

Capacitación a los usuarios en uso eficiente del agua: Trabajo con agricultores y habitantes del territorio para mejorar el uso del agua no solo en el contexto agropecuario, sino que también en el domiciliario, favoreciendo la reutilización de agua, compostaje, deshidratado de alimentos, entre otras ecotecnias que aumenten su resiliencia a la escasez de agua.

Si bien existen iniciativas aisladas respecto de las acciones propuestas, en este caso se trata de un Programa integrado de Recuperación de servicios ecosistémicos, preparando el territorio.

El número de beneficiarios es variable, pero a través de los SCALL se puede identificar a lo menos 600 familias. Dado que es un plan social, que incluye capacitación a más personas dentro de cada familia, el número de beneficiarios se podría extender a 2.400.

Tabla 7-45. Estimación del costo del Programa de Adaptación al Cambio Climático del Secano Interior

Partida	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (Millones de \$)	Costo Total (Millones de \$)
Sistemas de Captura de Aguas Iluvia	ud	600	10,0	6.000
Zanjas de infiltración	Km lineal	200	1,2	240
Restauración de Cuenca a nivel de micrositio	Sitios	40	50,0	2.000
Capacitación a los usuarios en uso eficiente del agua (600 personas mínimo).	Gl	1	200	200
Total				8.440

Fuente: Elaboración propia

El costo del programa es de \$8.440 millones de pesos, según se tiene de la **Tabla 7-45**. Si bien en su implementación coinciden distintos servicios, se considera que, por su carácter integral, debiera ser abordado por el Gobierno Regional, en el corto y mediano plazo. La fuente de financiamiento es regional, pudiendo complementarse con fondos sectoriales.

No cuenta con iniciativas relacionadas en forma directa. La meta asociada corresponde a la implementación del Plan, y el indicador de proceso es el plan efectivamente implementado.

7.1.5 Gestión Institucional

La gestión institucional apunta principalmente, aunque no en forma exclusiva, a las acciones e iniciativas que son responsabilidad de la Dirección General de Aguas. Se abordó aspectos de información sobre los recursos hídricos, fiscalización, y relación con las Organizaciones de Usuarios de Agua. A continuación, la **Tabla 7-46** presenta las líneas de acción e iniciativas asociadas.

Tabla 7-46. Iniciativas de Seguridad Hídrica para la Gestión institucional

Línea de Acción	Iniciativa	Brecha
GES 1 - Generación de Información	GES 1.1 – Proyecto de Instalación de Nuevas Estaciones de la Red Hidrométrica	BGES 1. Deficiencias de la red hidrométrica y calidad de aguas
GES 1 - Generación de Información	GES 1.2 - Proyecto de Reposición de equipos de calidad de agua	BGES 1. Deficiencias de la red hidrométrica y calidad de aguas
GES 1 - Generación de Información	GES 1.3 - Proyecto de Instalación de Estaciones de Montaña	BGES 1. Deficiencias de la red hidrométrica y calidad de aguas
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
GES 1 - Generación de Información	GES 1.5 - Estudios Específicos	BGES2: Falta de información y análisis de procesos
GES 2 - Generación de Capacidades de Fiscalización	GES 2.1 - Estudio de actualización de derechos de aprovechamiento asociados a los puntos de demanda	BGES 3. Falta de información sistematizada de los DAA
GES 2 - Generación de Capacidades de Fiscalización	GES 2.2 - Programa para el Desarrollo de capacidades de fiscalización al interior de la DGA	BGES 4. Falta de capacidades específicas para la realización de análisis de base de datos
GES 3 - Gestión de Organizaciones de Usuarios de Agua	GES 3.1 – Proyecto de Simplificación y estandarización de procedimientos DGA	BGES5: Falta de modernización en la administración de las OUA
GES 3 - Gestión de Organizaciones de Usuarios de Agua	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
GES 3 - Gestión de Organizaciones de Usuarios de Agua	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

Fuente: Elaboración propia

7.1.5.1 GES 1: Generación de Información

Esta Línea de Acción contiene iniciativas asociadas a la generación de información específica, adicional y complementaria a la que se dispone actualmente a nivel regional. Las fuentes correspondientes son tanto nuevas estaciones de medición en terreno, como coordinación interna, y estudios específicos.

Tabla 7-47 Resumen de las brechas, oportunidades de mejora e iniciativas asociadas

Brecha	Problema u oportunidad de mejora	Iniciativas asociadas
BINF 01 Servicios Sanitarios Rurales	Información no consolidada del estado y funcionamiento de los SSR, principalmente de la recolección y tratamiento de aguas servidas	PER 2.4: Programa de Apoyo para la elaboración del Planes de Inversión y de Mantenimiento Preventiva
BINF 02 Hidrogeología	Información hidrogeológica de detalle inexistente o no consolidada.	GES 1.5: Estudios específicos
BINF 03 Catastro de usuarios del agua	Catastro de usuarios del agua no actualizado	GES 2.1: Estudio de derechos de aprovechamiento de agua asociados a los puntos de demanda
BINF 04 Embalse Rapel	Existencia de estaciones fluviométricas de medición de algunas entradas en el embalse Rapel pero que no permite generar un balance confiable de masas.	GES 1.1: Nuevas estaciones de la Red Hidrométrica
BINF 05 Tecnología y big data	Evolución en la toma de datos, como es la implantación de MEE superficial y subterránea, pero sin recursos públicos para el análisis de la información.	GES 1.4: Generación de capacidades al interior de la DGA
BINF 06 Información de glaciares	Existencia de estudios y rutas de nieve, sin embargo, completan la información necesaria para disponer de información para la gestión de los glaciares y sus deshielos en su totalidad.	GES 1.3: Estaciones de Montaña y mejora del sistema de alerta temprana

Fuente: Elaboración propia

7.1.5.1.1 GES 1.1: Proyecto de instalación de Nuevas estaciones de la Red Hidrométrica

La brecha BGES1: Deficiencias en la red hidrométrica y de calidad de aguas, recoge la necesidad de implementar nuevas estaciones para la red, con el propósito de mejorar la cobertura de la red hidrométrica en la cuenca. En concreto, se propone la construcción de nuevas estaciones y la mejora de la tecnología de estaciones existentes.

A continuación, en la **Tabla 7-48** y **Tabla 7-49** se muestra la propuesta de instalación de estaciones de la red hidrométrica en la cuenca, como respuesta a la brecha BGES1.

Tabla 7-48. Nuevas estaciones de la red Hidrométrica

Tipo estación	Sector	Ubicación	Ejecución (Plazo)	Millones de \$		
				Costo unitario	Cantidad	Total
Fluviométrica: Nuevas Estaciones	Tinguiririca	Estación Tinguiririca Alto	Medio	80	1	80
	Cachapoal	Río Cachapoal (1ª/2ª Cachapoal -> Punta de Cortes)	Medio	80	1	80
		Río Rapel después de la presa	Medio	80	1	0
		Estero Zamorano en la Cabecera	Medio	80	1	80
		Río Claro de Rengo	Medio	80	1	80
		Río Cachapoal ante junta río Las Leñas	Medio	80	1	80
Fluviométrica: Traslado de estaciones o modificación	Tinguiririca	Traslado estación Estero Chimbarongo en Puente Huape aguas arriba del punto actual	Medio	30	1	30
	Cachapoal	Actualización estación Lag Yeso	Medio	30	1	30
		Actualización estación Pejerreyes	Medio	30	1	30
Meteorológica: Traslado de estaciones o modificación	Cachapoal	Modificación ubicación estación Pangal	Medio	30	1	30
		Modificación ubicación estación Las Leñas	Medio	30	1	30
Nivel de embalses	Estero Chimbarongo	Embalse Convento Viejo	Medio	30	1	30
Total						580

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-49 Estaciones con mejora de la tecnología de transmisión de datos

Tipo estación	Sector	Ubicación	Ejecución (Plazo)	Millones de \$		
				Costo unitario*	Cantidad	Total
Fluviométricas	Cuenca	Estaciones existentes	Medio	1,5	18	27,0
Meteorológica	Cuenca	Estaciones existentes	Medio	1,5	31	46,5
Total						73,5

Fuente: Elaboración propia

Se estima que el costo de la iniciativa es de **\$653.500.000** para nuevas estaciones y mejora en la tecnología de transmisión de datos. A corto plazo se propone disponer de una red hidrométrica 100% conectada online donde la Dirección General de Aguas pueda recibir y compartir con otros usuarios la información a tiempo real de todas las estaciones.

La entidad responsable es la unidad de Hidrología de la Dirección General de Aguas (regional), y se espera que esta iniciativa se implemente en el mediano plazo (hasta 10 años).

No se identificaron beneficiarios directos, ni relación con otras iniciativas del Plan. La meta asociada es la construcción o actualización de un total de 14 estaciones de la red hidrométrica, y el indicador de proceso es el número de estaciones nuevas y/o actualizadas.

7.1.5.1.2 **GES 1.2: Proyecto de Reposición de equipos de la red de calidad de aguas**

La brecha BGES1: Deficiencias en la red hidrométrica y de calidad de aguas, presenta la necesidad de reposición de instrumentos de medición en las estaciones existentes

En consecuencia, el propósito de la iniciativa es reponer los equipos de la red de calidad de aguas de la cuenca.

Según se señala en el numeral 2.4.3.2, la Dirección General de Aguas regional dispone de 27 puntos para el seguimiento de la calidad de aguas. Se estimó un costo referencial de 20 millones de pesos para cada equipo, sin embargo, el costo definitivo debe corresponder a un programa formal de reemplazo. Esta información se muestra en la **Tabla 7-50**.

Tabla 7-50. Reposición de material para estaciones de la red de Calidad de Aguas

Reposición	Sector	Ubicación	Ejecución (Plazo)	Millones de \$		
				Costo unitario*	Cantidad	Total
Calidad de aguas	Cuenca	Estaciones existentes	Mediano-Largo	20	27	540
Total						540

Fuente: Elaboración propia

Se estima que el costo de la iniciativa es de **\$540.000.000 (quinientos cuarenta millones pesos)** para la reposición de equipos de calidad de aguas existentes, ejecutados de forma progresiva desde el mediano plazo según requerimientos de reposición.

La entidad responsable es la Unidad de Hidrología de la Dirección General de Aguas (regional), y se espera que esta iniciativa se implemente en el corto plazo. No se identificó beneficiarios directos, ni relación con otras iniciativas del Plan.

La meta asociada es reposición de equipos en 27 estaciones, y el indicador de proceso es el número de equipos efectivamente repuestos.

7.1.5.1.3 **GES 1.3: Proyecto de instalación de Estaciones de Montaña y mejora del sistema de alerta temprana**

La brecha BGES1: Deficiencias en la red hidrométrica y de calidad de aguas, recoge la necesidad de implementar nuevas estaciones para la red, con el propósito de mejorar la cobertura de la red hidrométrica en la cuenca. Específicamente se trata de estaciones de montaña.

El propósito de la iniciativa es mejorar la información disponible en la alta montaña de la cuenca, para una mejor comprensión de los procesos climáticos actuales y futuros y protección civil.

En consecuencia, se propone aumentar la densidad de estaciones en alta montaña en una estación, como se muestra en la **Tabla 7-51**.

Tabla 7-51. Nuevas estaciones de Alta Montaña

Tipo estación	Sector	Ubicación	Ejecución (Plazo)	Millones de \$		
				Costo unitario*	Cantidad	Total
Fluviométricas	Cachapoal	Río Cipreses	Corto	80	1	80
Total						80

Fuente: Elaboración propia

Se estima que el costo de la iniciativa es de **\$80 millones de pesos** para la construcción de una estación fluviométrica en el río Cipreses antes de la bocatoma de la central hidroeléctrica Pacific Hydro. Esta iniciativa se propone replicarla en el sector Tinguiririca en el largo plazo.

La entidad responsable es la unidad de Hidrología de la Dirección General de Aguas (regional), y se espera que esta iniciativa se implemente en el corto plazo. No se identificó beneficiarios directos, ni relación con otras iniciativas del Plan.

La meta asociada es la instalación de 1 estación de montaña, y el indicador de proceso es el número de estaciones efectivamente instaladas.

7.1.5.1.4 **GES 1.4: Programa para la Generación de capacidades al interior de la DGA**

La brecha BGES2: Falta de información apunta a la falta de información clave para una mejor comprensión y gestión de la cuenca. En complemento, se requieren capacidades de análisis a nivel regional, como, por ejemplo, para revisar la información que se empieza a generar en el monitoreo de extracciones efectivas.

Se propone la instalación de capacidades al interior de la Dirección regional de la DGA, con el propósito de mejorar el análisis de información a nivel

Para concretar la iniciativa, uno de los aspectos mencionados es la definición de procedimientos de análisis derivados de los datos generados por el Monitoreo de Extracciones Efectivas (MEE), más allá de la fiscalización de las tasas de extracción respecto de los caudales otorgados. Entre los procedimientos, podrían incluirse:

- Identificación de patrones espaciales o temporales respecto de los niveles acuíferos o de las tasas de extracción
- Análisis del comportamiento según tipo de extracción y profundidad
- Extensión del MEE a los SSR de la cuenca, con el propósito de tener un indicador que sirva para gestión de la Seguridad Hídrica para las personas
- Generación de una correlación entre las extracciones y el volumen estimado en cada SHAC

-
- Generación de una correlación entre el balance de recarga y las extracciones efectivas.

Para la instalación de esta capacidad se propone el desarrollo de manuales de análisis al interior de la DGA a nivel central, con la participación de las distintas direcciones regionales. Estos manuales debieran contemplar estrategias de análisis y estudios de caso que permitan su replicación a nivel regional.

Otro aspecto que desarrollar es la capacidad de propuesta regional, particularmente enfocada en la capacitación para la presentación de proyectos de financiamiento regional que permitan, por ejemplo, ampliar la red hidrométrica o el desarrollo de estudios. La capacidad de propuesta no se refiere necesariamente al aumento de profesionales, sino que a la capacitación interna en elaboración de proyectos para financiamiento regional y difusión de oportunidades nacionales.

Se estima que ambos componentes son de desarrollo interno de la DGA y que no requieren financiamiento adicional. El responsable es la Dirección Regional de la DGA, y se espera que se implemente en el corto plazo. La definición de procedimientos y capacitación tiene una duración de 12 meses.

No se identificaron beneficiarios directos de esta iniciativa. La iniciativa relacionada es la GES 1.5, que se refiere a los estudios específicos a realizar en la cuenca. La meta es la instalación de capacidades a nivel regional, y el indicador de proceso son los cursos y o procedimientos desarrollados para abordar las necesidades de análisis.

7.1.5.1.5 **GES 1.5: Estudios específicos**

La brecha BGES2: Falta de información y análisis de procesos alude a la falta de conocimiento e información respecto de ciertos procesos relevantes en la cuenca, y que deben ser abordados.

El propósito la iniciativa es contribuir a la generación de información y comprensión de procesos hidrológicos, hidrogeológicos y ecosistémicos de la cuenca.

Se propone la realización de estudios específicos como respuesta a la brecha BGES2. Esta información se muestra en la **Tabla 7-52**.

Se estima que el costo de la iniciativa es de **\$1.150 millones de pesos** para la realización de estudios específicos necesarios en la cuenca de Rapel, en base a la información faltante para la mejora del modelo numérico.

La institución responsable es la Dirección General de Aguas, División de Estudios y Planificación, y se espera que se desarrollen en el corto y mediano plazo.

Los beneficiarios son los usuarios de toda la cuenca.

La meta es la realización de 4 estudios técnicos, y el indicador de proceso es el número de estudios efectivamente ejecutados.

Tabla 7-52. Estudios específicos

Id	Estudio	Alcance	Duración (meses)	Costo (Millones de \$)
1	Estudios de geofísica	Trabajos de terreno para complementar la información de basamento de zonas sin información	12	300
2	Caracterización Hidrogeológica SHAC Laguna San Vicente	Campaña Gravimetría Campaña TEM Campaña de aflors Caracterización Hidrogeológica del SHAC Laguna San Vicente	12	200
3	Estudios complementarios para la mejora del modelo conceptual agrícola en la cuenca de Rapel	Estudio específico de determinación de la demanda de riego según su origen de la oferta y su destino final. Se considera estudio de la eficiencia de canales de riego y método de riego. Análisis de los “derramistas”, cálculo de la oferta y demanda en este ámbito, flujos de entrada y salida (retornos). Análisis del aporte efectivo de la oferta subterránea por cada zona de riego, considera catastro de pozos.	24	450
4	Análisis de la disponibilidad en el secano interior con proyección de escenarios de cambio climático	Análisis de la oferta y demanda, física y legal, en las subsubcuencas: río Rapel, Estero El Rosario, Estero las Cadenas, Estero San Miguel	12	200
Total				1.150

Fuente: Elaboración propia

7.1.5.2 GES 2: Generación de capacidades de Fiscalización

En condiciones de escasez, el uso no regular de las aguas superficiales y subterráneas se ve aumentado, particularmente las extracciones desde pozos no inscritos. En consecuencia, se requiere de mayores capacidades de fiscalización para contribuir a una gestión adecuada de las fuentes de agua.

7.1.5.2.1 **GES 2.1: Estudio de derechos de aprovechamiento de agua asociados a los puntos de demanda**

La brecha BGES3: Falta de información sistematizada de los DAA, puntos de extracción y demanda final (Catastro de usuarios, Actualización), responde a la ausencia de información previa, que permita contrastar las extracciones efectivas con los derechos de agua efectivamente otorgados. Al no existir este antecedente, no es posible realizar una búsqueda preliminar de sectores con potenciales usos irregulares del agua.

El propósito de esta iniciativa es disponer de información completa y actualizada de los usos y derechos de aprovechamiento de agua en la cuenca, mediante un estudio que relaciones predios y roles, uso de la tierra, infraestructura hidráulica actualizada y derechos de aprovechamiento de agua, para poder identificar en qué situaciones se da un potencial uso del agua sin los derechos correspondientes.

Para esto se propone un Estudio de derechos de aprovechamiento de agua asociados a los puntos de demanda, principalmente agrícola. Este estudio consiste en la identificación de predios agrícolas bajo riego y los derechos de aprovechamiento de agua asociados, con el propósito de contar con una base actualizada de demandas, y poder identificar cuando un punto de demanda no se condice con la oferta de agua disponible.

Las actividades principales son:

Catastro de uso de la tierra: análisis satelital de los usos agrícolas, y particularmente de la superficie regada. Los sectores regados cambian año a año, dependiendo de la disponibilidad, por lo que se debe tener presente la frecuencia de uso asociada.

Catastro de infraestructura hidráulica: actualización de la infraestructura de captación, conducción y distribución, tanto a nivel superficial como subterráneo, y puntos de entrega a canales o predios. Esta tarea implica un recorrido de todos los canales, trabajo con organizaciones de usuario de agua para identificar rol de regantes y predios asociados, entre otros.

Catastro de derechos de aprovechamiento de agua: registro de la totalidad de los derechos de aprovechamiento de agua inscritos en la DGA, así como aquellos inscritos solo en el Conservador de Bienes Raíces. Determinación de la demanda legal autorizada.

Análisis de puntos críticos: análisis crítico de las zonas de uso del agua, con énfasis en identificar aquellas zonas regadas donde no existe infraestructura de conducción (canales), o donde la demanda bruta no se condice con la oferta efectiva, y que pudiera ser indicativa de extracciones irregulares.

Tabla 7-53. Partidas de gasto del Catastro de Usos del Agua

Partida	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (Millones de \$)	Costo Total (Millones de \$)
Catastro de Uso de la Tierra	HP	1.000	0,05	50
Catastro de Infraestructura Hidráulica	HP	5.000	0,05	250
Catastro de Derechos de Aprovechamiento de Agua	HP	1.000	0,05	50
Análisis de Puntos Críticos	HP	1.000	0,05	50
Trabajos de terreno	Unidad de Gestión	3	100	300
Total				700

Fuente: Elaboración propia

A nivel de cuenca, se estima que este estudio tiene un costo de desarrollo de **\$700 millones de pesos**, el plazo de desarrollo es de 2 años, y debiera actualizarse cada 10 años. Se espera se pueda concretar la primera ejecución en el corto plazo.

Claramente esta iniciativa se relaciona no solo con otras iniciativas de este Plan, sino que con el trabajo de otras instituciones como la Comisión Nacional de Riego, e incluso el Censo agropecuario. En ese sentido, se propone que responda a una coordinación intersectorial, gestionada desde la Dirección General de Aguas regional, quien sería el responsable, con fondos regionales.

No se identificaron beneficiarios directos de la iniciativa, mientras que la iniciativa relacionada es GES 2.2: Desarrollo de capacidades de fiscalización al interior de la DGA, ya que esta proporciona las capacidades de análisis requeridas para procesar la información generada en GES 2.1.

La meta es contar con el estudio técnico, y el indicador de proceso es su actualización cada 10 años.

7.1.5.2.2 GES 2.2: Programa para el Desarrollo de capacidades de fiscalización al interior de la DGA

La brecha BGES4: Falta de capacidades específicas para la realización de análisis de base de datos (Recursos Humanos) se refiere a limitaciones internas de la DGA para abordar en forma proactiva los procesos de fiscalización. Dentro de la Oficina Regional se complementan los recursos humanos con las atribuciones que tiene la Dirección a nivel regional. Sin embargo, existen nuevos desafíos para la DGA Regional ya que se incorporarían cambios como más información (Monitoreo de Extracciones Efectivas, red hidrométrica), además de la implementación del presente plan.

El propósito de la iniciativa es fortalecer las capacidades de fiscalización al interior de la Dirección General de Aguas regional mediante una mejora de las capacidades de análisis previo, mediante el análisis de sectores con mayor probabilidad de ocurrencia de extracciones irregulares (en directa relación con la iniciativa GES 2.1).

En concreto, para materializar esta iniciativa se requiere diseñar los protocolos y disponer de las herramientas computacionales (equipos y software) que permitan tomar el Catastro de Usos del agua y realizar análisis sitio específicos para identificar potenciales usos irregulares.

Se estima que este componente es de desarrollo interno de la DGA y que **no requiere financiamiento adicional**. La entidad responsable es la Unidad de Fiscalización de la Dirección General de Aguas.

No se identificó beneficiarios directos de la iniciativa, mientras que la iniciativa relacionada es GES 2.1: Catastro de usos del agua, ya que ésta proporciona la información base a ser analizada.

La meta asociada corresponde al fortalecimiento efectivo de capacidades de análisis, y el indicador de proceso son los protocolos y herramientas requeridas para este efecto.

7.1.5.3 GES 3: Organizaciones de Usuarios de Agua en línea

Se presenta un conjunto de iniciativas tendientes a facilitar y modernizar la gestión de las Organizaciones de Usuarios de Agua, acercando a la DGA con estas organizaciones territoriales. Estas contemplan la simplificación de procedimientos, y favorecer la accesibilidad mediante plataformas en línea para administración y capacitación.

7.1.5.3.1 GES 3.1: Proyecto de Simplificación y estandarización de procedimientos DGA

La brecha BGES5. Falta de modernización en la administración de las OUA hace referencia al estado general de las organizaciones de usuarios de la cuenca, las que en general experimentan dificultades internas y externas para mantener su funcionamiento al día.

El propósito de la iniciativa es facilitar el cumplimiento de los aspectos administrativos propios de las organizaciones de usuarios de agua.

Para esto, se propone revisar aquellos procedimientos de tipo administrativo que pudieran ser simplificados y estandarizados mediante formularios tipo. Dentro de esta categoría se encuentran a lo menos las Actas de asambleas ordinarias y extraordinarias, entre otros.

Estos formatos debieran estar disponibles en el sitio web de la Dirección General de Aguas. Se estima que esta componente es de desarrollo interno de la DGA, Unidad de Organizaciones de Usuarios de Agua y Eficiencia Hídrica, y que no requiere financiamiento adicional.

Se espera que se implemente en el corto plazo (antes de 5 años), y se relaciona directamente con las iniciativas GES 3.2: Plataforma de Gestión de organizaciones de usuarios y GES 3.3: Plataforma de Capacitación de organizaciones de usuarios de agua.

Los beneficiarios directos son las organizaciones de usuarios de agua de la cuenca.

La meta de la iniciativa es contar con una actualización de procedimientos, y el indicador de proceso es la modificación legal o instructivo interno que contenga los cambios que estime conveniente la institución.

7.1.5.3.2 GES 3.2: Proyecto para el desarrollo de una Plataforma de Gestión de Organizaciones de Usuarios

La brecha BGES5. Falta de modernización en la administración de las OUA hace referencia al estado general de las organizaciones de usuarios de la cuenca, las que en general experimentan dificultades internas y externas para mantener su funcionamiento al día.

El propósito de la iniciativa es simplificar el acceso a información, realización de procedimientos ordinarios y trámites básicos de las organizaciones de usuarios de agua y de la misma Dirección General de Aguas.

Se propone el desarrollo de una plataforma en línea que reúna contenidos para la administración de las organizaciones de usuarios de agua, formato de procedimientos estándar, y, sobre todo, que permita la realización de algunos trámites básicos en línea, como la actualización de dirigentes, o incluso del padrón de usuarios.

De esta forma, se busca por un lado facilitar la gestión de las organizaciones de usuarios de agua, y por el otro, acercar a la DGA a estas organizaciones. Así mismo, se promueve la disposición de información actualizada para ambas partes. Algunas capacidades de esta plataforma pueden ser las siguientes:

Módulo Legal: Constitución de OUA (siguiendo el ejemplo de "Empresa en un día") y otras modificaciones asociadas

Módulo Administrativo: Ejecución de actos administrativos (reuniones, asambleas, etc.)

Módulo de Gestión del Conocimiento: disposición de recursos, cursos e-learning, tutoriales, estudios de caso y otros a desarrollar en GES 3.3

Así mismo, esta plataforma debiera coordinarse con otras iniciativas paralelas, como la aplicación “Gestiona Canal” de la Comisión Nacional de Riego. En una primera etapa, Gestiona Canal está diseñado para manejar:

Datos generales de una organización, directivas, administradores, infraestructura de captación, ríos y canales, entre otros.

Usuarios y acciones, considerando distintos tipos de usuarios, como personas naturales, jurídicas u OUA. Distintos tipos de acciones y transferencias entre éstas. Cuotas y pagos, calculando el valor de las cuotas dependiendo de las acciones de cada usuario y las fechas definidas para los cobros. Además, permite la gestión de pagos, considerando distintos tipos de interés.

El sistema considera, además, un reporte especial que permitirá a las OUA informar a la Dirección General de Aguas (DGA) su rol de usuarios en el formato que esta institución requiere. Gestiona Canal es gratuito para las organizaciones y solo requiere una solicitud - a través del mismo sistema- de la persona que actuará como administrador, la que debe contar con Clave Única. La solicitud deberá ser ratificada por la Organización con posterioridad.

La **Tabla 7-54** presenta el análisis económico de la iniciativa.

Tabla 7-54. Partidas de gasto de la Plataforma de Gestión de OUA

Partida	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (Millones de \$)	Costo Total (Millones de \$)
Módulo Legal	HP	2.000	0,05	100
Módulo Administrativo	HP	2.000	0,05	100
Módulo Gestión del Conocimiento	HP	2.000	0,05	100
Interconexión con otras plataformas	HP	2.000	0,05	100
Total				400

Fuente: Elaboración propia

Se estima que el desarrollo de la plataforma de la DGA tiene un costo base de **\$400 millones de pesos**. La entidad responsable es la unidad de Organizaciones de Usuarios y Eficiencia hídrica de la DGA. El desarrollo de la plataforma requiere 12 meses de trabajo, y se espera que se implemente en el corto plazo.

Los beneficiarios directos serían las organizaciones de usuarios no solo de la cuenca, sino que del país.

Las iniciativas relacionadas son GES 3.1: Simplificación y estandarización de procedimientos DGA, ya que viabiliza la realización de trámites en línea; y GES 3.3:

Plataforma de Capacitación de organizaciones de usuarios de agua, que profundiza en la gestión del conocimiento.

La meta asociada es el desarrollo de la plataforma, y el indicador de proceso es la plataforma implementada y operativa.

7.1.5.3.3 GES 3.3: Proyecto para el desarrollo de una Plataforma de Capacitación de organizaciones de usuarios de Agua

La brecha BGES5. Falta de modernización en la administración de las OUA hace referencia al estado general de las organizaciones de usuarios de la cuenca, las que en general experimentan dificultades internas y externas para mantener su funcionamiento al día. Parte de estas dificultades se relacionan con las capacidades técnicas de dirigentes y administradores. Complementariamente, este problema es compartido con los servicios sanitarios rurales, por lo que existen sinergias entre ambos grupos de usuarios.

El propósito es promover la gestión del conocimiento, y realizar una transferencia efectiva de capacidades de gestión, administración y operación a las organizaciones de usuarios de agua de la cuenca.

Para esto, se propone la generación de un centro de contenidos de capacitación para las organizaciones de usuarios de agua, a nivel nacional. Se debiera diseñar una estrategia de formación técnica que considere, por ejemplo, el otorgamiento de acreditaciones que certifiquen que ciertos profesionales han cumplido con los contenidos de formación mínimos para la administración de las organizaciones de usuarios de agua.

De la misma forma, esta plataforma de formación y acreditación pudiera extenderse a otros aspectos de la gestión y operación de las aguas a nivel regional, incluyendo, por ejemplo, la administración de Servicios Sanitarios Rurales y Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas. De esta forma, esta plataforma debiera contener los siguientes alcances.

- Disposición de contenidos y cursos en formato multimedia / e-learning
- Capacidad de otorgar acreditaciones o certificados
- Coordinación / centralización de contenidos de otros aspectos de gestión técnica y operacional del agua
- Administración de OUA (CNR dispone de contenidos ya desarrollados, en línea)
- Administración de Servicios Sanitarios Rurales (DOH)
- Tratamiento de aguas (DOH y SISS deben capacitar en esta línea)

Para el caso que se alcancen alianzas con centros de Formación Técnica a nivel regional, esta capacitación se podría realizar en forma mixta (presencial y remota).

Tabla 7-55. Partidas de gasto del Sistema de Capacitación

Partida	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (Millones de \$)	Costo Total (Millones de \$)
Generación de contenidos	Manuales	25	2	50
Generación de Cursos	Cursos	25	4	100
Generación de material educativo	Videos y otros recursos	100	3	300
Otros contenidos y coordinaciones	Gl	1	100	100
Total				550

Fuente: Elaboración propia

La estimación de costos es referencial, y en el ejercicio realizado alcanza los **\$ 550 millones de pesos**. El plazo de desarrollo es de 12 meses, y se espera que se implemente en el corto plazo.

La entidad responsable es la Unidad de Organizaciones de Usuarios y Eficiencia hídrica de la DGA. Se espera que se implemente en el corto plazo.

Los beneficiarios directos serían las organizaciones de usuarios no solo de la cuenca, sino que del país.

La iniciativa relacionada es GES 3.2: Plataforma de Gestión de Organizaciones de Usuarios, la que proporciona el soporte informático para los contenidos a desarrollar.

La meta asociada es el desarrollo de los contenidos, y el indicador de proceso corresponde a los contenidos puestos a disposición de los usuarios de agua.

7.1.6 Gobernanza

La gobernanza se refiere a la forma de organización de los actores públicos y privados, con el propósito de implementar una gestión integrada de recursos hídricos en la cuenca. En particular, esta gobernanza es responsable de liderar, coordinar y ejecutar las acciones contenidas en el presente Plan Estratégico.

A continuación, en la **Tabla 7-56** se presentan las iniciativas requeridas para conformar una gobernanza en la cuenca.

Tabla 7-56. Iniciativas de Seguridad Hídrica para la Gobernanza

Línea de Acción	Iniciativa	Brecha
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 BGOB2: No existe una visión conjunta ni alineamiento que le de sustento
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 BGOB2: No existe una visión conjunta ni alineamiento que le de sustento

Fuente: Elaboración propia

El detalle de las Líneas de Acción e iniciativas se presenta en el punto siguiente, y se presentan además en el Anexo K4, Fichas Resumen.

7.1.6.1 GOB 1: Implementación de una Gobernanza de Recursos Hídricos

La implementación del Plan Estratégico a nivel de cuenca requiere de una gobernanza que sea capaz de conducirlo, ajustarlo a las condiciones variables de ejecución y, sobre todo, gestionar el financiamiento requerido para su implementación.

7.1.6.1.1 GOB 1.1: Implementación de un sistema de gobernanza de recursos hídricos para la cuenca

La iniciativa responde a las brechas BGOB1: Falta de coordinación entre actores públicos y privados; y BGOB2: No existe una visión conjunta ni alineamiento que le de sustento, respecto de la gestión sostenible de la cuenca.

En consecuencia, el propósito de la iniciativa es proponer un sistema de gobernanza para la cuenca, que permita conducir la toma de decisiones para la gestión, definición de una visión conjunta, una estrategia, y la implementación y actualización de ésta.

Para esto, se propone la implementación de un sistema de gobernanza del agua para la cuenca. La estructura propuesta consta de los siguientes estamentos:

- **1 Consejo de Cuenca**, compuesto por usuarios del agua, la sociedad civil organizada, gobierno local y gobierno central
- **4 Comités de Seguridad Hídrica** para los ejes de personas, ecosistemas, actividades productivas y eventos extremos
- **1 Secretaría Técnica** que de sustento técnico y continuidad operacional a la gobernanza

Para la implementación de la gobernanza se propone una primera fase o “Gobernanza de Partida”, la que cuente con un reglamento básico de operación, y que se proponga la definición de un reglamento en régimen antes de 5 años de la operación. El numeral 8.2.2 desarrolla el rol de cada una de las entidades propuestas.

Se propone la realización de un programa de apoyo inicial, para el establecimiento de la gobernanza, con el siguiente alcance:

1. Definición de roles de cada uno de los actores
2. Definición de reglamento inicial
3. Revisión del Plan Estratégico
4. Definición de metas estratégicas
5. Constitución de Comités de Seguridad Hídrica
6. Definición de metas específicas por Comités de Seguridad Hídrica
7. Definición de sistemas de información y reportabilidad

En la **Tabla 7-57** se realiza una estimación de costos de la iniciativa. Este programa de apoyo tendría una duración de 6 meses, con un costo de **\$148 millones**. Se espera que se implemente en el corto plazo.

La entidad responsable es la Dirección General de Aguas a nivel central, en colaboración con la Dirección Regional. La fuente de financiamiento es sectorial.

Tabla 7-57. Estimación de costo de la iniciativa

Partida	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (Millones de \$)	Costo Total (Millones de \$)
Trabajo de coordinación del Programa de apoyo	HP	1.000	0,05	50
Reuniones de trabajo	Reunión	10	2	20
Difusión	Campaña	2	5	10
Formalización de acuerdos	HP	1.000	0,05	50
Costos operacionales y de difusión	mes	6	3	18
Total				148

Fuente: Elaboración propia

La medida beneficiará a todos los usuarios del agua de la cuenca.

La iniciativa relacionada es GOB 1.2 Implementación de una Secretaría Técnica permanente, la que proporciona el respaldo técnico y administrativo para el Consejo de cuenca y los Comités de Seguridad Hídrica.

La meta asociada es la instalación del Consejo de Cuenca, y el indicador de proceso es la ejecución del programa de apoyo con la obtención del acuerdo para un sistema de gobernanza de partida.

7.1.6.1.2 GOB 1.2: Implementación de una Secretaría Técnica permanente

La iniciativa responde a las brechas BGOB1: Falta de coordinación entre actores públicos y privados; y BGOB2: No existe una visión conjunta ni alineamiento que le de sustento, respecto de la gestión sostenible de la cuenca.

En consecuencia, el propósito de la iniciativa es proponer un apoyo técnico que de sustento y continuidad al sistema de gobernanza de la cuenca.

Para esto, se propone la implementación de una Secretaría Técnica permanente, que dé soporte técnico a la gobernanza de la cuenca. Esta Secretaría tiene los siguientes alcances:

-
1. **Continuidad operacional de la gobernanza:** convocatoria de reuniones, minutas de reuniones, seguimiento a compromisos adquiridos.
 2. **Estudios técnicos básicos:** Elaboración de estudios técnicos, recopilación de estadísticas regionales, consolidación de información.
 3. **Actualización del modelo hidrológico e hidrogeológico:** actualizaciones específicas o seccionales del modelo, evaluación de escenarios de gestión, proyecciones de temporada operacional.
 4. **Contraparte técnica de estudios locales:** ser parte de los equipos técnicos revisores de otras iniciativas de estudio de recursos hídricos dentro de la cuenca.
 5. **Acompañamiento al funcionamiento de Comités de Seguridad Hídrica:** acompañamiento a reuniones, generación de información, análisis técnico, seguimiento al cumplimiento de compromisos y metas.
 6. **Redes y alianzas:** generación de redes locales, regionales, nacionales e internacionales para el desarrollo de la cuenca.
 7. **Representación y comunicación:** difusión de las actividades de la gobernanza, publicación de artículos técnicos y entrevistas, participación en actividades y seminarios.
 8. **Reportabilidad:** generación de reportes anuales de seguimiento a los indicadores de la cuenca. Elaboración de una memoria anual de la gobernanza.

La estructura profesional de la Secretaría Técnica propuesta es la siguiente:

Secretario: responsable de la conducción de la Secretaría y su relación con los actores de la gobernanza. Define los lineamientos técnicos y estratégicos dentro de su ámbito de acción.

Coordinador territorial: profesional local, que se encarga de mantener la continuidad en las relaciones, reuniones y compromisos de cada Comités de Seguridad Hídrica y del Consejo de Cuenca. Participa en actividades de carácter territorial.

Staff de Asesores: asesores senior en gestión de recursos hídricos superficiales, subterráneos, materias legales, ambientales y sociales.

Equipo de ingenieros: equipo permanente de ingenieros que mantienen los modelos hidrológicos, hidrogeológicos, y forma parte de la contraparte técnica de estudios locales.

La implementación de la secretaría técnica se puede realizar en forma gradual, en función de la disponibilidad de recursos, e incluso complementarse con profesionales de distintos servicios públicos.

La **Tabla 7-58** presenta un desglose de los costos asociados a la Secretaría Técnica. Se presentan a nivel referencial.

Tabla 7-58. Estimación de costo de la iniciativa

Partida	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (Millones de \$)	Costo Total (Millones de \$)
Secretario	Mes	12	3,0	36
Coordinador territorial	Mes	12	2,0	24
Asesores	Mes	12	2,0	24
Profesionales	Mes	36	2,0	72
Oficina	Mes	12	2,0	24
Costo operacional	Mes	12	1,0	12
Difusión	Gl	2	5,0	10
Total				202

Fuente: Elaboración propia

Se estima que el costo de mantención de la Secretaría Técnica es de \$202 millones de pesos al año, lo que incluye costos de administración, oficina técnica, operación, entre otros. El financiamiento debiera ser de tipo regional, y permanente en el tiempo.

La entidad responsable del financiamiento es el Gobierno Regional, en colaboración técnica con la Dirección General de Aguas. La fuente de financiamiento es regional.

No se identificó beneficiarios directos, aunque beneficiaría a todos los usuarios del agua de la cuenca.

La iniciativa relacionada es GOB 1.1 Implementación de un sistema de gobernanza de recursos hídricos para la cuenca, la que proporciona la estructura de gobernanza para la cuenca, de la cual la Secretaría Técnica es parte.

La meta asociada es la instalación de la Secretaría Técnica, y el indicador de proceso es el número de años que esta se encuentra operativa.

7.2 Alternativas Seleccionadas

El numeral anterior presenta el proceso de evaluación de cada una de las alternativas seleccionadas, las que fueron priorizadas mediante la metodología de árbol de soluciones. En consecuencia, en la **Tabla 7-59** se presenta la cartera de iniciativas propuestas en formato de ficha, para cada uno de los seis ejes estratégicos de planificación: Balance, Seguridad Hídrica (para las personas, ecosistemas, actividades productivas, eventos extremos, gestión institucional y gobernanza).

Tabla 7-59. Alternativas Seleccionadas

Eje	Línea de Acción	Iniciativa	Costo (millones \$)	Costo (UF)	Responsable
01 SH para las Personas	PER 1 Seguridad Hídrica para la Red Pública Urbana	PER 1.1 - Planes de Desarrollo de la empresa sanitaria	681.754	21.853.455	Empresa Sanitaria
01 SH para las Personas	PER 2 Seguridad Hídrica para la Red Pública Rural	PER 2.1 - Plan de Desarrollo Integrado de la Infraestructura Hidráulica y Sanitaria	500	16.027	GORE
01 SH para las Personas	PER 2 Seguridad Hídrica para la Red Pública Rural	PER 2.2 - Programa de Capacitación y acreditación de dirigentes de SSR	900	28.849	DOH / SSR
01 SH para las Personas	PER 2 Seguridad Hídrica para la Red Pública Rural	PER 2.3 - Programa de Registro y Profesionalización de los SSR	4.050	129.822	DOH / SSR
01 SH para las Personas	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	4.800	153.863	DOH / SSR
01 SH para las Personas	PER 2 Seguridad Hídrica para la Red Pública Rural	PER 2.5 - Proyecto para un Sistema de Información de Servicios Sanitarios Rurales	600	19.233	DOH / SSR
01 SH para las Personas	PER 2 Seguridad Hídrica para la Red Pública Rural	PER 2.6 - Proyecto de Instalación de Telemetría en SSR	1.522	48.787	DOH / SSR
01 SH para las Personas	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	318.986	10.225.008	DOH / SSR
01 SH para las Personas	PER 2 Seguridad Hídrica para la Red Pública Rural	PER 2.8 - Plan de Aumento en la cobertura de SSR	625.680	20.056.025	DOH / SSR
01 SH para las Personas	PER 2 Seguridad Hídrica para la Red Pública Rural	PER 2.9 - Estudio Técnico para la incorporación de Sistemas de Saneamiento alternativos	250	8.014	DOH / SSR
01 SH para las Personas	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	16.660	534.032	DOH / SSR

Eje	Línea de Acción	Iniciativa	Costo (millones \$)	Costo (UF)	Responsable
02 SH Ecosistemas	ECO 1 Gestión y Protección de los Cauces Naturales	ECO 1.1 - Estudio de Definición de caudales ambientales y estándares de calidad de agua mínimos	200	6.411	MMA
02 SH Ecosistemas	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	300	9.616	MMA
02 SH Ecosistemas	ECO 2 Protección de Humedales	ECO 2.1 - Estudio de vulnerabilidad de humedales	400	12.822	MMA
02 SH Ecosistemas	ECO 2 Protección de Humedales	ECO 2.2 - Programa de Protección de Humedales Urbanos	1.000	32.055	GORE
02 SH Ecosistemas	ECO 3 Revertir la degradación de los ecosistemas terrestres	ECO 3.1 - Programa de Restauración de ecosistemas terrestres	824	26.410	CONAF
02 SH Ecosistemas	ECO 3 Revertir la degradación de los ecosistemas terrestres	ECO 3.2 - Programa de Recuperación de suelos degradados	20.363	652.716	SAG
02 SH Ecosistemas	ECO 4 Acuerdo Marco Embalse Rapel	ECO 4.1 - Proyecto para obtención de Acuerdo Marco Embalse Rapel	-	-	Gobierno Regional
03 SH Act Productivas	PRO 1 Nuevas Fuentes de Aguas Superficiales	PRO 1.1 - Embalse Bollenar	176.033	5.642.696	MOP
03 SH Act Productivas	PRO 1 Nuevas Fuentes de Aguas Superficiales	PRO 1.2 - Embalse Las Cayanass	600	19.233	CNR
03 SH Act Productivas	PRO 1 Nuevas Fuentes de Aguas Superficiales	PRO 1.2 - Embalse Las Cayanass	163.892	5.253.520	MOP
03 SH Act Productivas	PRO 1 Nuevas Fuentes de Aguas Superficiales	PRO 1.5 - Embalse Río Claro de Tinguiririca	600	19.233	CNR
03 SH Act Productivas	PRO 1 Nuevas Fuentes de Aguas Superficiales	PRO 1.6 - Embalse Río Claro de Tinguiririca	64.925	2.081.156	MOP
03 SH Act Productivas	PRO 1 Nuevas Fuentes de Aguas Superficiales	PRO 1.7 - Proyecto de Aumento de Capacidad Embalse Convento Viejo	7.799	250.000	DOH

Eje	Línea de Acción	Iniciativa	Costo (millones \$)	Costo (UF)	Responsable
03 SH Act Productivas	PRO 2 Gestión Dinámica de Acuíferos	PRO 2.1 - Estudio de Factibilidad de la Gestión dinámica de Acuíferos	650	20.836	CNR
03 SH Act Productivas	PRO 2 Gestión Dinámica de Acuíferos	PRO 2.2 - Programa de implementación de una Gestión Dinámica de Acuíferos UG Cachapoal	123.165	3.948.025	DOH
03 SH Act Productivas	PRO 2 Gestión Dinámica de Acuíferos	PRO 2.3 - Programa de implementación de una Gestión Dinámica de Acuíferos UG Tinguiririca	46.064	1.476.571	DOH
03 SH Act Productivas	PRO 2 Gestión Dinámica de Acuíferos	PRO 2.4 - Programa de implementación de una Gestión Dinámica de Acuíferos UG Rapel	8.242	264.195	DOH
03 SH Act Productivas	PRO 3 Fortalecimiento del Secano Interior y Agricultura Familiar Campesina	PRO 3.1 - Proyecto de Riego Sector Marchigüe	23.000	737.260	MOP
03 SH Act Productivas	PRO 3 Fortalecimiento del Secano Interior y Agricultura Familiar Campesina	PRO 3.2 - Proyecto Integral de Riego Rapel	273.050	8.752.554	MOP
03 SH Act Productivas	PRO 3 Fortalecimiento del Secano Interior y Agricultura Familiar Campesina	PRO 3.3 - Programa de apoyo al secano interior de Marchigüe	8.390	268.939	DOH
03 SH Act Productivas	PRO 3 Fortalecimiento del Secano Interior y Agricultura Familiar Campesina	PRO 3.4 - Programa de apoyo al secano interior de Rapel y La Estrella	8.390	268.939	DOH
03 SH Act Productivas	PRO 3 Fortalecimiento del Secano Interior y Agricultura Familiar Campesina	PRO 3.5 - Programa de apoyo al valle de Alhué	250	8.014	CNR
03 SH Act Productivas	PRO 3 Fortalecimiento del Secano Interior y Agricultura Familiar Campesina	PRO 3.5 - Programa de apoyo al valle de Alhué	5.223	167.422	DOH

Eje	Línea de Acción	Iniciativa	Costo (millones \$)	Costo (UF)	Responsable
03 SH Act Productivas	PRO 4 Aumento en la eficiencia del uso de lagua	PRO 4.1 - Plan de Aumento en la Eficiencia de Riego	200	6.411	CNR
03 SH Act Productivas	PRO 4 Aumento en la eficiencia del uso de lagua	PRO 4.2 - Programa para el Aumento en la eficiencia de riego UG Cachapoal	360.603	11.559.044	CNR
03 SH Act Productivas	PRO 4 Aumento en la eficiencia del uso de lagua	PRO 4.3 - Programa para el Aumento en la eficiencia de riego UG Tinguiririca	222.421	7.129.653	CNR
03 SH Act Productivas	PRO 4 Aumento en la eficiencia del uso de lagua	PRO 4.4 - Programa para el Aumento en la eficiencia de riego UG Rapel	46.371	1.486.412	CNR
03 SH Act Productivas	PRO 5 Derechos de Aprovechamiento de Agua	PRO 5.1 - Programa de Regularización y saneamiento de derechos de aprovechamiento de agua	658	21.092	CNR
03 SH Act Productivas	PRO 6 Organizaciones de Usuarios de Agua	PRO 6.1 - Programa de Regularización de OUA	980	31.414	DGA OUA
03 SH Act Productivas	PRO 6 Organizaciones de Usuarios de Agua	PRO 6.2 - Programa de Constitución Comunidades de Aguas Subterráneas	422	13.527	DGA OUA
03 SH Act Productivas	PRO 6 Organizaciones de Usuarios de Agua	PRO 6.3 - Proyecto para el Acuerdo de distribución de agua JV Cachapoal	250	8.014	DGA OUA
04 SH Eventos Extremos	EXT 1. Planes de Transición Ecológica y Social	EXT 1.1 - Programa de Adaptación al Cambio Climático para el valle de Alhué	4.220	135.271	GORE
04 SH Eventos Extremos	EXT 1. Planes de Transición Ecológica y Social	EXT 1.2 - Programa de Adaptación al Cambio Climático para secano interior de Rapel	8.440	270.542	GORE
05 Gestión Institucional	GES 1 Generación de Información	GES 1.1 - Proyecto de instalación de Nuevas Estaciones de la Red Hidrométrica	250	8.014	DGA HIDROLOGIA
05 Gestión Institucional	GES 1 Generación de Información	GES 1.2 - Proyecto de Reposición de equipos de calidad de agua	540	17.310	DGA HIDROLOGIA

Eje	Línea de Acción	Iniciativa	Costo (millones \$)	Costo (UF)	Responsable
05 Gestión Institucional	GES 1 Generación de Información	GES 1.3 - Proyecto de instalación de Estaciones de Montaña	80	2.564	DGA HIDROLOGIA
05 Gestión Institucional	GES 1 Generación de Información	GES 1.4 - Programa para la Generación de capacidades al interior de la DGA	-	-	DGA Regional
05 Gestión Institucional	GES 1 Generación de Información	GES 1.5 - Estudios Específicos	1.150	36.863	DGA CENTRAL
05 Gestión Institucional	GES 2 Generación de Capacidades de Fiscalización	GES 2.1 - Estudio de actualización de derechos de aprovechamiento asociados a los puntos de demanda	2.100	67.315	DGA DARH
05 Gestión Institucional	GES 2 Generación de Capacidades de Fiscalización	GES 2.2 - Programa para el Desarrollo de capacidades de fiscalización al interior de la DGA	-	-	DGA FISCALIZACION
05 Gestión Institucional	GES 3 Organizaciones de Usuarios de Agua en línea	GES 3.1 - Proyecto de Simplificación y estandarización de procedimientos DGA	-	-	DGA DARH
05 Gestión Institucional	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	400	12.822	DGA OUA
05 Gestión Institucional	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	550	17.630	DGA OUA
06 Gobernanza	GOB 1 Implementación de una Gobernanza de Recursos Hídricos	GOB 1.1 - Implementación de una gobernanza de recursos hídricos para la cuenca	148	4.744	DGA CENTRAL
06 Gobernanza	GOB 1 Implementación de una Gobernanza de Recursos Hídricos	GOB 1.2 - Implementación de una Secretaría Técnica Permanente	6.000	192.329	DGA CENTRAL
Total			3.244.844	104.012.708	-

Fuente: Elaboración propia

7.3 Líneas de Acción

El Plan Estratégico se formuló a partir de una estructura de Ejes Estratégicos, Líneas de Acción e Iniciativas, las que se resumen en el esquema de la **Figura 7-3**.



Fuente: Elaboración propia

Figura 7-3 Líneas de Acción del Plan Estratégico

7.4 Valorización económica del Plan

El costo total del Plan Estratégico es de **\$3.244.844 millones de pesos** (UF 104.012.708). En la **Tabla 7-60** se presenta el resumen de inversión por cada línea de acción⁶⁶.

Tabla 7-60. Resumen de iniciativas de inversión

Ejes Estratégicos y Líneas de Acción	Costo (millones \$)	Costo (UF)	%
01 SH para las Personas	1.655.701	53.073.116	51,0%
PER 1 Seguridad Hídrica para la Red Pública Urbana	681.754	21.853.455	21,0%
PER 2 Seguridad Hídrica para la Red Pública Rural	957.288	30.685.629	29,5%
PER 3 Seguridad Hídrica para viviendas desconectadas de las Redes Públicas de Agua	16.660	534.032	0,5%
02 SH Ecosistemas	23.086	740.030	0,7%
ECO 1 Gestión y Protección de los Cauces Naturales	500	16.027	0,0%
ECO 2 Protección de Humedales	1.400	44.877	0,0%
ECO 3 Revertir la degradación de los ecosistemas terrestres	21.186	679.126	0,7%
ECO 4 Acuerdo Marco Embalse Rapel	-	-	0,0%
03 SH Act Productivas	1.542.178	49.434.158	47,5%
PRO 1 Nuevas Fuentes de Aguas Superficiales	413.849	13.265.837	12,8%
PRO 2 Gestión Dinámica de Acuíferos	178.121	5.709.627	5,5%
PRO 3 Fortalecimiento del Secano Interior y Agricultura Familiar Campesina	318.303	10.203.128	9,8%
PRO 4 Aumento en la eficiencia del uso de agua	629.595	20.181.520	19,4%
PRO 5 Derechos de Aprovechamiento de Agua	658	21.092	0,0%
PRO 6 Organizaciones de Usuarios de Agua	1.652	52.954	0,1%
04 SH Eventos Extremos	12.660	405.813	0,4%
EXT 1. Planes de Transición Ecológica y Social	12.660	405.813	0,4%
05 Gestión Institucional	5.070	162.518	0,2%
GES 1 Generación de Información	2.020	64.751	0,1%
GES 2 Generación de Capacidades de Fiscalización	2.100	67.315	0,1%
GES 3 Organizaciones de Usuarios de Agua en línea	950	30.452	0,0%
06 Gobernanza	6.148	197.073	0,2%
GOB 1 Implementación de una Gobernanza de Recursos Hídricos	6.148	197.073	0,2%
Total general	3.244.844	104.012.708	100,0%

Fuente: Elaboración propia

⁶⁶ El valor de la UF es de 31.196,61 pesos al momento de evaluación.

El cuadro siguiente resume la inversión por institución responsable y período de ejecución. El responsable principal es el MOP, que en forma directa y a través de la Dirección de Obras Hidráulicas y la Subdirección de Servicios Sanitarios Rurales concentra el 58,0% del total de las partidas. El detalle se presenta en la **Tabla 7-61**.

Tabla 7-61. Resumen de inversión por responsable y plazo

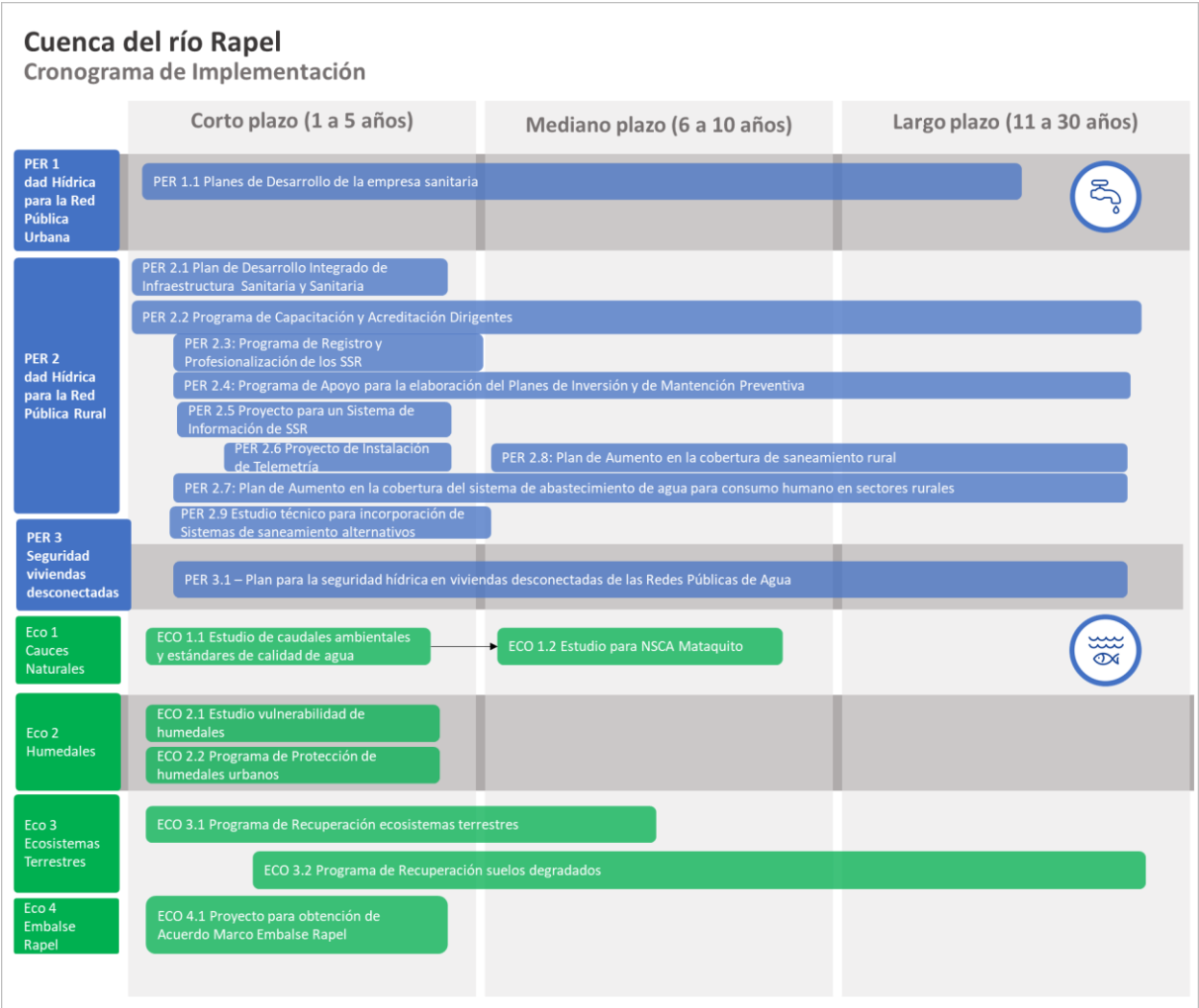
Institución	Costo (millones \$)	Costo (UF)	Corto Plazo (1-5 años)	Mediano Plazo (5 - 10 años)	Largo Plazo (10 a 30 años)	%
MOP	700.900,0	22.467.184,7	9.125,0	35.975,0	655.800,0	21,6%
Sectorial / Regional	176.033,0	5.642.696,4	4.675,0		171.358,0	5,4%
Sectorial	524.867,0	16.824.488,3	4.450,0	35.975,0	484.442,0	16,2%
DOH / SSR	973.447,6	31.203.634,0	76.335,3	135.029,0	537.072,2	30,0%
Sectorial / Regional	949.615,6	30.439.704,8	57.364,3	133.468,0	533.872,2	29,3%
Sectorial	23.832,0	763.929,2	18.971,0	1.561,0	3.200,0	0,7%
DOH	207.273,2	6.644.092,2	96.534,7	98.153,5	12.585,0	6,4%
Sectorial / Regional	22.003,0	705.301,0		9.418,0	12.585,0	0,7%
Sectorial	185.270,2	5.938.791,2	96.534,7	88.735,5	-	5,7%
DGA OUA	2.602,0	83.406,5	2.602,0	-	-	0,1%
Sectorial / Regional	422,0	13.527,1	422,0	-	-	0,0%
Sectorial	2.180,0	69.879,4	2.180,0			0,1%
DGA Regional	-	-	-	-	-	0,0%
Sectorial	-	-	-	-	-	0,0%
DGA CENTRAL	7.298,0	233.935,7	2.298,0	1.000,0	4.000,0	0,2%
Sectorial / Regional	6.000,0	192.328,6	1.000,0	1.000,0	4.000,0	0,2%
Sectorial	1.298,0	41.607,1	1.298,0	-	-	0,0%
DGA DARH	2.100,0	67.315,0	700,0	-	1.400,0	0,1%
Regional	2.100,0	67.315,0	700,0	-	1.400,0	0,1%
Sectorial	-	-	-	-	-	0,0%
DGA FISCALIZACION	-	-	-	-	-	0,0%

Institución	Costo (millones \$)	Costo (UF)	Corto Plazo (1-5 años)	Mediano Plazo (5 - 10 años)	Largo Plazo (10 a 30 años)	%
Sectorial	-	-	-	-	-	0,0%
DGA HIDROLOGIA	870,0	27.887,6	80,0	520,0	270,0	0,0%
Sectorial	870,0	27.887,6	80,0	520,0	270,0	0,0%
CNR	632.353,0	20.269.926,8	162.625,3	159.667,3	310.060,4	19,5%
Sectorial / Regional	1.450,0	46.479,4	1.450,0			0,0%
Sectorial	630.903,0	20.223.447,4	161.175,3	159.667,3	310.060,4	19,4%
CONAF	823,9	26.409,9	137,3	137,3	549,3	0,0%
Sectorial / Regional	823,9	26.409,9	137,3	137,3	549,3	0,0%
SAG	20.362,5	652.716,2	3.393,8	3.393,8	13.575,0	0,6%
Sectorial / Regional	20.362,5	652.716,2	3.393,8	3.393,8	13.575,0	0,6%
MMA	900,0	28.849,3	500,0	400,0	-	0,0%
Sectorial / Regional	400,0	12.821,9		400,0		0,0%
Sectorial	500,0	16.027,4	500,0	-	-	0,0%
GORE	14.160,0	453.895,5	7.830,0	6.330,0	-	0,4%
Regional	14.160,0	453.895,5	7.830,0	6.330,0	-	0,4%
Gobierno Regional	14.160,0	453.895,5	7.830,0	6.330,0	-	0,4%
Regional	14.160,0	453.895,5	7.830,0	6.330,0	-	0,4%
Empresa Sanitaria	681.753,7	21.853.454,6	113.625,6	113.625,6	454.502,5	21,0%
Privado	681.753,7	21.853.454,6	113.625,6	113.625,6	454.502,5	21,0%
Total general	3.244.843,9	104.012.707,9	475.786,9	554.231,5	1.989.814,3	100,0%

Fuente: Elaboración propia

7.5 Cronograma de soluciones

A continuación, en la **Figura 7-4** y **Figura 7-5** se presentan las iniciativas según plazo de implementación.



Fuente: Elaboración propia

Figura 7-4 Cronograma de Implementación de Soluciones (1)



Fuente: Elaboración propia

Figura 7-5 Cronograma de Implementación de Soluciones (2)

Tabla 7-62. 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	5.431	3.531	14.124	0,7%
ECO 1 Gestión y Protección de los Cauces Naturales	500	500	-	-	0,0%
ECO 2 Protección de Humedales	1.400	1.400	-		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	476.187	553.832	1.989.814	100,0%
		14,7%	17,1%	61,3%	

Fuente: Elaboración propia

8 IMPLEMENTACIÓN

Las iniciativas del Plan corresponden a las acciones una vez que se han definido alcances, presupuesto, plazos y responsables. Así, no sólo es importante dar cuenta de las iniciativas propuestas, sino también las formas en que éstas serán implementadas, los tiempos asociados, responsables, presupuestos, etc. En este capítulo, se abordan las diferentes estrategias de implementación, con el fin de acercarse a posibles soluciones que permitan subsanar las brechas identificadas con anterioridad.

8.1 Hitos de referencia

A continuación, se da cuenta de las iniciativas por plazo de implementación. Buena parte de las iniciativas se desarrollan en el corto plazo, toda vez que corresponden a estudios o acuerdos que son requisito para avanzar en aspectos de mayor complejidad, como lo es la integración de las redes de distribución de agua.

8.1.1 Plan de Acción de Corto Plazo

La **Tabla 8-1** presenta las iniciativas propuestas para el corto plazo (1 a 5 años), identificando la inversión total, la inversión parcial, el responsable, el financiamiento y el origen de éstas. El corto plazo concentra el 14,7% de la inversión total prevista a 30 años.

Tabla 8-1. Hitos de referencia del Plan (inversión a corto largo plazo)

Iniciativa	Responsable	Fuente de financiamiento	Costo (millones \$)	Costo (UF)	Corto (1-5 años)	%
PER 1.1 - Planes de Desarrollo de la empresa sanitaria	Empresa Sanitaria	Privado	681.754	21.853.455	113.626	23,9%
PER 2.1 - Plan de Desarrollo Integrado de la Infraestructura Hidráulica y Sanitaria	Gobierno Regional	Regional	500	16.027	500	0,1%
PER 2.2 - Programa de Capacitación y acreditación de dirigentes de SSR	DOH / SSR	Sectorial / Regional	900	28.849	150	0,0%
PER 2.3 - Programa de Registro y Profesionalización de los SSR	DOH / SSR	Sectorial / Regional	4.050	129.822	4.050	0,9%
PER 2.4 - Programa de Apoyo para la elaboración del Planes de Inversión y de Mantenimiento Preventiva	DOH / SSR	Sectorial	4.800	153.863	800	0,2%
PER 2.5 - Proyecto para un Sistema de Información de Servicios Sanitarios Rurales	DOH / SSR	Sectorial	600	19.233	600	0,1%
PER 2.6 - Proyecto de Instalación de Telemetría en SSR	DOH / SSR	Sectorial	1.522	48.787	761	0,2%
PER 2.7 - Plan de Aumento de la cobertura de agua para consumo humano sectores rurales	DOH / SSR	Sectorial / Regional	318.986	10.225.008	53.164	11,2%
PER 2.9 - Estudio Técnico para la incorporación de Sistemas de Saneamiento alternativos	DOH / SSR	Sectorial	250	8.014	150	0,0%
PER 3,1 - Plan para la seguridad hídrica en viviendas desconectadas de las Redes Públicas de Agua	DOH / SSR	Sectorial	16.660	534.032	16.660	3,5%
ECO 1.1 - Estudio de Definición de caudales ambientales y estándares de calidad de agua mínimos	MMA	Sectorial	200	6.411	200	0,0%
ECO 1.2 - Estudios para la Dictación de la Norma Secundaria de Calidad Ambiental del río Rapel	MMA	Sectorial	300	9.616	300	0,1%
ECO 2.1 - Estudio de vulnerabilidad de humedales	MMA	Sectorial / Regional	400	12.822	400	0,1%

Iniciativa	Responsable	Fuente de financiamiento	Costo (millones \$)	Costo (UF)	Corto (1-5 años)	%
ECO 2.2 - Programa de Protección de Humedales Urbanos	Gobierno Regional	Regional	1.000	32.055	1.000	0,2%
ECO 3.1 - Programa de Restauración de ecosistemas terrestres	CONAF	Sectorial / Regional	824	26.410	137	0,0%
ECO 3.2 - Programa de Recuperación de suelos degradados	SAG	Sectorial / Regional	20.363	652.716	3.394	0,7%
ECO 4.1 - Proyecto para obtención de Acuerdo Marco Embalse Rapel	Gobierno Regional	Regional	-	-	-	0,0%
PRO 1.1 - Embalse Bollenar	MOP	Sectorial / Regional	176.033	5.642.696	4.675	1,0%
PRO 1.2 - Embalse Las Cayanas	CNR	Sectorial / Regional	600	19.233	600	0,1%
PRO 1.3 - Embalse Río Claro de Tinguiririca	CNR	Sectorial / Regional	600	19.233	600	0,1%
PRO 1.7 - Proyecto de Aumento de Capacidad Embalse Convento Viejo	DOH	Sectorial	7.799	250.000	7.799	1,6%
PRO 2.1 - Estudio de Factibilidad de la Gestión dinámica de Acuíferos	CNR	Sectorial	650	20.836	650	0,1%
PRO 2.2 - Programa de implementación de una Gestión Dinámica de Acuíferos UG Cachapoal	DOH	Sectorial	123.165	3.948.025	61.583	12,9%
PRO 2.3 - Programa de implementación de una Gestión Dinámica de Acuíferos UG Tinguiririca	DOH	Sectorial	46.064	1.476.571	23.032	4,8%
PRO 2.4 - Programa de implementación de una Gestión Dinámica de Acuíferos UG Rapel	DOH	Sectorial	8.242	264.195	4.121	0,9%
PRO 3.1 - Proyecto de Riego Sector Marchigüe	MOP	Sectorial	23.000	737.260	200	0,0%
PRO 3.2 - Proyecto Integral de Riego Rapel	MOP	Sectorial	273.050	8.752.554	4.250	0,9%
PRO 3.5 - Programa de apoyo al valle de Alhué	CNR	Sectorial / Regional	250	8.014	250	0,1%
PRO 4.1 - Plan de Aumento en la Eficiencia de Riego	CNR	Sectorial	200	6.411	200	0,0%
PRO 4.2 - Programa para el Aumento en la eficiencia de riego UG Cachapoal	CNR	Sectorial	360.603	11.559.044	90.151	18,9%

Iniciativa	Responsable	Fuente de financiamiento	Costo (millones \$)	Costo (UF)	Corto (1-5 años)	%
PRO 4.3 - Programa para el Aumento en la eficiencia de riego UG Tinguiririca	CNR	Sectorial	222.421	7.129.653	55.605	11,7%
PRO 4.4 - Programa para el Aumento en la eficiencia de riego UG Rapel	CNR	Sectorial	46.371	1.486.412	13.911	2,9%
PRO 5.1 - Programa de Regularización y saneamiento de derechos de aprovechamiento de agua	CNR	Sectorial	658	21.092	658	0,1%
PRO 6.1 - Programa de Regularización de OUA	DGA OUA	Sectorial	980	31.414	980	0,2%
PRO 6.2 - Programa de Constitución Comunidades de Aguas Subterráneas	DGA OUA	Sectorial / Regional	422	13.527	422	0,1%
PRO 6.3 - Proyecto para el Acuerdo de distribución de agua JV Cachapoal	DGA OUA	Sectorial	250	8.014	250	0,1%
EXT 1.1 - Programa de Adaptación al Cambio Climático para el valle de Alhué	Gobierno Regional	Regional	4.220	135.271	2.110	0,4%
EXT 1.2 - Programa de Adaptación al Cambio Climático para secano interior de Rapel	Gobierno Regional	Regional	8.440	270.542	4.220	0,9%
GES 1.3 - Proyecto de instalación de Estaciones de Montaña	DGA HIDROLOGIA	Sectorial	80	2.564	80	0,0%
GES 1.4 - Programa para la Generación de capacidades al interior de la DGA	DGA Regional	Sectorial	-	-	-	0,0%
GES 1.5 - Estudios Específicos	DGA CENTRAL	Sectorial	1.150	36.863	1.150	0,2%
GES 2.1 - Estudio de actualización de derechos de aprovechamiento asociados a los puntos de demanda	DGA DARH	Regional	2.100	67.315	700	0,1%
GES 2.2 - Programa para el Desarrollo de capacidades de fiscalización al interior de la DGA	DGA FISCALIZACION	Sectorial	-	-	-	0,0%
GES 3.1 - Proyecto de Simplificación y estandarización de procedimientos DGA	DGA DARH	Sectorial	-	-	-	0,0%
GES 3.2 - Proyecto para el desarrollo de una Plataforma de Gestión de organizaciones de usuarios de Agua	DGA OUA	Sectorial	400	12.822	400	0,1%

Iniciativa	Responsable	Fuente de financiamiento	Costo (millones \$)	Costo (UF)	Corto (1-5 años)	%
GES 3.3 - Proyecto para el desarrollo de una Plataforma de Capacitación de organizaciones de usuarios de Agua	DGA OUA	Sectorial	550	17.630	550	0,1%
GOB 1.1 - Implementación de una gobernanza de recursos hídricos para la cuenca	DGA CENTRAL	Sectorial	148	4.744	148	0,0%
GOB 1.2 - Implementación de una Secretaría Técnica Permanente	DGA CENTRAL	Sectorial / Regional	6.000	192.329	1.000	0,2%
PER 1.1 - Planes de Desarrollo de la empresa sanitaria	Empresa Sanitaria	Privado	681.754	21.853.455	113.626	23,9%
PER 2.1 - Plan de Desarrollo Integrado de la Infraestructura Hidráulica y Sanitaria	Gobierno Regional	Regional	500	16.027	500	0,1%
Total			3.244.844	104.012.708	476.187	100,0%

Fuente: Elaboración propia

8.1.2 Plan Estratégico de Mediano y Largo Plazo

El mediano (6 a 10 años) y largo plazo (11 a 30 años desde el inicio del Plan) representan el 78,4 % de la inversión total. Mientras que el 31,7% se concentra en los 10 primeros años (14,7% entre los años 1 y 5, y 17,1% entre los años 6 y 10), el 61,3% se concentra entre los años 11 y 20, dando cuenta de una menor inversión por año. Las obras de mayor impacto en el largo plazo corresponden a la construcción de embalses, mientras que en el corto y mediano plazo impactan las soluciones sanitarias para la población.

Tabla 8-2. Hitos de referencia del Plan (inversión a mediano y largo plazo)

Iniciativa	Responsable	Fuente de Financiamiento	Costo (millones de \$)	Mediano Plazo (5 a 10 años)	Largo Plazo (10 a 30 años)	%
PER 1.1 - Planes de Desarrollo de la empresa sanitaria	Empresa Sanitaria	Privado	681.754	113.626	454.502	22,3%
PER 2.2 - Programa de Capacitación y acreditación de dirigentes de SSR	DOH / SSR	Sectorial / Regional	900	150	600	0,0%
PER 2.4 - Programa de Apoyo para la elaboración del Planes de Inversión y de Mantenimiento Preventiva	DOH / SSR	Sectorial	4.800	800	3.200	0,2%
PER 2.6 - Proyecto de Instalación de Telemetría en SSR	DOH / SSR	Sectorial	1.522	761	-	0,0%
PER 2.7 - Plan de Aumento de la cobertura de agua para consumo humano sectores rurales	DOH / SSR	Sectorial / Regional	318.986	53.164	212.657	10,4%
PER 2.8 - Plan de Aumento en la cobertura de SSR	DOH / SSR	Sectorial / Regional	625.680	80.154	320.615	15,8%
ECO 3.1 - Restauración de ecosistemas terrestres	CONAF	Sectorial / Regional	824	137	549	0,0%
ECO 3.2 - Recuperación de suelos degradados	SAG	Sectorial / Regional	20.363	3.394	13.575	0,7%
PRO 1.1 - Embalse Bollenar	MOP	Sectorial / Regional	176.033	-	171.358	6,7%
PRO 1.2 - Embalse Las Cayanass	MOP	Sectorial	163.892	4.250	159.642	6,4%
PRO 1.3 - Embalse Río Claro de Tinguiririca	MOP	Sectorial	64.925	4.250	60.675	2,6%
PRO 2.2 - Gestión Dinámica de Acuíferos UG Cachapoal	DOH	Sectorial	123.165	61.583	-	2,4%
PRO 2.3 - Gestión Dinámica de Acuíferos UG Tinguiririca	DOH	Sectorial	46.064	23.032	-	0,9%
PRO 2.4 - Gestión Dinámica de Acuíferos UG Rapel	DOH	Sectorial	8.242	4.121	-	0,2%

Iniciativa	Responsable	Fuente de Financiamiento	Costo (millones de \$)	Mediano Plazo (5 a 10 años)	Largo Plazo (10 a 30 años)	%
PRO 3.1 - Proyecto de Riego Sector Marchigüe	MOP	Sectorial	23.000	22.800	-	0,9%
PRO 3.2 - Proyecto Integral de Riego Rapel	MOP	Sectorial	273.050	4.675	264.125	10,6%
PRO 3.3 - Programa de apoyo al secano interior de Marchigüe	DOH	Sectorial / Regional	8.390	4.195	4.195	0,3%
PRO 3.4 - Programa de apoyo al secano interior de Rapel y La Estrella	DOH	Sectorial / Regional	8.390	-	8.390	0,3%
PRO 3.5 - Programa de apoyo al valle de Alhué	DOH	Sectorial / Regional	5.223	5.223	-	0,2%
PRO 4.2 - Aumento en la eficiencia de riego UG Cachapoal	CNR	Sectorial	360.603	90.151	180.302	10,6%
PRO 4.3 - Aumento en la eficiencia de riego UG Tinguiririca	CNR	Sectorial	222.421	55.605	111.211	6,6%
PRO 4.4 - Aumento en la eficiencia de riego UG Rapel	CNR	Sectorial	46.371	13.911	18.548	1,3%
EXT 1.1 - Plan de Transición Ecológica y social del valle de Alhué	Gobierno Regional	Regional	4.220	2.110	-	0,1%
EXT 1.2 - Plan de Transición Ecológica y social del Secano interior de Rapel	Gobierno Regional	Regional	8.440	4.220	-	0,2%
GES 1.1 - Nuevas Estaciones de la Red Hidrométrica	DGA HIDROLOGIA	Sectorial	250	250	-	0,0%
GES 1.2 - Reposición de equipos de calidad de agua	DGA HIDROLOGIA	Sectorial	540	270	270	0,0%
GES 2.1 - Estudio de actualización de derechos de aprovechamiento asociados a los puntos de demanda	DGA DARH	Regional	2.100	-	1.400	0,1%
GOB 1.2 - Implementación de una Secretaría Técnica Permanente	DGA CENTRAL	Sectorial / Regional	6.000	1.000	4.000	0,2%
Total			3.244.844	553.832	1.989.814	100,0%

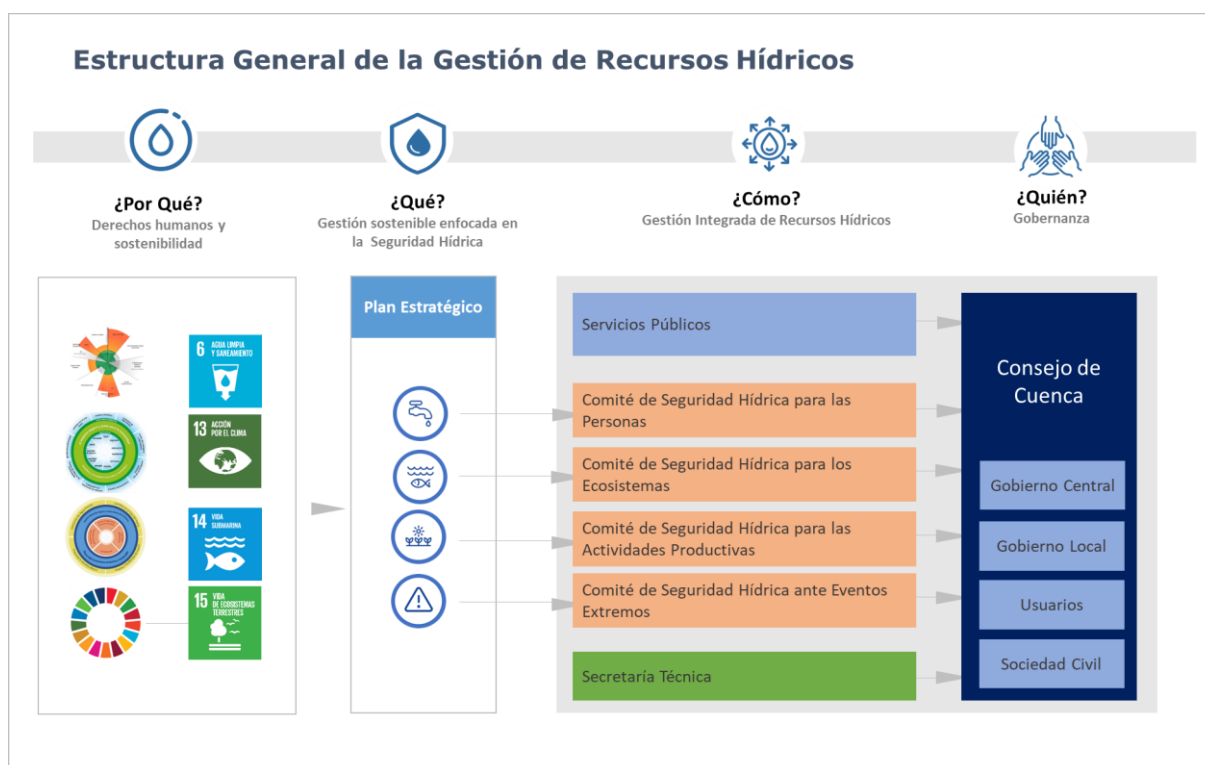
Fuente: Elaboración propia

8.2 Estrategia de implementación

La estrategia de implementación del Plan recoge la estructura del instrumento, los aspectos institucionales y de gobernanza, de cultura del agua y de financiamiento.

8.2.1 Estructura del Plan de Gestión

El propósito de planificación, el Plan de Gestión y la Gobernanza se encuentran plenamente alineados, lo que da consistencia a las estrategias propuestas y facilita su materialización. La **Figura 8-1** presenta la línea argumental descrita.



Fuente: Elaboración propia

Figura 8-1 Alineamiento del Plan Estratégico y la Gobernanza

El propósito del Plan es la **Gestión Sostenible de Recursos Hídricos**, la que se tiene al conciliar principios de sustentabilidad y seguridad hídrica, con los Objetivos de Desarrollo Sostenible. En particular, el ODS 6 ha sido recogido dentro de los indicadores del Plan Estratégico, alineándose de esta forma con los estándares de registro internacionales.

El Plan Estratégico se estructura a partir de Ejes Estratégicos, que consideran el Balance Hídrico de la cuenca, la Seguridad Hídrica de las personas, ecosistemas y actividades

productivas, y la Gestión Institucional y Gobernanza. De esta forma, el diagnóstico, la definición de Líneas de Acción y de las Iniciativas mantienen coherencia con el propósito de Gestión Sostenible de Recursos Hídricos. El diseño del Plan recoge plenamente el concepto de **Gestión Integrada de Recursos Hídricos**.

De la misma forma, la **Gobernanza** se plantea a partir de Grupos de Trabajo para cada uno de los Ejes de Seguridad Hídrica (3 en total), los que en su conjunto aportan a un Consejo Regional de Recursos Hídricos, el que además recoge directamente temas transversales como el Balance Hídrico y la Gestión Institucional y Gobernanza. Finalmente, se propone una Secretaría técnica que dé respaldo técnico, continuidad operacional y reportabilidad a esta gobernanza.

8.2.2 Aspectos Institucionales

La Gobernanza se entiende como la organización requerida entre los actores públicos (Estado y Gobierno Local), privados (usuarios directos e indirectos), y la sociedad civil organizada (Centros de Estudios, organizaciones funcionales, ONGs), de manera tal que en su conjunto permitan la materialización del Plan Estratégico de Gestión Hídrica para la cuenca.

Se propone la instalación de un Consejo de Cuenca, público privado, que trabaje en conjunto con grupos de trabajo por eje de seguridad hídrica, con el soporte técnico de una Secretaría ad hoc.

A continuación, se describen los componentes de la gobernanza propuestos.

8.2.2.1 Consejo de Cuenca

Se propone la creación de un Consejo de Cuenca, que corresponde a una instancia público-privada compuesta por representantes del Estado, de los Gobiernos Locales, de los usuarios directos e indirectos de las aguas, así como la sociedad civil organizada (Centros de estudio, organizaciones funcionales, ONGs).

El rol del Consejo se encuentra en el largo plazo, en el ámbito político estratégico, y en lo principal en esta instancia se debieran tomar decisiones sobre:

- Velar por la implementación del Plan Estratégico de Gestión Hídrica.
- Gestionar los apoyos y financiamientos requeridos para la implementación del Plan Estratégico.
- Representar a la cuenca en las instancias políticas, técnicas y sociales que así lo requieran.
- Definición de criterios mínimos de seguridad hídrica, de común acuerdo entre todos los actores.

-
- Ser una instancia de acuerdo que permita abordar vacíos de planificación y gestión, territorial y sectorial.
 - En general, facilitar la gestión de la cuenca como unidad territorial integradora, de la cual depende el ciclo hidrológico.

Una alternativa de conformación es que cada grupo de trabajo elija representantes que participen del Consejo, junto con otras instancias transversales del Estado y Gobiernos Locales. Se estima conveniente que el Consejo defina una estructura interna, ya sea a nivel de directorio o de vocerías, que proporcione un ordenamiento mínimo para el funcionamiento de esta instancia.

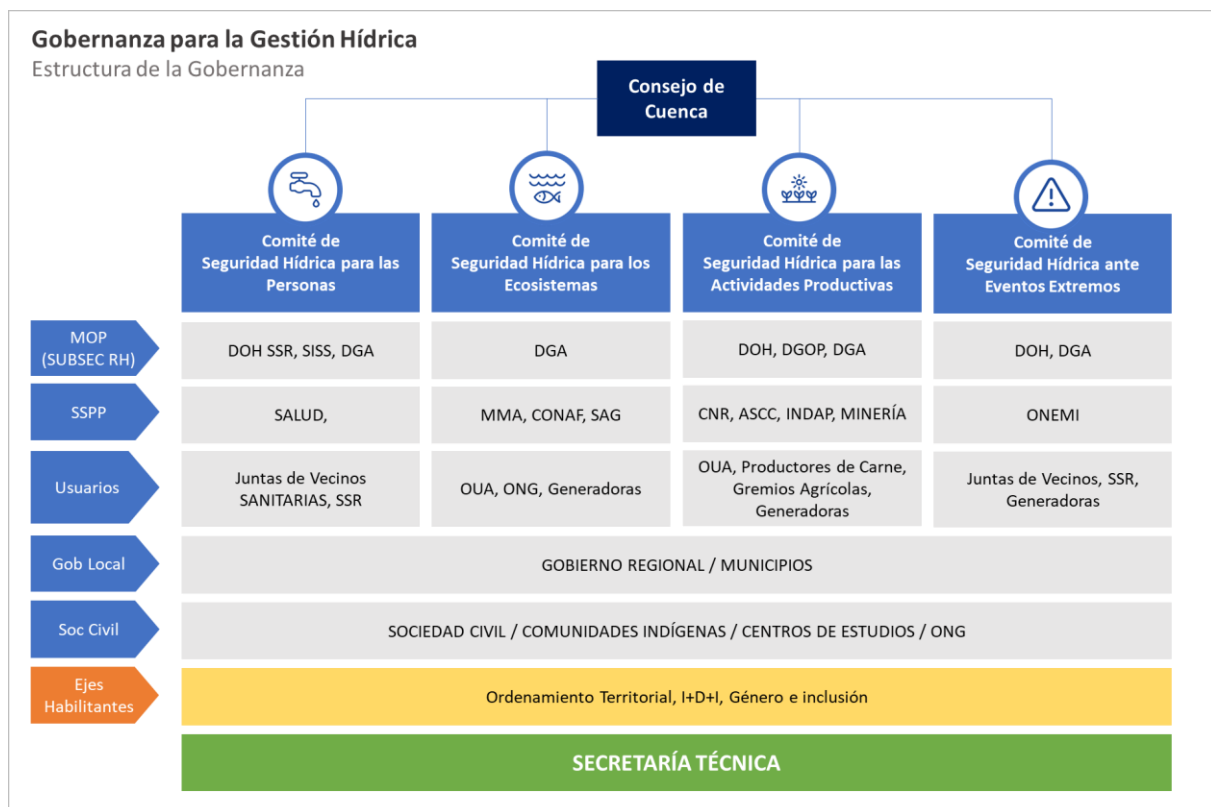
8.2.2.2 Grupos de Trabajo

Los Grupos de Trabajo corresponden a una instancia operativa, donde se aborda en particular cada uno de los ejes de Seguridad Hídrica empleados en el estudio (y otros que a futuro se estime conveniente). Por definición, son instancias técnicas orientadas a la definición y cumplimiento de objetivos y metas. Algunos alcances para los grupos de trabajo son los siguientes:

- Velar por la implementación del Plan Estratégico de cuenca a nivel de eje de seguridad hídrica
- Están conformados por los actores que están directamente relacionados con cada eje de seguridad
- Definir objetivos de mediano plazo y metas anuales de trabajo
- Definir una hoja de ruta para dar cuenta de objetivos y metas
- Integración de otros actores que sean necesarios para favorecer la integración
- Reporte al Consejo de Cuenca

En la **Figura 8-2** se presenta una propuesta de distribución de actores por Grupo de Trabajo, distinguiendo entre aquellos servicios que forman parte de una eventual Subsecretaría de Recursos Hídricos dependiente del Ministerio de Obras Públicas y Recursos Hídricos, y otros servicios cuya función los relaciona directamente con los ejes de seguridad hídrica propuestos.

Adicionalmente, se presentan los principales grupos de usuarios directos e indirectos de las aguas, incluyendo gremios y asociaciones productivas; a los gobiernos locales (de elección directa); y a los actores de la sociedad civil.



Fuente: Elaboración propia

Figura 8-2 Actores que forman parte de la Gobernanza

8.2.2.3 Ejes Habilitantes

Se incluyen dentro de la estructura de gobernanza el concepto de ejes habilitantes, que corresponden a aspectos transversales de la seguridad hídrica con otros aspectos clave de la seguridad a nivel país (alimentaria, energética, social), pero particularmente aspectos clave que son requisito para la implementación de la estrategia propuesta: ordenamiento territorial, I+D+i (investigación, desarrollo e innovación), género e inclusión, entre otros que sean de relevancia a nivel local.

Si bien se mencionan estos ejes, no se considera su constitución formal dentro del Plan estratégico, ya que se entiende que responderán a necesidades del gobierno local o de los actores del territorio, en lógicas que trascienden el ámbito de la seguridad hídrica.

8.2.2.4 Secretaría Técnica

Se propone la constitución de una Secretaría Técnica de carácter permanente que de soporte a la gobernanza propuesta. En lo principal, se entiende que los actores que

participan de esta estructura, y en particular del Consejo de Cuenca, tienen distintos roles, deberes y funciones dependiendo de su naturaleza pública o privada, y que la Secretaría Técnica permitiría mantener la continuidad en las iniciativas de coordinación propuestas. Las principales funciones de esta Secretaría son:

- Mantener la continuidad de las actividades realizadas por el Consejo de Cuenca. Convocatoria a reuniones, definición de tabla y temas a tratar, seguimiento al cumplimiento de acuerdos, archivo técnico de los documentos generados.
- Prestar soporte técnico a las actividades de los Grupos de Trabajo. Validación de antecedentes, análisis básicos, definición y seguimiento al cumplimiento de metas.
- Gestión de financiamiento regional y sectorial para el desarrollo de estudios técnicos.
- Generación de un reporte anual de Seguimiento a la implementación del Plan Estratégico.
- Evaluación de resultados parciales y propuestas de actualización del Plan.

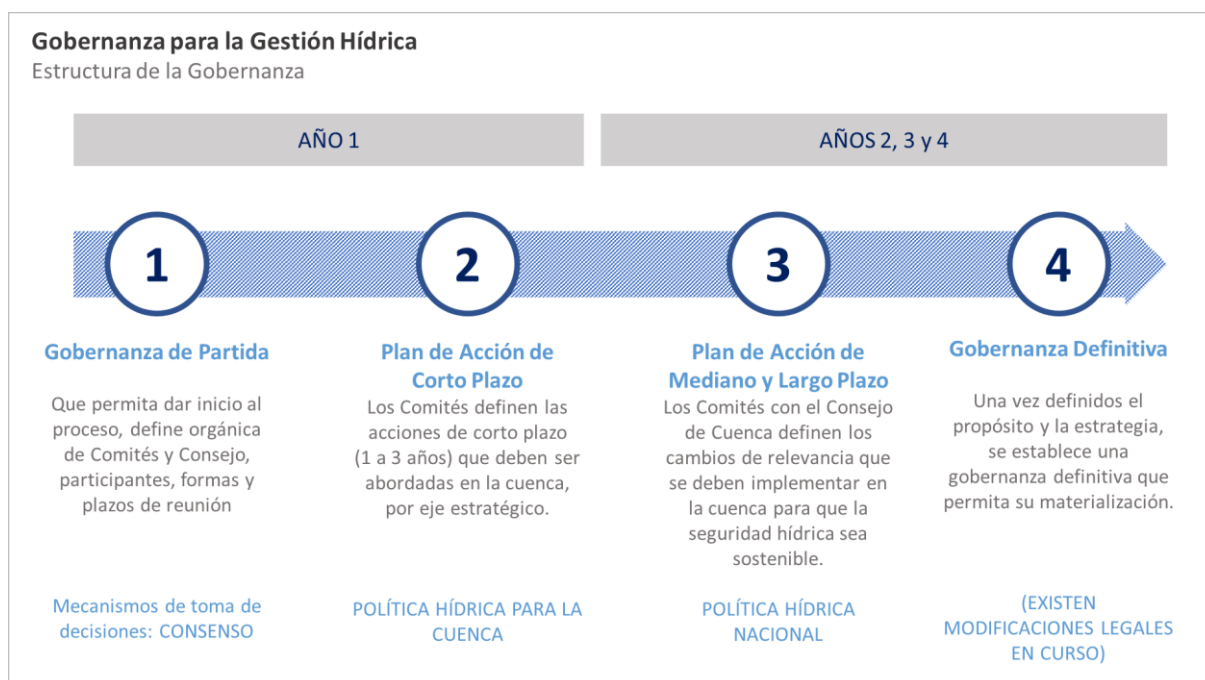
8.2.2.5 Hitos de la Gobernanza

Los hitos para la instalación de la gobernanza consideran una instalación progresiva del conjunto de definiciones, acuerdos, responsabilidades, deberes y derechos asociados a la gobernanza. Una de las limitantes principales que debe ser abordada es la ausencia de una definición previa del sistema de gobernanza, por lo que el proceso de instalación requiere de un carácter convocante, inclusivo, y sobre todo progresivo, de manera tal que las definiciones recojan la participación de todos los actores, y se adapten a las necesidades de cada cuenca.

De esta forma, se propone que durante el primer año se realice la Constitución del Consejo de Cuenca y Comités de Seguridad Hídrica, y se instale la Secretaría Técnica. En consecuencia, se espera lograr el propósito de avanzar en la implementación del Plan desde un punto de vista de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos.

Una vez constituida la gobernanza, se propone elaborar una hoja de ruta de corto plazo que considere los temas de carácter urgente, que requieren atención inmediata; la que debe ser seguida de una hoja de mediano y largo plazo. Es importante mantener ambos ejes de trabajo siempre presentes. A partir de ambas hojas de ruta, con las responsabilidades y deberes de los integrantes del Consejo de Cuenca y los Comités, se propone avanzar hacia una gobernanza definitiva que proporcione estabilidad operacional en el mediano y largo plazo. La **Figura 8-3** muestra los hitos propuestos para la implementación de la gobernanza a nivel de cuenca.

La implementación de estas tres instancias que componen el sistema de gobernanza propuesto (Consejo de Cuenca, Comités de Seguridad Hídrica y Seguridad Hídrica), pasa en primera instancia, por contar con una decisión política que provenga desde el gobierno central o gobierno local, para asumir el liderazgo requerido. Este liderazgo debe resultar en la articulación de las distintas instancias de gestión territorial que hoy existen, ya sea en el ámbito comunal, provincial o regional, así como la provisión de los recursos económicos requeridos para el plan.



Fuente: Elaboración propia

Figura 8-3 Hitos para la implementación de la gobernanza a nivel de cuenca

En segundo lugar, se debe asegurar que la gobernanza sea efectivamente participativa, es decir, que los Comités con participación pública privada sea considerados en la definición de las políticas públicas, y no solo sean parte de una instancia revisora al final del proceso, o que su participación se reduzca a un proceso de información a la comunidad.

Complementariamente, se debe asegurar el financiamiento de instancias clave como la Secretaría Técnica. Si bien no es resolutoria, sí proporciona la continuidad al proceso, aspecto clave en que otras instancias han fracasado previamente, ya que los acuerdos se diluyen entre otras responsabilidades sectoriales.

Finalmente, una complejidad no menor se deriva de la proliferación de instrumentos y planes sectoriales. La Ley Marco de Cambio Climático propone, por ejemplo, la creación de los Consejos Regionales de Cambio Climático, además de Planes Regionales y Planes Comunes de Cambio Climático, así como planes sectoriales, dentro de los cuales se ratifica los Planes Estratégicos de Recursos Hídricos.

8.2.3 Aspectos de Cultura del Agua

En forma paralela a la Gobernanza, se debe promover una cultura del agua que comprenda al ciclo hidrológico en su totalidad: con un ordenamiento territorial que favorezca la producción de agua por parte de los ecosistemas; un manejo productivo que permita

conservar la calidad de las aguas en las distintas fuentes naturales; y un uso eficiente que permita una intervención responsable de este ciclo.

Los principales aspectos de la cultura del agua a gestionar son los siguientes:

1. **Cultura de eficiencia en el uso del agua en la agricultura:** El principal destino de las aguas en la cuenca es la agricultura, por lo tanto, se debe implementar en forma decidida una intervención no solo enfocada en la tecnificación de los sistemas de riego intrapredial y revestimiento de canales, sino que también enfocados en buenas prácticas para el uso y protección de las aguas y de los recursos hídricos en su fuente natural.
2. **Protección de las cabeceras de agua:** se debe incorporar dentro de las prácticas de uso del territorio la mantención, protección y restauración de las cabeceras de agua, entendidas como aquellos sectores de la cuenca que generan la mayor parte de las recargas de acuíferos, así como el flujo base que abastece a quebradas y cauces principales. Una gestión adecuada del territorio permitiría mejorar las condiciones en sectores que no necesariamente se encuentran “bajo cota de canal”, pero que representan consumos puntuales relevantes para las personas y los servicios sanitarios rurales asociados.
3. **Gestión Dinámica de Acuíferos:** se debe incorporar una cultura, entendida como un conjunto de prácticas y conocimiento empírico sobre la recarga de acuíferos y su empleo en forma dinámica, como un complemento o incluso un reemplazo de los embalses superficiales. Se debe construir una nueva forma de uso de los recursos hídricos a partir de una gestión sostenible de las aguas subterráneas.

8.2.4 Aspectos de financiamiento

El financiamiento del Plan Estratégico corresponde principalmente a actores estatales (recae principalmente en el Ministerio de Obras Públicas), estando concentrada la inversión en obras civiles, de saneamiento, y tecnificación de zonas de riego. Destaca también el presupuesto asignado a recuperación de suelos degradados en la cuenca, como una estrategia para la recuperación del ciclo hidrológico en los sectores afectados.

En general, el presupuesto requerido por el Plan Estratégico supera a la inversión histórica que se ha realizado en la cuenca, tanto a nivel de infraestructura tradicional (embalses), como tecnificación. Este aspecto representa una complejidad en tanto las instituciones sectoriales responsables no disponen de las estructuras para gestionar este financiamiento adicional, lo que en sí requiere de reformas internas.

Respecto de la gobernanza, mencionada en los aspectos institucionales, se propone como una instancia público-privada que debe contar con una Secretaría Técnica, que proporcione un apoyo técnico permanente, manteniendo la continuidad de las actividades que se realizan en la cuenca o en la región. Para mantener esta Secretaría a nivel regional se requiere un presupuesto base **\$202.000.000.-** al año (iniciativa GOB 1.2), y dentro de este monto se considera el establecimiento de un equipo técnico permanente compuesto

por un Secretario, un equipo de modeladores para mantener operativos los modelos hidrológicos e hidrogeológicos, además de un staff de asesores senior.

Este aporte debiera ser de carácter permanente en el tiempo, sin embargo, no existe claridad de la fuente de financiamiento de esta Secretaría. Si bien, por un parte, pudiera ser financiada por fondos regionales dependientes del Gobierno Regional, pudiera ser también abordada desde el punto de vista sectorial. En esta misma línea, la Secretaría pudiera ser de carácter pública (compuesta por funcionarios de servicios públicos), privada (mediante licitaciones a empresas o centros de estudio), o mixta (con funcionarios y terceros como ejecutores de tareas específicas).

Independientemente de estas consideraciones, se estima que se requiere de una oficina técnica específica y dedicada a estos efectos.

8.3 Estrategia de comunicación

La estrategia de comunicación del Plan considera su difusión con los actores públicos y privados que participan de la gobernanza, así como su comunicación al resto de los actores regionales con interés en la gestión de los recursos hídricos. A continuación, se describe el público objetivo, los contenidos a comunicar, los medios de comunicación y las metas.

8.3.1 Público objetivo

El público objetivo se divide en aquellos actores participantes de la gobernanza, con responsabilidades en la implementación del Plan, así como el resto de la sociedad civil con interés en la gestión de los recursos hídricos.

En la cuenca del río Rapel existen distintos tipos de actores, que a su vez pertenecen a agrupaciones de agricultores, productores de carne, agroindustrias y minería (Codelco, Yamana y otros), y otros actores que realizan un uso indirecto de las aguas, como la agrupación productiva en torno al Embalse Rapel.

En el caso de los usuarios agrícolas, se trata de actores dispersos en el territorio, pero que en su mayoría están agrupados en torno a Organizaciones de Usuarios de Agua (OUA). En consecuencia, se pueden establecer canales jerárquicos de información (mediante las OUA), al mismo tiempo que se realiza difusión en forma general (por ejemplo, redes sociales o avisos radiales). Sin embargo, existe una proporción no menor de usuarios que no pertenecen o no participan de las OUA, y que en escenarios de escasez hídrica tienden a permanecer “ocultos”. En este caso, se les debe sumar mediante un discurso convocante, mediante redes sociales y medios masivos, y, sobre todo, mediante trabajo local, casi individual.

No se propone un proceso de identificación de la sociedad civil no vinculada a la ejecución del Plan. En complemento, se propone emplear canales de amplia difusión que aseguren que la población en general tome conocimiento del Plan, sus metas y sus resultados.

8.3.2 Contenidos a comunicar

En el caso de los actores de la gobernanza, se les debe traspasar el Plan en forma integral, con sus fundamentos, estrategias, acciones, plazos y presupuestos. En particular, se deben abordar desde el punto de vista de esta gobernanza propuesta para el Plan Estratégico, cual es la estructura, los roles, responsabilidades y atribuciones respecto del instrumento. En tanto actores responsables del Plan, dentro de sus facultades está la modificación de éste, adecuación de sus alcances o acciones, dentro del marco operativo definido por la gobernanza. Se espera que los actores de la gobernanza participen de los grupos de trabajo y accedan a la información según su ámbito de acción.

Para la comunicación de los contenidos y avances del Plan a los actores de la sociedad civil y otros que no participen de la gobernanza, se propone comunicar desde el concepto de Seguridad Hídrica y cada uno de sus ejes: personas, ecosistemas y actividades productivas. De esta forma, se mantiene la amplitud que el plan ha recogido desde su diseño y formulación. Se considera adecuado realizar un reporte anual a la comunidad, donde se dé cuenta del estado de la Cuenca y de las acciones que se están desarrollando para mejorar esta situación.

A continuación, se definen los hitos principales de la comunicación, con los contenidos asociados para su difusión:

- Al **inicio del proceso de difusión**, se deberá informar de la elaboración del Plan Estratégico, los resultados principales y las iniciativas comprometidas. Esta información debe tener dos niveles, uno general, indicando del Plan, y la posibilidad de acceder al detalle de las iniciativas. Se considera esta difusión en forma conjunta con la información sobre la constitución del Consejo de Cuenca del Maule y su Secretaría Técnica
- Al **inicio de la implementación del Plan**, se debe declarar cuales son las metas por eje estratégico, los plazos asociados, y los avances comprometidos para cada período. Esta comunicación debe ser permanente, con a lo menos una campaña anual.
- En cada **actualización del Plan Estratégico** se debe difundir los resultados obtenidos en el período precedente, los aprendizajes, las adecuaciones del Plan y las nuevas metas definidas.

8.3.3 Medios de comunicación

Se deben establecer mecanismos formales de trabajo dentro de la misma definición de gobernanza. Estos mecanismos deben incluir canales de comunicación interna, que consideran desde procesos de convocatoria y comunicación, registro y difusión de actas y acuerdos, y comunicación con otros actores asociados.

Para el caso de la sociedad civil, deben existir canales de información pública que permitan una cuenta pública de la gestión de los recursos hídricos. Estos canales pueden ser propios del Plan Estratégico y su gobernanza (sitio web, redes sociales), como pertenecer a los organismos que forman parte de la gobernanza.

En particular, se recomienda el uso de radioemisoras locales para convocar a los actores de la cuenca.

Sin embargo, se considera que la mejor herramienta de difusión es la disposición de un sitio web específico para el Consejo de Cuenca y el Plan Estratégico como instrumento principal. Este sitio debe tener a lo menos los siguientes contenidos:

- **Gobernanza**

Definición del Consejo de Cuenca y mecanismos de gobernanza

Integrantes del Consejo de Cuenca y los Grupos de Trabajo

Actas de Asambleas ordinarias y extraordinarias

- **Plan Estratégico**

Ejes del Plan e indicadores de Impacto, estado actual y estado esperado

Iniciativas del Plan, Indicadores de Proceso y avance a la fecha

Presupuesto

- **Agenda y comunicaciones**

Agenda de Actividades del Plan, del Consejo y los Grupos de Trabajo

Canal de comunicaciones (consultas, sugerencias, denuncias), con seguimiento e indicadores de respuesta

Solicitud de reuniones o inclusión de iniciativas nuevas dentro del Plan

- **Cultura del Agua**

Repositorio de videos, redes sociales y material educativo para una mayor cultura del agua

Directorio de instituciones con material educativo respecto de los recursos hídricos

- **Directorio del Agua**

Listado de instituciones y trámites relacionados con los recursos hídricos

8.3.4 Metas

La definición de objetivos y metas es parte fundamental de todo proceso de gestión, ya que se debe optimizar el uso de los recursos para la consecución de estas metas. En este caso, el Plan de Gestión define metas en tanto reducción de la brecha hídrica, respaldadas en iniciativas de inversión pública y privada. Se debe disponer de un proceso único, común y público de seguimiento del cumplimiento de estas metas e iniciativas, elaborado por el órgano de gobernanza y puesto a disposición de la sociedad civil.

La estrategia de comunicación también debe definir unos indicadores y metas para la difusión del Plan. A continuación, en la **Tabla 8-3** se presentan los indicadores y metas de la estrategia de comunicación.

Tabla 8-3. Metas de la Estrategia de Comunicación

Indicador	Descripción	Meta	Observaciones
Comunicación interna	Dispone de un canal de difusión interna para dar cuenta de las actividades del Consejo de Cuenca y del PEGH	Envío de 1 reporte mensual mínimo	El reporte se puede enviar por correo electrónico a los participantes de la gobernanza, y debe quedar disponible para la comunidad
Comunicación Externa Radial	Radiodifusión del Plan Estratégico	Dos campañas de radiodifusión al año	Las campañas se orientan a dar a conocer la estructura de gobernanza, el propósito del Plan, y dirigir a los usuarios hacia las redes sociales
Sitio Web	Construcción y mantención de un sitio web para el Consejo de Cuenca y el Plan	Diseñar y mantener en forma permanente un sitio web	El sitio web debe actuar como presentación del consejo del Plan, medio de información sobre los avances, punto de comunicación con la comunidad y repositorio de información.
Registro de incidencias	Se debe llevar un registro de las comunicaciones, consultas, sugerencias y denuncias recibidas por el Consejo de cuenca, así como de la respuesta al reclamante y los plazos incurridos	Responder el 90% de las incidencias dentro de un período de dos días hábiles. En muchos casos, esta respuesta consiste en dirigir la incidencia al organismo correspondiente.	Se espera mantener una alta tasa de respuesta, pero para contribuir a una alta tasa de resolución, se debe informar a la comunidad sobre los antecedentes mínimos que deben, por ejemplo, acompañar a una denuncia. De lo contrario, se generará una imagen de no respuesta.

Fuente: Elaboración propia

8.3.5 Consideraciones

Si bien la cuenca se estructura en torno a los ríos principales (Cachapoal, Tinguiririca y el eje Rapel), se debe tener en consideración los siguientes aspectos principales:

- Existe una gran cantidad de situaciones diferentes a lo largo de la cuenca, lo que resulta en que los temas abordar son bastante específicos.
- La cuenca cuenta con un desarrollo importante en el secano interior, donde los usuarios del agua son principalmente de aguas subterráneas o cauces menores, por lo que no están conectados entre sí. Esto genera un desafío en términos de comunicación.

8.4 Identificación de fuentes de financiamiento

A continuación, 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 8-4**.

Tabla 8-4. 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

9 MONITOREO Y EVALUACIÓN DEL PLAN

El Plan Estratégico es parte de un proceso de mejoramiento continuo que permite una gestión adaptativa de los recursos hídricos, adecuándose al avance real en la implementación de las iniciativas propuestas, al resultado obtenido en relación al esperado, y a las condiciones cambiantes del entorno. En este sentido, la etapa de Seguimiento y Evaluación es clave para esta gestión adaptativa.

9.1 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.

9.1.1 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 9-1** se definen los indicadores de proceso, asociados a las iniciativas del Plan Estratégico.

Tabla 9-1. Indicadores del Proceso

Iniciativa	Meta	Indicador
PER 1.1 - Planes de Desarrollo de la empresa sanitaria	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 - Programa de Capacitación y acreditación de dirigentes de SSR	60 personas capacitadas al año	Nº de personas capacitadas al año
PER 2.3 - Programa de 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

Iniciativa	Meta	Indicador
PER 2.5 - Proyecto para un 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 - Proyecto de 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 Definición de caudales ambientales y estándares de calidad de agua mínimos	1 estudio técnico	Acta de aprobación de estudio técnico
ECO 1.2 - Estudios para la Dictación de la 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 - Programa de Protección de Humedales Urbanos	5 humedales urbanos declarados y habilitados	Nº de humedales urbanos declarados y habilitados
ECO 3.1 - Programa de Restauración de ecosistemas terrestres	374,5 ha restauradas	Nº de ha restauradas
ECO 3.2 - Programa de Recuperación de suelos degradados	104137 ha recuperadas	Nº de ha recuperadas
ECO 4.1 - Proyecto para obtención de 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
PRO 1.2 - Embalse Las Cayanas	50 hm3 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	20hm3 aportados por regulación del embalse Río Claro de Tinguiririca	Embalse operativo
PRO 1.7 - Proyecto de Aumento de Capacidad Embalse Convento Viejo	34 hm3 aportados por el peralte del muro	Nueva etapa del embalse operativa

Iniciativa	Meta	Indicador
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 - Programa de implementación de una Gestión Dinámica de Acuíferos UG Cachapoal	538 hm3 gestionados	hm3 gestionados efectivamente
PRO 2.3 - Programa de implementación de una Gestión Dinámica de Acuíferos UG Tinguiririca	212 hm3 gestionados	hm3 gestionados efectivamente
PRO 2.4 - Programa de implementación de una Gestión Dinámica de Acuíferos UG Rapel	34 hm3 gestionados	hm3 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 - Programa para el Aumento en la eficiencia de riego UG Cachapoal	Aumento de eficiencia equivalente a 507,0 hm3	hm3 efectivamente ahorrados por aumento de eficiencia
PRO 4.3 - Programa para el Aumento en la eficiencia de riego UG Tinguiririca	Aumento de eficiencia equivalente a 507,0 hm3	hm3 efectivamente ahorrados por aumento de eficiencia
PRO 4.4 - Programa para el Aumento en la eficiencia de riego UG Rapel	Aumento de eficiencia equivalente a 507,0 hm3	hm3 efectivamente ahorrados por aumento de eficiencia
PRO 5.1 - Programa de 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 - Programa de Regularización de OUA	Inscripción de 20 OUA en el catastro público de aguas	Nº de OUA efectivamente inscritas
PRO 6.2 - Programa de Constitución Comunidades de Aguas Subterráneas	Inscripción de 10 CAS en el catastro público de aguas	Nº de CAS efectivamente inscritas
PRO 6.3 - Proyecto para el Acuerdo de distribución de agua JV Cachapoal	Suscripción de un acuerdo de gestión conjunta	Acta de acuerdo suscrita
EXT 1.1 - Programa de Adaptación al Cambio Climático para el valle de Alhué	Plan implementado. 300 SCALL 100 km de zanjales de infiltración 20 micrositios restaurados 300 personas capacitadas	Nº de SCALL instalados km de zanja ejecutados Nº de micrositios restaurados Nº de personas capacitadas

Iniciativa	Meta	Indicador
EXT 1.2 - Programa de Adaptación al Cambio Climático para 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 - Proyecto de instalación de Nuevas Estaciones de la Red Hidrométrica	14 estaciones nuevas y renovadas	Nº de estaciones nuevas y renovadas
GES 1.2 - Proyecto de Reposición de equipos de calidad de agua	27 estaciones con equipos repuestos	Nº de estaciones renovadas
GES 1.3 - Proyecto de instalación de Estaciones de Montaña	1 nueva estación	Nº de estaciones instaladas
GES 1.4 - Programa para la 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 - Programa para el 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 - Proyecto de 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 - Proyecto para el desarrollo de una Plataforma de Gestión de organizaciones de usuarios de Agua	Desarrollo de la plataforma	Plataforma implementada y operativa
GES 3.3 - Proyecto para el desarrollo de una 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

9.1.2 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.

9.2 Mecanismos para el análisis y la toma de decisiones

El instrumento propuesto es un Plan Estratégico, con un horizonte de planificación de 30 años. Si bien es imprescindible contar con una mirada de largo plazo, se debe contar también con Planes de Gestión de corto plazo, que permitan incorporar de manera permanente las mejoras que se requieran para el Plan general, producto del análisis de la ejecución éste, de sus resultados, y de los cambios de contexto.

Por lo tanto, se requiere un ejercicio permanente de evaluación y adaptación, que se traduce en una revisión quinquenal, donde se revise el cumplimiento dentro del período anterior, y se ajusten las iniciativas a las demandas del momento. Según la estructura de gobernanza propuesta para el Plan Estratégico, estos planes quinquenales deben ser

coordinados por la Secretaría Ejecutiva, y validados por el Consejo de Cuenca. En complemento, el Plan Estratégico se debiera reformular cada 10 años.

Con todo, si bien los indicadores de proceso pueden variar en función de las prioridades establecidas por el Consejo, se debe atender la necesidad de mejorar los indicadores de impacto definidos para la cuenca.

10 ASPECTOS NORMATIVOS

Los Planes Estratégicos de Gestión Hídrica (PEGH) son instrumentos de carácter sectorial, que definen un conjunto de acciones tendientes a alcanzar y mantener la Seguridad Hídrica en el territorio.

Desde el punto de vista sectorial, la formulación de estos Planes responde al mandato de la Dirección General de Aguas respecto de planificar el desarrollo del recurso en las fuentes naturales, con el fin de formular recomendaciones para su aprovechamiento y arbitrar las medidas necesarias para prevenir y evitar el agotamiento de los acuíferos (art 299, del Código de Aguas); y se encuentran contenidos en la modificación al Código de Aguas promulgada en abril de 2022 (artículo 293 bis). La incorporación de los PEGH dentro del Código de Aguas es relevante en tanto se formaliza a este instrumento como la estructura base para la planificación en las cuencas, al mismo tiempo que definiría la necesidad de actualizarlo cada diez años.

En este contexto, la gobernanza propuesta por el presente Plan Estratégico se superpone a los vacíos de planificación sectorial (ya que proporciona una instancia a nivel de cuenca), al mismo tiempo que promueve acuerdos de uso del territorio en forma coordinada, acortando la brecha con los instrumentos de planificación territorial. Sin embargo, la misma gobernanza carece de un marco normativo, y para su funcionamiento requiere de un acuerdo regional que le proporcione un financiamiento mínimo para los equipos técnicos requeridos, así como para los estudios de perfil y prefactibilidad que de esta resulten.

A continuación, se mencionan algunos aspectos normativos relevantes para la coordinación de la gobernanza a nivel de cuenca, y la consecuente implementación de los PEGH.

1.1 Coordinación entre instrumentos de planificación territoriales y sectoriales

Como se señaló, los Planes Estratégicos corresponden a instrumentos sectoriales, tal y como puede ser una estrategia regional de biodiversidad, o un plan de desarrollo energético. Sin embargo, no existe una mayor conexión con los Planes Regionales de Ordenamiento Territorial. Si bien el Decreto N°469/2019, publicado en julio de 2021, aprueba la Política Nacional de Ordenamiento Territorial, está pendiente la discusión de la relación entre instrumentos, y, sobre todo, de la regulación del uso del territorio fuera del contexto urbano. En particular, en la región existen potenciales conflictos con el avance del uso agrícola y forestal del territorio, en desmedro de formaciones naturales.

1.2 Sustitución de Bosque Nativo

Hoy en día, la Ley Sobre Recuperación de Bosque Nativo y Fomento Forestal (Ley 20.283) establece las definiciones de bosque nativo y de formaciones xerofíticas, estas últimas entendidas como una “formación vegetal, constituida por especies autóctonas, preferentemente arbustivas o suculentas, de áreas de condiciones áridas o semiáridas ubicadas entre las Regiones I y VI, incluidas la Metropolitana y la XV y en las depresiones interiores de las Regiones VII y VIII”. En los términos de manejo, se establece la obligatoriedad de compensación para cualquier tipo de intervención en las superficies de bosque nativo, sin embargo, la corta de formaciones xerofíticas si bien requiere de un Plan de Manejo (art. 60 de la Ley), no establece la necesidad de compensar. Esta diferencia plantea una brecha por donde se ha canalizado parte del desarrollo forestal y buena parte del desarrollo agrícola por sobre cota de canal.

1.3 Subdivisión predial

En forma similar, la Ley General de Urbanismo y Construcciones (DFL 458/1976 y sus modificaciones posteriores) establece como condición para la subdivisión predial en condiciones rurales que la superficie sea igual o superior a 0,5 ha. Ante esta limitante, los desarrollos inmobiliarios han proliferado bajo el formato de condominio o propiedad común, sobrepasando los límites de viviendas proyectadas para el territorio rural. De esta forma, se produce una degradación paulatina de las cubiertas forestales, al mismo tiempo que cambian los patrones de desplazamiento y de consumo de recursos, entre ellos, el agua.