



**GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS**

PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA EN LAS CUENCAS DE LOS RÍOS TOLTÉN Y BUENO

RÍO TOLTÉN

INFORME FINAL

REALIZADO POR

**UTP PLATAFORMA DE INVESTIGACIÓN EN
ECOHIDROLOGÍA Y ECOHIDRÁULICA LIMITADA
ECOHYD Y UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO UV**

S.I.T N°486

SANTIAGO, DICIEMBRE 2021

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

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

**Director General de Aguas
Ingeniero Comercial Sr. Óscar Cristi Marfil**

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

**Inspectora Fiscal
Ingeniera Civil Sra. Andrea Osses Vargas**

**Inspector/a Fiscales Subrogantes
Constructora Civil Sra. Cecilia Roa Espinoza
Ingeniero Civil Sr. Miguel Caro Hernández**

**Especialista SIG
Cartógrafo Sr. Guillermo Tapia Molina**

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

**UTP PLATAFORMA DE INVESTIGACIÓN EN ECOHIDROLOGÍA Y ECOHIDRÁULICA
LIMITADA – ECOHYD Y UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO - UV**

Jefe de Proyecto

Ingeniero Civil Sr. Matías Peredo Parada

Profesionales Equipo Especialistas

Bióloga Sra. Rafaela Retamal Díaz

Ingeniero Civil Sr. David Poblete López

Ingeniero Civil Sr. Alonso Arriagada

Licenciado en Sociología Sr. Félix Rojo Mendoza

Ingeniero Agrónomo Sr. Oscar Melo Contreras

Cartógrafo Sr. Javier Fuentes Torrejon

Profesionales Equipo Complementario

Biólogo Marino y Ambiental Sr. Shaw Nozaki Lacy

Ingeniero Civil Sr. Jonás Valdivieso Bravo

Ingeniero Civil Sr. Lenín Henríquez Dole

Ingeniera Civil Sra. Cecilia Urrutia Romero

Ingeniera Civil Sra. Macarena Casanova Torres

Licenciada en Historia Sra. Viviana Chávez Mancilla

Cientista Político Sra. Carolina Pereira Vega

Ingeniero Ambiental Sr. Marcelo Soto Moya

Ingeniero Civil Sr. Juan Pablo Herane Espinosa

Ingeniero Civil Sr. Lenín Henríquez Dole

Ingeniero Civil Sr. Juan Pablo Herane Espinosa

Ingeniero Civil Sr. Manuel Carvallo Arrau

Ingeniera Civil Sra. Diana Quevedo Tejada

Bióloga Sra. Diana Bendek Quintero

ESTRUCTURA DEL INFORME FINAL Y DOCUMENTOS ANEXOS

VOLUMEN N° 1

- **Informe final**
- **Resumen ejecutivo**
- **Anexo B - Referencias**
- **Anexo C - Glosario**
- **Anexo D - Figuras**
- **Anexo E - Antecedentes recopilados**
- **Anexo F – Aspectos metodológicos del plan de cuenca**
- **Anexo G - Proyecto SIG**
- **Anexo H - Modelo hidrológico acoplado**
- **Anexo I – Detalles procesos participativos**
- **Anexo J – Descripción y diagnóstico de la cuenca**
- **Anexo K – Plan de acción**

ÍNDICE

Página

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO	15
1.1. OBJETIVOS	16
1.1.1. Objetivo general	16
1.1.2. Objetivos específicos	16
2. CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA	17
2.1. DIMENSIÓN FÍSICA	19
2.1.1. Geomorfología	19
2.1.2. Geología e hidrogeología	21
2.1.3. Edafología.....	23
2.1.4. Topografía	24
2.1.5. Red de drenaje superficial.....	26
2.1.6. División político-administrativa	28
2.1.7. Demografía	30
2.1.8. Actividad económica	32
2.1.9. Uso de suelo	34
2.2. CLIMA	38
2.2.1. Caracterización climática	38
2.2.2. Eventos extremos y variabilidad climática	41
2.2.3. Escenarios de cambio climático	44
2.3. DIMENSIÓN AMBIENTAL	45
2.3.1. Unidades ecosistémicas	46
2.3.2. Glaciares	55
2.4. INFRAESTRUCTURA HÍDRICA	57
2.4.1. Obras hidráulicas	57
2.4.2. Redes de medición	58
2.5. NUEVAS FUENTES EXISTENTES	67
2.5.1. Acuíferos profundos.....	67
2.5.2. Recarga de acuífero.....	67
2.5.3. Desalinización.....	67
2.5.4. Cosecha de aguas lluvias	67
2.5.5. Usos de aguas servidas tratadas	67
2.6. GOBERNANZA DEL AGUA A NIVEL DE CUENCA	68
2.6.1. Actores relevantes en la cuenca	69
2.6.2. Mapa de agentes.....	70
2.6.3. Brechas de coordinación.....	72
2.6.4. Brechas de información.....	72
3. DEMANDA FÍSICA Y LEGAL DIFERENTES USOS	74

3.1. CONSUMO HUMANO	74
3.1.1. Demanda actual.....	74
3.1.2. Demanda futura.....	78
3.2. NECESIDADES MÍNIMAS AMBIENTALES.....	80
3.2.1. Consideración de sistemas protegidos	80
3.2.2. Derechos de agua para el medio ambiente	81
3.3. DEMANDA AGRÍCOLA Y FORESTAL.....	83
3.3.1. Zonas de riego modeladas	83
3.3.2. Derechos de agua para la agricultura	89
3.3.3. Demanda actual.....	89
3.3.4. Demanda futura.....	90
3.4. DEMANDA PECUARIA	91
3.4.1. Demanda actual.....	91
3.4.2. Demanda futura.....	92
3.5. DEMANDA MINERA Y DERECHOS	92
3.6. DEMANDA INDUSTRIAL Y DERECHOS	92
3.6.1. Demanda actual.....	92
3.6.2. Demanda futura.....	93
3.7. DEMANDA DE PISCICULTURAS	93
3.7.1. Demanda actual.....	93
3.7.2. Demanda futura.....	94
3.8. DEMANDA HIDROELECTRICIDAD	94
3.8.1. Demanda actual.....	97
3.8.2. Demanda futura.....	97
3.9. RESUMEN DE DEMANDAS HÍDRICA.....	97
4. OFERTA HÍDRICA	100
4.1. AGUA SUPERFICIAL	100
4.1.1. Fuentes	100
4.1.2. Precipitaciones	100
4.1.3. Oferta en la fuente	102
4.1.4. Oferta en la fuente proyectada	106
4.1.5. Calidad actual.....	107
4.1.6. Fuentes de contaminación	111
4.2. AGUA SUBTERRÁNEA	116
4.2.1. Sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común SHAC	116
4.2.2. Stock, recarga y niveles	118
4.2.3. Estadísticas de parámetros de calidad	122
4.2.4. Fuentes de contaminación	123
4.3. DERECHOS CONCEDIDOS	125
5. BALANCE DE AGUA	128
5.1. MODELO DE SIMULACIÓN	128
5.1.1. Elementos del modelo	129
5.1.2. Archivo de enlace y vinculación entre WEAP y MODFLOW	137
5.1.3. Indicadores hidrológicos	139
5.2. Balance hídrico.....	142

5.2.1. Balance hídrico previo a la modelación	142
5.2.2. Balance hídrico modelo acoplado	145
5.2.3. Diferencias entre demandas teóricas y demandas modeladas	153
5.2.4. Recargas y variaciones de acuífero	153
5.3. brechas	156
5.3.1. Brechas de Balance hídrico	156
5.3.2. Otras brechas	160
5.4. SUSTENTABILIDAD	162
5.4.1. Resumen de evaluación de criterios de sustentabilidad	164
5.5. INDICADORES HÍDRICOS DE LA CUENCA	164
5.5.1. Indicadores bajo condición histórica	165
5.5.2. Indicadores bajo condición futura.....	166
5.6. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	168
5.6.1. Escenarios	168
5.6.2. Resultados	170
5.7. MERCADO DE AGUAS	172
5.7.1. Evolución histórica	172
5.7.2. Análisis de transacciones depuradas	174
<u>6. ACCIONES.....</u>	<u>179</u>
6.1. Gobernanza.....	179
6.2. Fortalecimiento de organización de Usuarios de Agua.....	182
6.3. Recuperación de acuíferos	184
6.4. Mejoras de eficiencia	186
6.5. Sistemas de Información	186
6.6. Infraestructura hidráulica	188
6.7. Capital Humano	190
6.8. Ecosistemas	192
<u>7. CARTERA DE INICIATIVAS PROPUESTAS</u>	<u>194</u>
7.1. Impacto sobre la brecha	197
7.2. Beneficio percibido por los actores locales	198
7.3. Evaluación económica.....	199
7.4. Plazo de implementación	201
7.5. Alternativas seleccionadas.....	205
7.6. Evaluación conjunta del plan	208
7.7. LÍNEAS DE ACCIÓN.....	215
7.7.1. Ejecutora o mandante DGA	215
7.7.2. Otras instituciones	215
7.8. VALORIZACIÓN ECONÓMICA DEL PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA	217
7.8.1. Distribución de costos por actores	219
7.9. Cronograma de las soluciones.....	220
<u>8. IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN</u>	<u>221</u>
8.1. Hitos de referencia en la implementación del Plan	221
8.2. Estrategia de implementación	222
8.2.1. Estructura del Plan de Gestión	222

8.2.2. Aspectos institucionales.....	222
8.2.3. Aspectos de cultura del agua	226
8.2.4. Aspectos de financiamiento	227
8.3. Estrategia de comunicación	227
8.3.1. Público objetivo	227
8.3.2. Contenidos a comunicar	228
8.3.3. Medios de comunicación	228
8.4. Identificación de fuentes de financiamiento del Plan	228
<u>9. MONITOREO Y EVALUACIÓN DEL PLAN</u>	<u>233</u>
9.1. PLAN DE MONITOREO	233
9.1.1. Indicadores	233
9.1.2. Seguimiento.....	236
9.2. MECANISMOS PARA EL ANÁLISIS Y TOMA DE DECISIONES	236
<u>10. ASPECTOS NORMATIVOS</u>	<u>237</u>

ÍNDICE DE FIGURAS

Página

Figura 2-1. Área de estudio.	18
Figura 2-2. Geomorfología de la cuenca Río Toltén.	20
Figura 2-3. Geología de la cuenca Río Toltén.	22
Figura 2-4. Modelo Digital de Elevación de la cuenca Río Toltén.	25
Figura 2-5. Red de drenaje en la cuenca Río Toltén.	27
Figura 2-6. División político-administrativa de la cuenca Río Toltén.	29
Figura 2-7. Porcentajes de las principales ramas de actividad económica en la cuenca Río Toltén.	33
Figura 2-8. Actividad silvoagropecuaria por comunas de la población activa de la cuenca Río Toltén.	34
Figura 2-9. Evolución temporal (2001-2019) de los usos de suelo para el PEGH de Toltén.	36
Figura 2-10. Distribución de usos de suelo reclasificado al año 2019 para la cuenca Río Toltén.	37
Figura 2-11. Climograma representativo cuenca Río Toltén. Integración producto CR2MET, intervalo 2010-2020.	38
Figura 2-12. Promedio anual 1979-2015 precipitación. Producto grillado de la actualización balance hídrico.	39
Figura 2-13. Promedio anual 1979-2015 temperatura. Producto grillado de la actualización balance hídrico.	40
Figura 2-14. Macrozonas consideradas en el presente estudio para describir la situación actual de la Seguridad Hídrica y del cambio climático sobre los recursos hídricos	41
Figura 2-15. Cambios proyectados en las temperaturas medias estivales e invernales y precipitación promedio anual a 2050 en relación con el periodo 1980-2010 bajo escenario RCP 8.5 por macrozona basada en información base comunal.	43
Figura 2-16. Periodo de recurrencia en años de una sequía (>30% de déficit de precipitación en Chile central) de tres o más años de duración empleando siete modelos climáticos para los periodos preindustrial (850-1750) histórico (1850-1950; 1950-2000) y futuro (2010-2050;2050-2100).	44
Figura 2-17. Comparación de GCM. Los destacados corresponden a los utilizados por el BHN.	45
Figura 2-18. Tipos de pisos vegetacionales en la cuenca Río Toltén.	47
Figura 2-19 Superficie de áreas inundadas (humedales) dentro de la cuenca Río Toltén.	48
Figura 2-20. Tipos de territorios inundados dentro de la cuenca Río Toltén, según el Inventario Nacional de Humedales.	49
Figura 2-21. Áreas de conservación dentro de la cuenca Río Toltén.	54
Figura 2-22. Glaciares dentro de la cuenca Río Toltén.	56

Figura 2-23. Ubicación de estaciones meteorológicas Afromed presentes en la cuenca Río Toltén.	59
Figura 2-24. Ubicación de las estaciones fluviométricas y fluviosedimentológicas en la cuenca Río Toltén.	60
Figura 2-25. Ubicación de los piezómetros presentes en la cuenca Río Toltén.	61
Figura 2-26. Ubicación de las estaciones de calidad de agua en la cuenca Río Toltén.	64
Figura 2-27. Mapa de actores de la cuenca Río Toltén.	71
Figura 3-1. Esquema metodológico de estimación para demanda hídrica por consumo humano.	74
Figura 3-2. Distribución porcentual de la demanda de Agua Potable Urbana y Rural en la cuenca.	75
Figura 3-3. Localización de Servicios Sanitarios Rurales SSR.	76
Figura 3-4. Distribución porcentual del caudal otorgado para uso doméstico por DAA superficiales y subterráneos.	78
Figura 3-5. Estimación de la DHF para Agua Potable Rural [$\text{hm}^3/\text{año}$].	79
Figura 3-6. Estimación de la DHF para Agua Potable Urbana [$\text{hm}^3/\text{año}$].	79
Figura 3-7. Caudales [$\text{hm}^3/\text{año}$] para protección ambiental en las áreas protegidas pertenecientes a la cuenca Río Toltén.	81
Figura 3-8. Caudales Turísticos por Subcuencas con ZOIT y para toda la cuenca Río Toltén.	82
Figura 3-9. Distritos censales en cuenca Río Toltén.	85
Figura 3-10. Evapotranspiración según tipo de riego. Cuenca Río Toltén.	90
Figura 3-11 Demanda Evapotranspirativa futura según tipo de riego. Cuenca Río Toltén.	90
Figura 3-12. Esquema metodológico de estimación para demanda hídrica pecuaria en la cuenca.	91
Figura 3-13. Demanda Hídrica para Uso Industrial según su naturaleza y tipo de derecho en la cuenca Río Toltén.	92
Figura 3-14. Demanda Hídrica de Pisciculturas según su naturaleza y tipo de derecho en la cuenca Río Toltén.	94
Figura 3-15. Esquema metodológico para la demanda hidroeléctrica.	95
Figura 3-16. Localización de Centrales Hidroeléctricas.	96
Figura 3-17. Demanda hídrica actual y futura de tipo consuntiva para diferentes usos. .	98
Figura 3-18. Demanda Hídrica actual y futura de tipo consuntiva para uso Silvoagrícola.	98
Figura 3-19. Demanda hídrica actual y futura de tipo no consuntiva en la cuenca.	99
Figura 4-1. Curvas de variación estacional de precipitación. Estación Río Toltén en Teodoro Schmidt.	101
Figura 4-2. Precipitación máxima en 24h según periodo de retorno para la estación Villarrica ajustada a una función Pearson 3.	102
Figura 4-3. Curvas de variación estacional de caudal. Estación Río Toltén en Teodoro Schmidt.	103
Figura 4-4. Oferta hídrica superficial anual para los principales cauces en la cuenca Río Toltén.	106
Figura 4-5. Curvas de variación estacional de precipitación. Estación Río Toltén en Teodoro Schmidt. Periodo 2020-2050.	106

Figura 4-6 Oferta hídrica superficial anual proyectada para los principales cauces en la cuenca Río Toltén	107
Figura 4-7. Mapa ODS Agua limpia y saneamiento en la cuenca Río Toltén por punto de muestreo.	109
Figura 4-8. Frecuencia de medición de Boro, Mercurio, Molibdeno y Plomo versus frecuencia de reporte de valor repetido (mg/L) basado en datos de la plataforma físico-químico de la DGA.	111
Figura 4-9. Porcentajes de muestras que superan las normas de calidad de agua de Hierro, Manganeso, Sodio porcentual y pH en cada Subcuenca.	113
Figura 4-10. Localización de las fuentes de contaminación de agua superficial basados en procesos sancionatorios comparando con el Índice de Calidad de Agua ODS 6 según DGA (2021a).	115
Figura 4-11. Sistema Hidrogeológicos de Aprovechamiento común presentes en la cuenca Río Toltén.....	117
Figura 4-12. Hidrograma histórico pozo SISS (203-35010201).	119
Figura 4-13. Hidrograma histórico pozo DGA (MEDIA LUNA EN TEODORO SCHMIDT). ..	120
Figura 4-14. Piezometría acuífero somero modelo subterráneo Arcadis	121
Figura 4-15. Porcentajes de muestras que superan las normas de calidad de agua de Hierro, Manganeso, Sodio porcentual y pH en cada SHAC de la cuenca Río Toltén.	124
Figura 4-16. Distribución de los DAA superficiales en la cuenca Río Toltén.	125
Figura 4-17. Distribución de los DAA subterráneos en la cuenca Río Toltén.	126
Figura 5-1. Grilla original de producto grillado respecto a la superficie de una unidad hidrológica.	130
Figura 5-2. Refinamiento, recorte e integración de un producto grillado con respecto a la superficie de una unidad hidrológica.....	130
Figura 5-3. Precipitación mensual. Periodo 1979-2050.	132
Figura 5-4. Precipitación anual. Periodo 1979-2050.	133
Figura 5-5. Temperatura mensual. Periodo 1979-2050.	133
Figura 5-6. Temperatura anual. Periodo 1979-2050.	134
Figura 5-7. Serie de usos de suelo en <i>catchments</i> en WEAP.	135
Figura 5-8. Distribución Nodos Acuíferos en WEAP. El área en rojo representa el dominio activo del modelo y su intersección con las Unidades de Respuesta Hidrológica divide las zonas MODFLOW de las zonas de ladera.	136
Figura 5-9. Shape Linkage cuenca Río Toltén.	138
Figura 5-10. Vinculación de WEAP con MODFLOW.	139
Figura 5-11. Simulación de caudales medios en estación Río Toltén en Teodoro Schmidt.	140
Figura 5-12. Simulación de caudales medios en estación Río Toltén en Teodoro Schmidt.	140
Figura 5-13. Indicador de eficiencia y gráficos de series semanales. Río Toltén en Teodoro Schmidt.	141
Figura 5-14. Indicador de eficiencia NSE en las estaciones. Series mensuales.	142
Figura 5-15. Disponibilidad hídrica de la cuenca Río Toltén para las décadas de 2010 y 2040.	144
Figura 5-16. Balance Hídrico anual 1990-2050, cuenca Río Toltén.	145

Figura 5-17. Disponibilidad Hídrica anual 1990-2050. Cuenca Río Toltén.....	146
Figura 5-18. Disponibilidad hídrica por décadas. Periodo 1990-2050, cuenca Río Toltén.	146
Figura 5-19. Disponibilidad Hídrica anual 2010-2020, promedio mensual. Cuenca Río Toltén.....	150
Figura 5-20. Disponibilidad Hídrica anual 2040-2050, promedio mensual. Cuenca Río Toltén.....	150
Figura 5-21. Brecha para agua potable rural, demandas agrícolas bajo riego, y demandas consuntivas del Río Toltén.	157
Figura 5-22. Distribución anual del número de DAA transados en cuenca Río Toltén, periodo de Fecha de Inscripción en CBR entre 1983-2020.	174
Figura 5-23. Distribución anual del caudal transado en la cuenca Río Toltén, periodo de Fecha de Inscripción en CBR entre 1992-2020.	176
Figura 7-1. Distribución del impacto de reducción de la brecha en cada eje definido. ...	198
Figura 7-2. Distribución del beneficio percibido por los actores locales de las acciones locales.	199
Figura 7-3. Metodología de obtención del CAPEX (<i>Capital Expenditure</i>) y OPEX (<i>Operational Expenses</i>).	200
Figura 7-4. Distribución de costos del plan por eje de acción	200
Figura 7-5. Distribución de la priorización de acciones.	208
Figura 7-6. Esquema temporal de la simulación del PEGH para la cuenca Río Toltén. ...	209
Figura 7-7. Variación de la brecha total al implementar el PEGH en la cuenca Río Toltén.	210
Figura 7-8. Evolución temporal de la brecha agrícola bajo escenario histórico, futuro y con la implementación del Plan en la cuenca Río Toltén.....	211
Figura 7-9. Evolución temporal de la cobertura de la demanda agrícola bajo escenario histórico, futuro y con la implementación del Plan en la cuenca Río Toltén.	212
Figura 7-10. Evolución temporal de la brecha de agua potable bajo escenario histórico, futuro y con la implementación del Plan en la cuenca Río Toltén.....	213
Figura 7-11. Evolución temporal de la brecha de agua potable bajo escenario histórico, futuro y con la implementación del Plan en la cuenca Río Toltén.....	214
Figura 7-12. Distribución de los costos de implementación y operación por área temática de las acciones pertenecientes al Plan Estratégico de Gestión Hídrica de la cuenca Río Toltén.....	217
Figura 7-13. Distribución de los costos de implementación y operación del Plan Estratégico de Gestión Hídrica del Río Toltén.	218
Figura 7-14. Distribución anual del costo del Plan.	219
Figura 7-15. Línea de tiempo de implementación de las acciones.	220
Figura 8-1. Estructura del Plan Estratégico.	222
Figura 8-2. Gobernanza del agua propuesto.	225

ÍNDICE DE TABLAS

Página

Tabla 2-1. Distribución de superficies en la cuenca Río Toltén.	28
Tabla 2-2. Proyección de la población comunal urbana y rural en la cuenca Río Toltén. .	31
Tabla 2-3. Esquema de clasificación del IGBP, superficie al 2019 y correspondencia con categoría reclasificada en el PEGH de Toltén.	35
Tabla 2-4. Tipos de pisos vegetacionales y sus extensiones geográficas dentro de la cuenca Río Toltén.....	46
Tabla 2-5. Peces de aguadulce presente dentro de la cuenca Río Toltén	51
Tabla 2-6. Tipos de áreas bajo de protección oficial y otras figuras de conservación del paisaje dentro de la cuenca Río Toltén.....	52
Tabla 2-7. Bocatoma del canal Allipén.	58
Tabla 2-8. Comparación de parámetros de calidad de agua superficial evaluados entre Ríos y lagos en la cuenca Río Toltén.	63
Tabla 2-9. Número de puntos de muestreo de calidad de agua subterránea con datos durante los años 2011-2020 dentro de cada subcuenca del sistema hidrográfico Río Toltén.	65
Tabla 2-10. Parámetros de calidad de agua subterránea evaluada en la cuenca Río Toltén, basado en el estudio SIT 396 (DGA, 2016).	65
Tabla 2-11. Cantidad de organismo o instituciones presentes en la cuenca Río Toltén con vinculación en el recurso hídrico.	69
Tabla 3-1. Demanda Hídrica en Agua Potable Urbana y Rural en la cuenca.	75
Tabla 3-2. Distribución de DAA para uso doméstico.	77
Tabla 3-3. Estimación de la DHF por Agua Potable Rural y Urbana [hm ³ /año].	79
Tabla 3-4: Caudales [m ³ /s] para protección ambiental en las áreas protegidas pertenecientes a la cuenca Río Toltén.	80
Tabla 3-5: Caudales Turísticos por Subcuencas con ZOIT y para toda la cuenca	82
Tabla 3-6. Distribución de los cultivos en cuenca Río Toltén.....	83
Tabla 3-7. Simplificación WEAP de los cultivos en cuenca Río Toltén.	86
Tabla 3-8. Coeficiente de los cultivos en cuenca Río Toltén utilizados en el balance preliminar.	87
Tabla 3-9. Coeficiente de los cultivos en cuenca Río Toltén utilizados en la modelación.	88
Tabla 3-10. DDAA otorgados para uso de Riego.	89
Tabla 3-11. Consumo de agua de ganado en la cuenca Río Toltén.	91
Tabla 3-12. Estimación futura de la demanda hídrica en ganadería.	92
Tabla 3-13. Estimación futura de la demanda hídrica en uso industrial.	93
Tabla 3-14. Estimación futura de la demanda hídrica en pisciculturas.....	94
Tabla 3-15. Demanda hídrica de Hidroeléctricas en la cuenca Río Toltén.	97
Tabla 3-16. Estimación futura de la demanda hídrica en uso industrial.	97
Tabla 4-1. Características subcuencas del Río Toltén.	100

Tabla 4-2. Precipitación máxima en 24h según periodo de retorno para la estación Villarrica ajustada a una función Pearson 3.	102
Tabla 4-3. Características de registro de datos de la estación Río Toltén en Teodoro Schmidt.	103
Tabla 4-4. Caudal mensual asociado a una probabilidad de un 85% de excedencia en las estaciones consideradas.	104
Tabla 4-5. Evaluación del número de muestras que no cumple a las normas chilenas NCh 409/1 y NCh 1333.	110
Tabla 4-6. Procesos sancionatorios realizados en comunas que componen la cuenca Río Toltén desde 2015 a 2020.	114
Tabla 4-7. Volumen almacenado, año 2016, hm ³	118
Tabla 4-8. Recarga estimada por SHAC en el estudio DGA (2016), DGA (2014) y modelo acoplado.	118
Tabla 4-9. Evaluación de ICA general en cada SHAC de la cuenca Río Toltén.	122
Tabla 4-10. Distribución de DAA por naturaleza de captación.	127
Tabla 5-1. Descripción de productos grillas y variables asociadas.	129
Tabla 5-2. Porcentaje de cambio de las precipitaciones entre los periodos 2021-2050 y 1979-2005.	131
Tabla 5-3. Cambio absoluto de las temperaturas entre los periodos 2021-2050 y 1979-2005.	132
Tabla 5-4. Indicadores de eficiencia mensuales.	141
Tabla 5-5. Precipitación y evapotranspiración del Río Toltén para la década de 2010. ...	143
Tabla 5-6. Precipitación y evapotranspiración del Río Toltén para la década de 2040. ...	143
Tabla 5-7. Disponibilidad hídrica de la cuenca Río Toltén para las décadas de 2010 y 2040.	144
Tabla 5-8. Balance Hídrico, cuenca Río Toltén modelo acoplado. Unidades de [hm ³ /año].	148
Tabla 5-9 . Balance hídrico SHAC 01 Toltén Alto. Unidades en [hm ³ /año].	151
Tabla 5-10 . Balance hídrico SHAC 02 Toltén Medio. Unidades en [hm ³ /año].	151
Tabla 5-11 . Balance hídrico SHAC 03 Toltén Bajo. Unidades en [hm ³ /año].	152
Tabla 5-12. Nodos Acuíferos en WEAP.	153
Tabla 5-13. Resumen de flujos de entradas y salidas de los distintos SHACS. Periodo 1980 - 2020.	153
Tabla 5-14. Resumen de flujos de entradas y salidas de los distintos SHACS. Periodo 2020 - 2050.	155
Tabla 5-15. Brecha SHAC Toltén Superior. Periodo 1990-2020.	157
Tabla 5-16. Brecha SHAC Toltén Medio. Periodo 1990-2020.	158
Tabla 5-17. Brecha Toltén Inferior. Periodo 1990-2020.	158
Tabla 5-18. Bechas proyectadas Toltén Superior. Periodo 2020-2050.	158
Tabla 5-19. Brechas proyectadas Toltén Medio. Periodo 2020-2050.	159
Tabla 5-20. Brechas proyectadas Toltén inferior. Periodo 2020-2050.	159
Tabla 5-21. Resumen de evaluación de criterios de sustentabilidad.	164
Tabla 5-22. Indicadores de brecha, cobertura de la demanda y variación del acuífero para la condición histórica en la cuenca Río Toltén.	166

Tabla 5-23. Indicadores de brecha, cobertura de la demanda y variación del acuífero para la condición futura en la cuenca Río Toltén.	167
Tabla 5-24. Escenarios generados para simulación de efectividad de las medidas.	168
Tabla 5-25. Escenarios base generados para simulación de efectividad de las medidas.	169
Tabla 5-26. Resultados de la simulación de los escenarios como promedio decadal 2040-2050 en la cuenca Río Toltén.	171
Tabla 5-27. Transacciones según naturaleza de la fuente de agua en la cuenca Río Toltén, años 1983 – 2020.	173
Tabla 5-28 Aplicación incremental de criterios de depuración para transacciones en cuenca Río Toltén.	175
Tabla 5-29 Transacciones depuradas por tipo de ejercicio del DAA.	175
Tabla 5-30. Resultado de las transacciones subterráneas de los DAA en cuenca Río Toltén.	177
Tabla 5-31. Ofertas de venta de DAA con naturaleza subterráneas en cuenca Río Toltén.	177
Tabla 5-32. Resultado de las transacciones superficiales de los DAA en cuenca Río Toltén.	177
Tabla 5-33 Ofertas de venta de DAA con naturaleza superficial en cuenca Río Toltén. ..	178
Tabla 6-1. Resumen de las acciones necesarias para disminuir las brechas identificadas sobre la gobernanza en cuenca Río Toltén.	181
Tabla 6-2. Resumen de las acciones necesarias para disminuir las brechas identificadas en las OUAs en el Río Toltén.	183
Tabla 6-3. Resumen de las acciones necesarias sobre la protección del acuífero en la cuenca Río Toltén.	185
Tabla 6-4. Resumen de las acciones identificadas sobre la carencia de información para la caracterización del recurso hídrico en el Río Toltén.	187
Tabla 6-5. Resumen de las acciones identificadas sobre la implementación de nueva infraestructura hidráulica en la cuenca Río Toltén.	189
Tabla 6-6. Resumen de las acciones identificadas sobre las debilidades en capital humano en la cuenca Río Toltén.	191
Tabla 6-7. Resumen de las acciones necesarias para disminuir las brechas identificadas sobre las unidades ambientales y sus servicios ecosistémicos en la cuenca Río Toltén. .	193
Tabla 7-1. Priorización de las acciones.	196
Tabla 7-2. Plazos de implementación de las acciones.	202
Tabla 7-3. Priorización de las iniciativas definidas.	205
Tabla 7-4. Promedio decadales de los indicadores del plan PEGH en la cuenca Río Toltén y su comparación con el escenario futuro e histórico.	210
Tabla 7-5. Distribución de costos por actores y plazos.	219
Tabla 8-1. Rol de las instituciones sectoriales y regionales en la implementación del Plan.	223
Tabla 8-2. Fuentes de financiamiento para la ejecución del Plan.	229
Tabla 9-1. Indicadores del Plan.	234

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO

La Dirección General de Aguas (DGA) es el organismo del Estado de Chile que se encarga de promover la gestión y administración del recurso hídrico, en un marco de sustentabilidad, prevalencia del interés público y eficiencia en la asignación del recurso hídrico, para diferentes usos, se enfrenta a numerosos desafíos, entre ellos al complejo escenario hidrológico Chile.

El IPCC en su Sexto Informe de Evaluación amplía sus alcances, abordando el desarrollo sostenible, alineado con la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, donde se integra la adaptación, mitigación como estrategias de acción frente al cambio climático.

Este contexto global, sumado a la situación de sequía prolongada que enfrenta el país y al manejo en general de las aguas en territorio nacional puso de manifiesto la necesidad de instalar sistemas de gestión e información del recurso hídrico, desde una visión integradora de los sistemas físico, normativo y social.

Las 101 cuencas delimitadas en Chile presentan diferencias radicales en disponibilidad hídrica en el espacio y tiempo, imponiendo una condición de borde especial para cualquier gestor del recurso hídrico y para la sociedad en su conjunto. A lo anterior, se suma el desconocimiento de la calidad del agua, donde la contaminación de las fuentes supone una amenaza para la satisfacción de la demanda de agua potable y el mantenimiento de los ecosistemas naturales. Finalmente, el aumento de la demanda hídrica para diferentes usos supone una presión al sistema donde la sobreexplotación a nivel superficial y subterráneo conlleva a la imposición de restricciones de uso de dichos recursos cada vez más agotados.

El desafío entonces, para los planes estratégicos de gestión hídrica en las diferentes cuencas priorizadas por el Gobierno de Chile en su marco más global es avanzar hacia la gestión integrada del recurso hídrico en todas sus dimensiones, construyéndola a partir de:

- Obteniendo el conocimiento específico y actualizado del territorio en términos de información (calidad, cantidad y cobertura), infraestructura habilitante, oferta y demanda actual y futura (bajo efectos de cambio climático).
- Diagnosticando el estado real del territorio.
- Construyendo herramientas de modelación conjunta del recurso hídrico superficial y subterráneo orientada a la gestión.
- Consultando a los diversos actores sobre su percepción como usuario final de estado real de la cuenca en temas hídricos, de gobernanza e institucionalidad.

Se espera, por tanto, construir un plan desde un nuevo enfoque de gestión estratégico en la cuenca, que proporcione conocimiento y diagnóstico para formular planes de acción a corto, mediano, y largo plazo, con productos reales de acuerdo con las necesidades cuenca, para formular una hoja de ruta realizable y medible, para hacer frente a los desafíos de gestión del agua. Junto a esto se propone entregar y transferir conocimiento sobre herramientas de cálculo de balance de agua para cada cuenca, y un portafolio de acciones que considere los efectos del cambio climático. Por esta razón, los estudios DGA de oferta y demanda de agua y balance hídrico deberán tener proyecciones a 10 años, diagnosticar el estado de información, infraestructura e instituciones que toman decisiones respecto al recurso hídrico, y analizar el impacto del cambio climático, para así proponer una cartera

de acciones DGA y de terceros público-privados, en pro del desarrollo hídrico de las cuencas de Chile.

En consecuencia, el plan de cuenca que se pretende es un portafolio de acciones a corto, mediano, y largo plazo, dirigido a DGA, DOH, Ministerio de Medioambiente, Ministerio de Agricultura, Ministerio de Energía, Ministerio de Minería, Organizaciones de Usuarios de Aguas, Gobiernos Regionales, Empresas privadas, sólo para mencionar los principales actores involucrados en la gestión eficiente del agua y la adaptación de las diversas actividades de desarrollo socioeconómico y medioambiental al cambio climático. Este plan hará una evaluación de la cantidad y calidad de los recursos hídricos necesarios para todas las actividades y usos que las necesitan, y con prioridad del consumo humano, otorgando un uso sustentable del recurso para así poder satisfacer las necesidades actuales y de futuras generaciones.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo general

Proponer un plan estratégico indicativo para las cuencas de los Ríos Toltén y Bueno, que considere las particularidades de sus recursos hídricos, para así (i) conocer oferta y demanda histórica, actual y potencial de agua, (ii) establecer balance hídrico y sus proyecciones a 30 años, (iii) diagnosticar el estado de información, infraestructura e instituciones que toman decisiones respecto al recurso hídrico, y (iv) proponer 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 la sustentabilidad en cantidad y calidad, y mejoren la gestión u gobernanza de las aguas a nivel de cuencas.

1.1.2. Objetivos específicos

1. Conocer el estado actual de las cuencas de los Ríos Toltén y Bueno en cuanto a oferta hídrica, demanda hídrica, balance de agua (tanto en cuanto a sus derechos de aprovechamiento de aguas, como a sus demandas de agua) y sus respectivas herramientas de cálculo y estimación (modelos), control de extracciones, calidad bio-físico-química de fuentes de agua superficiales y subterráneas, gobernanza y gestión del agua a nivel de la cuenca y red hidrométrica superficial, subterránea, de calidad, de glaciología y nieves.
2. Construir y/o actualizar modelos de simulación hidrológicos de la cuenca, y su integración a nivel superficial-subterráneo.
3. Determinar 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.

4. Diagnosticar estado de la calidad de agua de las fuentes superficiales y subterráneas. Definir acciones para proteger funciones ecosistémicas críticas relacionadas con los cuerpos de agua superficiales y acuíferos en el tiempo.
5. Diagnosticar el estado de infraestructura hidráulica presente (estado de funcionamiento, antigüedad y confiabilidad de los sistemas) y proponer acciones tendientes a mejorar el monitoreo de las aguas de la cuenca (superficial, subterránea, de montaña y glaciares).
6. Identificar 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. Se deberá establecer un caso base y distintos escenarios para la evaluación.
7. Entregar estrategias para mejorar la toma de decisiones, mediante la utilización de modelos operativos de gestión, los cuales deben tener escenarios planificación a corto, mediano y largo plazo, y ser adaptativos en el tiempo.

Entregar estrategias para promover la conformación de las organizaciones de usuarios y fortalecer las existentes, promover y revitalizar la alianza público-privada, contemplando aspectos de gobernanza, plataformas de servicios de información y mercados de derechos de agua, para así incrementar cualitativamente la inversión requerida en infraestructura e investigación.

2. CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA

En el presente capítulo se describen las principales características de la cuenca Río Toltén, tanto a nivel geográfico, como de aspectos político-administrativos, demográficos y relativos a su actividad económica. Asimismo, se recopilan las principales obras de infraestructura en materia hídrica existentes en la cuenca, con el fin de disponer de una visión del estado de inversión actual en diferentes ámbitos (obras de riego, agua potable, extracciones, red hidrométrica de la Dirección General de Aguas).

La cuenca Río Toltén colinda por el norte con la cuenca Río Imperial, por el nororiente con la cuenca Río Biobío y por el norponiente con la cuenca Río Budi. Por otra parte, por el sur colinda con la cuenca Río Valdivia y por el surponiente con la cuenca Río Queule. La

Figura 2-1 presenta la localización de la cuenca Río Toltén.

La cuenca posee una superficie de 8.514,9 km², su cauce principal es el Río Toltén, que nace en el Lago Villarrica, posee una longitud de 125 km y una pendiente media de un 0,18 %. La cuenca posee un ancho de 68 km y un desnivel altitudinal de 3.300 m, altura alcanzada en la zona alta de la subcuenca Río Pucón, cercano al paso fronterizo Mamuil Malal

2.1. DIMENSIÓN FÍSICA

El objetivo del presente acápite es tener una visión general de la cuenca Río Toltén en términos geográficos, analizando aspectos relativos a su geomorfología y geología, suelos, drenaje, división político-administrativa y principales actividades económicas

2.1.1. Geomorfología

Desde el punto de vista geomorfológico, existe una serie de elementos fisiográficos que permiten identificar principalmente los siguientes grupos:

- Cordillera de los Andes volcánica activa
- Precordillera morrénica
- Depresión Intermedia
- Llano Central con Morrenas y Conos
- Llanos de sedimentación fluvial
- Planicies Litorales.

La Cordillera de los Andes se presenta con una altura promedio de 2.500 m s.n.m., destacando como máximas alturas el volcán Villarrica, Llaima, Quetrupillán y Lanín. En este sector, una gran cantidad de torrentes menores y lagos de diversos tamaños completan el relieve cordillerano modelado principalmente por la actividad volcánica durante tensiones originadas por la orogenia alpina del terciario y modelado también por la acción glacial. La Depresión Intermedia está caracterizada por planicies, lomajes y cerros que en general no alcanzan elevadas alturas. Su principal característica es la presencia de una topografía fuertemente ondulada y que corresponde a un plano inclinado con orientación este - oeste. El cauce del Río Toltén en esta zona presenta un escurrimiento meándrico con valles fluviales estrechos

La Figura 2-2 presenta la geomorfología de la cuenca Río Toltén.

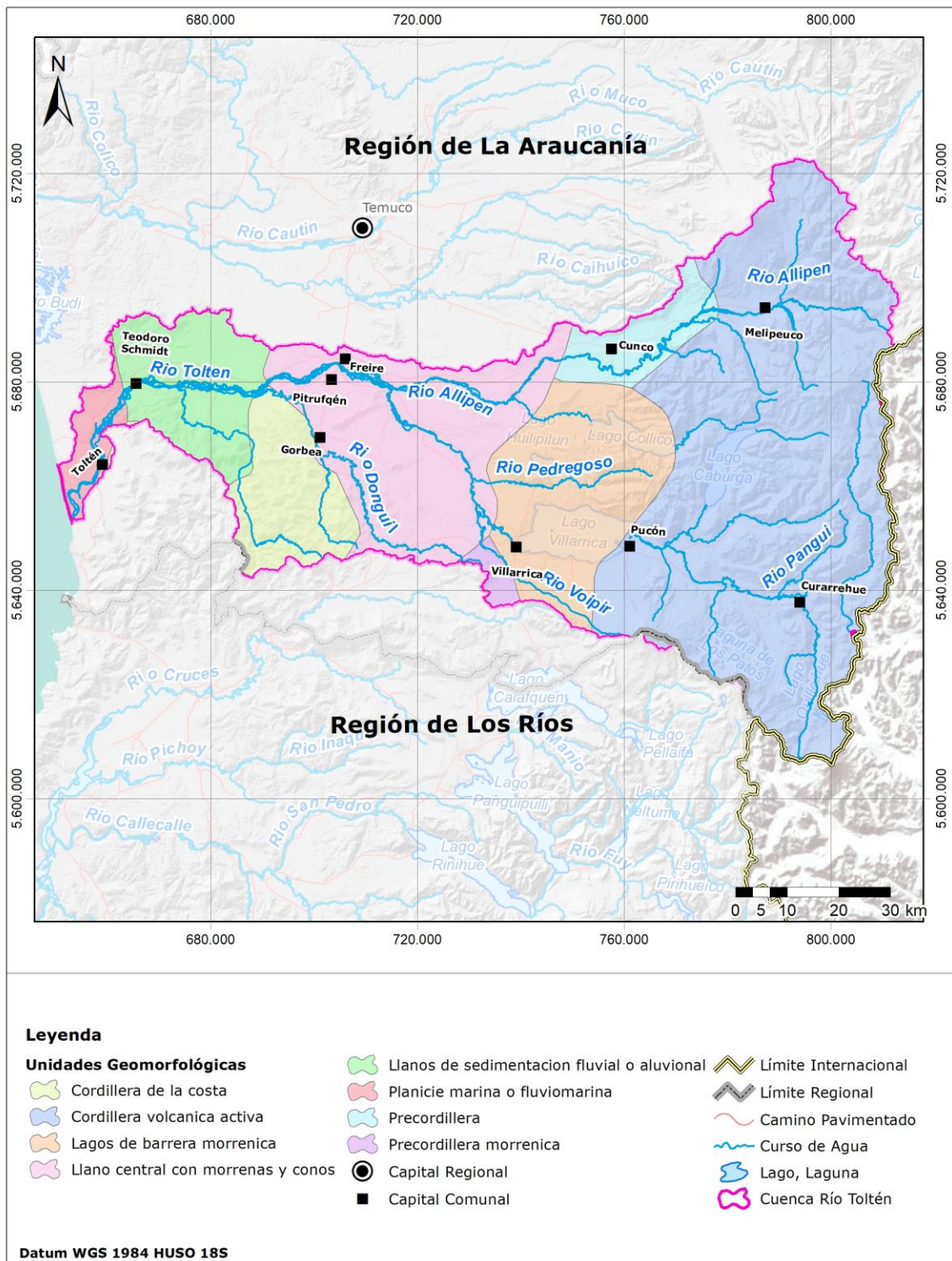


Figura 2-2. Geomorfología de la cuenca Río Toltén.
 Fuente: Elaboración propia basado en Mapoteca digital DGA (2021).

2.1.2. Geología e hidrogeología

2.1.2.1. Geología

En la cuenca Río Toltén se distinguen 4 unidades morfoestructurales: Cordillera de los Andes, Depresión intermedia, Cordillera de la costa y Llanuras fluvioamarinas.

La Unidad Cordillera de los Andes presenta una serie de volcanes activos, como lo son el Volcán Villarrica y volcán Llaima. Respecto a sus alturas, la mayor altura se alcanza en el volcán Lanin con 3.747 m s.n.m., seguido por el volcán Llaima con 3.124 m s.n.m, el volcán Villarrica con 2.847 m s.n.m, y por último el Volcán Lonquimay con 2.822 m s.n.m.

La unidad Depresión intermedia presenta planicies y lomajes con cotas que no superan los 400 msnm. Esta unidad, se encuentra conformada principalmente, por depósitos de abanicos aluviales y volcanoclásticos.

La Unidad Costa de la Costa posee alturas promedios de 300 a 400 m s.n.m. que enangostan la depresión intermedia. En el sector sur de la cuenca emerge la cordillera de Mahuidanche hacia Gorbea.

La unidad fluvioamarina corresponde a los valles de Río que desembocan en el mar, particularmente el Río Toltén.

Mayor detalle de las unidades geológicas se encuentra en el Anexo J, acápite 6.8.

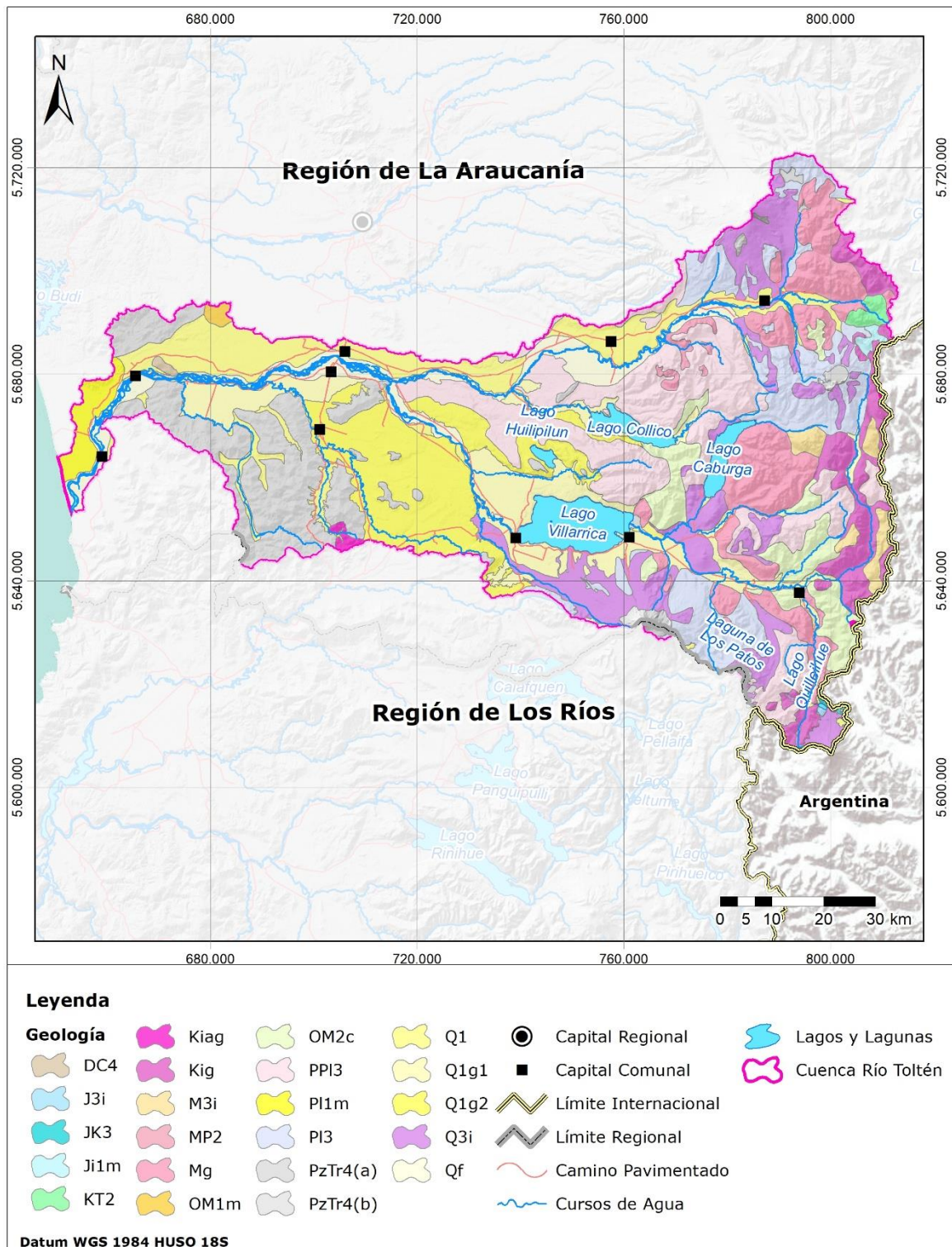


Figura 2-3. Geología de la cuenca Río Toltén.

Fuente: Mapa geológico de Chile SERNAGEOMI (2021).

2.1.2.2. Hidrogeología

Desde el punto de vista hidrogeológico, la cuenca Río Toltén muestra una variedad de formación rocosas (mayor detalle ver Anexo J. Descripción y diagnóstico. Capítulo 6.9).

La subcuenca Río Allipén presenta 6 unidades hidrogeológicas en donde predominan las secuencias volcánicas y los depósitos no consolidados actuales con permeabilidad altas entre 10 y 100 m/día (DGA, 2016).

En la subcuenca Río Pucón presenta 5 unidades hidrogeológicas, predominando las secuencias volcánicas y el basamento. Las permeabilidades en esta subcuenca son del orden de 1 a 10 m/día (DGA, 2016).

En la subcuenca del lago Villarrica y Toltén Alto se identificaron 6 unidades hidrogeológicas, predominando los depósitos no consolidados actuales y antiguos, con permeabilidades del orden de 1 a 100 m/día (DGA, 2016).

En la subcuenca del Toltén bajo se identificaron 4 unidades hidrogeológicas predominando el basamento (Cordillera de la Costa) y depósitos no consolidados, tanto antiguos como fluviales. Las permeabilidades en esta subcuenca son del orden de 1 a 10 m/día (Arcadis, 2016).

2.1.3. Edafología

En la provincia de Cautín y específicamente en la cuenca Río Toltén, los suelos que ocupan una mayor superficie corresponden a aquellos clasificados como "Trumaos" y "Trumaos aluviales". Dentro del primer grupo, se ha identificado que la serie de suelo de mayor superficie corresponde a la serie Santa Bárbara, característica de zonas de cerros y lomajes de la zona central sur del país (provincia de Malleco a Valdivia). Estos suelos de lomajes suaves a ondulados y quebrados, normalmente profundos, formados de cenizas volcánicas que descansan usualmente sobre conglomerados volcánicos y/o tobas volcánicas. Sus texturas usuales en la superficie son franco arenosas muy fina o franco limosa, con gran abundancia de materia orgánica que le da un color pardo oscuro y pardo grisáceo. En profundidad la textura va de franco arenosa fina a franco limosa hasta franco arcillosa y el color paulatinamente pasa a pardo amarillento (DGA, 2004). Tienen un alto poder para retener agua y buena a muy buena permeabilidad. Presenta una erosión moderada de manto y se observan zanjas sólo ocasionalmente (DGA, 2004).

El suelo Santa Bárbara, ubicado en la cordillera desde el límite de los lagos hacia el Este, corresponden a suelos de cenizas más recientes, que aparecen fuertemente estratificados con estratos variables de "trumaos" y piedra pómez del tamaño de la grava. Estos suelos son más susceptibles al deslizamiento si no están protegidos por vegetación arbórea. Corresponden a suelos eminentemente forestales (DGA, 2004).

Los suelos "trumaos aluviales" son suelos planos a ligeramente ondulados, aluviales, estratificados, muy variables en profundidad, corrientemente desde 0,50 m a 1,10 m, que descansan en materiales aluviales usualmente en piedras. En algunos descansan en tobas mezcladas con arenas y breccia volcánica. La textura del horizonte superficial va de franco

arenosa fina o muy fina a franco limosa, usualmente granula débil, friable a muy friable; hacia abajo generalmente se mantiene esa misma textura, ligeramente más pesada, con algunas estratos más pesadas ocasionalmente (DGA, 2004).

El drenaje es normalmente bueno. Dentro de esta clasificación general, se han identificado en la cuenca los siguientes suelos de la cuenca Río Toltén: Cunco, Cherquenco, Freire, Lanco y Villarrica.

2.1.4. Topografía

La topografía de la cuenca Río Toltén muestra las siguientes tres zonas topográficas:

- **Cordillera de Los Andes:** Se vincula con una apariencia tradicional en la forma de entender esta franja del relieve en el sur de Chile: baja altitud, con pendientes suaves, y fuerte presencia de una actividad volcánica en reposo. Las mayores alturas que encontramos corresponden a los volcanes Lanín con 3.776 m s.n.m. y el volcán Llaima, con 3.240 m s.n.m.
- **Depresión Intermedia:** La depresión Intermedia, o Valle Longitudinal, posee una superficie ondulada, interrumpida por valles profundos y algunos cerros. Entre la cordillera y el valle longitudinal, se encuentra la precordillera que posee alturas comprendidas entre los 600 y 1.000 m s.n.m.
- **Cordillera de la Costa:** La Cordillera de la Costa en el sector de la desembocadura del río Toltén, la cordillera recibe diversas denominaciones, presentándose un poco más robusta, lo cual va a ejercer un importante efecto de biombo climático sobre las localidades de la depresión intermedia.

La Figura 2-4 presenta la topografía de relieves o Modelo de Elevación Digital (DEM) de la cuenca Río Toltén. Los insumos para su elaboración fueron obtenidas a través del sistema de imágenes satelitales ALOS PALSAR, cuyas imágenes fueron obtenidas el 22 de abril del 2016, con una resolución de pixel de 12,5 x 12,5 m, que permiten conocer la elevación del terreno en diferentes puntos de la cuenca.

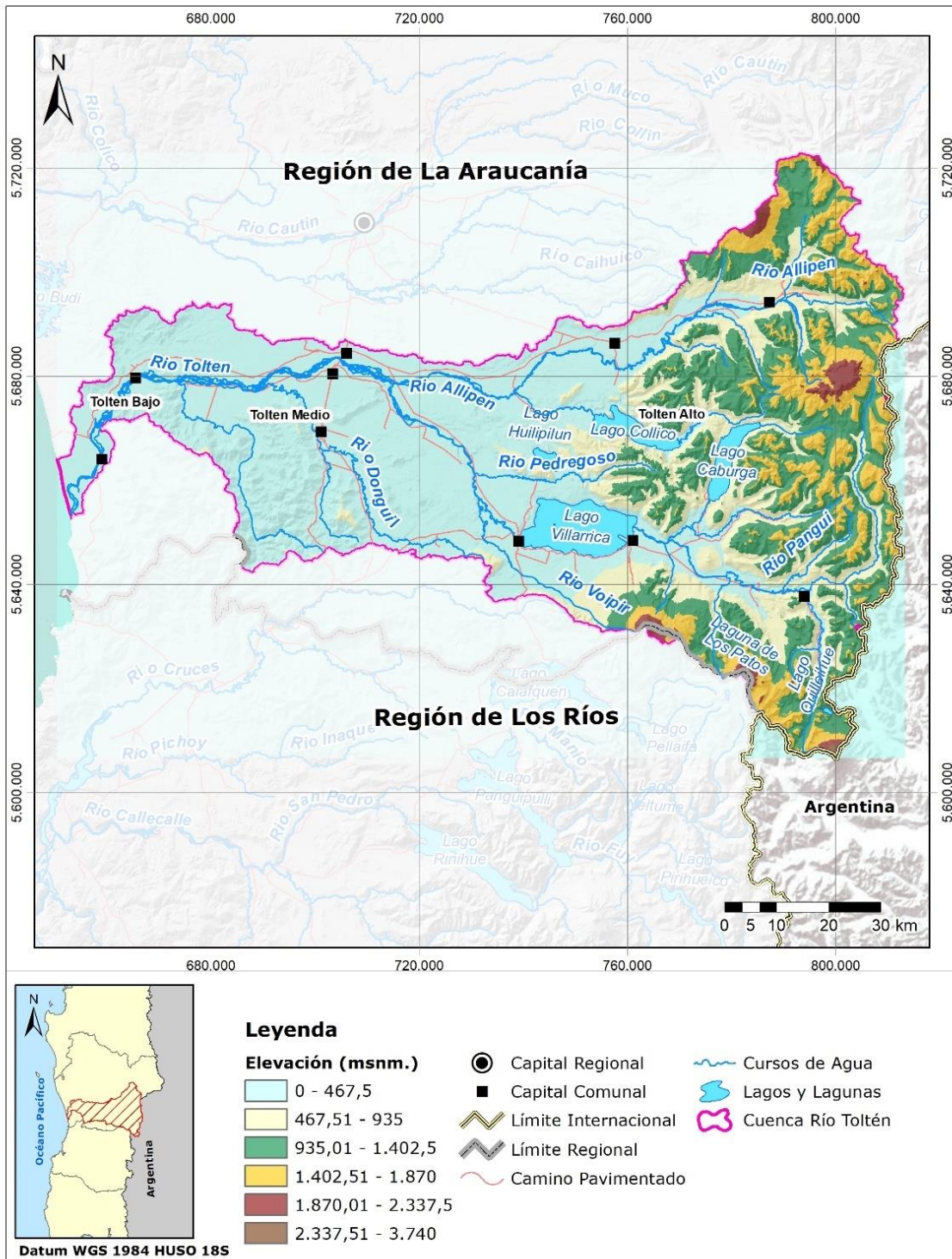


Figura 2-4. Modelo Digital de Elevación de la cuenca Río Toltén.
 Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes del 2016 tomadas por ALOS Palsar.

2.1.5. Red de drenaje superficial.

La cuenca Río Toltén se determinó en base a la delimitación realizada el año 2014 por el Departamento de administración de Recursos Hídricos, de la Dirección General de Aguas (DGA, 2014c). Dicha delimitación se realizó teniendo en cuenta el drenaje superficial del sistema hacia un mismo punto de salida (el mar).

La cuenca Río Toltén presenta una superficie total de 8.514,9 km². En la parte alta de esta cuenca se encuentran los lagos Villarrica, Caburgua, Colico y Huilipilún, lagos de origen glaciar alimentados principalmente por las vertientes y cauces que nacen en los volcanes de la cuenca.

El Lago Villarrica es uno de los lagos más grandes de esta cuenca, se localiza en la zona sur y es aquí donde nace el Río Toltén, cauce que entrega el nombre a esta cuenca. El Lago Villarrica posee una superficie de 176 km² y su principal tributario es el Río Pucón, que se forma de la unión de los Ríos Liucura y Trancura, siendo el Río Trancura uno de los cauces más importantes de la cordillera andina por su extensión y caudal. Hacia el norte es posible observar el Lago Colico, que desemboca sus aguas en el Río Curaco, cauce de 18 km aprox. Que lo conecta con el Río Allipén, uno de los cauces más importantes de la zona norte de la cuenca y es uno de los principales tributarios del Río Toltén. Por otra parte, se encuentra en la zona central el Lago Huilipilún, uno de los lagos de menor superficie en esta cuenca y que descarga sus aguas en el Río Pedregoso, cauce de 18,5 km aproximadamente, que desemboca en el Río Toltén. Finalmente, en la zona cordillerana se encuentra el Lago Caburgua, lago que no desagua sus aguas de forma superficial en ningún cauce, más bien su desagüe sería de forma subterránea y su afloramiento se encontraría en los llamados Ojos del Caburgua, lugar ubicado 5 km al sur del Lago Caburgua.

La Figura 2-5 presenta una vista en planta de la cuenca y sus principales ríos.

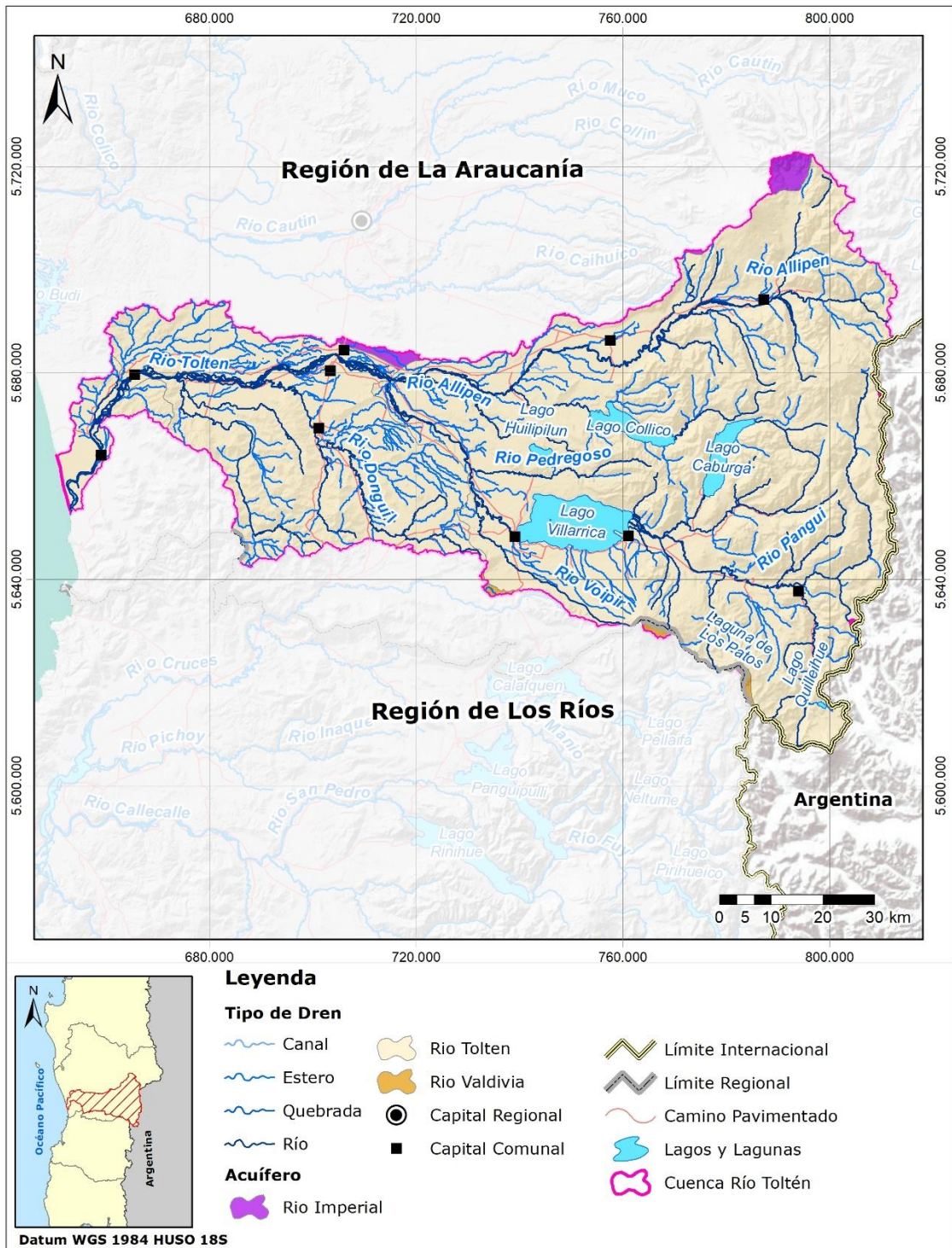


Figura 2-5. Red de drenaje en la cuenca Río Toltén.
Fuente: Elaboración propia basado en información DGA (2021).

2.1.6. División político-administrativa

La cuenca Río Toltén se localiza en la zona sur de la región de La Araucanía, y limita con la zona norte de la región de Los Ríos. La cuenca se extiende a través de las provincias de Cautín, abarcando 11 comunas: Cunco, Curarrehue, Freire, Gorbea, Loncoche, Melipeuco, Pitrufquén, Pucón, Teodoro Schmidt, Toltén, Villarrica. La Tabla 2-1. presenta la distribución de la superficie de estas comunas en la cuenca, mientras que la Figura 2-6 presenta la ubicación de las comunas y la red de caminos de la cuenca Río Toltén.

Tabla 2-1. Distribución de superficies en la cuenca Río Toltén.

Comuna	Área total [km²]	Área en la cuenca [km²]	Porcentaje de superficie en la cuenca [%]
Melipeuco	1.107	1.104	100
Curarrehue	1.163	1.158	100
Pucón	1.241	1.240	100
Villarrica	1.298	913	70
Cunco	1.887	1.484	79
Pitrufquén	578	578	100
Teodoro Schmidt	654	418	64
Gorbea	690	689	100
Toltén	851	155	18
Freire	937	429	46
Loncoche	972	300	31

Fuente: Elaboración propia basado en análisis de espacial basada en DPA de SUBDERE, 2020.

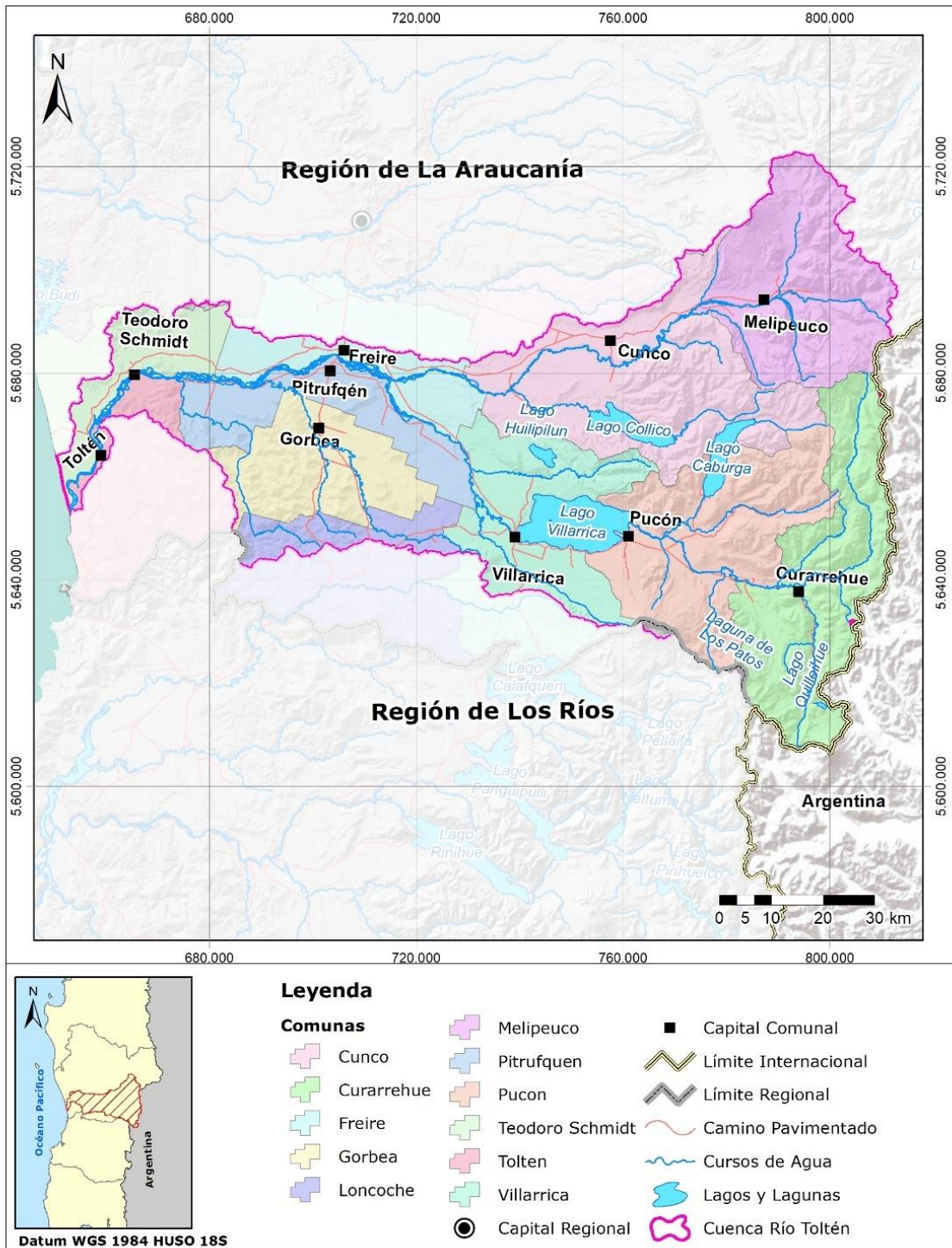


Figura 2-6. División político-administrativa de la cuenca Río Toltén.
 Fuente: Elaboración propia a partir de DGA (2020).

2.1.7. Demografía

La cuenca Río Toltén está conformada por 11 comunas, todas con distintas superficies dentro y fuera de la cuenca en estudio. Esta particularidad es fundamental para conocer la distribución poblacional en la cuenca, dado que la estadística poblacional nacional es elaborada por el Instituto de Estadística Nacional (INE, 2017), que realiza sus estudios a nivel comunal en el país. Por tanto y considerando que, los límites comunales no son coincidentes con los límites de cuenca, para generar una estimación de la población urbana y rural de la cuenca es necesario establecer lo siguiente: primero, que la población urbana y rural se distribuyen de manera homogénea en las comunas; y segundo, que la distribución poblacional se encuentra directamente relacionada con la superficie que representa las comunas en la cuenca.

Para conocer la proyección poblacional de la cuenca al año 2020, 2030, 2040 y 2050, se utilizaron los datos de crecimiento poblacional presentados por el Instituto Nacional de Estadística (INE, 2017), que analiza los datos obtenidos por el CENSO 2002 y el CENSO 2017 a nivel comunal, realizando una proyección poblacional hasta el año 2035, esta información se utilizó para la estimación de la proyección poblacional a los años 2040 y 2050.

Para la estimación de la población rural de los años 2040 y 2050 se mantuvo el valor máximo evidenciado durante los años 2020 y 2030 en cada comuna, esto considerando que, el registro estadístico del INE presenta un decrecimiento poblacional rural que no obedece al fenómeno de migración urbana-social observada por las consultas de participación ciudadana en la cuenca Río Bueno. Por otra parte, para la estimación de la población urbana se realizó una proyección lineal de lo observado durante los años 2020 y 2030. La Tabla 2-2 presenta los resultados de la proyección poblacional de las comunas considerando la superficie perteneciente a la cuenca Río Toltén.

Tabla 2-2. Proyección de la población comunal urbana y rural en la cuenca Río Toltén.

Comunas	Población comunal urbana [Nº habitantes]						Población comunal rural [Nº habitantes]					
	2002	2017	2020	2030	2040	2050	2002	2017	2020	2030	2040	2050
Cunco	8.806	8.847	9.369	9.588	9.807	10.026	9.897	8.679	6.862	6.691	6.862	6.862
Curarrehue	1.862	2.276	2.333	2.436	2.539	2.642	4.922	5.213	5.469	5.469	5.469	5.469
Freire	7.629	7.886	8.544	8.758	8.972	9.186	17.885	16.725	17.775	17.659	17.775	17.775
Gorbea	9.413	1.016	10.876	11.101	11.326	11.551	5.809	4.254	4.272	3.827	4.272	4.272
Loncoche	15.223	16.592	5.491	5.626	5.761	5.897	7.814	702	2.178	2.035	2.178	2.178
Melipeuco	2.333	2.807	2.929	3.134	3.339	3.544	3.295	3.331	3.336	3.216	3.336	3.336
Pitrufquén	1.342	16.531	17.847	19.224	20.601	21.978	8.568	8.306	8.249	7.998	8.249	8.249
Pucón	13.837	18.354	18.802	19.942	21.082	22.222	727	10.169	1.098	11.695	11.695	11.695
Teodoro Schmidt	6.244	5.403	5.631	5.444	5.257	507	926	9.642	6.499	6.508	6.508	6.508
Toltén	4.123	3.868	4.052	4.041	403	4.019	7.093	5.854	1.081	1.032	1.081	1.081
Villarrica	30.859	3.648	38.714	40.512	4.231	44.108	14.672	18.998	14.272	15.285	15.285	15.285
Total	101.671	87.228	124.588	129.806	93.318	135.680	81.608	76.820	71.091	81.415	82.710	82.710

Fuente: Elaboración propia basada en antecedentes del INE, 2022, 2017.

*Datos 2020 y 2030 obtenidos desde INE, 2017.

Respecto a la estructura de población, las comunas que integran la cuenca Río Toltén presentan una pirámide regresiva mostrando un importante volumen de población sobre los 65 años. La cuenca se compone de un 70% de población rural, y un 30% de población urbana, con Villarrica, Pucón y Pitrufquén como las comunas con mayor porcentaje de población urbana.

Aproximadamente el 40% de la población presenta ascendencia mapuche, la cual ha sufrido descensos en comunas urbanas (altamente turísticas) y un aumento en las comunas con mayor nivel de ruralidad.

2.1.8. Actividad económica

Contemplando las principales actividades económicas desempeñadas por la población activa de la cuenca, cabe destacar que las cinco ramas más importantes el año 2017, según el porcentaje de trabajadores/as en dichos rubros, son (en orden decreciente): silvoagropecuario, comercio, construcción, enseñanza y hogares privados con servicio doméstico. (mayor detalle en Anexo J. Descripción y Diagnóstico. Capítulo 2). Estas cinco principales actividades suman el 50,17% del total de población activa de la cuenca el año 2017 (Figura 2-7).

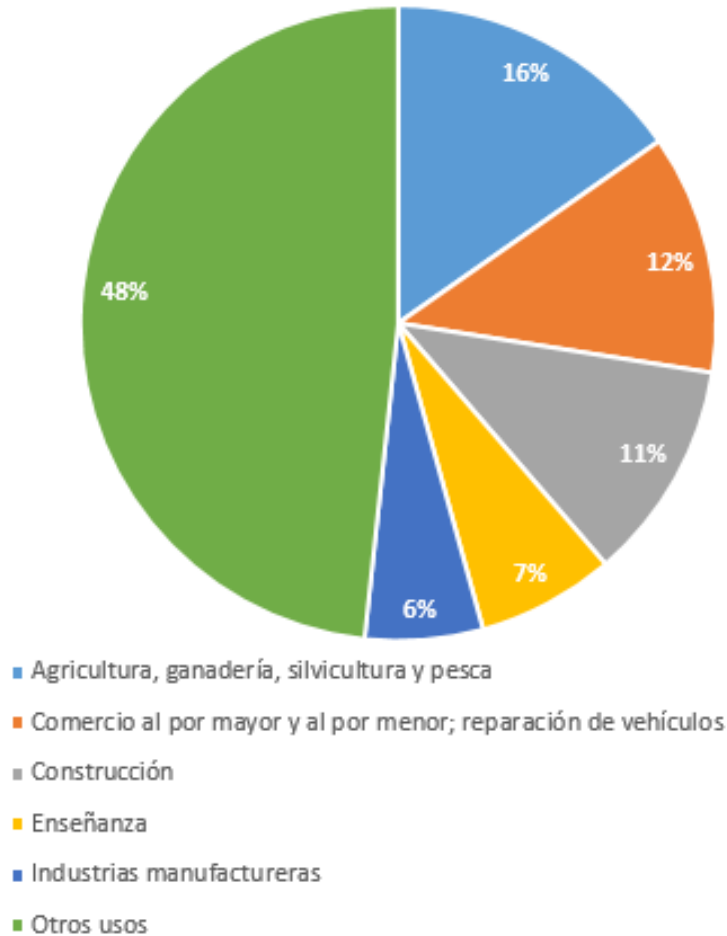


Figura 2-7. Porcentajes de las principales ramas de actividad económica en la cuenca Río Toltén.

Fuente: Elaboración propia a partir de censo 2017.

De todas las comunas de la cuenca, las actividades silvoagropecuarias, presentan distinta importancia. Particularmente, las comunas ubicadas en la zona media de la cuenca, son aquellas que presentan una mayor importancia en esta actividad. Teodoro Schmidt es la que tiene la mayor participación en la agricultura (41,9%), seguida por las comunas de Toltén (31,1%) y Freire (27,5%). Las comunas ubicadas en el sector cordillerano presentan un menor actividad silvoagropecuaria, Villarrica presenta un 6,7% y Pucón sólo el 4,0% de la población activa se desempeña en este sector (Figura 2-8)

Por otra parte, el comercio es una actividad relevante en la gran mayoría de las comunas, todas las cuales tienden a presentar sobre el 8% de población activa en este sector (mayor detalle en Anexo J. Descripción y Diagnóstico. Capítulo 2).

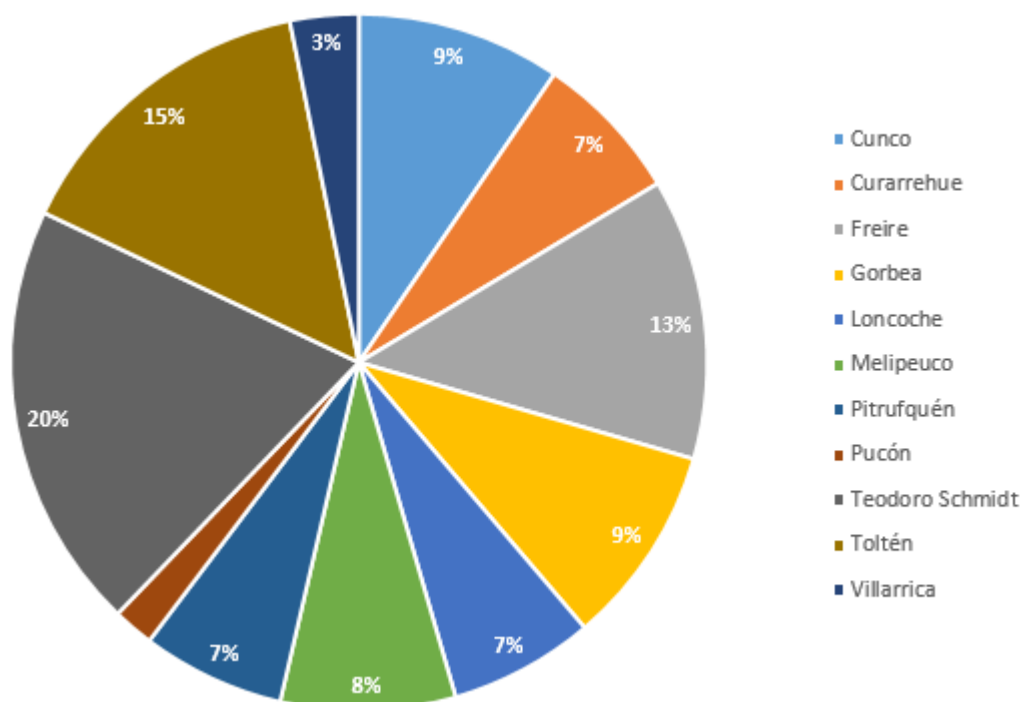


Figura 2-8. Actividad silvoagropecuaria por comunas de la población activa de la cuenca Río Toltén.

Fuente: Elaboración propia basado en Censo 2017.

2.1.9. Uso de suelo

Utilizando las imágenes MC12Q1 v6, se ha obtenido la distribución espacial de los usos de suelo del IGBP y reclasificado en 5 tipos de uso de suelo (bosques, arbustos/matorrales, suelo agropecuario, suelo sin vegetación y cuerpos de agua) en la cuenca Río Toltén (Figura 2-10) mostrando también cambios a lo largo del tiempo.

La selección de las categorías de reclasificación responde al nivel de análisis a nivel de cuenca, en donde los diferentes procesos que ocurren en esta escala son suficientes en la simulación de la dinámica territorial para la gestión de los recursos hídricos. De las figuras se deduce que los usos predominantes al 2019 en la cuenca son los bosques de hoja perenne (31,6%), las sabanas (26,9%) y el bosque mixto (24,3%). Mientras tanto, los usos con menores superficies son: los arbustos (0,1%) y los bosques de hoja caducifolia (0,4%). Los mayores cambios durante el periodo 2001-2019 han ocurrido en los bosques que aumentaron su superficie en cerca de 56.000 ha, excepto el bosque mixto que disminuyó su superficie; mientras las sabanas y las sabanas boscosas disminuyeron casi en la misma proporción que los bosques (51.500 ha). Un reto importante es diferenciar entre los bosques nativos y las plantaciones forestales en las imágenes ya que no hay manera de diferenciarlos usando este tipo de técnicas. Para ello se comparará la superficie de los bosques con los censos agropecuarios para identificarlos según su superficie. Por otro lado, se observa que el uso urbano (0,2%) se ha mantenido durante el tiempo y que

el uso agrícola propiamente dicho, aunque con variaciones interanuales, ha pasado de 0,3% a 0,5% de la superficie de la cuenca en los últimos años.

Tabla 2-3. Esquema de clasificación del IGBP, superficie al 2019 y correspondencia con categoría reclasificada en el PEGH de Toltén.

Valor	Categoría IGBP	Superficie al 2019 [ha]	Categoría PEGH	Superficie al 2019 [ha]
1	Evergreen Needleleaf Forests	75.640,7	Bosques	479.912,3
2	Evergreen Broadleaf Forests	193.433,4		
3	Deciduous Needleleaf Forests	0,0		
4	Deciduous Broadleaf Forests	3.535,3		
5	Mixed Forests	207.302,8		
6	Closed Shrublands	0,0	Arbustos/ matorrales	1.204,3
7	Open Shrublands	1.204,3		
8	Woody Savannas	45.493,2	Suelo agropecuario (cultivos+frutales+forestales+praderas)	312.003,2
9	Savannas	229.369,5		
10	Grasslands	29.759,0		
12	Croplands	4.662,0		
14	Cropland/Natural Vegetation Mosaics	2.719,5	Suelo urbano o sin vegetación	23.504,2
13	Urban and Built-up Lands	1.554,0		
16	Barren	21.950,2		
17	Water bodies	26.456,8	Cuerpos de agua	34.848,3
11	Permanent Wetlands	4.506,6		
15	Permanent Snow and Ice	3.885,0		

Fuente: Elaboración propia en base a producto MC12Q1.

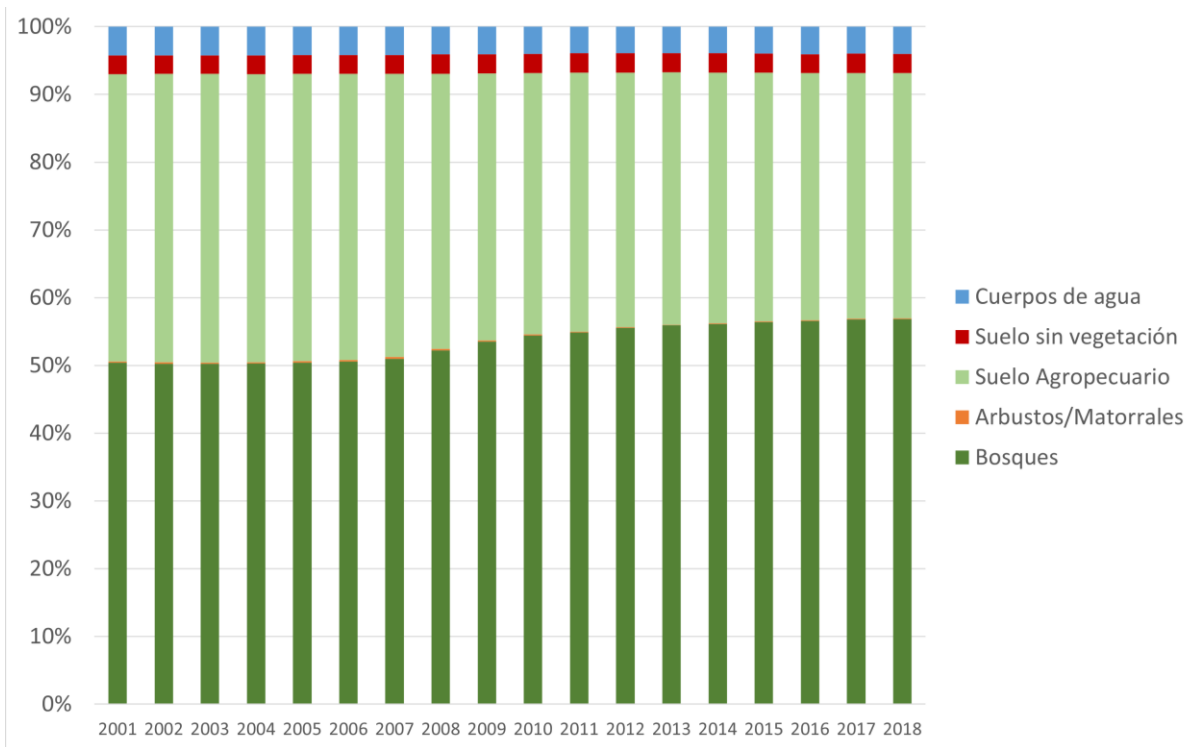


Figura 2-9. Evolución temporal (2001-2019) de los usos de suelo para el PEGH de Toltén.

Fuente: Elaboración propia en base a producto MC12Q1.

La Figura 2-10 presenta la distribución de los usos de suelo reclasificados al año 2019 en la cuenca Río Toltén.

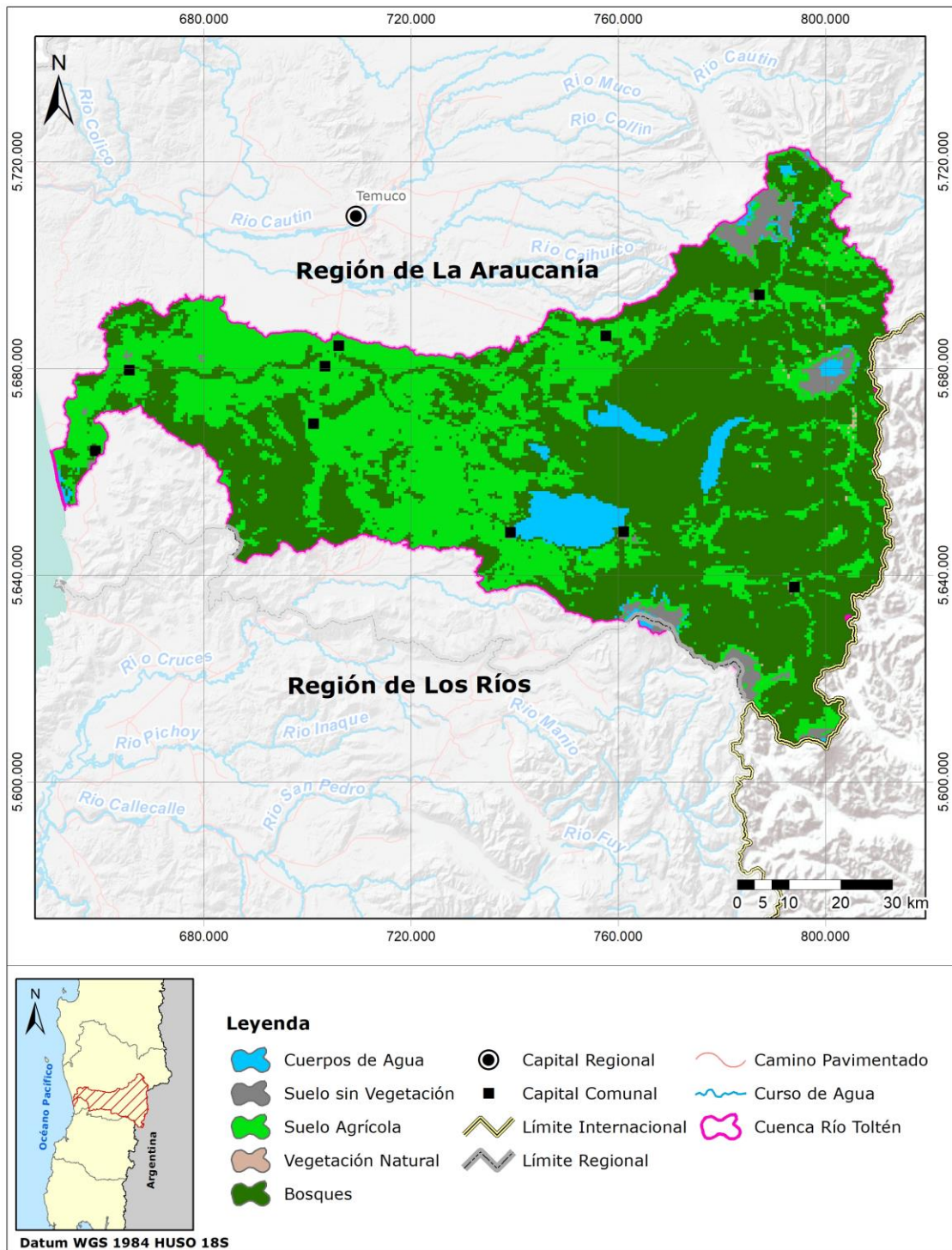


Figura 2-10. Distribución de usos de suelo reclasificado al año 2019 para la cuenca Río Toltén.

Fuente: Elaboración propia en base a producto MC12Q1.

2.2. CLIMA

2.2.1. Caracterización climática

La cuenca Río Toltén presenta un clima templado lluvioso con leve sequedad estival de código Cfb (s) según la clasificación de Köppen. Este clima se caracteriza por la presencia de precipitaciones todo el año, aunque de todas formas presenta estacionalidad definida. Otra característica corresponde a que la temperatura media del mes más frío es inferior a 18°C y superior a -3°C. En esta zona climática suele desarrollarse bosque templado y matorral. La precipitación del mes más lluvioso suele ser aproximadamente entre tres y diez veces la precipitación del mes más seco. La temperatura media del mes más cálido no supera los 22°C y existen cuatro a cinco meses cuyas temperaturas superan los 10°C, lo que concuerda con el climograma de la Figura 2-11.

Otro clima que se presenta con menos presencia corresponde al clima mediterráneo de lluvia invernal de código Csb según la clasificación de Köppen, el cual se desarrolla en la parte baja de la cuenca. Al igual que el tipo de clima antes descrito, se caracteriza por la presencia de precipitaciones todo el año, aunque de todas formas presenta estacionalidad. Otra característica corresponde a que la temperatura media del mes más frío es inferior a 18°C y superior a -3°C, tal y como muestra el climograma de la Figura 2-11. En esta zona climática suele desarrollarse bosque templado y matorral. A diferencia del clima predominante en la zona, la precipitación del mes más seco en verano es inferior a un tercio de la del mes más lluvioso de invierno.

A continuación, la Figura 2-11 presenta el climograma obtenido de la integración de los productos grillados CR2MET sobre la cuenca.

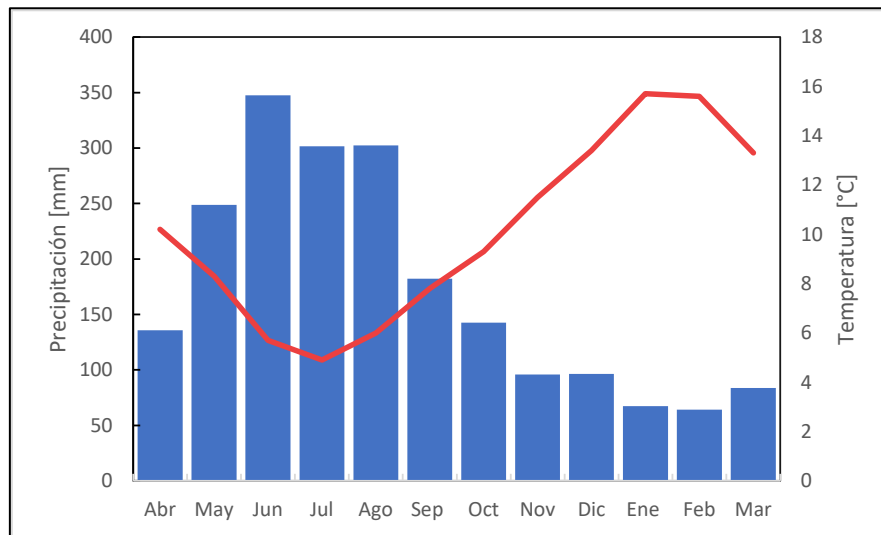


Figura 2-11. Climograma representativo cuenca Río Toltén. Integración producto CR2MET, intervalo 2010-2020.

Fuente: Elaboración propia, en base al producto grillado CR2MET.

Por último, se presentan los mapas de las principales variables meteorológicas obtenidos en base a un ajuste entre valores observados en estaciones meteorológicas y las series grilladas del CR2MET. En estas figuras se ve la distribución de precipitaciones y temperaturas medias anuales, las que presentan un gradiente longitudinal, probablemente debido al efecto orográfico. La metodología de ajuste se encuentra en el Anexo F, en el acápite 1.2.1.

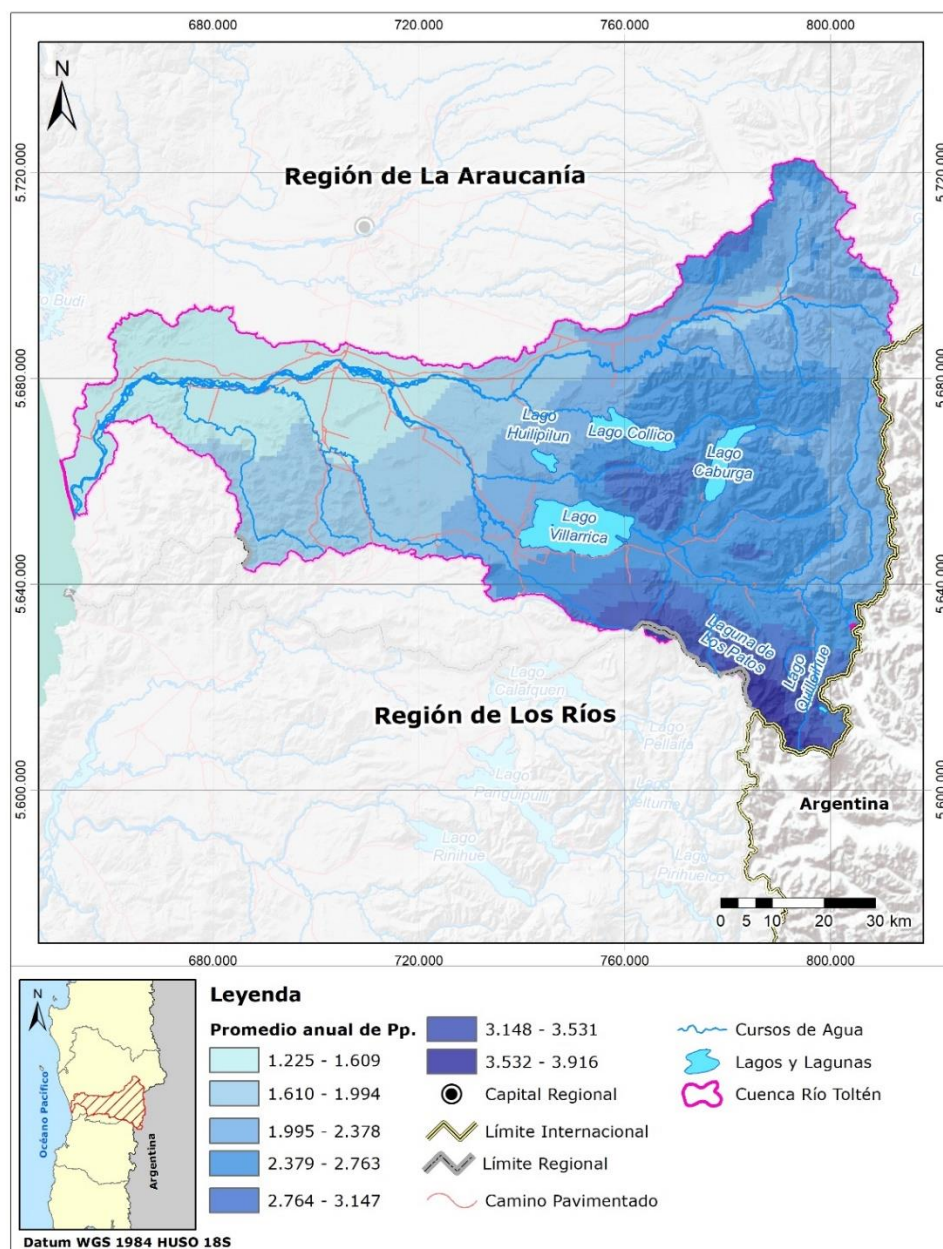


Figura 2-12. Promedio anual 1979-2015 precipitación. Producto grillado de la actualización balance hídrico.

Fuente: Elaboración propia a partir de producto grillado CR2MET.

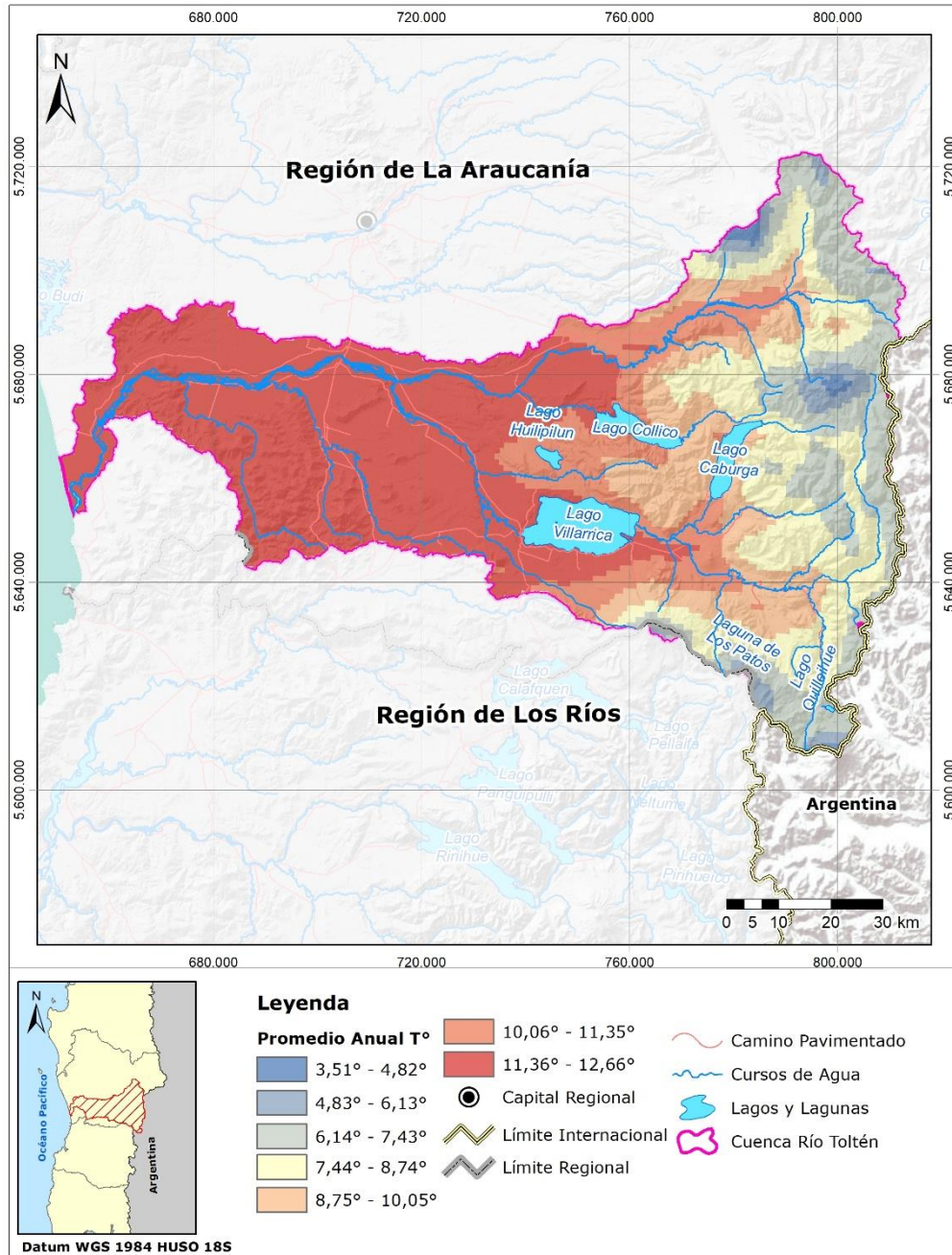


Figura 2-13. Promedio anual 1979-2015 temperatura. Producto grillado de la actualización balance hídrico.

Fuente: Elaboración propia a partir de producto grillado CR2MET.

2.2.2. Eventos extremos y variabilidad climática

La cuenca Río Toltén se encuentra en la macrozona definida como macrozona sur. A continuación, se presenta la Figura 2-14 descrita en Fuster (2017) que da cuenta de la división por macrozonas del país.

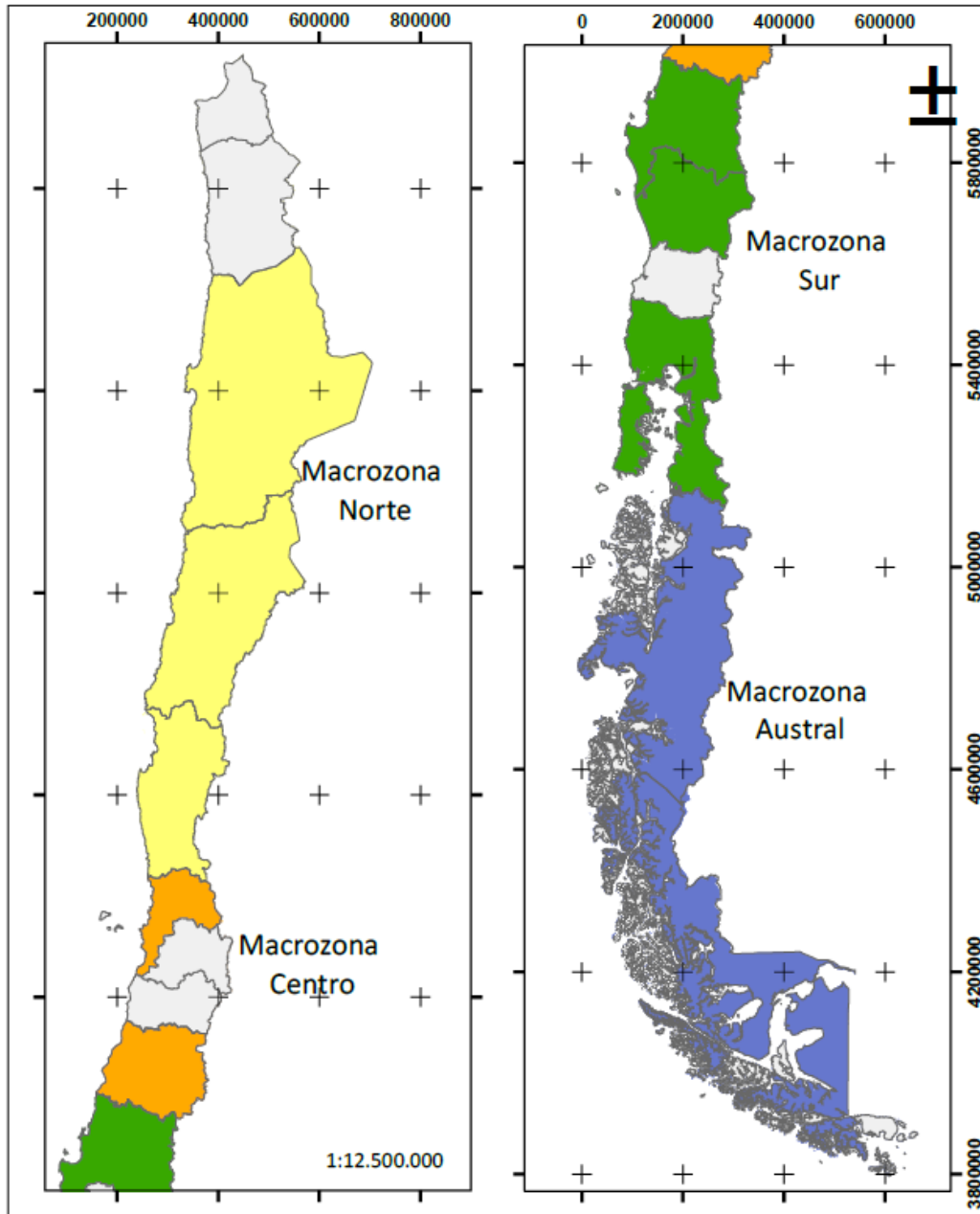


Figura 2-14. Macrozonas consideradas en el presente estudio para describir la situación actual de la Seguridad Hídrica y del cambio climático sobre los recursos hídricos

Fuente: Tomado de Fuster (2017).

Como fenómeno actual de interés climático, en general, Chile está siendo afectado por la denominada “megasequía” la cual se describe como una disminución de las tasas anuales de precipitación para el periodo 2006-2015 en relación con el valor observado 1990-1999.

Por otro lado, intentado describir el futuro climático de la cuenca Río Toltén, como se indica en Fuster et al., (2017) y Santibáñez et al., (2016) realizaron una proyección climática a escala comunal al año 2050, basado en 17 modelos de circulación general de la atmósfera (CGM), considerados en el Informe del IPCC (2013). El escenario modelado se generó considerando la concentración de gases de efecto invernadero 8,5 (por sus siglas en inglés RCP 8,5), es decir, considerando que la atmósfera terrestre absorberá y convertirá en calor 8,5 watts/m² en promedio. Fuster (2017) indica que este escenario de emisión de gases se consideró el más probable entre los cuatro propuestos por IPCC (2013). La modelación en este trabajo consideró las geofformas del territorio.

La Figura 2-15 muestra las proyecciones climáticas agregadas por macrozona por Fuster (2017), el cual señala que la información base utilizada para describir cada macrozona esta originalmente generada a nivel comunal por lo que la información mostrada es de carácter referencial y debe ser utilizada con precaución. De todas formas, según el estudio mencionado anteriormente, se prevé que para el periodo 2050 la temperatura media en la cuenca Río Toltén aumente aproximadamente entre 1,9 a 1,2 °C, mientras que la precipitación media disminuya en un 13% (macrozona sur), ambas variables respecto al periodo 1980-2010.

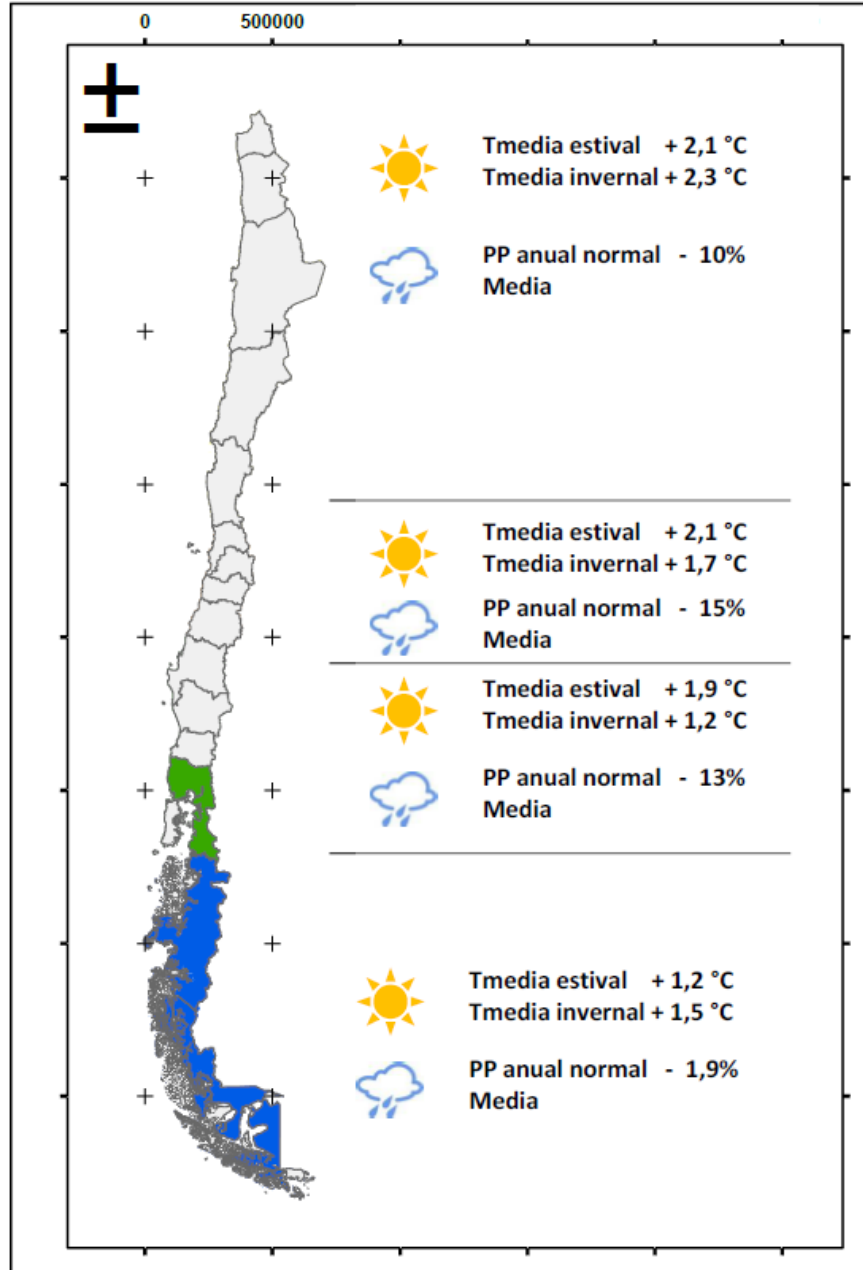


Figura 2-15. Cambios proyectados en las temperaturas medias estivales e invernales y precipitación promedio anual a 2050 en relación con el periodo 1980-2010 bajo escenario RCP 8.5 por macrozona basada en información base comunal.

Fuente: Tomado de Fuster (2017).

Como se indica en Fuster (2017), respecto a la variabilidad climática y eventos extremos, existe amplia evidencia científica que señala que las forzantes climáticas que modulan tanto las variaciones interanuales de precipitación y la frecuencia e intensidad de fenómenos hidrometeorológicos extremos en Chile son El Niño-Oscilación del Sur (ENSO), la Oscilación Decenal del Pacífico (PDO), y la Oscilación Antártica (AAO; Ministerio del Medio Ambiente, 2016). En el mismo estudio se señala que "al respecto, IPPC (2013), Garreaud et al. (2015), Boiser et al. (2016) entre otros autores han proyectado que el efecto del cambio climático sobre las forzantes antes mencionadas tendrá un impacto directo en la frecuencia e intensidad de eventos extremos tales como sequías e inundaciones". Aunque en Fuster (2017) no hacen referencia explícita a la macrozona sur, en la Figura 2-16 se muestra que en Chile Central, bajo el escenario de emisión RCP 8,5 se proyecta para el periodo 2050-2100 en relación al periodo histórico de 1950-2000 un aumento significativo en el periodo de recurrencia de eventos de sequías de tres años o más de duración, lo que según lo señalado anteriormente, es extrapolable a la macrozona sur de la que es parte la cuenca Río Toltén, aunque con variaciones debido al cambio de zona geográfica.

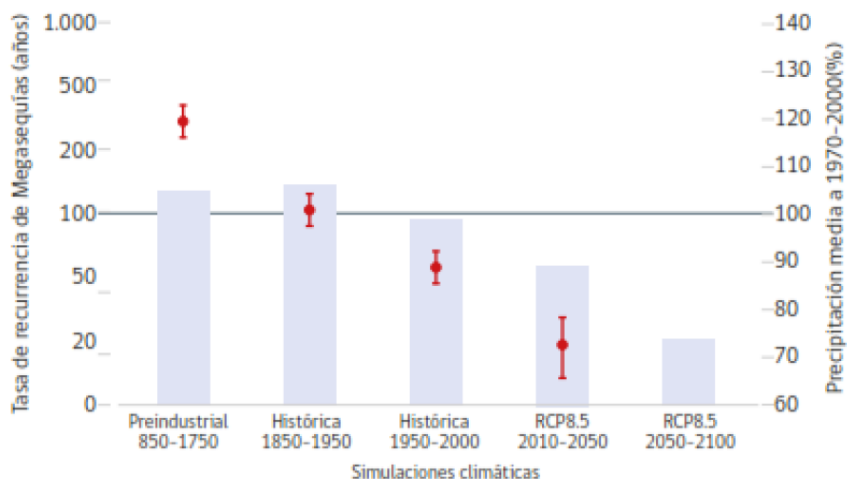


Figura 2-16. Periodo de recurrencia en años de una sequía (>30% de déficit de precipitación en Chile central) de tres o más años de duración empleando siete modelos climáticos para los periodos preindustrial (850-1750) histórico (1850-1950; 1950-2000) y futuro (2010-2050;2050-2100).

Fuente: Tomado de Fuster (2017).

2.2.3. Escenarios de cambio climático

La selección de los modelos de circulación general (GCM en inglés) para el estudio se enmarca en la metodología empleada en la actualización del Balance Hídrico Nacional (DGA, 2017a) (para mayor información ver "Anexo J- Capítulo 6"). La Figura 2-17 presenta la comparación de Modelos GCM entre sus propios periodos futuros e históricos.

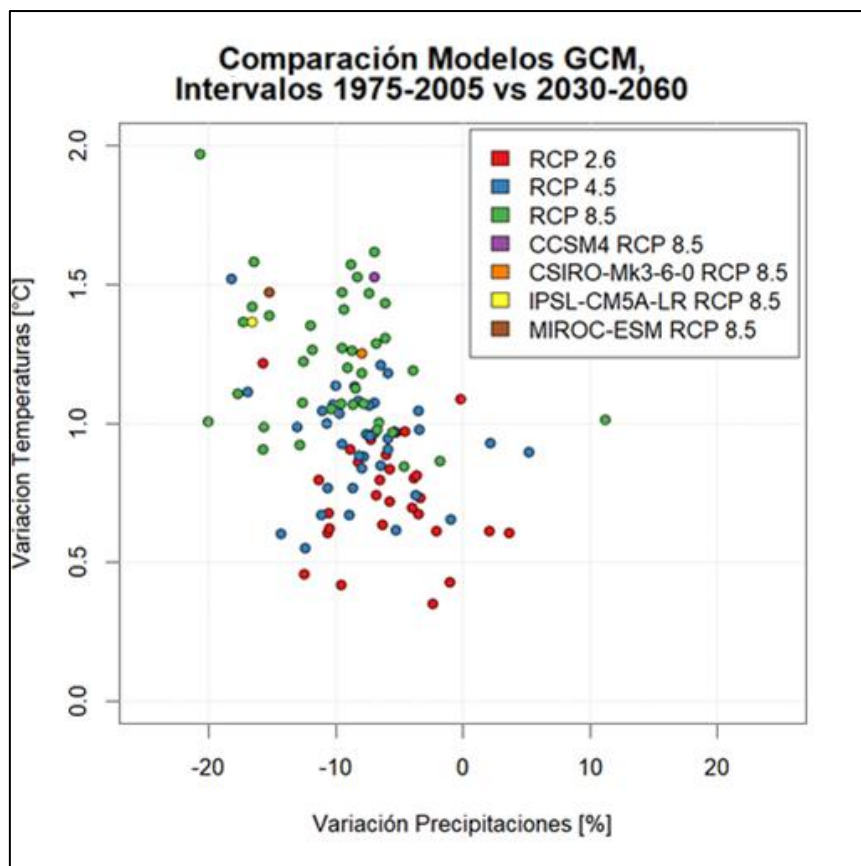


Figura 2-17. Comparación de GCM. Los destacados corresponden a los utilizados por el BHN.

Fuente: Elaboración propia a partir de GCMs alojados en el servidor del CR2.

Se aprecia que en términos generales, los escenarios de cambio climáticos que se consideraron para la elaboración de este plan se ubican en entre los escenarios extremos, evidenciando un aumento de la temperatura entre 1,0°C y 1,5°C y una disminución de la precipitación entre un 5% y 15%.

2.3. DIMENSIÓN AMBIENTAL

En esta sección se presentan las unidades ecosistémicas que contienen los ecosistemas terrestres y acuáticos de la cuenca. Finalmente se presentan las áreas bajo protección oficial y otras, siempre evaluando la relación (si la hubiere) de cómo la conservación de ecosistemas terrestres impacta sobre la conservación de ecosistemas acuáticos.

En la segunda sección de este acápite se describen los glaciares presentes en la cuenca Río Toltén.

2.3.1. Unidades ecosistémicas

Dentro de las unidades ecosistémicas que se abordan en este plan se consideran los ecosistemas terrestres a través de los pisos vegetaciones Luebert y Pliscoff (2020), los ecosistemas acuáticos a través de la descripción del Inventario Nacional de Humedales (MMA, 2020a), para profundizar en las especies dulceacuícolas reportadas. Finalmente, se describen las áreas de conservación en la cuenca, tanto las Áreas Silvestres Protegidas como otras áreas de conservación.

2.3.1.1. Ecosistemas terrestres

Según Luebert y Pliscoff (2020), la cuenca se presenta con 9 tipos de pisos vegetacionales de comunidades potenciales en la cuenca Río Toltén (Tabla 2-4 y Figura 2-18). La gran mayoría de la cuenca puede ser descrita por los pisos de bosque caducifolio (7.212,21 km²; 88,05%), seguido por piso de bosque resinoso (819,72 km²; 10,01%). Se presenta muy poca cobertura potencial de bosque laurifolio (30,15 km²; 0,37%) y de bosque siempreverde (128,98 km²; 1,57%). En el Anexo J Descripción y Diagnóstico sección 8.1 se describen los pisos vegetaciones agrupados por las formaciones de vegetación que les caracteriza.

Tabla 2-4. Tipos de pisos vegetacionales y sus extensiones geográficas dentro de la cuenca Río Toltén.

Piso vegetacional	Área total [km ²]	Porcentaje de cuenca [%]
Bosque caducifolio templado andino de <i>Nothofagus alpina</i> y <i>Dasyphyllum diacanthoides</i>	1.006,27	12,28
Bosque caducifolio templado andino de <i>Nothofagus alpina</i> y <i>N. dombeyi</i>	475,65	5,81
Bosque caducifolio templado andino de <i>Nothofagus pumilio</i> y <i>Araucaria araucana</i>	1.332,22	16,26
Bosque caducifolio templado andino de <i>Nothofagus pumilio</i> y <i>Azara alpina</i>	482,00	5,88
Bosque caducifolio templado de <i>Nothofagus obliqua</i> y <i>Laurelia sempervirens</i>	3.913,60	47,78
Bosque caducifolio templado de <i>Nothofagus obliqua</i> y <i>Persea lingue</i>	2,48	0,03
Bosque laurifolio templado interior de <i>Nothofagus dombeyi</i> y <i>Eucryphia cordifolia</i>	30,15	0,37
Bosque resinoso templado andino de <i>Araucaria araucana</i> y <i>Nothofagus dombeyi</i>	819,72	10,01
Bosque siempreverde templado andino de <i>Nothofagus dombeyi</i> y <i>Gaultheria phillyreifolia</i>	128,98	1,57

Fuente: Elaboración propia, basado en Luebert & Pliscoff (2020).

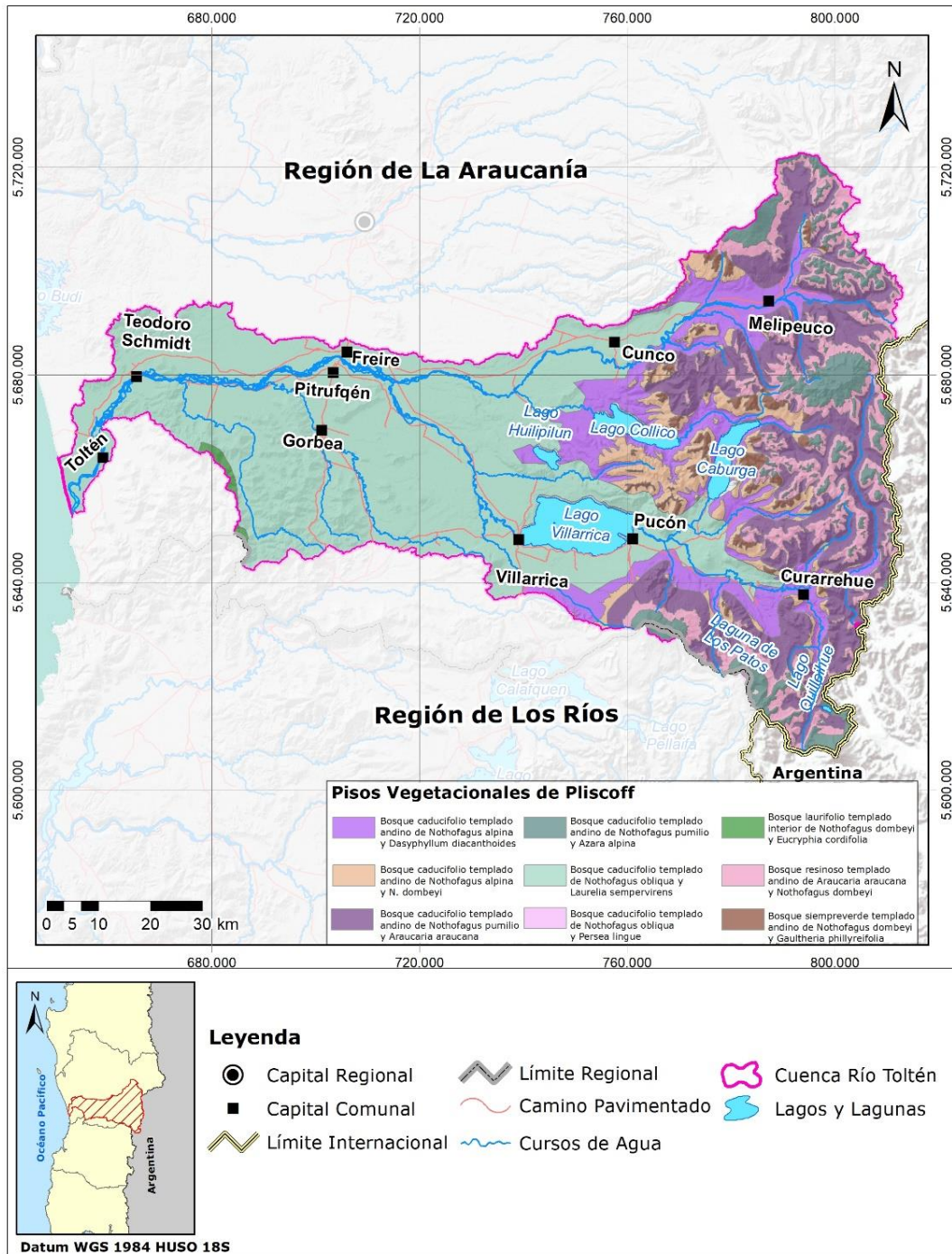


Figura 2-18. Tipos de pisos vegetacionales en la cuenca Río Toltén.

Fuente: Elaboración propia, basado en Leubert & Plissock (2020).

2.3.1.2. Ecosistemas acuáticos o dulceacuícolas

De acuerdo con una mirada global, los humedales conforman un paisaje que presenta agua estancada por un periodo del año. Los humedales tienen varias funciones ecológicas, proveen muchos servicios ecosistémicos (Anexo J, Descripción y Diagnóstico, Capítulo 8.3) y proveen un apoyo significativo en mantener el caudal base en los Ríos (Lacy, 2020).

De acuerdo al Inventario Nacional de Humedales (MMA, 2020a), la cuenca Río Toltén es dominada por áreas inundadas en forma permanente (Figura 2-19) y es dominada con la presencia de lagos y lagunas (31.706,20 ha) y de los Ríos que los conectan (14.167,44 ha). Se presenta relativamente menos área con inundaciones en forma andina (235,81 ha) o costera (intermareales; 507,18 ha). También, se presentan 3 tranques dentro de la cuenca, pero su extensión es muy baja (2,88 ha). Estos tranques pueden funcionar como hábitat dulceacuícola, especialmente para plancton y macroinvertebrados.

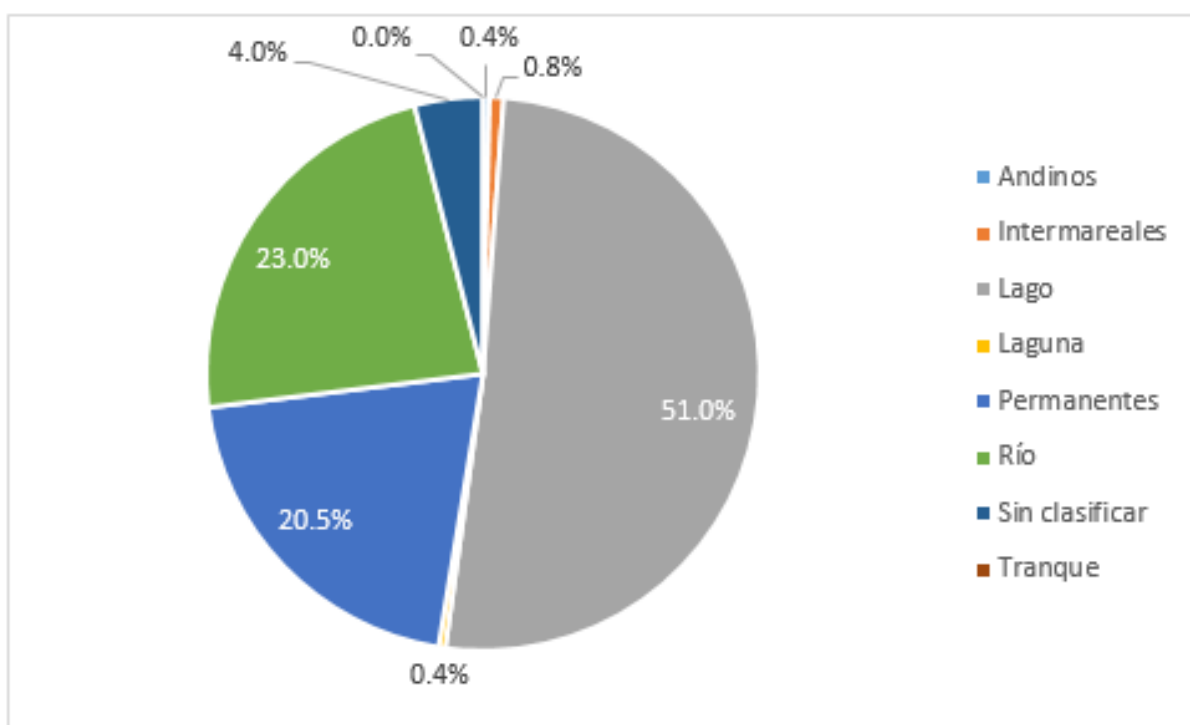


Figura 2-19 Superficie de áreas inundadas (humedales) dentro de la cuenca Río Toltén.

Fuente: Elaboración propia, basado en MMA (2020a).

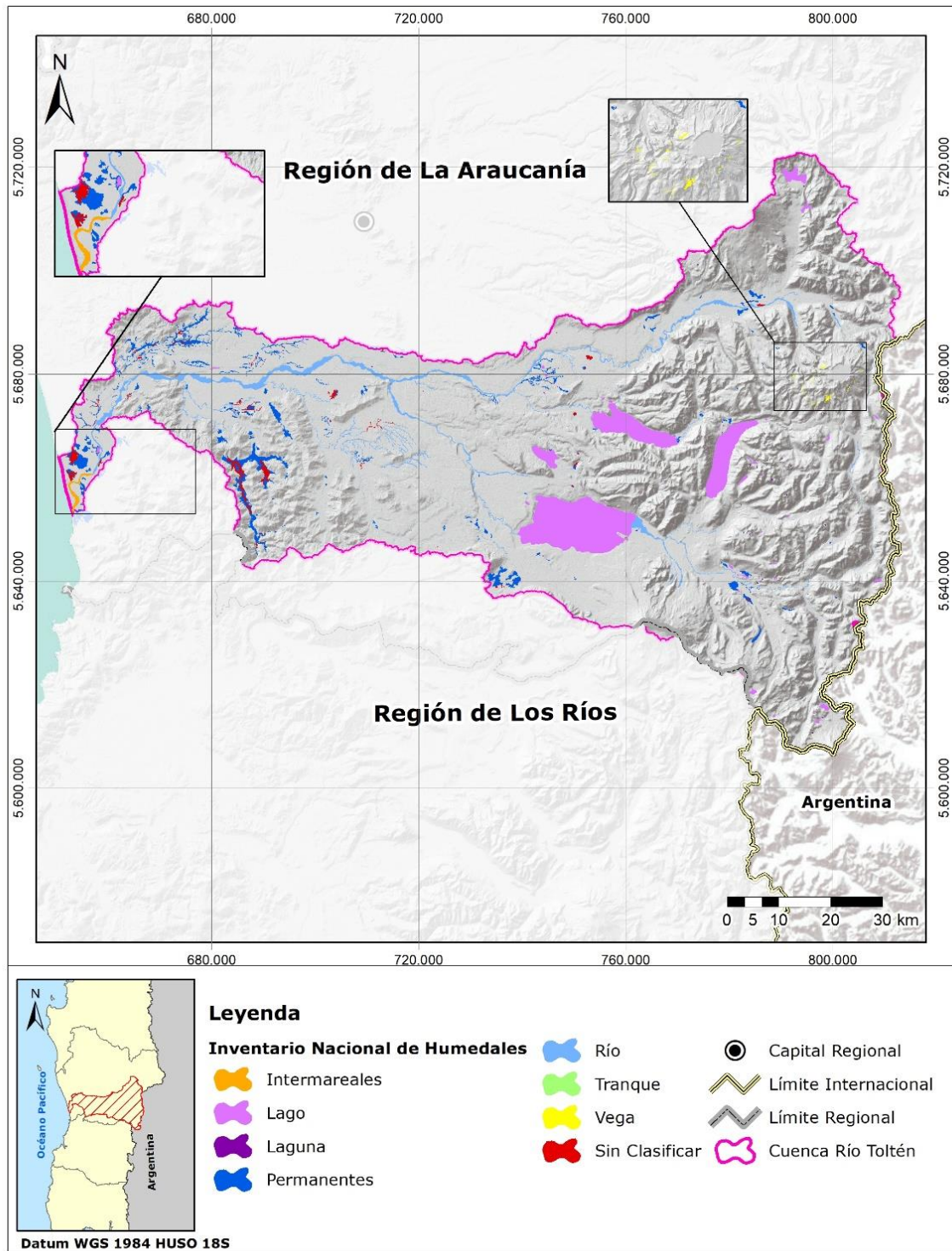


Figura 2-20. Tipos de territorios inundados dentro de la cuenca Río Toltén, según el Inventario Nacional de Humedales.

Fuente: Elaboración propia, basado en MMA (2020a).

Finalmente, es importante destacar que los humedales permanentes en el sector de desembocadura del Río Toltén se caracterizan por poseer una gran extensión de humedales permanentes (Figura 2-20). Según Portal GEOMIN (2020), la geología superficial de esta zona indica sedimentos fluviales y depósitos fluvio-glaciares. Debido a esto, es posible que puedan formar humedales debido a una conexión más directa a la mesa de agua en la zona.

2.3.1.3. Especies dulceacuícolas

Entre los estudios que describen las especies dulceacuícolas a nivel de cuenca, basada en subcuencas, se destacan los datos conjuntos generados por SERNAPESCA (2021) y el Ministerio de Energía (2016). La información que se presenta a continuación se basa en la perspectiva que corresponde a la cadena alimenticia y el flujo de carbón entre ella. Los flujos de carbono se derivan en última instancia de fuentes vegetales, pero a diferencia de los sistemas terrestres, la mayoría de la fotosíntesis acuática ocurre en organismos unicelulares. En esta sección se resume la información que se encuentra disponible en el Anexo J de Descripción y Diagnóstico Sección 8.2.5.

En la cuenca Río Toltén se han realizado estudios continuos desde el año 2016 y la cantidad de puntos de muestreo ha variado desde 22 puntos a 15 y además se ha modificado la ubicación de estos puntos. En total, se identificaron 45 *taxa* representadas entre los sitios y etapas de muestreo. Los índices de diversidad biológica (H') y de equidad (J') indican que hay un buen nivel de diversidad y no hay dominancia de *taxa*. Se destaca que, en estas campañas, se encontraron sitios con la especie invasora *Didymosphenia geminata*.

A un nivel trófico sobre el fitobentos en la cadena alimentaria, se presentan organismos – típicamente multicelulares – que se alimentan de bacterias, algas, fitoplancton y zooplancton. En este nivel, se identificaron 54 *taxa* representadas entre los sitios y puntos de muestreo. Para los valores de diversidad (H') y equidad (J'), todos indican un buen nivel de diversidad ecológica y, no se presentó tanta dominancia de una *taxa*, pero se presentaron algunos *taxa* que eran más representadas entre las 54 identificadas.

Avanzando en la cadena trófica, los peces se encuentran típicamente "encima" de los macroinvertebrados acuáticos. La comunidad de peces dulceacuícolas que se encuentra en la cuenca Río Bueno son parte de la ecorregión dulceacuícola "Bosques Valdivianos" (Abell *et al.*, 2011). Se destaca con gran relevancia la presencia de 15 especies nativas muestreadas. Entre ellos, 1 es clasificado como "preocupación menor" por el MMA. Todos los otros tienen un nivel de conservación asociado; 6 tiene clasificación "vulnerable"; 1 tiene clasificación "casi amenazada" y 7 tiene clasificación "amenazada." Además, hay 2 especies de salmonidae con observaciones de presencia dentro de la cuenca.

Tabla 2-5 Peces de aguadulce presente dentro de la cuenca Río Toltén

Familia	Nombre Científico	Nativo?	Nivel de Conservación
Galaxiidae	<i>Aplochiton taeniatus</i>	Sí	EN A2ce
Galaxiidae	<i>Aplochiton zebra</i>	Sí	EN A2ce
Atherinopsidae	<i>Basilichthys microlepidotus</i>	Sí	VU A2bce; B2ab(iii)
Trichomycteridae	<i>Bullockia maldonadoi</i>	Sí	EN B2ab(iii)
Characidae	<i>Cheirodon australe</i>	Sí	VU B2ab(iii)
Diplomystidae	<i>Diplomystes camposensis</i>	Sí	EN B2ab(iii)
Diplomystidae	<i>Diplomystes nahuelbutaensis</i>	Sí	EN B2ab(iii)
Galaxiidae	<i>Galaxias maculatus</i>	Sí	LC
Petromyzontidae	<i>Geotria australis</i>	Sí	VU B1ab(iii)+2ab(iii)
Mordaciidae	<i>Mordacia lapicida</i>	Sí	EN A2bce
Atherinopsidae	<i>Odontesthes mauleanum</i>	Sí	VU A2bce
Percichthyidae	<i>Percichthys melanops</i>	Sí	VU B2ab(ii,iii)
Percichthyidae	<i>Percichthys trucha</i>	Sí	NT
Percichthyidae	<i>Percilia gillissi</i>	Sí	EN A2ce
Salmonidae	<i>Salmo trutta</i>	No	-
Salmonidae	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	No	-
Trichomycteridae	<i>Trichomycterus areolatus</i>	Sí	VU A2be

EN: Amenazada; LC: Preocupación menor; NT: Casi amenazada; VU: Vulnerable; A2: Una reducción en la población inferida o sospechada de 30% en los últimos 10 años o tres generaciones, cualquiera que sea el período más largo, donde la reducción, o sus causas, pueden no haber cesado, y pueden no ser reversibles, basada en lo siguiente: A2b: la especie presenta según índice de abundancia muestreado, una reducción de la población de un 48,7% en los últimos 10 años A2c: una reducción del área de ocupación, extensión de presencia y/o calidad del hábitat; A2e: efectos de taxones introducidos, depredación, patógenos o parásitos; B1: extensión de presencia menor a 20.000 km²; B1a: se conoce en menos de 10 localidades; B1b(iii) disminución de la calidad del hábitat por perturbación y transformación de su área de ocupación, derivada de la degradación por acción antrópica (especies introducidas, contaminación con pesticidas y materia orgánica, represas de centrales y bocatomas); B2: área de ocupación menor a 2000 km² y estimada menor a 200 km²; B2a: se sabe que no existe en más de 10 localidades. Posiblemente más de seis localidades no más de diez; B2b(iii): disminución de la calidad del hábitat por perturbación y transformación de su área de ocupación, derivada introducción de especies exóticas invasoras. (Según Reglamento de Clasificación de Especies Silvestres).

Fuente: Elaboración propia, basado en Ministerio de Energía (2016).

2.3.1.4. Áreas bajo protección oficial y otras figuras de conservación

Dentro de la cuenca Río Toltén, hay una riqueza de territorios bajo diferentes formas de conservación de paisaje. La mayoría de los predios son de tipo “Áreas Protegidas Privadas” (APP), con 16 propiedades que cubren 4.505,88 ha dentro de la cuenca (Figura 2-21). Además, la cuenca contiene 517.364,30 ha de la Reserva de la Biósfera Bosques Templados Lluviosos (solo 45,29% de su extensión total) y un Sitio Prioritario sin efecto SEIA (4.339,86 ha). Estos Sitios Prioritarios no tienen protección oficial como las áreas del SNASPE. Entre las Áreas Silvestres Protegidas presentes en la cuenca se encuentran: 3 Parques Nacionales (82.890,19 ha) y dos Reservas Forestales (54.821,75 ha) (Tabla 2-6).

En adición a estas áreas orientados a la conservación de la naturaleza y la biodiversidad, se presenta una Zona de Interés Turística (134.455,33 ha), dos Áreas de Protección Turística (7.817,52 ha) y una Zona de Prohibición de Caza (10.574,41 ha). Estas áreas tienen distintos niveles de protección de la naturaleza.

Debido a la sobreposición de varias áreas de conservación, la totalidad de territorio bajo de un tipo u otro enfoque de conservación se expresa en 537.387,883 ha, o una totalidad de 63,16% de la cuenca. La gran mayoría de las áreas de conservación están ubicadas en la Cordillera de Los Andes.

En el Anexo J Descripción y Diagnóstico Capítulo 8.4 se describen cada una de las categorías de las áreas de conservación y otras que aplican a la cuenca Río Toltén, a través de fichas resumen.

Tabla 2-6. Tipos de áreas bajo de protección oficial y otras figuras de conservación del paisaje dentro de la cuenca Río Toltén.

Nombre	Tipo de Área Protegida	Área [ha]	Área en cuenca Río Toltén [ha]	% dentro de cuenca
Añihuerraqui - Pichitrancura	APP	202,27	202,27	100
Conservando Nuestro Patrimonio Silvestre		130,95	130,95	100
Corral del Agua		117,25	117,25	100
Flor del Lago		892,34	892,34	100
Kawelluco		422,48	422,48	100
Kitralma		122,23	122,23	100
La Baita Conguillío		31,75	31,75	100
Masampulli		882,02	882,02	100
Parque Cumbres de Namoncahue		57,03	57,03	100
Parque Ecológico Peumayén		52,45	52,45	100
Parque Namuncaí S.A.		155,15	155,15	100

Nombre	Tipo de Área Protegida	Área [ha]	Área en cuenca Río Toltén [ha]	% dentro de cuenca
Parque Saltos de Marimán		107,58	107,58	100
Rayen (antiguo Los Copihues)		188,26	188,26	100
Reserva Privada Madre Selva		394,57	394,57	100
Santuario El Cañi		503,46	503,46	100
Tinquilco (Juan Carlos Valdivia)		246,1	246,1	100
Conguillío	Parque Nacional	58.629,06	30.708,55	52,38
Huerquehue		11.954,33	11.954,33	100
Villarrica		53.282,35	40.227,31	75,5
Araucarias - Amortiguación	Reserva de la Biósfera	372.820,38	134.439,37	36,06
Araucarias - Nucleo		271.511,62	164.595,53	60,62
Araucarias - Transición		497.995,90	218.329,41	43,84
China Muerta	Reserva Forestal	8.529,24	8.501,70	99,68
Villarrica		46.590,85	46.320,06	99,42
Mahuidanche - Lastarria	Sitio Prioritario con efecto SEIA	4.339,86	4.339,86	100
Lago Budi/Lafkenmapu/Puerto Saavedra/Rios Imperial y Moncul	Área Prohibición de Caza	101.476,88	10.574,41	10,42
Camino longitudinal Chillan-Quellon	Área de Protección Turística	4.212,02	870,14	20,66
Laguna Verde		515,42	515,2	99,96
Lago Villarrica		6.438,58	6.432,18	99,9
Araucanía Lacustre	ZOIT	149.630,00	134.455,33	89,86

Fuente: Elaboración propia.

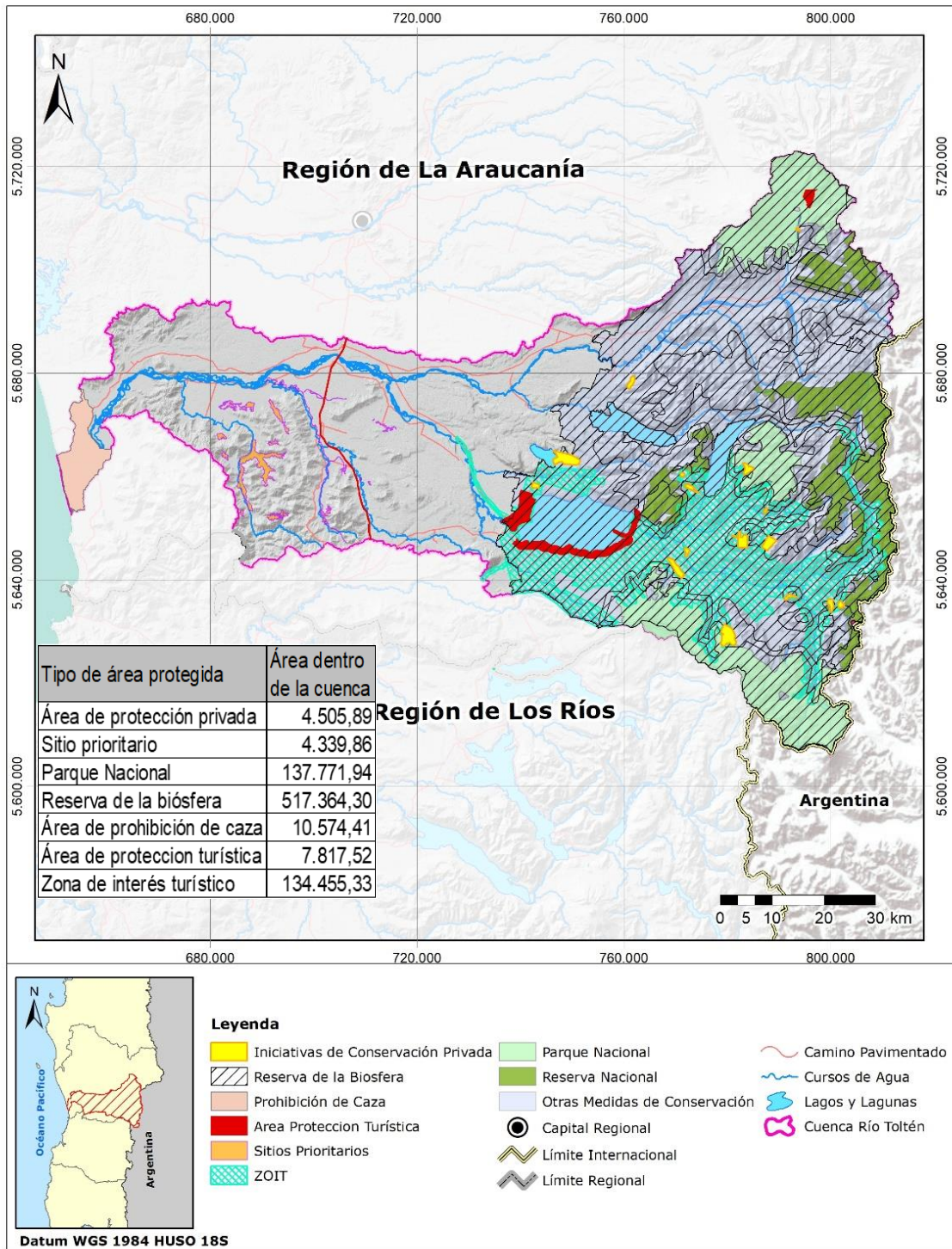


Figura 2-21. Áreas de conservación dentro de la cuenca Río Toltén.

Fuente: Elaboración propia, basado en SINIA (2020).

2.3.2. Glaciares

La cuenca Río Toltén presenta 96 glaciares. Los 96 glaciares se encuentran asociados a la zona glaciológica de Zona Sur, y se presentan únicamente en las subcuencas que contienen la Cordillera de los Andes (Figura 2-22). La mayor cantidad de glaciares de montaña están en las laderas de los volcanes Sollipulli y Llaima. El sector del Lago Villarrica y Toltén Alto también tiene una gran extensión de glaciares en las laderas de volcanes Lanín, Quetrupillán y Villarrica.

De las 7.190,32 ha de glaciares identificadas dentro de la cuenca Río Toltén, la mayoría corresponde a glaciares de montaña (6.957,55 ha), mientras que sólo 232,7 ha corresponden a Glaciaretas. Por otra parte, 704,38 hectáreas (10,70%) no están ubicados dentro de un área bajo de conservación oficial (sección 2.3.1.4). Si se considera las Zona Núcleo de la Reserva de la Biósfera "Araucarias" dentro de la cuenca Río Toltén, se cubrirá esos glaciares restantes.

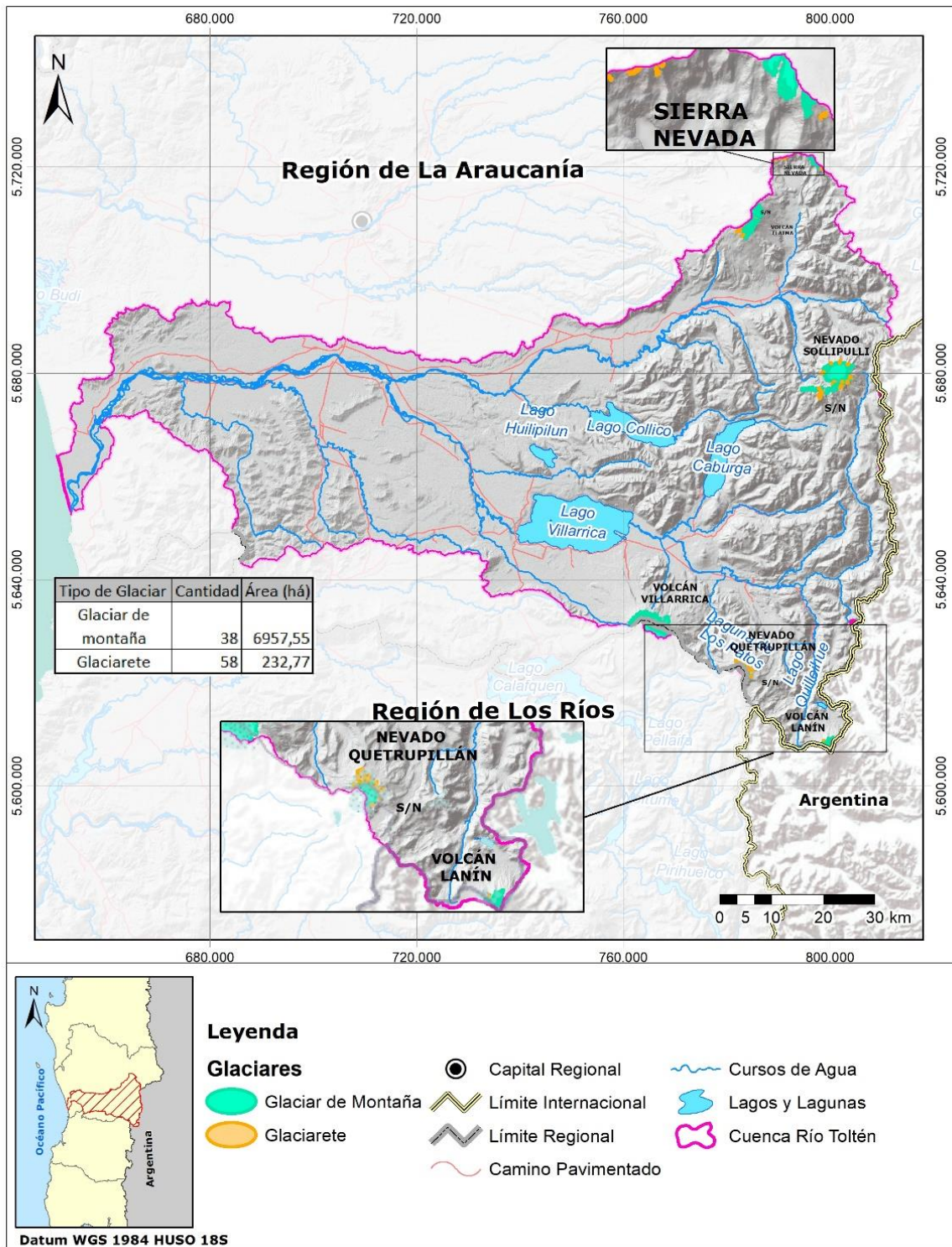


Figura 2-22. Glaciares dentro de la cuenca Río Toltén.

Fuente: Elaboración propia, basado en DGA (2015).

2.4. INFRAESTRUCTURA HÍDRICA

2.4.1. Obras hidráulicas

2.4.1.1. Canales de riego

Esta cuenca no posee embalses ni canales de trasvase, las obras hidráulicas presentes hacen alusión a 3 canales de riego: Canal Faja Maisan, Canal Allipén, canal Coilaco. Con un total de 228.6 km (CNR, 2017).

El canal Allipén maneja un caudal total de 15.5 m³/s para regar suelos agrícolas de la comuna de Cunco y Freire con una superficie de 25.000 há. El canal matriz es de tierra y presenta un estado de mantención regular (CNR, 2017). Recientemente, esta asociación se adjudicó un fondo que corresponden al revestimiento de 785 metros del canal Huilio; entubamiento de 975 metros del Canal Colonia Uno y revestimiento de 967 metros del Canal Santa Ana

El canal Faja Maisan capta las aguas 1 km aguas debajo de Pitrufquén con un caudal de 7.5 m³/s. El canal principal está revestido de hormigón y tiene una longitud de 17.2 km y de él derivan los canales de Comuy y Mahidanche con una longitud de 10 km y 15 km, respectivamente. Toda la red de canales tiene una longitud igual a 132.2 km (INIA, 2018) abasteciendo a una superficie potencial igual a 7.100 há

El Canal Coilaco presenta una capacidad de porteo de 1.7 m³/s con una longitud de 12.2 km sin revestir y un estado de mantención regular (CNR, 2017). Beneficia a 1.500 há.

Canal Lumaco presenta una capacidad de porteo de 0.297 m³/s con una longitud del canal matriz igual a 12.6 km, sin revestir en su totalidad y un estado de mantención regular. Beneficia a 150 há (CNR, 2017).

2.4.1.2. Bocatomas

Las bocatomas presentes en esta cuenca son principalmente asociadas a canales de riego, centrales hidroeléctricas y Pisciculturas. En términos generales, las bocatomas de centrales hidroeléctricas y pisciculturas se presentan en buen estado y su ubicación e identificación se abordan en los respectivos capítulos.

Respecto a bocatomas de riego, hay 31 bocatomas (CNR, 2013) todas con captación gravitacional y principalmente son obras sencillas (patas de cabras) asociadas a derechos de agua individuales. Las principales bocatomas están asociadas a los canales Allipén y Faja Maisan.

Tabla 2-7. Bocatoma del canal Allipén.

Obra	Descripción	Coordenadas (WGS 84)	
		Este	Norte
Bocatoma Canal Allipén	Diseño 15,5 [m ³ /s]	743.840	5.683.923

Fuente: Elaboración propia a partir de DGA (2020).

2.4.1.3. Embalses

La cuenca Río Toltén no presenta embalses, sin embargo, se han propuesto los siguientes embalses para la cuenca (CNR, 2017). Trumpulo y Huichahue (Comuna de Cunco), Zahuelhue, Tacura (comuna de Melipeuco), Pedregoso 1 y Pedregoso 2 (comuna de Villarrica), Long-Long1, Long-Long2 y Long-Long3 (comuna de Cunco), Challahuin, Cruces, Mahuidanche (Loncoche), Trancura (Curarrehue).

2.4.2. Redes de medición

En la cuenca existen dos grandes redes de monitoreo del recurso hídrico compuesta por estaciones administradas por la DGA, estaciones administradas por el INIA y piezómetros de la SISS. En total, la cuenca cuenta con 101 estaciones de monitoreo, compuesta por estaciones meteorológicas (36), fluviométricas (14), sedimentológicas (2), de calidad del agua (32) y piezométricas (17). Además, cuenta con estaciones de nivel de los lagos Caburgua y Villarrica.

Parte de esta red hidrométrica está conectada a tiempo real y puede ser visualizado en línea los datos obtenidos. De ella, 13 estaciones son administradas por la DGA (<https://snia.mop.gob.cl/sat/site/informes/mapas/mapas.xhtml>) y 11 estaciones están conectadas por el INIA (www.agrometeorología.cl)

2.4.2.1. Estaciones meteorológicas

En la cuenca hay 36 estaciones meteorológicas, 15 de las cuales son administradas por la DGA y 11 son administradas por la DMC y/o INIA (Figura 2-23). Estas se distribuyen en casi toda la cuenca a excepción de la cordillera de Mahuidanche (Cordillera de la Costa). (Detalles de las estaciones presentes puede verse en el Anexo J. Descripción y diagnóstico. Capítulo 9.2)

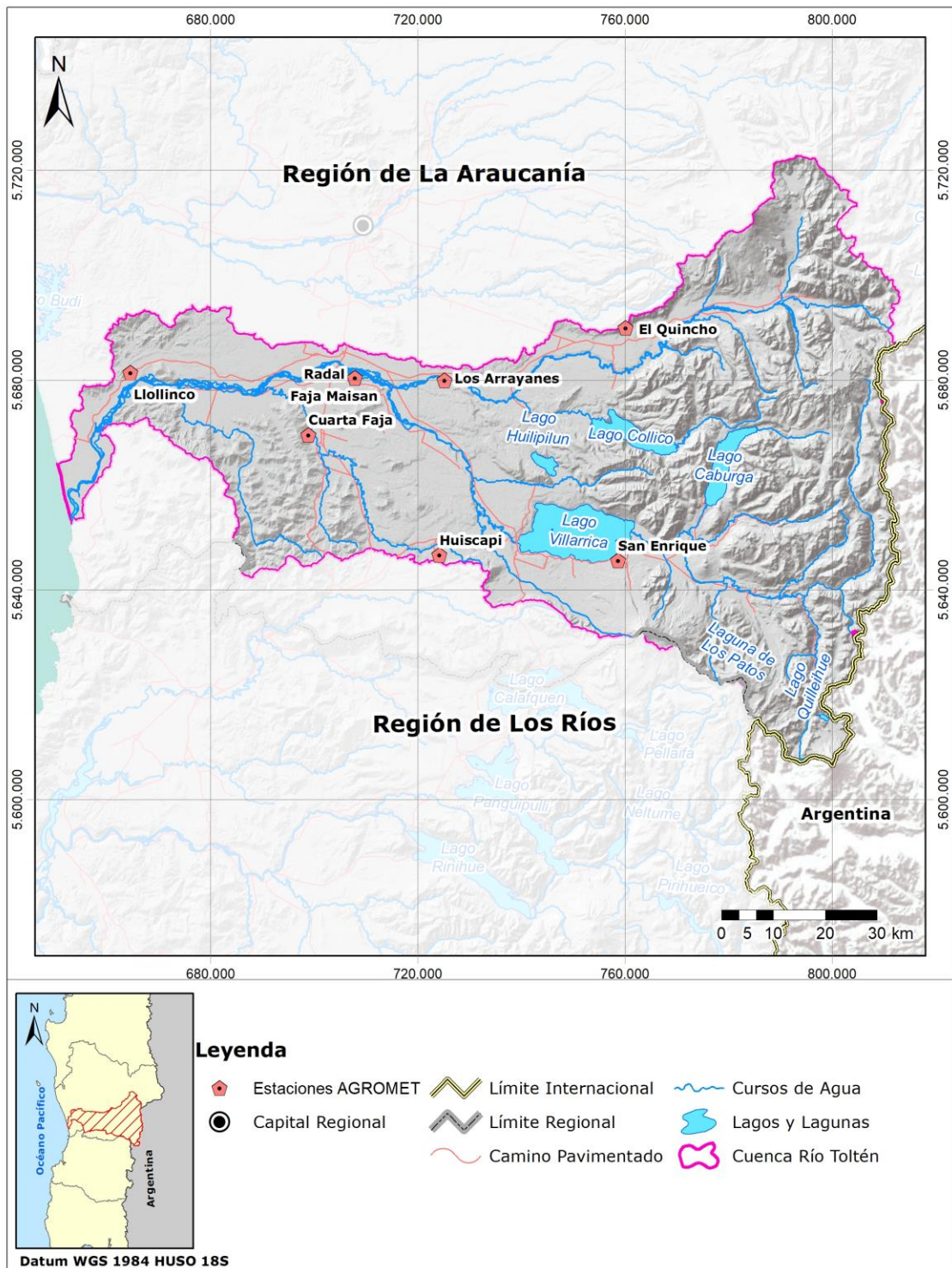


Figura 2-23. Ubicación de estaciones meteorológicas Afromed presentes en la cuenca Río Toltén.

Fuente: Elaboración propia basado en agromet.cl (2021).

El detalle de las estaciones que componen ambas redes de monitoreo en línea puede verse en Anexo J. Descripción y diagnóstico. Capítulo 9.2.1 y Capítulo 9.2.4.

2.4.2.2. Estaciones fluviométricas y fluviosedimentológicas

La cuenca Río Toltén presenta 14 estaciones fluviométricas y 2 estaciones fluviosedimentológicas. Para el presente estudio, se utilizaron 14 estaciones fluviométricas ubicadas en la cuenca Río Toltén. Estas se distribuyen en toda la cuenca, pero se evidencian Ríos afluentes al Río Toltén sin estación de monitoreo, como el Río Pedregoso, Río Longlong o Río Los Boldos- (Detalles de las estaciones presentes puede verse en el Anexo J. Descripción y diagnóstico. Capítulo 9.2)

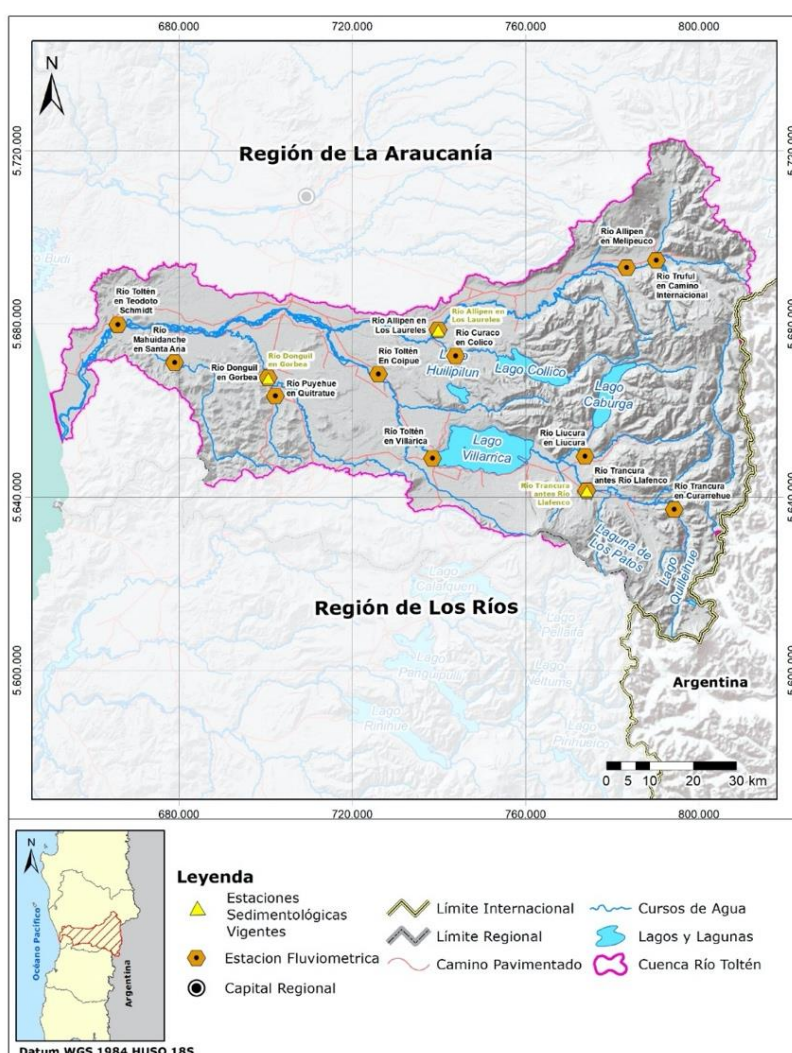


Figura 2-24. Ubicación de las estaciones fluviométricas y fluviosedimentológicas en la cuenca Río Toltén.

Fuente: Elaboración propia basada en Mapoteca DGA (2021).

2.4.2.1. Estaciones de niveles de acuífero

La cuenca cuenta con una red de 14 pozos de monitoreo de propiedad de la superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) y 3 pozos pertenecientes a la DGA. La base de datos de los pozos pertenecientes al SISS tiene información a partir del año 2012 hasta el año 2020. Los pozos DGA tienen información que abarca desde el año 2014 hasta el año 2020.

En la Figura 2-25 se presenta la distribución espacial de la red de monitoreo de niveles freáticos de aguas subterráneas en el Río Toltén, para el sector modelado subterráneamente.

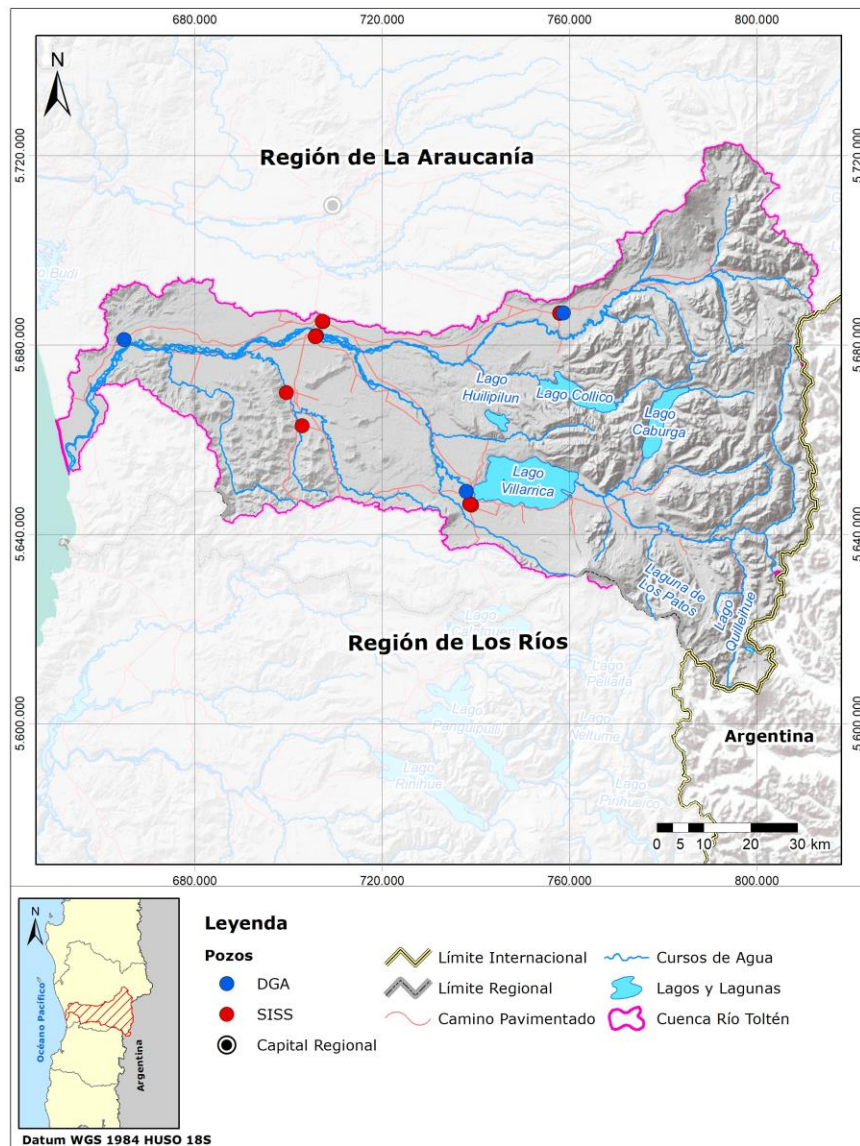


Figura 2-25. Ubicación de los piezómetros presentes en la cuenca Río Toltén.
Fuente: Elaboración propia, información SISS y DGA (2021).

2.4.2.2. Estaciones de calidad del agua

Dentro de la red de calidad de agua superficial de la DGA se presentan 31 estaciones de calidad de agua superficial. Se destaca que existe una concentración de monitoreo dentro de lagos, con 18 estaciones en los lagos Caburgua, Colico y Villarrica, en comparación con 13 estaciones de Ríos.

Entre las 31 estaciones de calidad de agua superficiales, 29 tiene datos de al menos un día muestreado de cualquier año y 21 estaciones al menos un día muestreado entre la última década (2011 – 2020) (Figura 2-26). Debido a la distribución temporal de los datos se observan cuatro periodos de expansión de monitoreo de aguas superficiales: entre los años 1969-1972, con la inauguración de 8 estaciones; entre los años 1984-1986, con la inauguración de 6 estaciones; el año 2001, con 4 estaciones y entre los años 2011-2012, con 10 estaciones. Mayor descripción sobre esta descripción temporal se encuentra en el Anexo J Descripción y Diagnostico sección 7.1 y los datos sistematizados se pueden revisar en el Apéndice J.5.

Los parámetros que son evaluados en estas 31 estaciones varían según el tipo de ecosistema. En la Tabla 2-8 se presentan los parámetros que evalúan las normas NCh409/01 y NCh 1333 en comparación a los parámetros evaluados para Ríos y lagos. En ella se observa que todos los 53 parámetros son evaluados ya sea por mediciones en Ríos o lagos. Las evaluaciones de calidad de agua en Ríos presentan 48 parámetros, aunque sea una sola medición, mientras que en lagos se evalúan 17 parámetros en total. Además, entre Ríos y lagos sólo se evalúan algunos parámetros en común, por ejemplo, parámetros *in situ* y algunos nutrientes (Nitratos, Nitritos, Nitrógeno Total).

Tabla 2-8. Comparación de parámetros de calidad de agua superficial evaluados entre Ríos y lagos en la cuenca Río Toltén.

Nombre parámetro	Sigla	Ríos	Lagos	Nombre parámetro	Sigla	Ríos	Lagos
Plata	Ag	X		Carbonato de Litio	LitioC	X	
Aluminio	Al	X		Magnesio	Mg	X	
Arsénico	As	X		Manganeso	Mn	X	
Boro	B	X		Molibdeno	Mo	X	
Bario	Ba	X		Nitrógeno	N		X
Berilio	Be	X		Sodio	Na	X	
Bromo	Br	X		Sodio Porcentual	Na%	X	
Calcio	Ca	X		Nitrato	NO ₃	X	X
Cadmio	Cd	X		Amonio	NH ₃ -N		X
Clorofila a	Chl a	X	X	Nitrito	NO ₂	X	X
Cloro	Cl	X		Nitrógeno de Kjeldahl	N-Kjeldahl		X
Cianuro	CN	X		Nitrógeno Total	NO ₂ + NO ₃	X	X
Cobalto	Co	X		Níquel	Ni	X	
Dióxido de Carbono	CO ₂	X		Oxígeno Disuelto	OD	X	X
Trióxido de Carbono	CO ₃	X		Porcentaje de OD	OD%	X	X
Cromo	Cr	X		Plomo	Pb	X	
Cobre	Cu	X		pH	Ph	X	X
Conductividad Eléctrica	CE	X	X	Fosfato*	PO ₄	X	X
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO ₅	X	X	Selenio	Se	X	
Demanda Química de Oxígeno	DQO	X	X	Sílice	Si		X
Fluoruro	F	X		Sulfato	SO ₄	X	
Hierro	Fe	X		Temperatura	T°	X	X
Bicarbonato	HCO ₃	X		Solidos Disueltos Totales	TDS	X	
Mercurio	Hg	X		Turbidez	Turb		X
Yodo	I	X		Vanadio	V	X	
Potasio	K	X		Zinc	Zn	X	
Litio	Li	X					
					TOTAL	48	17

X: indica que el parámetro es evaluado en alguna oportunidad durante el monitoreo o la medición puntual

*: se evalúan dos formas de Fosfato

Fuente: Elaboración propia en base a DGA (2016) y DGA (2021a).

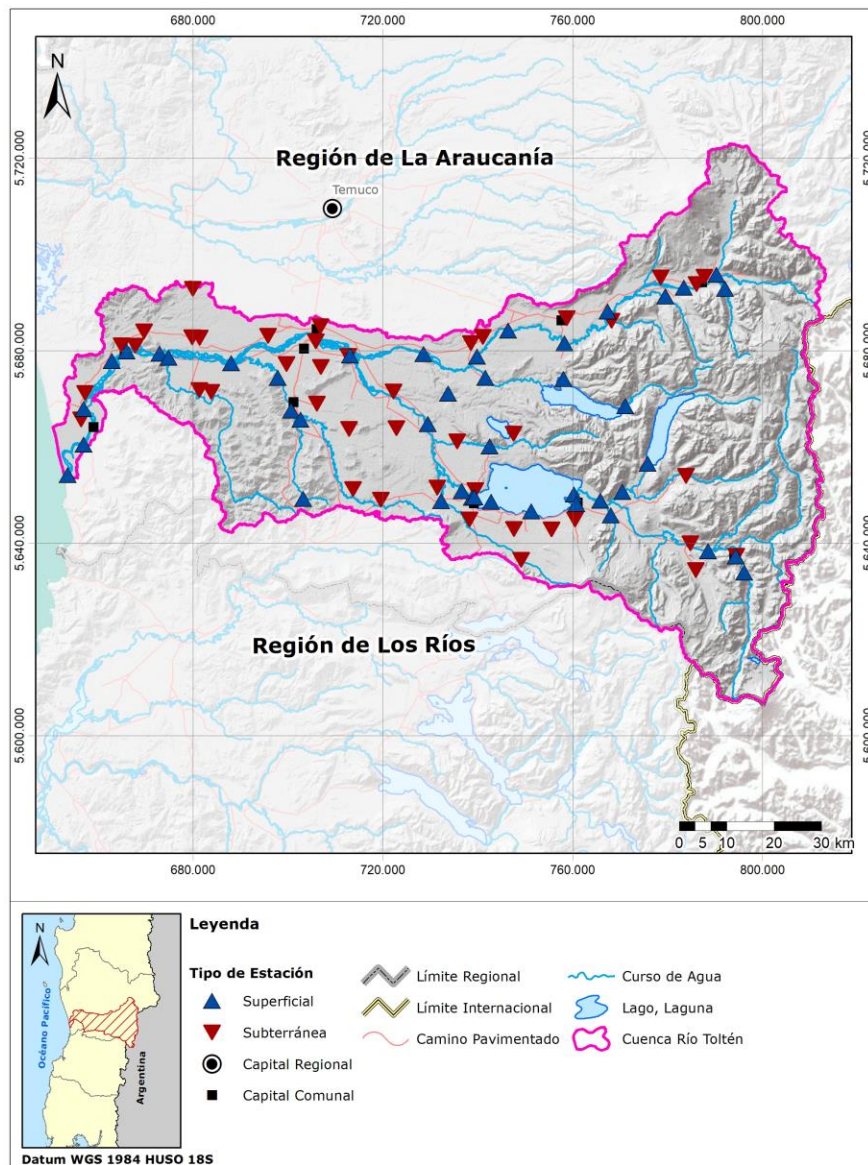


Figura 2-26. Ubicación de las estaciones de calidad de agua en la cuenca Río Toltén.

Fuente: Elaboración propia, basado en DGA (2016) y DGA (2021a).

A la fecha, en la cuenca Río Toltén no se presenta un programa de monitoreo de la calidad de agua subterránea de la DGA. No obstante, el informe técnico "Estudio hidrogeológico Región de la Araucanía" (DGA 2016) presenta 42 puntos de muestreo de aguas subterráneas durante los años 2013 y 2014 (Figura 2-26). En la Tabla 2-9 se presenta la cantidad de puntos de muestreo del estudio SIT 396 por SHAC. Se observa que los tres SHAC presentan datos, no obstante, la mayor parte se encuentra en Toltén Alto y Toltén Medio.

Tabla 2-9. Número de puntos de muestreo de calidad de agua subterránea con datos durante los años 2011-2020 dentro de cada subcuenca del sistema hidrográfico Río Toltén.

Nombre de SHAC	Código SHAC	Nº de puntos de muestreo SIT 396
Toltén Alto	SHAC-9-08-403	21
Toltén Medio	SHAC-9-10-405	19
Toltén Bajo	SHAC-9-09-404	2
Cantidad total de estaciones		42

Fuente: Elaboración propia basada en DGA (2016).

Según el reporte DGA (2018) "Programa plurianual de monitoreo de pozos APR (2018-2021)," la DGA presenta planes para aumentar su red de monitoreo dentro de la Región de la Araucanía, usando el estudio DGA (2016) como base. Con ello se busca robustecer los puntos de monitoreo de calidad de agua subterránea dentro de la región, con al menos 32 estaciones basadas en la infraestructura disponible de los Servicios Sanitarios Rurales (SSR).

Respecto a los parámetros medidos por el Informe SIT 396 (DGA 2016) se cuenta con 43 parámetros de calidad de agua subterránea evaluados a partir de dicho estudio (Tabla 2-10), que son diez parámetros menos que el total de parámetros entre las normas de calidad de agua.

Tabla 2-10. Parámetros de calidad de agua subterránea evaluada en la cuenca Río Toltén, basado en el estudio SIT 396 (DGA, 2016).

Nombre parámetro	Sigla	Agua subterránea	Nombre parámetro	Sigla	Agua subterránea
Plata	Ag	X	Carbonato de Litio	LitioC	X
Aluminio	Al	X	Magnesio	Mg	X
Arsénico	As	X	Manganeso	Mn	X
Boro	B	X	Molibdeno	Mo	X
Bario	Ba	X	Nitrógeno	N	
Berilio	Be	X	Sodio	Na	X
Bromo	Br	X	Sodio Porcentual	Na%	X
Calcio	Ca	X	Nitrato	NO ₃	X
Cadmio	Cd	X	Amonio	NH ₃ -N	X
Clorofila a	Chl a		Nitrito	NO ₂	
Cloro	Cl	X	Nitrógeno de Kjeldahl	N-Kjeldahl	
Cianuro	CN	X	Nitrógeno Total	NO ₂ + NO ₃	
Cobalto	Co	X	Níquel	Ni	X
Dióxido de Carbono	CO ₂	X	Oxígeno Disuelto	OD	X

Nombre parámetro	Sigla	Agua subterránea	Nombre parámetro	Sigla	Agua subterránea
Trióxido de Carbono	CO ₃		Porcentaje de OD	OD%	
Cromo	Cr	X	Plomo	Pb	X
Cobre	Cu	X	pH	Ph	X
Conductividad Eléctrica	CE	X	Fosfato*	PO ₄	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO ₅	X	Selenio	Se	X
Demanda Química de Oxígeno	DQO	X	Sílice	Si	
Fluoruro	F	X	Sulfato	SO ₄	X
Hierro	Fe	X	Temperatura	T°	X
Bicarbonato	HCO ₃	X	Solidos Disueltos Totales	TDS	X
Mercurio	Hg	X	Turbidez	Turb	
Yodo	I	X	Vanadio	V	X
Potasio	K	X	Zinc	Zn	X
Litio	Li	X			
			TOTAL		43

X: indica que el parámetro es evaluado en alguna oportunidad durante el monitoreo o la medición puntual

**: se evalúan dos formas de Fosfato*

Fuente: Elaboración propia en base a DGA (2016).

Entonces, de esos 42 puntos de muestreo de calidad de agua subterránea, algunos de ellos se convertirán en estaciones de calidad para la cuenca Río Toltén.

2.4.2.3. Red glaciológica y de nieves

La cuenca no presenta estaciones de glaciología ni ruta de nieves.

2.4.2.4. Redes de medición biota

En la cuenca Río Toltén, a la fecha, se encuentran estaciones de medición de otras instituciones relativas a ecosistemas acuáticos, midiendo parámetros de calidad de agua y realizando identificación de especies dulceacuícolas. Los programas son:

- Prospección de la presencia de *Didymosphenia geminata* en las regiones de Los Lagos y Aysén
- Programa de Vigilancia, detección y Control de plaga Didymo: acciones de control. Aprobado por R.Ex. N° 1866-2010 de SERNAPESCA, asociado a D.S. (MINECON) N° 345/2005, Reglamento sobre Plagas Hidrobiológicas.

- Monitoreo de la especie plaga *Didymosphenia geminata* en cuerpos de agua de Chile centro, sur y austral.

Estos tres programas de monitoreo han tenido tres etapas en el tiempo Etapa I: 2016-2017, Etapa II: 2017-2018, Etapa III: 2018-2019, en las cuales ajustaron la localización de los puntos de monitoreo y la cantidad de estos. En cada punto de monitoreo se miden parámetros fisicoquímicos in situ, se colectan muestras para identificación de fitobentos y macroinvertebrados. Para más información revisar el Anexo J de Descripción y Diagnóstico Sección 8.2.5.1.

2.5. NUEVAS FUENTES EXISTENTES

2.5.1. Acuíferos profundos

En conformidad con los antecedentes analizados, en especial en el marco conceptual del informe de DGA (2016), se debe indicar que existe la presencia de un acuífero profundo semiconfinado (por debajo de los 200 m) que se aloja en las unidades UH2 y UH3, definidas en el modelo conceptual, las cuales corresponden a depósitos no consolidados antiguos y secuencias volcano sedimentarias. Su profundidad puede sobrepasar los 100 m. Se debe indicar que por sobre este acuífero profundo semiconfinado, se encuentra un acuífero libre somero.

2.5.2. Recarga de acuífero

No se evidencian iniciativas de recarga de acuífero para esta cuenca. Se debe tener en consideración que la recarga sería solamente en el acuífero somero, debido a que el acuífero profundo se encuentra semiconfinado por una capa de arcilla que impediría el traspaso de agua hacia éste.

2.5.3. Desalinización

No se evidencian iniciativas de desalinización para esta cuenca.

2.5.4. Cosecha de aguas lluvias

Actualmente el gobierno regional está desarrollando experiencias piloto en conjunto con el INIA para capturar aguas lluvias y destinarlas a riego de consumo familiar. Esta iniciativa se está desarrollando en la cuenca Río Imperial y como resultado se ha podido acumular 20 m³ por vivienda.

2.5.5. Usos de aguas servidas tratadas

No se evidencian iniciativas de reúso de aguas tratadas para esta cuenca.

2.6. GOBERNANZA DEL AGUA A NIVEL DE CUENCA

Según Zurbriggen (2011) "La gobernanza surge como un nuevo estilo de gobierno, distinto del modelo de control jerárquico y de mercado, caracterizado por un mayor grado de cooperación entre los gobiernos y administraciones públicas y actores no gubernamentales en la formulación de las políticas públicas. Se espera que, a través de este proceso de elaboración de las políticas, fundamentado en la colaboración, el consenso y la participación de distintos actores, se mejoren los resultados y rendimientos de las políticas y, en definitiva, se garantice la gobernabilidad del sistema político"

En esta cuenca existen diferentes tipos de agentes que tienen por objetivos asociados a la temática hídrica, perteneciendo a las áreas de instituciones públicas, organizaciones sociales, Organismos usuarios del agua, Servicios Sanitarios Rurales y Gremios.

En relación a la organización privada en torno al agua, y sustentando en la información obtenida en los antecedentes bibliográficos cuya información se complementa con las actividades de participación ciudadana; se observa que a nivel de cuenca, las OUAS se encuentran constituidas legalmente pero aun así este factor no es determinante para desarrollar un nivel de cohesión de organización. Las asociaciones de canalistas no se vinculan entre sí, no existe la proyección de crear juntas de vigilancias ni comunidades de aguas subterráneas. Además, en los tramos donde no hay OUAs se pueden generar situaciones de conflictos debido a la dificultad de coordinación y lograr acuerdos en el reparto de aguas, por ejemplo. Se puede destacar de estas organizaciones el canal Allipén, que fue construido en 1938 y suministra agua a 480 asociados del extenso valle del Río Allipén, regando 25.000 hectáreas de las comunas de Cunco y Freire, dedicadas a la agricultura, ganadería y fruticultura.

De análisis del mapa de actores para el consumo humano destaca el rol de los SSR, quienes han sido señalado como actores relevantes para la solución hídrica, pero que a su vez tienen dificultades para la administración (recursos e infraestructura). Destacándose como un actor relevante la Asociación de APR de la Región de La Araucanía, que tiene por objetivo apoyar la gestión de los SSR en materias de solución de infraestructura, capacitaciones y administración financiera, generando espacios de trabajo con instituciones públicas. Esta organización funciona con cuotas mensuales por parte de sus socios (SSR), contando con 190 miembros aprox. En esta misma línea han constituido la una organización de APR a escala de la zona lacustre de la cuenca.

La organización en torno a la calidad del agua y la conservación de la cuenca se desarrollada con variadas organizaciones o movimientos que tienen por objetivo el cuidado conservación del medio ambiente. Estos organismos tienen diferentes formas de trabajar por sus objetivos, entre ellos destaca "Aguas Libres Villarrica" quienes ha desarrollados estudios para determinar causas de contaminación en el Lago Villarrica. También destaca "Vigilantes del lago" cuyo objetivo es el monitoreo de los ríos y lagos por medio de la participación ciudadana.

En el ámbito de la institucionalidad existe una amplia demanda que va en crecimiento, en temas de riego, conservación ambiental y fiscalización. Existiendo poca claridad por parte de la cuenca de cuáles son las instituciones que toman decisiones en la gestión del agua

puesto que observan una superposición de objetivos y funciones entre instituciones. Para los APR, la DOH y la DGA son actores clave y que reconocen de forma clara, cuál es el objetivo de sus acciones.

La relación de mesas públicas y privadas, se desarrollan en base a temas puntuales o emergencias; por lo que consideran que debiera existir una autoridad o ente coordinador de cuenca que pueda articular a los diferentes actores. En empresas privadas se subraya el rol de las pisciculturas y la fuerte vocación turística de la cuenca, que si bien por ley no obtienen derechos de agua si están involucrado en la gestión de recursos hídricos en los que se observa a las cámaras de turismo, y que cuentan con un alto nivel organizacional y de capital humano.

En conclusión, de la cuenca a nivel de gobernanza se puede observar un amplio número de actores en diferentes niveles organizacionales, pero que a su vez se relacionan de forma intermitente entre ellos, produciendo la necesidad de desarrollar iniciativa que fortalezcan las redes de relaciones entre agentes y con ello permitir la planificación hídrica.

2.6.1. Actores relevantes en la cuenca

En la cuenca Río Toltén se evidencia la presencia de instituciones y organismos con distintos niveles de vinculación con el recurso hídrico (el listado detallado de las instituciones y organizaciones presentes en la cuenca Río Toltén puede verse en Anexo J. Descripción y diagnóstico. Capítulo 14).

En la Tabla 2-11 se resumen la cantidad de instituciones presentes en la cuenca Río Toltén, que presentan algún grado de vinculación con el recurso hídrico.

Tabla 2-11. Cantidad de organismo o instituciones presentes en la cuenca Río Toltén con vinculación en el recurso hídrico.

Institución / Organizaciones	Cantidad
Servicios Públicos	13
Municipalidades	10
Servicios Sanitarios Rural	97
Forestales	72
Piscicultura	41
Centrales Hidroeléctricas	11
Juntas de vigilancia	0
Asociación de canalistas	5
Operadores de turismo	32
Organizaciones sociales	21

Institución / Organizaciones	Cantidad
Asociaciones o comunidades indígenas	747

Fuente: Elaboración propia (2021).

2.6.2. Mapa de agentes

El mapa de actores fue realizado de acuerdo con las instancias participativas realizadas en el inicio del plan y en las reuniones sectoriales (Ver Anexo I. Procesos participativos).

Para el análisis de influencia e interés de los actores en la cuenca, se conceptualiza de la siguiente forma:

A. Mucho interés, poca influencia: se trata de los actores que son relevantes en relación con la temática o el problema que se aborda, pero que tienen poco poder para influir en el proceso.

B. Mucho interés, mucha influencia: son actores que pueden verse significativamente afectados con el cambio que propone el grupo y que tienen más capacidad para hacer algo al respecto, ya sea apoyando u oponiéndose a las acciones propuestas.

C. Poco interés, poca influencia: son actores de baja prioridad a los que, sin embargo, se debe hacer seguimiento o, como mínimo, mantenerlos informados durante todo el proceso, ya que su situación puede cambiar con el paso del tiempo.

D. Poco interés, mucha influencia: son actores muy influyentes que pueden afectar el resultado de las acciones propuestas, pero cuyos intereses no se ven directamente afectados por estas acciones.

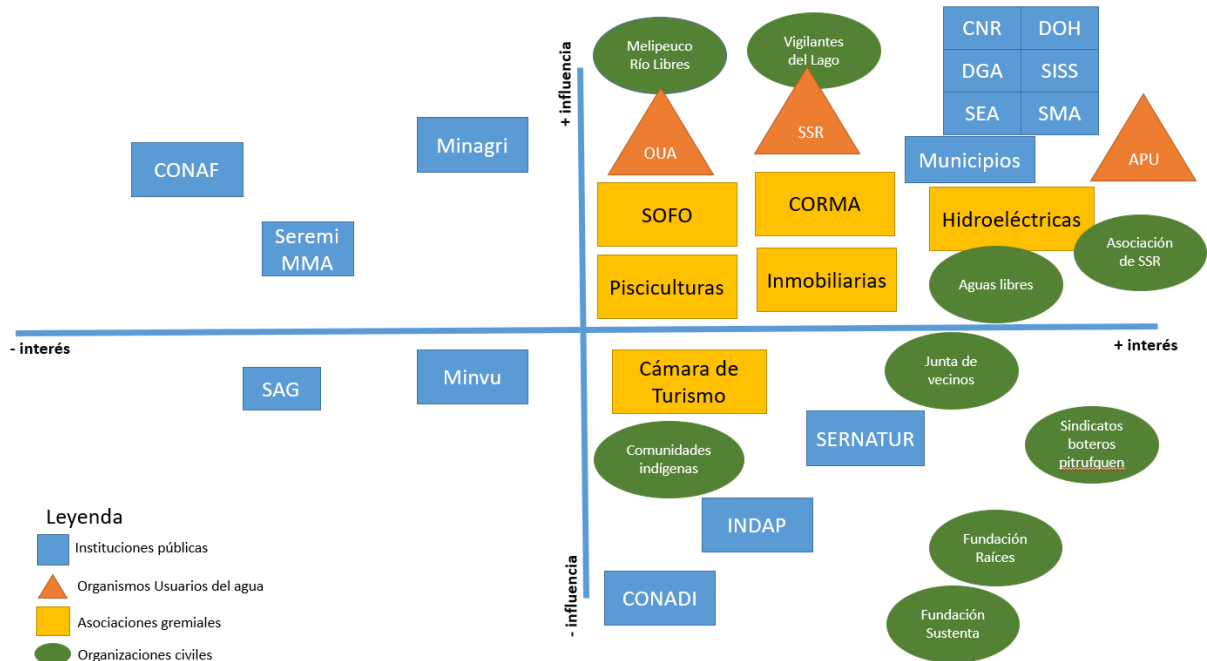


Figura 2-27. Mapa de actores de la cuenca Río Toltén.

Fuente: Elaboración propia a partir de procesos participativos (Ver Anexo I. Procesos participativos).

De este esquema es posible identificar que existen Instituciones públicas claves (actores claves) como lo es el caso de la DOH, DGA, CNR, SISS, SEA, SMA y Municipios; ya que son considerados con capacidad para influir en el proceso, vinculado a temáticas de distribución de agua a la población, administración de derechos de agua, falta de alcantarillados en sectores donde aumenta la población y fiscalización de contaminaciones provenientes de empresas diferentes rubros.

En el mapa se destaca la alta influencia e interés de los gremios forestales, hidroeléctricas, pisciculturas y sector agrícola, quienes se encuentran cuestionados por las organizaciones sociales, juntas de vecinos, comunidades indígenas y SSR, desde la perspectiva ambiental puesto que, los consideran como agentes que no contribuyen a la preservación del entorno natural, incluso los catalogan como agentes de contaminación. Estos gremios son actores primarios ya que pueden sufrir cambios, asociados a la gestión hídrica de la cuenca.

Aguas libres Villarrica, Vigilantes del Lago, Fundación Raíces, Melipeuco Ríos Libres Fundación Sustenta, son actores con objetivos muy similares como lo son la protección ambiental y cuidado de los Ríos y lagos de la cuenca. Para el gremio del Turismo también es importante contar con el cuidado ambiental, por lo que son agentes que comparten algunos objetivos.

2.6.3. Brechas de coordinación

De acuerdo a los procesos participativos (Anexo I. Procesos participativos), fue posible identificar brechas en la coordinación de los distintos actores en torno al recurso hídrico. Estas se traducen en:

- No existe una instancia u organismo que genere una coordinación ni gestión de temas respecto al recurso hídrico que sea capaz de aunar ideas, decisiones, acciones, etc. Ante esto, se han generado pequeñas iniciativas locales o a nivel de gremio como las Unión comunal de APR en Villarrica y en Curarrehue.
- Existen algunos SSR que no cuentan con derechos de agua, y ven con preocupación el otorgamiento de derechos de agua ya que se comienzan a agotar y a futuro si se requiere construir nuevos SSR no podrían contar con la inscripción de aprovechamiento de agua.
- Para los SSR hay un alto nivel de burocratización y de espera para la construcción de nuevos SSR (permisos, infraestructuras y nuevas directivas), argumentado en que un nuevo SSR demora años en su diseño y aprobación.
- Hay poca confianza en la Dirección General de Aguas, aludiendo que los tiempos de respuesta son excesivos y que hay poca transparencia en la toma de decisiones. No tienen confianza en los estudios que realiza la DGA.
- Organizaciones sociales consideran que hay contaminación por parte del rubro turístico, que no cuentan con sistema de alcantarillado, por parte de los ganaderos y por las pisciculturas. Comentan que es necesario aumentar la fiscalización.
-

2.6.4. Brechas de información

Se evidencian diversas brechas de información, tanto en conocimiento de calidad del recurso hídrico en sí como en calidad del agua.

En primer lugar, existen sectores de la cuenca que no cuentan con una densidad adecuada de estaciones de monitoreo. Estas brechas pueden resumirse en:

Recurso hídrico superficial

- Las variables meteorológicas están bien cubiertas considerando las estaciones de monitoreos propias de la DGA y aquellas administradas por el INIA y DMC. Sin embargo, no hay mediciones nivales ni asociados a los glaciares existentes en la cuenca. Específicamente, se requiere conocer los aportes nivales o glaciares en la cuenca alta del Río Allipén.
- Ríos afluentes al Río Toltén sin estación de monitoreo, como el Río Pedregoso, Río Longlong o Río Los Boldos o el Río Curaco. Asimismo, la parte baja del Río Toltén no tiene una estación fluviométrica cercana a la desembocadura (Detalles de las estaciones presentes puede verse en el Anexo J. Descripción y diagnóstico. Capítulo 9.2).

Recurso hídrico subterráneo

- El conocimiento respecto a aguas subterráneas es más bien escaso, con una red de monitoreo de niveles de pozo con 14 pozos pertenecientes a SISS y 3 pozos pertenecientes a la DGA distribuidos mayoritariamente en el SHAC Toltén medio. Esta carencia de información se traduce en un desconocimiento del comportamiento del acuífero, profundidad a la cual se encuentra el nivel freático, etc.
- Desconocimiento de las condiciones hidrogeológicas del acuífero en los lugares de captación, particularmente en los SSR en donde la profundidad de los pozos es del orden de 15 a 20 metros.

Calidad del agua

- Zonas sin monitoreo de calidad de agua subterránea en el Lago Caburgua y que posee implicancias en la NSCA del Lago Villarrica, cuerpo de agua con el que posee conexión.
- Lagos, Ríos y aguas subterráneas poseen parámetros de medición diferentes y no es posible comparar y evaluar químicamente estos cuerpos de agua considerando que representan una unidad para la cuenca.
- Sesgo metodológico que se presenta para los metales de Bario, Mercurio, Molibdeno y Plomo en el caso de las aguas superficiales

3. DEMANDA FÍSICA Y LEGAL DIFERENTES USOS

3.1. CONSUMO HUMANO

La demanda hídrica para consumo humano, tanto urbana (APU) como rural (SSR), fue establecida a través de la dotación hídrica otorgada para cada habitante por la cantidad de habitantes que habitan el territorio. La Figura 3-1 presenta un resumen del esquema metodológico utilizado para la estimación de la demanda hídrica actual y la demanda hídrica futura (DHF) de consumo humano. Para más información de los aspectos metodológicos dirigirse al Anexo F, acápite 2.2 Estimación de la Demanda Hídrica Actual.

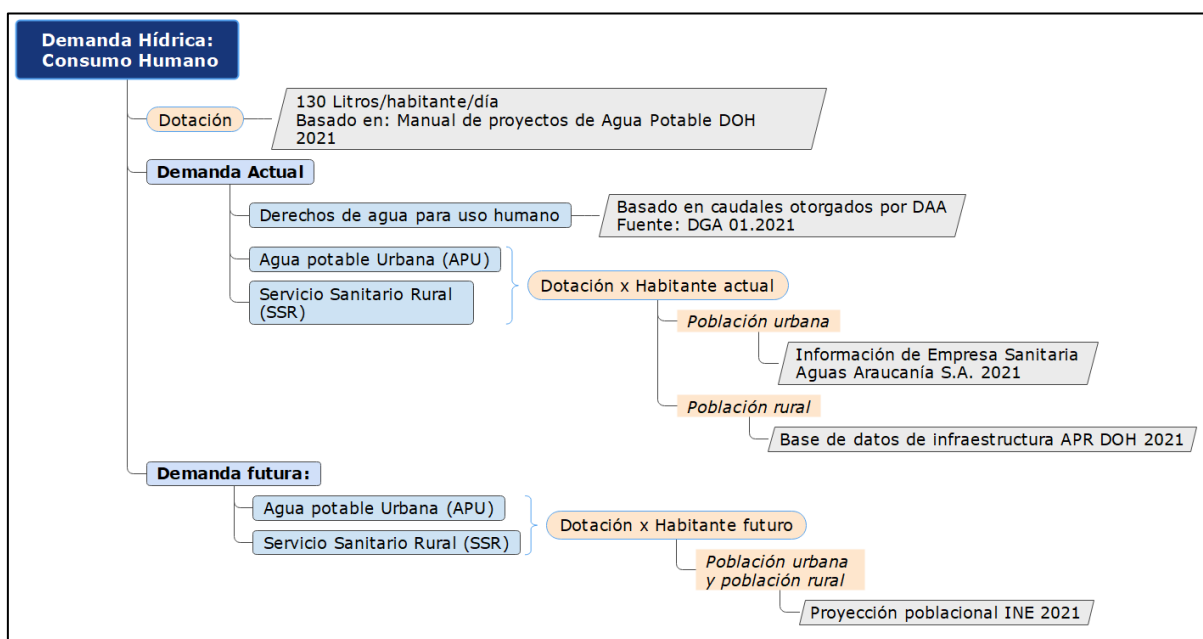


Figura 3-1. Esquema metodológico de estimación para demanda hídrica por consumo humano.

Fuente: Elaboración propia basado en información DOH y DGA.

3.1.1. Demanda actual

La demanda hídrica actual para uso humano se establece a través de una dotación fija de 130 litros/habitante/día por la cantidad de beneficiarios del sistema. La Tabla 3-1 presenta la demanda hídrica actual de agua potable en la cuenca y la Figura 3-2 la distribución porcentual de la demanda de agua potable en la cuenca. Para más información visitar Anexo F, acápite 2.2.1 Agua Potable y el Anexo J, acápite 10.1.1 y 10.2.1.

Tabla 3-1. Demanda Hídrica en Agua Potable Urbana y Rural en la cuenca.

Resumen	Total	Unidad	Fuente
Número de SSR	83	estructuras	Información MOP – marzo 2021
Población beneficiaria de las APR	71.996	Beneficiarios	Información MOP – marzo 2021
Caudal anual APR	3,42	hm³/año	Elaboración propia
Empresas de APU	1	empresa	Aguas Araucanía – junio 2021
Número de comunas con APU	9	Comunas	Aguas Araucanía – junio 2021
Población beneficiaria de las APU	135.461	Beneficiarios	Aguas Araucanía – junio 2021
Caudal anual APU	6,43	hm³/año	Elaboración propia

Fuente: Elaboración propia basado en información entregada por Aguas Araucanía S.A. (2021) y DOH (2021).

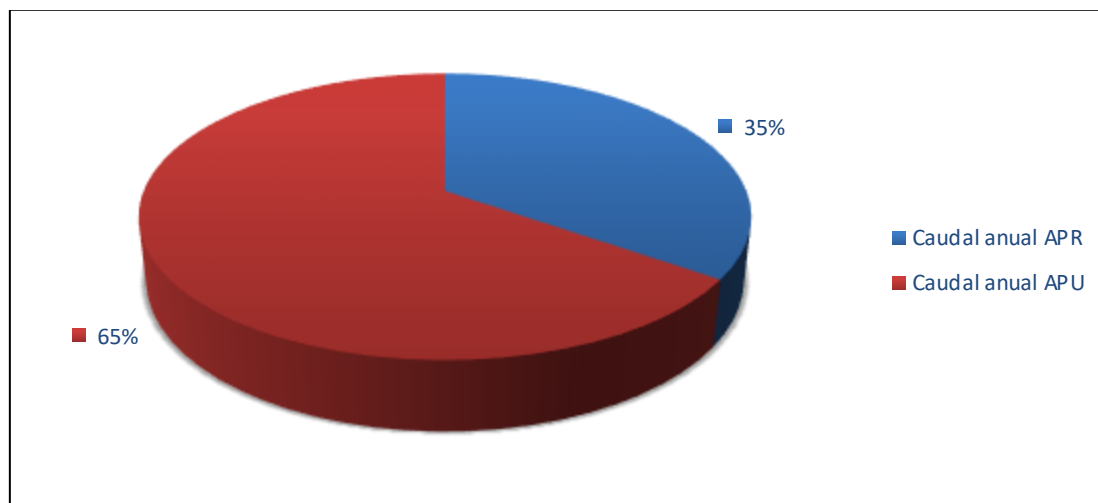


Figura 3-2. Distribución porcentual de la demanda de Agua Potable Urbana y Rural en la cuenca.

Fuente: Elaboración propia basado en información entregada por Aguas Araucanía S.A. (2021) y DOH (2021).

Cabe destacar que, el agua potable rural de la cuenca que representa un 35% del consumo de agua potable. Como se observa en la figura 3-3, los SSR se distribuyen en forma homogénea en el territorio solo solo el sector norte y oriente del lago Caburgua no presentan SSR.

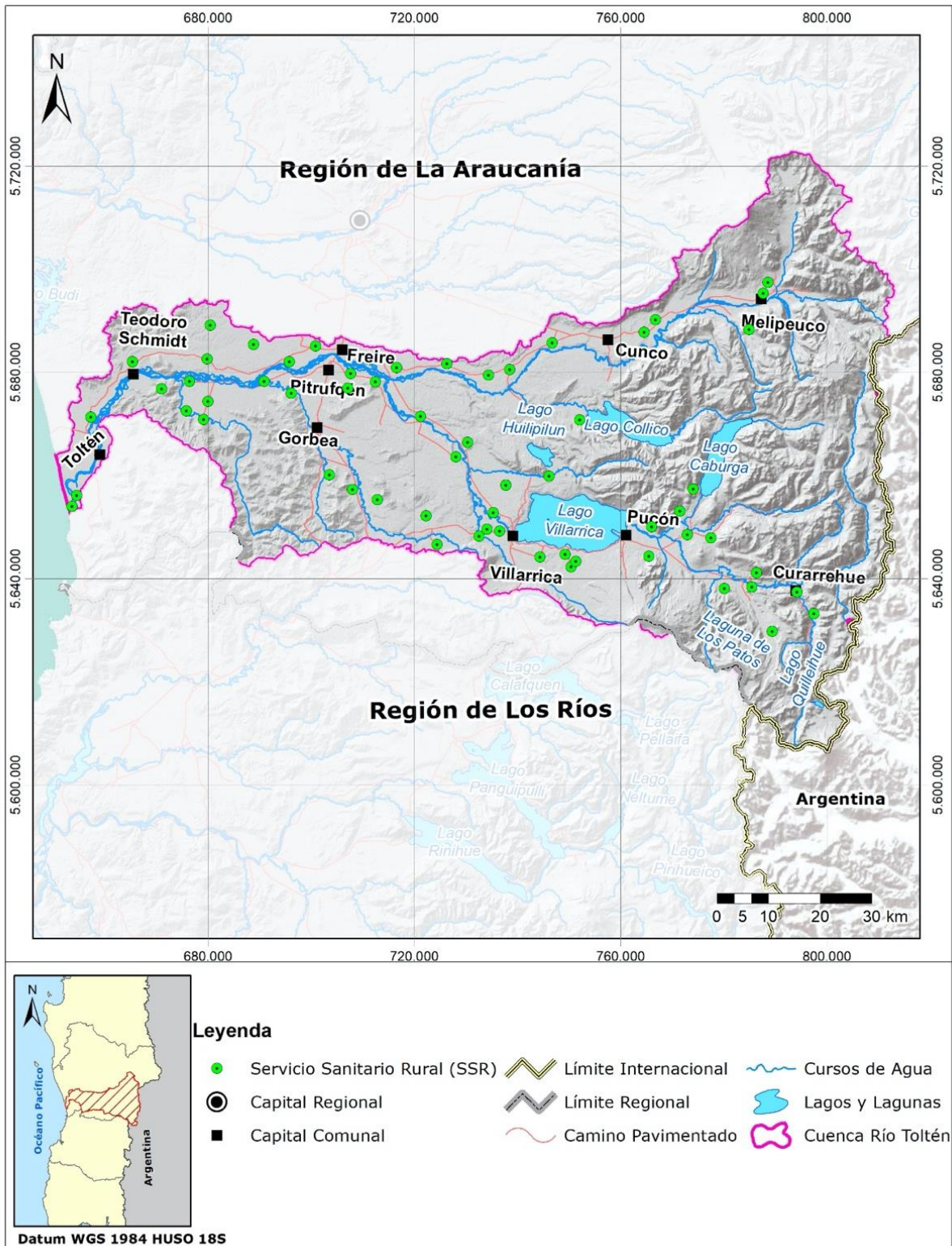


Figura 3-3. Localización de Servicios Sanitarios Rurales SSR.

Fuente: Elaboración propia basada en antecedentes DOH (2021).

3.1.1.1. Eficiencia de uso

No existen mayores antecedentes sobre la eficiencia del uso del recurso hídrico en el ítem uso humano, ni tampoco de la calidad de la infraestructura, por lo que a priori se supone que existen pérdidas esperadas en torno al 15% en el sistema asociadas al uso humano del agua.

3.1.1.2. Derechos de agua para uso humano

El análisis de la distribución de los Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA) para bebida o uso doméstico en la cuenca Río Toltén, registró un total de 328 DAA, donde 187 tienen su origen en aguas superficiales y 141 su origen en aguas subterráneas.

En cuanto al caudal mensual y volumen anual, para los derechos superficiales se identificó un caudal mensual de 1.620 l/s que corresponde a un volumen anual de 51,12 hm³/año. Por otra parte, para los derechos subterráneos, se identificó un caudal mensual de 1.285 l/s que corresponde a un volumen anual de 40,52 hm³/año. El resumen de esta información se presenta en la Tabla 3-2.

Tabla 3-2. Distribución de DAA para uso doméstico.

Usos	DAA otorgados	Caudal mensual [l/s]	Volumen anual [hm ³ /año]
Superficial	187	1.620,96	51,12
Subterráneo	141	1.285,17	40,52
Total	328	2.906,13	91,64

Fuente: Elaboración propia, basado en antecedentes DGA (2021d).

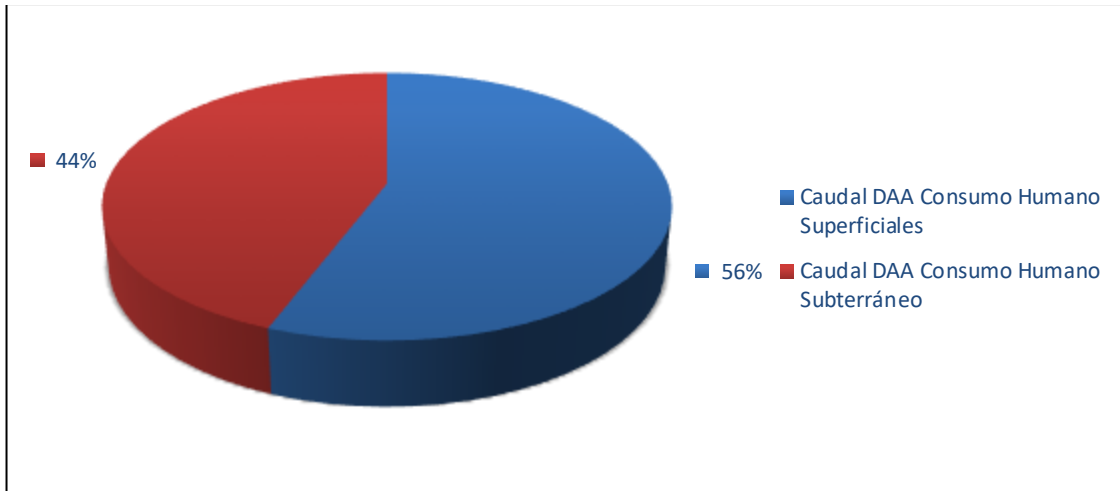


Figura 3-4. Distribución porcentual del caudal otorgado para uso doméstico por DAA superficiales y subterráneos.

Fuente: Elaboración propia, basado en antecedentes DGA (2021d).

3.1.2. Demanda futura

La demanda futura de consumo de agua potable se determinó mediante las proyecciones de crecimiento de la población rural entregados por el INE (2021). Esta estadística presenta una reducción poblacional para las zonas rurales de la cuenca, información que se traduce en una menor demanda hídrica futura. Sin embargo, en las distintas instancias participativas desarrolladas para este PEGH los actores de SSR indican que ven con preocupación el loteo de parcelas masivas que ocurre en la parte media y alta de la cuenca debido a que ellos no podrán ser capaces de satisfacer la demanda futura (ver Anexo I Procesos participativos). Ante esto, y dada la incertidumbre que genera el establecimiento de loteos, se decidió mantener la demanda hídrica actual de agua potable rural como proyectada, de esta forma, se intenta incorporar la posible demanda asociada a los loteos de urbanizaciones.

En La Figura 3-5 presenta los resultados obtenidos para la estimación de la DHF de agua potable rural y la Figura 3-6 los resultados obtenidos para la estimación de la DHF de agua potable urbana, ambos de la cuenca Río Toltén. Por otra parte, la Tabla 3-3 presenta el de la DHF para agua potable urbana y rural en la cuenca. El detalle del cálculo de estas demandas se encuentra en el Anexo J, acápite 10.1.1 y 10.2.1.

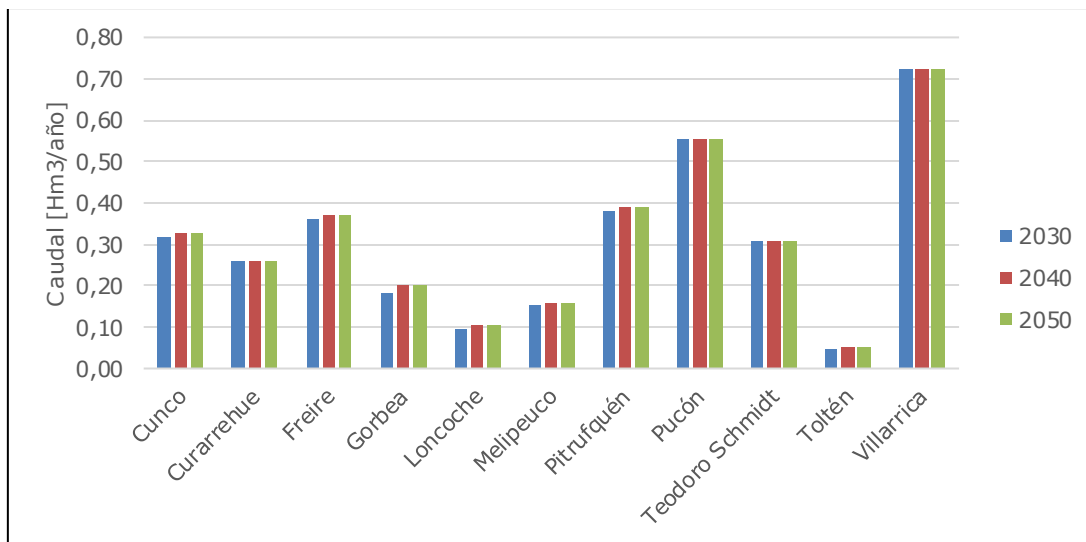


Figura 3-5. Estimación de la DHF para Agua Potable Rural [hm³/año].

Fuente: Elaboración propia basado en resultados obtenidos del Plan.

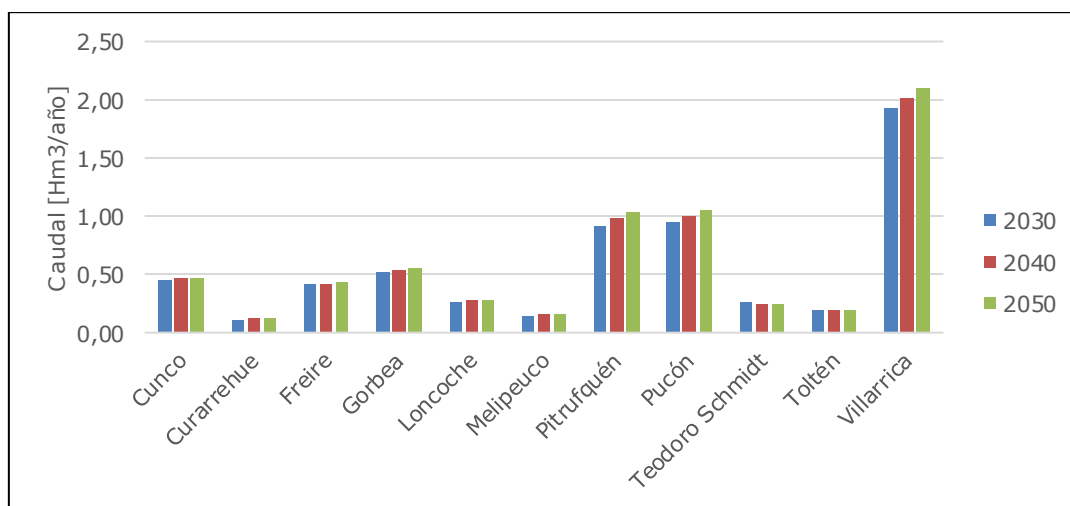


Figura 3-6. Estimación de la DHF para Agua Potable Urbana [hm³/año].

Fuente: Elaboración propia, basado en resultados obtenidos del Plan.

Tabla 3-3. Estimación de la DHF por Agua Potable Rural y Urbana [hm³/año].

Zonas de distribución	2030	2040	2050
Rural	3,39	3,45	3,45
Urbana	6,16	6,41	6,65

Fuente: Elaboración propia.

3.2. NECESIDADES MÍNIMAS AMBIENTALES

Esta sección combina información de caudales de conservación dentro de la cuenca Río Toltén, según informes técnicos. Estos caudales se incluyen caudales ecológicos dentro de áreas protegidas, caudales ecológicos para la cuenca en general y caudales turísticos dentro de áreas definidas como ZOIT.

3.2.1. Consideración de sistemas protegidos

La revisión de antecedentes mínimos y adicionales indica que a la fecha existen iniciativas para estimar los caudales de conservación ambiental en Chile. El informe técnico "Estimación de la Demanda Actual, Proyecciones Futuras y Caracterización de la Calidad de los Recursos Hídricos en Chile, Volumen II" (DGA 2017b) calcularon los caudales de conservación ambiental para todas las áreas SNASPE y Sitios Prioritarios para la Biodiversidad en Chile, utilizando la metodología desarrollada en Informe Técnico N° 2: "Reserva del Río Cochamó para la Conservación Ambiental y el Desarrollo Local de la Cuenca" (DGA 2009), entre otros.

La evaluación de la DGA (2017b) seleccionó Áreas Silvestres Protegidas acorde a la disponibilidad de datos fluviométricos y para el caso de la Región de la Araucanía se realizó la estimación de la demanda ambiental para:

- Reserva Nacional Villarrica
- Sitio Prioritario Mahuidanche – Lastarria

Esto implica que, a pesar de la cuenca Río Toltén alberga 6 áreas protegidas (3 Parques Nacionales, 2 Reservas Forestales, y 1 Sitio Prioritario), la evaluación previa solamente consideró dos áreas (Tabla 3-4, Figura 3-7).

Tabla 3-4. Caudales [m³/s] para protección ambiental en las áreas protegidas pertenecientes a la cuenca Río Toltén.

Nombre Área Protegida		Reserva Nacional Villarrica	SP con efecto SEIA Mahuidanche - Lastarria	SP con efecto SEIA Mahuidanche - Lastarria
Estación Fluviométrica		Río Trancura en Curarrehue	Río Donguil en Gorbea	Río Mahuidanche en Santa Ana
Código Subcuenca		941	943	943
Nombre Subcuenca		Río Pucón	Toltén Bajo	Toltén Bajo
Caudales Ecológicos [m ³ /s]	Enero	5,25	5,19	13,22
	Febrero	1,94	3,66	8,41
	Marzo	1,19	3,77	7,00
	Abril	6,02	6,68	16,20
	Mayo	36,12	18,00	47,08
	Junio	92,57	49,16	65,79
	Julio	98,68	55,21	62,99

Agosto	74,85	39,77	45,50
Septiembre	55,88	29,55	41,27
Octubre	36,29	20,38	40,97
Noviembre	21,70	15,24	36,46
Diciembre	13,84	10,13	26,47
Anual	31,67	18,45	29,65

Fuente: Elaboración propia, basado en DGA (2017a).

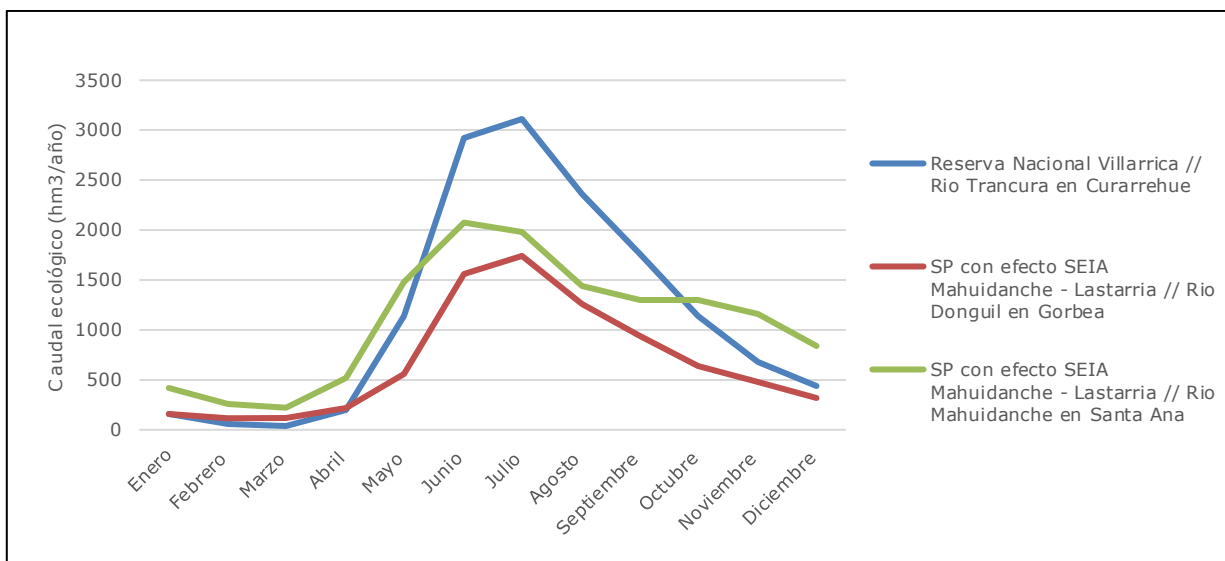


Figura 3-7. Caudales [hm³/año] para protección ambiental en las áreas protegidas pertenecientes a la cuenca Río Toltén.

Fuente: Elaboración propia, basado en DGA (2017a).

3.2.2. Derechos de agua para el medio ambiente

La evaluación de caudales ecológicos realizado como parte del informe "Determinación de Necesidades de Reserva de Aguas, Art. 147 bis del Código de Aguas – Regiones IX, XIV y X" (S.I.T. N° 352, DGA 2014) evaluó valores de caudal ecológico puntuales para varios derechos de agua en las regiones de su estudio, la que incluyó el Río Toltén, y el principal resultado indica que según la definición el caudal ecológico es equivalente a 20% del caudal medio anual. En el caso de la cuenca Río Toltén, este estudio calculó caudales ecológicos para cada derecho de agua. Por esta razón, no se encuentra una evaluación sobre los caudales ecológicos dentro de la cuenca Río Toltén al nivel de subsubcuenca o subcuenca.

Según el informe de la DGA titulado "Estimación de la Demanda Actual, Proyecciones Futuras y Caracterización de la Calidad de los Recursos Hídricos en Chile, Volumen II" (DGA 2017), han evaluado caudales turísticos para las subcuencas de Toltén, números 0941 y 0942, que corresponden a ZOIT Pucón-Villarrica (Tabla 3-5, Figura 3-8).

Tabla 3-5. Caudales Turísticos por Subcuencas con ZOIT y para toda la cuenca

Código Subcuenca		0941	0941	0942	094
Subcuenca Nombre		Río Pucón	Río Pucón	Lago Villarrica y Toltén Alto	Río Toltén
Caudales Turísticos [m ³ /s]	Enero	60	13	190	73
	Febrero	45	10	130	55
	Marzo	40	9	110	49
	Abril	50	14	130	64
	Mayo	120	34	220	154
	Junio	220	59	410	279
	Julio	190	59	460	249
	Agosto	160	49	360	209
	Septiembre	160	44	360	204
	Octubre	130	34	310	164
	Noviembre	120	29	280	149
	Diciembre	90	24	220	114
Anual		120	34	280	154

Fuente: Elaboración propia, basado en DGA (2017a).

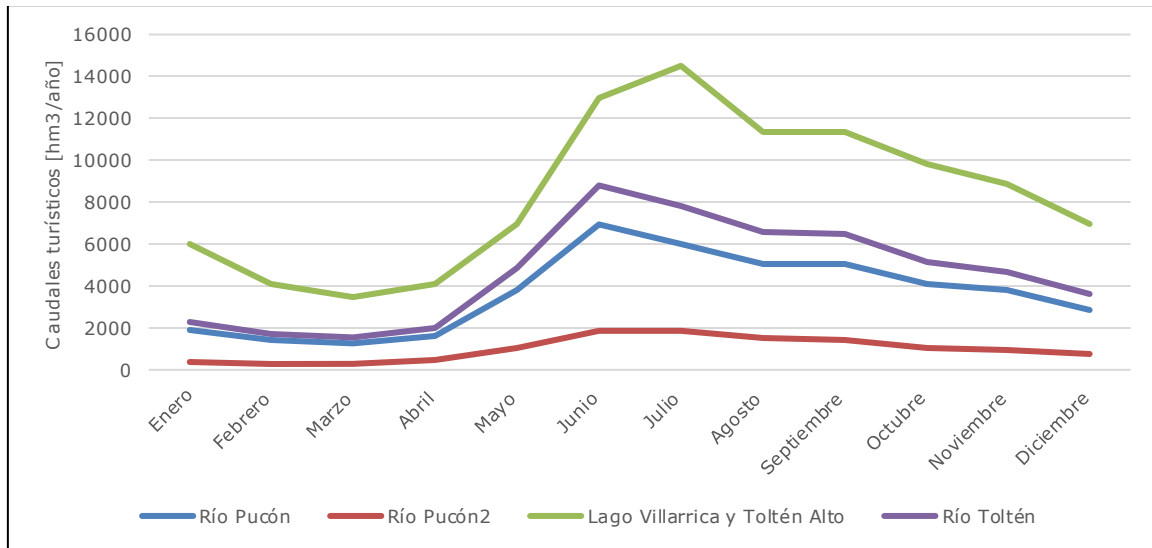


Figura 3-8. Caudales Turísticos por Subcuencas con ZOIT y para toda la cuenca Río Toltén.

Fuente: Elaboración propia, basado en DGA (2017a).

3.3. DEMANDA AGRÍCOLA Y FORESTAL

3.3.1. Zonas de riego modeladas

Para caracterizar la demanda agrícola se necesita conocer: la superficie total agrícola, los diferentes cultivos presentes, el tipo de riego y su eficiencia. Las imágenes satelitales proveen información solamente de la superficie total agrícola, no de los tipos de cultivos y el manejo del agua. Para encontrar estos datos se ha procedido a recopilar información de los censos agropecuarios oficiales que están disponibles: 1997 y 2007; y de los diferentes censos frutícolas realizados a la fecha.

El análisis de los censos agropecuarios provee datos de los diferentes cultivos que se encuentran presentes en la zona. El menor nivel de desagregación que los censos proveen a nivel oficial son los distritos censales. Se seleccionaron los distritos censales que pertenecen a la cuenca (Figura 3-9): 67 distritos, y se obtuvieron los datos de los cultivos y sus superficies agrícolas para el censo del 2007. Por otro lado, la nomenclatura de los distritos de 1997 es diferente, por lo tanto, no se puede establecer una comparación a este nivel. De acuerdo con el censo del 2007, la mayor superficie bajo manejo en la cuenca son las plantaciones forestales con cerca del 50% del área agrícola reportada, seguida de los Cereales, Leguminosas, Tubérculos y Cultivos Industriales en secano (19,6%), luego por las forrajeras permanentes bajo riego y en secano (16,6%), y las forrajeras anuales en secano (4,6%) y los frutales en producción (2%). En su conjunto, se estima que para todos los cultivos una superficie agrícola al 2019 es de 311.677 ha.

Tabla 3-6. Distribución de los cultivos en cuenca Río Toltén.

Cultivo (porcentaje de superficie distrital)	Tipo de Riego	Superficie Agropecuaria al 2007 [%]	Superficie al 2019 [ha]
Plantaciones Forestales Sup. (Há)	Plantado	51,6	160.887
Cereales, Leguminosas, Tubérculos y Cultivos Industriales	Secano (Há)	19,6	61.068
Forrajeras Permanentes	Secano (Há)	14,2	44.232
Forrajeras Anuales	Secano (Há)	4,6	14.501
Forrajeras Permanentes	Riego (Há)	2,4	7.614
Frutales en Producción	No Regados (Há)	2,0	6.341
Cereales, Leguminosas, Tubérculos y Cultivos Industriales	Riego (Há)	1,3	3.961
Huertos Caseros	En Produc.	1,2	3.877
Frutales (Sup. Há de Plantación Compacta)	En Formac.	1,0	2.994
Frutales (Sup. Há de Plantación Compacta)	En Produc.	0,7	2.217

Cultivo (porcentaje de superficie distrital)	Tipo de Riego	Superficie Agropecuaria al 2007 [%]	Superficie al 2019 [ha]
Hortalizas	Aire Libre (Há)	0,5	1.692
Hortalizas	No Regadas (Há)	0,4	1.251
Forrajas Anuales	Riego (Há)	0,3	1.043

Fuente: Elaboración propia en base a Censo Agropecuario 2007 (INE) y producto MC12Q1.

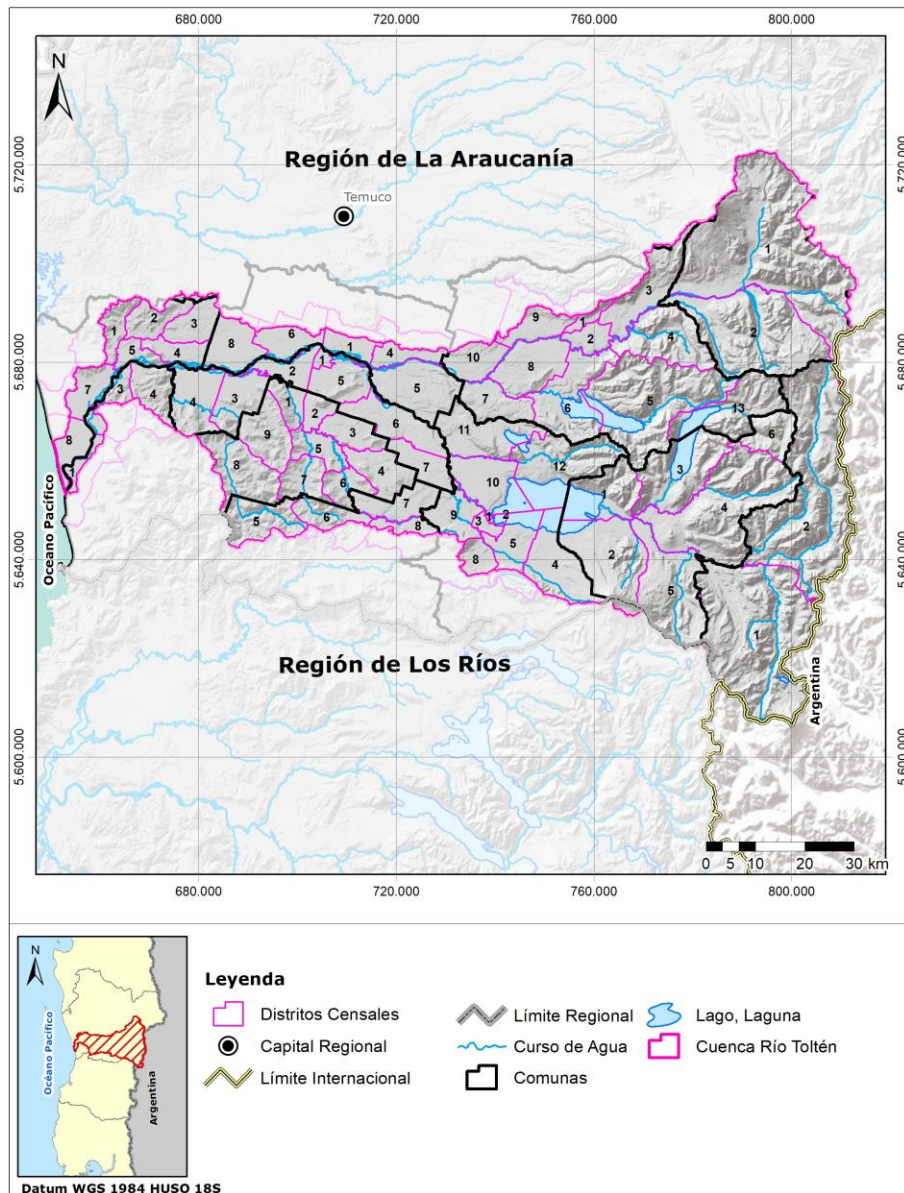


Figura 3-9. Distritos censales en cuenca Río Toltén.

Fuente: Elaboración propia en base a Censo Agropecuario 2007 (INE).

La distribución espacial de los tipos de cultivos puede verse en la Figura 2-10 ya realizada. Esta figura presenta la reclasificación de suelos, en donde una de las categorías corresponde a la zona agrícola, la cual contiene implícitamente las tres componentes antes mencionadas:

- Área de Riego
- Área de Secano
- Área de Plantaciones Forestales

3.3.1.1. Cultivos modelados

Para simplificar la modelación, se ha reducido el número de cultivos según el tipo de riego y el tipo de cultivo. A continuación, la Tabla 3-7 presenta los cultivos modelados y la notación WEAP utilizada.

Tabla 3-7. Simplificación WEAP de los cultivos en cuenca Río Toltén.

Cultivo	Tipo de Riego	Notación WEAP
Cereales, Leguminosas, Tubérculos y Cultivos Industriales	Riego (Há)	cultivo_1
	Secano (Há)	cultivo_2
Forrajeras Anuales	Riego (Há)	cultivo_3
	Secano (Há)	cultivo_4
Forrajeras Permanentes	Riego (Há)	cultivo_5
	Secano (Há)	cultivo_6
Hortalizas	Aire Libre (Há)	cultivo_7
	No Regadas (Há)	cultivo_8
Frutales (Sup. Há de Plantación Compacta)	En Formac.	cultivo_9
	En Produc.	cultivo_10
Huertos Caseros	En Produc.	cultivo_11
Frutales en Producción	No Regados (Há)	cultivo_12
Plantaciones Forestales Sup. (Há)	Plantado	cultivo_13

Fuente: Elaboración propia en base a Censo Agropecuario 2007 (INE) y producto MC12Q1.

3.3.1.2. Valores de Kc y evapotranspiración neta de cultivos

A continuación, la Tabla 3-8 presenta los valores de coeficiente de cultivos (kc) utilizados de manera preliminar para el balance hídrico estimado y la Tabla 3-9 para la modelación, los cuales son distintos ya que la primera aproximación no considera la humedad de suelo, solo la evapotranspiración de referencia cuyos resultados se pueden apreciar en el anexo J, acápite 10.1.6.

Tabla 3-8. Coeficiente de los cultivos en cuenca Río Toltén utilizados en el balance preliminar.

Mes	Cultivo 1	Cultivo 2	Cultivo 3	Cultivo 4	Cultivo 5	Cultivo 6	Cultivo 7	Cultivo 8	Cultivo 9	Cultivo 10	Cultivo 11	Cultivo 12	Cultivo 13
ene	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,9	0,0	0,0	0,6	0,6	0,0	0,6	1,0
feb	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,6	0,0	0,6	1,0
mar	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	1,0	1,0
abr	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	1,0	1,0	0,5	1,0	1,0
may	1,2	1,2	1,2	1,2	0,9	0,9	1,2	1,2	1,0	1,0	1,2	1,0	1,0
jun	1,2	1,2	1,2	1,2	0,4	0,4	1,1	1,1	1,0	1,0	1,1	1,0	1,0
jul	1,2	1,2	1,2	1,2	0,9	0,9	0,5	0,5	1,0	1,0	0,5	1,0	1,0
ago	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	1,0	1,0
sept	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,9	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	1,0	1,0
oct	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,4	0,0	0,0	0,8	0,8	0,0	0,8	1,0
nov	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,9	0,0	0,0	0,8	0,8	0,0	0,8	1,0
dic	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,4	0,0	0,0	0,8	0,8	0,0	0,8	1,0

Fuente: Elaboración propia en base a FAO.

Tabla 3-9. Coeficiente de los cultivos en cuenca Río Toltén utilizados en la modelación.

Mes	Cultivo 1	Cultivo 2	Cultivo 3	Cultivo 4	Cultivo 5	Cultivo 6	Cultivo 7	Cultivo 8	Cultivo 9	Cultivo 10	Cultivo 11	Cultivo 12	Cultivo 13
ene	0,0	0,0	0,0	0,0	3,1	3,1	0,0	0,0	2,1	2,1	0,0	2,1	3,5
feb	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,8	2,8	0,0	2,8	4,6
mar	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	4,0	0,0	4,0	4,2
abr	0,8	0,8	0,8	0,8	1,1	1,1	1,4	1,4	2,6	2,6	0,0	2,6	2,7
may	3,5	3,5	3,5	3,5	2,7	2,7	3,5	3,5	2,9	2,9	1,8	2,9	3,1
jun	3,3	3,3	3,3	3,3	1,1	1,1	3,1	3,1	2,7	2,7	3,3	2,7	2,8
jul	3,3	3,3	3,3	3,3	2,6	2,6	1,4	1,4	2,7	2,7	3,3	2,7	2,9
ago	1,2	1,2	1,2	1,2	1,6	1,6	0,0	0,0	3,8	3,8	4,7	3,8	4,0
sep	0,0	0,0	0,0	0,0	4,9	4,9	0,0	0,0	5,2	5,2	4,3	5,2	5,4
oct	0,0	0,0	0,0	0,0	2,7	2,7	0,0	0,0	5,0	5,0	0,0	5,0	6,7
nov	0,0	0,0	0,0	0,0	7,0	7,0	0,0	0,0	5,8	5,8	0,0	5,8	7,7
dic	0,0	0,0	0,0	0,0	2,9	2,9	0,0	0,0	5,4	5,4	0,0	5,4	7,2

Fuente: Elaboración propia en base a calibración WEAP.

3.3.1.3. Ineficiencia de métodos de riego

No se consideró ineficiencia en los métodos de riego debido a falta de información sobre los tipos de riego de la cuenca.

3.3.1.4. Ineficiencia de conducción/canales

No se consideró ineficiencia en las conducciones o canales debido a la falta de información de los materiales y métodos constructivos de estos elementos.

3.3.2. Derechos de agua para la agricultura

El análisis de la distribución de los DAA para uso de Riego en la cuenca Río Toltén registró un total de 461 DAA, con un caudal mensual de 10.227 l/s y un volumen anual de 322,54 hm³/año.

En cuanto a la naturaleza de estos Derechos, 247 DAA son de tipo superficial que registran un caudal mensual de 8.703 l/s y un volumen anual de 274,46 hm³/año. Por otra parte, 214 DAA son de tipo subterráneos, que registran un caudal mensual de 1.524 l/s y un volumen anual de 48,07 hm³/año. El resumen de esta información y la naturaleza de captación de estos DAA se presentan en la Tabla 3-10 Para mayor detalle, revisar Anexo J – acápite 11.8.

Tabla 3-10. DDAA otorgados para uso de Riego.

Tipo de uso	Naturaleza de captación	DAA otorgados	Caudal mensual [l/s]	Volumen anual [hm ³ /año]
Riego	Superficial	247	8.703,29	274,46
	Subterránea	214	1.524,24	48,07
Total		461	10.227,52	322,54

Fuente: Elaboración propia, basado en antecedentes DGA (2021d).

3.3.3. Demanda actual

La demanda Silvoagrícola se determinó basado en la determinación de Kc y de las superficies de uso de suelo determinadas en el acápite 2.1.9.

La demanda del secano puede ser entendida como demanda de cereales o pastizales que son utilizados para forraje de ganadería, y esta demanda es satisfecha exclusivamente por precipitación directa. De forma análoga, la demanda del sector forestal se asumió que se satisface exclusivamente de la precipitación, mientras que la demanda agrícola de riego es satisfecha mediante sistemas de riego superficiales y subterráneo.

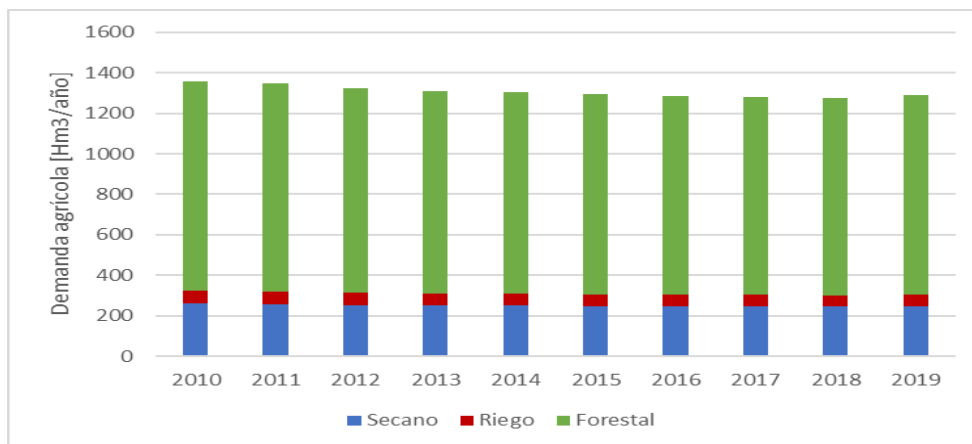


Figura 3-10. Evapotranspiración según tipo de riego. Cuenca Río Toltén.

Fuente: Elaboración propia.

De la Figura 3-10 se observa que la demanda por riego es muy baja respecto a la demanda evapotranspirativa de secano.

3.3.4. Demanda futura

La demanda evapotranspirativa futura estimada según el tipo de riego y basado en las proyecciones que cada sector agrícola evidencia a futuro. La CNR tiene proyectado la construcción de un canal de riego para aumentar la superficie en 27.000 há (ver Anexo K, iniciativa OH-01), por otra parte, el gremio forestal no tiene contemplado aumentar la superficie de plantaciones (ver anexo I. Procesos participativos). La demanda total para el año 2030 y 2050 se ha estimado en 1.337,3 hm³/año y 1.385,6 hm³/año, respectivamente. Se observa un aumento en la superficie de riego y una disminución en la de secano debido a las distintas iniciativas CNR en Toltén Sur ya comentadas en el Anexo K Plan de Acción.

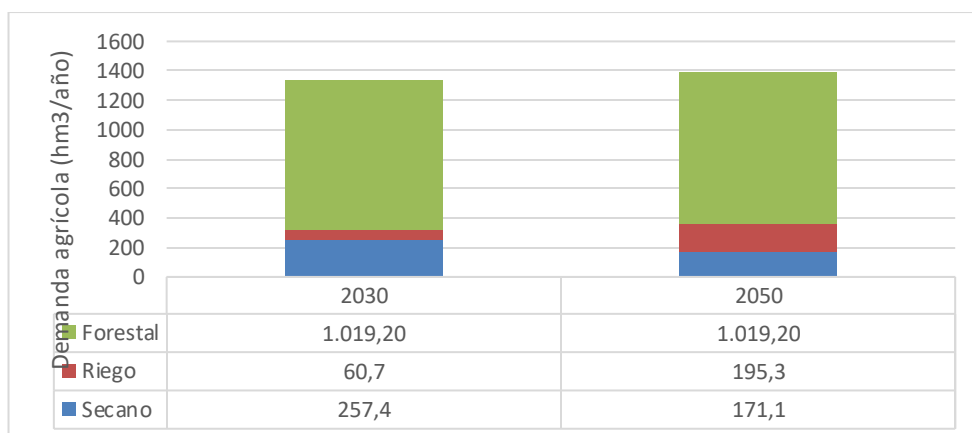


Figura 3-11. Demanda Evapotranspirativa futura según tipo de riego. Cuenca Río Toltén.

Fuente: elaboración propia a partir de información expresada en Anexo K y Anexo I

3.4. DEMANDA PECUARIA

Para el cálculo de la demanda hídrica del sector ganadero o pecuario en la cuenca Río Toltén fue necesario conocer la cuantía de ganado en la cuenca y el consumo hídrico diario por animal, distinguiendo que el consumo es variable para sus distintas etapas de desarrollo. El cálculo consideró las especies bovinas y ovinas. La Figura 3-12 presenta el esquema metodológico utilizado para conocer la Demanda Hídrica Pecuaria. Para más información de los Aspectos metodológicos dirigirse al Anexo F.

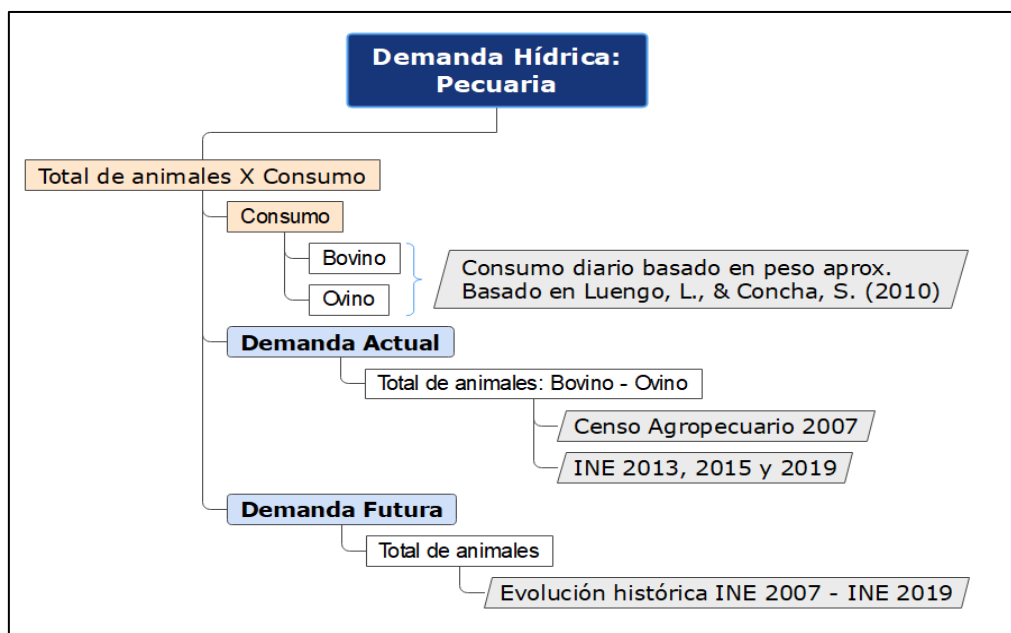


Figura 3-12. Esquema metodológico de estimación para demanda hídrica pecuaria en la cuenca.

Fuente: Elaboración propia según Anexo F.

3.4.1. Demanda actual

En la cuenca Río Toltén se realiza la ganadería de 181.545 cabezas de Bovinos y 4,131 cabeza de Ovinos principalmente, según datos de encuestas de bovinos y ovinos, respectivamente. Considerando consumos promedios por cabeza de Bovino según (FAO, 2017), el consumo de agua se muestra en la Tabla 3-11.

Tabla 3-11. Consumo de agua de ganado en la cuenca Río Toltén.

Tipo de ganadería	CAUDAL [hm ³ /año]				
	2007	2013	2015	2017	2019
Bovino	1,75	1,57	1,16	1,07	1,34
Ovino	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

Fuente: Elaboración propia, basada en antecedentes ODEPA (2021) y Luengo, L., & Concha, S., (2010).

3.4.2. Demanda futura

La Tabla 3-12 presenta los resultados obtenidos para la estimación de la demanda hídrica futura de ganadería ovina y bovina en la cuenca Río Toltén. Para mayores antecedentes revisar Anexo F, acápite 2.2.2. Ganadería.

Tabla 3-12. Estimación futura de la demanda hídrica en ganadería.

Tipo de ganadería	Caudal [hm ³ /año]		
	2030	2040	2050
Bovino	1,34	1,34	1,34
Ovino	0,01	0,01	0,01

Fuente: Elaboración propia, , basado en resultados obtenidos del Plan.

3.5. DEMANDA MINERA Y DERECHOS

La cuenca Río Toltén no presenta inversiones mineras por tanto no existe una demanda hídrica por uso minero en la cuenca.

3.6. DEMANDA INDUSTRIAL Y DERECHOS

La demanda hídrica producida por la Actividad Industrial en la cuenca Río Toltén fue obtenida a través de los Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA) registrados al año 2021. De esta forma, en la cuenca Río Toltén se identificaron 31 DAA otorgados a solicitantes para uso Industrial, 2 DAA de tipo consuntivo y 29 DAA de tipo no consuntivo.

3.6.1. Demanda actual

La Demanda Hídrica para Uso Industrial en la cuenca Río Toltén es de **3.581,66 hm³/año**, donde 3.580,46 hm³/año tienen su origen en aguas superficiales no consuntivo y 1,2 hm³/año su origen en aguas subterráneas consuntivo. Por otra parte, la Figura 3-13 presenta la distribución de la Demanda Hídrica según su naturaleza y tipo de derecho.

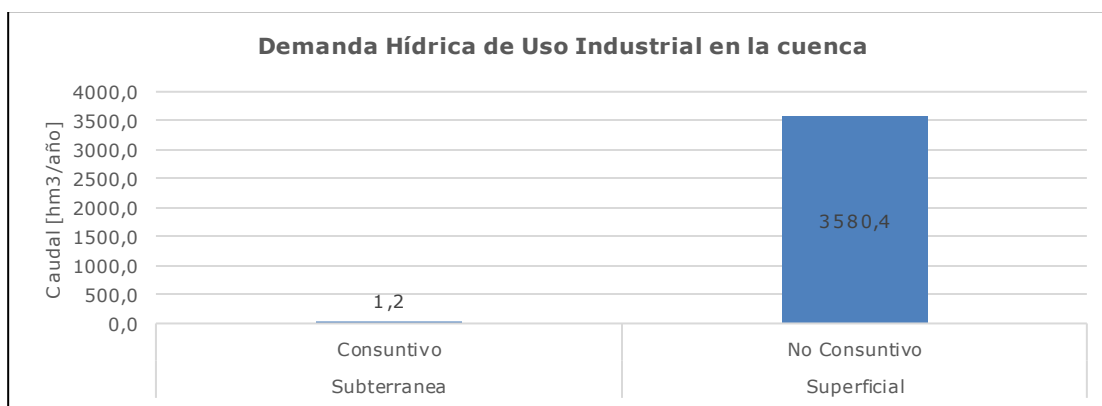


Figura 3-13. Demanda Hídrica para Uso Industrial según su naturaleza y tipo de derecho en la cuenca Río Toltén.

Fuente: Elaboración propia, basado en antecedentes DGA (2021d).

3.6.2. Demanda futura

La proyección de la DHF para uso industrial se ha planteado a partir de la evolución histórica de los DAA otorgados a partir de la fecha de resolución, con el promedio de los caudales asignados para uso industrial en la cuenca de estudio. Lo anterior acorde a la metodología descrita para la determinación de la demanda actual. Para más información de los Aspectos metodológicos dirigirse al Anexo F, acápite 2.2.5. Uso industrial.

La Tabla 3-13 presenta los resultados obtenidos para la estimación de la DHF generada por el uso industrial en la cuenca Río Toltén.

Tabla 3-13. Estimación futura de la demanda hídrica en uso industrial.

Años	DAA Consuntivos		DAA No consuntivos	
	N° DAA	Caudal [hm ³ /año]	N° DAA	Caudal [hm ³ /año]
2030	3	1,20	24	3.529,26
2040	3	1,20	24	3.529,26
2050	3	1,20	24	3.529,26

Fuente: Elaboración propia, basado en antecedentes DGA (2021d).

Cabe destacar que, como la fecha de otorgamiento y la cantidad los DAA para uso industrial no son suficientes para generar una tendencia de crecimiento proyectada, la demanda futura para uso industrial considera que, no existen nuevos derechos otorgados para uso industrial, proyectando así los DAA del año 2020 al año 2030, 2040 y 2050.

3.7. DEMANDA DE PISCICULTURAS

En la cuenca Río Toltén, el registro de SERNAPESCA para el año 2021 identifica a través del código de las centrales, un total de 45 Pisciculturas. Sin embargo, estas no describen el caudal utilizado y por tanto no es posible determinar la demanda hídrica a través de este registro. Debido a esto, la demanda hídrica producida por las Pisciculturas en la cuenca Río Toltén fue obtenida a través de los DAA registrados al año 2021. Para más información de los Aspectos metodológicos dirigirse al Anexo F, acápite 2.2.4. Pisciculturas.

3.7.1. Demanda actual

La Demanda Hídrica para Pisciculturas en la cuenca Río Toltén es de **227,48 hm³/año**, donde 219,9 hm³/año tienen su origen en aguas superficiales y 7,56 hm³/año su origen en aguas subterráneas. Por otra parte, la Figura 3-14 presenta la distribución de la Demanda Hídrica según su naturaleza y tipo de derecho.

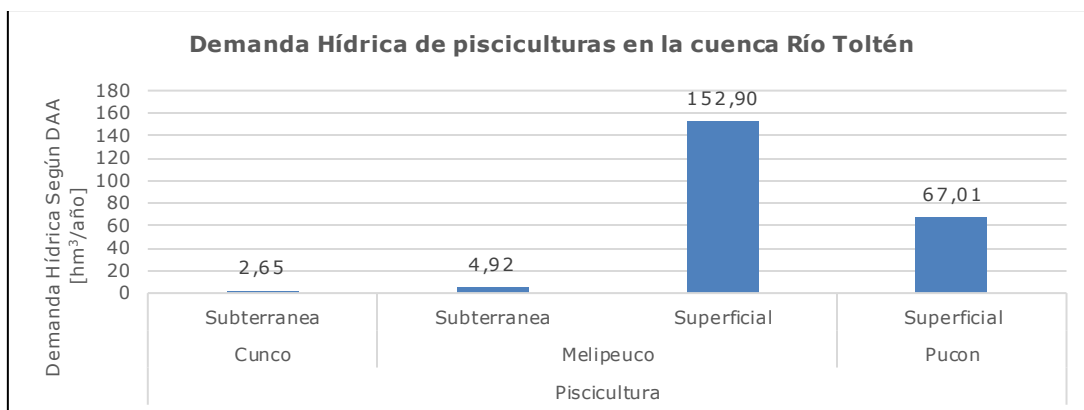


Figura 3-14. Demanda Hídrica de Pisciculturas según su naturaleza y tipo de derecho en la cuenca Río Toltén.

Fuente: Elaboración propia, basado en antecedentes DGA (2021d).

3.7.2. Demanda futura

La proyección de la DHF para pisciculturas se ha planteado a partir de la evolución histórica de los DAA no consuntivos otorgados en la cuenca de estudio, con el caudal asignados por piscicultura. La Tabla 3-14 presenta los resultados obtenidos para la estimación de la DHF generada por las pisciculturas en la cuenca Río Toltén.

Tabla 3-14. Estimación futura de la demanda hídrica en pisciculturas.

Años	DAA Consuntivos		DAA No consuntivos	
	N° DAA	Caudal [hm³/año]	N° DAA	Caudal [hm³/año]
2030	7	7,57	11	219,91
2040	7	7,57	11	219,91
2050	7	7,57	11	219,91

Fuente: Elaboración propia, basado en antecedentes DGA (2021d).

Cabe destacar que, como la fecha de otorgamiento y la cantidad los DAA para uso en pisciculturas no son suficientes para generar una tendencia de crecimiento proyectada, la demanda futura considera que, no existen nuevos derechos otorgados para uso de pisciculturas, proyectando así los DAA del año 2020 al año 2030, 2040 y 2050.

3.8. DEMANDA HIDROELECTRICIDAD

Para conocer la demanda hídrica generada por las hidroeléctricas en la cuenca Río Toltén, fue necesario conocer en primera instancia las centrales hidroeléctricas localizadas en la cuenca, la potencia instalada y el rendimiento de cada una de estas. La Figura 3-15

presenta el esquema metodológico utilizado para conocer la Demanda Hídrica Pecuaria, para más información de los aspectos metodológicos dirigirse a Anexo F, acápite 2.2.3. Hidroeléctricas.

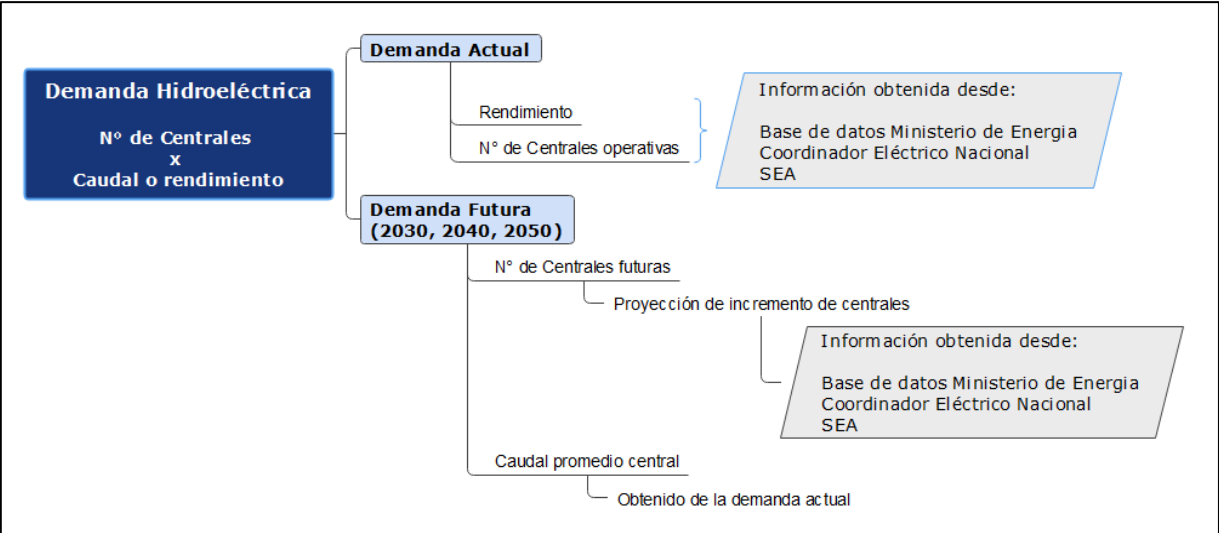


Figura 3-15. Esquema metodológico para la demanda hidroeléctrica.
Fuente: Elaboración propia.

Para mayor comprensión de la localización de las centrales, la Figura 3-16 presenta la distribución de las centrales hidroeléctricas en la cuenca Río Toltén.

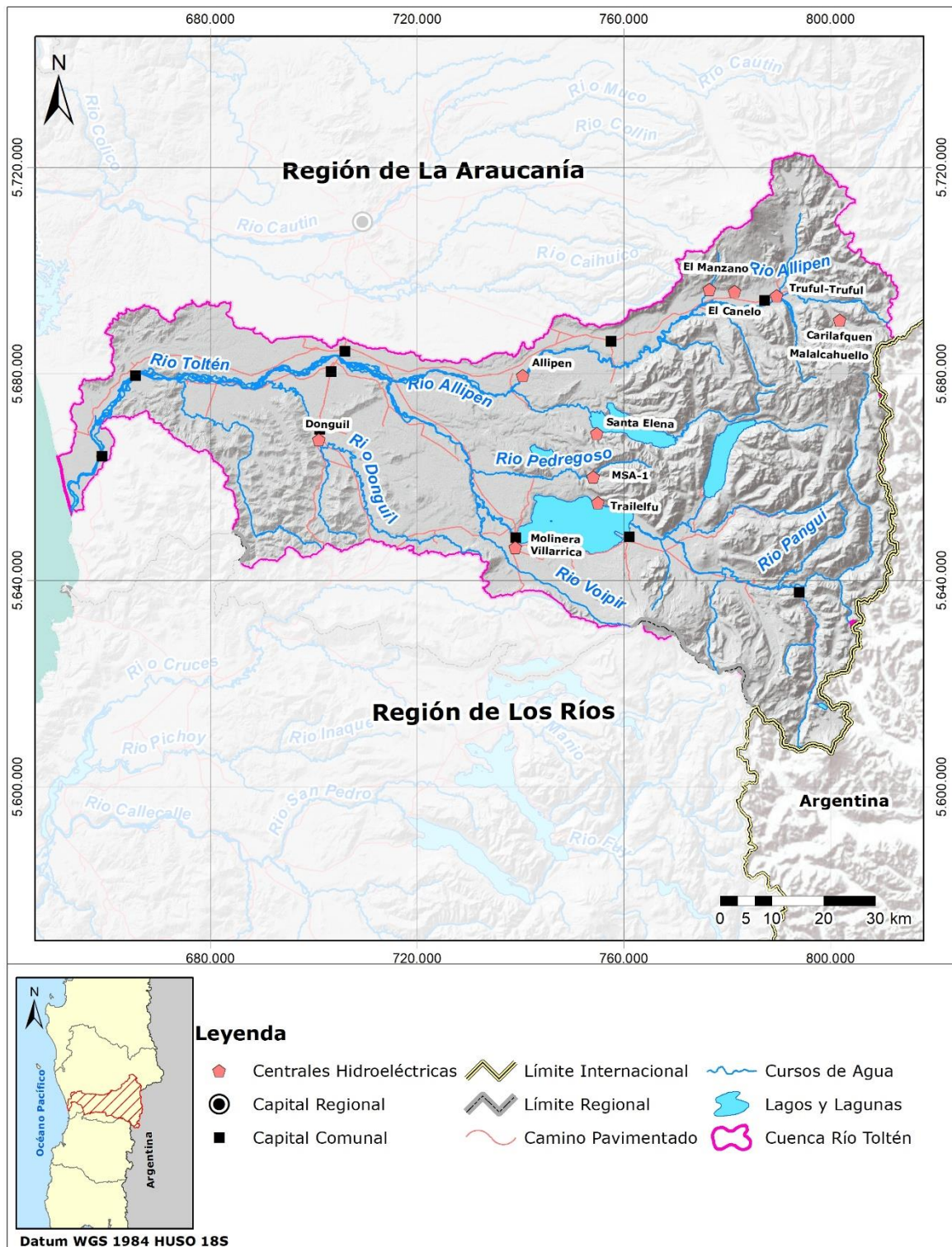


Figura 3-16. Localización de Centrales Hidroeléctricas.

Fuente: Elaboración propia, basada en antecedentes Ministerio de Energía (2021).

3.8.1. Demanda actual

La Tabla 3-15 presenta el resultado obtenido por la Demanda Hídrica proveniente de las centrales hidroeléctricas de pasada presentes en la cuenca Río Toltén.

Tabla 3-15. Demanda hídrica de Hidroeléctricas en la cuenca Río Toltén.

Comuna	N° de Hidroeléctricas	Caudal [hm ³ /año]
Cunco	2	148,85
Melipeuco	5	1.284,33
Villarrica	3	192,37
Gorbea	1	7,88
Total	11	1.633,44

Fuente: Elaboración propia, basada en antecedentes Ministerio de Energía (2021).

3.8.2. Demanda futura

La Tabla 3-16 presenta los resultados obtenidos para la estimación de la DHF generada por el uso industrial en la cuenca Río Toltén.

Tabla 3-16. Estimación futura de la demanda hídrica en uso industrial.

Años	DAA Consuntivos		DAA No consuntivos	
	N° DAA	Caudal [hm ³ /año]	N° DAA	Caudal [hm ³ /año]
2030	3	1,20	24	3.529,26
2040	3	1,20	24	3.529,26
2050	3	1,20	24	3.529,26

Fuente: Elaboración propia, , basada en DAA de DGA (2021).

3.9. RESUMEN DE DEMANDAS HÍDRICA

A continuación, la Figura 3-17 y la Figura 3-18 presentan un resumen de la demanda hídrica de tipo consuntiva, mientras que la Figura 3-19 presenta un resumen de la demanda hídrica de tipo no consuntiva.

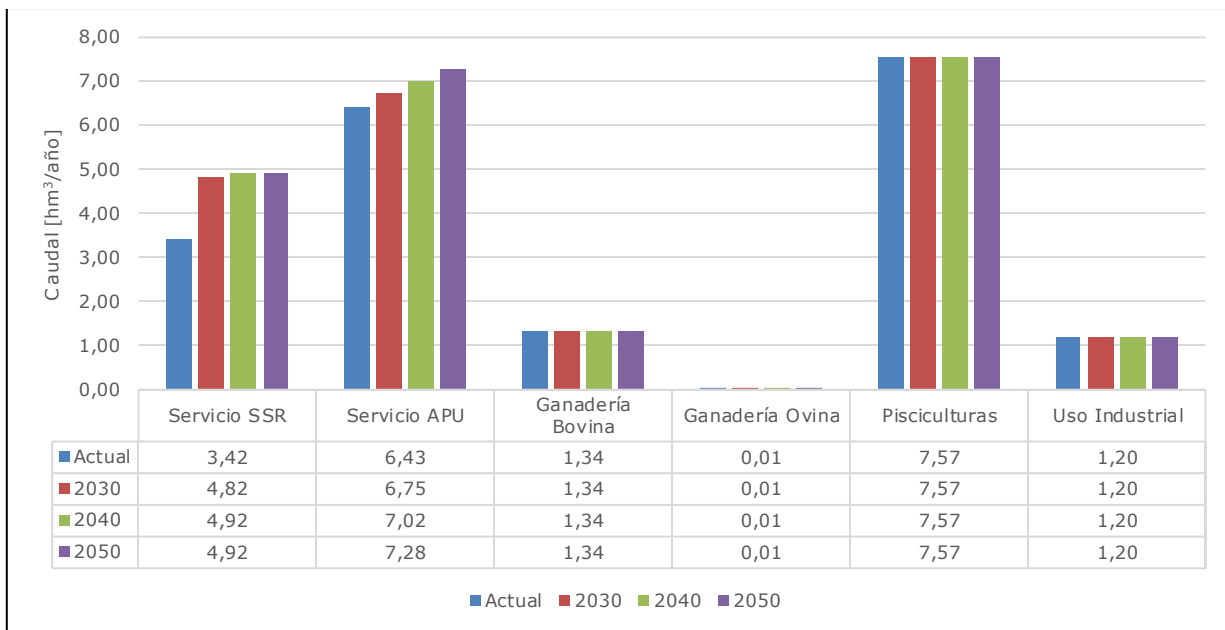


Figura 3-17. Demanda hídrica actual y futura de tipo consuntiva para diferentes usos.

Fuente: Elaboración propia, basado en resultados obtenidos del Plan.

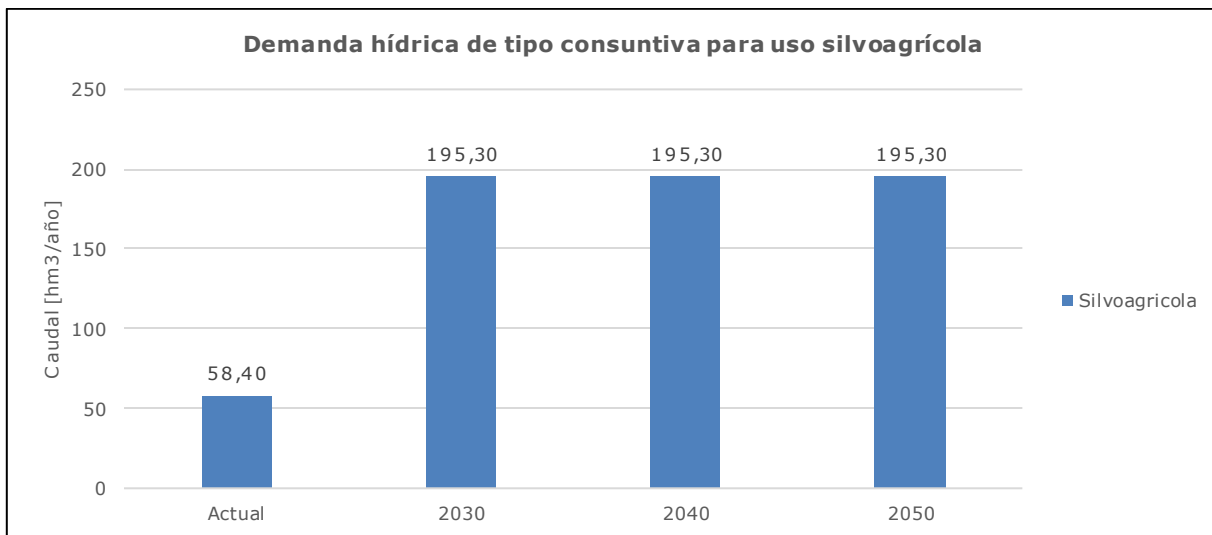


Figura 3-18. Demanda Hídrica actual y futura de tipo consuntiva para uso Silvoagrícola.

Fuente: Elaboración propia, basado en resultados obtenidos del Plan.

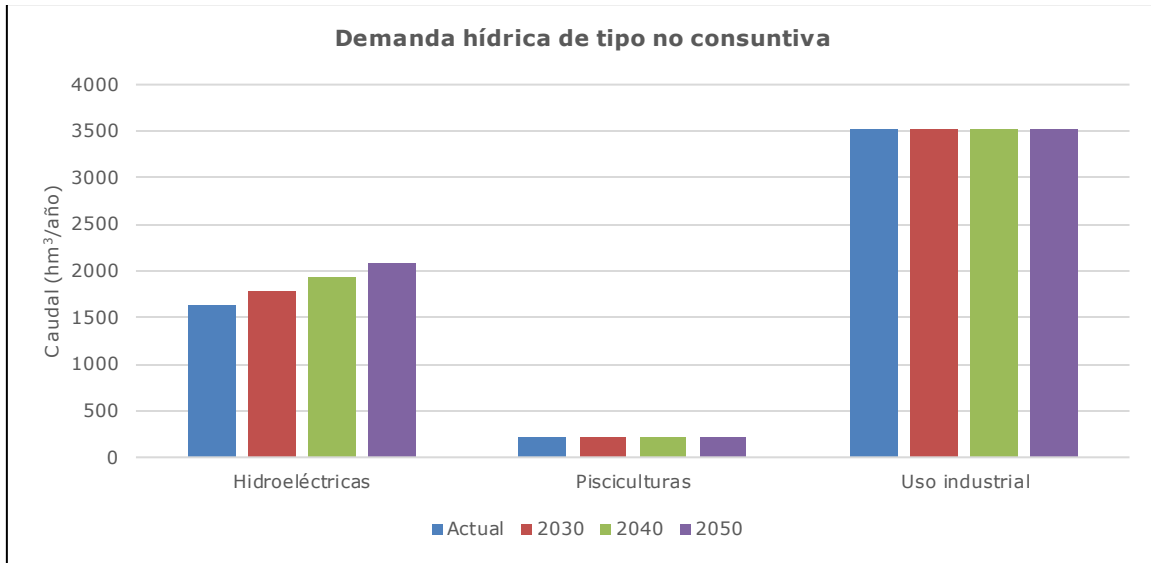


Figura 3-19. Demanda hídrica actual y futura de tipo no consuntiva en la cuenca.

Fuente: Elaboración propia, basado en resultados obtenidos del Plan.

4. OFERTA HÍDRICA

4.1. AGUA SUPERFICIAL

4.1.1. Fuentes

Las fuentes más utilizadas en esta cuenca, es el agua superficial provenientes de Ríos y esteros, así como agua subterránea, tanto de pozos poco profundo como algunos pozos profundos.

La cuenca Río Toltén presenta 4 subcuencas: Río Allipén, Río Pucón, Lago Villarrica y Toltén Alto y Toltén Bajo, las cuales responde según la hidrografía de la red de drenaje (ver Figura 2-5. Hay que recordar que existen tres lagos principales: Lago Villarrica, Lago Cólico y Lago Cabargua. Las características morfométricas de cada una se detallan en la Tabla 4-1.

Tabla 4-1. Características subcuencas del Río Toltén.

Información	Subcuencas Río Toltén			
	Río Allipén	Río Pucón	Lago Villarrica y Toltén Alta	Toltén Bajo
Código DGA	0940	0941	0942	0943
Área [km ²]	2.653,8	2.383,8	1.134,5	2.342,8
Altura media [m.s.n.m.]	847,7	1.063,3	433,9	149,3
Altura media centro de gravedad [m.s.n.m.]	870	1.228	215	175
Pendiente [%]	24,5	32,9	11,4	8,9
Perímetro [km]	320,6	244,6	208,8	313,6
Longitud cauce principal [km]	108,0	88,0	70,0	84,0

Fuente: Tomado de DGA (2016).

Aunque existen áreas bajo protección oficial pertenecientes al Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas por el Estado, no existen declaraciones de agotamiento de aguas superficiales en la cuenca.

4.1.2. Precipitaciones

Las curvas de variación estacional para precipitación y caudal se presentan en el "Anexo J. Descripción y diagnóstico", subcapítulo 6.4. A continuación, se expone un set de curvas de variación estacional de precipitación para la estación DGA "Río Toltén en Teodoro Schmidt", la cual registra precipitación y caudales.

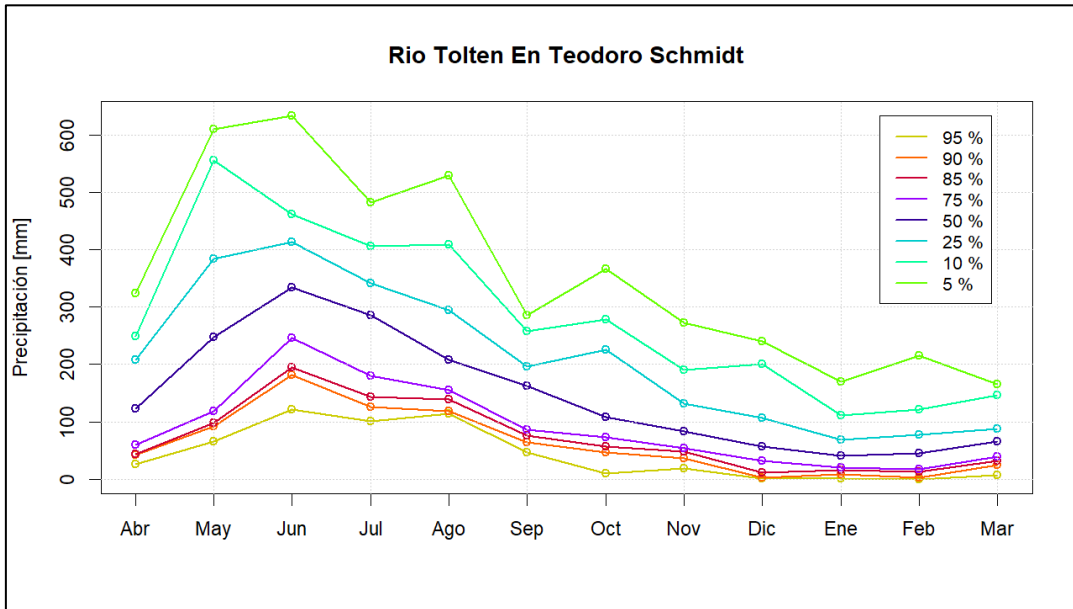


Figura 4-1. Curvas de variación estacional de precipitación. Estación Rio Toltén en Teodoro Schmidt.

Fuente: Elaboración propia a partir de DGA (2021a).

Para la precipitación, se observa que el comportamiento de la variable es el típico de las cuencas a estas latitudes, es decir, las precipitaciones se presentan sobre todo en invierno, alcanzando el *peak* entre los meses de mayo y agosto. Este comportamiento causa que los principales flujos en la cuenca se den en este mismo periodo, considerando la inercia que la cuenca puede presentar debido a su extensión, además de la esperada acumulación de nieve debido a las bajas temperaturas en el sector alto de la cuenca. Las precipitaciones en el periodo de estiaje (septiembre a marzo) no dejan de ser importantes, superando ocasionalmente los 150 mm en la mayoría de las estaciones para una probabilidad de excedencia 5%, por lo que la red drenaje y los acuíferos están siendo alimentados frecuentemente.

Para el análisis de los eventos extremos, se calcularon las precipitaciones máximas en 24 h para distintos periodos de retorno. A continuación, en la Tabla 4-2 y en la Figura 4-2 se muestran los valores de precipitación máxima en 24h en la estación Villarrica para diferentes periodos de retornos, según la función de distribución Pearson 3. En ésta se observa que, para periodos de retorno menores a 20 años la curva presenta un incremento pronunciado desde valores menores a 90 mm hasta valores cercanos a 160 mm. Posteriormente, la curva presenta un menor crecimiento, alcanzando un valor de 216,1 mm para 100 años de período de retorno.

Mayor detalle de las estaciones utilizadas para representar el clima se encuentran en el Anexo J - Clima.

Tabla 4-2. Precipitación máxima en 24h según periodo de retorno para la estación Villarrica ajustada a una función Pearson 3.

Periodo de Retorno [años]	Precipitación máxima [mm]
2	78,4
5	112,6
10	137,2
20	161,3
25	168,9
50	192,6
100	216,1

Fuente: Elaboración propia a partir de datos a DGA (2021a).

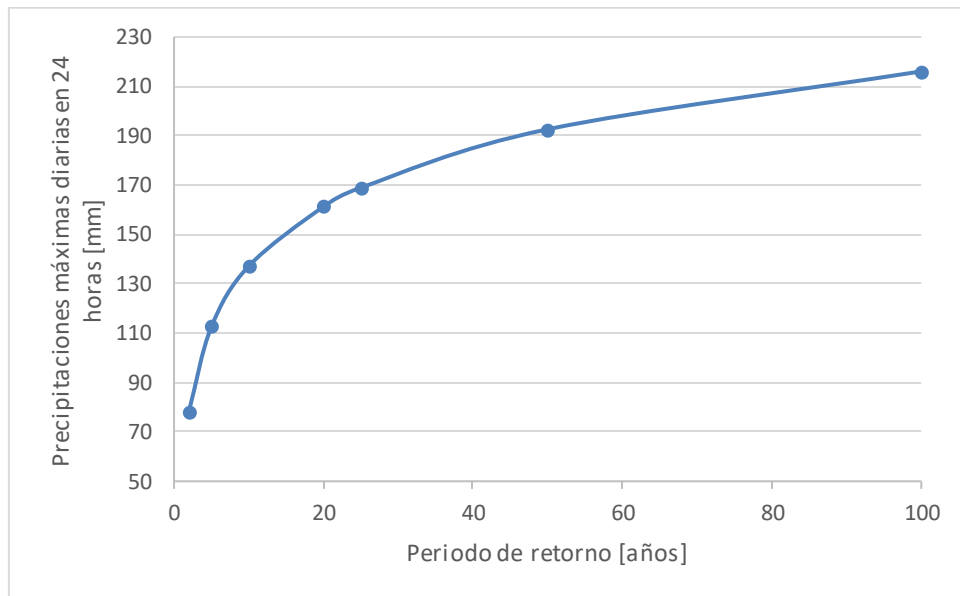


Figura 4-2. Precipitación máxima en 24h según periodo de retorno para la estación Villarrica ajustada a una función Pearson 3.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos a DGA (2021a).

De acuerdo a lo señalado por el Ministerio de Medio Ambiente (2014), dentro de los eventos extremos se ha encontrado un marcado aumento en la probabilidad de eventos de sequía (considerado, especialmente a partir de la segunda mitad del siglo XX (como referencia se señala la ocurrencia de más de 10 veces en 30 años)).

4.1.3. Oferta en la fuente

La estación fluviométrica Río Toltén en Teodoro Schmidt se encuentra a aproximadamente a 30 km de la desembocadura del Río Toltén en el mar, por lo que representa el comportamiento general de la cuenca. En estas curvas se presenta claramente un *peak* al

terminar el invierno, presentándose caudales importantes, sin embargo, ocasionales, al inicio del periodo de deshielo, por lo que la mayoría de los aportes superficiales corresponden a la precipitación, con un marcado régimen pluvial por sobre el nival.

A continuación, la Tabla 4-3 presenta algunas características de la estación mencionada y considerada representativa de la cuenca y la Figura 4-3 presenta las curvas de variación estacional de esta estación las cuales entregan una estimación de forma aproximada de la cantidad de recurso disponible en toda la cuenca. La presenta los caudales asociados a un 85% de excedencia de las estaciones fluviométricas consideradas en la cuenca (las que cumplían con la robustez dada por los datos presentes). Cabe destacar que no existen declaraciones de agotamiento de aguas superficiales en la cuenca.

Tabla 4-3. Características de registro de datos de la estación Río Toltén en Teodoro Schmidt.

Estación	Fecha inicio	Fecha termino	Mediciones	Faltantes	%Faltantes
Río Toltén en Teodoro Schmidt	12-02-1991	09-03-2018	9735	152	1,5

Fuente: Elaboración propia a partir de DGA (2021a).

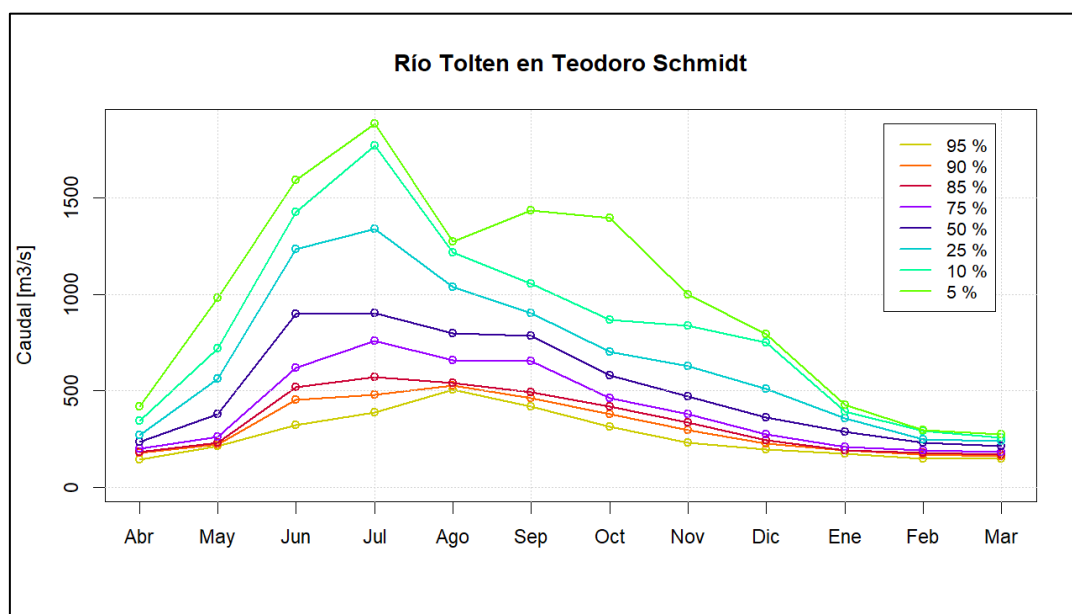


Figura 4-3. Curvas de variación estacional de caudal. Estación Río Toltén en Teodoro Schmidt.

Fuente: Elaboración propia a partir de DGA (2021a).

Tabla 4-4. Caudal mensual asociado a una probabilidad de un 85% de excedencia en las estaciones consideradas.

Estación	Q85% [m ³ /s]											
	abr	may	jun	jul	ago	sept	oct	nov	dic	ene	feb	mar
Río Allipen en los Laureles	53,3	67,9	124,8	123,3	131,2	117,5	106,8	88,3	68,7	54	52,3	47
Río Allipen en Melipeuco	37,3	40,4	56,6	54,1	57	58,5	63,1	62,3	51,6	44,8	43,2	38,4
Río Curaco en Colico	5,8	11,8	52,1	58,9	50	41,8	24	18,2	11,9	6,4	5,8	4,8
Río Donguil en Gorbea	2,4	7,2	27,7	43,2	42,9	35,1	18,1	10,5	5,3	3	1,8	1,8
Río Mahuidanche en Santa Ana	4,2	6,2	14,5	16,2	23,8	18,7	11,1	7,6	4,7	3,7	2,8	2,8
Río Toltén en Teodoro Schmidt	182	228,7	518	572,1	538,5	493,4	419,7	333,5	241,7	192,2	175,6	170,2
Río Toltén en Villarrica	94,8	123,6	206,7	246,2	263	269,4	222,3	188	144,6	109,5	99,9	92,4
Río Trancura en Curarrehue	5,8	10,2	26,7	26,7	25,3	27,5	25,9	18,7	12,5	7,9	6,7	5,6

Fuente: Elaboración propia a partir de DGA (2021^a).

A primera vista, en la mayoría de las estaciones se observa un solo *peak* de manera clara en el periodo de precipitaciones (mayo-agosto), por lo que el régimen de la cuenca es pluvio-nival, sin embargo, el deshielo es más bien exiguo, por lo que se infiere que el área de acumulación de nieve durante los meses de invierno es poca y que los recursos provenientes del derretimiento se agotan rápidamente, apenas empieza la primavera.

La estación Río Toltén en Teodoro Schmidt se encuentra a aproximadamente 30 km de la desembocadura del Río Toltén en el mar, por lo que representa el comportamiento general de la cuenca. En estas curvas se presenta claramente un *peak* al terminar el invierno, presentándose caudales importantes, sin embargo, ocasionales, al inicio del periodo de deshielo, por lo que la mayoría de los aportes superficiales corresponden a la precipitación, con un marcado régimen pluvial por sobre el nival.

La escorrentía superficial, muestra un comportamiento similar a la ocurrencia de precipitaciones, con una marcada estacionalidad de caudales mayores en invierno y caudales menores a fines de verano y comienzo de otoño.

Se aprecia la influencia lacustre en la fluviometría del Río Toltén, dado principalmente por el lago Villarrica. Se aprecia un desfase en los caudales medios mensuales mayores respecto a la precipitación, así como en el periodo de estiaje. Mientras el mes de mayor precipitación es junio, el caudal medio mensual suele ocurrir en julio, mostrando un descenso más suavizado hacia agosto y septiembre que lo que ocurre en la precipitación, Además, los caudales menores, también se muestran desfasados respecto a la ocurrencia de precipitaciones menores.

Desde el punto de vista de la oferta superficial, ésta corresponde a 10.538 hm³/año la cual fue determinada para la salida de la cuenca, es decir, para la estación Río Toltén en Teodoro Schmidt a partir de los caudales para un 85% de probabilidad de excedencia.

La oferta superficial varía en la cuenca dependiendo del cauce o afluente que se considere. Se aprecia que la oferta hídrica del Río Toltén es la principal y le sigue el río Allipén como principal tributario (ver Figura 4-4). Los afluentes Río Curaco, río Donguil y Río Mahuidanche entregan ofertas bastante menores respecto a estos dos ríos principales.

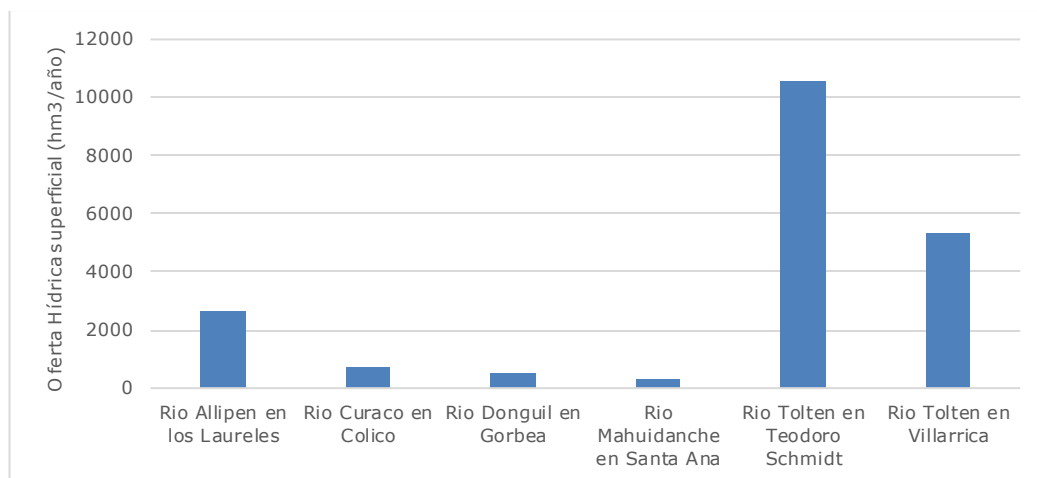


Figura 4-4. Oferta hídrica superficial anual para los principales cauces en la cuenca Río Toltén.

Fuente: Elaboración propia a partir de DGA (2021a)

4.1.4. Oferta en la fuente proyectada

Respecto a la condición histórica esta se determinó a partir de la proyección de cambio climática desarrollada en el Anexo H, acápite 1.6. Se aprecia que la oferta proyectada es similar, el orden de magnitud y tipo de régimen hidrológico a la condición histórica, esta disminuya entre un 10% y un 5% respecto al histórico.

Respecto a la oferta superficial, se determinó en la misma estación Río Toltén en Teodoro Schmidt. En la Figura 4-5 se muestran las CVE de esta estación pluviométrica.

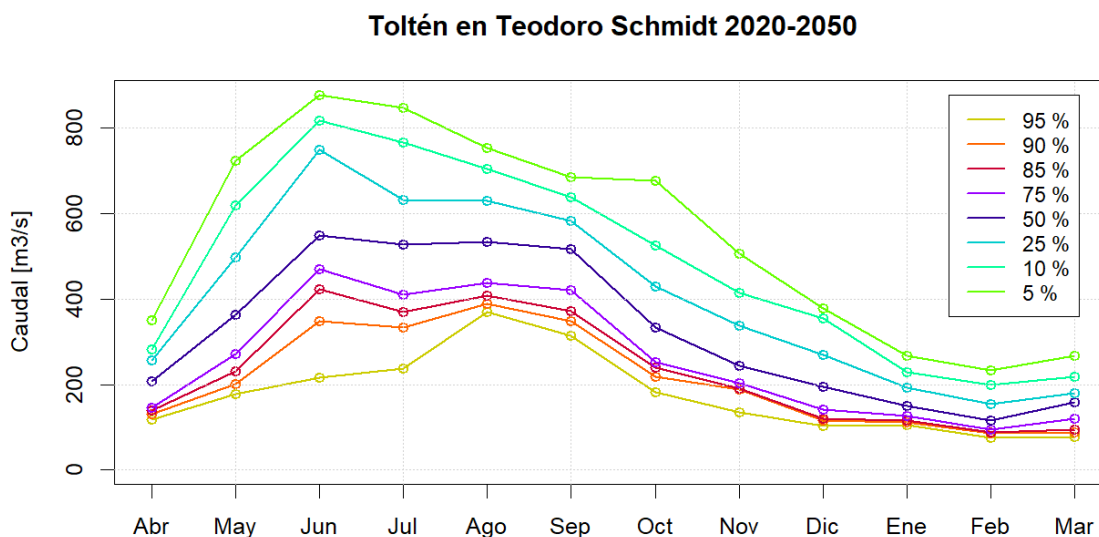


Figura 4-5. Curvas de variación estacional de precipitación. Estación Río Toltén en Teodoro Schmidt. Periodo 2020-2050.

Fuente: Elaboración propia a partir de modelación acoplada WEAP-Modflow.

Se observa en todas las curvas una disminución del recurso comparada con las curvas de la misma estación para el periodo histórico presentadas en la Figura 4-3. Esta disminución genera que la oferta proyectada en esta estación sea igual a 8.658 hm³/año, es decir, un 17% menos que bajo la condición histórica.

Similar situación ocurre en el resto de la cuenca en sí (Figura 4-6), en donde la disminución es del orden de 23% respecto a la oferta superficial histórica.

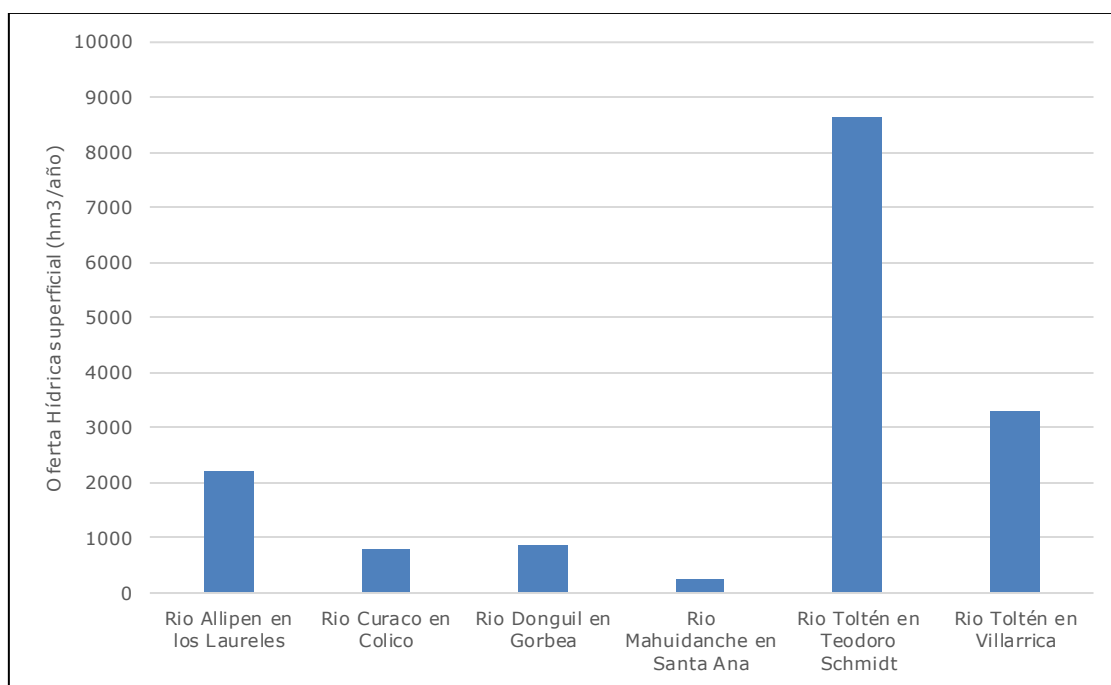


Figura 4-6. Oferta hídrica superficial anual proyectada para los principales cauces en la cuenca Río Toltén

Fuente: Elaboración propia a partir de modelación acoplada WEAP-Modflow.

4.1.5. Calidad actual

Como se señaló en la sección 2.4.2.2, en la cuenca Río Toltén se presenta un programa de monitoreo de calidad en estaciones de la Red Hidrométrica de la DGA y se ha desarrollado el estudio DGA (2016) que realiza mediciones puntuales sobre la calidad del agua superficial. En total se cuenta con 54 puntos de monitoreo, algunos que son estaciones y otros puntos de medición (Figura 2-26). En el Anexo J de Descripción Diagnostico Sección 7.1 se encuentra mayor descripción sobre dicha información y en el Apéndice J.5 se encuentran todos los datos recolectados para este plan.

En base a los datos disponibles se estimó la calidad hidroquímica para toda la cuenca y para cada subcuenca. Todas las subcuencas poseen carácter hidroquímica sin tipo dominante de cationes, con una tendencia leve a tipo sodio-potasio de acuerdo con los datos analizados obtenidos en la plataforma de la DGA. Se destaca que para la década más

reciente (años 2011-2020) no se presentan datos de aniones, lo que impide realizar una evaluación más completa entre subcuencas y por consiguiente más actualizada.

Para conocer la calidad de agua superficial de la cuenca Río Toltén se aplicó la metodología desarrollada por DGA (2019b) y aplicada en el Atlas Calidad de Agua Chile 2020 (DGA, 2021d) para monitorear los compromisos adquiridos por Chile en cuanto al cumplimiento del Objetivo del Desarrollo Sostenible (ODS) 6 Agua limpia y saneamiento, en específico la meta 6.3.2 referida a Porcentaje de cuerpos de agua con buena calidad de agua ambiental.

En la Figura 4-7 se observa que, del total de 64 puntos de muestreo, entre estaciones de monitoreo y puntos de muestreo del estudio DGA (2016), fue posible calcular la calidad de agua en 54 estaciones considerando un mismo periodo de tiempo (2014-2016), de modo tal, que sea comparable a escala temporal. Cabe recordar que, del total de parámetros medidos, esta metodología utiliza cinco: Oxígeno Disuelto, Salinidad medida como conductividad, Fósforo y acidificación medida como pH. En dicha figura se presentan los resultados agregados de calidad de agua por punto de muestreo y en función de la subcuenca a la que pertenece.

Para cada punto de muestreo, que pudo ser calculado, la calidad es buena, por tanto, cada subcuenca posee una calidad del agua buena, es decir, el 80% de las mediciones respetan los umbrales de calidad de agua para los parámetros utilizados en la metodología DGA (2019b).

De acuerdo con los parámetros analizados dentro de las normas chilenas de la calidad de agua, NCh 409/1 y NCh 1333, fue posible contabilizar el número de veces que cada parámetro se encuentra por sobre la norma según subcuenca (Tabla 4 5).

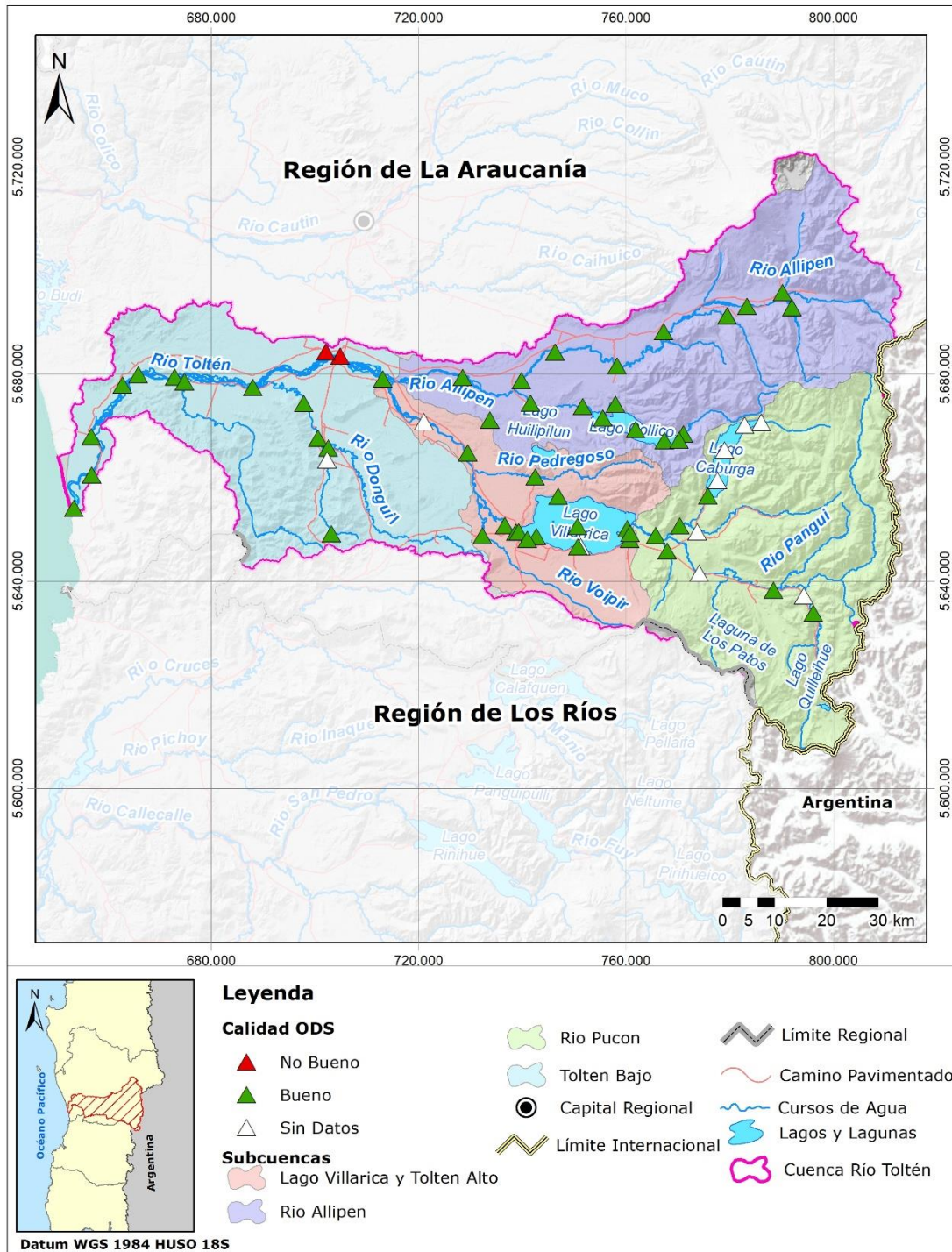


Figura 4-7. Mapa ODS Agua limpia y saneamiento en la cuenca Río Toltén por punto de muestreo.

Fuente: Elaboración propia, basado en DGA (2021a) y DGA (2016).

En general se observa que las cuatro subcuencas presentan parámetros por sobre norma de riego o de consumo humano. Además, los parámetros que se encuentran por sobre la norma en su mayoría son elementos como Hierro, Mercurio, Boro, Plomo, entre otros. Son 12 parámetros los que se encuentran sobre una o ambas normas de calidad en la cuenca. Otro elemento que destaca es que la subcuenca 0942 (Lago Villarrica y Toltén Alta) presenta mayor cantidad de número de muestras tomadas y, por tanto, la cantidad de incumplimientos por cada parámetro se reduce desde la perspectiva porcentual.

Tabla 4-5. Evaluación del número de muestras que no cumple a las normas chilenas NCh 409/1 y NCh 1333.

Subcuenca	N° de muestras	NCh 409/1		NCh 1333	
		Parámetro	N° incumplimientos	Parámetro	N° incumplimientos
0940	159	Fe	34	B	38
		Hg	17	Cu	2
		Mg	1	Hg	17
		Pb	23	Mo	18
		pH	19	Na%	83
				pH	22
0941	75			T°	1
				Ag	1
				Al	3
		Fe	16	B	18
		Hg	9	Fe	4
		Mn	4	Hg	9
		Pb	11	Mn	3
		pH	10	Mo	8
				Na%	22
		pH	13		
0942	268			V	1
		Fe	3	B	19
		Hg	9	Cu	1
		Pb	11	Fe	1
		pH	61	Hg	9
				Na%	33
0943	105			O ₂	7
		Cl	3	pH	79
		Cr	1	B	35
		Fe	60	Cl	3
		Hg	16	Cr	1
		Mg	1	CE	3
		Pb	22	Hg	16
		pH	19	Mo	19
		SDT	2	Na%	90
				pH	19
		SO ₄	1		

Fuente: Elaboración propia, basado en DGA (2021a).

Considerando lo anteriormente señalado, que la calidad del agua ambiental de la cuenca Río Toltén es buena siguiendo la metodología DGA (2019b) y que de igual manera existen 12 parámetros por sobre las normas de uso del agua para riego y consumo humano se complementó la información de fuentes de contaminación con análisis más detallado de la calidad de los datos, así como los relatos presentados durante los talleres de Participación Ciudadana (PAC) en relación al diagnóstico participativo (ver Anexo I).

4.1.6. Fuentes de contaminación

Uno de los más evidentes resultados de la caracterización de la calidad de agua es que se observan varios parámetros con un número elevado de muestras que no cumplen algunas de las dos normas de calidad de agua. De las 4 subcuencas que han sido monitoreadas, en todas ellas el Boro, Mercurio, Molibdeno y Plomo presentan más de 33% de las mediciones por sobre las normas entre las mediciones reportadas en las estaciones oficiales de la DGA (Figura 4-8). Al observar los datos para estos parámetros se detectan que la gran mayoría de las mediciones corresponden a valores medido en mg/L sin variaciones. La alta repetición de un valor de un número redondo (como 0,01 mg/L) indica un tipo de error en un base de datos (Van den Broeck *et al.*, 2005) y es necesario identificarlos para separar el ruido estadístico del patrón que existe. Para el caso de Boro el valor repetido era de 1 mg/L, para el caso de Mercurio los valores repetidos eran de 0,001 y 0,002 mg/L, para el Molibdeno el valor repetido era 0,05 mg/L y para el Plomo los valores repetidos eran 0,02; 0,05; 0,06 y 0,07 mg/L, lo que se relaciona con el límite de detección que existe para cada parámetro.

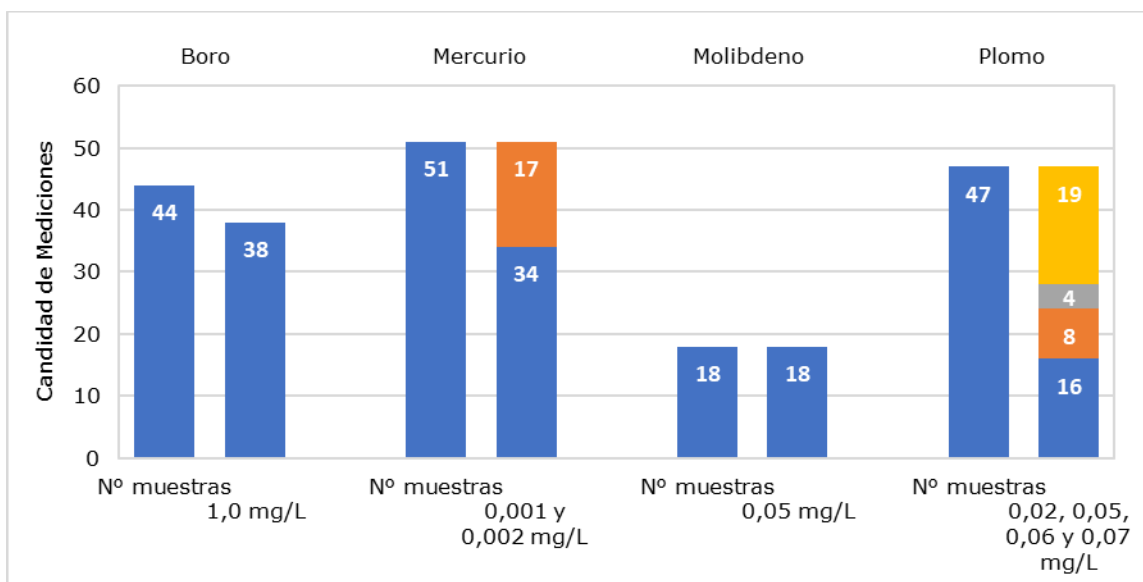


Figura 4-8. Frecuencia de medición de Boro, Mercurio, Molibdeno y Plomo versus frecuencia de reporte de valor repetido (mg/L) basado en datos de la plataforma físico-químico de la DGA.

Fuente: Elaboración propia, basado en DGA (2021a).

Considerando lo expuesto anteriormente, se evidencia que el programa requiere de un refortalecimiento y mejora en la selección de los análisis de laboratorio para dichos parámetros. No obstante, se presentan otros parámetros por sobre la norma. En la Figura 4-9 se representa la distribución espacial a nivel de subcuenca del porcentaje de muestras que superan la norma para Hierro (Fe), Manganeso (Mn), Sodio Porcentual (Na%), y pH. Se presentan los puntos de monitoreo de calidad de agua superficial, identificándose cada subcuenca. Los gráficos presentan los valores para todos los puntos dentro de la misma subcuenca y contiene todos los años con datos.

Ahora, bien los valores de fierro son altos en todas las subcuencas (Figura 4-9), pero con registros con valores variables, y ello podría indicar que proviene de una fuente natural. De esta manera, los resultados para este metal señalan que no se puede usar el agua para consumo humano sin tratamiento previo.

En el caso de sodio porcentual, se presenta un alto porcentaje de muestras que superan la norma en este parámetro (Figura 4-9), probablemente porque las aguas que poseen carácter químico de sin tipo dominante de cationes, con una tendencia a tipo sodio-potasio son los que caracterizan hidroquímicamente a la cuenca. Esto se potencia debido a que los valores de manganeso son bajos, y provoca un aumento del efecto de sodio porcentual.

Entre los incumplimientos de pH (Figura 4-9), se presentan más casos con pH bajo, que indica que las aguas poseen carácter un poco ácido, pero – al igual que los casos de fierro y plomo – parece que podría explicarse a una causa natural, debido su dispersión general. Entonces, el pH bajo estaría relacionada a la dispersión de estos metales y de igual modo, constituiría valores naturales de acidez en el agua.

Más información se encuentra en el Anexo J de Descripción y Diagnóstico sección 7.1.3 Fuentes de contaminación donde se observa en mayor detalle cada uno de los gráficos. Los gráficos se encuentran en digital en el Apéndice J.5 de Calidad de Agua, específicas para la cuenca Río Toltén.

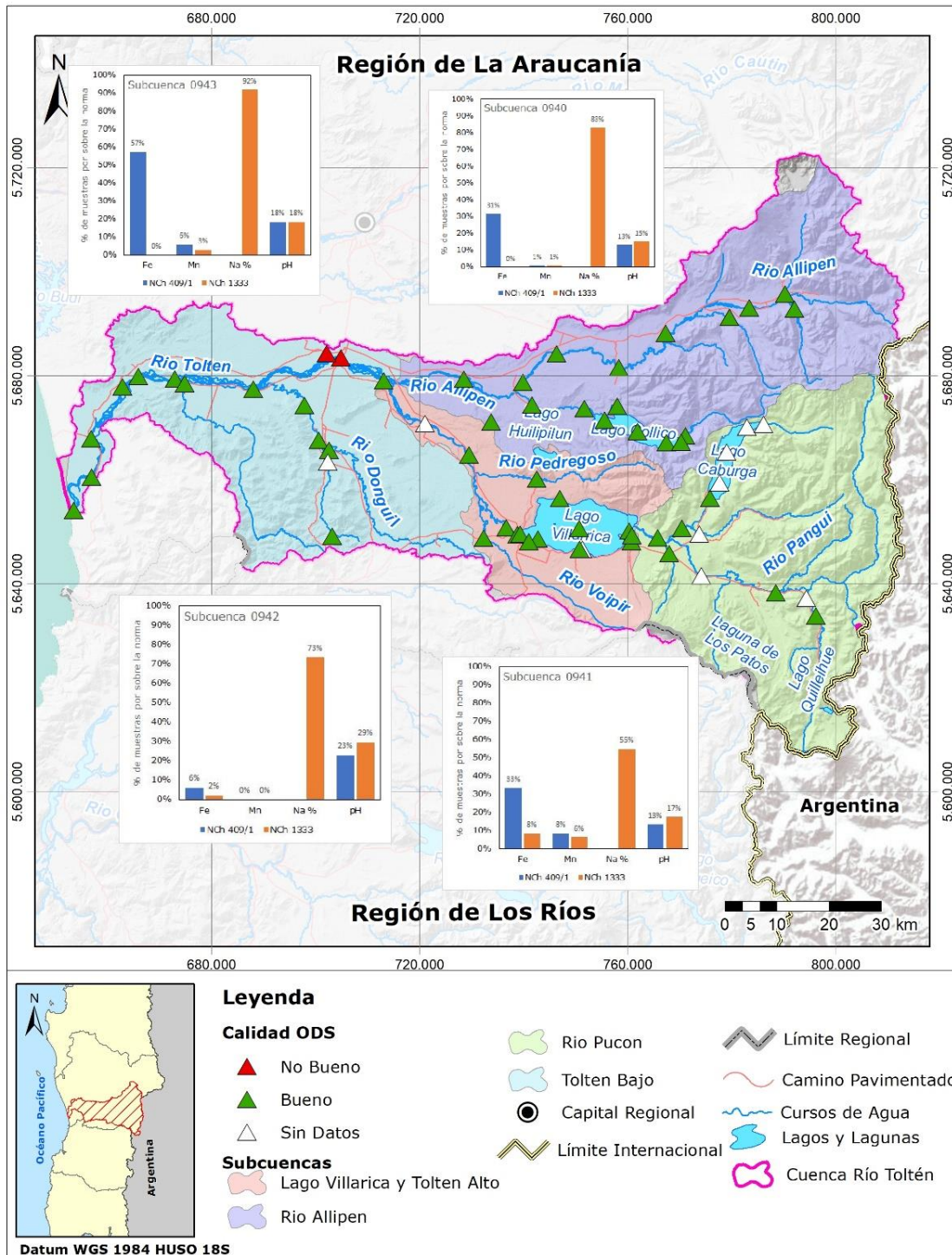


Figura 4-9. Porcentajes de muestras que superan las normas de calidad de agua de Hierro, Manganeso, Sodio porcentual y pH en cada Subcuenca.

Fuente: Elaboración propia, basado en DGA (2016) y DGA (2021a).

En contraste con todo lo anteriormente señalado, que la calidad del agua es básicamente buena, que los valores de los elementos altos se asocian a sesgos analíticos y que los altos valores de Hierro, Manganeso, Sodio Porcentual y pH podrían ser atribuibles a fuentes naturales, la ciudadanía señala que la calidad es mala o está en riesgo, principalmente debido a fuentes de origen antrópico como pisciculturas, hidroeléctricas y planta de tratamiento de aguas servidas (ver Anexo I de Procesos Participativos, Taller de Diagnóstico).

Al revisar la información disponible de procesos sancionatorios llevados a cabo por la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) se observan que, del total de ellos, el 50% de los procesos se relacionan con afectación a la calidad de agua. En la Tabla 4-6 y Figura 4-11 se presentan los procesos sancionatorios que cometen faltas a la normativa de calidad de aguas en las comunas que componen la cuenca Río Toltén. Entre ellas se destacan vertimientos de residuos líquidos por sobre la norma de emisión correspondiente, la generación y proliferación de algas y no reportar los programas de monitoreo de calidad de aguas comprometidos por RCA.

Tabla 4-6. Procesos sancionatorios realizados en comunas que componen la cuenca Río Toltén desde 2015 a 2020.

Expediente	Unidad Fiscalizable	Nombre razón social	Categoría	Estado
D-171-2020	Cierre Vertedero Gorbea	Ilustre Municipalidad De Gorbea	Saneamiento Ambiental	En curso
F-091-2020	Piscicultura Charleo	CIA Salmonifera Dalcahue Limitada	Pesca y Acuicultura	Programa de Cumplimiento en ejecución
D-040-2020	Relleno Sanitario Villarrica	Constructora Villarrica Limitada	Saneamiento Ambiental	Programa de Cumplimiento en ejecución
D-049-2020	Piscicultura Quimeyco	Sociedad Comercial Agrícola Y Forestal Quimeyco Limitada	Pesca y Acuicultura	En curso
F-008-2018	Riles Frusan Freire	Frutera San Fernando Sociedad Anónima	Agroindustrias	Terminado - Sanción
F-003-2018	Piscicultura Río Codihue, Tres Horquetas	Novatec S.A.	Pesca y Acuicultura	Terminado - Sanción
F-006-2017	Quesos Faja Maisan (Pitrufulquen I)	Bruno Marchioni Brun Y Cia Ltda.	Agroindustrias	Terminado - Sanción
F-052-2016	Lacteos Pelales	Lacteos Pelales Ltda.	Agroindustrias	En curso
F-035-2016	Piscicultura Los Rios	Acuicola Rios Toro Y Compañía Limitada	Pesca y Acuicultura	Programa de Cumplimiento en ejecución
D-024-2016	Piscicultura Molco Multiexport	Salmones Multiexport S.A.	Pesca y Acuicultura	Programa de Cumplimiento en ejecución
D-013-2016	Fundo San Vicente de Menetúe	Agrícola y Ganadera San Vicente de Menetue S.A.	Agroindustrias	Terminado - Absolución
D-010-2016	Piscicultura Loncotraro	German Ribba Alvarez	Pesca y Acuicultura	En curso

Expediente	Unidad Fiscalizable	Nombre razón social	Categoría	Estado
F-062-2015	Ptas Riles Chilesur*	Surlat Industrial Spa Pitrufquen	Saneamiento Ambiental	Programa de Cumplimiento en ejecución
F-062-2014	Piscicultura Quetroleufu	Aquachile S.A.	Pesca y Acuicultura	Terminado - PDC Satisfactorio

*: Titular fuera de la cuenca, pero que se encuentra en una comuna que pertenece a la cuenca Río Toltén.

Fuente: Elaboración propia en base a SMA (2021).

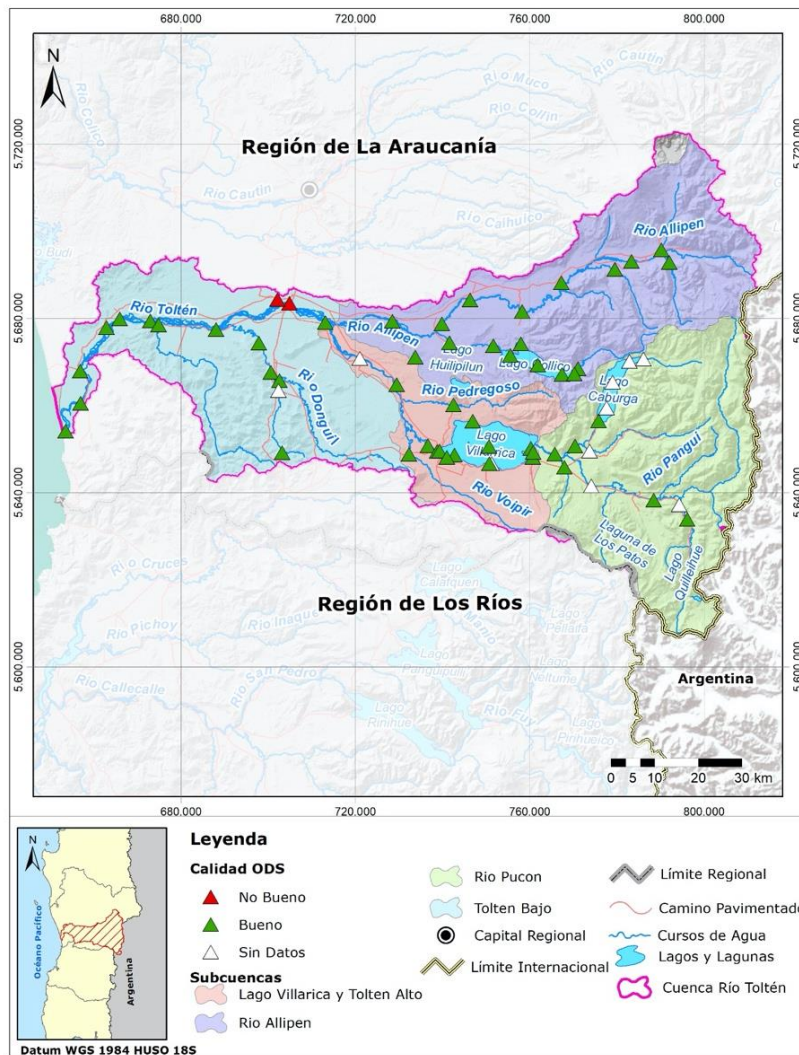


Figura 4-10. Localización de las fuentes de contaminación de agua superficial basados en procesos sancionatorios comparando con el Índice de Calidad de Agua ODS 6 según DGA (2021a).

Fuente: Elaboración propia en base a SMA (2021) y DGA (2021a).

Al realizar una revisión de fuentes de contaminación adicionales, el estudio desarrollado por DGA (2004) presenta las descargas de tipo domiciliario y descargas de residuos industriales líquidos como fuentes de contaminación. Una forma de evaluar las descargas domiciliarias sería a través de la contaminación por coliformes. No obstante, este parámetro no es medido en la Plataforma de DGA ni en el Informe SIT 396 (DGA, 2016).

En la cuenca Río Toltén varios pueblos descargan aguas servidas a los Ríos de la cuenca: Villarrica descarga un caudal de aguas servidas, previo tratamiento en lagunas de estabilización sobre el Río Trancura, con una carga orgánica DBO₅ de 155 ton/año. Pucón descarga un caudal de aguas servidas, previo tratamiento en lodos activados, de 18,7 l/s, al Río Trancura, con una carga orgánica DBO₅ de 12 ton/año. Estas dos localidades descargan con un tratamiento previo, que este sujeto a cumplimiento.

Por su parte, Freire, Pitrufoquén y Nueva Toltén descargan un caudal de aguas servidas sin tratamiento, de 22,7 l/s, al Río Toltén, con una carga orgánica DBO₅ de 143 ton/año. Gorbea descarga un caudal de aguas servidas, sin tratamiento, de 5,6 l/s, al Río Donguil, con una carga orgánica DBO₅ de 35 ton/año. Cunco descarga un caudal de aguas servidas, sin tratamiento, de 7,5 l/s, al Río Allipén, con una carga orgánica DBO₅ de 47 ton/año. Todos estos cursos receptores de importantes cantidades de aguas servidas sin tratamiento presentan contaminación bacteriológica grave. (Orrego, 2002; DGA, 2004).

La actividad económica principal de la cuenca gira en torno a las actividades turísticas, sin embargo, también son de importancia económica las actividades forestales, agrícolas, ganaderas y pesqueras. Dentro de estos rubros se han identificado industrias lecheras que descargan directa o indirectamente a través de un curso fluvial menor, sus efluentes industriales. Muchas de ellas poseen licencia ambiental a través de RCA y su fiscalización está a cargo de la SMA.

Entonces, se observa que el programa de monitoreo actual no da cuenta de los cambios en calidad de agua asociadas a las actividades antrópicas que están sujetas a fiscalización por parte de la SMA, y las fuentes de contaminación por parte de descargas domiciliarias e industriales. Es por esto que se debe fortalecer el programa de monitoreo de calidad de agua para aumentar frecuencia de medición y resolver los problemas analíticos observados en este plan, teniendo en consideración que los entes fiscalizadores son SMA y la DGA y por ende se aplican diferentes metodologías.

4.2. AGUA SUBTERRÁNEA

4.2.1. Sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común SHAC

En la zona de estudio existen 3 Sectores Hidrogeológicos de aprovechamiento común: Toltén alto, Toltén medio y Toltén bajo (Figura 4-11). En particular, el dominio activo del modelo de aguas subterráneas se sitúa en los SHACs Toltén alto y Toltén medio, para mayor detalle ver Anexo H.

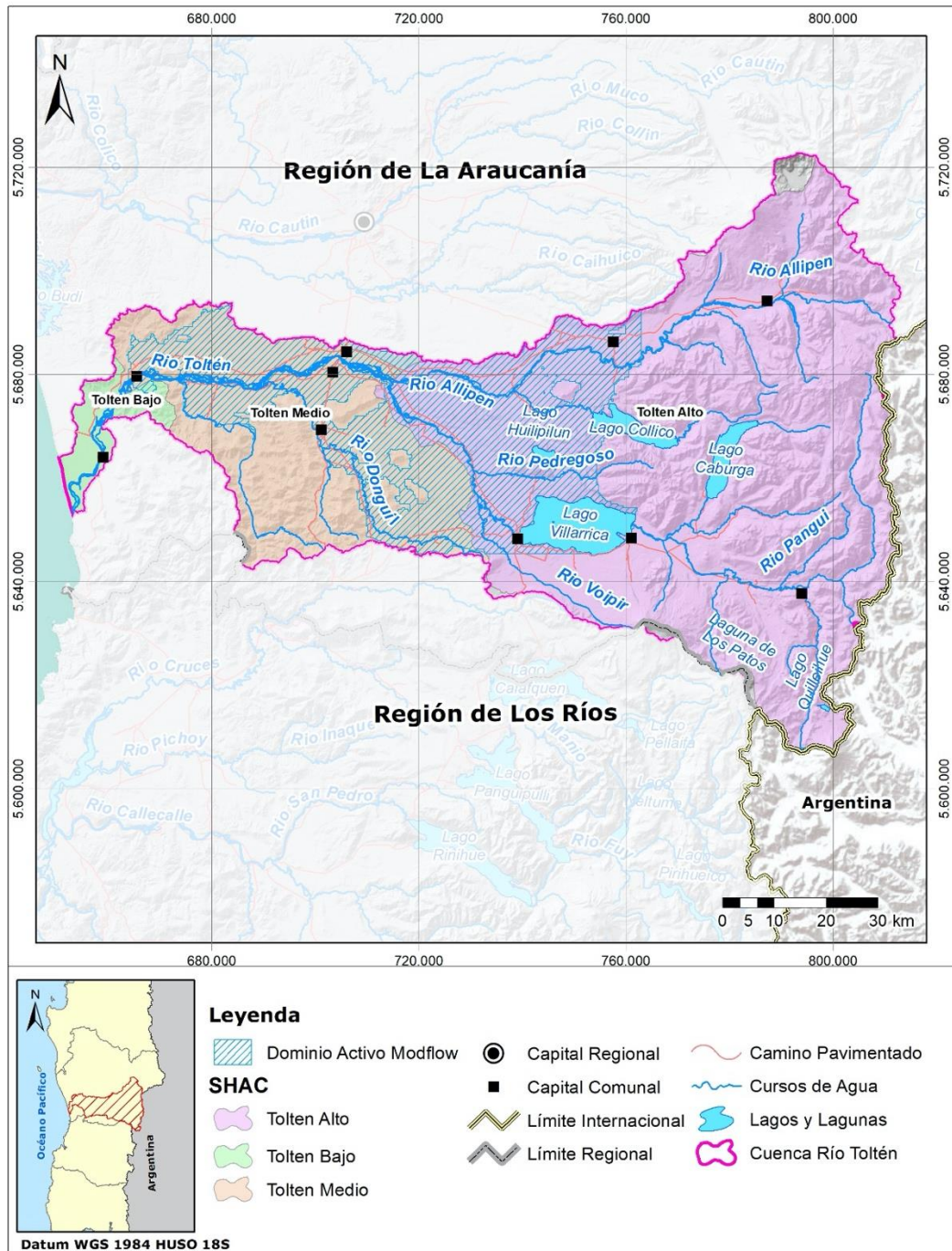


Figura 4-11. Sistema Hidrogeológicos de Aprovechamiento común presentes en la cuenca Río Tolten.

Fuente: elaboración propia a partir de Mapoteca Digital DGA (2021).

Como se menciona anteriormente, en el dominio del modelo conceptual y numérico se identifican 2 formaciones acuíferas, una libre que se encuentran en las zonas más someras

(UH1) y una semiconfinada en las zonas más profundas (UH2 y UH3). Para mayor detalle de las formaciones acuíferas se encuentra la información en el Anexo H.

4.2.2. Stock, recarga y niveles

Para el dominio activo del modelo desarrollado por Arcadis (DGA, 2016) estima que el almacenamiento en la cuenca Río Toltén es igual a 35.399,7 hm³.

A futuro se estima con el modelo acoplado WEAP-Modflow el almacenamiento en cada SHAC para el año 2050 considerando el factor cambio climático.

Tabla 4-7. Volumen almacenado, año 2016.

SHAC	Almacenamiento hm ³
Toltén Alto	7.164,6
Toltén Medio	2.310,5
TOTAL	9.475,1

Fuente: Elaboración propia, basado datos de modelo acoplado WEAP-Modflow, Anexo H (2021).

Se debe notar que los valores obtenidos son menores a los calculados por DGA (2016), debido a que ese estudio calculó el volumen en base a un valor teórico (típico de cuencas aluviales) de coeficientes de almacenamientos sobre 1% y el presente PEGH calcula los almacenamientos calibrados en el modelo numérico, los cuales son menores.

Con relación a la recarga, en el modelo desarrollado por DGA (2016a), se identifican 3 mecanismos de recarga superficial, la primera es calculada por un modelo hidrológico la cual considera recarga a partir de las precipitaciones y del riego, que es estimada para la Cuenca Río Toltén en 8,13 m³/s. Por otra parte, se tiene la recarga estimada por DGA (2014), cuyo valor total asciende 38,56 m³/s. La recarga estimada por SHAC en el estudio de la DGA (2016) y DGA (2014) se encuentra detallado en la Tabla 4-8

Tabla 4-8. Recarga estimada por SHAC en el estudio DGA (2016), DGA (2014) y modelo acoplado.

SHAC	Recarga [m ³ /s] DGA (2016)	Recarga [m ³ /s] DGA (2014)	Modelo Acoplado
Toltén Alto	4,62	32	5,7
Toltén Medio	3,5	0,86	3,0
Toltén Bajo	0,01	5,7	0,1
TOTAL	8,13	38,56	8,8

Fuente: Elaboración propia, basado en DGA (2016).

La segunda es proveniente de las entradas laterales al modelo cuyo valor asciende a 5,13 m³/s. Por su parte, en la zona modelada, en la cuenca Río Toltén se encuentra los lagos Collico y Villarrica, los cuales recargan directamente al acuífero, la metodología utilizada para incorporar la recarga fue una altura constante proveniente del espejo de agua de estos lagos. No se indica el valor correspondiente. Finalmente, la recarga proveniente de los Ríos se estima, para el dominio completo, que contempla el Río Imperial y Toltén, en 5,54 m³/s. Por su parte, las recargas obtenidas del modelo acoplado ascienden a 8,8 m³/s, el cual es coincidente con la recarga calculada por DGA el año 2016.

Con relación a los niveles históricos medidos, se muestran a continuación en la Figura 4-12 y la Figura 4-13 los hidrogramas para el pozo perteneciente a la SISS y a la DGA, respectivamente. En estos se observan que los niveles son relativamente estables a lo largo del tiempo. En particular en el pozo perteneciente a la SISS, los valores oscilan entre 277,5 y 280 m s.n.m. y en el pozo DGA entre 28,5 y 30,5 m s.n.m.

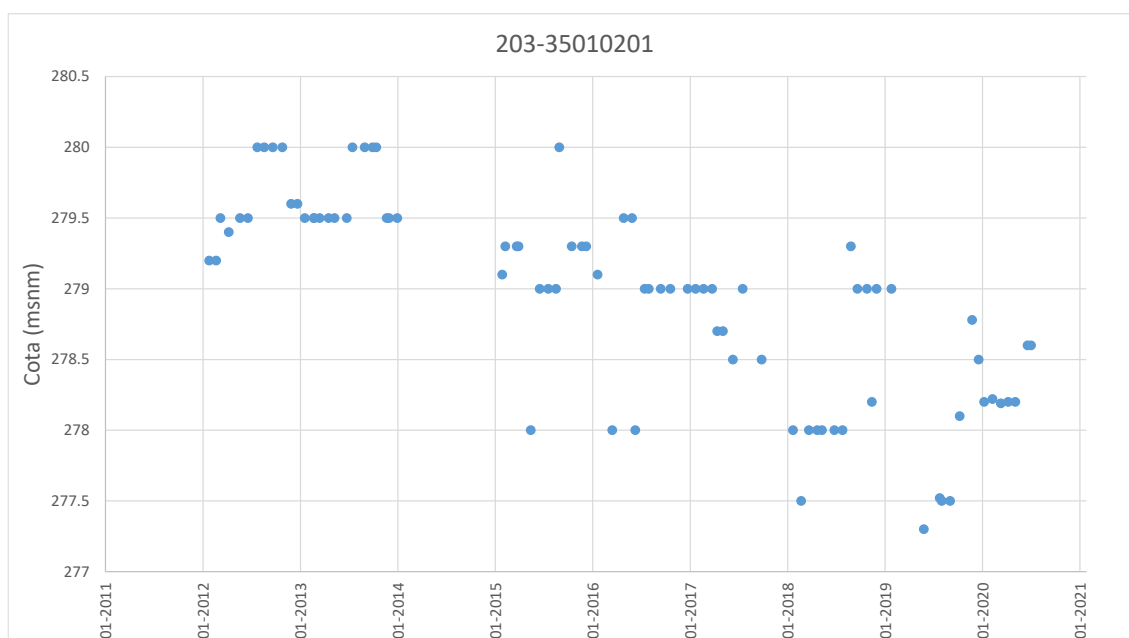


Figura 4-12. Hidrograma histórico pozo SISS (203-35010201).
Fuente: Elaboración propia en base a base de datos obtenidas de SISS (2021).

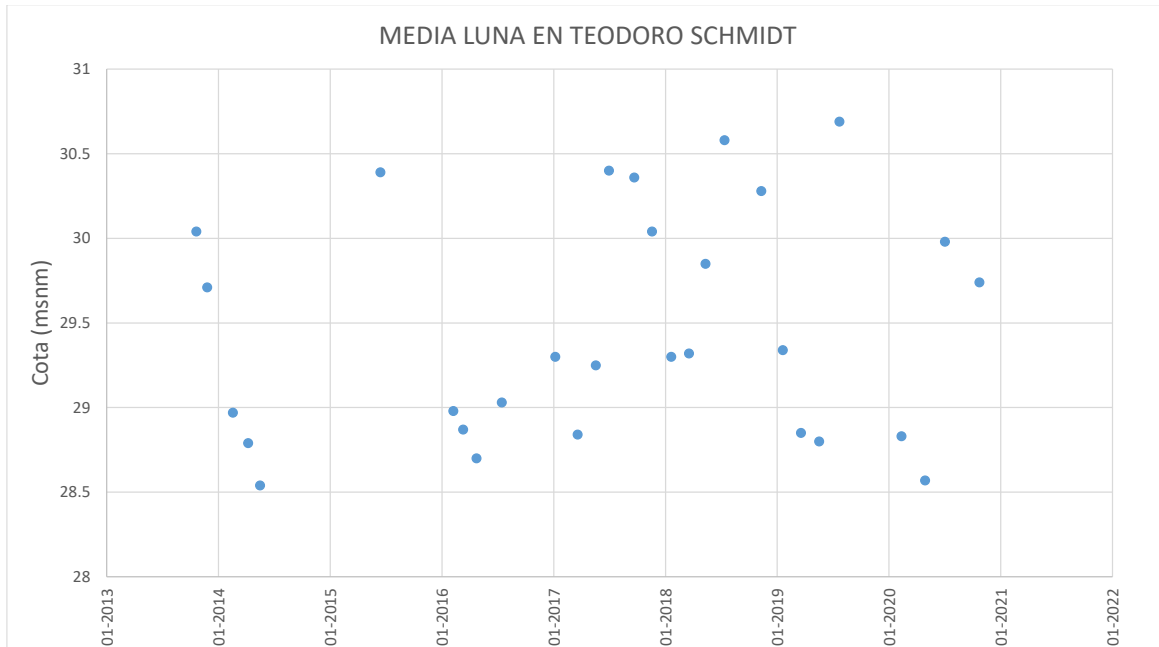


Figura 4-13. Hidrograma histórico pozo DGA (MEDIA LUNA EN TEODORO SCHMIDT).

Fuente: Elaboración propia en base a base de datos obtenidas de DGA (2021).

Se debe indicar que los hidrogramas de todos los pozos SISS y DGA se encuentran en el Anexo J1.2.2.

Finalmente, como se observa en la Figura 4-14 los pozos SISS y DGA no abarcan el dominio completo del modelo, por lo que se construye una piezometría basada en los niveles estáticos obtenidos del modelo desarrollado por Arcadis (DGA, 2016).

En la Figura 4-14, se observa que la dirección que escurre el acuífero somero en la parte alta de la cuenca es de sureste hacia noroeste, posteriormente en la zona baja de la cuenca su movimiento cambia de noreste a suroeste. En esta, se observa que la dirección que escurre el acuífero somero en la parte alta de la cuenca es de sureste hacia noroeste, posteriormente en la zona baja de la cuenca su movimiento cambia de noreste a suroeste.

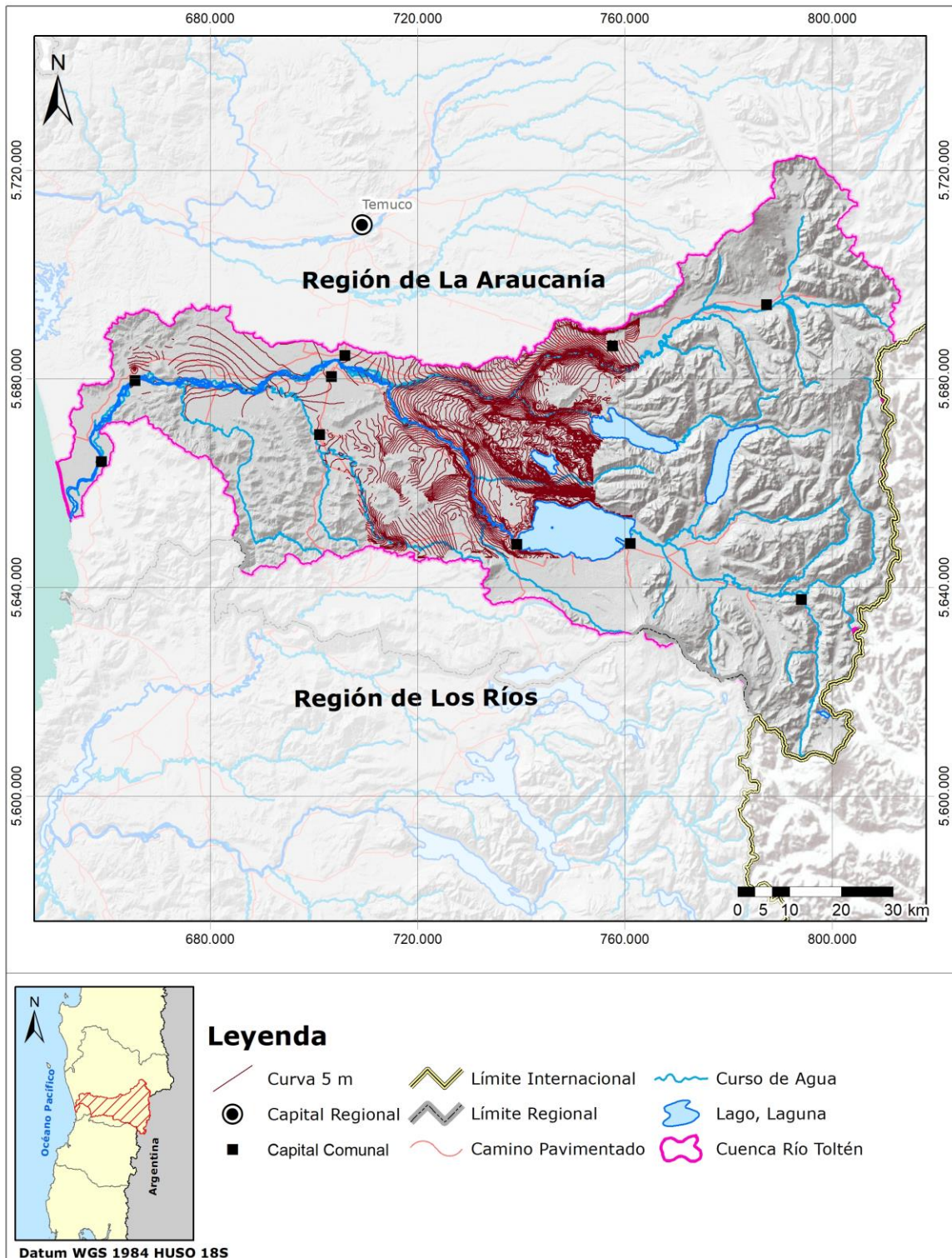


Figura 4-14. Piezometría acuífero somero modelo subterráneo Arcadis
Fuente: Elaboración propia, información DGA (2016).

4.2.3. Estadísticas de parámetros de calidad

Como se señaló en la sección 2.4.2.2, en la cuenca Río Toltén no existe un programa de monitoreo de calidad de agua subterránea, y todas las mediciones provienen de un estudio técnico (DGA, 2016), con 42 puntos de muestreo de aguas subterráneas durante los años 2013 y 2014 Figura 2-26 y Tabla 2-9. En el Anexo J. Descripción y Diagnóstico, se encuentra mayor análisis sobre dicha información.

En base a la información disponible fue posible realizar la caracterización hidroquímica por cada SHAC de la cuenca Río Toltén. Todos los SHAC tienen carácter hidroquímica tipo magnesio-bicarbonato con tendencia a tipos mixtos.

Adicionalmente a la caracterización hidroquímica, se realizó la comparación de la información existente versus las normas de calidad de agua para consumo humano y riego. Los resultados que se encuentran en el Anexo J. Descripción y diagnóstico. Capítulo 7.2, indican que el pH se encuentra por sobre o debajo la norma en cada SHAC para ambas normas y Hierro y Manganeso se encuentran por sobre las dos normas en cada SHAC. Debido a que la NCh1333 también evalúa el pH, también se encuentra en incumplimiento normativo. A esta norma se suma el incumplimiento del Sodio Porcentual para todos los SHAC.

Para conocer la calidad del agua subterránea se aplicó el Índice de Calidad de Agua (ICA), basado en el informe DGA (2009) "Diagnóstico y Clasificación de Sectores Acuíferos." Se seleccionó esta metodología porque el ICA es definida primariamente por los elementos químicos que afectan la salud humana y funciona como un reflejo de la calidad del acuífero. Los resultados (ver Tabla 4-9) indican que la gran mayoría de las muestras de aguas subterráneas tienen una ICA de clase "Excepcional." Solo hay 2 de clase "Bueno" y 1 de clase "Regular." No hay muestras de aguas subterráneas que indica una ICA clase "Insuficiente" o "Intratable."

Entre los casos de ICA "Bueno" en SHAC-9-08-403 (Toltén Alto) se destaca que presenta un valor alto de nitrato en el punto de muestra O-187 (NO₃: 14,13 mg/L). En SHAC-9-10-405 (Toltén Medio), también se presenta un valor alto de nitrato, en este caso en el punto de muestra O-228 (NO₃: 11,38 mg/L). Esto podría indicar que la selección de parámetros basados en la Región de Los Ríos podría no ajustarse bien en esta cuenca.

El caso de ICA clase "Regular," en SHAC-9-08-403 (Toltén Alto), se explica por el punto de muestreo O-54 que presenta un alto valor de arsénico (As: 0,03 mg/L).

Tabla 4-9. Evaluación de ICA general en cada SHAC de la cuenca Río Toltén.

Nombre SHAC	Código SHAC	Nº ICA	Nº Excepcional	Nº Bueno	Nº Regular
Toltén Alto	SHAC-9-08-403	22	20	1	1
Toltén Medio	SHAC-9-10-405	22	21	1	-
Toltén Bajo	SHAC-9-09-404	3	3	-	-

Fuente: Elaboración propia, basado en datos de DGA (2016).

4.2.4. Fuentes de contaminación

En la Figura 4-15 se representa la distribución espacial a nivel de SHAC del porcentaje de muestras que superan la norma. Se presentan los puntos de muestreo de calidad de agua subterránea obtenidos del Estudio DGA SIT N° 396 (DGA, 2016a). Los gráficos presentan los valores para todos los puntos dentro de la misma subcuenca y contiene todos los años con datos.

En el caso de hierro en la calidad de agua subterránea, debido a su distribución dispersa por la cuenca (Figura 4-15), es probable que las fuentes de estos metales sean naturales. Y tal como se señala para la calidad de agua superficial, el agua subterránea de la cuenca Río Toltén no puede ser utilizada de forma directa sin tratamiento previo. También, los valores de manganeso son altos, similar a la condición de Hierro, porque las dos tienen comportamientos geoquímicos muy parecidos, considerando sus valores basales en el sistema

En una manera similar a la calidad de agua superficial, los valores altos de sodio porcentual se ven asociados a los valores bajos de otros cationes que unos valores altos de sodio. Y una evaluación de los datos indica que los valores de potasio y magnesio eran más bajos en comparación a sodio.

Con altos niveles de Hierro y Manganeso disueltos, se establece una leve asociación a un pH ácido en la cuenca que se observa en aguas subterráneas y aumenta esta tendencia más en las aguas del SHAC-9-09-404 (Figura 4-15).

Entonces, al observar la Figura 4-15 se podría inferir que estos parámetros se van acumulando a medida que se avanza en la cuenca desde la parte alta a baja, dado que los porcentajes de muestras por sobre la norma van aumentando en dicha dirección. Se destaca que es una pregunta a responder una vez que se establezca un monitoreo de calidad de agua subterránea.

Más información se encuentra en el Anexo J sección 7.1.3 Fuentes de contaminación donde se observa en mayor detalle cada uno de los gráficos. Los gráficos se encuentran en digital en los anexos J.5 de Calidad de Agua.

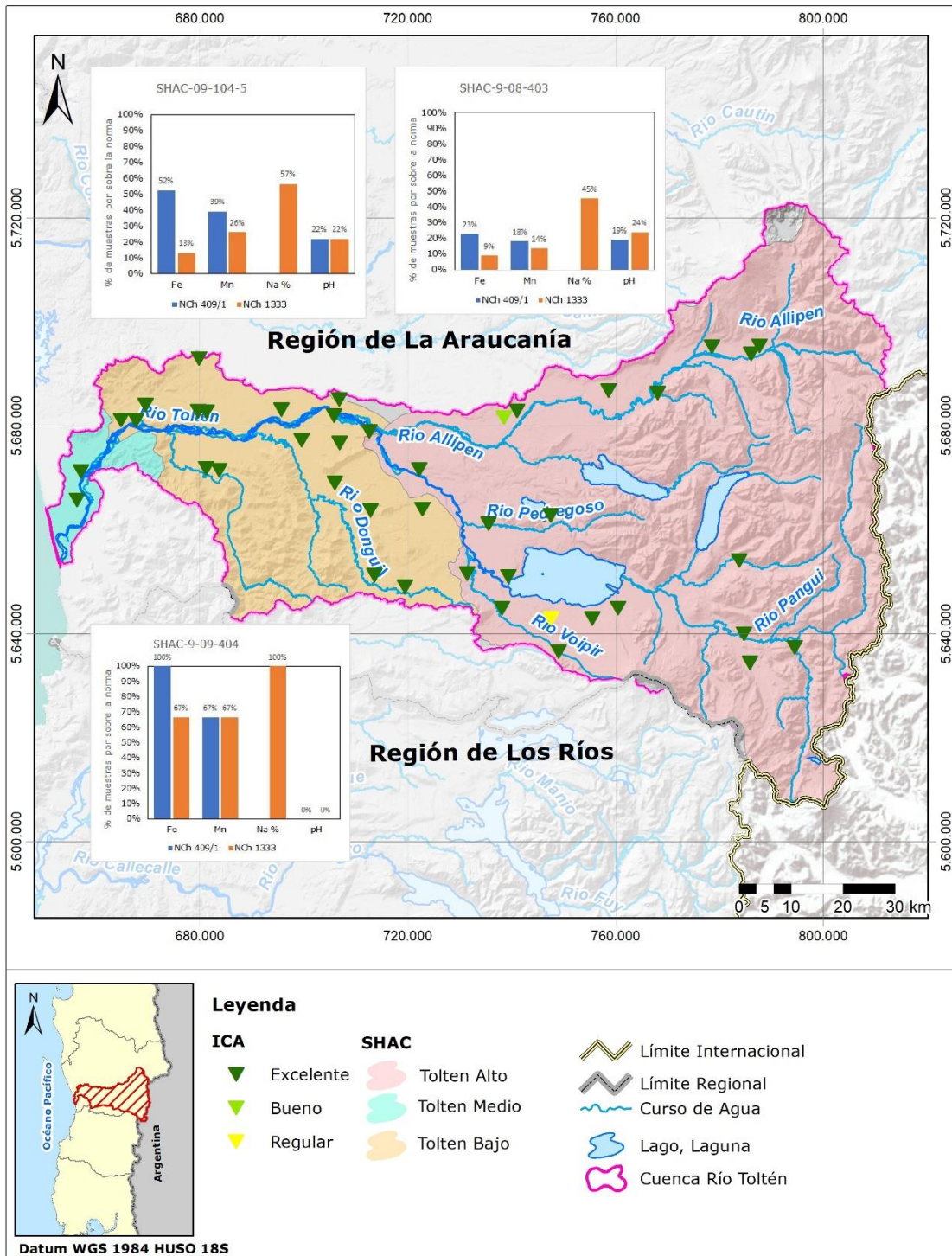


Figura 4-15. Porcentajes de muestras que superan las normas de calidad de agua de Hierro, Manganeso, Sodio porcentual y pH en cada SHAC de la cuenca Río Toltén.

Fuente: Elaboración propia, basado en DGA (2016).

4.3. DERECHOS CONCEDIDOS

En la distribución de los DAA por su naturaleza de captación, superficial o subterránea en la cuenca Río Toltén, se identificó un total de 4.393 DAA de origen superficial y 1.487 DAA de origen subterráneo. La Figura 4-16 presenta la distribución de los DAA superficiales y la Figura 4-17 la distribución de los DAA subterráneos en la cuenca.

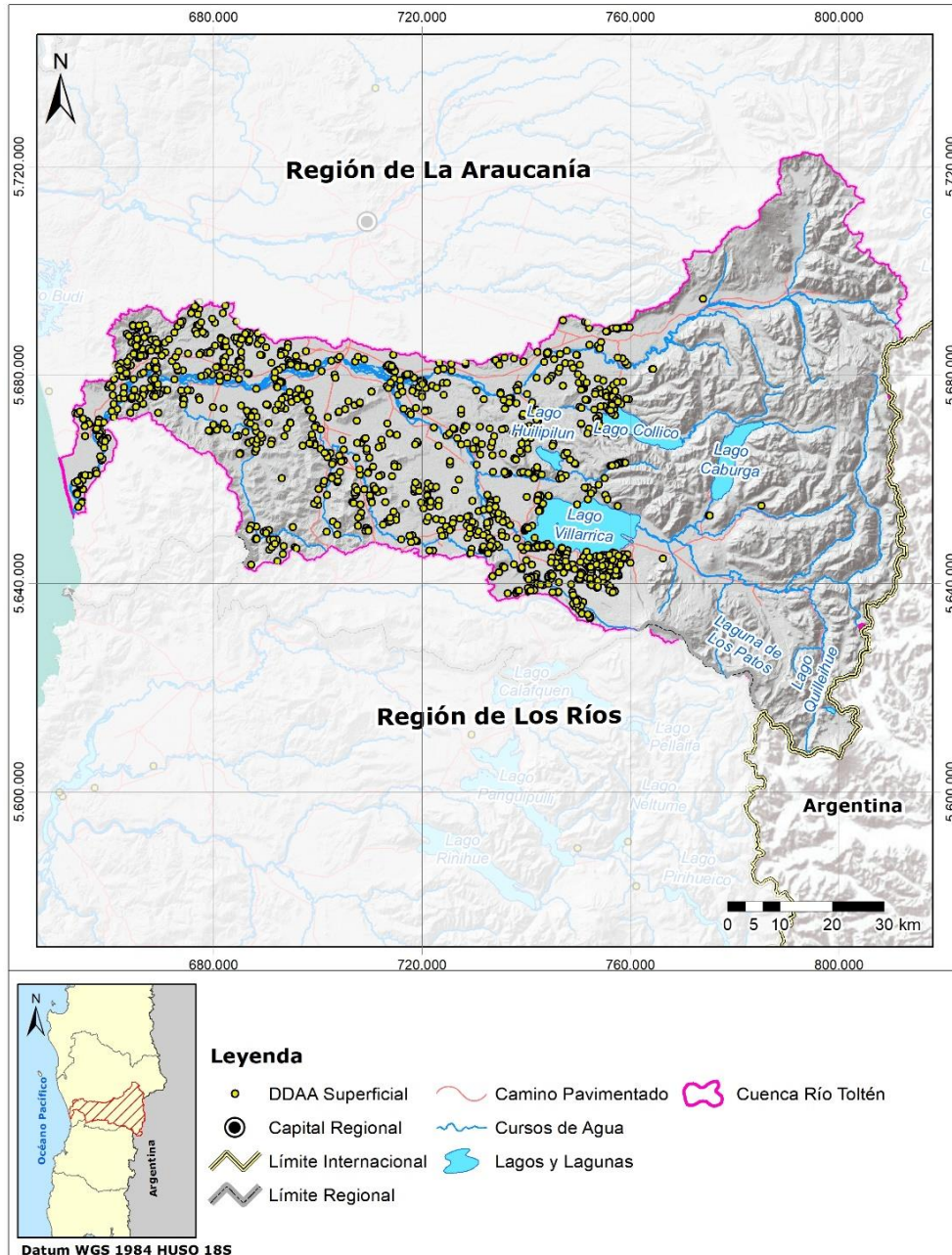


Figura 4-16. Distribución de los DAA superficiales en la cuenca Río Toltén.
Fuente: Elaboración propia basada en antecedentes DGA (2021d).

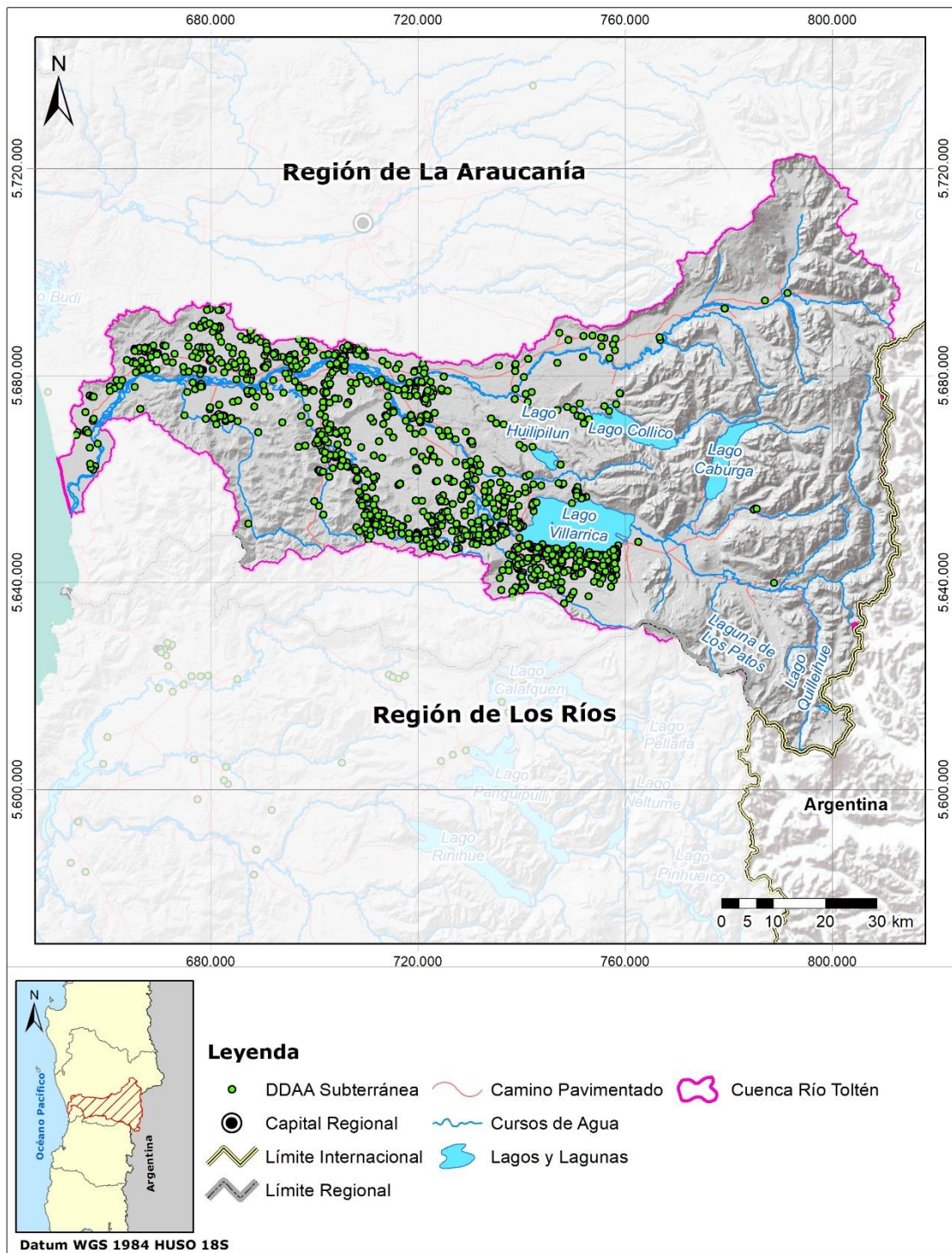


Figura 4-17. Distribución de los DAA subterráneos en la cuenca Río Toltén.
Fuente: Elaboración propia basada en antecedentes DGA (2021d).

En cuanto al caudal mensual y volumen anual por su naturaleza superficial o subterránea, para los derechos superficiales se identificó un caudal mensual de 640.454 l/s que

corresponde a un volumen anual de 20.197,39 hm³/año. Por otra parte, para los derechos subterráneos, se identificó un caudal mensual de 8.958 l/s que corresponde a un volumen anual de 282,51 hm³/año. La Tabla 4-10 presenta la distribución del caudal otorgado por naturaleza superficial y subterránea.

Tabla 4-10. Distribución de DAA por naturaleza de captación.

Caudal	DAA Superficiales	DAA Subterráneos	Caudal Total
Caudal mensual [l/s]	640.454,89	8.958,27	649.913,17
Volumen anual [hm ³ /año]	20.197,39	282,51	20.479,89

Fuente: Elaboración propia, basado en antecedentes DGA (2021d).

5. BALANCE DE AGUA

5.1. MODELO DE SIMULACIÓN

SE utilizó un modelo acoplado WEAP-Modflow para la simulación del sistema. El modelo *Water Evaluation And Planning* (WEAP), es una herramienta computacional que sirve para la planificación de los recursos hídricos. Fue creado en 1988 como iniciativa del *Stockholm Environment Institute* (SEI) (SEI, 2018), con el objetivo de generar una herramienta de planificación flexible, integral y transparente para evaluar la sostenibilidad de los patrones actuales de demanda y suministro de agua, y explorar escenarios alternativos de largo alcance. Por su parte, MODFLOW es un modelo tridimensional de aguas subterráneas de diferencia finita creado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). Este modelo permite estimar la variación del nivel freático completamente distribuida, permitiendo incorporar extracciones puntuales, drenes y la interacción Río acuífero. Este modelo basado en la simulación de procesos físicos ha sido ampliamente utilizado para la gestión del recurso subterráneo. Acoplados ambos modelos permiten obtener una herramienta completa de simulación del ciclo hidrológico dentro de una cuenca y evaluar escenarios de gestión integrada, tanto de aguas superficiales y subterráneas.

Para la cuenca Río Toltén se elaboró el modelo superficial desde cero, sin contar con un modelo WEAP previo. El esquema de modelación adoptado integra diferentes cuencas y acuíferos o SHACS, compuestos de elementos que los caracterizan, así como de las interconexiones que se generan entre ellos. Los elementos principales son los *catchments*, en donde se genera la hidrología de la cuenca. Para cada unidad, existe un *catchment* que simula el suelo agrícola y otro que simula el resto de la superficie. Los *catchments* entregan agua a los Ríos y acuíferos, ya sea por escorrentía o por infiltración. Los Ríos conducen el agua en la dirección del flujo y los acuíferos sirven de reservorios hasta que se les solicita agua a través de nodos de demanda (APR, APU, riego). Existen conexiones que sirven para conectar las demandas con los acuíferos y con los elementos a los cuales abastecen de aguas subterráneas. Todo el sistema es simulado a través de estos elementos que son replicados tantas veces como cuencas existan en el sistema analizado.

Se debe indicar que el modelo subterráneo, utilizó como base el modelo desarrollado por la DGA (2016a), el cual fue dividido, debido a que el modelo original consideraba las cuencas del río Imperial y el Río Toltén. Pero, la geometría del modelo y su dominio se mantuvieron, no así los pozos de bombeo y recarga al sistema, el primero fue actualizado por los registros de la DGA, según actualización 2021, y el segundo son valores provenientes del modelo WEAP.

El modelo se ha simulado para un periodo de 1979-2020 en el periodo histórico y utilizado el método delta para los escenarios futuros a décadas específicas. La escala temporal, es decir el paso de tiempo utilizado en el modelo es semanal, ya que se considera disminuir los errores en la modelación cuando se realizan cálculos respecto al paso de tiempo anterior. También se espera lograr mayor representatividad de eventos hidrológicos de mayor intensidad y que no fueran suavizados fuertemente producto de promedios mensuales.

5.1.1. Elementos del modelo

5.1.1.1. Forzantes Meteorológicas

El procedimiento de obtención de las forzantes meteorológicas utilizadas en la confección del modelo se desarrolló por medio de los siguientes pasos:

1. **Obtención de variables desde productos grillados:** De modo de garantizar la mayor extensión temporal posible, se recurre a diversos productos grillados (en formato NetCDF), los cuales se muestran en la Tabla 5-1.

Tabla 5-1. Descripción de productos grillas y variables asociadas.

Producto	Resolución espacial	Variables	Intervalo de tiempo
CR2MET 2.0	0.05°	Precipitación (pr)	1979-2020
		Temperatura media (t2m)	
		Temperatura mínima (tmin)	
		Temperatura máxima (tmax)	
BHN	0.05°	Velocidad del viento (ff)	1979-2015
		Humedad Relativa (Hr)	
		Escorrentía-VIC (Runoff)	
ERA5	0.25°	Velocidad del viento, componente Este (u10)	2016-2020
		Velocidad del viento, componente Norte (v10)	
		Temperatura de Punto de rocío (d2m)	
		Radiación total neta (cdir)	1979-2020
		Fracción de nubosidad (tcc)	

Fuente: Elaboración propia a partir de DGA (2019) y producto grillado CR2MET.

2. **Interpolación de los productos grillados sobre las cuencas:** Para establecer las series de tiempo de cada una de las variables meteorológicas sobre cada subcuenca, se procede a desagregar cada grilla en una cantidad mayor de pixeles para poder ajustarse al borde de la HRU, tal y como muestran la Figura 5-1 y la Figura 5-2.

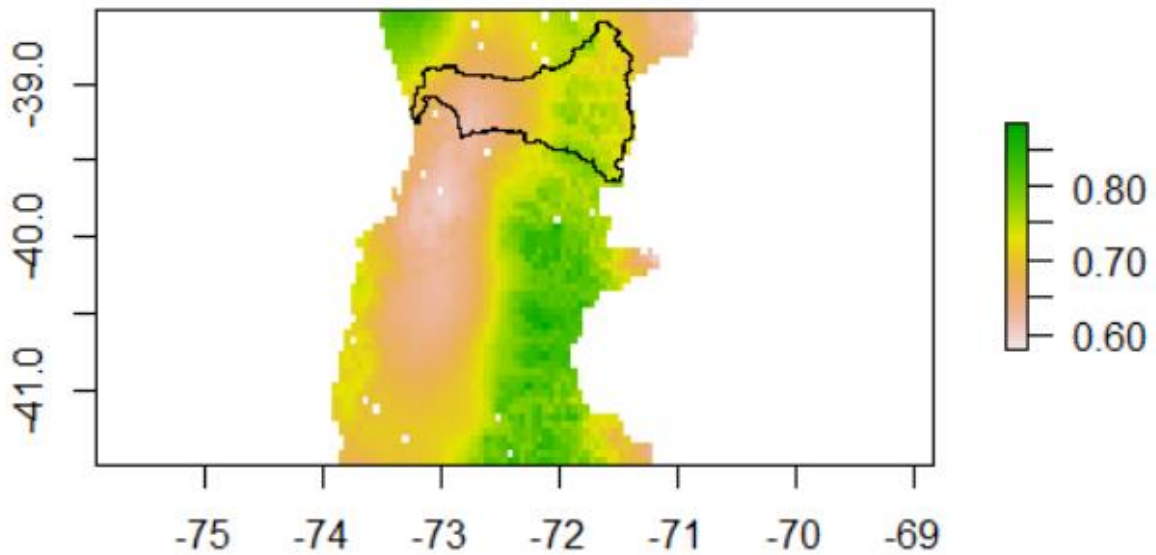


Figura 5-1. Grilla original de producto grillado respecto a la superficie de una unidad hidrológica.

Fuente: elaboración propia a partir de producto grillado CR2MET.

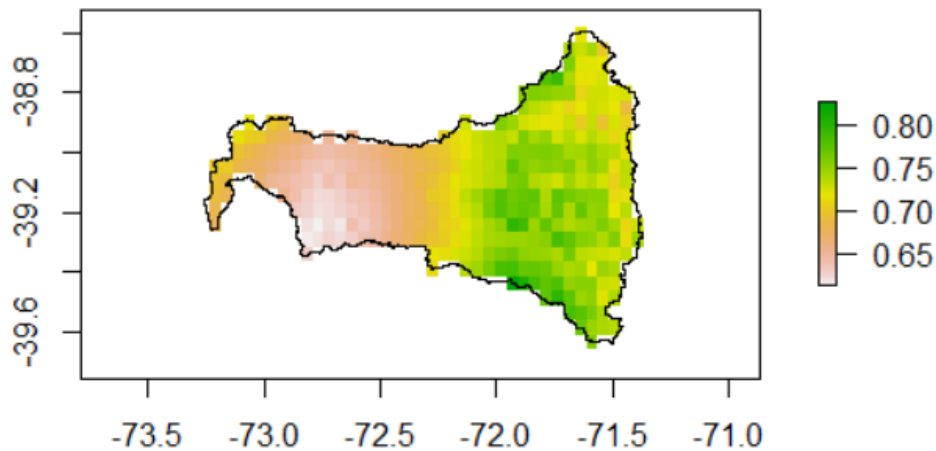


Figura 5-2. Refinamiento, recorte e integración de un producto grillado con respecto a la superficie de una unidad hidrológica.

Fuente: Elaboración propia a partir de producto grillado CR2MET.

3. **Corrección de Series de Precipitación con respecto a Estaciones Pluviométricas:** Desde la comparación entre valores observados por las estaciones pluviométricas DGA con respecto a los productos grillados BHN y CR2MET, se tiene una situación dispar, sobre todo con este último: se tienen indicadores de eficiencia

disparejos en cada estación. Se procede a corregir según el promedio medio mensual, aplicando como factor de corrección el cociente entre la mediana de la serie observada y de la serie asociada al producto grillado en el mismo punto.

Para aplicar la influencia del cambio climático en los escenarios evaluados a futuro en las cuencas en estudio, se aplicaron las proyecciones de modelos específicos para las variables precipitaciones y temperaturas.

Los modelos de circulación general GCM (General Circulation Models) utilizados para el presente estudio están basados en la selección considerada en la Actualización del Balance Hídrico Nacional de la DGA, que corresponden a los siguientes 4 modelos:

- CSIRO-Mk3-6-0
- CCSM4
- MIROC-ESM
- IPSL-CM5A

El escenario RCP (Representative Concentration Pathways) corresponde al 8.5, el más pesimista de los GCM de cambio climático seleccionados según IPCC (AR5).

Comparando los modelos cuatro modelos mencionados anteriormente consigo mismos entre los periodos futuros 2021-2050 y el periodo histórico 1979-2005 (integrados sobre la cuenca), se obtienen los porcentajes (en el caso de las precipitaciones) o cambios absolutos (en el caso de las temperaturas) a nivel mensual para de esta manera, obtener la serie de temperatura y precipitación futura (periodo 2021-2050). A continuación, se presentan los resultados de este proceso:

Tabla 5-2. Porcentaje de cambio de las precipitaciones entre los periodos 2021-2050 y 1979-2005.

Mes	Variación Porcentual en la Precipitación cuenca Río Toltén [%]				
	CCSM4	CSIRO-Mk3-6-0	IPSL-CM5A-LR	MIROC-ESM	Promedio
ABR	-9,2	-5,3	-27	-9,6	-12,8
MAYO	-12,6	-5,3	-6	-4,9	-7,1
JUN	2,4	-6,5	-9	-4,1	-4,3
JUL	-4,4	1,3	-10	-8,4	-5,4
AGO	2,1	-5,4	-14	3,7	-3,5
SEP	-7,2	-7,7	-4	-0,5	-5,0
OCT	-0,1	-10,6	-6	-7,6	-6,1
NOV	-15,0	-19,4	-10	-14,7	-14,8
DIC	-15,8	-23,8	-18	-17,1	-18,7
ENE	-8,7	-15,8	-22	10,0	-9,1
FEB	-6,5	-12,9	-31	-18,5	-17,3
MAR	-1,2	-15,4	-15	-31,7	-15,9

Fuente: Elaboración propia a partir de los GCM alojados en el servidor del CR2.

Tabla 5-3. Cambio absoluto de las temperaturas entre los periodos 2021-2050 y 1979-2005.

Mes	Delta Temperatura [°C] cuenca Río Toltén				
	CCSM4	CSIRO-Mk3-6-0	IPSL-CM5A-LR	MIROC-ESM	Promedio
ABR	1,2	1,0	1,1	1,3	1,1
MAYO	1,0	0,7	0,8	1,1	0,9
JUN	0,8	0,6	0,7	1,0	0,8
JUL	0,9	0,6	0,9	1,1	0,9
AGO	1,1	0,5	1,0	1,1	0,9
SEP	0,9	0,6	0,9	0,7	0,8
OCT	1,1	0,7	1,0	1,0	0,9
NOV	1,3	1,0	1,4	1,1	1,2
DIC	1,5	1,4	1,1	1,4	1,3
ENE	1,8	1,5	1,2	1,0	1,4
FEB	1,5	1,5	1,4	1,5	1,5
MAR	1,3	1,4	1,1	1,8	1,4

Fuente: Elaboración propia a partir de los GCM alojados en el servidor del CR2.

Aplicando estos valores a las series comprendidas entre los periodos 1990-2020, se obtienen las series futuras para 2021-2050 a nivel diario. A continuación, se presenta la serie continua para ambas variables, a nivel mensual y anual.

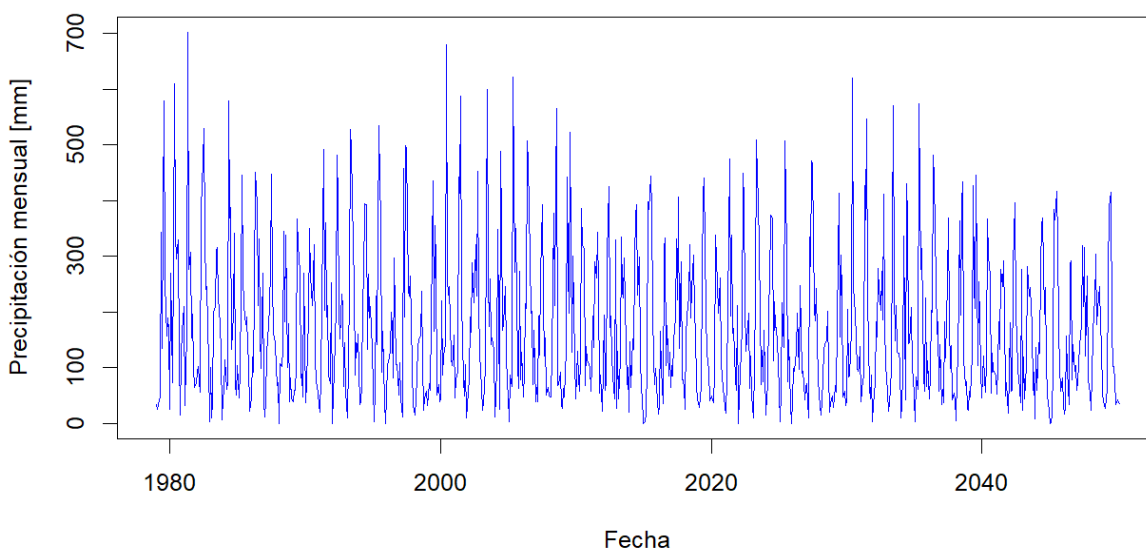


Figura 5-3. Precipitación mensual. Periodo 1979-2050.

Fuente: Elaboración propia a partir de los GCM alojados en el servidor del CR2.

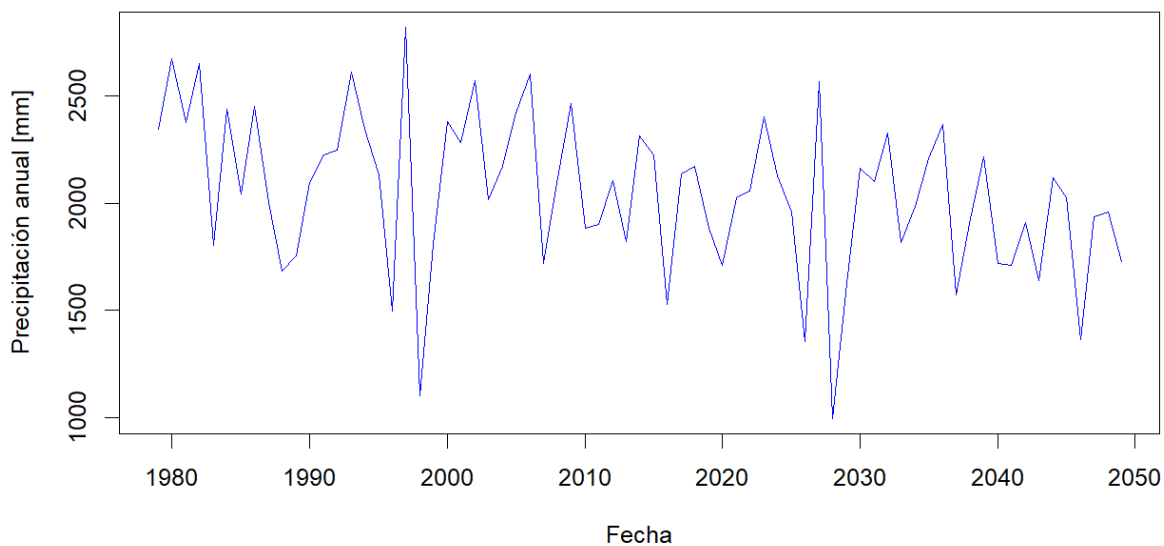


Figura 5-4. Precipitación anual. Periodo 1979-2050.

Fuente: Elaboración propia a partir de los GCM alojados en el servidor del CR2.

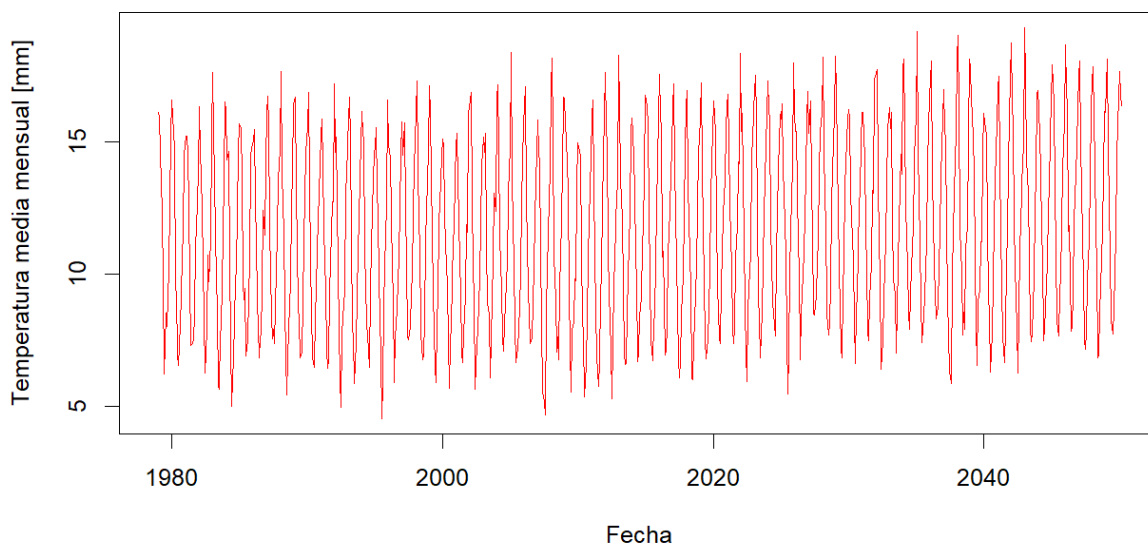


Figura 5-5. Temperatura mensual. Periodo 1979-2050.

Fuente: Elaboración propia a partir de los GCM alojados en el servidor del CR2.

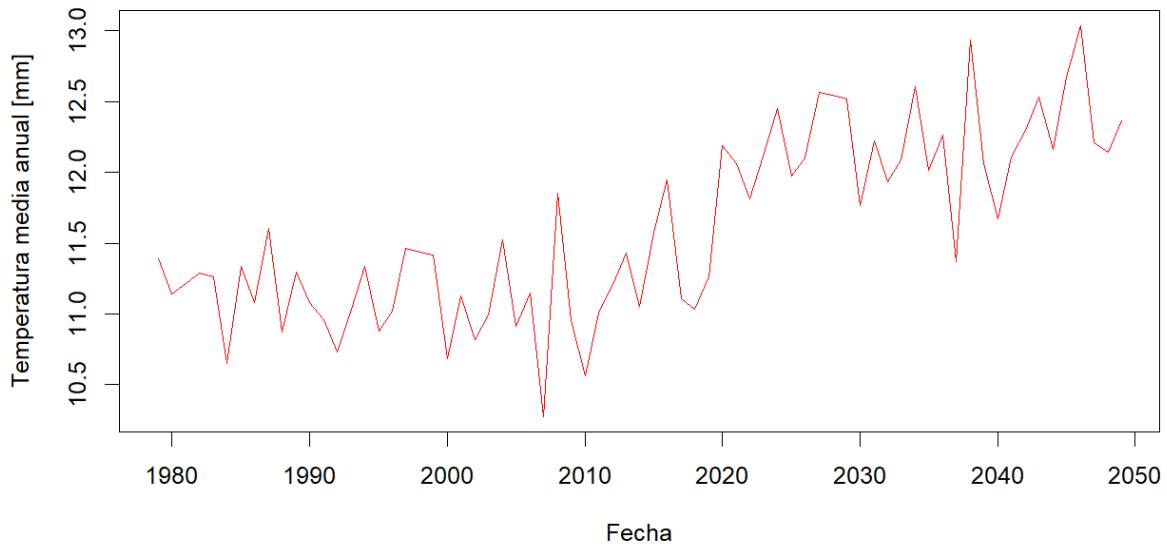


Figura 5-6. Temperatura anual. Periodo 1979-2050.

Fuente: Elaboración propia a partir de los GCM alojados en el servidor del CR2.

5.1.1.2. Catchments

Los *catchments* son los elementos que simulan la hidrología del sistema. Se usó el método de la humedad del suelo para simular la hidrología en WEAP. Algunas características de este método es que: a) representa los “*catchments*” en dos estanques, b) puede incluir la acumulación de nieve, c) en la capa superior simula la evapotranspiración, la escorrentía superficial, escorrentía subsuperficial y cambios en la humedad del suelo, y d) en la capa inferior del suelo se simula el enrutamiento del caudal base al Río y cambio en la humedad del suelo.

En el modelo existen 38 *catchments* que representan las Unidades de Respuesta Hidrológica (HRU) y fueron delimitados en base a la topografía de la cuenca, los SHAC, las estaciones fluviométricas, los lagos y las confluencias de los Ríos. Para la correcta calibración de los *catchments* se consideraron parámetros de uso de suelo (área, coeficiente de cultivo, capacidad del suelo de retener agua, conductividad en la zona superior e inferior, factores de dirección de flujo y resistencia a la escorrentía y contenido inicial de agua en el suelo), y el clima (precipitación, temperatura, humedad relativa, viento, nubosidad, temperatura de congelamiento y derretimiento de la nieve, límites superior e inferior del albedo, la latitud y el dato de cantidad de nieve al inicio de la simulación).

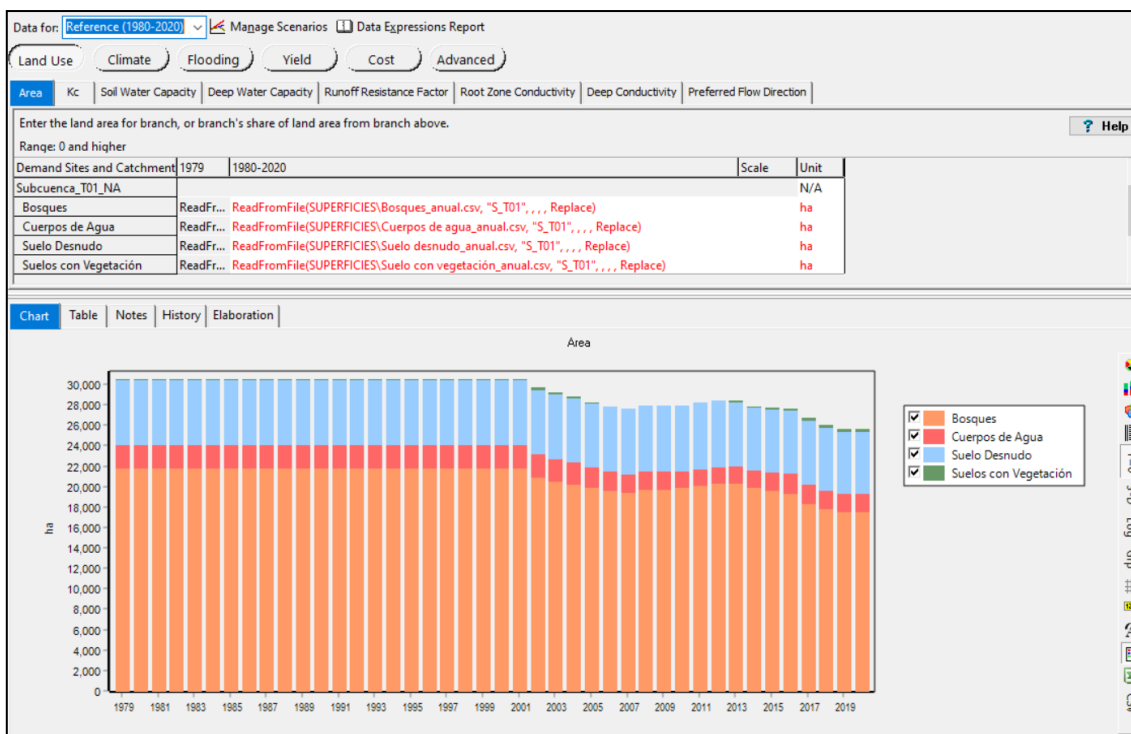


Figura 5-7. Serie de usos de suelo en *catchments* en WEAP.
Fuente: Elaboración propia a partir de modelo acoplado WEAP-MODFLOW.

5.1.1.3. Agua subterránea/Groundwater

Se definieron 17 elementos de agua subterránea en el modelo WEAP. De los cuales 3 corresponden a elementos que tributan sobre el dominio del modelo MODFLOW, mientras que 14 elementos representan a acuíferos que representan el agua subterránea existente en la ladera (Figura 5-8).

Los acuíferos de ladera se alimentan de la recarga de los *catchments*, definido el aporte a estos acuíferos de ladera como un porcentaje de la superficie que los alimenta respecto a la superficie total del *catchment* al cual están conectados. Esa percolación dependerá de las condiciones de humedad de dichos *catchments*, sus parámetros de la capa o balde superior y de las precipitaciones líquidas o derretimiento de nieve.

Los acuíferos sobre el dominio MODFLOW reciben el agua de la recarga lateral, de la interconexión Río-acuífero y de la recarga de *catchments* agrícolas y no agrícolas sobre el dominio MODFLOW.

Todos los elementos de aguas subterráneas en WEAP se modelan usando el almacenamiento inicial, su capacidad de almacenamiento, la máxima extracción posible y la recarga natural. Todos estos elementos sirven de comunicación entre WEAP y el modelo MODFLOW, permitiendo la interacción entre ambos modelos en cada paso de tiempo simulado.

Se han generado una serie de nodos de demanda para simular las diferentes posibilidades. Dentro del modelo se han configurado nodos de demanda que corresponden a las actividades que por derechos presentan el campo de Uso con un valor distinto a Riego, a vacío o que no esté asociada a algún APR. Otros nodos corresponden a la demanda asociada al riego y a las APR. Finalmente, otro set de demandas se configuró para simular el flujo entre los acuíferos de ladera y los acuíferos del modelo MODFLOW.

5.1.1.6. Ríos y líneas de transmisión/River and transmisión links

Los Ríos y las líneas de conducción (escorrentía, infiltración, derivaciones, conducciones, flujos de retorno) son las que mueven el agua entre los diferentes elementos en WEAP. La simulación de los flujos se compara con los datos de las estaciones fluviométricas medidas para evaluar el desempeño del modelo.

Mención especial se debe hacer a las líneas de escorrentía e infiltración pues se han definido según el porcentaje de área del cual se produce el flujo. Por ejemplo, un *catchment* puede derivar su escorrentía a dos puntos (o más): aguas arriba de una central hidroeléctrica y aguas debajo de la misma central. La separación de escorrentía se hace sobre la base de las diferentes áreas aportantes, y por tanto se introducen en WEAP como porcentajes de escorrentía que salen de un mismo *catchment*. Lo mismo aplica si un *catchment* aporta a más de un acuífero.

5.1.2. Archivo de enlace y vinculación entre WEAP y MODFLOW

5.1.2.1. Creación de archivo de enlace (Linkage.shp)

La comunicación entre los modelos WEAP y Modflow se produce a través de un archivo especial vectorial (tipo shape), que se le llama Linkage.shp (ver Figura 5-8). Este archivo es una tabla con tantas filas como celdas tenga el modelo Modflow. En este caso el modelo tiene 500 columnas y 250 filas, por lo que el número total de celdas es de 125.000 celdas. Del total de celdas solo hay 191.325 celdas activas, las que deben ser distribuidas en los distintos elementos acuíferos asignados en WEAP.

5.1.2.2. Vinculación de MODFLOW a modelo WEAP

Teniendo todos los elementos WEAP vinculados en el archivo "enlace" según corresponde, se vinculó el modelo MODFLOW a WEAP. En la Figura 5-10 se muestra el detalle de la vinculación.

Hay que hacer notar que, aunque la vinculación se ha realizado, aún existen elementos que no están enteramente acoplados y que por tanto serán sujetos de próximos ajustes al modelo y en desarrollo. También, aunque el modelo no esté enteramente vinculado, el modelo acoplado está libre de errores y simula sin problemas el movimiento del agua,

sugiriendo que los ajustes que se requieren permitirán una mejor calibración, pero no ajustes estructurales en el modelo.

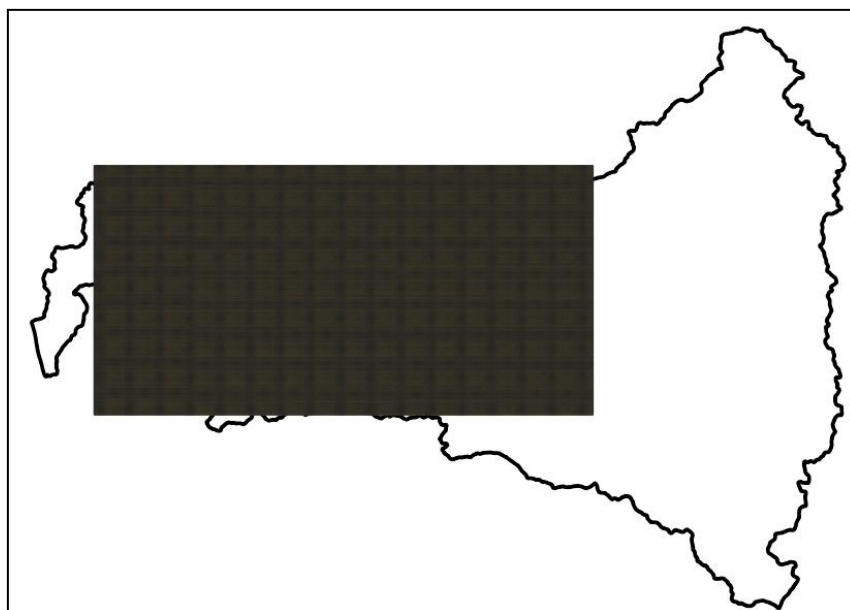


Figura 5-9. Shape Linkage cuenca Río Toltén.

Fuente: Elaboración propia a partir de modelo acoplado WEAP-MODFLOW.

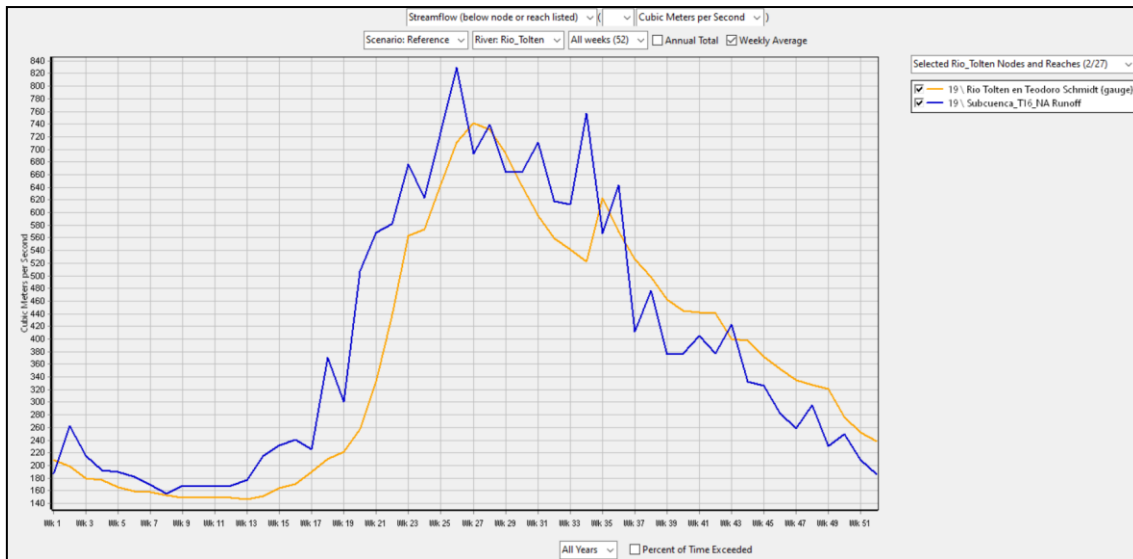


Figura 5-11. Simulación de caudales medios en estación Río Toltén en Teodoro Schmidt.

Fuente: Elaboración propia a partir de modelo acoplado WEAP-MODFLOW.

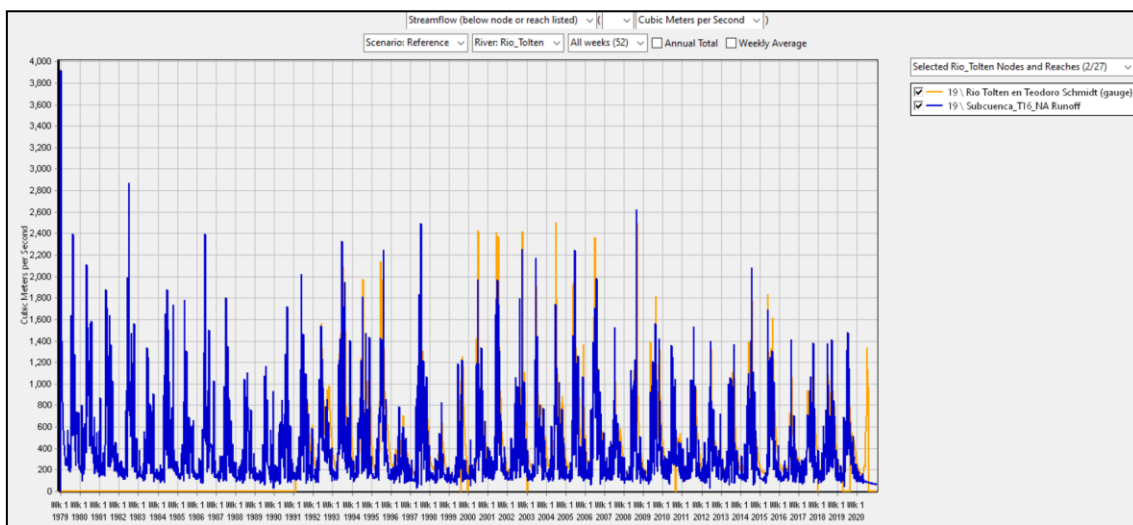


Figura 5-12. Simulación de caudales medios en estación Río Toltén en Teodoro Schmidt.

Fuente: Elaboración propia a partir de modelo acoplado WEAP-MODFLOW.

En términos de indicadores de eficiencia del modelo, se presenta la Figura 5-13 que muestra los indicadores a nivel semanal de la estación Río Toltén en Teodoro Schmidt, además de distintas imágenes en donde se aprecia el ajuste de los resultados a los datos modelados. Por otro lado, se presenta la Tabla 5-4 que resume los indicadores de eficiencia en cada uno de los tramos asociados a cada estación fluviométrica y la Figura 5-14 que presenta

en planta un mapa con los NSE (indicador seleccionado para evaluar el desempeño del modelo, ver detalles en Anexo H – subcapítulo 5.1). En general, el modelo es calibrado en un rango aceptable.

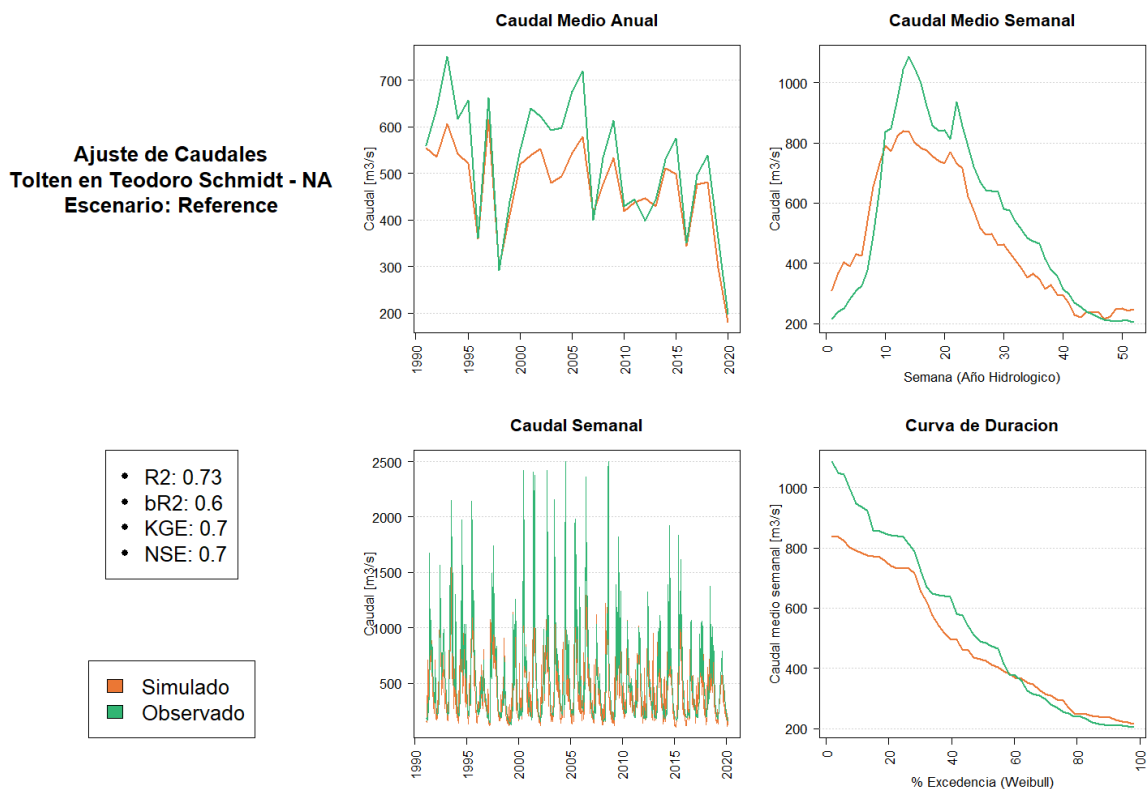


Figura 5-13. Indicador de eficiencia y gráficos de series semanales. Río Toltén en Teodoro Schmidt.

Fuente: Elaboración propia a partir de modelo acoplado WEAP-MODFLOW.

Tabla 5-4. Indicadores de eficiencia mensuales.

Estación	R2	bR2	KGE	NSE
Río Allipén en los Laureles	0,70	0,55	0,54	0,58
Río Allipén en Melipeuco	0,69	0,63	0,63	0,66
Río Curaco en Colico	0,92	0,62	0,48	0,67
Río Donguil en Gorbea	0,74	0,73	0,56	0,61
Río Mahuidanche en Santa Ana	0,83	0,72	0,84	0,82
Río Toltén en Teodoro Schmidt	0,83	0,69	0,71	0,77
Río Toltén en Villarrica	0,74	0,57	0,72	0,56
Río Trancura en Curarrehue	0,79	0,63	0,66	0,73

Fuente: Elaboración propia a partir de modelo acoplado WEAP-MODFLOW.

Indicador de Eficiencia NSE en salidas de Subcuencas, Serie Mensual
Escenario: Referencia

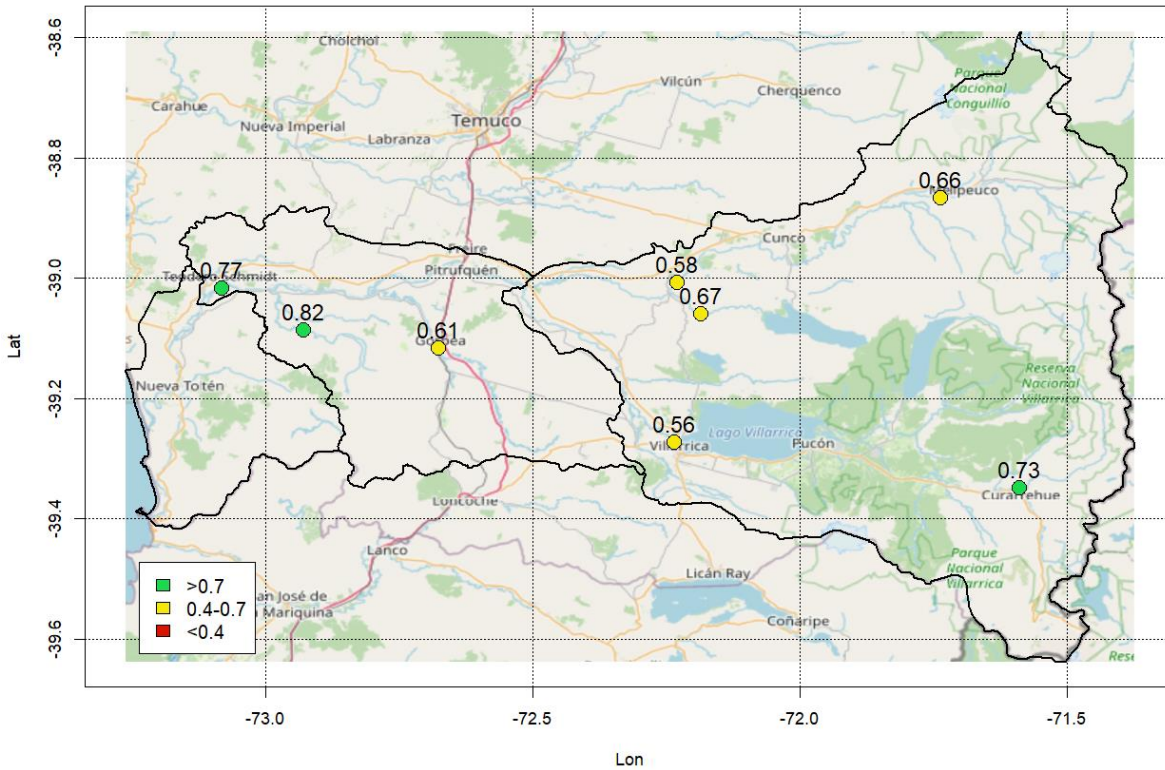


Figura 5-14. Indicador de eficiencia NSE en las estaciones. Series mensuales.
Fuente: Elaboración propia a partir de modelo acoplado WEAP-MODFLOW (Anexo H).

5.2. BALANCE HÍDRICO

5.2.1. Balance hídrico previo a la modelación

Previo a la modelación se presenta el cálculo de la disponibilidad hídrica (entendida como los flujos entrantes menos los flujos salientes exceptuando las descargas hacia el mar) para contar con una estimación previa usando los datos disponibles desde las distintas fuentes citadas según el Anexo F y cuyos resultados se encuentran en el Anexo J. El flujo entrante considerado corresponde a la cuenca cuyos promedios mensuales son presentados en la Tabla 5-5 y en la Tabla 5-6 para la década del 2010 y del 2040, respectivamente. Como flujos salientes, son consideradas las demandas de evapotranspiración (ver Tabla 5-5 y Tabla 5-6), las demandas de APR (3,42 hm³/año para la década del 2010 y 4,92 hm³/año para la década del 2040), las demandas de APU (6,43 hm³/año para la década del 2010 y 7,02 hm³/año para la década del 2040), las demandas de ganadería (1,35 hm³/año para ambas décadas) y demanda industrial (1,2 hm³/año para ambas décadas). Todas las demandas fueron distribuidas durante el año de manera homogénea. La diferencia entre el flujo entrante y las demandas son presentadas en la Tabla 5-7 y en la Figura 5-15.

Tabla 5-5. Precipitación y evapotranspiración del Río Toltén para la década de 2010.

Meses	Precipitación [hm ³ /mes]	Evapotranspiración [hm ³ /mes]
abr	1.153,45	347,95
may	2.113,95	315,25
jun	2.953,75	186,75
jul	2.562,75	171,35
ago	2.569,55	191,75
sep	1.549,55	265,65
oct	1.212,1	356,2
nov	814,3	484,9
dic	820,25	593,05
ene	572,05	718,95
feb	545,7	567,6
mar	712,3	481,4

Fuente: Elaboración propia a partir de estimaciones de demanda y producto CR2MET.

Tabla 5-6. Precipitación y evapotranspiración del Río Toltén para la década de 2040.

Meses	Precipitación [hm ³ /mes]	Evapotranspiración [hm ³ /mes]
abr	1.251,2	350,8
may	2.277,15	288,45
jun	2.746,35	177,45
jul	2.194,7	163,9
ago	1.838,55	200,85
sep	1.289,45	276,95
oct	1.121,15	372,75
nov	793,05	495,95
dic	669,8	618,1
ene	429,25	731,85
feb	415,65	597,05
mar	649,4	511,2

Fuente: Elaboración propia a partir de estimaciones de demanda y producto CR2MET.

Tabla 5-7. Disponibilidad hídrica de la cuenca Río Toltén para las décadas de 2010 y 2040.

Meses	2010-2020 [hm ³ /mes]	2040-2050 [hm ³ /mes]
abr	805,1	900,0
may	1.798,3	1.988,3
jun	2.766,6	2.568,5
jul	2.391,0	2.030,4
ago	2.377,4	1.637,3
sep	1.283,5	1.012,1
oct	855,5	748,0
nov	329,0	296,7
dic	226,8	51,3
ene	-147,3	-303,0
feb	-22,3	-181,8
mar	230,5	137,8

Fuente: Elaboración propia a partir de estimaciones de demanda y producto CR2MET.

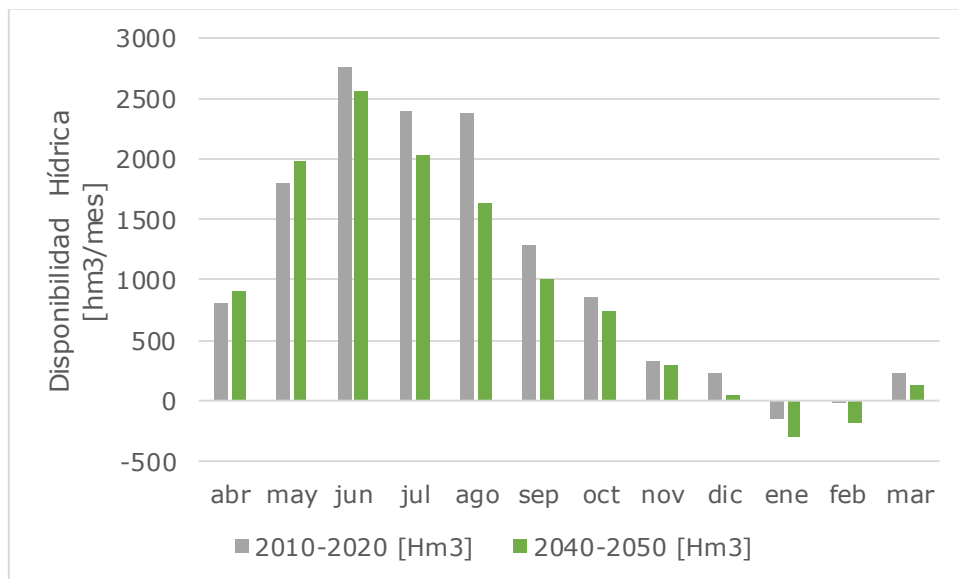


Figura 5-15. Disponibilidad hídrica de la cuenca Río Toltén para las décadas de 2010 y 2040.

Fuente: Elaboración propia a partir de estimaciones de demanda y producto CR2MET.

Se observan déficits en enero y febrero para ambas décadas, acentuándose en el futuro, con un total de -169,6 hm³ para la condición histórica y de -484.8 hm³ para la condición

futura. En los demás meses, se observa un superávit que muestra como el recurso disponible de estos meses puede ser utilizado en los meses de déficit.

5.2.2. Balance hídrico modelo acoplado

5.2.2.1. Resultado por cuenca

En la Figura 5-16 se muestran los resultados del Balance Hídrico del sector obtenido a partir del modelo acoplado WEAP y Modflow en la cuenca Río Toltén a nivel de totales anuales sin considerar el caudal superficial que sale de la cuenca, de manera de mostrar la evolución de los componentes del balance a través del tiempo. El ejercicio se realizó desde 1990 al 2050 (considerando el escenario de cambio climático presentado en unos acápite más adelante, específicamente en el 5.6.1), ya que antes existen distorsiones productos del “warm up” del modelo. La Figura 5-16 presenta el balance de la cuenca total considerando flujos entrantes y salientes, mientras que Figura 5-17 corresponde a la disponibilidad hídrica, es decir, a los flujos entrantes y salientes sin considerar la descarga del Río de la cuenca. Cabe destacar que es este flujo el que condiciona el balance hídrico y lo hace negativo. A medida que evoluciona el sistema, esta descarga disminuye debido a la disminución de la precipitación y a la disminución del nivel de acuífero y, por lo tanto, de los afloramientos hacia la red de drenaje. Esto se traduce en que a futuro, serán los caudales en el río los que sufrirán una mayor disminución.

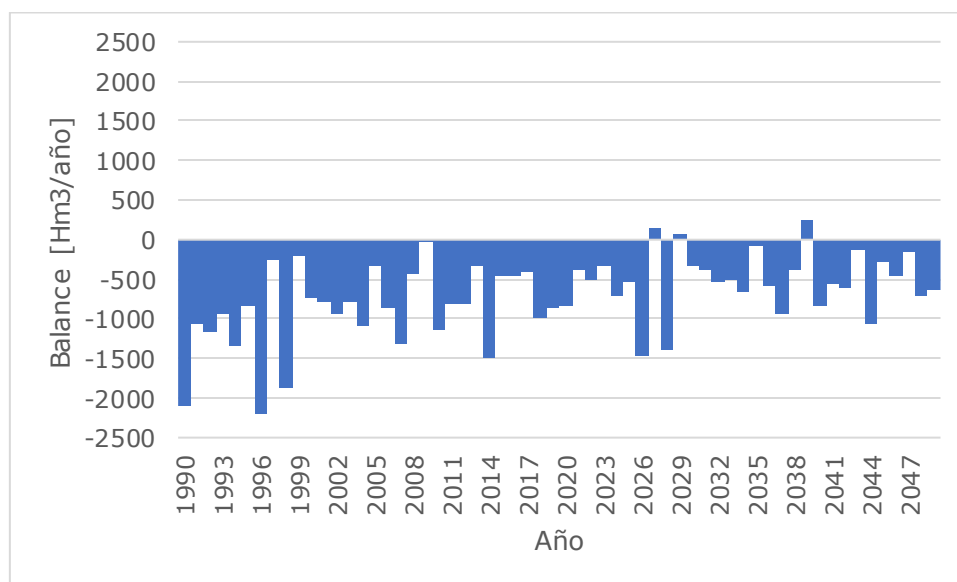


Figura 5-16. Balance Hídrico anual 1990-2050, cuenca Río Toltén.

Fuente: Elaboración propia a partir de modelo acoplado WEAP-MODFLOW.

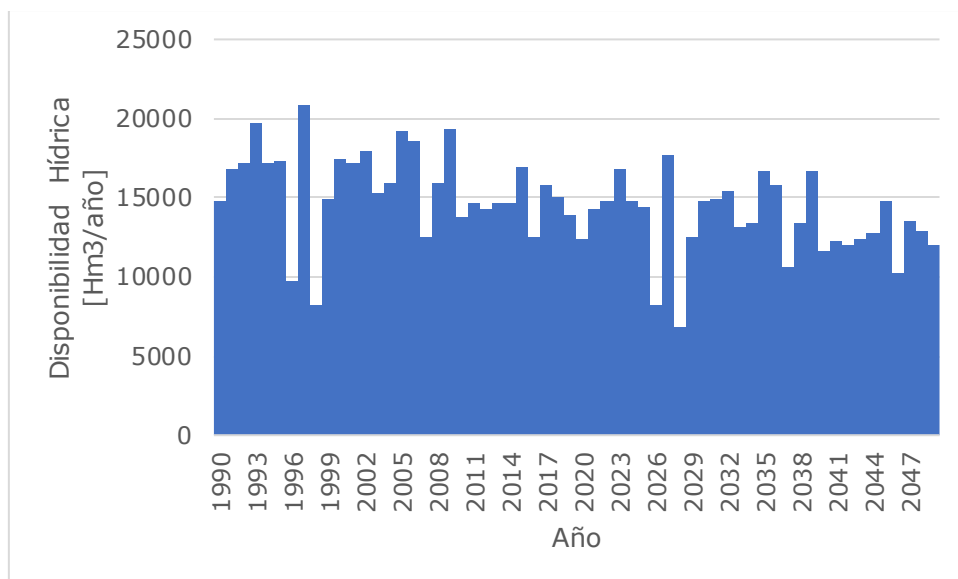


Figura 5-17. Disponibilidad Hídrica anual 1990-2050. Cuenca Río Toltén.

Fuente: Elaboración propia a partir de modelo acoplado WEAP-MODFLOW.

Para el Balance de disponibilidad hídrica (Figura 5-17), se aprecia que todos los años existe un balance positivo sin evidenciar balances negativos a nivel anual. Esto muestra que a nivel anual, la cuenca Río Toltén muestra superávit en todos los años.

A nivel mensual se observa una disminución de la disponibilidad entre el periodo histórico 1990-2020 y el periodo futuro 2020-2050 (Figura 5-18), sin embargo, no se observa en ningún mes un déficit en el recurso.

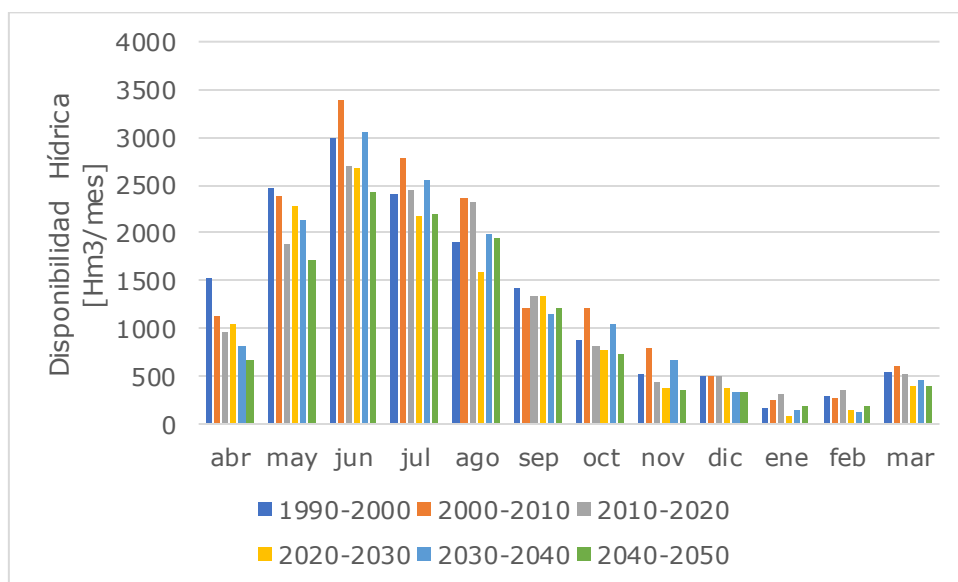


Figura 5-18. Disponibilidad hídrica por décadas. Periodo 1990-2050, cuenca Río Toltén.

Fuente: Elaboración propia a partir de modelo acoplado WEAP-MODFLOW.

Como se mencionó anteriormente, se observa que, para el escenario histórico y de cambio climático, el balance es negativo. Se pronostica que en general el balance es menos negativo en el futuro, lo que se estima, está dado por la disminución en el afloramiento hacia los Ríos y la mayor retención del agua subterránea en el sistema, con la consecuente disminución de caudal en los ríos.

En la Tabla 5-8 se muestra un resumen de los flujos explicados en la Figura 5-16, en unidades de hm³/año pero consolidados en promedios decadales. De esta forma se muestran los cambios en los balances para no ser presentados como valores estáticos y así analizar los cambios que han ocurrido en la cuenca. Se separan además las entradas (precipitación) y salidas (evapotranspiración, caudales y flujos subterráneos) de las áreas agrícolas y no agrícolas de manera de mostrar los cambios totales.

Para el caso futuro, si se evalúa el promedio mensual se tiene que la diferencia entre precipitación y evapotranspiración por mes se vuelve más pequeño, lo que claramente indica que en los meses de menor precipitación el almacenamiento de la cuenca disminuye más que en el periodo histórico. Incluso si se toma en cuenta los meses de precipitación, se observa una disminución en las cantidades evaluadas.

Tabla 5-8. Balance Hídrico, cuenca Río Toltén modelo acoplado. Unidades de [hm³/año].

Cambio Climático Cuenca											
Década	PP Agrícola	PP Sub-cuenca	SSR	Otras	Ganadería	ET Agro riego	ET Agro secoano	ET Sub-cuenca	Caudal Subterráneo	Caudal	Balance Hídrico
1990	6.974,8	11.099,9	-0,2	-2,9	-1,6	-53,8	-581,0	-1.745,8	47,3	-16.932,5	-1.195,8
2000	7.399,6	12.100,0	-0,3	-35,2	-1,6	-60,6	-588,5	-1.862,4	47,3	-17.727,4	-729,0
2010	5.720,2	11.401,8	-0,6	-47,1	-1,3	-54,7	-492,7	-1.902,2	47,3	-15.447,2	-776,4
2020	5.199,9	10.502,0	-1,0	-56,2	-1,4	-83,5	-462,5	-1.818,4	47,3	-13.918,8	-592,4
2030	5.673,6	11.391,9	-1,1	-56,1	-1,4	-128,2	-468,0	-1.918,9	47,3	-14.955,3	-416,1
2040	4.937,7	9.948,2	-1,1	-55,9	-1,4	-124,6	-445,5	-1.808,9	47,3	-13.037,0	-541,0

Fuente: Elaboración propia a partir de modelo acoplado WEAP-MODFLOW.

Cabe destacar que el warm up del modelo influye hasta la década del 90, por lo que el análisis se hará en la década de los 2000 y 2010.

En general se puede apreciar que las precipitaciones han ido disminuyendo desde la década de 2000 hasta la fecha, pasando de 19.500 [hm³] o 2.126 [mm] anuales a los 14.885 [hm³] o 1.751 [mm] de la última década. La evapotranspiración aumenta levemente debido al aumento de temperatura. Los consumos humanos (agua potable), los industriales y la ganadería aparecen proporcionalmente mucho menores que otros flujos. Con respecto al caudal de descarga de la cuenca, se pronostica que esté presente una disminución importante de aproximadamente un 23% producto principalmente de la disminución de las precipitaciones, pero también de la menor cantidad de agua almacenada en acuíferos y subsuelo que alimentaban a su vez a pequeñas quebradas y cursos superficiales y subsuperficiales.

Todos estos flujos explican los resultados del balance hídrico promedio anual a nivel decadal. Tanto la superficie constante agrícola bajo riego (y su demanda evapotranspirativa) como las disminuciones en las precipitaciones totales generan balances negativos.

Como comentario final, se observa que los balances hídricos previos a la modelación y el asociado a modelación difieren sobre todo en los meses de verano debido a que el segundo no considera todas las demandas consuntivas (ver Anexo H, acápite 3.2.5), además de que la modelación de la evapotranspiración está dada por la evapotranspiración real la cual es limitada por la evapotranspiración potencial (que corresponde a la considerada para el balance preliminar) pero también por la humedad del suelo de cada *catchment* la cual es a su vez, función de los distintos parámetros de suelo calibrados.

5.2.2.2. Resultados por SHACs

La Figura 5-19 y la Figura 5-20 presentan las disponibilidades hídricas (flujos entrantes menos salientes sin considerar las descargas por Ríos) de la cuenca, pero considerando los aportes por SHAC, para la década del 2010 y del 2040, respectivamente.

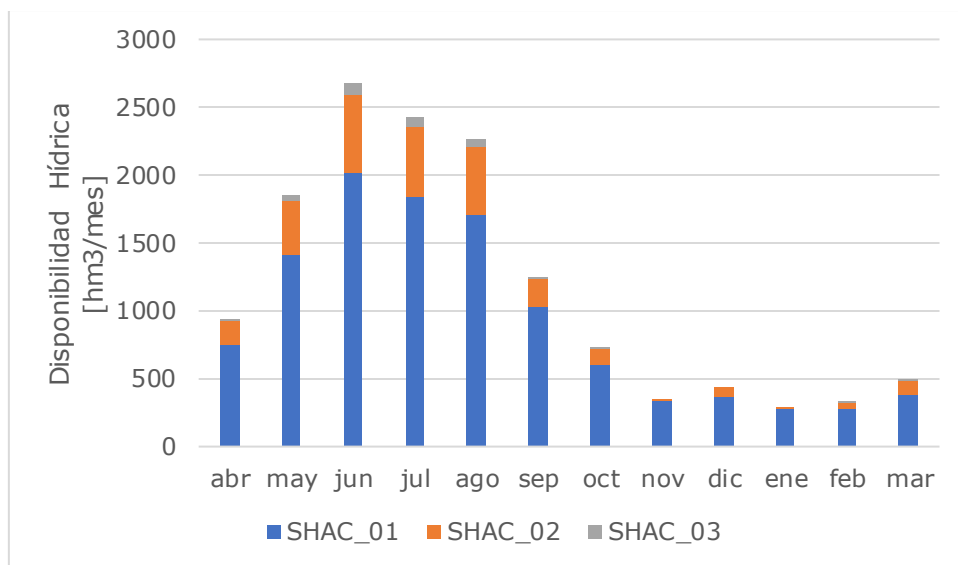


Figura 5-19. Disponibilidad Hídrica anual 2010-2020, promedio mensual. Cuenca Río Toltén.

Fuente: Elaboración propia a partir de modelo acoplado WEAP-MODFLOW.

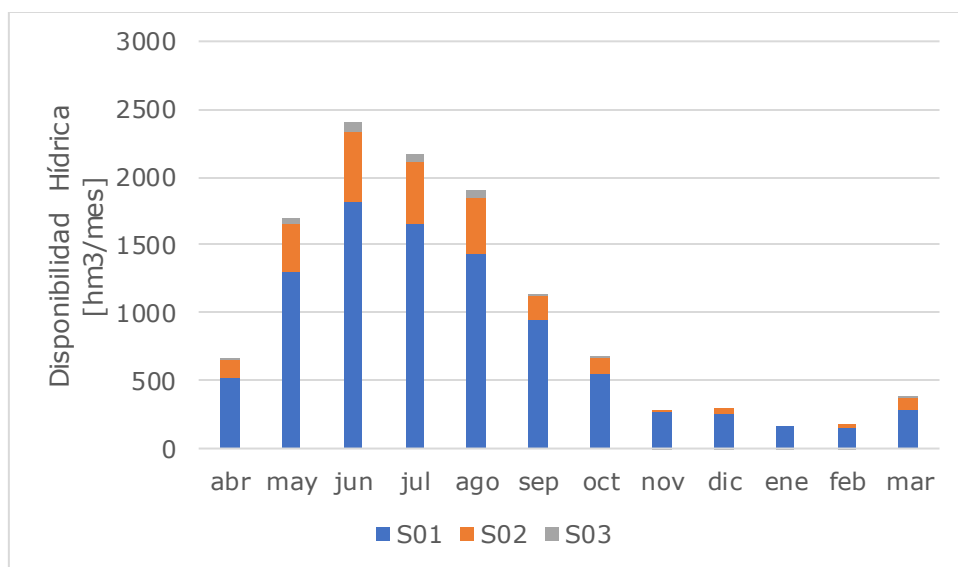


Figura 5-20. Disponibilidad Hídrica anual 2040-2050, promedio mensual. Cuenca Río Toltén.

Fuente: Elaboración propia a partir de modelo acoplado WEAP-MODFLOW.

En ambas figuras se observan que, los 3 SHAC presentan un comportamiento similar en cuanto la variabilidad mensual del balance. La principal diferencia radica en la magnitud mensual, la cual se explica por las superficies de cada SHAC. Además, se aprecia que la situación proyectada presenta un menor superávit respecto a la condición histórica.

En las Tabla 5-9, Tabla 5-10 y Tabla 5-11 se presentan los resultados de balance hídrico por SHAC

Tabla 5-9. Balance hídrico SHAC 01 Toltén Alto. Unidades en [hm³/año].

Década	PP Agrícola	PP Sub-cuenca	SSR	Otras	Ganadería	ET Agro riego	ET Agro secano	ET Sub-cuenca	Caudal Subterráneo	Caudal	Balance Hídrico
1990	4.059,8	9.605,3	-0,1	-0,8	-1,1	-27,1	-281,4	-1.269,6	93,5	-13.336,5	-1.158,0
2000	4.328,9	10.318,0	-0,2	-22,0	-1,1	-27,6	-289,2	-1.333,6	89,0	-13.835,6	-773,5
2010	3.302,3	9.580,0	-0,4	-32,2	-1,0	-23,4	-237,4	-1.331,5	83,0	-12.118,9	-779,6
2020	2.985,1	8.843,2	-0,6	-39,4	-1,0	-23,0	-225,0	-1.274,2	78,3	-10.979,1	-635,6
2030	3.221,4	9.547,5	-0,7	-39,4	-1,0	-23,4	-234,8	-1.342,9	75,5	-11.723,9	-521,7
2040	2.808,8	8.343,8	-0,7	-39,3	-1,0	-22,9	-223,1	-1.262,1	72,8	-10.279,0	-602,7

Fuente: Elaboración propia a partir de modelo acoplado WEAP-MODFLOW.

Tabla 5-10. Balance hídrico SHAC 02 Toltén Medio. Unidades en [hm³/año].

Década	PP Agrícola	PP Sub-cuenca	SSR	Otras	Ganadería	ET Agro riego	ET Agro secano	ET Sub-cuenca	Caudal Subterráneo	Caudal	Balance Hídrico
1990	2.555,0	1.317,4	0,0	-0,4	-0,4	-25,0	-240,5	-397,5	-35,6	-2.761,5	411,4
2000	2.666,0	1.585,7	-0,1	-3,8	-0,4	-31,3	-237,8	-446,8	-30,3	-2.921,1	580,0
2010	2.096,8	1.620,2	-0,2	-5,2	-0,4	-29,8	-201,0	-478,7	-25,8	-2.481,7	494,3
2020	1.926,3	1.473,6	-0,3	-6,7	-0,4	-59,0	-184,6	-455,2	-22,4	-2.227,5	443,8
2030	2.126,6	1.635,5	-0,3	-6,6	-0,4	-103,2	-178,2	-481,6	-19,1	-2.453,6	519,2
2040	1.847,8	1.423,9	-0,3	-6,5	-0,4	-100,2	-169,1	-457,4	-17,2	-2.100,8	419,9

Fuente: Elaboración propia a partir de modelo acoplado WEAP-MODFLOW.

Tabla 5-11. Balance hídrico SHAC 03 Toltén Bajo. Unidades en [hm³/año].

Década	PP Agrícola	PP Sub-cuenca	SSR	Otras	Ganadería	ET Agro riego	ET Agro seco	ET Sub-cuenca	Caudal Subterráneo	Caudal	Balance Hídrico
1990	360,0	177,2	0,0	-1,8	-0,01	-1,7	-59,1	-78,7	-10,5	-834,5	-449,1
2000	404,8	196,4	0,0	-9,5	-0,01	-1,7	-61,4	-82,0	-11,4	-970,7	-535,5
2010	321,1	201,6	0,0	-9,6	-0,01	-1,5	-54,3	-91,9	-9,8	-846,6	-491,0
2020	288,6	185,2	-0,1	-10,1	-0,01	-1,5	-53,0	-89,0	-8,6	-712,2	-400,6
2030	325,6	208,9	-0,1	-10,1	-0,01	-1,5	-55,0	-94,5	-9,1	-777,9	-413,6
2040	281,1	180,5	-0,1	-10,1	-0,01	-1,5	-53,2	-89,5	-8,3	-657,1	-358,2

Fuente: Elaboración propia a partir de modelo acoplado WEAP-MODFLOW.

5.2.3. Diferencias entre demandas teóricas y demandas modeladas

A continuación, la Tabla 5-12 presenta las diferencias entre las demandas utilizadas en WEAP y las teóricas según el Anexo J – Capítulo 10.

Tabla 5-12. Nodos Acuíferos en WEAP.

Rubro	Modelo WEAP 2019 [hm ³ /año]	Teórico 2019 [hm ³ /año]	Diferencia 2019 [hm ³ /año]	Porcentaje [%]
Hidroelectricidad	987,1	1.633,4	-646,4	40
Piscicultura	87,0	227,5	-140,4	62
SSR	3,5	3,4	0,1	-2
APU+Industrial+Otros	141,5	3.536,9	-3.395,4	96
Ganadería	1,4	1,4	0,0	0

Fuente: Elaboración propia a partir de modelo acoplado WEAP-MODFLOW.

Tanto en hidroelectricidad como en piscicultura, existen elementos que no pudieron ser modelados debido a la complicación que agregaba al modelo en términos de la red de drenaje, esto explicaría las diferencias presentadas. Por otro lado, el mayor cambio se encuentra en APU+Industrial+Otros debido a que el modelo considero solo los derechos con coordenadas geográficas declaradas. Esto por esto, que, por ejemplo, existe en la planilla DGA de derechos el derecho de expediente UA-0902-811235 sin información de captación ni restitución y que declara consumo de 3153,60 hm³/año, lo que equivale a un gran porcentaje de la demanda expresada en la Tabla 5-12. En SSR y Ganadería casi no existen diferencias entre las demandas utilizadas en el modelo y las teóricas.

5.2.4. Recargas y variaciones de acuífero

La Tabla 5-13 presenta las recargas y salidas por SHAC en el periodo 1980-2020.

Tabla 5-13. Resumen de flujos de entradas y salidas de los distintos SHACS. Periodo 1980-2020.

	Origen	Toltén Alto	Toltén Medio	Toltén Bajo	Cuenca Total
Entradas [m ³ /s]	Flujo entrante desde acuíferos	0,51	0,18	0,00	0,70
	Recarga desde Ríos	0,40	0,96	0,09	1,45
	Recarga desde carga constante	0,40	0,25	0,00	0,66

	Origen	Toltén Alto	Toltén Medio	Toltén Bajo	Cuenca Total
	Recarga almacenamiento	3,63	1,02	0,01	4,66
	Recarga nodos de ladera	0,15	0,57	0,00	0,72
	Recarga precipitación	0,58	0,00	0,00	0,58
	Total	5,68	2,99	0,10	8,76
Salidas [m ³ /s]	Flujo saliente desde acuífero	0,10	0,51	0,09	0,70
	Carga constante	0,41	0,00	0,00	0,41
	Drenes	0,10	0,20	0,00	0,30
	Recarga	0,01	0,04	0,00	0,05
	Río	4,51	1,82	0,00	6,33
	Almacenamiento	0,56	0,55	0,01	1,11
	Pozos	0,00	0,01	0,00	0,01
	Total	5,67	3,09	0,10	8,85
	Variación de almacenamiento	0,01	0,00	0,00	0,01

Fuente: Elaboración propia a partir de modelo acoplado WEAP-MODFLOW.

La Tabla 5-14 presenta las recargas y salidas por SHAC en el periodo 2020-2050.

Tabla 5-14. Resumen de flujos de entradas y salidas de los distintos SHACS. Periodo 2020-2050.

	Origen	Toltén Alto	Toltén Medio	Toltén Bajo	Cuenca Total
Entradas [m3/s]	Flujo entrante desde acuíferos	0,42	0,15	0,00	0,57
	Recarga precipitación	0,33	0,98	0,07	1,38
	Recarga río	0,44	0,28	0,00	0,72
	Recarga almacenamiento	0,92	0,48	0,01	1,41
	Recarga nodos de ladera	0,14	0,60	0,00	0,74
	Carga Constante	0,65	0,00	0,00	0,65
Total		2,90	2,49	0,08	5,47
Salidas [m3/s]	Flujo saliente desde acuífero	0,08	0,42	0,07	0,57
	Carga constante	0,12	0,00	0,00	0,12
	Drenes	0,00	0,11	0,00	0,11
	Recarga	0,06	0,14	0,00	0,20
	Río	2,28	1,53	0,00	3,81
	Almacenamiento	0,33	0,37	0,01	0,71
	Pozos	0,02	0,03	0,00	0,05
Total		2,83	2,47	0,08	5,38
Variación de almacenamiento		0,07	0,02	0,00	0,09

Fuente: Elaboración propia a partir de modelo acoplado WEAP-MODFLOW.

5.3. BRECHAS

5.3.1. Brechas de Balance hídrico

La brecha asociada al déficit generado para poder satisfacer las demandas evidenciadas en la cuenca, fueron abordadas mediante el concepto de demanda insatisfecha y por el déficit anual en el recurso subterráneo.

La demanda insatisfecha, fue determinada a partir de los resultados del modelo acoplado (WEAP y MODFLOW). En primer lugar, se identifica la demanda insatisfecha en riego, definida como la diferencia entre la evapotranspiración potencial y la evapotranspiración real. La brecha para se calcula restando la ET potencial y ET actual a nivel anual [hm³]. La fórmula utilizada se presenta a continuación.

$$Brecha_{riego} = ET_{potencial} - ET_{actual}$$

Además, se define la demanda insatisfecha de agua potable como la demanda potencial (estimada a partir del producto entre la población y la dotación por habitante al día, considerando el crecimiento poblacional) y el consumo real de agua en base a la disponibilidad de agua en los distintos pozos y los DDAA asociados a esos pozos, además de la disponibilidad en las fuentes superficiales.

En la Figura 5-21 se presenta la brecha asociada a las demandas analizadas a nivel de cuenca para distintas décadas. Se aprecia que la brecha para riego es cercana a los 240 millones de m³ en la última década. En cambio, la brecha de agua potable rural es bastante menos, por lo menos con respecto a disponibilidad del recurso en base a la modelación, que puede presentar incertidumbres y errores puntuales.

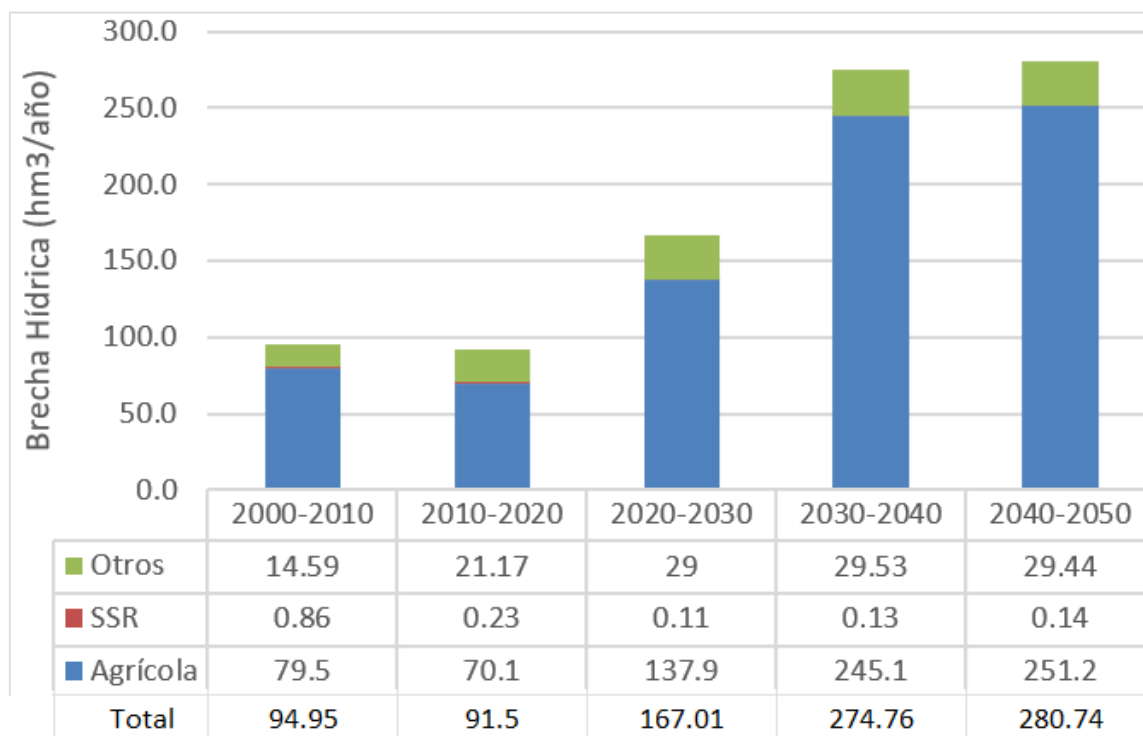


Figura 5-21. Brecha para agua potable rural, demandas agrícolas bajo riego, y demandas consuntivas del Río Toltén.

Fuente: Elaboración propia a partir de modelo acoplado WEAP-MODFLOW.

Se aprecia que la brecha total de la cuenca se encuentra entre los 94,9 hm³ a los 280,8 hm³ lo que representa aproximadamente un 3% de la precipitación total caída en la cuenca. Si se analiza por rubro, la brecha de riego es la que presenta mayor magnitud con un total de 79,5 hm³ en la década 2010-2020 y un total de 251,2 hm³ en la década 2040-2050. Le siguen las brechas de otros usos consuntivos como industriales, APU, etc. Con una brecha igual a 21,17 hm³ en la década 2010-2020 y una brecha igual a 29,44 hm³ para la condición futura. Finalmente, la brecha asociada a SSR casi no sufre variación pasando de 0,23 hm³ a 0,14 hm³ en la condición futura. Así, la cuenca Río Toltén presenta una brecha total histórica igual a 92 hm³ (década 2010-2020) y una brecha proyectada igual a 280,8 hm³ (década 2040-2050).

En las Tabla 5-15, Tabla 5-16 y Tabla 5-17, se presentan las brechas históricas totales y según rubro por SHAC.

Tabla 5-15. Brecha SHAC Toltén Superior. Periodo 1990-2020.

Década	Brecha [hm ³ /año]			
	Riego	SSR	Otros	Total
1990-2000	47,71	0,37	0,00	48,10
2000-2010	46,53	0,42	13,73	60,68

Década	Brecha [hm ³ /año]			
	Riego	SSR	Otros	Total
2010-2020	41,56	0,23	19,85	61,64

Fuente: Elaboración propia a partir de modelo acoplado WEAP-MODFLOW.

Tabla 5-16. Brecha SHAC Toltén Medio. Periodo 1990-2020.

Década	Brecha [hm ³ /año]			
	Riego	SSR	Otros	Total
1990-2000	41,48	0,36	0,00	41,84
2000-2010	32,52	0,42	0,00	32,94
2010-2020	28,17	0,00	1,00	29,17

Fuente: Elaboración propia a partir de modelo acoplado WEAP-MODFLOW.

Tabla 5-17. Brecha Toltén Inferior. Periodo 1990-2020.

Década	Brecha [hm ³ /año]			
	Riego	SSR	Otros	Total
1990-2000	0,45	0,20	0,00	0,65
2000-2010	0,43	0,02	0,00	0,45
2010-2020	0,42	0,00	0,00	0,42

Fuente: Elaboración propia a partir de modelo acoplado WEAP-MODFLOW.

Por otro lado, observando las tablas de los déficits, se tiene que en la década del 2010 Toltén Alto presenta los mayores valores debido a su extensión con una brecha igual a 62,15 hm³, seguido de Toltén medio con una brecha igual a 41,83 hm³/año y Toltén Inferior con una brecha igual a 0,66 hm³/año.

Respecto a las brechas proyectadas en las Tabla 5-18, Tabla 5-19 y Tabla 5-20 se presentan las brechas proyectadas totales y según rubro por SHAC.

Tabla 5-18. Brechas proyectadas Toltén Superior. Periodo 2020-2050.

Década	Brecha [hm ³ /año]			
	Riego	SSR	Otros	Total
2020-2030	43,78	0,10	27,73	71,61
2030-2040	43,05	0,11	27,88	71,04
2040-2050	44,25	0,12	28,30	72,67

Fuente: Elaboración propia a partir de modelo acoplado WEAP-MODFLOW.

Tabla 5-19. Brechas proyectadas Toltén Medio. Periodo 2020-2050.

Década	Brecha [hm ³ /año]			
	Riego	SSR	Otros	Total
2020-2030	93,65	0,01	2,30	95,96
2030-2040	201,61	0,02	2,50	204,13
2040-2050	206,52	0,02	2,59	209,13

Fuente: Elaboración propia a partir de modelo acoplado WEAP-MODFLOW.

Tabla 5-20. Brechas proyectadas Toltén inferior. Periodo 2020-2050.

Década	Brecha [hm ³ /año]			
	Riego	SSR	Otros	Total
2020-2030	0,46	0,00	0,00	0,46
2030-2040	0,44	0,00	0,00	0,44
2040-2050	0,47	0,00	0,00	0,47

Fuente: Elaboración propia a partir de modelo acoplado WEAP-MODFLOW.

Observando las tablas de las brechas por SHAC, se tiene que en la década del 2040 en Toltén Medio se proyectan los mayores valores debido a su extensión y su uso agrícola.

Respecto a la década del 2010, en todos los SHAC aumenta el déficit de Riego y Otros, sin embargo, disminuye el déficit de APR, esto debido a que la constitución de derechos finaliza en el 2020.

Es necesario indicar que la brecha asociada a riego no corresponde a una carencia del recurso hídrico en sí, tal como lo señalan los balances anuales mostrados en la Figura 5-16, sino que está asociado a una carencia de seguridad de riego, debido a que las superficies de secano no evapotranspiran de acuerdo a la potencial, por lo tanto, esos volúmenes [hm³] de brecha indicadas deben ser disminuidas de acuerdo a la entrega de seguridad de riego. De acuerdo a los criterios tomados para representar la demanda de los SSR, las brechas de SSR no corresponden a un déficit de agua para satisfacer la demanda, sino que a la no regularización de derechos de agua por parte de los SSR en donde los derechos disponibles son menores que la demanda estimada.

Existen además brechas asociadas a otros usos, los cuales engloban a consumo humano para industrias, procesos productivos, ganadería, etc. De acuerdo al análisis de los derechos de agua, estos consumos tienen una fuente principalmente subterránea. Al no contar con la información de la profundidad de pozos, no es posible asociarlo a que el pozo se haya secado o a una insuficiencia estructural.

Un aspecto importante a tener en cuenta son los usos no consuntivos y usos in situ que existen en la cuenca y que son de importancia. Los usos no consuntivos principales son la hidroelectricidad y las pisciculturas (ver capítulo 3.7 y 3.8) y el turismo y conservación de los ecosistemas como usos in situ.

Las centrales hidroeléctricas y las pisciculturas al ser usos no consuntivos, es muy importante la oportunidad de uso en el sector de captación y restitución, y no es aconsejable incluirlos en un análisis de brechas a nivel de cuencas o a nivel de SHAC debido a la mayor escala espacial de estas unidades de análisis que el tramo de río (entre captación y restitución). De todas maneras, fueron incluidas las centrales hidroeléctricas y las pisciculturas en la modelación de tal forma de comprobar que los caudales pasantes en el sector del río emplazamiento de estos usos era suficiente para tener una seguridad de uso de acuerdo a la naturaleza de su operación. Sin embargo, su inclusión no fue del todo exitosa debido a que la red hidrográfica utilizada en la modelación no aborda la totalidad de efluentes menores en donde están emplazadas, dejando de incorporar del orden del 60% de las pisciculturas y del 40% de las centrales hidroeléctricas. Para poder incorporar todas las centrales hidroeléctricas y pisciculturas es necesario disminuir la escala de modelación, logrando definir mayor cantidad de afluentes y cambiar la escala espacial a nivel de tramo de río.

Los usos *in situ* como el turismo y la conservación de ecosistemas, presentan similares brechas de implementación en el modelo acoplado, pero la diferencia es que estos dos usos no presentan competencia por uso, por lo tanto, un caudal ambiental puede cumplir con ambos objetivos. En la cuenca existen estimaciones de caudales para uso turístico y reservas ambientales (ver capítulo 3.2), pero no están desarrollados para la totalidad de la extensión fluvial donde se realiza turismo ni el caudal ambiental se ha determinado en todos los cuerpos de agua de interés. En este estudio se realizó el ejercicio de determinar el caudal ecológico mínimo mediante la minuta MMA (2015) (ver Anexo H, acápite 4.4.7) en cada una de las estaciones fluviométricas presentes en la cuenca. Sin embargo, este caudal solo considera el caudal necesario para aspectos ecológicos exclusivamente y está orientado a mantener un caudal en el río al momento de otorgar nuevos derechos de agua. En consecuencia, y dada la importancia del turismo y la conservación de ecosistemas acuáticos en la cuenca que ha quedado plasmada en las distintas instancias de participación ciudadana desarrollados en elaboración de este Plan (Ver anexo I, Procesos participativos) es que es necesario desarrollar estudios de caudal ambiental que incluya aspectos ecológicos y socioculturales (como el turismo, cosmovisión mapuche de conservación de ecosistemas, etc) específicos para cada humedal relevante definido en la cuenca.

5.3.2. Otras brechas

Si bien, la cuenca es excedentaria y ningún año ha presentado balances negativos (ver Capítulo 5.2), in embargo, en procesos participativos (Anexo I. Procesos participativos) los regantes han manifestado la necesidad de contar con mayor cantidad de canales de riego y construir tranques intra y extraprediales de tal forma que aumente la seguridad de riego en época estival.

Por otra parte, los SSR indican que, si bien ellos no aprecian una carencia de agua, no logran satisfacer a sus socios teniendo que recurrir a camiones aljibes. Esta limitación se debe principalmente a: Mal estado de la infraestructura asociada, aumento explosivo de la población debido principalmente a la pandemia y a loteos de parcelas, poca planificación en el diseño de los SSR, y a la demora de los trámites necesarios para realizar ampliación de la infraestructura. Lo cual solicitan programas de apoyo por parte del estado para

reponer y ampliar infraestructura y la elaboración y puesta en marcha de planes reguladores comunales y a nivel de región o cuenca, que regule la generación de loteos con su consecuente demanda de agua.

Debido a la excedencia de agua, la eficiencia de conducción y distribución no es una variable de preocupación en la cuenca y por tanto, no se realiza su cuantificación. Recordar que esta cuenca solo cuenta con 5 Organismos Usuarios de Agua, de las cuales 1 de ellas (Canal Faja Maisan) presenta un revestimiento de sus canales, el resto de ella presenta canales con falta de mantención (CNR, 2017). El resto del uso del agua consuntiva industrial, ganadero o de riego, se realiza por extracción de agua subterránea y su conducción es exclusivamente intrapredial, por lo que conocer y cuantificar la eficiencia es de iniciativa exclusivamente particular.

La eficiencia en distribución y conducción de agua potable es abordada por Aguas Araucanía (única empresa sanitaria que abastece las poblaciones urbanas de la región) y si bien han hecho esfuerzo por determinar las pérdidas, estas son solo estimaciones y están del orden de 20% a 30%.

La eficiencia en el abastecimiento de agua potable rural no ha sido estimada o medida en estos SSR. Durante los procesos de participación ciudadana realizados, los SSR han indicado que evidencian problemas de conducción de agua potable a sus socios, los cuales se traducen en tuberías en mal estado o inadecuadas en su capacidad de conducción.

Respecto a la gestión del recurso hídrico, no existe una instancia u organismo que realice una coordinación entre los distintos actores, como tampoco a nivel de cuenca. Esto se traduce en que cada interesado debe velar por sus propios intereses y necesidades, lo que ha llevado que las escasas coordinaciones presentes se realicen en territorios de pequeño alcance, en donde se organizan en forma desconectada de la cuenca en general. Por ejemplo, el turismo (que se realiza principalmente en la parte alta de la cuenca), no interactúa con las actividades que se realizan en la zona media, y solo genera interacción con los rubros económicos con pisciculturas, hidroelectricidad y forestales.

Existen algunas iniciativas locales de organización en torno al recurso hídrico como la asociación de servicios sanitarios, la unión comunal de servicios sanitarios, pero que se encuentran en un estado inicial de organización y funcionamiento.

Existen otras instancias de organización de los gremios como la Sociedad de Fomento Agrícola (SOFO) y la Corporación de la Madera (CORMA). Si bien en ambas asociaciones gremiales son conscientes de la problemática del recurso hídrico, no han incorporado la gestión de este como parte de sus instancias de discusión y organización.

Las brechas presentadas anteriormente, son aquellas que pudieron ser identificadas y cuantificadas de acuerdo a la información disponible, la implementación de modelos hidrológicos subterráneos y superficiales acoplados y distintas instancias participativas. Sin embargo, durante el desarrollo de este PEGH se evidenció la carencia de información en aspectos relevantes de la cuenca, tanto por su valor intrínseco en sí, como en la utilidad de dicha información para lograr una mejor gestión y/o para un refinamiento del modelo hidrológico acoplado desarrollado para este PEGH. Las áreas en donde se evidencia una carencia de información es en el monitoreo del acuífero, homologación del monitoreo de

calidad del agua, desconocimiento de interacción río-acuífero que para esta cuenca presenta una gran importancia, desconocimiento del aporte glaciar al escurrimiento, desconocimiento de los umbrales mínimos de agua para la conservación de ecosistemas y la realización de turismo

En resumen, es posible identificar las siguientes brechas:

- Se evidencia una carencia de seguridad de riego, debido a que mayoritariamente el riego es de Secano.
- Existe una carencia en la seguridad de abastecimiento de agua potable a sus asociados debido a la poca profundidad de sus pozos, menor tasa de ampliación del equipamiento (tuberías, bombas, etc) respecto al aumento de población que se ha ido a vivir en parcelas.
- Carencias y vacíos de información y monitoreo continuo en torno al recurso hídrico tanto subterráneo, superficial y de calidad del agua.
- Latente vulnerabilidad de ecosistemas y del acuífero debido a la carencia de información en torno a la calidad del agua, propiedades del acuífero, etc
- Latente amenaza a ecosistemas acuáticos humedales debido a la carencia de sistema de protección de su servicio ecosistémico y funciones ecológicas.
- Carencia de instancias institucionalmente establecidas para realizar acciones coordinadas entre 2 o más usuarios en torno al recurso hídrico.

5.4. SUSTENTABILIDAD

La sustentabilidad de la cuenca se basa en el marco ecohidrológico¹, el cual no solo permite la mitigación del impacto y la presión sobre el recurso hídrico, sino que permite incrementar el potencial ecológico de la cuenca expresado por un objetivo multicriterio.

De acuerdo a Zalewski (2021), los criterios a tener en cuenta son: Agua, Biodiversidad, servicios ecosistémicos, Resiliencia al cambio climático, cultura y educación (WBSRCE, por sus siglas en inglés).

Esos criterios ayudan a armonizar el potencial ecológico y las necesidades de la ciudadanía, y por consecuencia, lograr la sostenibilidad de la cuenca hidrográfica.

¹ Ecohidrología es una ciencia integrativa que se enfoca en la interacción entre la hidrología y la biota. El concepto surgió como un enfoque transdisciplinario para encontrar métodos orientados a la solución para reducir el impacto antrópico en los ecosistemas. De hecho, la transformación de los paisajes en las últimas décadas, desde ecosistemas prístinos hasta sistemas nuevos o altamente impactados ha implicado efectos negativos en sus procesos naturales. Es con el fin de revertirlos que la Ecohidrología busca reforzar los servicios ecosistémicos en estos paisajes modificados.

Con el fin de lograr la sostenibilidad tanto en los ecosistemas como en las poblaciones humanas, así como para mejorar la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos, la Ecohidrología es el camino para el logro del Objetivo de Desarrollo Sostenible sobre el Agua (Metas 6.5 y 6.6). A través de la gestión de la regulación dual de la hidrología y la biota, la ecohidrología busca tener en cuenta cinco parámetros multidimensionales dentro de las cuencas hidrográficas: Agua, Biodiversidad, Servicios Ecosistémicos para la Sociedad, Resiliencia a los Cambios Climáticos y Patrimonio Cultural (WBSRC).

La ecohidrología provee herramientas que permiten dicha armonización mediante biotecnología conocida como soluciones basadas en la naturaleza (NBS) las cuales usan los procesos y propiedades naturales de un ecosistema como herramientas de gestión para realizar la sostenibilidad potencial.

A estos criterios de sostenibilidad ecohidrológica se suman aquellos desarrollados para velar por la sostenibilidad del acuífero.

Estos criterios se resumen en:

Criterio 1

Los descensos generales en el sector a evaluar deben estar estabilizados para una operación del sistema de 50 años, en caso contrario se considera que los descensos son sostenidos.

Si los descensos son sostenidos se considera que el volumen de afección sobre el acuífero en el largo plazo (50 años) no debe afectar más allá de un 5% del volumen total del acuífero. En caso contrario, el sistema acuífero será considerado con afección y se deberá cerrar el acuífero.

$$\frac{V_0 - V_{50}}{V_0} < 0,05$$

Donde:

V_{50} = Volumen del acuífero a los 50 años de operación indicado por el modelo.

V_0 = corresponde al volumen inicial en el acuífero antes de la operación del modelo.

Criterio 2

Este criterio busca no afectar los recursos superficiales ya comprometidos.

El grado de interacción debe ser menor que 10% de los flujos superficiales pasantes en cada una de las zonas, evaluados como el caudal promedio anual de 85% de probabilidad de excedencia.

La afección sobre el cauce superficial se define como ΔQ , término compuesto por dos variables:

- a) Aumento de infiltración en el sector acuífero debido al aumento de la explotación.
- b) Disminución de los afloramientos del Río.

$$\Delta Q_{\text{año } 2050} \leq 10\% Q_{\text{anual, 85\% probabilidad de excedencia}}$$

Criterio 3

Para cada sector hidrogeológico, el modelo debe permitir una extracción mínima de un 95% de caudal ingresado como demanda y la oferta estará dada por el caudal de los pozos que el modelo indica que son factibles de obtener.

$$Q_{\text{oferta}} > 95\% Q_{\text{demanda}}$$

Criterio 4

En cada sector hidrogeológico no debe haber más de un 5% de pozos desconectados o colgados. En caso contrario el sector quedará cerrado.

Esta condición apunta a respetar derechos de terceros sin importar la cantidad que extraiga cada pozo. "

$$\frac{N_{\text{pozos secos}}}{N_{\text{total de pozos}}} < 5\%$$

Criterio 5

Verificar que el aumento de extracciones desde un sector no afecte la disponibilidad sustentable de otro sector aguas abajo o aguas arriba.

El cumplimiento de este criterio estará dado porque ninguno de los sectores abiertos en que se aumente la demanda provoque el no cumplimiento de los criterios para los otros sectores abiertos, o para los sectores cerrados.

5.4.1. Resumen de evaluación de criterios de sustentabilidad

Como se observa en la Tabla 5-21, todos los criterios en todos los SHACs son no sustentables, por lo que en resumen la cuenca es no sustentable. Se debe indicar que los criterios 4 y 5 no fueron evaluados puesto que con los 3 primeros criterios la cuenca era no sustentable. El detalle de la información se encuentra en el Anexo H, acápite 5.4.4.

Tabla 5-21. Resumen de evaluación de criterios de sustentabilidad.

SHAC	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	Criterio 5
Toltén Alto	No Sustentable	No Sustentable	No Sustentable	No evaluado	No evaluado
Toltén Medio	No Sustentable	No Sustentable	No Sustentable	No evaluado	No evaluado
Toltén Bajo	No Sustentable	No Sustentable	Sustentable	No evaluado	No evaluado
Total	No Sustentable	No Sustentable	No Sustentable	No evaluado	No evaluado

Fuente: Elaboración propia a partir de modelo acoplado WEAP-MODFLOW.

5.5. INDICADORES HÍDRICOS DE LA CUENCA

Para evaluar el comportamiento de la cuenca ante las demandas de agua por parte de los usuarios, se utilizaron dos indicadores: el primero es la brecha hídrica que se define como el déficit de agua expresado en volumen en un periodo de tiempo, ya sea mensual, anual, decadal, etc.

El segundo indicador es la cobertura de la demanda. Esta puede entenderse como el porcentaje de la demanda que se cumple para un cierto porcentaje del tiempo en el año. Se calcula comparando la demanda con el agua efectivamente entregada en cada paso de tiempo. Esta se calcula como $\text{Entregas}_t / \text{Demanda}_t$ (ambos términos calculados por el modelo hidrológico acoplado). De esta manera se genera una serie de tiempo en el que los valores tienen un rango entre 0 y 1, siendo 0 una satisfacción nula de la demanda y 1 como una satisfacción completa de la demanda. A esta serie se le calculan los percentiles de 99% para la demanda de agua potable y de 85% para la demanda agrícola y se obtienen las confiabilidades APR y Agro que es satisfecha un 99% de las veces y un 85%, respectivamente. Estos porcentajes fueron elegidos porque son los que comúnmente se asocian a satisfacción de demandas en ambos sectores, aunque podrían ser usados otros valores.

Las demandas agrícolas se calcularon simplemente como la demanda evapotranspirativa de todos los cultivos presentes en la cuenca (m^3) y las entregas que dependen de la disponibilidad del recurso, pero también de aspectos tecnológicos como profundidad de pozos y restricciones de infraestructura para obtener agua de fuentes superficiales. Las demandas APR se calculan simplemente como la multiplicación de la población de cada APR por la dotación diaria definida por sus derechos de agua.

El tercer indicador es la variación del volumen almacenado en el acuífero. Este indicador no solo está relacionado con la sustentabilidad del acuífero (Criterio 1), sino que es un complemento a la estimación de la brecha a partir de la demanda insatisfecha. Por ejemplo, la demanda de un uso puede estar satisfaciéndose completamente y por tanto, la brecha será nula (entendida como demanda insatisfecha) y la cobertura será de un 100%. Sin embargo, si la demanda es satisfecha por agua subterránea entonces el volumen de agua subterránea debe ser considerada como parte del déficit hídrico asociado a dicho uso.

5.5.1. Indicadores bajo condición histórica

Evalutando los indicadores (brecha, variación del acuífero y cobertura demanda) para la condición histórica, nos dará un diagnóstico del estado de la cuenca para estos tres indicadores. Este diagnóstico será usado como punto de partida para evaluar las mejoras que propone el PEGH en la situación hídrica de la cuenca

El promedio decadal de la confiabilidad de los 3 indicadores para la cuenca Río Toltén se muestra en la Tabla 5-2.

Tabla 5-22. Indicadores de brecha, cobertura de la demanda y variación del acuífero para la condición histórica en la cuenca Río Toltén.

Década	Brecha [hm ³ /año]		Cobertura [%]		Variación del acuífero [hm ³ /año]
	Agrícola	Agua potable Rural	Agrícola	Agua potable Rural	
1990-2000	89,64	0,93	37	46	-123,27
2000-2010	79,48	0,86	43	65	-66,71
2010-2020	70,15	0,23	44	92	-52,68

Fuente: elaboración propia a partir de la modelación hidrológica superficial (ver Anexo H Modelación hidrológica acoplada).

Respecto a la brecha hídrica en la cuenca, se aprecia que el uso agrícola es mayor y que este ha disminuido levemente en el avance de las décadas, lo cual se explica porque se han ido incorporando superficie sometidas a riego con agua subterránea. Estas superficies son pequeñas y obedecen a esfuerzos puntuales de riego en la zona. Es por este motivo que la disminución de la brecha es pequeña. Algo similar ocurre con el agua potable rural, en donde la brecha hídrica ha ido disminuyendo lo cual se explica que por se han ido regularizando los derechos de agua de los SSR. Esto se aprecia también en la cobertura en donde se ha ido satisfaciendo la demanda a través de la regularización de los derechos de agua y seguramente por un mejoramiento en la infraestructura, llegando un 92% de la cobertura de la demanda.

5.5.2. Indicadores bajo condición futura

Los indicadores ya descritos anteriormente fueron evaluados bajo la condición futura desarrollada para este PEGH. Esta condición se basa considerando las proyecciones de cambio climático con los escenarios IPSL. Cabe mencionar que se utilizó el mismo patrón de la serie histórica para proyectar las series climáticas hasta 2050.

El promedio de la década 2040-2050 de los 3 indicadores para la cuenca Río Toltén se muestra en la Tabla 5-23.

Tabla 5-23. Indicadores de brecha, cobertura de la demanda y variación del acuífero para la condición futura en la cuenca Río Toltén.

Década	Brecha [hm ³ /año]		Cobertura [%]		Variación del acuífero [hm ³ /año]
	Agrícola	Agua potable Rural	Agrícola	Agua potable Rural	
2020-2030	137,9	0,11	37	97	-40,43
2030-2040	245,1	0,13	34	97	-24,47
2040-2050	251,2	0,14	33	97	-21,28

Fuente: elaboración propia a partir de la modelación hidrológica superficial (ver Anexo H Modelación hidrológica acoplada, acápite 5.2.1).

Se aprecia que la condición de los 3 indicadores muestra que el déficit hídrico en el Río Toltén irá aumentando, particularmente, se hace evidente el aumento de la brecha respecto a la condición histórica debido a un aumento en la demanda agrícola por el interés de aumentar la zona de riego. En el agua potable rural, no se aprecia variaciones ni en la brecha, ni en la cobertura.

Realizando un análisis conjunto de la brecha, de las coberturas y además de la variación del volumen de almacenamiento del acuífero, se aprecia que estas cuencas presentan un déficit de agua para riego y bastante menor para otros usos. El déficit para riego radica en una carencia de seguridad de riego, porque el riego principalmente de secano y presenta déficit en época estival de bajas precipitaciones.

El aumento de la brecha hídrica para el riego en condiciones futuras radica no solo por el aumento de la temperatura y baja en los niveles de precipitación debido al cambio climático, sino también en que se proyecta aumentar la superficie sometida a riego en 27.000 ha de acuerdo a lo presupuestado por la CNR en la construcción de la red de canales.

De acuerdo a estos resultados, esta cuenca no presenta un déficit hídrico anual, sino que es básicamente estacional, por lo tanto, el objetivo hídrico de esta cuenca se debe orientar principalmente en dotar de seguridad hídrica a la nueva superficie que se desea incorporar a riego.

En forma complementaria otras brechas importantes, y que deben ser abordados como uno de los principales objetivos hídricos de esta cuenca son la escasez de información en torno al recurso hídricos superficial y subterráneo, la calidad del agua y sus ecosistemas asociados, lo cual impide fundamentar una toma de decisiones. Por otra parte, se evidencia la carencia de instancias de coordinación entre distintos actores y a distintas escalas de actuación, tanto a nivel local como de cuenca, como interrelación entre organismos públicos, actores privados y relación entre públicos-privados.

Estas dos últimas brechas, no solo generan problemas o limitaciones para realizar una gestión del recurso hídrico, sino que también generan desconfianza entre los actores y usuarios del agua en la cuenca.

5.6. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

5.6.1. Escenarios

Como una forma de evaluar la eficacia de las alternativas para mejorar los indicadores de Confiabilidad y Sustentabilidad de acuíferos, y por tanto disminuir las brechas identificadas, se simulan en el modelo WEAP algunas de las acciones definidas en el Capítulo 7. En la Tabla 5-24 se muestran los escenarios definidos por las acciones correspondientes. Todos los escenarios se listan y describen a continuación:

Tabla 5-24. Escenarios generados para simulación de efectividad de las medidas.

Escenario WEAP	Descripción	Código de la acción o iniciativa
Reference	<p>Simulación de la condición climática y de demanda histórica de la cuenca:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El clima usado proviene de los modelos engrillados del CR2MET desde 1979 a 2020. Los valores de cada grilla se extraen para cada HRU a simular a nivel semanal. • La demanda agronómica está definida por las superficies agrícolas y sus coeficientes de cultivos en un <i>catchment</i> agrícola de WEAP. Sus áreas son variables y se generan a partir de información histórica de Censos Agropecuarios e imágenes satelitales. • La demanda legal está definida por los DAA otorgados por DGA en un nodo de demanda WEAP, pero con consumo cero. Estos nodos de demanda se unen con nodos de demanda agronómica en cada zona de riego. • Si en un paso de tiempo, la demanda agronómica es menor a la demanda legal (en invierno generalmente), la demanda insatisfecha es cero y el remanente entre la demanda legal y la agronómica es devuelta al acuífero; caso contrario, en ese paso de tiempo se genera un valor mayor a cero de demanda insatisfecha. 	No aplica
IPSL	Clima histórico modificado con factores de cambio climático para Precipitación y Temperatura, en base a las mismas condiciones iniciales y de demanda que el escenario Reference, de manera de que fueran comparables el escenario histórico con el escenario de implementación de una iniciativa.	No aplica

Escenario WEAP	Descripción	Código de la acción o iniciativa
	Se simulan los factores de disminución de precipitaciones y aumentos de temperatura con el modelo IPSL	

Fuente: Elaboración propia (Anexo H modelación integrada, cap.4.4).

Es importante recalcar que todos los escenarios Futuro Base se generan en el mismo periodo histórico, pero con modificaciones en las series climáticas (de acuerdo a cada GCM). Se realizó así de manera de hacer más comparables los resultados de todos los escenarios y bajo las mismas condiciones iniciales y de demandas por lo que solo se evalúan cambio en base a clima y no a otras consideraciones puntuales o incluso distintas series sintéticas que pudieran usarse desde los GCMs directamente.

Bajo los dos escenarios de Cambio Climático descritos, se simulan algunas de las acciones descritas en el Capítulo 7. Es decir, para cada una de las series climáticas de los escenarios Futuro Base (FB) y las condiciones iniciales y de demandas del escenario Reference, se agregan en el modelo WEAP los distintos elementos que simulan las acciones a modelar. De esta manera, estas acciones pueden compararse entre sí y también evaluar la mejora en los indicadores con respecto a sus escenarios base de cambio climático. La Tabla 5-25 describe estos escenarios (el detalle en el Anexo H – subcapítulo 4.4):

Tabla 5-25. Escenarios base generados para simulación de efectividad de las medidas.

Escenario WEAP	Descripción	Código de la acción
IPSL + aumento de riego	Se incorpora la superficie destinada a riego por la construcción del canal de riego Pitrufquén Gorbea, considerando un riego de alta eficiencia	OH-01
IPSL + zanjas de infiltración	Incorporación de las zanjas de infiltración como recarga a acuíferos.	RA-01
(FB) + Caudal Ambiental	Incorporación del caudal ambiental como usuario del sistema.	OM-01
IPSL +Plan	Se incorporan las iniciativas anteriores, considerando un riego de alta eficiencia	No aplica

Fuente: Elaboración propia a partir de modelo acoplado WEAP-MODFLOW.

5.6.2. Resultados

Para evaluar el comportamiento de la cuenca ante las demandas de agua por parte de los usuarios modelados en distintos nodos del modelo, se utilizó como indicador la Confiabilidad, término que mide la proporción del tiempo en que se satisface la demanda o un porcentaje de ella.

Se calcula para cada nodo WEAP con algún grado de demanda (agrícola, agua potable, caudal ecológico, etc.), comparando la demanda con el agua efectivamente entregada en cada paso de tiempo como $\text{Entregas}(t)/\text{Demanda}(t)$. De esta manera se genera una serie de tiempo donde los valores tienen un rango entre 0 y 1, siendo 0 una satisfacción nula de la demanda y 1 como una satisfacción completa de la demanda. A esta serie se le calculan los percentiles de 99% para la demanda de agua potable y de 85% para la demanda agrícola y se obtienen las Confiabilidades SSR y Agro.

Este indicador entonces se puede leer como el porcentaje de la demanda que es satisfecha en a lo menos un 99% (para el caso de las APR) o un 85% del tiempo (para el sector agrícola). Estos porcentajes fueron elegidos porque son los que comúnmente se asocian a satisfacción de demandas en ambos sectores, aunque podrían ser usados otros valores.

Las demandas agrícolas se calcularon simplemente como la demanda evapotranspirativa de todos los cultivos presentes en la cuenca (m^3) en función de su ETP (en base a los coeficientes de cultivos y superficie agrícola) y las entregas dependen de la disponibilidad del recurso o de la existencia de DAA para extraer las demandas, pero también de aspectos tecnológicos como profundidad de pozos y restricciones de infraestructura para obtener agua de fuentes superficiales. Las demandas SSR se calculan simplemente como la multiplicación de la población de cada SSR por la dotación diaria, restringida por sus derechos de agua.

Los resultados de los indicadores de cuenca para cada uno de los escenarios de gestión simulados se muestran en la

Tabla 5-26.

Tabla 5-26. Resultados de la simulación de los escenarios como promedio decadal 2040-2050 en la cuenca Río Toltén.

Década	Brecha [hm ³ /año]				Cobertura [%]				Variación del acuífero [hm ³ /año]
	Agrícola	Agua potable Rural	Diferencia Agrícola respecto a Futuro	Diferencia SSR respecto a Futuro	Agrícola	Agua potable Rural	Diferencia Agrícola respecto a Futuro	Diferencia SSR respecto a Futuro	
Futuro (IPSL)	251,2	0,1	0,0	0,0	33	97	0	0	-21,28
IPSL + aumento de riego	80,8	0,1	170,4	0,0	79	98	-46	-1	-33,87
IPSL + zanjales de infiltración	232,9	0,1	18,3	0,0	38	97	-5	0	-20,79
(FB) + Caudal Ambiental	251,2	0,1	0,0	0,0	33	97	0	0	-21,28

Fuente: elaboración propia (ver Anexo H, Modelación Hidrológica acoplada, Capítulo 5.2.2)

En el caso futuro con cambio climático (IPSL), la brecha hídrica asociada al riego aumenta a 251,2 hm³ debido al interés de aumentar la superficie de riego. Solo el escenario de construcción del canal Pitrufrquén Gorbea es el que permite disminuir considerablemente la brecha y aumentar la cobertura en riego. Tal como se observa en la

Tabla 5-26, existe una mejora en la brecha agrícola de 170,4 hm³/año entre los dos escenarios mencionados anteriormente, además de una mejora de un 46% en la cobertura. Este escenario también logra mejorar levemente la brecha del agua potable rural debido a que la extracción de riego se realiza desde fuentes superficiales, liberando recursos subterráneos para captación de agua potable. Este mismo escenario, es que el presiona en mayor medida los volúmenes generales de la cuenca, debido a la gran conexión que existe entre los ríos y el acuífero, por lo tanto, mayor extracción desde los ríos, se realizará un mayor traspaso de agua desde el acuífero hacia los ríos.

El escenario de implementación de la cosecha y siembra de aguas lluvias, si bien no mejora las condiciones para riego y para el agua potable, sí permite fortalecer el acuífero de la cuenca, siendo el escenario de simulación que logra una mayor disminución del volumen almacenado.

Finalmente, el escenario del caudal ambiental no tiene como objetivo disminuir la brecha o mejorar la cobertura del agua potable rural, sino que bajo este escenario se evaluó si existe un cumplimiento del caudal ambiental determinado bajo métodos hidrológicos en distintos puntos de la red hidrográfica.

Se observa que en todos los resultados el Plan presenta una mejora considerable en la confiabilidad agro, sobre todo para las últimas dos décadas de simulación, además de normalizarse la confiabilidad SSR y DDAA respecto al escenario base (última década). La brecha de riego aumenta debido al plan de expansión del riego en 27.000 ha lo que indica que los 25 m³/s no serían suficientes para esta área. Dada la interacción río-acuífero que existe en este SHAC, se aconseja evaluar técnicamente esta iniciativa por parte de la CNR con un modelo hidrológico acoplado.

5.7. MERCADO DE AGUAS

5.7.1. Evolución histórica

A continuación, se presenta el análisis del mercado de Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA) de la cuenca Río Toltén. La información que se muestra corresponde a la informada a través de la DGA por los Conservadores de Bienes Raíces (CBR) de: i) Cunco, con jurisdicción en las comunas de Cunco y Melipeuco; ii) Loncoche, con jurisdicción en la comuna de Loncoche; iii) Nueva Imperial, con jurisdicción en las comunas de Nueva Imperial, Cholchol y Teodoro Schmidt (solamente esta última pertenece a la cuenca de estudio); iv) Pitrufquén, con jurisdicción en las comunas de Pitrufquén y Gorbea; v) Pucón, con jurisdicción en las comunas de Pucón y Curarrehue; vi) Temuco, con jurisdicción en las comunas de Temuco, Padre las Casas, Vilcún, Cunco y Freire (solamente estas dos últimas pertenecen a la cuenca de estudio); vii) Toltén, con jurisdicción en la comuna de Toltén, y viii) Villarrica, con jurisdicción en la comuna de Villarrica. Esta información está publicada en la web DGA (*DGA, 2021c*) y accedida por última vez el 02 de junio de 2021.

Los registros de transacciones de DAA reportados en la DGA solamente indican a cuál CBR pertenecen, no así a la comuna donde están emplazados. Por lo que para los CBR que

tienen jurisdicción, tanto en comunas pertenecientes como no pertenecientes a la cuenca Río Toltén, se tuvo que revisar e identificar cada transacción de DAA que se localiza en la cuenca de estudio a través de la columna "Fuente". Dado lo anterior, muchos registros no cuentan con información detallada o simplemente no cuentan con datos sobre la "Fuente" del derecho, por lo que los análisis realizados en esta sección no presentan el universo completo de registros de transacciones de DAA de la cuenca Río Toltén, pero sí incorporan una proporción importante de los registros.

En la Tabla 5-27 se entrega el total de transacciones de DAA informadas por los CBR anteriormente enumerados. Estas transacciones cubren el periodo comprendido entre el año 1983 y el año 2020, según la "Fecha de Inscripción en CBR" indicado en los registros de la DGA (DGA 2021c).

Tabla 5-27. Transacciones según naturaleza de la fuente de agua en la cuenca Río Toltén, años 1983 – 2020.

Naturaleza de la fuente	N° de Transacciones	Característica no indicada		
		Nombre vendedor	Nombre Comprador	Caudal
Subterránea	640	138	6	3
Superficial	7.178	1.755	627	249
No indica	250	16	6	30
Total	8.068	1.909	639	282

Fuente: Elaboración propia, a partir de DGA 2021c.

El total de transacciones identificadas corresponde a 8.068, de las cuales, según la naturaleza del agua, 640 (8%) de ellas pertenecen al tipo de fuente subterránea, 7.178 (89%) corresponden al tipo de fuente superficial y 250 (3%) no indica el tipo de fuente.

La Figura 5-22 muestra el total de transacciones de DAA entre el 1982 y 2017.

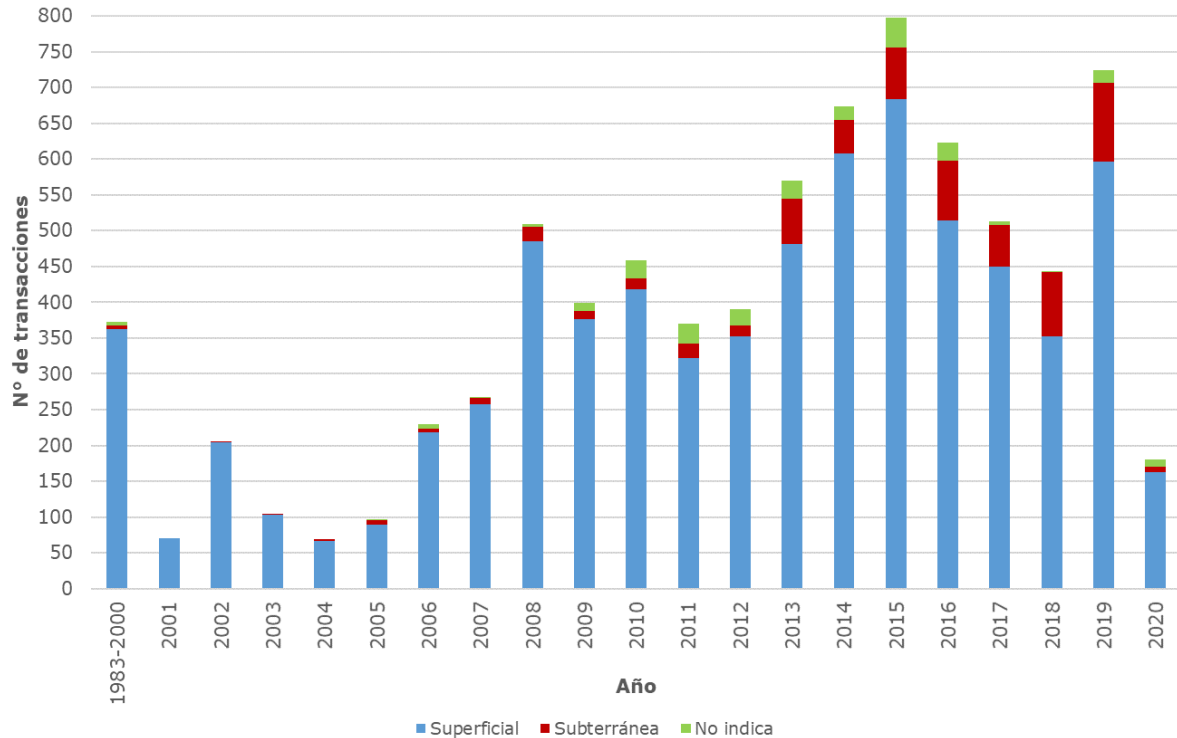


Figura 5-22. Distribución anual del número de DAA transados en cuenca Río Toltén, periodo de Fecha de Inscripción en CBR entre 1983-2020.

Fuente: Elaboración propia, a partir de DGA 2021c.

5.7.2. Análisis de transacciones depuradas

A partir de los mismos registros utilizados en el análisis anterior provenientes de la web DGA, se estimó el precio de los DAA, para ello fue necesario primero depurar la base de datos según los siguientes criterios:

- 1) Tipo de transacción sea la Compraventa;
- 2) Los registros tengan información respecto a la naturaleza del agua;
- 3) Tengan información respecto al tipo de ejercicio del derecho;
- 4) Tengan información respecto a caudales promedios;
- 5) Tengan información respecto a montos de transacción total; y
- 6) No tengan asociados a la transacción otros bienes o derechos.

El número de transacciones que cumplieron cada uno de estos criterios se presenta en la Tabla 5-28.

Tabla 5-28. Aplicación incremental de criterios de depuración para transacciones en cuenca Río Toltén.

Base de datos inicial	Número de transacciones
	8.068

Criterio de depuración	Número de transacciones
Compraventa	4.124
Con información de naturaleza	3.920
Con información de tipo de ejercicio	3.194
Con información de caudal	3.042
Con información de monto	2.683
Transacciones sin otros bienes	2.447
Base de datos depurada	2.447

Fuente: Elaboración propia, a partir de DGA 2021c.

Las transacciones que quedaron fuera del análisis, según la depuración descrita anteriormente, 5.621 (69,7%) no se consideraron debido a que no cuentan con información básica de la transacción de un DAA. La Tabla 5-29 muestra el número de transacciones depuradas según tipo de ejercicio del DAA.

Tabla 5-29. Transacciones depuradas por tipo de ejercicio del DAA.

Tipo de ejercicio del DAA	N° Subterránea	N° Superficial	Total
Eventual	1	258	259
Eventual y continuo	1	184	185
Eventual y discontinuo	0	74	74
Permanente	183	2.005	2.188
Permanente y alternado	0	1	1
Permanente y continuo	183	1.946	2.129
Permanente y discontinuo	0	58	58
Total general	184	2.263	2.447
Proporción	7,5%	92,5%	100%

Fuente: Elaboración propia, a partir de DGA 2021c.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para las transacciones de derechos de aprovechamientos de aguas subterráneas y superficiales, donde el tipo de transacción es de "Compraventa" y el ejercicio del derecho es "Permanente y Continuo".

Caudales transados

La Figura 5-23 muestra los caudales transados entre el 1992 y 2020 en la cuenca Río Toltén, de acuerdo a la base de transacciones depurada, con un total de 2.129 registros.

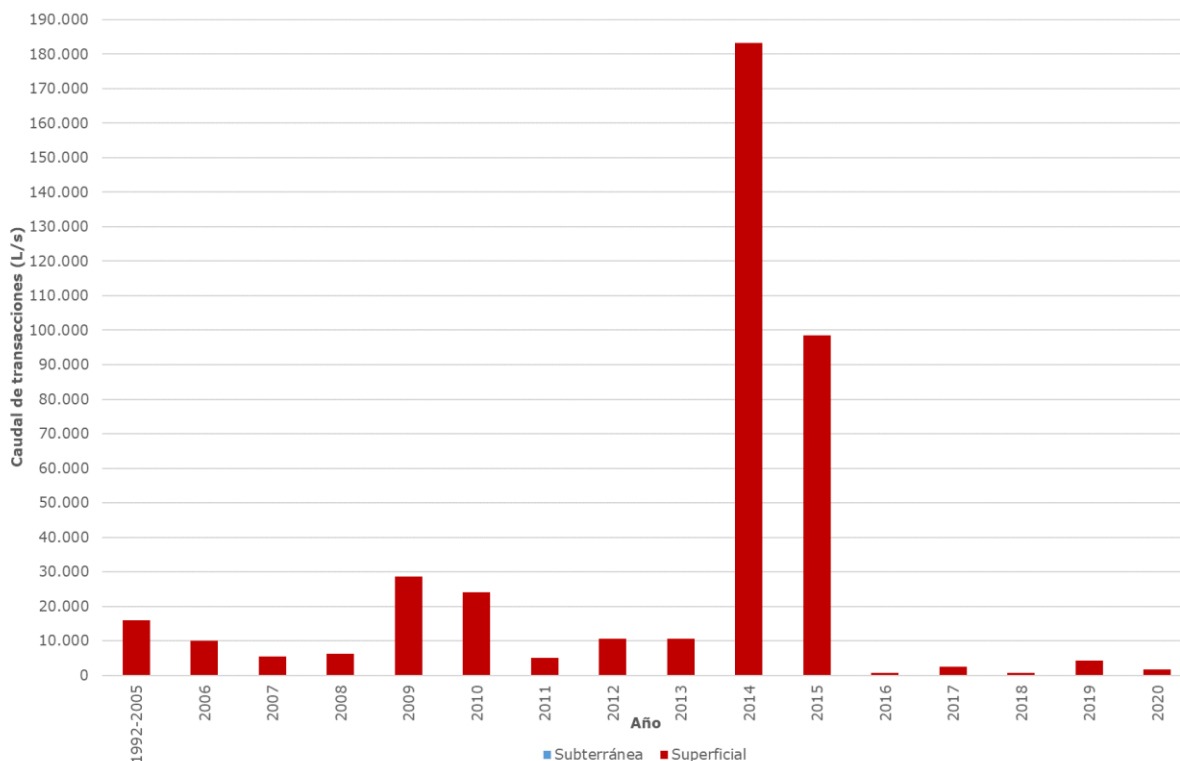


Figura 5-23. Distribución anual del caudal transado en la cuenca Río Toltén, periodo de Fecha de Inscripción en CBR entre 1992-2020.

Fuente: Elaboración propia, a partir de DGA 2021c.

Se observa que en los años 2014 y 2015 se presentan los mayores caudales totales transados. También llama la atención en esta figura el bajo caudal de DAA subterráneos transados en el periodo 1992-2020.

Aguas Subterráneas

Como resultado de la depuración de los datos de transacciones de DAA para aguas subterráneas se encontraron 13 valores atípicos (caudales menores a 0,01 L/s, tasas UF/L/s menores a 1,00 y tasas UF/L/s mayores a 10.000), los cuales fueron omitidos para los

resultados de la Tabla 5-30, donde se obtiene una media y mediana por caudal de 1.576 UF/L/s y 105 UF/L/s respectivamente.

Tabla 5-30. Resultado de las transacciones subterráneas de los DAA en cuenca Río Toltén.

Transacciones	170
Transacciones atípicas	13
Media (UF/L/s)	1.576
Mediana (UF/L/s)	105

Fuente: Elaboración propia, a partir de DGA 2021c.

Además de las transacciones registradas e informadas por la DGA, existen mercados digitales donde se publican DAA para la compra y venta de estos derechos de manera abierta (mercadohidrico.cl, masrecursosnaturales.cl, aguacircular.cl, gesaguas.cl). Se encontró un total de 17 ofertas de ventas de derechos de agua consuntivos, de los cuales 2 corresponden a agua subterránea y se presentan en la Tabla 5-31.

Tabla 5-31. Ofertas de venta de DAA con naturaleza subterráneas en cuenca Río Toltén.

ID	Caudal (L/s)	Precio por caudal (UF/L/s)
1	50,0	520,0
2	1,0	36,3

Fuente: Elaboración propia.

Aguas Superficial

Como resultado de la depuración de los datos de transacciones de DAA para aguas superficiales se encontraron 293 valores atípicos, los cuales fueron omitidos de los resultados que se presentan en la Tabla 5-32, donde se obtiene una media y mediana por caudal de 631 UF/L/s y 100 UF/L/s respectivamente.

Tabla 5-32. Resultado de las transacciones superficiales de los DAA en cuenca Río Toltén.

Transacciones	1.653
Transacciones atípicas	293

Media (UF/L/s)	631
Mediana (UF/L/s)	100

Fuente: Elaboración propia, a partir de DGA 2021c.

De las ofertas de DAA en los mercados digitales, se encontraron un total de 17 ofertas de ventas de derechos de agua consuntivos, de los cuales 15 corresponden a agua superficial. La Tabla 5-33 muestra estos registros. Estas ofertas entregan un precio promedio de 57 UF/L/s y una mediana 37 UF/L/s.

Tabla 5-33. Ofertas de venta de DAA con naturaleza superficial en cuenca Río Toltén.

ID	Caudal [L/s]	Precio por caudal [UF/L/s]
1	37,5	25,2
2	7,0	95,7
3	6,0	89,6
4	50,0	24,9
5	2,0	201,4
6	15,0	75,0
7	126,0	36,6
8	250,0	35,0
9	200,0	18,3
10	54,5	5,5
11	300,0	25,4
12	100,0	37,1
13	25,0	101,6
14	250,0	40,6
15	159,0	40,6

Fuente: Elaboración propia.

6. ACCIONES

Las acciones a llevar a cabo en el PEGH buscar disminuir las brechas y mejorar los indicadores definidos para la cuenca. Como ya se explicó anteriormente, es necesario desarrollar acciones que aumenten la seguridad de riego y la seguridad de consumo humano, actualizar la implementación de los SSR, dotar de elementos legales de protección a ecosistemas acuáticos, mantener condiciones para el desarrollo del turismo, compatibilizar usos consuntivos, no consuntivo e in situ existentes en la cuenca mediante la coordinación, gestión y mayor participación estatal a escala municipal.

En el ámbito de la coordinación, las brechas encontradas apuntan a la necesidad de desarrollar y fortalecer la gobernanza e institucionalidad, así como constituir, formalizar y fortalecer organizaciones usuarias de agua.

Sin duda las iniciativas orientadas a estas acciones no mejoran por si sola la situación hídrica de las cuencas. En este sentido, cobra gran interés desarrollar una gestión integrada de cuencas.

Según la estrategia Nacional de Recursos Hídricos, la gestión hídrica requiere el perfeccionamiento en la institucionalidad del agua a nivel nacional y regional, específicamente en:

- Aumentar las facultades de fiscalización y sanciones
- Mejorar los sistemas de información
- Simplificar los procedimientos para la regularización de derechos de aprovechamiento
- Integrarla gestión de las aguas de la cuenca y asegurar una participación de todos los usuarios en el manejo de éstas a largo plazo
- Mejorar el marco normativo para evitar la existencia de especuladores
- Considerar los usos no extractivos

Por otra parte, en distintas instancias participativas que fueron desarrolladas en este Plan, se manifestó por parte de los participantes locales, la importancia de mantener el ciclo hidrológico y los ecosistemas presentes en la cuenca. Es por esto, que las iniciativas que se plantean a continuación buscan dotar de elementos que aseguren la sostenibilidad de la cuenca.

Por lo tanto, se vela que las iniciativas en su conjunto vayan orientadas a satisfacer los objetivos de desarrollo sostenibles de la ONU y además consideren los criterios de sostenibilidad de una cuenca hidrográfica propuesta por la UNESCO (Agua, Biodiversidad, Resiliencia ante el cambio climáticos, Servicios Ecosistémicos, Educación y Cultura)

6.1. GOBERNANZA

La literatura en gestión adaptativa apunta hacia la necesidad de contar con múltiples organizaciones con multiplicidad de roles de manera que, si una deja de funcionar, las otras puedan tomar ciertos roles (García *et al.*, 2016; Olsson *et al.*, 2007; Pahl-Wostl, 2006;

Rijke *et al.*, 2012). La noción de gobierno como la única autoridad de toma de decisiones ha sido reemplazada por una gobernanza policéntrica, con análisis e integración, multiescala, que reconoce que una gran cantidad de actores en diferentes entornos institucionales, pueden contribuir a la gestión de un recurso (Pahl-wostl *et al.*, 2007). En esta gobernanza multi-actor, multi-escala, es clave la búsqueda de objetivos en común y priorización de usos en el territorio, falencia que ha sido identificada en el sistema de gestión hídrica en Chile (Centro Atacama, 2010).

Además de la estructura de toma de decisiones, la gestión hídrica sustentable requiere de instituciones y organizaciones fortalecidas, pero flexibles a los cambios. La gestión de la adaptación implica pasar de una predicción y control a un enfoque de aprendizaje continuo en base a la prueba y error, y la capacidad o flexibilidad para responder a diferentes cambios que se vayan generando (Pahl-Wostl, 2006). En este sentido, la cartera de acciones desarrolladas bajo el concepto de Gobernanza, así como el eje Fortalecimiento de OUA, apunta a dos objetivos: 1) crear, fortalecer y modernizar las organizaciones de usuarios de agua (incluyendo agrupaciones y cooperativas de agua potable rural) y 2) crear paulatinamente una organización deliberativa a nivel de cuenca que aglutine esfuerzos e incluya a todos los actores de la cuenca.

Las estrategias concretas que serán desarrolladas en acciones para aportar a la institucionalidad del agua a nivel de cuenca responden a las distintas brechas identificadas como parte del diagnóstico realizado. Muchas de ellas están relacionadas, por lo que una misma acción puede responder a más de una brecha (Tabla 6-1):

- Creación y fortalecimiento de la Oficina Municipal de Asuntos Hídricos (OMAH) como ente técnico de capacitación y canalización de inquietudes, denuncias entre la ciudadanía, la institucionalidad pública y el consejo de cuencas.
- Creación y promoción de un Consejo Coordinador a nivel de cuencas.

Tabla 6-1. Resumen de las acciones necesarias para disminuir las brechas identificadas sobre la gobernanza en cuenca Río Toltén.

Código	Acción	Brecha
AG-01	Creación y fortalecimiento de la Oficina Municipal de Asuntos Hídricos (OMAH) como ente técnico de capacitación y canalización de inquietudes, denuncias entre la ciudadanía, la institucionalidad pública y el consejo de cuencas	Carencia de una instancia a nivel local que fomente el desarrollo de actividades de participación ciudadana con un mirada hídrica y ambiental con énfasis en los procesos de difusión de programas formativos y capacitaciones orientados hacia el cuidado, conservación y preservación del recurso hídrico y aspectos legales. Así como también a la entrega de información ambiental que ayude a la toma de conciencia sobre la importancia del cuidado del medio ambiente a los habitantes como a los visitantes de la cuenca Río Toltén
AG-02	Creación y promoción de un Consejo coordinador a nivel de cuencas	Inexistencia de una organización que genere instancias de trabajo y coordinación entre los diferentes actores de la cuenca y cuyo objetivo principal se centre en la temática del agua.

Fuente: Elaboración propia (2021) basado en Anexo K.1 Plan de Acción.

6.2. FORTALECIMIENTO DE ORGANIZACIÓN DE USUARIOS DE AGUA.

Los Organismos Usuarios del Agua, históricamente han participado o llevado a cabo instancias de gestión de recursos hídricos, siendo principalmente las juntas de vigilancias quienes mayormente han realizado la gestión del recurso hídrico.

La cuenca Río Toltén presenta un escaso nivel organizacional, el cual viene dado exclusivamente por la constitución de los 4 OUA existentes, pero que trabajan bajo un nivel básico de organización y algunas no están constituidas como Asociación de Canalistas, por lo que el desafío es constituir estas OUA y realizar un programa de fortalecimiento diferenciado respecto a los que se han realizado en otras cuencas donde las OUA han tenido periodos de funcionamiento.

El fortalecimiento de las OUA no debe ser pensado en capacidades internas exclusivamente, sino en capacidades e instancias de coordinación entre ellas. Esto es importante, puesto que se persigue una gestión integrada de recurso hídrico.

En este sentido, y de acuerdo a las brechas identificadas en este aspecto, se proponen 4 acciones a implementar en el plan (Tabla 6-2):

- Programa de constitución y fortalecimiento de Comunidades de Aguas Subterráneas
- Programa de apoyo para el saneamiento y regularización de los derechos de agua de los SSR y títulos de dominio.
- Constitución y fortalecimiento de Comunidades de Agua y Asociación de Canalistas existente, así como de canales riego proyectados
- Programa de apoyo legal y técnico para la conformación y operación de la Junta de Vigilancia en la cuenca Río Toltén

Tabla 6-2. Resumen de las acciones necesarias para disminuir las brechas identificadas en las OUAs en el Río Toltén.

CÓDIGO	ACCION	BRECHA
FO-01	Programa de constitución y fortalecimiento de Comunidades de Aguas Subterráneas	Inexistencia de OUA organizadas y participativas que gestionen y coordinen el aprovechamiento de las aguas subterráneas en la cuenca Río Toltén
FO-02	Programa de apoyo para el saneamiento y regularización de los derechos de agua de los SSR y títulos de dominio.	Existencia de servicios Sanitarios Rurales sin derechos regularizados y/o sin regularización de los títulos de dominio y servidumbres prediales
FO-03	Constitución y fortalecimiento de Comunidades de Agua y Asociación de Canalistas existente, así como de canales riego proyectados	OUAs presentes en la cuenca que no están oficialmente constituidas y que presentan un bajo nivel organizacional y de gestión de la distribución y conducción del agua superficial
FO-04	Programa de apoyo legal y técnico para la conformación y operación de la Junta de Vigilancia en la Cuenca Río Toltén.	Inexistencia de una organización que genere instancias de trabajo y coordinación entre los diferentes actores de la cuenca y cuyo objetivo principal se centre en la temática del agua

Fuente: Elaboración propia (2021) basado en Anexo K.1 Plan de Acción.

6.3. RECUPERACIÓN DE ACUÍFEROS

Uno de los principales resultados del diagnóstico de esta cuenca es la importancia del acuífero en el sistema hídrico de toda la cuenca. Es necesario considerar que aproximadamente el 80% de las extracciones consuntivas es subterránea. Además, los análisis realizados como parte de la descripción hidrológica y en la modelación hidrológica acoplada, muestran que hay una fuerte conexión entre el Río y el acuífero, siendo este último quien entrega agua al primero. Por esta razón, el acuífero es uno de los principales sustentos del recurso hídrico en la cuenca.

Por este motivo, es necesario robustecer el acuífero facilitando la recarga de agua proveniente de la precipitación. Se consideraron acciones contempladas como parte de las soluciones basadas en la naturaleza en donde se favorezca la infiltración mediante sistemas y procesos naturales. Normalmente este tipo de solución tiene alta eficiencia, fácil de implementar y mantener.

Las zonas de ladera son lugares donde se produce la mayor infiltración, debido a la presencia de vegetación natural que favorece dicho propósito, recargando "lateralmente" los acuíferos.

Por ello la acción propuesta es (Tabla 6-3):

- Siembra y cosecha de lluvias mediante zanjas de infiltración.

Tabla 6-3. Resumen de las acciones necesarias sobre la protección del acuífero en la cuenca Río Toltén.

CÓDIGO	ACCION	BRECHA
RA-01	Siembra y cosecha de lluvias mediante zanjias de infiltración	Vulnerabilidad del acuífero (en especial el volumen almacenado) en el Río Toltén debido a la poca recarga que presentan y la presión que serán sometidos debido a un aumento de la demanda y a la disminución en el nivel de precipitación según lo proyectado en el cambio climático

Fuente: Elaboración propia (2021) basado en Anexo K.1 Plan de Acción.

6.4. MEJORAS DE EFICIENCIA

Debido a la incipiente agricultura en esta cuenca y debido a que esta no presenta importante déficit hídrico, no se consideraron acciones orientadas a la mejora de eficiencia, tanto agrícola como de agua potable

6.5. SISTEMAS DE INFORMACIÓN

Para poder realizar una correcta gestión de recursos, es necesario contar con información oportuna y confiable. En este sentido destaca que existen brechas de información en variados aspectos de ambas cuencas, por ejemplo, hay desconocimiento de la calidad del agua subterránea, precariedad en el número de piezómetros, carencia de conocimiento hidrogeológico a nivel local de cada SSR, e incluso subcuencas sin información fluviométrica.

Por otra parte, hay información sobre aspectos meteorológicos, y particularmente, hay varias instituciones que tienen estaciones meteorológicas en monitoreo continuo. Cada institución tiene su propia plataforma de visualización de la información, lo que genera confusión en los usuarios. Por lo tanto, es necesario desarrollar una única plataforma que unifique y simplifique el acceso a la información.

Es por ello, que las acciones mostradas a continuación apuntan a disminuir dichas brechas, con el objetivo de implementar una gestión de recursos hídricos con capacidades de toma de decisión y con transparencia hacia sus usuarios.

Las acciones propuestas, se muestran a continuación (Tabla 6-4):

- Instalación y operación de estaciones de monitoreo de aguas subterráneas.
- Monitoreo participativo de calidad del agua realizado por la ciudadanía.
- Fortalecimiento del actual programa de monitoreo de calidad de las aguas superficial y subterránea.
- Instalación e implementación de estaciones fluviométricas de monitoreo.
- Implementación y operación de estaciones de calidad del agua subterránea en pozos SSR
- Desarrollo de una plataforma única de visualización de datos hidrometeorológicos y fisicoquímicos.

Tabla 6-4. Resumen de las acciones identificadas sobre la carencia de información para la caracterización del recurso hídrico en el Río Toltén.

CÓDIGO	ACCION	BRECHA
SI-01	Instalación y operación de estaciones de monitoreo de aguas subterráneas	Carencia de información de niveles de pozos de monitoreo. La información existente se basa en aquella obtenida de 14 pozos SISS y 3 DGA, los cuales no están espacialmente no están distribuidos en toda la cuenca y las mediciones realizadas en dichos pozos no son periódicas
SI-02	Monitoreo participativo de calidad del agua realizado por la ciudadanía	Desconocimiento por parte de la ciudadanía de los potenciales efectos sobre el ecosistema acuático producto de la actividad de distintos gremios productivos como la piscicultura, actividad forestal y las centrales hidroeléctricas
SI-03	Fortalecimiento del actual programa de monitoreo de calidad de las aguas superficial y subterránea	Dificultad para caracterizar la calidad del agua la cuenca Río Toltén, debido a carencia de datos y sesgo metodológico en el monitoreo fisicoquímico entre diferentes cuerpos de agua (ríos, lagos) que dificulta analizar con enfoque de cuencas
SI-04	Instalación e implementación de estaciones fluviométricas de monitoreo	Carencia de información fluviométrica en sectores hidrográficos de importancia a nivel de cuenca
SI-05	Implementación y operación de estaciones de calidad del agua subterránea en pozos SSR	Escasa información de calidad del agua subterránea en todos los SHACs de la Cuenca Río Toltén
SI-06	Desarrollo de una plataforma única de visualización de datos hidrometeorológicos y medioambientales	Complejo acceso a la información hídrica y medioambiental existente en la cuenca

Fuente: Elaboración propia (2021) basado en Anexo K. Plan de Acción.

6.6. INFRAESTRUCTURA HIDRAULICA

Las acciones a realizar obedecen principalmente a reponer infraestructura obsoleta en los servicios sanitarios rurales con las cuales no son capaces de abastecer. Además, las iniciativas incorporan planificación para el riego realizada por la CNR. Esta institución ha llamado a licitación del diseño y prefactibilidad del canal de riego Pitrufquén Gorbea, con lo cual es una iniciativa que debe incorporarse al Plan (más detalles de esta iniciativa en el anexo K).

Si bien la cuenca Río Toltén es excedentaria en su recurso, existen problemas locales de acceso al agua. Particularmente uno de ellos es la precariedad de los pozos existentes que abastecen a los Servicios Sanitarios Rurales. Por tal motivo, no son capaces de abastecer a sus beneficiarios debido a que, en épocas del año, el acuífero se seca.

En este sentido, es prioritario dar las herramientas necesarias para que los SSR puedan abastecer a sus beneficiarios. Por este motivo, se incorpora la siguiente acción.

Las acciones son (Tabla 6-5):

- Diseño y construcción del canal de riego Pitrufquén - Gorbea
- Mejoramiento y aumento de capacidad de infraestructura hidráulica en Servicios Sanitarios Rurales
- Profundización de pozos existentes para abastecimientos de Servicios Sanitarios Rurales.
- Profundización de pozos existentes para pequeños agricultores.

Tabla 6-5. Resumen de las acciones identificadas sobre la implementación de nueva infraestructura hidráulica en la cuenca Río Toltén.

CÓDIGO	ACCION	BRECHA
OH-01	Diseño y construcción del canal de riego Pitrufrquén Gorbea	Carencia de seguridad de riego deficiencia en la disponibilidad de agua de riego para los productores silvoagropecuarios ubicados en las comunas de Pitrufrquén y Gorbea asociado al déficit hídrico estacional en época de estiaje
OH-02	Mejoramiento y aumento de capacidad de infraestructura hidráulica en Servicios Sanitarios Rurales	Insatisfacción de la demanda de agua potable para consumo rural debido a la incapacidad de la infraestructura para portear o entregar la dotación requerida
OH-03	Profundización de pozos existentes para abastecimientos de Servicios Sanitarios Rurales	Existe una deficiencia en la accesibilidad al recurso hídrico, por lo que los SSR no aseguran el abastecimiento de agua potable a sus beneficiarios, esta deficiencia es, según representantes de SSR en actividades PAC, es que alguno de los pozos se seca, con el agravante que no todos los SSR conocen la profundidad de sus y la cantidad de los pozos que efectivamente se secan en una época del año
OH-04	Profundización de pozos existentes para pequeños agricultores	Existe una deficiencia en la accesibilidad del recurso hídrico, por lo que no asegura su abastecimiento, esta deficiencia es, según actividades de PAC, es que alguno de los pozos se seca (Se desconoce la profundidad y la cantidad de los pozos)

Fuente: Fuente: Elaboración propia (2021) basado en Anexo K.1 Plan de Acción.

6.7. CAPITAL HUMANO

La ciudadanía es consciente del capital natural que posee la cuenca y además perciben el riesgo que genera la disminución de la precipitación de acuerdo a las proyecciones de cambio climático. Por este motivo, quieren ser parte de la sostenibilidad de la cuenca y educarse en cuanto a un uso eficiente y sostenible del recurso hídrico, así como en la conservación de ecosistemas.

Por otra parte, hay inquietud en los SSR sobre la capacidad técnica que estas tienen para hacer frente a lo estipulado en la ley referente del tratamiento de aguas servidas.

En este sentido, las acciones que se proponen son (Tabla 6-6):

- Educación ambiental para la conservación de los ecosistemas y recursos hídricos desde una mirada ecohidrológica
- Programa de acompañamiento continuo a SSR

Tabla 6-6. Resumen de las acciones identificadas sobre las debilidades en capital humano en la cuenca Río Toltén.

CÓDIGO	ACCION	BRECHA
CH-01	Educación ambiental para la conservación de los ecosistemas y recursos hídricos desde una mirada ecohidrológica	Desconocimiento de las medidas o acciones que puede tomar la ciudadanía para hacer un uso eficiente y sostenible del recurso hídrico
CH-02	Programa de acompañamiento continuo a SSR	Bajo nivel de formación en el capital humano en las Servicios Sanitarios Rurales para hacer frente a las nuevas tecnologías, digitalización y operación de sistemas de tratamiento.

Fuente: Fuente: Elaboración propia (2021) basado en Anexo K.1 Plan de Acción.

6.8. ECOSISTEMAS

Las acciones que se detallan a continuación se estructuran principalmente por el interés ciudadano de mantener los ecosistemas y de dotarlos de instrumentos oficiales de conservación (Tabla 6-7).

- Asignación de caudal ambiental en humedales de interés en la cuenca Río Toltén.
- Desarrollo de mecanismos normativos que aseguren la conservación de la biodiversidad, servicios ecosistémicos y provisión hídrica a través de la protección de humedales.
- Establecimiento de Normas Secundarias de Calidad del Agua en la Cuenca Río Toltén.

Tabla 6-7. Resumen de las acciones necesarias para disminuir las brechas identificadas sobre las unidades ambientales y sus servicios ecosistémicos en la cuenca Río Toltén.

CÓDIGO	ACCION	BRECHA
OM-01	Asignación de caudal ambiental en humedales de interés en la cuenca Río Toltén	Alta vulnerabilidad de humedales bajo ninguna categoría de conservación legal frente a un escenario de menor disponibilidad hídrica futura producto del cambio climático
OM-02	Desarrollo de mecanismos normativos que aseguren la conservación de la biodiversidad, servicios ecosistémicos y provisión hídrica a través de la protección de humedales.	Alta vulnerabilidad de humedales bajo ninguna categoría de conservación legal frente a un escenario de menor disponibilidad hídrica futura producto del cambio climático
OM-03	Establecimiento de Normas Secundarias de Calidad del Agua en la Cuenca Río Toltén	Preocupación por parte de la ciudadanía sobre rubros productivos potenciales contaminadores del agua

Fuente: Fuente: Elaboración propia (2021) basado en Anexo K.1 Plan de Acción.

7. CARTERA DE INICIATIVAS PROPUESTAS

Las acciones mencionadas en este PEGH son una selección de acciones identificadas a partir del trabajo interdisciplinario de los investigadores del proyecto con los actores del territorio, todas importantes para la mejora de la gestión hídrica en las cuencas. Sin embargo, su implementación en el territorio requiere de una hoja de ruta que establezca la prioridad en el tiempo de cada una de ellas.

La priorización de acciones en el territorio en un contexto de escasez hídrica es altamente compleja debido a la necesidad de comparar criterios muy distintos, para los cuáles no siempre se tiene el mismo tipo de información, o en algunos casos el impacto es inconmensurable (Dodgson et al. 2000). En la mayoría de los casos el costo económico de la acción es el criterio utilizado para decidir su implementación. En otros métodos de evaluación utilizados, la imprecisión, la incertidumbre y los aspectos arbitrarios de los datos se agregan en un número o puntaje para cada alternativa, lo que enmascara valoraciones muy negativas generalmente en los aspectos sociales y ambientales (Roy & Vincke 1981; Vincke 1986). Sin embargo, en un contexto de escasez hídrica y conflictos socioambientales, se hace fundamental la priorización de la sostenibilidad social y ambiental de las propuestas traducida ya sea en la ponderación a los criterios sociales por encima de los económicos, o en la incorporación de la opinión de los principales actores en alguna etapa de selección de las propuestas (Banco Mundial, 2018). Involucrar a los principales afectados en la toma de decisiones puede generar impactos positivos en la sustentabilidad de las decisiones (Dietz & Stern 2008). En este sentido en esta etapa, además del costo, tiempo de implementación e impacto en la brecha, se levantó la opinión de los principales actores en las cuencas sobre cada una de las propuestas (criterio Importancia para los actores locales) para ayudar en la distribución de las acciones en el tiempo.



Figura 7-1. Criterios considerados para la priorización de las actividades a implementar en el Plan Estratégico.

Fuente: Fuente: Elaboración propia (2021) basado en Anexo K. Plan de Acción.

A continuación, se describen las variables utilizadas en la priorización de propuestas de acciones:

- **Acciones:** Propuesta de estrategias de gestión, infraestructura e información que apuntan a cerrar brechas específicas de las categorías: gobernanza, fortalecimiento de organizaciones, mejora de la eficiencia, búsqueda de nuevas fuentes, sistemas de información, capital humano y medio ambiente.
- **Brecha que aborda:** Descripción de la brecha específica dentro de cada categoría que va a ser abordada por la acción. La brecha no hace referencia a la brecha hídrica de la cuenca (diferencia entre oferta y demanda), si no a objetivos específicos dentro de cada categoría.
- **Impacto esperado en la brecha (cuantitativo):** Traduce el impacto de cada acción en una métrica cuantitativa lo más aproximada posible (metros cúbicos, hectáreas, personas, etc.)
- **Criterios de evaluación:**
 - **Impacto en la brecha específica (bajo, medio, alto):** Traducción del impacto cuantitativo de cada acción en su brecha específica, en una escala cualitativa que va de bajo, medio a alto. Si la acción cierra la brecha, el impacto es alto. Si la acción requiere de una o más acciones para cerrar la brecha, el impacto puede ser de medio a bajo (ver contenido fichas en anexo). En el caso de las acciones que cierran la brecha en demanda hídrica, se consideró
 - Bajo: si cierra del 0%-30% de la demanda
 - Medio: si cierra 30%-60% de la demanda
 - Alto: si cierra 60%-100% de la demanda

- **Beneficio percibido por los actores locales (bajo, medio, alto):** El beneficio de cada acción según la percepción de los actores en el territorio fue levantado con encuestas online a los principales actores en cada cuenca. Para cada acción o grupo de acciones (por ejemplo, en el caso de eficiencia hídrica se tenía una sola alternativa) se preguntó cómo evaluaban el beneficio de la acción en una escala de 'Beneficio alto', 'Medio, o 'Bajo'. La evaluación final de la acción es resultado de lo que respondió más del 60% de los entrevistados. En el caso que no hubiese una mayoría del 60% por alguna de las opciones, la evaluación final es "medio", por ejemplo: 50% Alto, 40% Medio, 10% bajo, en ese caso la evaluación es beneficio 'medio'.
- **Costo de implementación y operación:** El costo fue estimado o levantado de bibliografía, para luego ser traducido a una escala de Alto, Medio y Bajo. Donde Alto >999999 UF, Medio 99999UF y Bajo 9999 UF.
- **Tiempo de implementación:** información estimada en las fichas en una escala de corto, medio y largo plazo de implementación, que en algunos casos incluye también la operación de la acción.
- **Prioridad:** La prioridad de la acción se establece de la combinación del Impacto esperado en la brecha, Beneficio percibido por los actores locales, costo de implementación y operación y el tiempo de implementación. La combinación da tres posibles resultados de Prioridad.
 - ALTA: se debe implementar lo antes posible
 - MEDIA: se puede implementar a mediano plazo
 - BAJA: se puede implementar a más largo plazo

La combinación de escalas en los 4 criterios anteriores se estableció según **Reglas De Criterio Experto**, donde son más importantes, e igualmente relevante entre ellas, el impacto en la brecha y la importancia para los actores, seguidas por el costo y el tiempo de implementación. De esta manera si una acción tiene un alto impacto en la brecha y es altamente valorada (beneficio), el tiempo y costo se consideran como irrelevantes. En cambio, si los primeros criterios tienen menor valoración, se evalúa el costo (menor costo mejor) y el tiempo (menor tiempo mejor) en la evaluación general de la acción. De esta manera se incorpora la opinión local sobre el beneficio de las acciones en las cuencas, dando como resultado la siguiente tabla:

Tabla 7-1. Priorización de las acciones.

Impacto en la brecha específica (ALTO, MEDIO, BAJO)	Beneficio percibido por actores locales (ALTO, MEDIO, BAJO)	Costo de implementación y operación (ALTO, MEDIO, BAJO)	Tiempo de implementación (CORTO, MEDIO, LARGO)	Prioridad
ALTO	ALTO	No se considera	No se considera	ALTA
ALTO	MEDIO	BAJO, MEDIO	No se considera	ALTA
ALTO	MEDIO	ALTO	CORTO, MEDIO	ALTA
ALTO	MEDIO	ALTO	LARGO	MEDIA
ALTO	BAJO	BAJO, MEDIO	No se considera	MEDIA
ALTO	BAJO	ALTO	CORTO, MEDIO	MEDIA

Impacto en la brecha específica (ALTO, MEDIO, BAJO)	Beneficio percibido por actores locales (ALTO, MEDIO, BAJO)	Costo de implementación y operación (ALTO, MEDIO, BAJO)	Tiempo de implementación (CORTO, MEDIO, LARGO)	Prioridad
ALTO	BAJO	ALTO	LARGO	BAJA
MEDIO	ALTO	BAJO, MEDIO	No se considera	ALTA
MEDIO	ALTO	ALTO	No se considera	MEDIA
MEDIO	MEDIO	BAJO, MEDIO	No se considera	MEDIA
MEDIO	MEDIO	ALTO	CORTO, MEDIO	MEDIA
MEDIO	MEDIO	ALTO	LARGO	BAJA
MEDIO	BAJO	BAJO, MEDIO	No se considera	MEDIA
MEDIO	BAJO	ALTO	No se considera	BAJA
BAJO	ALTO	BAJO, MEDIO	No se considera	MEDIA
BAJO	ALTO	ALTO	No se considera	BAJA
BAJO	MEDIO, BAJO	No se considera	No se considera	BAJA

Fuente: Fuente: Elaboración propia (2021) basado en Anexo K.3 Plan de Acción.

7.1. IMPACTO SOBRE LA BRECHA

El impacto sobre la brecha se entiende como el aporte cuantitativo de disminución que significa cada acción sobre aquella brecha asociada a las acciones

De las 22 acciones, un 73% presenta un alto impacto sobre la brecha definida, un 18% un impacto medio sobre la brecha y solo un 9% presenta un impacto bajo.

Esto representa que pocas acciones presentan un bajo impacto sobre las brechas y particularmente estas acciones son necesarias para la implementación de otras acciones con mayor impacto.

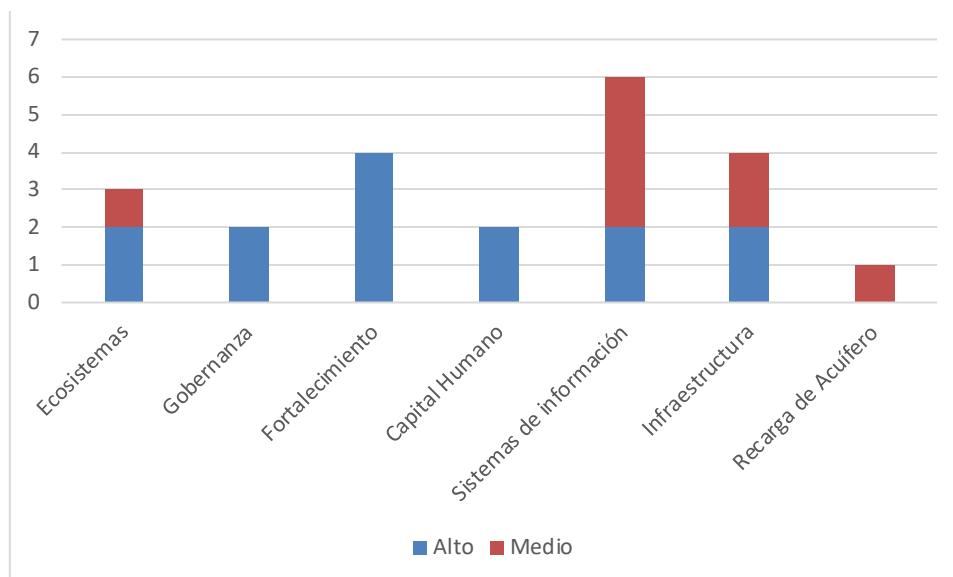


Figura 7-1. Distribución del impacto de reducción de la brecha en cada eje definido.

Fuente: Elaboración propia (ver Anexo K.3. Plan de acción).

7.2. BENEFICIO PERCIBIDO POR LOS ACTORES LOCALES

De igual forma que la evaluación del impacto, se desarrolló la percepción de la aceptación de las medidas por parte de los actores locales. Esta se obtuvo considerando la frecuencia con que estas soluciones eran incorporadas por los propios participantes en las distintas instancias participativas.

De las 22 acciones, un 32% presenta un alto valor de aceptación por parte de los actores locales, un 41% una aceptación media y solo un 27% una aceptación baja. Este alto nivel de aceptación obedece principalmente al trabajo conjunto con la comunidad en la determinación de las acciones. Los valores más bajo de beneficios vienen dado por las iniciativas relacionadas con información principalmente y con fortalecimiento de OUA debido principalmente al desconocimiento de este tipo de organización en torno al recurso hídrico por parte de los actores locales.

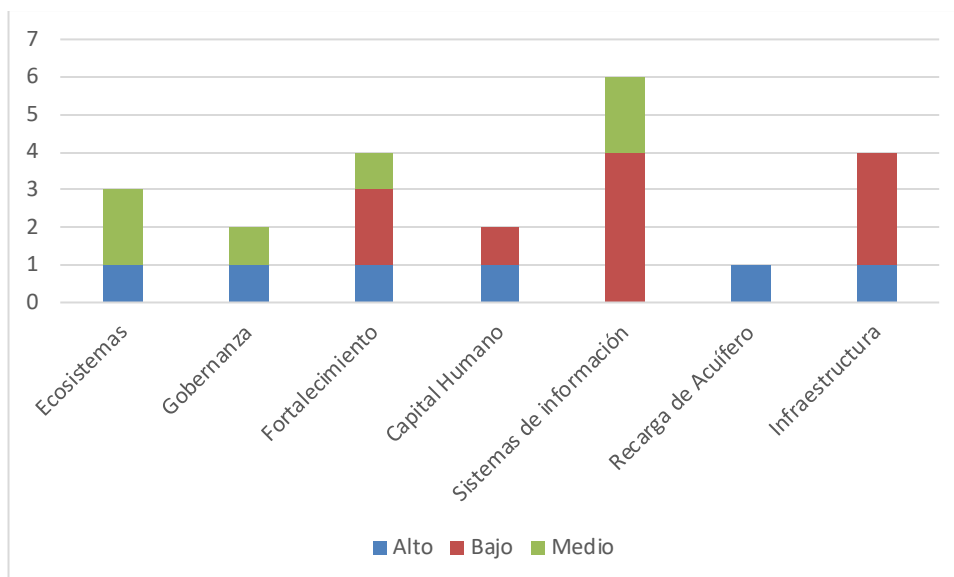


Figura 7-2. Distribución del beneficio percibido por los actores locales de las acciones locales.

Fuente: Elaboración propia (ver anexo K.3 Plan de acción).

7.3. EVALUACIÓN ECONÓMICA

Tal como se comentó anteriormente la inversión necesaria para implementar la acción (APEX) y el costo de operación de ellas (COPEX) es uno de los criterios para priorizar la ejecución de las acciones.

Como parte de la descripción de las medidas consideradas en este estudio se realizó una estimación del CAPEX y OPEX de cada una. CAPEX (abreviación del inglés *capital expenditure*) se refiere a las inversiones de capital necesaria para llevar a cabo la medida, es decir gasto que no son recurrentes. En cambio OPEX (abreviación del inglés *operational expenses*), se refiere a los gastos recurrentes y necesarios para el funcionamiento de la medida (ver Figura 7-3).

La evaluación de estas dos medidas se realizó a partir de la descripción o definición de las medidas. Para esto se tomó en cuenta la duración de la medida, las necesidades de inversión y las actividades y gastos necesarios para su funcionamiento. La cuantificación económica de estos costos se hizo a partir de estudios existentes. De estos se obtuvieron costos unitarios que fueron utilizados para estimar los costos de la medida de interés. Se debe tener en cuenta que estas evaluaciones buscan entregar una aproximación gruesa del costo asociado a la implementación de las medidas por lo que no se deben interpretar como una evaluación económica detallada de las mismas.

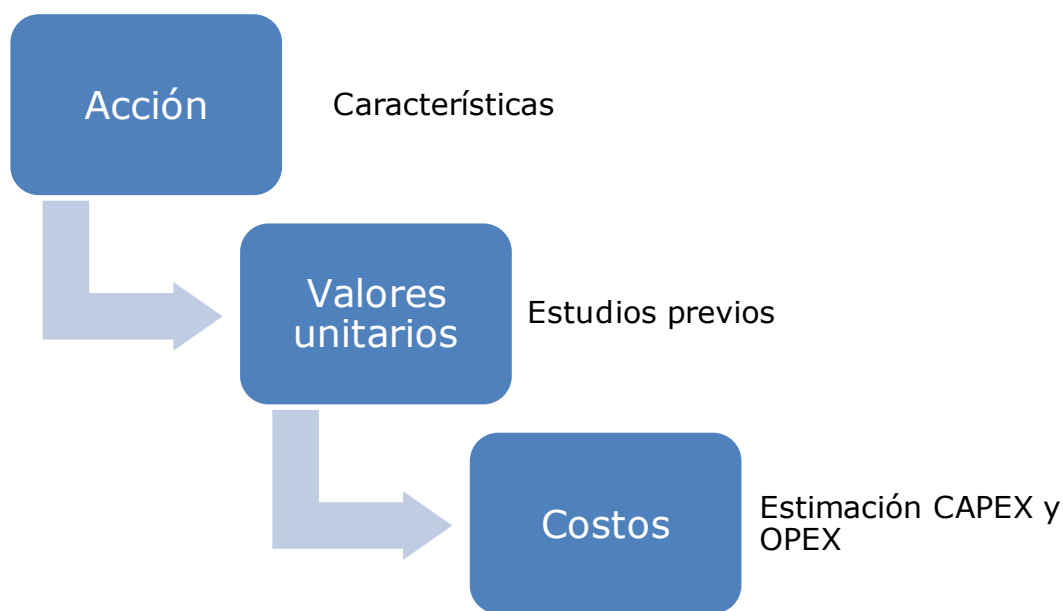


Figura 7-3. Metodología de obtención del CAPEX (*Capital Expenditure*) y OPEX (*Operational Expenses*).

Fuente: Elaboración propia.

De la Figura 7-4 se aprecia que los mayores costos están asociados a la infraestructura debido a la construcción del Canal Pitrufquén Gorbea y su red de canales asociados, así como la profundización de pozos con un 85% del costo del PEGH. Le sigue las iniciativas asociadas a sistemas de información con un 7% del costo del PEGH.

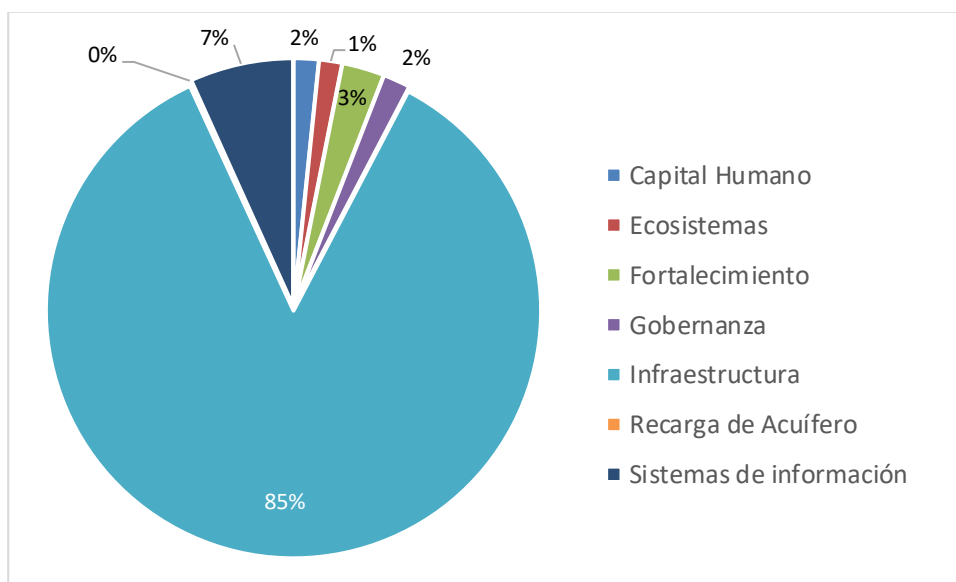


Figura 7-4. Distribución de costos del plan por eje de acción

Fuente: Elaboración propia (ver Anexos K.2 y K.3 Plan de acción).

7.4. PLAZO DE IMPLEMENTACIÓN

La priorización de las acciones se traduce en iniciativas que deben implementarse en el corto plazo (prioridad alta), mediano plazo (prioridad media) y largo plazo (prioridad baja). El plazo de implementación responde a la efectividad en cerrar alguna brecha identificada, el beneficio identificado por los actores, el costo y el tiempo de cada acción, lo da como resultado la siguiente tabla:

Tabla 7-2. Plazos de implementación de las acciones.

TEMA	PLAZO DE IMPLEMENTACIÓN		
	CORTO	MEDIANO	LARGO
RECUPERACION DE ACUÍFERO	RA-01.- Siembra y cosechas de agua		
GOBERNANZA	AG-01. Creación y fortalecimiento de la Oficina Municipal de Asuntos Hídricos (OMAH) como ente técnico de capacitación y canalización de inquietudes, denuncias entre la ciudadanía, la institucionalidad pública y el consejo de cuencas		AG-02. Creación y promoción de un Consejo coordinador a nivel de cuencas
FORTALECIMIENTO OUA	FO-02. Programa de apoyo para el saneamiento y regularización de los derechos de agua de los SSR y títulos de dominio	FO-01. Programa de constitución y fortalecimiento de Comunidades de Aguas Subterráneas FO-03. Constitución y fortalecimiento de Comunidades de Agua y Asociación de Canalistas existente, así como de canales riego proyectados.	FO-04. Programa de apoyo legal y técnico para la conformación y operación de la Junta de Vigilancia en la Cuenca Río Toltén.

TEMA	PLAZO DE IMPLEMENTACIÓN		
	CORTO	MEDIANO	LARGO
CAPITAL HUMANO	CH-02. Programa de acompañamiento continuo a Servicios Sanitarios Rurales	CH-01. Educación ambiental para la conservación de los ecosistemas y recursos hídricos desde una mirada ecohidrológica	
SISTEMAS DE INFORMACIÓN	<p>SI-02 Monitoreo participativo de calidad del agua realizado por la ciudadanía</p> <p>SI-03 Fortalecimiento del actual programa de monitoreo de calidad de las aguas superficial y subterránea.</p> <p>SI-06 Desarrollo de una plataforma única de visualización de datos hidrometeorológicos y medioambientales</p>	<p>SI-01. Instalación y operación de estaciones de monitoreo de niveles de aguas subterráneas</p> <p>SI-04. Instalación e implementación de estaciones fluviométricas de monitoreo.</p> <p>SI-05 Instalación e implementación de estaciones fluviométricas de monitoreo</p>	
INFRAESTRUCTURA	OH-02 Mejoramiento y aumento de capacidad de infraestructura hidráulica en Servicios Sanitarios Rurales	<p>OH-01. Diseño y construcción del canal de riego Pitrufquén Gorbea</p> <p>OH-03 Profundización de pozos existentes para abastecimientos de Servicios Sanitarios Rurales</p>	

TEMA	PLAZO DE IMPLEMENTACIÓN		
	CORTO	MEDIANO	LARGO
		OH-04 Profundización de pozos existentes para pequeños agricultores.	
ECOSISTEMAS		<p>OM-01.- Asignación de caudal ambiental en humedales de interés en la cuenca Río Toltén y sus afluentes</p> <p>OM-02.- Desarrollo de mecanismos normativos que aseguren la conservación de la biodiversidad, servicios ecosistémicos y provisión hídrica a través de la protección de humedales.</p> <p>·</p> <p>OM-03.- Implementación de Normas Secundarias de Calidad Ambiental (NSCA)</p>	

Fuente: Fuente: *Elaboración propia (ver Anexo K.3 Plan de acción).*

7.5. ALTERNATIVAS SELECCIONADAS

Todas las alternativas identificadas provienen de una selección de ideas del territorio que además fueron evaluadas con mayoría de aceptación por los actores locales. Por lo tanto, la totalidad de las acciones fueron seleccionadas para ser incorporadas como parte del Plan Estratégico, solo se somete a discusión la implementación de la totalidad de los embalses proyectados, puesto que ellos en su operación conjunta no logran disminuir completamente la brecha.

Como ya se comentó anteriormente, se realizó una priorización de las acciones basados en la combinación de 4 criterios: Impacto, percepción local, costo y plazo de implementación.

Los resultados de la priorización de cada una de las acciones se muestran en la Tabla 7-3.

Tabla 7-3. Priorización de las iniciativas definidas.

CODIGO	ACCION	Priorización
OM-01	Asignación de caudal ambiental en humedales de interés en la cuenca Río Toltén y sus afluentes	Alta
OM-02	Desarrollo de mecanismos normativos que aseguren la conservación de la biodiversidad, servicios ecosistémicos y provisión hídrica a través de la protección de humedales	Media
OM-03	Implementación de Normas Secundarias de Calidad Ambiental (NSCA)	Alta
AG-01	Creación y fortalecimiento de la Oficina Municipal de Asuntos Hídricos (OMAH) como ente técnico de capacitación y canalización de inquietudes, denuncias, capacitación entre la ciudadanía, la institucionalidad pública y el consejo de cuencas	Alta
AG-02	Creación y promoción de un Consejo coordinador a nivel de cuencas	Alta
FO-01	Programa de constitución y fortalecimiento de CAS	Alta
FO-02	Programa de apoyo para el saneamiento y regularización de los derechos de agua de los SSR y títulos de dominio	Alta

CODIGO	ACCION	Priorización
FO-03	Constitución y fortalecimiento de Comunidades de Agua y Asociación de Canalistas existente, así como de canales riego proyectados	Media
FO-04	Programa de apoyo legal y técnico para la conformación y operación de la Junta de Vigilancia en la Cuenca Río Toltén.	Media
CH-01	Educación ambiental para la conservación de los ecosistemas y recursos hídricos desde una mirada ecohidrológica	Media
CH-02	Programa de acompañamiento continuo a Servicios Sanitarios Rurales	Alta
FA-01	Siembra y cosecha de lluvias mediante zanjas de infiltración	Alta
SI-01	Instalación y operación de estaciones de monitoreo de niveles de aguas subterráneas	Alta
SI-02	Monitoreo participativo de calidad del agua realizado por la ciudadanía	Media
SI-03	Fortalecimiento del actual programa de monitoreo de calidad de las aguas superficial y subterránea	Media
SI-04	Instalación e implementación de estaciones superficiales de monitoreo	Media
SI-06	Plataforma única de visualización de datos hidrometeorológicos y medioambientales	Media
OH-01	Diseño y construcción del canal de riego Pitrufquén Gorbea	Baja
OH-02	Mejoramiento y aumento de capacidad de infraestructura hidráulica en Servicios Sanitarios Rurales	Media
OH-03	Implementación y operación de estaciones de calidad del agua subterránea en pozos SSR	Media

CODIGO	ACCION	Priorización
OH-04	Profundización de pozos existentes para abastecimientos de Servicios Sanitarios Rurales	Alta
SI-05	Profundización de pozos existentes para pequeños agricultores	Media

Fuente: Elaboración propia (ver detalles en Anexo K.3, Plan de acción).

Se observa que solo una iniciativa tiene una priorización baja (5%), la cual es el Diseño y construcción del canal de riego Pitrufrquén Gorbea. El motivo de dicha priorización no radica en la importancia que este canal puede prestar para el desarrollo de la agricultura en la región, sino que la valoración de la ciudadanía participante es baja, porque hay una percepción que el beneficio es para una pequeña representación de la región.

De las restantes 21 iniciativas seleccionadas, 10 (45%) de ellas presentan una clasificación Alta y 11 (50%) presentan una prioridad Media. De estas últimas, la mayoría obedece a iniciativas de obtención o mejoramiento de la información existente, las cuales no se perciben como beneficio directo en la reducción de la brecha por parte de los actores locales, sin embargo, son absolutamente necesarias para eliminar brechas de información y de implementación del modelo hidrológico acoplado.

De las temática de acciones con mayor porcentajes de una elevada priorización destaca las acciones relacionadas con el ecosistema, lo cual demuestra la importancia que presentan el ecosistema acuático y ribereño por parte de los actores locales (Figura 7-5).

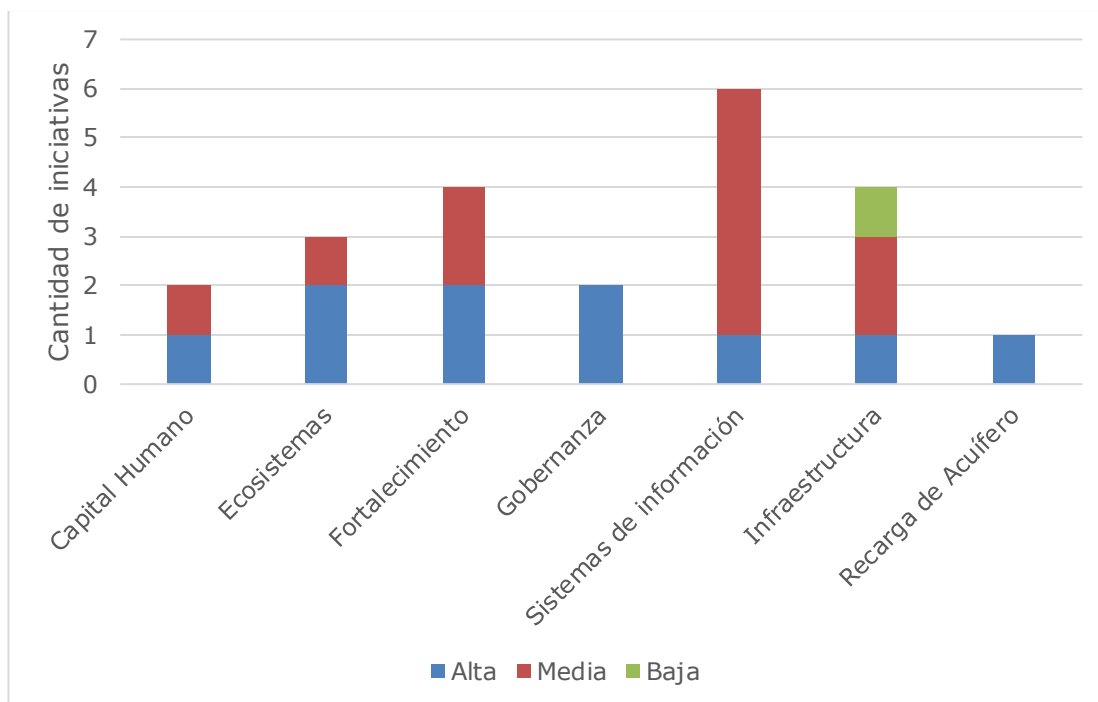


Figura 7-5. Distribución de la priorización de acciones.
Fuente: Elaboración propia (ver Anexo K.3. Plan de Acción).

7.6. EVALUACIÓN CONJUNTA DEL PLAN

Para evaluar las mejores condiciones que generan las iniciativas planteadas anteriormente, las iniciativas posibles de modelar se incorporaron en conjunto en el modelo hidrológico integrado. Para ello se generó un único escenario en el cual se incorporaron las iniciativas definidas en los distintos escenarios. Estas iniciativas fueron puestas en marcha de acuerdo a los plazos de implementación expresados anteriormente.

Particularmente, se consideraron los escenarios: Canal de riego Pitrufquén Gorbea, Siembra y cosecha de agua mediante zanjas de infiltración y la mantención de un caudal ambiental. En la Figura 7-6 se puede apreciar los escenarios considerados y su fecha propuesta para su puesta en marcha en el PEGH.

El escenario del PEGH para la cuenca Río Toltén fue comparado con la situación futura de la cuenca, en caso de no implementar el PEGH. Esta condición futura considera que se mantienen los derechos de agua otorgados al 2019.

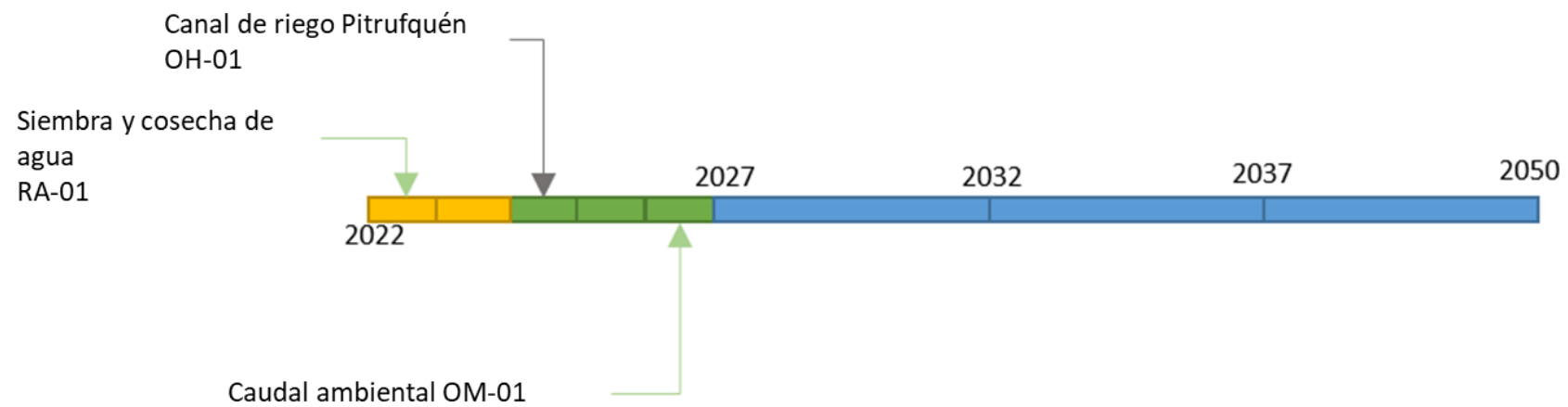


Figura 7-6. Esquema temporal de la simulación del PEGH para la cuenca Río Toltén.

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de los indicadores del PEGH se muestran en la Tabla 7-4.

Tabla 7-4. Promedio decadales de los indicadores del plan PEGH en la cuenca Río Toltén y su comparación con el escenario futuro e histórico.

Década	Brecha [hm ³ /año]		Cobertura [%]		Variación del acuífero [hm ³ /año]
	Agrícola	Agua potable Rural	Agrícola	Agua potable Rural	
Histórico (2010-2019)	70,1	0,23	44%	92%	-52,68
Futuro (2040-2050)	245,1	0,13	34%	97%	-21,28
PEGH (2040-2050)	74,0	0,13	80%	98%	-32,40

Fuente: Elaboración basada en resultados de modelación (anexo H. modelo hidrológica acoplado, capítulo 5.2.2).

Se aprecia que la implementación del PEGH mejora los indicadores de los dos usos analizados, disminuyendo considerablemente la brecha hídrica del sector agrícola desde 245 hm³ a 74 hm³ y aumentando su cobertura de un 34% a un 80%. El agua potable rural, también ve mejorados sus indicadores, pero en valores bastante menores, ya que la brecha hídrica se mantiene en 0,13 hm³, y su cobertura aumenta del 97% al 98%.

De esta forma, la brecha total (que incluye las brechas agrícolas, de demanda de agua potable rural y la variación del almacenamiento del acuífero) pasó de 272,6 hm³/año (en el escenario futuro) a 106,5 hm³/año con la implementación del PEGH. Así, la brecha total, disminuyen en un 61% (Figura 7-7).



Figura 7-7. Variación de la brecha total al implementar el PEGH en la cuenca Río Toltén.

Fuente: elaboración propia basado en resultados modelación hidrológica acoplada (Anexo H modelación hidrológica acoplada, capítulo 5.2.2)

La variación temporal de la brecha hídrica en el periodo 1980-2050 (que incluye los escenarios históricos y futuros) y la disminución temporal de la brecha agrícola una vez implementado el Plan se muestra en la Figura 7-8. En donde S02 corresponde al SHAC Toltén Medio, el cual es aquel donde mayormente se aprecia la disminución de la brecha dada por la implementación del Plan

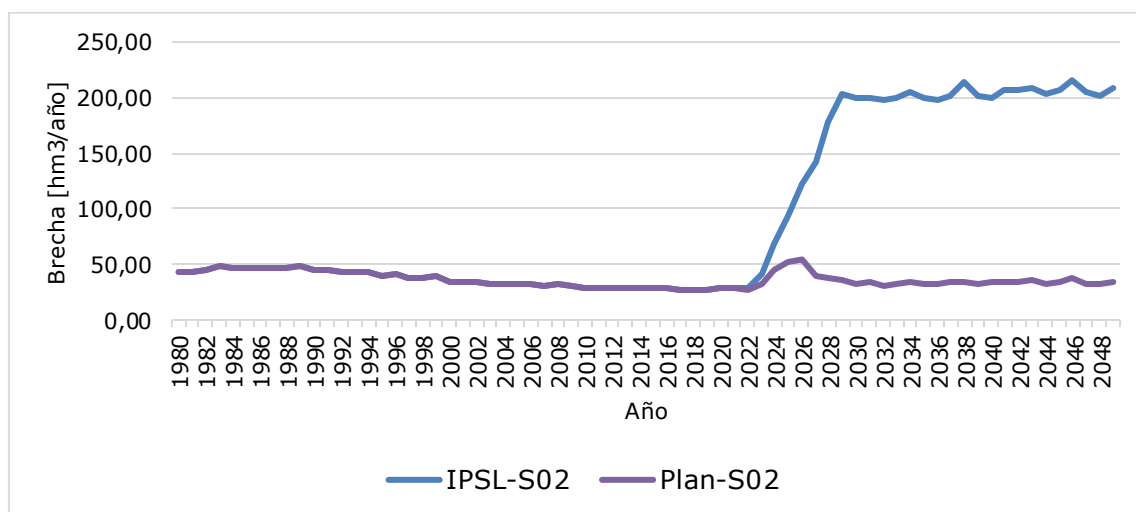


Figura 7-8. Evolución temporal de la brecha agrícola bajo escenario histórico, futuro y con la implementación del Plan en la cuenca Río Toltén.

Fuente: elaboración propia basado en resultados modelación hidrológica acoplada (Anexo H modelación hidrológica acoplada, capítulo 5.2.2).

Se aprecia que la brecha agrícola disminuye levemente a partir del año 2020 al 2028. A partir de dicho año 2026 se aprecia una reducción notoria de la brecha, que la fecha cuando se activa la iniciativa de la construcción del canal de riego Pitrufrquén-Gorbea (iniciativa OH-01) y ya están operativas las zanjas de infiltración (RA-01).

En la Figura 7-9 se muestra la evolución de la cobertura de la demanda de riego, en donde se aprecia que cuando el canal de riego (OH-01) y las zanjas están operativas (RA-01), la cobertura de la demanda aumenta en torno al 90% de la demanda proyectada de acuerdo a la superficie planificada en riego. En donde S02 corresponde al SHAC Toltén Medio, el cual es aquel donde mayormente se aprecia la disminución de la brecha dada por la implementación del Plan.

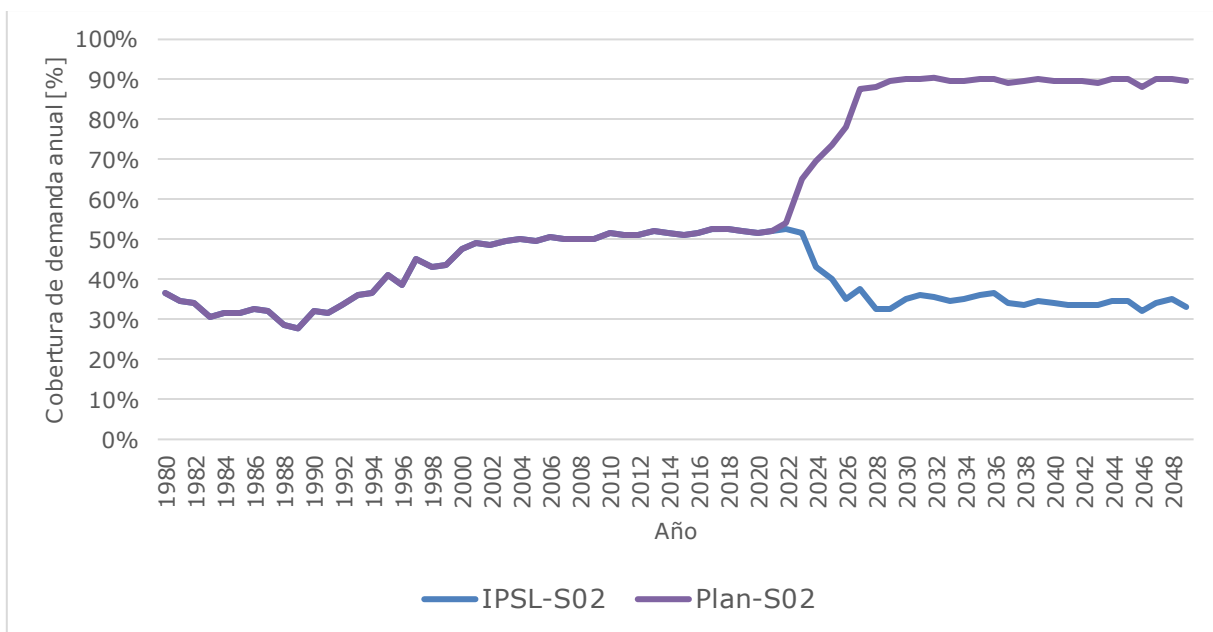


Figura 7-9. Evolución temporal de la cobertura de la demanda agrícola bajo escenario histórico, futuro y con la implementación del Plan en la cuenca Río Toltén.

Fuente: elaboración propia basado en resultados modelación hidrológica acoplada (Anexo H modelación hidrológica acoplada, capítulo 5.2.2).

En forma análoga, se muestra la evolución temporal de la brecha de agua potable para la cuenca Río Toltén, considerando la condición histórica, la futura y la aplicación del Plan (Figura 7-10). En donde S02 corresponde al SHAC Toltén Medio, el cual es aquel donde mayormente se aprecia la disminución de la brecha dada por la implementación del Plan

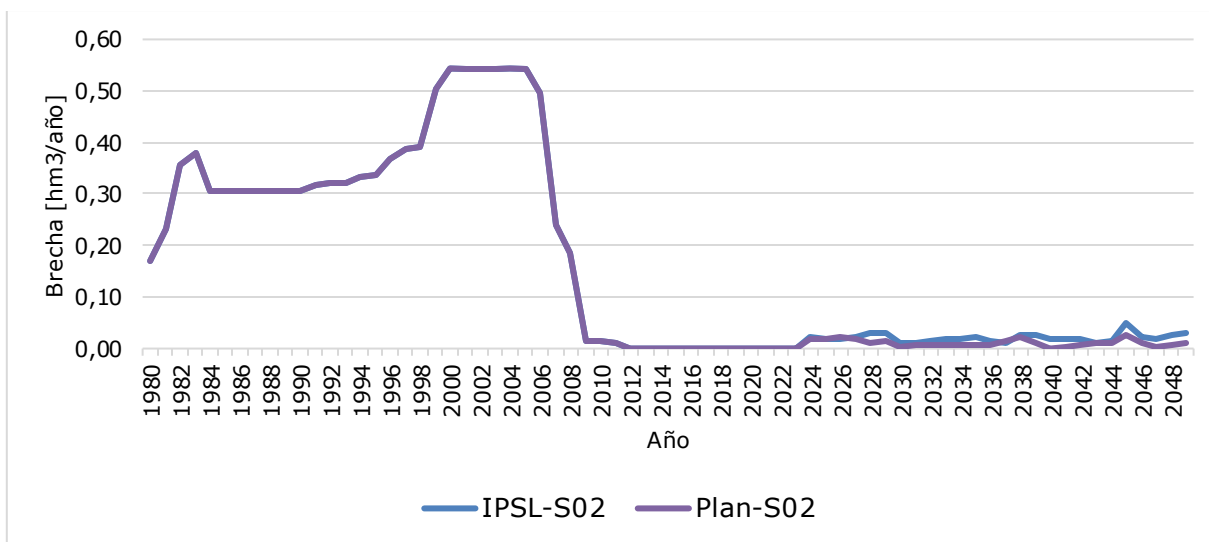


Figura 7-10. Evolución temporal de la brecha de agua potable bajo escenario histórico, futuro y con la implementación del Plan en la cuenca Río Toltén.

Fuente: elaboración propia basado en resultados modelación hidrológica acoplada (Anexo H modelación hidrológica acoplada, capítulo 5.2.2).

Se aprecia que bajo la aplicación el PEGH, la brecha de agua potable disminuye levemente cuando se implementa el Plan de las iniciativas modeladas. Esta disminución obedece principalmente a la implementación de las zanjas de infiltración, puesto que mejora la condición del acuífero. La brecha no disminuye completamente ya que esta iniciativa no abarca la totalidad de SSR presentes en la cuenca, puesto que existen algunas que extraen superficialmente.

La cobertura del agua potable rural no presenta mayores variaciones entre la implementación de las iniciativas modeladas en el PEGH, pasando de un 97% de cobertura en el año 2020 a un 98% de cobertura al año 2049.

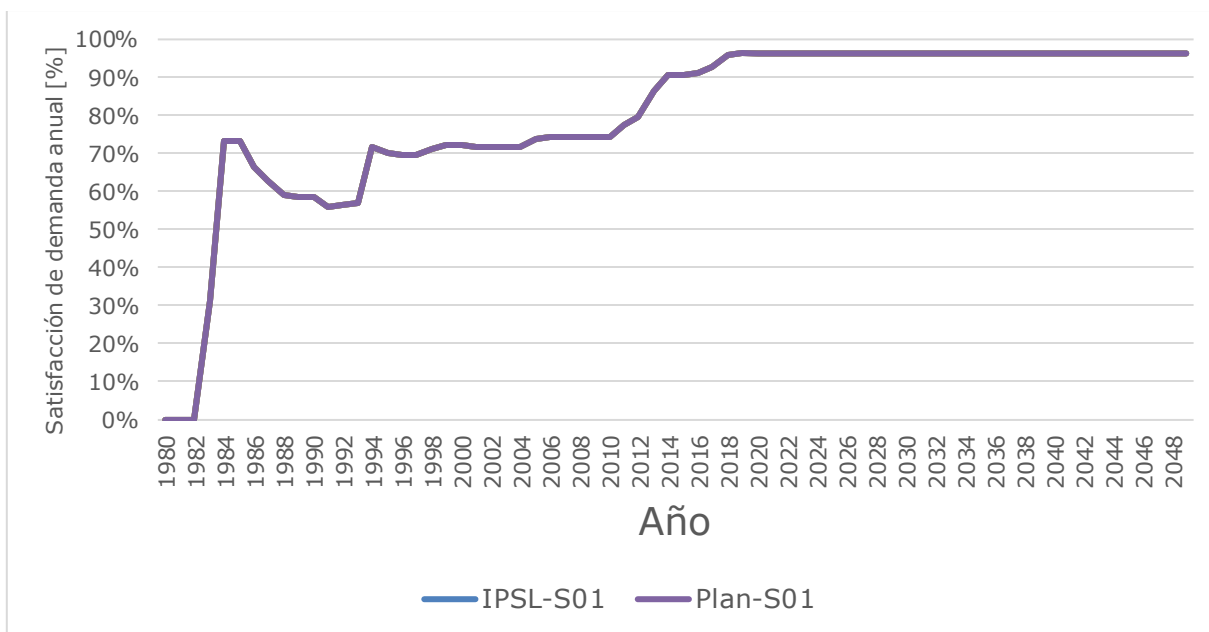


Figura 7-11. Evolución temporal de la brecha de agua potable bajo escenario histórico, futuro y con la implementación del Plan en la cuenca Río Toltén.

Fuente: elaboración propia basado en resultados modelación hidrológica acoplada (Anexo H modelación hidrológica acoplada, capítulo 5.2.2).

Es importante mencionar que los resultados de los escenarios aquí mostrados se simularon con un clima similar e incluso más seco y cálido que lo observado en la última década (2010-2020), de manera de simular condiciones similares a las observadas en los primeros años de la década y con las proyecciones más severas de cambio climático. De todas maneras, es posible que, simulando la cuenca Río Toltén, con mejores condiciones climáticas, los sistemas sigan respondiendo de manera no sustentable, dada la alta demanda que existe por el agua.

Esto muestra que los escenarios simulados para este PEGH no logran cerrar completamente las brechas para esos dos usos, por tanto, es necesario implementar el resto de iniciativas que no son modelables en sí, pero que indirectamente permite contribuir a cerrar la brecha hídrica detectada. Por ejemplo, la brecha hídrica en el agua potable rural, no se genera por un déficit hídrico en la cuenca, sino por el acceso al agua, tanto en infraestructura como legal, lo cual han sido abordados en iniciativas que no fue posible modelar, como las iniciativas "Mejoramiento y aumento de capacidad de infraestructura hidráulica en Servicios Sanitarios Rurales" (OH-02), "Profundización de pozos existentes para abastecimientos de Servicios Sanitarios Rurales" (OH-03) y "Programa de apoyo para el saneamiento y regularización de los derechos de agua de los SSR y títulos de dominio" (FO-02).

7.7. LÍNEAS DE ACCIÓN

A continuación, se detallan aquellas iniciativas que son llevadas a cabo por cada una de las instituciones que son parte del Plan, sean públicas o privadas. Hay que recordar que muchas de las iniciativas comprenden la participación activa de más de una institución, por lo tanto, se asoció como institución principal a aquella responsable de la iniciativa. Se definió como institución responsable como aquella que dentro de sus facultades puede liderar y financiar más del 50% del contenido de la iniciativa.

7.7.1. Ejecutora o mandante DGA

Las acciones que son lideradas por la DGA obedecen a aquellas que se basan en la obtención de información y de regularización de derechos de agua.

Las siguientes acciones tendrían como principal ejecutor o mandante a la DGA:

- FO-01. Programa de constitución de Comunidad de Aguas subterráneas
- FO-02. Programa de apoyo para el saneamiento y regularización de los derechos de agua de los SSR y títulos de dominio
- FO-03. Constitución y fortalecimiento de Comunidades de Agua y Asociación de Canalistas existente, así como de canales riego proyectados.
- FO-04. Programa de apoyo legal y técnico para la conformación y operación de la Junta de Vigilancia en la Cuenca Río Toltén
- SI-01. Instalación y operación de estaciones de monitoreo de niveles de aguas subterráneas
- SI-03. Fortalecimiento del actual programa de monitoreo de calidad de las aguas superficial y subterránea
- SI-04. Instalación e implementación de estaciones superficiales de monitoreo
- SI-06 Implementación y operación de estaciones de calidad del agua subterránea en pozos SSR.
-

7.7.2. Otras instituciones

Aunque las siguientes acciones se visualizan en coordinación y/o con el apoyo de la D.G.A., el impulsor principal son otras instituciones Nacionales descentralizadas y Regionales, e incluso lideradas por OUAs y otras organizaciones de usuarios de agua.

Dirección de Obras Hidráulicas

- CH-02. Programa de acompañamiento continuo a SSR
- OH-01. Diseño y construcción del canal de riego Pitruquén Gorbea
- OH-02. Mejoramiento y aumento de capacidad de infraestructura hidráulica en Servicios Sanitarios Rurales.

- OH-03 Profundización de pozos existentes para abastecimientos de Servicios Sanitarios Rurales

Gobierno Regional

- AG-01. Creación y fortalecimiento de la Oficina Municipal de Asuntos Hídricos (OMAH) como ente técnico de capacitación y canalización de inquietudes, denuncias, entre la ciudadanía, la institucionalidad pública y el consejo de cuencas
- AG-02. Creación y promoción de un Consejo coordinador a nivel de cuencas
- SI-02. Monitoreo participativo de calidad del agua realizado por la ciudadanía
- SI-06. Desarrollo de una plataforma única de visualización de datos hidrometeorológicos y medioambientales.

Ministerio de Medio Ambiente

- OM-02. Desarrollo de mecanismos normativos que aseguren la conservación de la biodiversidad, servicios ecosistémicos y provisión hídrica a través de la protección de humedales.
- OM-03 Establecimiento de Normas Secundarias de Calidad del Agua en la Cuenca Río Toltén.

Ministerio de Educación

- CH-01. Educación ambiental para la conservación de los ecosistemas y recursos hídricos desde una mirada ecohidrológica

Instituto de Desarrollo Agropecuario

- OH-03 Profundización de pozos existentes para pequeños agricultores

Alianzas Público-privadas

- OM-01. Asignación de caudal ambiental en humedales de interés en la cuenca Río Toltén y afluentes
- FA-01 Siembra y cosecha de lluvias mediante zanjas de infiltración

Existen algunas iniciativas que a lo largo de su ejecución sufrirá un cambio en la institución mandante o ejecutoria. Esto se debe a que las iniciativas deben ser prontamente implementadas, pero no es posible obtener un financiamiento directamente por la empresa mandante, por tanto, se propone que la iniciativa sea financiada inicialmente por otra institución hasta que la institución mandante tenga los lineamientos normativos que le permita su funcionamiento.

Particularmente, la iniciativa "Creación y operación de la oficina de asuntos hídricos, es una oficina que propone que esté a cargo de las respectivas municipalidades y dada la prioridad en su implementación, se propone que esta iniciativa sea implementada en un principio por el Gobierno Regional (GORE) y apoye en su monitoreo.

Otra iniciativa que puede ser implementada en una alianza público-privada es la Asignación de caudal ambiental en humedales de interés en la cuenca Río Toltén y afluentes. Esta iniciativa tiene una primera etapa en donde el Ministerio de Medio Ambiente financia la determinación del caudal ambiental en los humedales solicitados y posteriormente realiza el seguimiento. Una vez en el seguimiento se genera un APL con la(s) junta(s) de vigilancia(s) interesadas para que sean estas, a través de un acuerdo con sus integrantes,

generan un compromiso de mantención del caudal ambiental y realización de seguimiento. Una vez realizado el traspaso, el Ministerio de Medio Ambiente mantiene una calidad de asesor.

7.8. VALORIZACIÓN ECONÓMICA DEL PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA

El costo del Plan es de 80.353,9 M \$USD (miles de dólares) para las 22 acciones definidas, en donde un 85% de dicho monto es considerando acciones para infraestructura que den seguridad hídrica para consumo humano y para agricultura a distintas escalas de producción. y un 7% para sistemas de información. El detalle del porcentaje de costo de cada temática, se aprecia en la Figura 7-12.

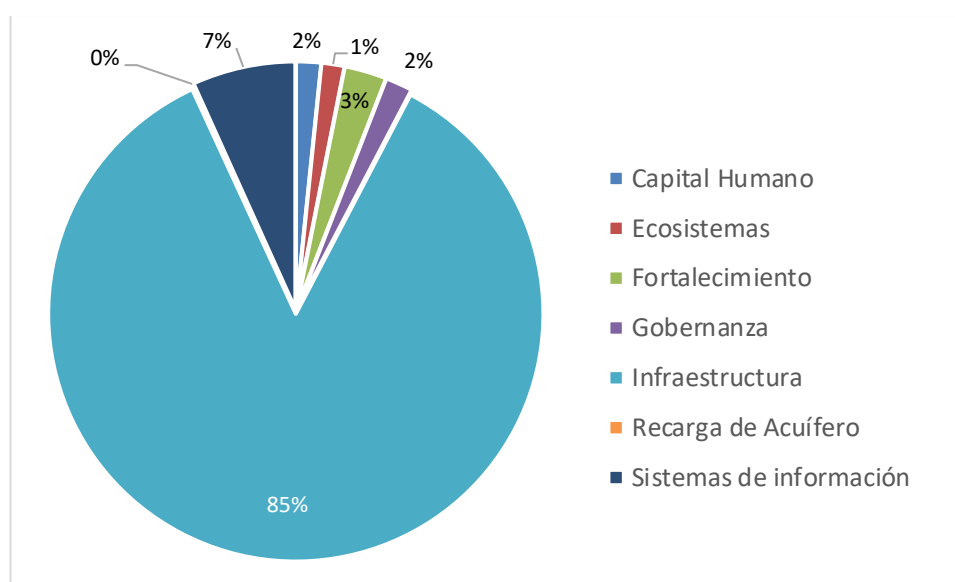


Figura 7-12. Distribución de los costos de implementación y operación por área temática de las acciones pertenecientes al Plan Estratégico de Gestión Hídrica de la cuenca Río Toltén.

Fuente: Elaboración propia (Ver Anexo K Plan de acción).

En cuanto a la distribución de las inversiones y los costos de operación en los plazos (Corto, Mediano y Largo) del Plan estos se muestran en la (Figura 7-13). De ella se aprecia que los montos mayores se producen en el largo plazo debido a la construcción del canal de riego Pitrufoquén Gorbea y sus redes de riego asociadas. En el mediano plazo, el aumento del valor del Plan se debe principalmente a la inversión a realizar en cuanto a infraestructura hidráulica de pozos e infraestructura para Servicios Sanitarios Rurales.

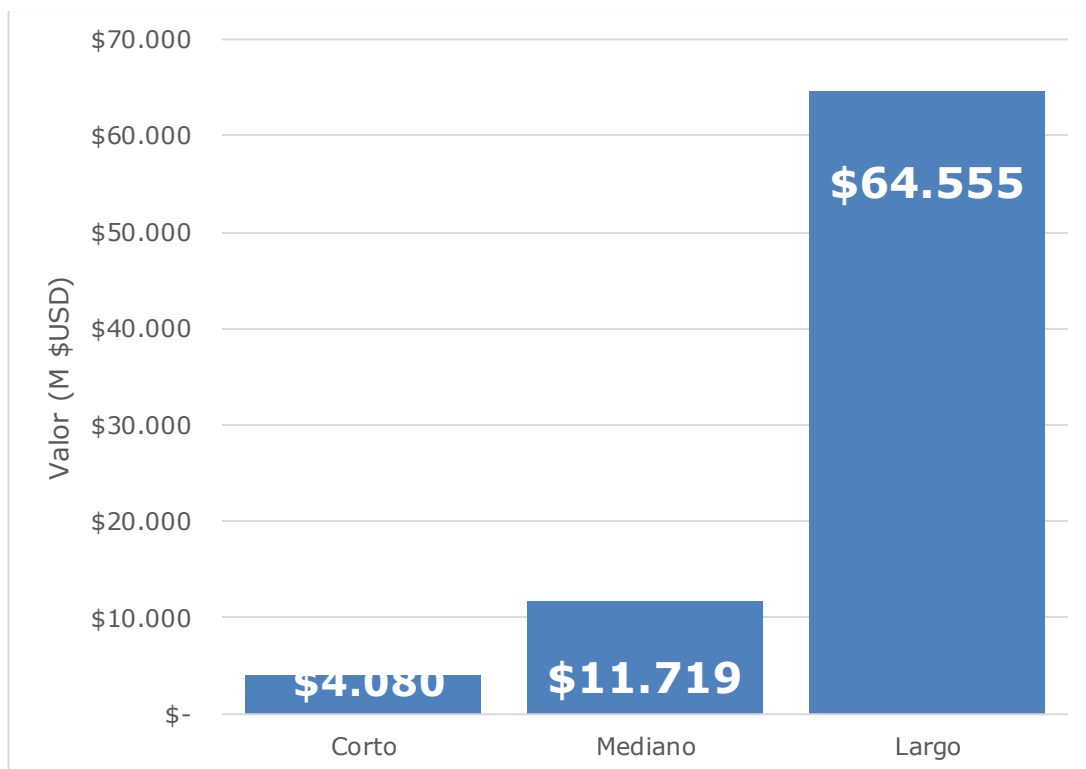


Figura 7-13. Distribución de los costos de implementación y operación del Plan Estratégico de Gestión Hídrica del Río Toltén.

Fuente: Elaboración propia (ver Anexo K Plan de acción).

Al realizar una distribución anual de los costos del Plan (Figura 7-14) se aprecia que la mayor inversión ocurre entre los años 8 y 11 de comienzos del Plan (equivalentes a 2030 a 2033), lo cual comprende los periodos de mediano y comienzos del largo plazo. Estas inversiones se traducen en instalación de estaciones de medición, construcción del canal de riego Pitrufquén Gorbea, reposición de sistema de agua potable rural y profundización de pozos existentes.

Durante el corto plazo (0-2 años) los costos son principalmente de operación, debido a la implementación temprana de iniciativas como la Oficina Municipal de Asuntos Hídricos, monitoreo participativo y programa de monitoreo de calidad del agua, los cuales no requieren mayor inversión para iniciar sus actividades.

En el largo plazo, se terminan la construcción de las iniciativas comenzadas en el mediano plazo, para posteriormente ejecutar medidas que necesitan de apoyo constante para su ejecución y de esta forma velar por su autonomía y funcionamiento, como por ejemplo la oficina de asuntos hídrico, monitoreo participativo, educación ambiental y el comité de cuencas.

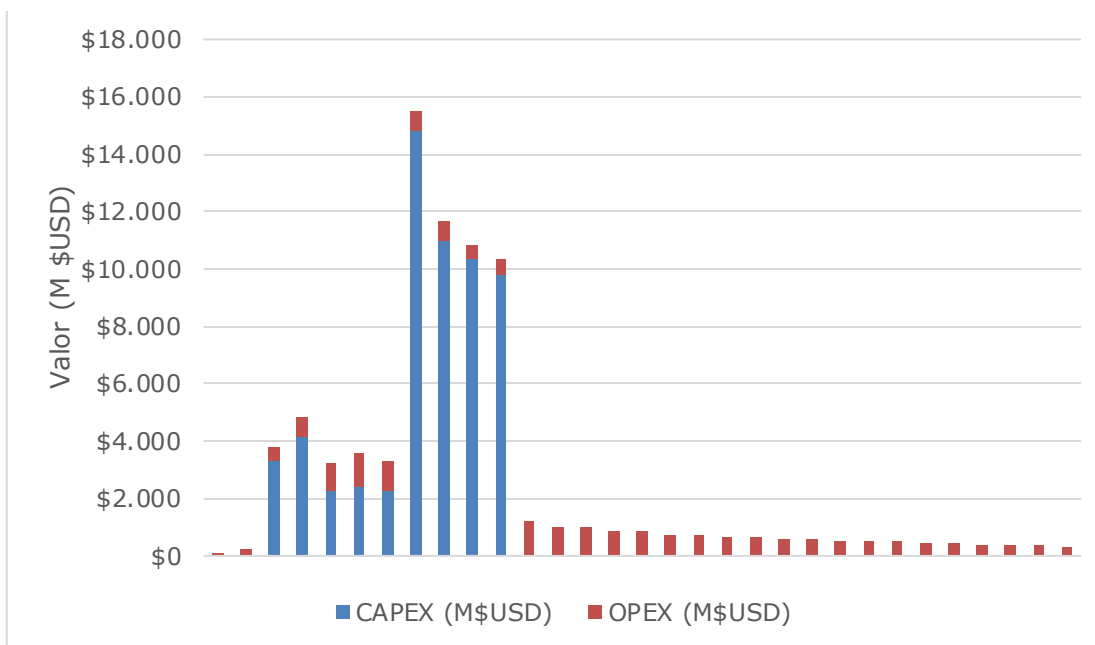


Figura 7-14. Distribución anual del costo del Plan.

Fuente: Elaboración propia (Ver Anexo K, Plan de acción).

7.8.1. Distribución de costos por actores

El cuadro siguiente resume la inversión por institución responsable y período de ejecución. El principal responsable es la DOH con un 57% del costo del Plan, le sigue la DGA con un 17% del costo. El detalle se puede ver en la Tabla 7-5

Tabla 7-5. Distribución de costos por actores y plazos.

Institución	Corto [M \$USD]	Mediano [M \$USD]	Largo [M \$USD]	Total [M \$USD]
DGA	DGA	\$ 1.077	\$ 1.652	\$ 4.208
MMA	MMA	\$ 2	\$ 322	\$ 239
DOH	DOH	\$ 2.855	\$ 8.106	\$ 57.827
GORE	GORE	\$ 108	\$ 459	\$ 1.568
MINEDUC	MINEDUC	\$ 2	\$ 80	\$ 182
INDAP	INDAP	\$ -	\$ 922	\$ -
Privados	Privados	\$ 34	\$ 178	\$ 531
TOTAL	TOTAL	\$ 4.080	\$ 11.719	\$ 64.555

Fuente: Elaboración propia (Ver Anexo K, Plan de acción).

7.9. CRONOGRAMA DE LAS SOLUCIONES

En la Figura 7-15 se observa que para el corto plazo 10 son las acciones que deben ser implementadas. En términos generales, estas acciones obedecen a la implementación de la Oficina de Asuntos Hídricos, protección de humedales, Apoyo a SSR en saneamiento de sus derechos de aguas y la implementación temprana de aspectos de información como la plataforma de visualización de información hidrometeorológica y ambiental, como programas de monitoreo de calidad del agua.

En el mediano plazo, se implementan fuertemente las acciones que presentan mayor inversión, como la instalación de estaciones de medición, reposición de infraestructura hidráulica a SSR, profundización de pozos a SSR y a pequeños agricultores, construcción de estaciones de monitoreo y constitución y fortalecimiento de CAS y Asociaciones de Canalistas.

Finalmente, en el largo plazo se espera que las juntas de vigilancias y el comité de cuencas se encuentren operativos y permita llevar a cabo la gestión de cuencas.

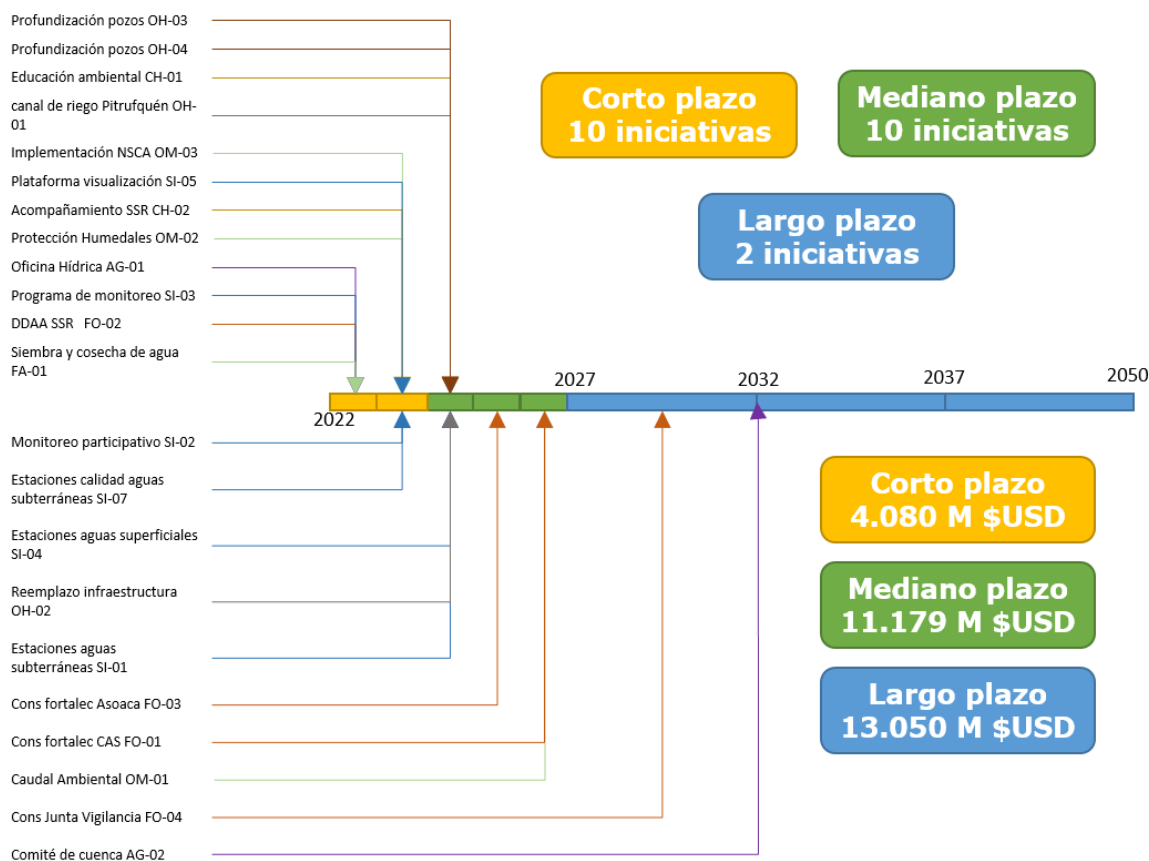


Figura 7-15. Línea de tiempo de implementación de las acciones.

Fuente: Elaboración propia (Ver Anexo K. Plan de Acción).

8. IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN

La estrategia de implementación del Plan recoge la estructura del instrumento, los aspectos institucionales y de gobernanza, de cultura del agua y de financiamiento

8.1. HITOS DE REFERENCIA EN LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN

A continuación, se presentan los hitos de cada plazo del Plan, estos hitos marcan la criticidad de las acciones, tanto las que se implementan en el mismo plazo, como para aquellas en plazos posteriores:

Corto Plazo

- Creación de la Oficina Municipal de Asuntos Hídricos (AG-01). En forma primera se implementará en municipios piloto. Esta iniciativa es relevante porque es en donde se gestionarán otras iniciativas como el programa de monitoreo participativo (SI-02), la plataforma única de visualización (SI-05) y el programa de capacitación en asuntos hídricos (CH-02)
- Desarrollo del APL para la construcción de zanjas de infiltración y su construcción (FA-01)
- Desarrollo de la Plataforma única de visualización de datos hidrometeorológicos y medioambientales (SI-06)
- Comienzo del saneamiento de los DDAA de las SSR (FO-02)
- Comienzo del programa de monitoreo participativo (SI-02)
- Comienzo del programa de monitoreo de calidad de aguas (SI-03)

Mediano Plazo

- Inicio constitución de la Comunidad de Aguas Subterráneas (FO-01) y de la asociación de Canalistas (FO-03)
- Instalación de estaciones de monitoreo y comienzo de monitoreo (SI-01; SI-04; SI-05)
- Inicio de iniciativas para protección de ecosistemas de humedales (OM-02); determinación de caudal ambiental (OM-01) y establecimiento de NSCA (OM-03).
- Comienzo de construcción de Canal de riego Pitrufrquén Gorbea (OH-01) y de profundización de pozos para SSR (OH-03) y para pequeños agricultores (OH-04).

Largo Plazo

- Constitución de las Juntas de Vigilancia (FO-04)
- Término de construcción del canal de riego Pitrufrquén Gorbea
- Constitución de la Federación de Juntas de Vigilancia para posteriormente derivar al comité de cuencas (AG-02)

8.2. ESTRATEGIA DE IMPLEMENTACIÓN

8.2.1. Estructura del Plan de Gestión

La estructura del Plan de Gestión Hídrica se basa en desarrollar iniciativas ante brechas definidas en el diagnóstico de la cuenca. Estas iniciativas son evaluadas bajo 4 criterios (ver capítulo 7), los que permite su priorización. Las iniciativas priorizadas y seleccionadas forman parte de la cartera de acciones del PEGH.

El PEGH, además de determinar acciones que vayan en vías de eliminar o reducir brechas identificadas, también se ha considerado que debe velar por una seguridad hídrica y por la sostenibilidad. Para ello, se ha considerado que las acciones deben proveer de los elementos necesarios que apunten al logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) definidos por la ONU y por los criterios de sostenibilidad de una cuenca según el programa de ecohidrología de la UNESCO (ver capítulo 5.4).



Figura 8-1. Estructura del Plan Estratégico.

Fuente: Elaboración propia.

8.2.2. Aspectos institucionales

En la implementación del Plan, deben participar activamente diversas instituciones estatales y privadas, a distintas escalas espaciales y administrativas. De esta forma se velará por la correcta implementación y ejecución de este Plan.

8.2.2.1. Instituciones públicas

A continuación, se muestran el rol de las instituciones, tanto públicas como privadas en las respectivas acciones.

Tabla 8-1. Rol de las instituciones sectoriales y regionales en la implementación del Plan.

Institución	Rol	Inversión Miles de USD
Dirección General de Aguas	Definición de acciones orientadas a la obtención de información y facilitar la regularización de DDAA por parte de las SSR y la constitución de OUA. Apoyo para la constitución y fortalecimiento de distintos niveles organizacionales de OUA, como las CAS, Comunidades de agua de riego superficial y Juntas de Vigilancia	\$ 6.937
Dirección de Obras Hidráulicas	Apoyo a las SSR en distintos aspectos, como el programa de regularización y saneamiento de Derechos de Agua, profundización de pozos y reposición y ampliación del equipamiento. Además liderará la construcción del canal Pitrufquén Gorbea.	\$ 68.788
Ministerio de Medio Ambiente	El principal rol es fortalecer la protección de los humedales y los sistemas acuáticos mediante la determinación del caudal ambiental y generar un APL con las juntas de vigilancia para su implementación. Además generar expedientes para promover humedales con figura de protección oficial e implementar NSCA en la totalidad de la red fluvial	\$ 564
Gobierno Regional	Apoyo en la participación ciudadana en la gestión de la cuenca a distintos niveles participativos. Para ello apoyará la creación y operación de la oficina de asuntos hídricos, monitoreo participativo y el funcionamiento del comité de cuencas.	\$ 2.135
Ministerio de educación	Velar por la educación ambiental de los actores de la cuenca y generar conciencia del uso eficiente y conservación de ecosistemas	\$ 264
Instituto de desarrollo agropecuario	Apoyo al pequeño agricultor para disminuir la carencia en seguridad de riego, mediante la profundización de los pozos de donde se abastecen para riego.	\$ 922
Privados y OUA	Conformación y participación en mesas de la sociedad civil y en el monitoreo ciudadano Permitir y facilitar la gestión del agua, participando en reforzar las capacidades técnicas y de gestión.	\$ 743

Institución	Rol	Inversión Miles de USD
	Tecnificación de riego e implementación de sistemas de medición, telemetría y automatización intra y extrapredial	

Fuente: Elaboración propia basado en Anexo K

8.2.2.2. Gobernanza del agua

La cuenca está en un estado básico de organización de gestión del agua, por lo que es necesario desarrollar distintas instancias de gestión y coordinación del agua. El modelo de gobernanza propuesto (Ver Anexo I. Modelo de gobernanza), para de una aproximación bottom-up, es decir, va construyendo instancias participativas desde la célula más básica en la escala espacial local, hasta ir construyendo instancias más globales de coordinación y gestión en donde se van incorporando distintos actores previamente constituidos y organizados.

La configuración del modelo de gobernanza (Figura 8-2) empieza por la constitución de las Comunidades de Aguas Subterráneas en forma parcializada, siendo la CAS del SHAC Toltén medio la prioritaria en constituirse. A las 4 OUA existente en la cuenca, éstas deben fortalecerse y agregar una OUA extra para la gestión del canal Pitrufrquén Gorbea. Esto da pie a la necesidad de gestionar en forma conjunta las aguas subterráneas y superficiales mediante el establecimiento de una Junta de Vigilancia (JdV) en la cuenca Río Toltén quien coordine a todos los actores con derechos de agua que participen en sus respectivas OUA, tanto superficial como subterránea.

Finalmente, y cuando se haya implementado normativa que permita la creación de Consejo de cuencas, es cuando las instituciones públicas participarán oficialmente como parte de la gestión de cuencas.

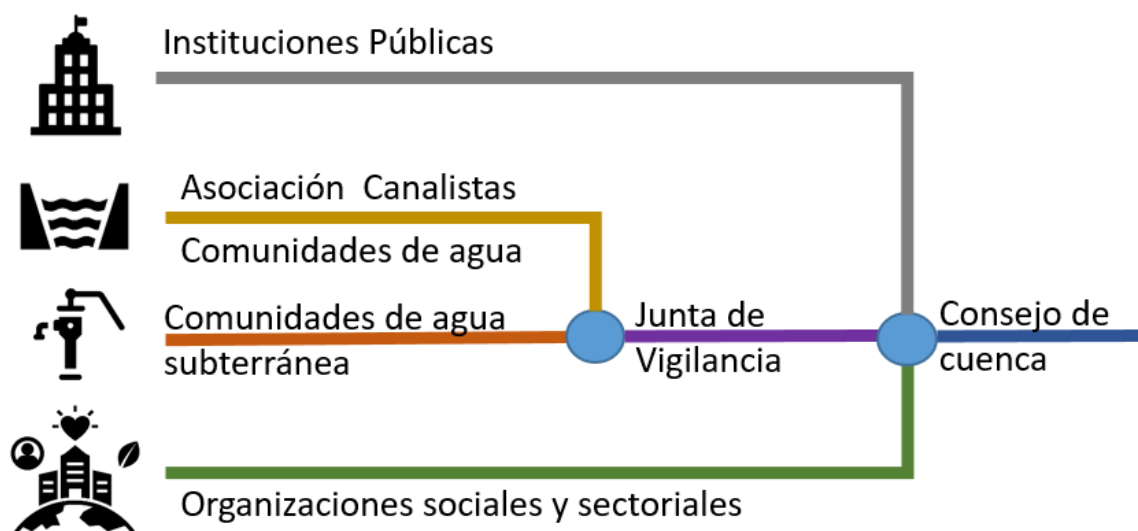


Figura 8-2. Gobernanza del agua propuesto.

Fuente: Elaboración propia basado en Anexo K.

En términos generales, el Consejo de cuencas 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, sectoriales y civiles) y las distintas OUA (Juntas de Vigilancia, CAS y Asociación de Canalistas).

El rol del consejo se formalizará 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.

Desde el punto de vista operativo, el Consejo podrá trabajar mediante grupos de trabajo internos en las distintas áreas que se crea conveniente, como, por ejemplo: Agua potable y tratamiento, conservaciones de ecosistemas acuáticos, actividades productivas consuntivas, no consuntivas e in situ, adaptación y resiliencia al cambio climático, cultura y educación.

Este consejo debiera tener una secretaría técnica que apoye en temáticas técnicas al consejo. La estructura profesional de la Secretaría Técnica propuesta es la siguiente:

1. 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.
2. 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.
3. Staff de Asesores: asesores senior en gestión de recursos hídricos superficiales, subterráneos, materias legales, ambientales y sociales.
4. Equipo de profesioales: equipo permanente de ingenieros que mantienen los modelos hidrológicos, hidrogeológicos y del cumplimiento normativo ambiental, y forma parte de la contraparte técnica de estudios locales.

Es importante que la conformación de este consejo sea autónoma, y cuente con financiamiento propio.

8.2.3. Aspectos de cultura del agua

En paralelo a la gobernanza, es necesario desarrollar otros aspectos de la cultura del agua y que vaya acorde a los criterios de sostenibilidad propuestos por UNESCO, particularmente en Cultura y Educación.

En este sentido y entendiendo la propia solicitud de la ciudadanía en las instancias participativas, es necesario generar los espacios e instancias en donde la población se eduque en temas de eficiencia hídrica, sostenibilidad del recurso y conservación del medio Ambiente.

Por este motivo, se propone una iniciativa que apuntan a dicho interés ciudadano:

- 1) Educación ambiental para la conservación de los ecosistemas y recursos hídricos desde una mirada ecohidrológica. Esta iniciativa desarrolla Programas de formación continua de carácter formal, no formal e informal, dirigido a público general, de diferentes edades, focalizado en entregar los conocimientos sobre conceptos y herramientas de la ecohidrología y que sirvan de apoyo en torno a temáticas de conservación de los ecosistemas y recursos hídricos, como por ejemplo, uso eficiente del agua, desarrollo de soluciones basadas en la naturaleza de manejo comunitario, ecohidrología y calidad del agua.
- 2) Monitoreo desde la participación ciudadana: Esta acción incentiva una metodología participativa para la planificación, la evaluación ambiental y el desarrollo comunitario en territorios con potencial contaminación de las aguas para co-construir (junto a diferentes entidades tanto públicas como privadas) diferentes planes de acción, por ejemplo, colaborar con la oficina de asuntos hídricos o con las campañas educativas en el uso eficiente de agua y mantención de ecosistemas.

8.2.4. Aspectos de financiamiento

El financiamiento es variado, y proviene principalmente de las instituciones que participan en la implementación de las acciones. La DOH es la principal fuente de financiamiento, en conjunto con la DGA de acuerdo a las mejoras en infraestructura de los servicios sanitarios rurales y la densificación del monitoreo.

Durante la ejecución de la elaboración del Plan se evidenciaron algunas instancias en donde es posible llevar a cabo algunas alianzas público-privada, ya sea para el financiamiento como para la operación de las acciones. Estas se refieren principalmente a 1) implementación y seguimiento de un caudal ambiental, siendo las JV o la confederación, y posteriormente el comité de cuenca, 2) Construcción y mantención de las zanjas de infiltración y 3) Programa de monitoreo participativo.

Respecto de la gobernanza, mencionada en los aspectos institucionales, se propone como una instancia pública 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. La secretaría técnica está compuesta por 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.

Además, la oficina de asuntos Hídricos que se instala a nivel local, también debe tener un presupuesto externo que asegure su funcionamiento y autonomía. Esta Oficina presenta un equipo técnico compuesto por un director, un secretario y un profesional técnico.

Ambas instancias de gobernanza deben poseer un financiamiento asegurado que permita su autonomía y continuidad en el tiempo. Se propone que sea el GORE quien realiza las gestiones para el logro del financiamiento.

8.3. ESTRATEGIA DE COMUNICACIÓN

La estrategia de comunicación del Plan considera la difusión y discusión del mismo con los actores públicos y privados que participan de la gobernanza en sus diferentes instancias. La estrategia considera los siguientes elementos:

8.3.1. Público objetivo

El público objetivo se divide en aquellos actores participantes directamente de la gobernanza y gestión del recurso hídrico y sus fuentes naturales. El otro grupo es el resto de la ciudadanía que en mayor o menor grado de participación presenta interés en la gestión de los recursos hídricos.

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, presupuestos y plan de seguimiento.

Se deben abordar en forma específica aspectos que son relevantes para el Plan y su correcta implementación, como lo es el modelo de gobernanza, las brechas identificadas, las acciones propuestas y su mejoramiento en los indicadores.

La comunicación a la ciudadanía, se comunicarán aspectos generales del Plan, sus objetivos, resultados esperados y planificación de puesta en marcha de las distintas acciones. Se hará hincapié en el marco conceptual en el cual fue elaborado el Plan, el cual fue basado en los ODS de la ONU y los criterios de sostenibilidad de cuenca de la UNESCO.

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, se debe incorporar dentro del proceso en tanto se les considere un órgano consultivo para la gobernanza; y en paralelo, deben existir canales de información pública que permitan una cuenta pública de la gestión de los recursos hídricos.

Una buena instancia para realizar la difusión del Plan es a través de la oficina de asuntos hídricos, la cual presentará un alcance Municipal.

8.4. IDENTIFICACIÓN DE FUENTES DE FINANCIAMIENTO DEL PLAN

A continuación, se muestran distintas instancias en donde el Plan puede obtener financiamiento en aquellas iniciativas que deben velar por autonomía en su realización. Se excluye de esta tabla, fondos propios de las distintas instituciones públicas que participan directamente del Plan.

Tabla 8-2. Fuentes de financiamiento para la ejecución del Plan.

Tipo de fuente	Rango de montos	Institución que lo otorga	Descripción financiamiento	Tipo de financiamiento
	100 - 150 Mill de pesos.	Gobierno Regional (GORE)	Fondos para la Innovación y Competitividad, permite al GORE asignar parte del presupuesto total de los recursos correspondientes a este programa a Universidades Estatales o reconocidas por el Estado, destinados a desarrollar y promover investigación aplicada, emprendimiento innovador, desarrollo, difusión y transferencia tecnológica, incluida la destinada al fortalecimiento de capacidades y redes regionales para la innovación, formación y atracción de recursos humanos especializados, infraestructura y equipamiento de apoyo y promoción de la cultura pro innovación y emprendimiento.	Regional
	Depende de la disponibilidad presupuestaria y la priorización de la región.	SUBDERE GORE	Fondo Nacional de Desarrollo Regional, programa de inversiones públicas, a través del cual, el Gobierno Central transfiere recursos a regiones para el desarrollo de acciones en los distintos ámbitos de desarrollo social, económico y cultural de la región con el objeto de obtener un desarrollo territorial armónico y equitativo.	Regional
	4 - 10 Mill de pesos	MMA	Fondo de Protección Ambiental, fondo concursable de carácter nacional que busca apoyar iniciativas ciudadanas y financiar total o parcialmente proyectos o actividades orientados a la protección o reparación del medio ambiente, el desarrollo sustentable, la preservación de la naturaleza o la conservación del patrimonio ambiental.	Nacional
FPR	Monto máximo 10 millones por comuna	MMA	Fondo para el Reciclaje, está destinado a Municipalidades y Asociaciones de Municipalidades, y busca promover hábitos más sustentables en el manejo de residuos, instalar conocimiento técnico y contar con infraestructura apta para la separación y reciclaje.	Nacional

Tipo de fuente	Rango de montos	Institución que lo otorga	Descripción financiamiento	Tipo de financiamiento
FIA	Entre 15 a 60 millones de pesos (proyectos históricos)	MINAGRI GORE	Fundación para la Innovación Agraria, impulsar la innovación en el sector silvoagropecuario y la cadena agroalimentaria asociada, cuenta con fondos de apoyo para la ejecución de iniciativas de innovación en el sector silvoagropecuario, a nivel nacional y regional, y la cadena agroalimentaria asociada. Considera instrumentos como: Proyectos para la innovación, Capital semilla joven para la innovación, Giras para la innovación, Consultorías para la innovación, Eventos para la innovación, Estudios para la innovación	Nacional - Regional
CORFO	<ul style="list-style-type: none"> - PTI: Hasta 5.000 UF - Programa Crédito Verde: US\$ 250 mil - US\$ 7 millones 	CORFO	<p>Tiene como objetivo apoyar el emprendimiento, la innovación y la competitividad en el país junto con fortalecer el capital humano y las capacidades tecnológicas.</p> <p>Cuenta con programas tales como:</p> <p>Programa Territorial Integrado (PTI): conjunto interrelacionado de proyectos y actividades como capacitación, innovación, infraestructura, asistencia técnica, asociativa empresarial y financiamiento, tendientes a crear, desarrollar y mejorar la calidad productiva de un territorio determinado.</p> <p>Programa Crédito Verde (nuevo): busca para potenciar el desarrollo de proyectos que mitiguen los efectos del cambio climático y/o mejoren la sustentabilidad ambiental de las empresas, reimpulsando la inversión en iniciativas de Energía Renovable, Eficiencia Energética y Economía Circular.</p>	Nacional
Programa de Desarrollo de Inversiones - (PDI)	<ul style="list-style-type: none"> •Hasta \$2.500.000 por productor individual al año. •Hasta \$25.000.000 y \$35.000.000 	INDAP	Este programa busca contribuir a la capitalización y/o modernización de los sistemas de producción silvoagropecuarios y/o conexos (turismo rural, artesanía, agregación de valor y servicios) de la Agricultura Familiar Campesina a través del cofinanciamiento de inversiones (proyectos individuales o asociativos).	Nacional

Tipo de fuente	Rango de montos	Institución que lo otorga	Descripción financiamiento	Tipo de financiamiento
	para postulantes asociativos informales y formales, respectivamente			
BID	Hasta 1.5 MM USD	BID	Financiamiento para gestión de cuencas y/o implementación de Soluciones basadas en la naturaleza. En conjunto con otros fondos gestionados por el BID, por ejemplo el Fondo Fiduciario Japonés	Latinoamericano y el Caribe
FFPA	Se determinan anualmente por la Subsecretaría de Pesca.	Ministerio de Economía y Fomento y Turismo - Consejo de Fomento de la Pesca Artesanal	Fondo de Fomento para la Pesca Artesanal, tiene como objetivo promover el desarrollo sustentable del sector pesquero artesanal chileno, y apoyar los esfuerzos de las organizaciones de pescadores artesanales legalmente constituidas de todo Chile, que buscan mejorar las condiciones de vida y laborales de sus asociados, respetando los recursos y el medioambiente, mediante el co-financiamiento de proyectos gestionados por las propias organizaciones.	Nacional
Programa FIPA	Presupuesto asignado en la Ley de Presupuestos de la Nación y por otros aportes	Ministerio de Economía y Fomento y Turismo - Consejo de Investigación Pesquera y de Acuicultura	Fondo de Investigación Pesquera y Acuicultura, está destinado a financiar proyectos de investigación pesquera y de acuicultura, necesarios para fundamentar la adopción de medidas de administración de las pesquerías y de las actividades de acuicultura	Nacional

Tipo de fuente	Rango de montos	Institución que lo otorga	Descripción financiamiento	Tipo de financiamiento
	(como por ejemplo; pagos anticipados de patentes pesqueras y de acuicultura)			
Fondo Concursable para las Organizaciones de Usuarios de Agua (OUA)	Hasta \$5.000.000	CNR	Fondo para proyectos presentados por Organización de usuarios de aguas constituida (Juntas de Vigilancia, Asociaciones de Canalistas, Comunidades de Aguas (superficiales y subterráneas) y Comunidades de Drenaje definidas en el Código de Aguas)	Nacional
INDESPA	150.000 pesos por pescador.	INDESPA	Instituto Nacional de Desarrollo Sustentable de la Pesca Artesanal y de la Acuicultura de Pequeña Escala, financia iniciativas para fomentar, desarrollar y diversificar la actividad productiva sustentable del sector pesquero artesanal, mediante el sistema de Concurso Público, orientados a pescadores y pescadoras artesanales, acuicultores de pequeña escala y organizaciones artesanales del sector.	Nacional

Fuente: Elaboración propia y GORE Atacama (2021).

9. MONITOREO Y EVALUACIÓN DEL PLAN

El PEGH considera establecer un mecanismo de monitoreo y evaluación cuyo objetivo es levantar indicadores que permitan conocer, tanto la efectividad de los resultados obtenidos desde las acciones implementadas como el desarrollo mismo del plan en su globalidad. A partir de este conocimiento, se proponen los mecanismos para el análisis y toma de decisiones asegurando la mejora adaptativa del PEGH.

9.1. PLAN DE MONITOREO

El Plan Estratégico es un proceso de mejoramiento y evaluación continua, permitiendo una gestión adaptativa de los recursos hídrica, presentándose de esta forma flexible ante la efectividad de las acciones como de los intereses de los actores.

Ante esto, el seguimiento debe ser claro y objetivo, sin dar lugar a interpretaciones erróneas. Es por eso que los indicadores de seguimiento juegan un rol importante.

Se proponen entonces dos categorías de indicadores:

- De **Impacto**: son propios de cada iniciativa y miden los resultados obtenidos de la implementación de esta. Estos indicadores están contenidos en la ficha resumen de la iniciativa en el campo métrica (ver Anexo k.1 – Plan de acción).
- De **Ejecución**: corresponden al seguimiento del plan en su globalidad y se refieren a los plazos y el presupuesto.

9.1.1. Indicadores

A continuación, se presentan los indicadores para cada una de las iniciativas del Plan. Se definió distintos indicadores para cada Eje Estratégico, y se distinguió entre indicadores de proceso (aquellos que dan cuenta de una acción que avanza hasta ser completada), e indicadores de impacto (aquellos que se deben evaluar permanentemente y que dan cuenta de variables físicas o umbrales de satisfacción de una condición establecida). Los indicadores de cuenca corresponden a un subconjunto de los indicadores de estado.

Los indicadores se traducen en:

Tabla 9-1. Indicadores del Plan.

Eje	Tipo indicador	Indicador	Meta	Monitoreo	Medio de Verificación	Responsable
Balance y déficit hídrico	Impacto	Volumen de agua aportada (m ³ /año)	120.000 m ³ /año	Niveles de pozo	Formulario de registro	DGA
Seguridad Hídrica para consumo humano	Impacto	Porcentaje de familias con arranque de agua potable	Más del 90% de las familias con arranque	Medidor de agua domiciliario	Registro visual	DOH
Seguridad para conservación	Impacto	Pérdida de biodiversidad	Sin pérdida de biodiversidad en humedales	Riqueza y abundancia de especies	Campañas de seguimiento	MMA
Calidad del agua	Impacto	Cumplimiento de la NSCA	360 días al año con cumplimiento de norma en la totalidad de la red	Campañas de monitoreo fisicoquímico	Análisis de laboratorio	DGA
Seguridad para conservación	Ejecución	Cumplimiento del caudal ambiental	Caudal suficiente en el Río para cumplimiento de Caudal Ambiental	Monitoreo de caudal Riqueza y abundancia de especies acuáticas	Campaña de seguimiento	MMA

Eje	Tipo indicador	Indicador	Meta	Monitoreo	Medio de Verificación	Responsable
Seguridad Hídrica para consumo humano	Impacto	Cantidad de camiones aljibes	Reducir a un 10% cantidad de camiones aljibes	Contratos con proveedores	Factura de pago de servicio	DOH
Gestión Institucional	Ejecución	Capacitación	Capacitar a 50 personas al año	Asistencia a programas de capacitación	Lista de asistencia	Of. De asuntos hídricos
Gestión institucional	Ejecución	Información de calidad del agua	Todas las subcuencas con monitoreo	Chequeo de realización de la campaña	Realización de campaña	DGA
Gestión institucional	Ejecución	Información de nivel freático	Todos los SHAC con monitoreo	Chequeo de realización de la campaña	Realización de campaña	DGA

Fuente: Elaboración propia basado en Anexo K

9.1.2. Seguimiento

El seguimiento permite saber si las acciones consideradas fueron efectivas, así como tomar decisiones en forma temprana, en caso de que la efectividad de las medidas no sea la esperada.

Este paso del Plan cobra importancia, por tanto, es importante que se realice de forma programada y por personas capacitadas para y en constante contacto con la ejecución del Plan. Con el fin que pueda entregar reportes periódicos del grado de cumplimiento de las metas.

Complementariamente, para que el seguimiento sea efectivo, esta información debe ser pública, para ser sometida al escrutinio de la sociedad civil.

9.2. MECANISMOS PARA EL ANÁLISIS Y TOMA DE DECISIONES

Este Plan presenta 3 horizontes de tiempo: Corto, mediano y largo plazo. Ante ello se espera que el seguimiento y toma de decisiones se realice en periodos de tiempos oportuno de acuerdo a los objetivos de cada plazo. De esta forma poder generar un plan adaptativo.

Se deben generar distintas instancias de toma de decisión, con horizonte a 2, 5 y 10 años, que permitan incorporar de manera permanente las mejoras que se requieran para el Plan general, producto del análisis de la ejecución del mismo, de sus resultados, y de los cambios de contexto.

Estas instancias de toma de decisión deben ser coordinados por la secretaria técnica del comité de cuencas quienes revisen el cumplimiento dentro del periodo anterior, y se ajusten las iniciativas.

10. ASPECTOS NORMATIVOS

Para la implementación del Plan hay ciertos aspectos normativos a tener en cuenta. Cada una de las iniciativas implementadas se veló que pudiesen implementarse, aunque sea en forma primera instancia, mediante normativa vigente.

Existen políticas y estrategias intersectoriales que promueven la coherencia entre políticas de agua ("Código de Aguas") y áreas clave como, por ejemplo, medio ambiente (Ley 19.300 Bases Generales del Medio Ambiente), salud (Decreto 735 Reglamento de los Servicios de Agua Destinados al Consumo Humano), agricultura (Ley 18.450 Normas Para el Fomento de la Inversión Privada en Obras de Riego y Drenaje), planificación territorial (Decreto 458 Ley General de Construcciones y Urbanización), entre otros.

A continuación, se identifican algunas condicionantes normativas para la implementación de ciertas iniciativas:

- a) Mejora de infraestructura hidráulica de conducción. En general no requieren autorización de organismos públicos mientras se ejecute dentro de los marcos normativos establecidos en el Código de Aguas. Las iniciativas contenidas en este acápite: OH-02; OH-03 y OH-04
- b) Recarga artificial de acuíferos. Requiere cumplir la normativa asociada al Código de Aguas, en lo relativo a la recarga de acuíferos, a la titularidad de los derechos de aprovechamiento utilizados y, eventualmente, a la construcción de obras de infraestructura hidráulica. Además, se deberá cumplir la normativa sobre la calidad del agua, aplicable a los vertidos a las aguas subterráneas. Iniciativas contenidas en este acápite: RA-01
- c) Iniciativas para restauración ambiental en espacios privados o bienes nacionales. Se trata de iniciativas que pudieran requerir de autorización ambiental a través del SEIA o formar parte de una RCA, en especial si corresponden a áreas con algún tipo de protección ambiental. Asimismo, pueden integrar planes de abandono. En el país, no hay una legislación relativa a recuperación de pasivos ambientales. Iniciativas que pueden verse afectadas por esta normativa: OM-01, OM-02, OM-03 y RA-01
- d) Oficina de Asuntos Hídricos: desde los aspectos legales y de factibilidad, se espera que esta iniciativa se contemple dentro del marco de la realización de un convenio de colaboración realizado entre el Gobierno Regional y la Municipalidad, en el que la DGA pueda prestar colaboración. Esta instancia es factible a raíz de la Ley N° 18.695 en donde los municipios son corporaciones autónomas de derecho público, con personalidad jurídica y patrimonio propio, tienen como finalidad satisfacer las necesidades de la comunidad local y, asegurar su participación en el progreso económico, social y cultural de las respectivas comunas. Iniciativas que pueden verse afectadas por esta normativa: AG-01
- e) Confederación de juntas de vigilancia: aspectos legales y factibilidad: Debido a la necesidad de que exista una coordinación integral del territorio, y considerando que se creará más de una junta de vigilancia se propone desarrollar un Comité de cuenca en el que se accede a la participación no solo de juntas de vigilancias, com unidades de agua y asociación de canalistas, sino también a la participación de otros actores (asociación de APR, universidades, instituciones públicas, organizaciones

ambientales y juntas de vecinos). Es por ello que dentro del marco legal y factibilidad de la iniciativa se puede observar como ejemplo la Federación de junta de Vigilancia de Ríos y Esteros de la Sexta Región, que se constituyó como una corporación de derecho privado y que tiene personalidad jurídica otorgada de acuerdo al Decreto Exento N° 2.256 del Ministerio de Justicia. La figura de corporación de derecho privado permite la integración de otros actores que no sean juntas de vigilancia. Iniciativas que pueden verse afectadas por esta normativa: AG-02

- a) Código de Aguas: la normativa vigente basado en el código de aguas permite esta forma de organización. La estrategia se resume en: 1.- Generación de OUA para usuarios con derechos de agua, 2.- Generación de Juntas de Vigilancia para la coordinación de los actores con derechos de aguas regularizados, 3.- Conformación de una confederación de juntas de vigilancia, tal que en sus estatutos permita la agrupación de la totalidad de las Juntas de Vigilancia de la cuenca, así como la incorporación de organismos o usuarios que no responden a una organización netamente territorial o bien que no tienen derechos de aguas asociados, pero que hacen uso del recurso para sus intereses. Esta confederación dota de personalidad jurídica a esta agrupación y, por tanto, el poder acceder a financiamiento externo. Las iniciativa que pueden verse afectadas por esta normativa son: FO-01; FO-03; FO-04.

Sin embargo, existen ciertos elementos en los cuales el Plan no tiene competencia normativa, sin embargo, es necesario que el Plan pueda adherirse a estos.

En primer lugar, y durante todas las instancias participativas, se comentó la necesidad de desarrollar Planes de ordenamiento territorial, tal que puedan normar el desarrollo de actividades en zonas rurales y por tanto, compatibilizar el crecimiento con la demanda de agua potable, con evitar eventos de contaminación, tanto puntual como difusa y para permitir la gestión de recursos hídricos de una forma eficiente.

En este sentido, el Plan debe ser parte de un Plan de Ordenamiento territorial, buscando la compatibilización entre distintos usuarios, suministrando seguridad hídrica y velando por la conservación del medio ambiente.

Otro aspecto importante es que es necesario que el Plan no solo se enmarque dentro de un ordenamiento territorial, sino que también debe estar bajo una política regional de recursos hídricos y sostenibilidad.

Finalmente, el modelo de gobernanza propone la creación de un comité de cuencas, que sea autónomo y que tenga una participación pública-privada. Estando presentes representantes del Estado a través de instituciones públicas con directa relación con el recurso hídrico y sus fuentes naturales, así como actores con derechos de agua asignados y otros usuarios o representante de organismo que no poseen derechos de agua, pero que sus actividades o interés están plenamente ligados al recurso hídrico y sus fuentes naturales

Actualmente, no existe la normativa que permita la creación de dicho comité y por tanto este se propone que sea implementado en etapas bajo los alcances que permite la normativa vigente. En ese sentido, se abordó mediante la aproximación bottom-up, es decir, construyendo desde la escala espacial menor hacia una escala espacial mayor de

gestión. Se espera que, a lo largo de implementación del plan, se genere la normativa que permita la creación y operación de un ente autónomo.