



**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 BUENO

INFORME FINAL

REALIZADO POR

**UTP PLATAFORMA DE INVESTIGACIÓN EN
ECOHIDROLOGÍA Y ECOHIDRÁULICA LIMITADA
ECOHD 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

Geógrafo 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. Manuel Carvalho 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 A - Abreviaturas**
- **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	15
1.1. OBJETIVOS	16
1.1.1. Objetivo general	16
1.1.2. Objetivos específicos	16
2. CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA	18
2.1. Dimensión física	18
2.1.1. División política administrativa	18
2.1.2. Topografía	20
2.1.3. Geomorfología	22
2.1.4. Geología	24
2.1.5. Hidrogeología	26
2.1.6. Edafología	29
2.1.7. Red de drenaje superficial y acuíferos	29
2.1.8. Demografía	34
2.1.9. Actividad económica	36
2.1.10. Uso de suelo	37
2.2. Clima	41
2.2.1. Caracterización climática	41
2.2.2. Escenarios de cambio climático	45
2.2.3. Eventos extremos y variabilidad climática	46
2.3. Dimensión ambiental	47
2.3.1. Unidades ecosistémicas	47
2.3.2. Glaciares	57
2.4. Infraestructura hídrica	60
2.4.1. Obras hidráulicas	60
2.4.2. Redes de medición	65
2.4.3. Red de calidad	70
2.4.4. Red glaciológica y de nieves	75
2.5. Nuevas fuentes existentes	75
2.5.1. Acuíferos profundos	75
2.5.2. Recarga de acuíferos	75
2.5.3. Desalinización	75
2.5.4. Cosecha de aguas lluvias	75
2.5.5. Usos de aguas servidas tratadas	75
2.6. Gobernanza del agua a nivel de cuenca	75
2.6.1. Actores relevantes de la cuenca	77
2.6.2. Mapa de actores	78
2.6.3. Brechas de coordinación	80
2.6.4. Brechas de información	81

3. DEMANDA FÍSICA Y LEGAL DIFERENTES USOS	82
3.1. CONSUMO HUMANO	82
3.1.1. Demanda actual.....	82
3.1.2. Demanda Futura	85
3.2. NECESIDADES MÍNIMAS AMBIENTALES.....	86
3.2.1. Consideración de sistemas protegidos	87
3.2.2. Derechos de agua para el medio ambiente.....	87
3.3. DEMANDA AGRÍCOLA Y FORESTAL.....	88
3.3.1. Zonas de riego modeladas	88
3.3.2. Derechos de agua para la agricultura.....	93
3.3.3. Demanda actual.....	93
3.3.4. Demanda futura.....	94
3.4. DEMANDA PECUARIA	95
3.4.1. Demanda actual.....	96
3.4.2. Demanda futura.....	96
3.5. DEMANDA MINERA	96
3.6. DEMANDA INDUSTRIAL	96
3.6.1. Demanda actual.....	97
3.6.2. Demanda futura.....	97
3.7. DEMANDA DE PISCICULTURAS	98
3.7.1. Demanda actual.....	100
3.7.2. Demanda futura.....	100
3.8. DEMANDA HIDROELÉCTRICA.....	101
3.8.1. Demanda actual.....	101
3.8.2. Demanda futura.....	102
3.9. RESUMEN DE DEMANDA HÍDRICA ACTUAL Y FUTURA	102
4. OFERTA HÍDRICA	105
4.1. Agua superficial	105
4.1.1. Fuentes	105
4.1.2. Oferta en la fuente	107
4.1.3. Oferta en la fuente proyectada	110
4.1.4. Calidad actual.....	111
4.1.5. Fuentes de contaminación	113
4.2. Agua subterránea.....	117
4.2.1. Sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común SHAC	117
4.2.2. Stock, recarga y niveles	118
4.2.3. Estadísticas de parámetros de calidad	121
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	138
5.1.3. Calibración y resultados de modelo acoplado	139
5.2. Balance hídrico.....	143

5.2.1. Balance hídrico previo a la modelación	143
5.2.2. Balance hídrico modelo acoplado	145
5.2.3. Diferencias entre demandas teóricas y demandas modeladas	151
5.2.4. Recargas	151
5.3. Brechas	153
5.3.1. Brechas de balance hídrico	153
5.3.2. Otras brechas	159
5.4. Sustentabilidad	160
5.5. Indicadores hídricos de la cuenca	163
5.5.1. Indicadores bajo condición histórica	164
5.5.2. Indicadores bajo condición futura.....	164
Análisis de sensibilidad	166
5.5.3. Descripción de escenarios de simulación.....	166
5.5.4. Resultados	168
5.6. Mercado de aguas.....	169
5.6.1. Análisis de transacciones depuradas	171
<u>6. ACCIONES DEL PLAN</u>	<u>178</u>
6.1. Gobernanza	178
6.2. Fortalecimiento de Organizaciones de Usuarios de Agua	181
6.3. Recarga de Acuíferos	183
6.4. Mejoras de eficiencia	185
6.5. Sistemas de Información	185
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. Síntesis de la selección de alternativas priorizadas	205
7.6. Evaluación conjunta del plan	208
7.7. Líneas de acción.....	213
7.7.1. Ejecutora o mandante DGA	213
7.7.2. Otras instituciones	214
7.8. Valorización económica del Plan Estratégico de Gestión Hídrica	215
7.8.1. Distribución de costos por actores	218
7.9. Cronograma de las soluciones.....	219
<u>8. IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN</u>	<u>220</u>
8.1. Hitos de referencia en la implementación del Plan	220
8.2. Estrategia de implementación	221
8.2.1. Estructura del Plan de Gestión	221
8.2.2. Aspectos institucionales.....	221
8.2.3. Aspectos de cultura del agua	224
8.2.4. Aspectos de financiamiento	225

8.3. Estrategia de comunicación	225
8.3.1. Público objetivo	225
8.3.2. Contenidos a comunicar	226
8.3.3. Medios de comunicación	226
8.4. Identificación de fuentes de financiamiento del Plan	226
<u>9. MONITOREO Y EVALUACIÓN DEL PLAN</u>	<u>231</u>
9.1. PLAN DE MONITOREO	231
9.1.1. Indicadores	231
9.1.2. Seguimiento	234
9.2. MECANISMOS PARA EL ANÁLISIS Y TOMA DE DECISIONES	234
<u>10. ASPECTOS NORMATIVOS</u>	<u>235</u>

ÍNDICE DE FIGURAS

Página

Figura 2-1. División político-administrativa comunal de la cuenca Río Bueno.	19
Figura 2-2. Topografía y fisiografía de la cuenca Río Bueno.	21
Figura 2-3. Geomorfología de la cuenca Río Bueno.	23
Figura 2-4. Geología de la cuenca Río Bueno.	25
Figura 2-5. Acuífero depresión intermedia del Río Bueno.	27
Figura 2-6. Acuífero Aluvial del Río Bueno y Rahue.	28
Figura 2-7. Red de drenaje de la cuenca Río Bueno.	30
Figura 2-8. Distribución espacial SHACs en la cuenca Río Bueno.	33
Figura 2-9. Porcentajes de las principales ramas de actividad económica en la cuenca Río Bueno.	36
Figura 2-10. Actividad silvoagropecuaria por comunas de la población activa de la cuenca Río Bueno.	37
Figura 2-11. Evolución temporal (2001-2019) de los usos de suelo para el PEGH de Río Bueno.	39
Figura 2-12. Distribución del uso del suelo reclasificado al año 2019 en la cuenca Río Bueno.	40
Figura 2-13. Climograma representativo cuenca Río Bueno. Integración producto CR2MET, intervalo 2010-2020.	41
Figura 2-14. Media móvil de precipitaciones, estación Río Pilmaiquén en San Pablo.	42
Figura 2-15. Promedio anual 1979-2015 precipitación. Producto grillado de la Actualización Balance Hídrico.	43
Figura 2-16. Promedio anual 1979-2015 temperatura. Producto grillado de la Actualización Balance Hídrico.	44
Figura 2-17. Comparación de GCM. Los destacados corresponden a los utilizados por el BHN.	45
Figura 2-18. Precipitación máxima en 24h según período de retorno para la estación Rupanco ajustada a una función Pearson 3.	46
Figura 2-19. Los pisos vegetacionales según Pliscoff que se podría encontrar en la cuenca Río Bueno.	49
Figura 2-20. Los tipos de territorios inundados dentro de la cuenca Río Bueno, según el Inventario Nacional de Humedales. El sector de Humedal Las Vegas de Trumao es indicado en detalle.	51
Figura 2-21. Áreas protegidas privadas dentro de la cuenca Río Bueno.	55
Figura 2-22. Glaciares dentro de la cuenca Río Bueno.	58
Figura 2-23. Ubicación de las centrales hidroeléctricas en la cuenca Río Bueno.	61
Figura 2-24. Ubicación de las pisciculturas en la cuenca Río Bueno.	62
Figura 2-25. Localización de las SSR en la cuenca Río Bueno.	64
Figura 2-26. Ubicación de estaciones meteorológicas pertenecientes a la red AGROMET.	66
Figura 2-27. Ubicación estaciones fluviométricas en la cuenca Río Bueno.	67

Figura 2-28. Comparación de series de datos de estaciones fluviométricas en cuenca Río Bueno.....	68
Figura 2-29. Ubicación de los pozos DGA y SISS.	69
Figura 2-30. Hidrograma pozo Multicancha Villa Los Ríos en La Unión.	70
Figura 2-31. La distribución geográfica de las estaciones de calidad de agua superficial por subcuenca.	72
Figura 2-32. Distribución geográfica de las estaciones de calidad de agua subterránea por SHAC.....	74
Figura 2-33. Mapa de actores, según nivel de influencia e interés, de las instituciones públicas y organizaciones sociales presentes en la cuenca Río Bueno.	79
Figura 3-1. Esquema metodológico de estimación para demanda hídrica por consumo humano.	82
Figura 3-2. Distribución porcentual de la demanda Agua Potable en la cuenca.	83
Figura 3-3. Distribución porcentual del caudal otorgado para uso doméstico	85
Figura 3-4. Estimación de la DHF para Agua Potable Rural [$\text{hm}^3/\text{año}$].	86
Figura 3-5. Estimación de la DHF para Agua Potable Urbana [$\text{hm}^3/\text{año}$].	86
Figura 3-6. Esquema de flujo de trabajo para obtener demanda agrícola.	88
Figura 3-7. Distritos censales en cuenca Río Bueno.	89
Figura 3-8. Esquema metodológico de estimación para demanda hídrica pecuaria en la cuenca.....	95
Figura 3-9. Localización de piscicultura en la cuenca Río Bueno.	99
Figura 3-10. Esquema metodológico para la demanda hidroeléctrica.	101
Figura 3-11. Resumen de la demanda hídrica de tipo consuntiva para diferentes usos..	103
Figura 3-12. Resumen de la Demanda Hídrica de tipo consuntiva para uso Agrícola.	103
Figura 3-13. Demanda hídrica actual y futura de tipo no consuntiva en la cuenca.	104
Figura 4-1. Subcuencas de la cuenca Río Bueno.	106
Figura 4-2. Curvas de variación estacional de precipitación. Estación Río Pilmaiquén en San Pablo.	107
Figura 4-3. Curvas de variación estacional de caudal. Estación Río Pilmaiquén en San Pablo.	108
Figura 4-4. Oferta hídrica superficial anual para los principales cauces en la cuenca Río Bueno.....	109
Figura 4-5. Curvas de variación estacional de caudal. Estación Río Bueno en Bueno. Periodo 2020-2050.	110
Figura 4-6. Oferta hídrica superficial proyectada para los principales cauces en la cuenca Río Bueno.	111
Figura 4-7. Frecuencia de medición de Boro, Mercurio y Molibdeno versus frecuencia de reporte de valor repetido [mg/L].	114
Figura 4-8. Porcentaje de muestras que superan las normas de calidad de agua de Hierro, Manganeso, Sodio porcentual y pH en cada subcuenca.	116
Figura 4-9. Sistema Hidrogeológicos de Aprovechamiento común presentes en la cuenca Río Bueno.	117
Figura 4-10. Piezometría acuífero depresión intermedia Río Bueno DGA (2016).	120
Figura 4-11. Piezometría acuífero Aluvial ríos Bueno y Rahue DGA (2016).	121

Figura 4-12. Porcentajes de muestras que superan las normas de calidad de agua de Hierro, Manganeso, Sodio porcentual y pH en cada SHAC.	124
Figura 4-13. Distribución espacial de los derechos de agua superficial otorgados en la cuenca Río Bueno.	126
Figura 4-14. Distribución espacial de los derechos de agua subterráneos otorgados en la cuenca Río Bueno.	127
Figura 5-1. Grilla original de producto grillado respecto a la superficie de la cuenca Río Bueno.	130
Figura 5-2. Refinamiento, recorte e integración de un producto grillado con respecto a la superficie de la cuenca Río bueno.	130
Figura 5-3. Precipitación mensual. Periodo 1979-2050.	133
Figura 5-4. Precipitación anual. Periodo 1979-2050.	133
Figura 5-5. Temperatura mensual. Periodo 1979-2050.	134
Figura 5-6. Temperatura anual. Periodo 1979-2050.	134
Figura 5-7. <i>Catchments</i> en WEAP. Los puntos verdes representan las 32 <i>catchments</i> simuladas y delimitadas por las líneas naranja.	135
Figura 5-8. Distribución Nodos Acuíferos en WEAP. El área en naranja representa el dominio activo del modelo subterráneo (Linkage) 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 Bueno.	138
Figura 5-10. Vinculación de WEAP con MODFLOW.	139
Figura 5-11. Simulación de caudales medios en estación Río Pilmaiquen en San Pablo.	140
Figura 5-12. Simulación de caudales medios en estación Río Bueno en Bueno.	140
Figura 5-13. Indicador de eficiencia y gráficos de series semanales. Río Rahue en Forrahue.	141
Figura 5-14. Indicador de eficiencia NSE en las estaciones. Series mensuales.	142
Figura 5-15. Balance hídrico mensual de la cuenca Río Bueno paras las décadas de 2010 - 2020 y 2040-2050.	145
Figura 5-16. Balance Hídrico anual 1990-2050, cuenca Río Bueno.	146
Figura 5-17. Disponibilidad Hídrica anual 1990-2050. Cuenca Río Bueno.	146
Figura 5-18. Balance hídrico mensual por décadas. Periodo 1990-2050, Cuenca Río Bueno.	147
Figura 5-19. Balance hídrico mensual para década 2010-2020.	150
Figura 5-20. Balance hídrico mensual para década 2040-2050.	150
Figura 5-21. Brecha para agua potable rural, demandas agrícolas bajo riego, y demandas consuntivas del Río Bueno.	154
Figura 5-22. Distribución anual del número de DAA transados en cuenca Río Bueno, periodo de Fecha de Inscripción en CBR entre 1982-2020.	171
Figura 5-23. Distribución anual del caudal promedio transado en cuenca Río Bueno, periodo de Fecha de Inscripción en CBR entre 2000-2020.	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. Distribución de costos del plan por eje de acción.	200
Figura 7-4. Distribución de la priorización de acciones.	208

Figura 7-5. Esquema temporal de la simulación del PEGH para la cuenca Río Bueno. ...	209
Figura 7-6. Variación de la brecha total al implementar el PEGH en la cuenca Río Bueno.	210
Figura 7-7. Evolución temporal de la brecha agrícola bajo escenario histórico, futuro y con la implementación del Plan en la cuenca Río Bueno.	210
Figura 7-8. Evolución temporal de la cobertura de la demanda agrícola bajo escenario histórico, futuro y con la implementación del Plan en la cuenca Río Bueno.	211
Figura 7-9. Evolución temporal de la brecha de agua potable bajo escenario histórico, futuro y con la implementación del Plan en la cuenca Río Bueno.	212
Figura 7-10. Evolución temporal de la cobertura de agua potable bajo escenario histórico, futuro y con la implementación del Plan en la cuenca Río Bueno.	212
Figura 7-11. 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 Bueno.	216
Figura 7-12. Distribución de los costos de implementación y operación del Plan Estratégico de Gestión Hídrica del Río Bueno.	217
Figura 7-13. Distribución anual del costo del Plan.	218
Figura 7-14. Línea de tiempo de implementación de las acciones.	219
Figura 8-1. Estructura del Plan Estratégico.	221
Figura 8-2. Gobernanza del agua propuesto.	223

ÍNDICE DE TABLAS

Página

Tabla 2-1. Características subcuencas de Río Bueno.....	31
Tabla 2-2. Proyección de la población comunal rural en la cuenca Río Bueno.	35
Tabla 2-3. Proyección de la población comunal urbano en la cuenca Río Bueno.	35
Tabla 2-4. Esquema de clasificación del IGBP, superficie al 2019 y correspondencia con categoría reclasificada en el PEGH de Río Bueno.	38
Tabla 2-5. Precipitación máxima en 24h según período de retorno para la estación Rupanco ajustada a una función Pearson 3.	46
Tabla 2-6. Tipos de pisos vegetacionales y sus extensiones geográficas dentro de la cuenca Río Bueno.	48
Tabla 2-7. Evaluación de las extensiones de áreas inundados dentro de la cuenca Río Bueno.	50
Tabla 2-8. Peces de agua dulce presente dentro de la cuenca Río Bueno.	53
Tabla 2-9. Tipos de áreas bajo de protección oficial y con otras figuras de conservación del paisaje dentro de la cuenca Río Bueno.....	56
Tabla 2-10. Extensiones y clases de glaciares dentro de la cuenca Río Bueno.	57
Tabla 2-11. Número de estaciones de calidad de agua superficial de la DGA dentro de cada subcuenca del sistema hidrográfica Río Bueno.	71
Tabla 2-12. Número de estaciones de calidad de agua subterránea de la DGA dentro de cada SHAC del acuífero del Río Bueno.	73
Tabla 2-13. Cantidad de organismo o instituciones presentes en la cuenca Río Bueno con vinculación en el recurso hídrico.	77
Tabla 3-1. Demanda Hídrica en Agua Potable en la cuenca Río Bueno.	83
Tabla 3-2. Distribución de DAA para uso doméstico.	84
Tabla 3-3. Distribución de los cultivos en cuenca Río Bueno.	90
Tabla 3-4. Simplificación WEAP de los cultivos en cuenca de Río Bueno.	91
Tabla 3-5. Coeficiente de los cultivos en cuenca Río Bueno utilizados en el balance preliminar.	92
Tabla 3-6. DAA otorgados para uso Silvoagropecuario y Uso de Riego.	93
Tabla 3-7. DAA otorgados para uso Silvoagropecuario y Uso de Riego.	94
Tabla 3-8. Demanda Evapotranspirativa según tipo de riego. Cuenca Río Bueno.	94
Tabla 3-9. Demanda Hídrica para consumo ganadero.	96
Tabla 3-10. Estimación futura de la demanda hídrica en ganadería.	96
Tabla 3-11. Demanda hídrica actual por DAA consuntivos en Uso Industrial.	97
Tabla 3-12. Demanda hídrica actual por DAA no consuntivos en Uso Industrial.	97
Tabla 3-13. Estimación futura de la demanda hídrica en uso industrial.	98
Tabla 3-14. Demanda hídrica actual por DAA consuntivos en Pisciculturas.	100
Tabla 3-15. Demanda hídrica actual por DAA no consuntivos en Pisciculturas.	100
Tabla 3-16. Estimación futura de la demanda hídrica en pisciculturas.....	101
Tabla 3-17. Demanda Hídrica por Hidroeléctricas en la cuenca Río Bueno.	102
Tabla 3-18. Estimación futura de la demanda hídrica en hidroelectricidad.	102

Tabla 4-1. Caudal mensual asociado a una probabilidad de un 85% de excedencia en las estaciones consideradas.....	109
Tabla 4-2. Caudal mensual proyectado asociado a una probabilidad de un 85% de excedencia en las estaciones consideradas.	111
Tabla 4-3. Evaluación del número de muestras que no cumple a las normas chilenas NCh 409/1 y NCh 1333.	112
Tabla 4-4. Volúmenes de acuífero y embalsado.	118
Tabla 4-5. Recarga por SHAC.....	118
Tabla 4-6. Recarga por SHAC.....	119
Tabla 4-7. Evaluación de ICA general en cada SHAC de la cuenca Río Bueno.	122
Tabla 4-8. Derechos de Agua de tipo Consuntivo en la cuenca Río Bueno.	125
Tabla 4-9. DAA de tipo No consuntivos en la cuenca Río Bueno.	125
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 Bueno para la década de 2010. ..	143
Tabla 5-6. Precipitación y evapotranspiración del Río Bueno para la década de 2040. ..	143
Tabla 5-7. Balance hídrico mensual de la cuenca Río Bueno paras las décadas de 2010 y 2040.	144
Tabla 5-8. Balance Hídrico, cuenca Río Bueno modelo acoplado. Unidades de [hm ³ /año].	148
Tabla 5-9. Nodos Acuíferos en WEAP.....	151
Tabla 5-10. Resumen de flujos de entradas y salidas e los distintos SHACS. Periodo 1990-2020.	151
Tabla 5-11. Resumen de flujos de entradas y salidas de los distintos SHACS. Periodo 2020-2050.	152
Tabla 5-12. Brecha SHAC Bueno Superior. Periodo 1990-2020.....	155
Tabla 5-13. Brecha SHAC Bueno Medio. Periodo 1990-2020.	155
Tabla 5-14. Brecha Bueno Inferior. Periodo 1990-2020.....	155
Tabla 5-15. Brecha Rahue. Periodo 1990-2020.	156
Tabla 5-16. Bechas proyectadas Bueno Superior. Periodo 2020-2050.....	156
Tabla 5-17. Brechas proyectadas Bueno Medio. Periodo 2020-2050.	156
Tabla 5-18. Brechas proyectadas Bueno inferior. Periodo 2020-2050.	157
Tabla 5-19. Brechas proyectadas Rahue. Periodo 2020-2050.	157
Tabla 5-20. Resumen de criterios de Sustentabilidad para el caso base IPSL.	163
Tabla 5-21. Indicadores de brecha, cobertura de la demanda y variación del acuífero para la condición histórica en la cuenca Río Bueno.	164
Tabla 5-22. Indicadores de brecha, cobertura de la demanda y variación del acuífero para la condición futura en la cuenca Río Bueno.	165
Tabla 5-23. Escenarios generados para simulación de efectividad de las medidas.	166
Tabla 5-24. Escenarios base generados para simulación de efectividad de las medidas.	167

Tabla 5-25. Resultados de la simulación de los escenarios como promedio decadal 2040 - 2050 en las cuencas del Río Bueno.	168
Tabla 5-26. Transacciones según naturaleza del agua en la cuenca Río Bueno, años 1982 – 2020.	170
Tabla 5-27. Aplicación incremental de criterios de depuración para transacciones en cuenca Río Bueno.	172
Tabla 5-28. Transacciones depuradas por tipo de ejercicio del DAA.	172
Tabla 5-29. Número de transacciones y caudal vendido y comprado por sector en la cuenca Río Bueno.	174
Tabla 5-30. Resultado de las transacciones subterráneas de los DAA en cuenca Río Bueno.	176
Tabla 5-31. Resultado de las transacciones superficiales de los DAA en cuenca Río Bueno.	177
Tabla 5-32. Ofertas de venta de DAA con naturaleza superficial en cuenca Río Bueno. .	177
Tabla 6-1. Resumen de las acciones necesarias para disminuir las brechas identificadas sobre la cuenca Río Bueno.	180
Tabla 6-2. Resumen de las acciones necesarias para disminuir las brechas identificadas en las OUAs en el Río Bueno.	182
Tabla 6-3. Resumen de las acciones necesarias sobre la protección del acuífero en la cuenca Río Bueno.	184
Tabla 6-4. Resumen de las acciones identificadas sobre la carencia de información para la caracterización del recurso hídrico en el Río Bueno.	186
Tabla 6-5. Resumen de las acciones identificadas sobre la implementación de nueva infraestructura hidráulica en la cuenca Río Bueno.	189
Tabla 6-6. Resumen de las acciones identificadas sobre las debilidades en capital humano asociadas a OUA en la cuenca Río Bueno.	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 Bueno. .	193
Tabla 7-1. Priorización de las acciones.	197
Tabla 7-2. Plazos de implementación de las acciones.	202
Tabla 7-3. Priorización de las acciones definidas.	205
Tabla 7-4. Promedio decadales de los indicadores del plan PEGH en la cuenca Río Bueno y su comparación con el escenario futuro e histórico.	209
Tabla 7-5. Otras Instituciones responsables principales de cada una de las iniciativas. .	214
Tabla 7-6. Distribución de costos por actores y plazos.	218
Tabla 8-1. Hitos del PEGH de la cuenca Río Bueno.	220
Tabla 8-2. Rol de las instituciones sectoriales y regionales en la implementación del Plan.	222
Tabla 8-3. Fuentes de financiamiento para la ejecución del Plan.	227
Tabla 9-1. Metas y monitoreo asociados a los indicadores propuestos.	232

1. INTRODUCCIÓN

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 Bueno, 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).

2.1. Dimensión física

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

2.1.1. División política administrativa

La cuenca Río Bueno posee una superficie de 15.158 km², colinda por el norte con la cuenca del Río Valdivia y por el sur con las "Cuencas e Islas entre Río Bueno y Río Puelo". La cuenca en su división político-administrativa es parte de la región de Los Ríos y la región de Los Lagos, comprendiendo la totalidad o parte de las comunas de La Unión, Paillaco, Futrono, Lago Ranco, Río Bueno, San Pablo, San Juan de la Costa, Osorno, Puyehue, Río Negro, Puerto Octay, Purranque, Frutillar, Fresia, Llanquihue y San Juan de la Costa. La Figura 2-1 muestra la ubicación de dichas comunas dentro de la cuenca Río Bueno.

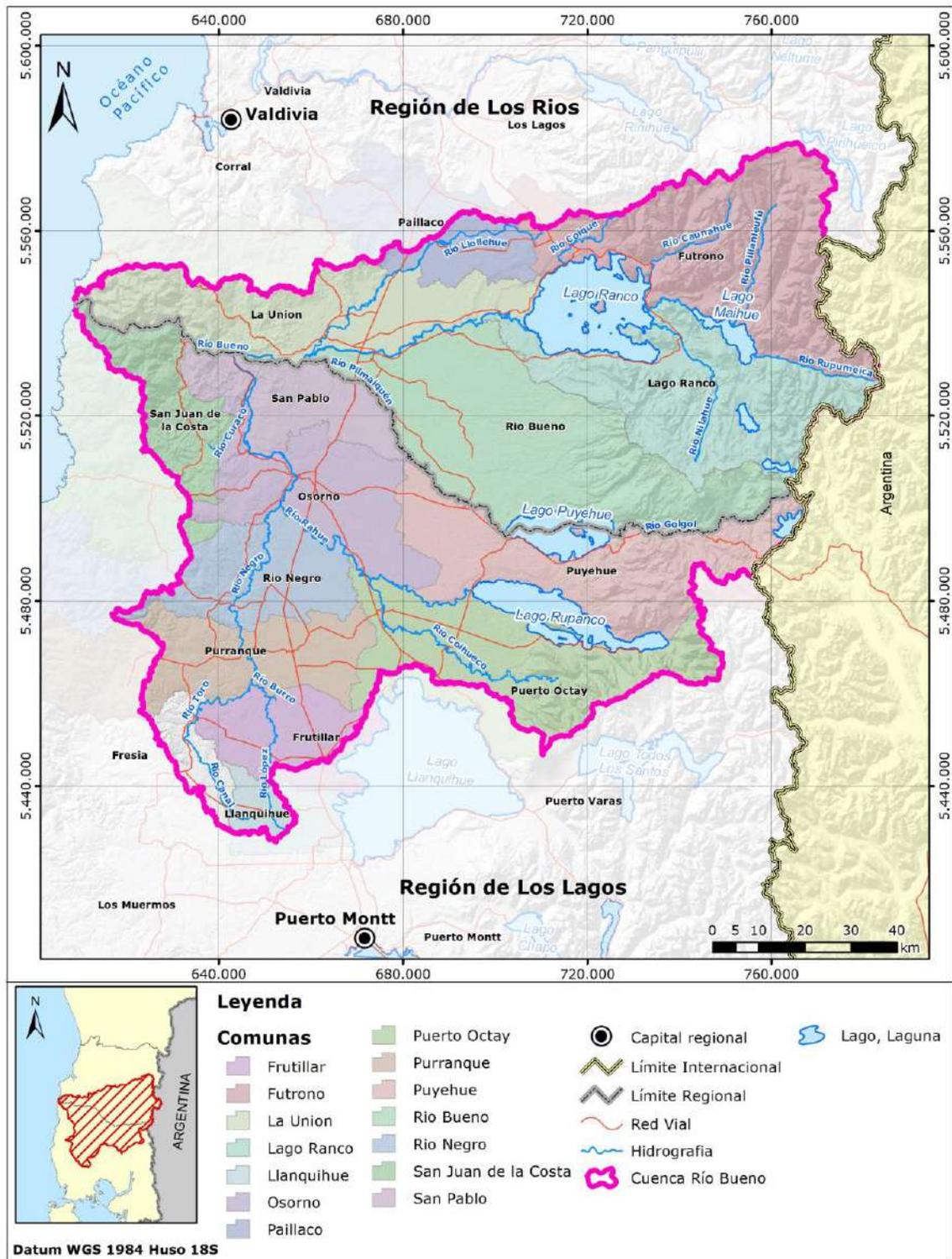


Figura 2-1. División político-administrativa comunal de la cuenca Río Bueno.
 Fuente: Elaboración propia a partir de DPA de SUBDERE (2020).

2.1.2. Topografía

La topografía de la cuenca Río Bueno muestra tres zonas topográficas claramente marcadas (ver Figura 2-2):

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. La mayor altura presente en la cuenca corresponde al volcán Puyehue, con 2.240 m s.n.m.

Depresión Intermedia: Es en esta región donde recobra su característica de valle longitudinal, luego de haber sido interrumpido al norte de Valdivia por el cordón transversal conocido como Lastarria que le quita a los valles su continuidad. Una de sus mayores características es que se encuentra cortada por numerosos lagos de origen glaciar. Esta región posee una altura media de 200 m s.n.m que aumenta en elevación hacia el sector oriente de la cuenca.

Producto de una antigua actividad conjunta de volcanes y glaciares, se produjeron obstrucciones de algunos de los cursos de agua que nacen en la cordillera, lo que dio origen a lagos, tales como: Pirihueico, Riñihue, Ranco y Maihue.

Cordillera de la Costa: La Cordillera de la Costa en el sector de la desembocadura del Río Bueno, la cual recibe diversas denominaciones, presentándose un poco más robusta. Esta cordillera se evidencia en el sector de la desembocadura de la cuenca y registra una altura promedio de 500 m s.n.m. lo cual va a ejercer un importante efecto de biombo climático sobre las localidades de la depresión intermedia

Planicies litorales: Se caracterizan por ser angostas y poco desarrolladas, debido a la presencia de la cordillera costera.

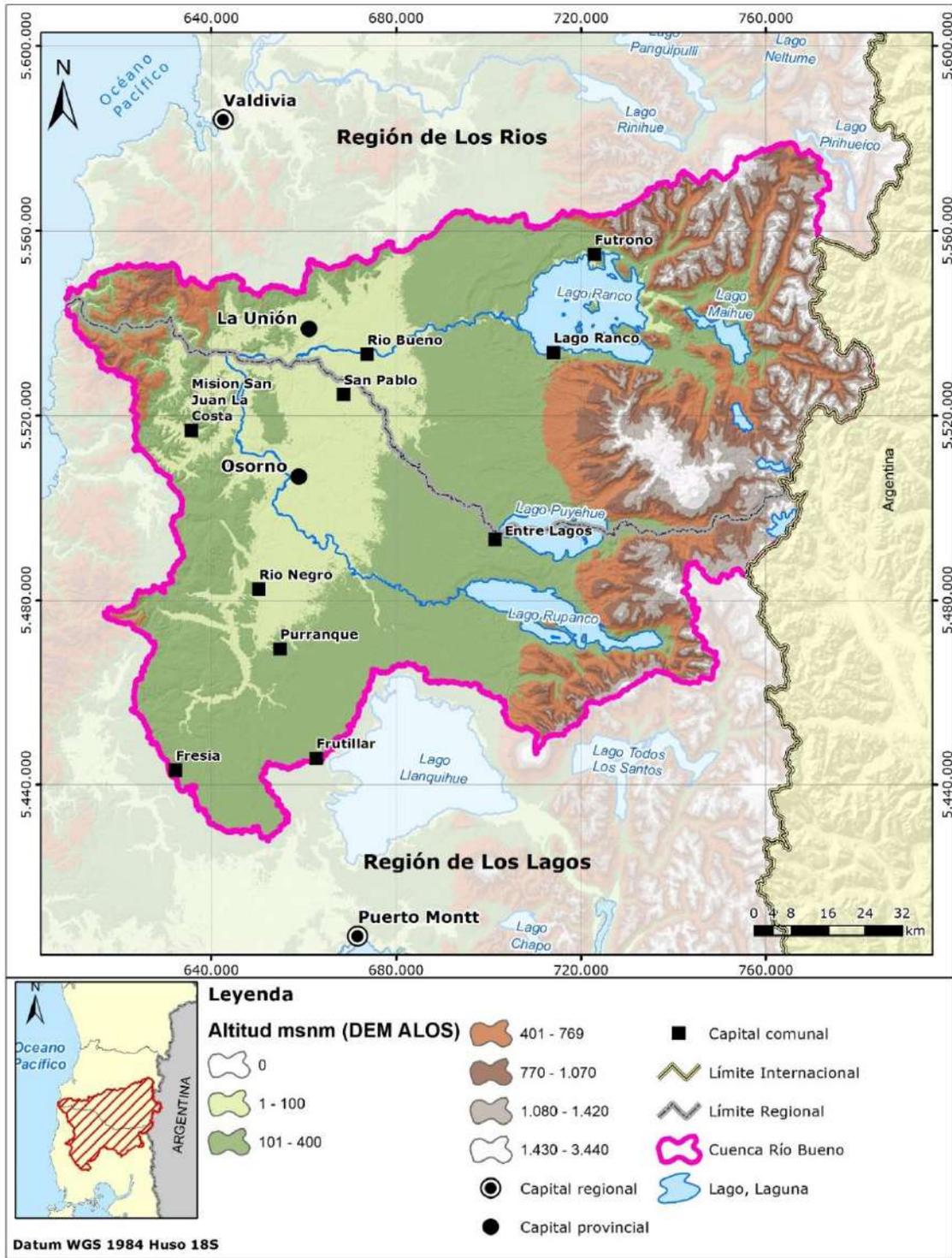


Figura 2-2. Topografía y fisiografía de la cuenca Río Bueno.

Fuente: Elaboración propia a partir de DEM de ALOS Palsar, con imágenes del año 2014.

2.1.3. Geomorfología

La geomorfología de la cuenca (Figura 2-3) se caracteriza por la presencia de cinco rasgos geomorfológicos bien definidos:

- Cordillera volcánica activa
- Lagos de barrera morrénica
- Llano central con morrenas y conos de solifluxión periglacial
- Cordillera de la costa
- Planicies fluvio-marinas.

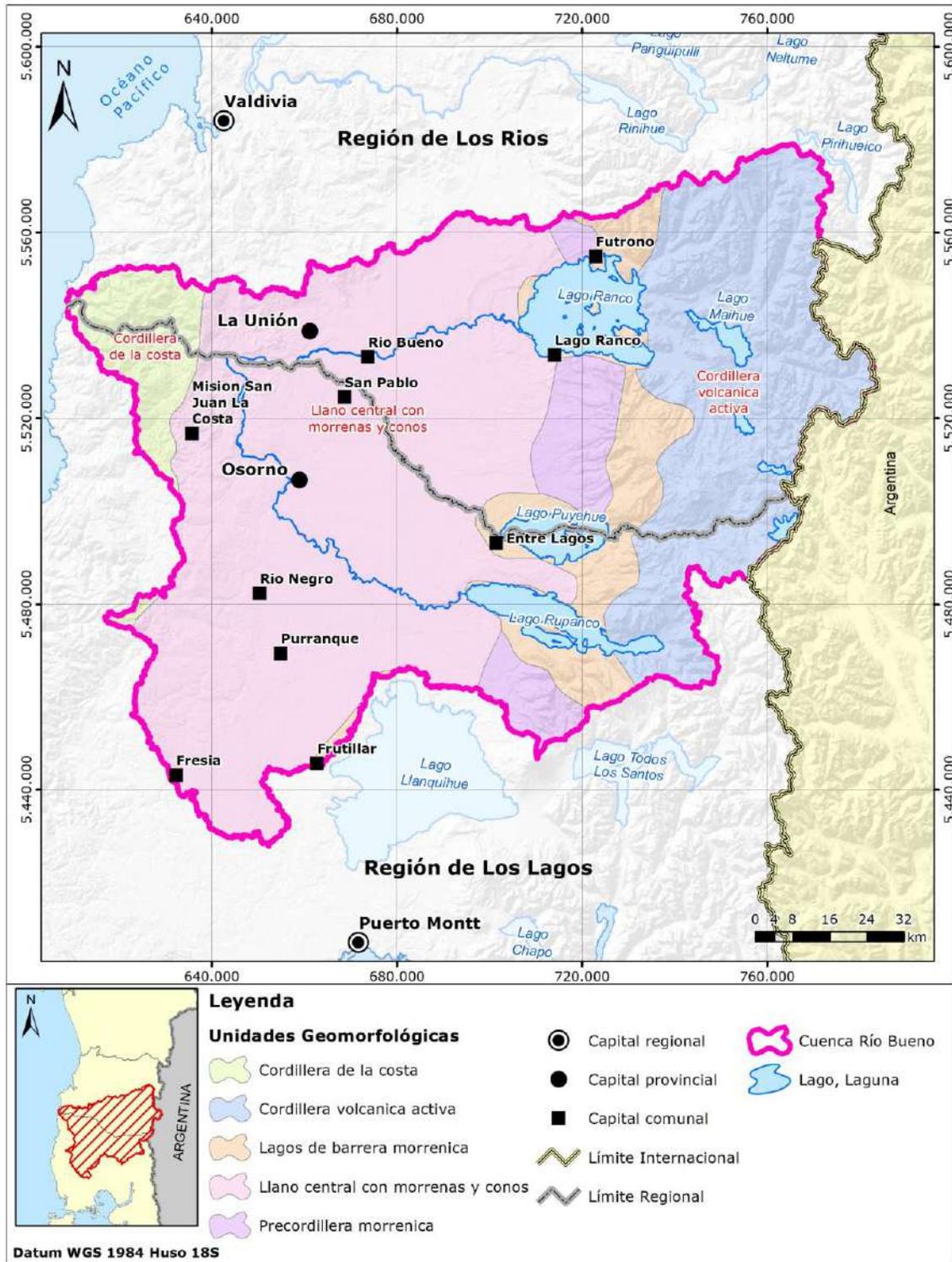
La cordillera volcánica activa se caracteriza por la presencia mayoritariamente de sierras y cordilleras que se empina entre los 1.000 y 1.500 m. Se define como un relieve fuertemente rebajado por la erosión de los glaciales y ríos. Los conos volcánicos aparecen entremezclados con algunas cumbres volcánicas como los volcanes Puyehue, Casa Blanca y Puntagüedo.

Los lagos de barrera morrénica que se encuentran en la cuenca son: Ranco, Maihue, Puyehue y Rupanco. Todos estos lagos, morfológicamente denotan un antecedente glacial que ha sido preservado por morrenas glaciales. Desde la morrena caen hacia el Llano Central, planos inclinados fuertemente sometidos a la acción erosiva de las aguas de esteros y arroyos. Todos estos lagos se presentan encadenados de este a oeste por ríos receptores y emisarios. Los primeros, se caracterizan por la abundante carga de materiales que arrastran y que finalmente depositan en el lago, su nivel de base local. Los ríos emisarios son de aguas limpias y salen de los grandes lagos en dirección al océano Pacífico, nivel de base absoluto.

El llano central se caracteriza por una topografía fuertemente ondulada y los ríos se profundizan enérgicamente formando cada uno de los sistemas fluviales, una importante barrera al desarrollo de las comunicaciones. Otro rasgo que caracteriza este Llano central de la región periglacial y lacustre, es la presencia de un relieve muy estrecho que encadena las cordilleras de los Andes y de la Costa.

La Cordillera de la Costa, presenta características de un cordón costero que no trasciende sino en algunos puntos la cota de 600 m, es así como al sur del Río Cholguaco, 50 km al SW de Osorno, se levanta una altura sin topónimo conocido y que alcanza a 945 m. A pesar de su poca relevancia, este cordón tiene importancia como biombo climático para el sector La Unión, Río Bueno y Río Negro, determinando una atenuación en el efecto húmedo de los vientos del oeste y favoreciendo un dominio de los ecos vientos del sur. A este sector del relieve costero se le denomina Cordillera Pelada.

La planicie fluvio-marina se encuentra circunscrita a pequeñas playas ininterrumpidas por acantilados procedentes de la cordillera costera en sitios como: Bahía Mansa y desde Punta Capitanes hasta Maullín



2.1.4. Geología

La Geología de la zona de estudio (Figura 2-4) presenta un conjunto de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias de edades que fluctúan entre Paleozoico Superior y Holoceno.

La estratigrafía se identificó como 4 unidades:

Rocas fundamentales: se ubican en ambos extremos de la cuenca (oriental y occidental), en el sector central se ubica la depresión intermedia que son mayoritariamente unidades sedimentarias

Cordillera de los Andes: en el sector de Río Bueno, está formada por diferentes rocas fundamentales, clasificados según su edad, se clasifican en 10 unidades fundamentales, que van desde el carbonífero-pérmico y cuaternario.

Cordillera de la Costa: Se observan unidades más antiguas que en el sector andino, se puede identificar en esta unidad el basamento metamórfico.

Depósitos sedimentarios no consolidados: presenta una amplia cobertura de rellenos sedimentarios correspondientes al Pleistoceno-Holoceno, que abarcan la cuenca Río Bueno en un ancho medio de unos 60 km desde las estribaciones orientales de la cordillera de la costa hasta las primeras formaciones rocosas andinas. Sin embargo, esta secuencia de rellenos cuaternarios se ve interrumpida, en superficie, en la Depresión Intermedia, por extensas áreas de depósitos piroclásticos principalmente riolíticos

En resumen, la cuenca alta del Río Bueno las formaciones impermeables corresponden a materiales volcano-sedimentarios y plutónicos, y las aguas meteóricas escurren de forma superficial y subsuperficial hasta los cuerpos lacustres existentes (Ranco, Maihue, Puyehue, Rupancho y Llanquihue) alimentando éstos a los depósitos sedimentarios que conforman el acuífero, cuyo basamento hacia la zona central y costera de la cuenca es de tipo metamórfico el cual aflora provocando el estrechamiento y la bifurcación del acuífero detrítico.

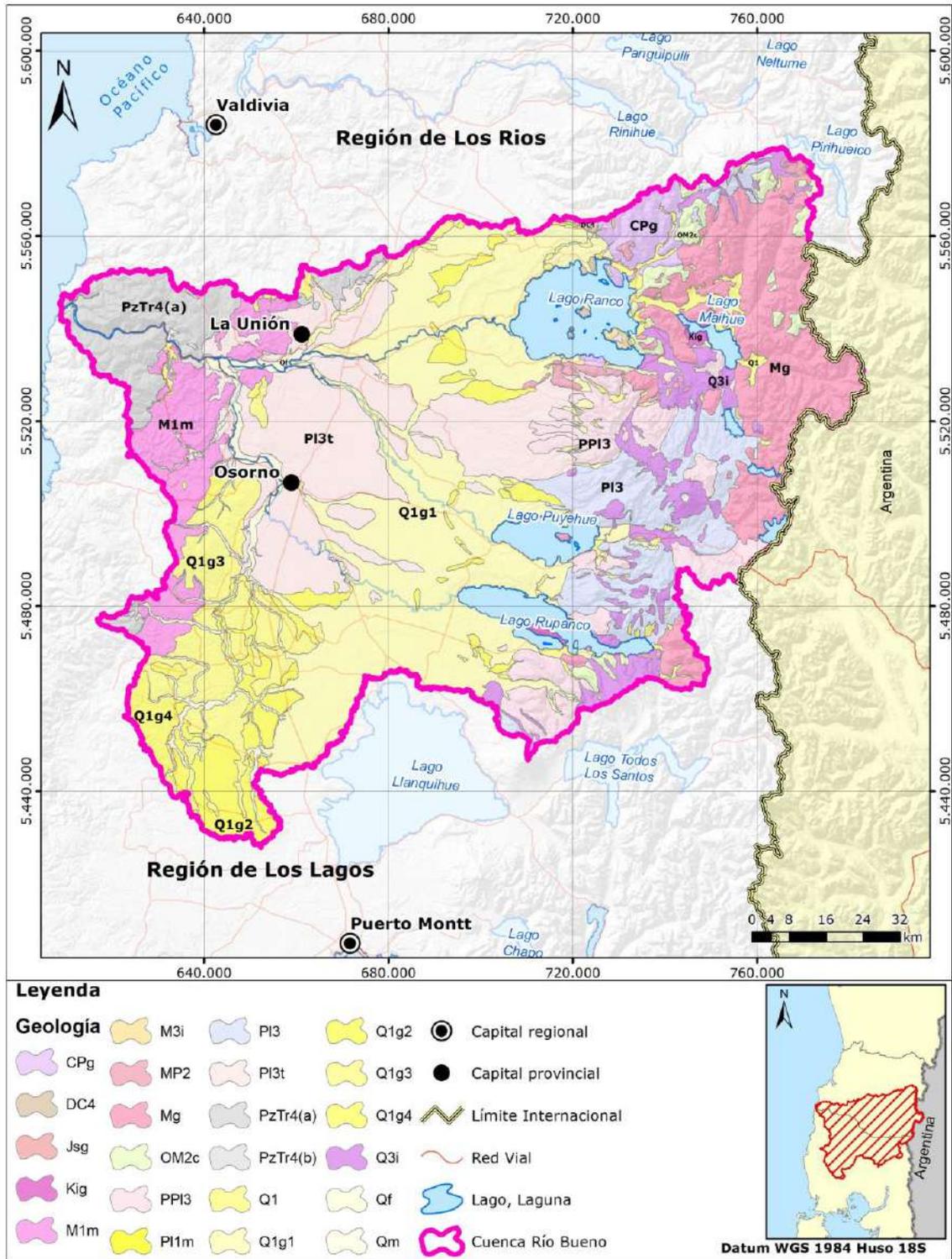


Figura 2-4. Geología de la cuenca Río Bueno.
 Fuente: Elaboración propia a partir de mapoteca DAG (2021d).

2.1.5. Hidrogeología

Para el caso de los acuíferos de la cuenca Río Bueno, se ha hecho una división en dos grandes sectores (DGA, 2016a) bien diferenciados, uno es la Depresión Intermedia del Río Bueno, coincidente con el relleno sedimentario que ocupa la depresión existente entre la cordillera de la Costa y la cordillera Andina, dando comienzo con los lagos al pie de la Cordillera, y el otro serían los aluviales que se encuentran conectados con la depresión intermedia y dan salida hacia la desembocadura del Río Bueno, siendo estos los aluviales de los ríos Bueno y Rahue. Por tanto, se definen los siguientes acuíferos:

- Depresión Intermedia del Río Bueno
- Aluvial del Río Bueno y Rahue

En este caso sólo se han hecho 2 divisiones (Depresión Intermedia del Río Bueno (Figura 2-5) y Aluvial del Río Bueno y Rahue) (Figura 2-6) puesto que toda la Depresión Intermedia es un único acuífero, heterogéneo, pero con un funcionamiento hidráulico en conjunto, no siendo necesario dividirlo en subacuíferos.

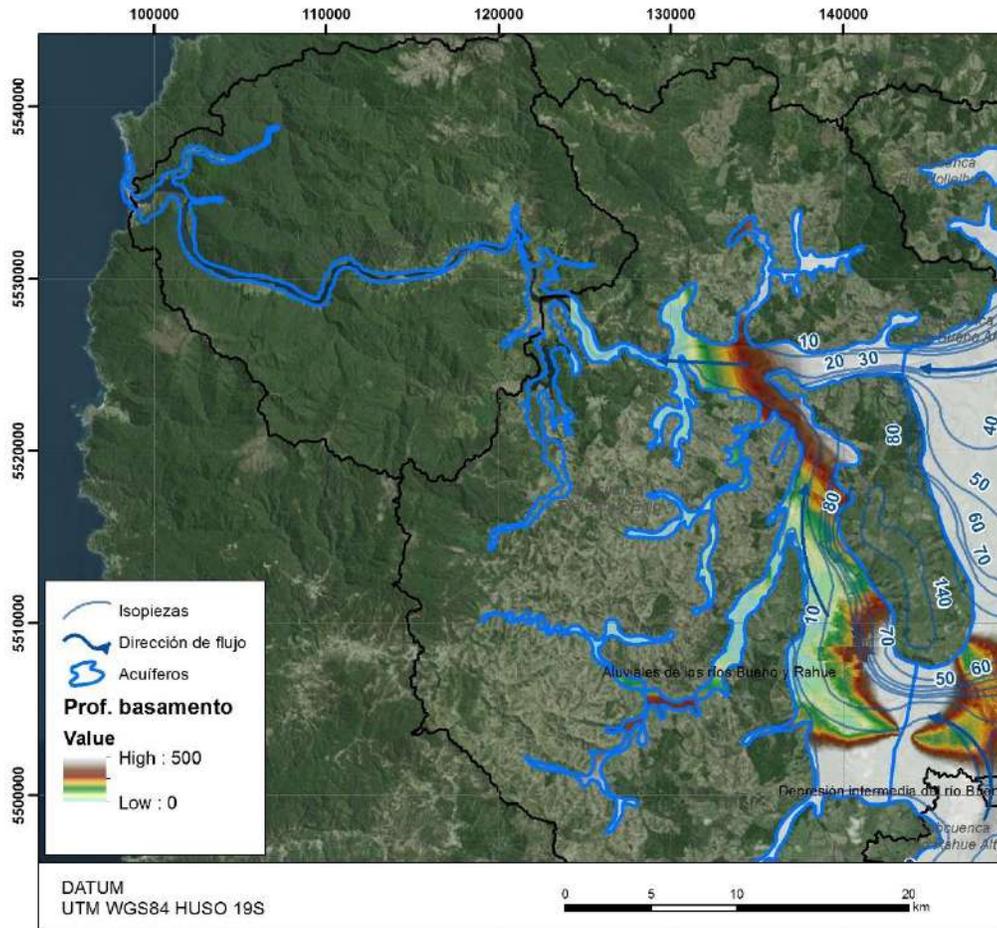


Figura 2-6. Acuífero Aluvial del Río Bueno y Rahue.

Fuente: Elaborado DGA (2016).

Con relación a los parámetros elásticos de los acuíferos antes mencionados se debe indicar que para el acuífero de depresión intermedia del Río Bueno se definen en función de los resultados de pruebas de bombeo desarrolladas en el estudio de la DGA (2016). Se debe indicar que el rango de transmisividades es entre $2 \text{ m}^2/\text{d}$ y $3.072 \text{ m}^2/\text{d}$, con un valor medio de $300 \text{ m}^2/\text{d}$. Por su parte el coeficiente de almacenamiento presenta un mínimo de 0,0001 y un máximo de 0,2, con un valor promedio igual a 0,085. Por su parte para el acuífero Aluvial Río Bueno y Rahue no se cuenta con información de ensayos de bombeo, sin embargo, en conformidad con la naturaleza hidrogeológica, se puede asemejar a otros sistemas aluviales, por tanto, el valor de las transmisividades oscilará entre $150 \text{ m}^2/\text{d}$ a $300 \text{ m}^2/\text{d}$.

2.1.6. Edafología

Según DGA (2004), los suelos de la cuenca en el sector de la cordillera de la costa poseen suelos de posición alta, entre 150 y 1.500 metros sobre el nivel del mar, de textura arcillosa y moderadamente profundos (80 a 150 cm). Poseen bajo contenido de materia orgánica (6 a 8%), con poca permeabilidad y pH ácido (4,8 a 5,5 al agua). Por la excesiva pendiente, su utilización es forestal y de crianza de ganado.

La zona precordillerana de la costa presenta suelos de lomajes y colinas de textura arcillosa o franco arcillosa. Son moderadamente profundos y cuentan con bajos niveles de materia orgánica. Se caracterizan por un buen drenaje externo y poca permeabilidad. Debido al mal manejo, han perdido fertilidad, aunque en forma natural presentan deficiencias de fósforo y azufre. Producto de su baja capacidad de retención de agua, hay una marcada estacionalidad de la producción de secano.

En el llano central, se localizan los suelos de mejores características de la región para cultivos, frutales y praderas de alta producción. Son suelos planos a levemente ondulados, derivados de cenizas volcánicas recientes, de alta capacidad de retención de agua y buena permeabilidad. Aquí también se encuentran los suelos ñadis, de topografía plana, delgados (20 a 80 cm), derivados de cenizas volcánicas recientes, ricos en materia orgánica. Sus principales limitaciones productivas son el mal drenaje, pH ácido y deficiencias de fósforo, potasio, magnesio y calcio.

En el sector de la precordillera andina, presenta una topografía ondulada a quebrada, con suelos profundos (150 a 250 cm) derivados de cenizas volcánicas recientes, que poseen alto porcentaje de materia orgánica y buenas características físicas. Muestran una deficiencia generalizada de fósforo

2.1.7. Red de drenaje superficial y acuíferos

La cuenca Río Bueno se ubica en el sector sur de la región de los Ríos y el sector norte de la región de los Lagos, presentando un área de drenaje total igual 15.367 km². Destacan los lagos Ranco, Puyehue, Rupanco y Maihue.

El Río Bueno con una extensión de 130 km en dirección E-O nace del lago Ranco. Este lago posee una superficie cercana a los 410 km². Este es alimentado por el Río Calcurrupe que desagua el lago Maihue.

Los principales afluentes llegan desde el sur, donde la cuenca alcanza su mayor desarrollo. El Río Pilmaiquén es uno de sus principales afluentes, el cual nace desde el lago Puyehue. Otro afluente importante es el Río Rahue, el cual nace del lago Rupanco. La longitud de este río es de 120 km.

La cuenca Río Bueno se determinó en base a la delimitación elaborada el año 2014 por el Departamento de Administración de Recursos Hídricos, de la Dirección General de Aguas. La Figura 2-7 presenta la red de drenaje de la cuenca Río Bueno.

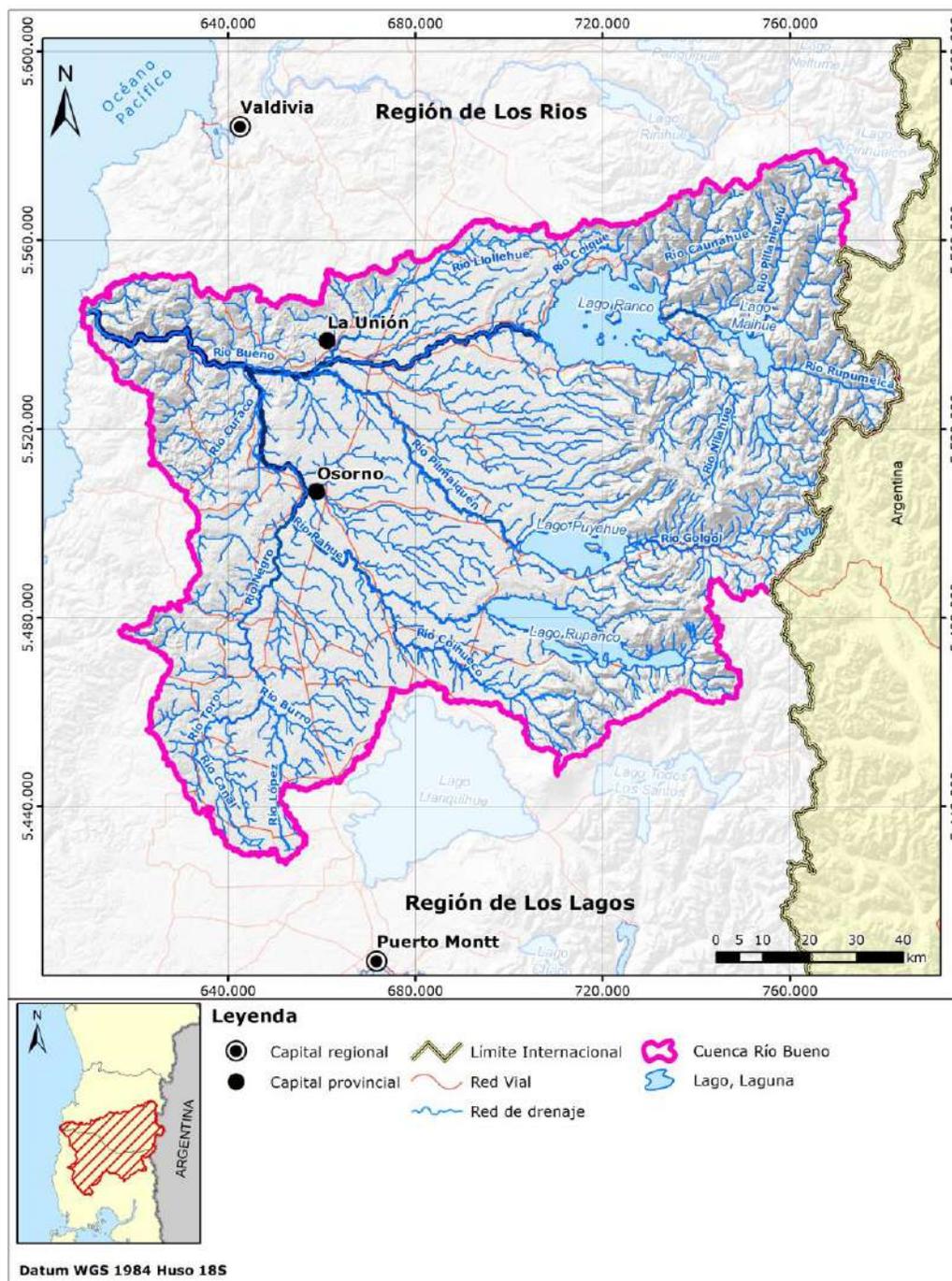


Figura 2-7. Red de drenaje de la cuenca Río Bueno.

Fuente: Elaboración propia basado en información mapoteca DGA (2021d).

De acuerdo con la información de la Dirección General de Aguas, la cuenca Río Bueno se subdivide en 4 subcuencas, y estas a su vez en subsubcuencas las cuales se describen a continuación.

Tabla 2-1. Características subcuencas de Río Bueno.

Información	Subcuenca Río Bueno							
	Afluentes Lago Ranco	Río Bueno entre Lago Ranco y Río Pilmaiquen	R. Bueno Bajo	Río Bueno entre Río Pilmaiquen y Río Rahue	Río Pilmaiquen	R. Rahue Bajo	Río Negro	Río Rahue hasta antes junta Río Negro
Código DGA	1.030,0	1.031,0	1.037,0	1.033,0	1.032,0	1.036,0	1.035,0	1.034,0
Área [km ²]	3.343,3	1.762,2	713,0	405,9	2.906,6	1.482,0	2.570,4	2.157,9
Altura media (m.s.n.m.)	220,3	163,2	150,0	143,7	200,0	135,0	150,0	165,0
Perímetro [km]	300,3	263,6	110,4	115,1	326,7	225,1	244,1	261,1
Longitud Cauce principal [km]	30,2	89,6	50,4	26,4	77,9	55,2	24,3	38,6
Estaciones Fluviométricas	3	2	0	0	3	2	4	5

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

En la zona de estudio existen 4 Sectores Hidrogeológicos de aprovechamiento común: Bueno inferior, Rahue, Bueno medio y Bueno superior, los que posteriormente se acoplarán con el modelo de agua superficial (Ver Figura 2-8). En la cuenca Río Bueno existe una delimitación de los acuíferos existentes por dos elementos morfológicos marcados; los límites del frente de los lagos, donde aparecen las formaciones de morrenas, las cuales son alimentadas por estas masas de agua, y la cordillera intermedia, que supone un límite neto y barrera para las extensas formaciones que ocupan la depresión intermedia. De esta forma, puede considerarse una gran unidad acuífera que de este a oeste ocupa toda la depresión intermedia y cuya salida se produce a través de acuíferos aluviales que cortan dicha cordillera en su salida al mar.

En particular, el modelo de aguas subterráneas se considera que abarca todos los SHACs de la cuenca Río Bueno, es decir la delimitación realizada para desarrollar el modelo incorpora todos los SHACs.

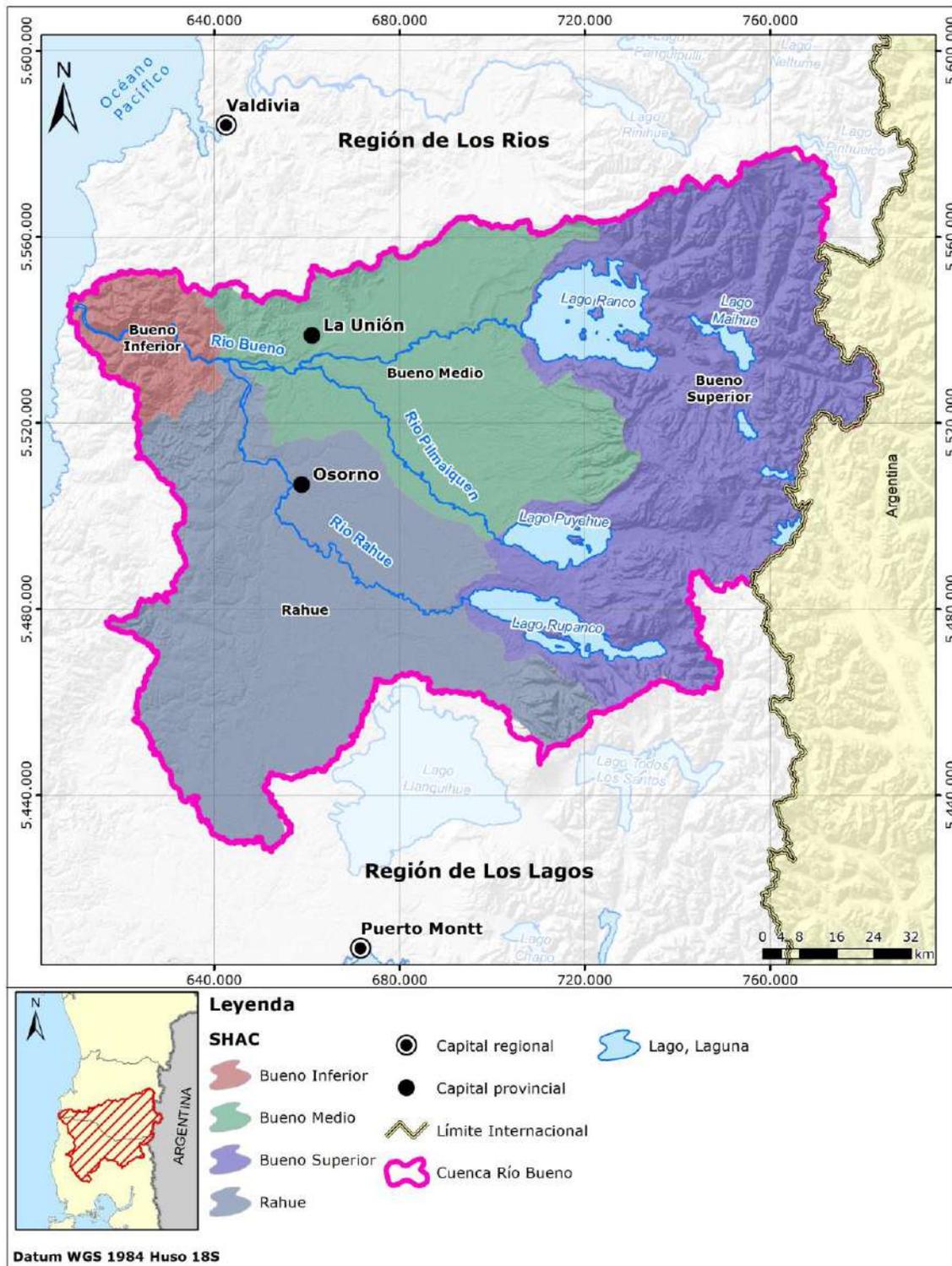


Figura 2-8. Distribución espacial SHACs en la cuenca Río Bueno.
 Fuente: Elaboración propia a partir de DGA (2020).

2.1.8. Demografía

La cuenca Río Bueno está conformada por 15 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 se presenta solo en centros urbanos de la cuenca; segundo, que la población rural se distribuye de manera homogénea en las comunas; y tercero, que la distribución poblacional rural 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 2017 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 en la cuenca.

Tabla 2-2. Proyección de la población comunal rural en la cuenca Río Bueno.

Región	Comuna	2020	2030	2040	2050
Los Ríos	Futrono	6.030	5.713	6.030	6.030
	La Unión	7.241	7.015	7.241	7.241
	Lago Ranco	7.894	7.721	7.894	7.894
	Paillaco	2.875	2.628	2.875	2.875
	Río Bueno	14.338	13.604	14.338	14.338
Los Lagos	Fresia	907	832	907	907
	Frutillar	3.529	3.481	3.529	3.529
	Osorno	14.957	15.259	15.259	15.259
	Puerto Octay	5.479	5.309	5.479	5.479
	Purranque	3.192	2.995	3.192	3.192
	Puyehue	6.058	5.950	6.058	6.058
	Río Negro	3.971	3.716	3.971	3.971
	San Pablo	5.522	5.211	5.522	5.522
	Llanquihue	1.171	1.150	1.171	1.171
	San Juan de la Costa	2.474	2.217	2.474	2.474
Total		85.639	82.801	85.941	85.941

Fuente: Elaboración propia basada en antecedentes del INE (2017).

Tabla 2-3. Proyección de la población comunal urbano en la cuenca Río Bueno.

Región	Comuna	2020	2030	2040	2050
Los Ríos	Futrono	8.777	8.854	8.931	9.008
	La Unión	28.224	28.930	29.636	30.342
	Lago Ranco	2.398	2.465	2.532	2.599
	Paillaco	13.426	14.262	15.098	15.934
	Río Bueno	18.587	19.472	20.357	21.242
Los Lagos	Fresia	7.880	8.070	8.260	8.450
	Frutillar	14.342	15.764	17.186	18.608
	Osorno	158.453	163.956	169.459	174.962
	Puerto Octay	2.168	2.077	1.986	1.895
	Purranque	15.276	15.341	15.406	15.471
	Puyehue	5.342	5.506	5.670	5.834
	Río Negro	7.545	7.515	7.485	7.455
	San Pablo	5.031	5.263	5.495	5.727
	Llanquihue	15.274	15.832	16.390	16.948
	San Juan de la Costa	1.454	1.605	1.756	1.907
Total		304.177	314.912	325.647	336.382

Fuente: Elaboración propia basada en antecedentes del INE (2017).

2.1.9. 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): silvoagropecuaria, 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 55,4% del total de población activa de la cuenca el año 2017 (Figura 2-9).

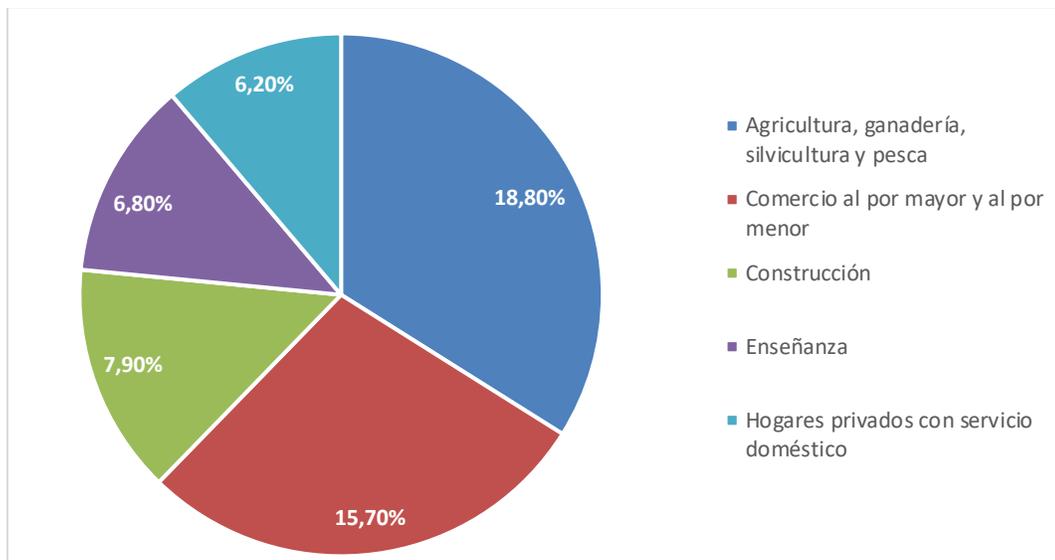


Figura 2-9. Porcentajes de las principales ramas de actividad económica en la cuenca Río Bueno.

Fuente: Elaboración propia a partir del Censo (2002).

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. San Pablo es la que tiene la mayor participación en la agricultura (46,5%), seguida por las comunas de Río Negro (40,8%) y Río Bueno (40,4%). La Unión y Osorno son las comunas con menor importancia en la agricultura (Figura 2-10), pero mayor desarrollo en el comercio con un 19% y 14,2%, respectivamente.

Para el resto de las comunas, el comercio tiende a presentar sobre el 10% de población activa en este sector (mayor detalle en Anexo J. Descripción y Diagnóstico. Capítulo 2).

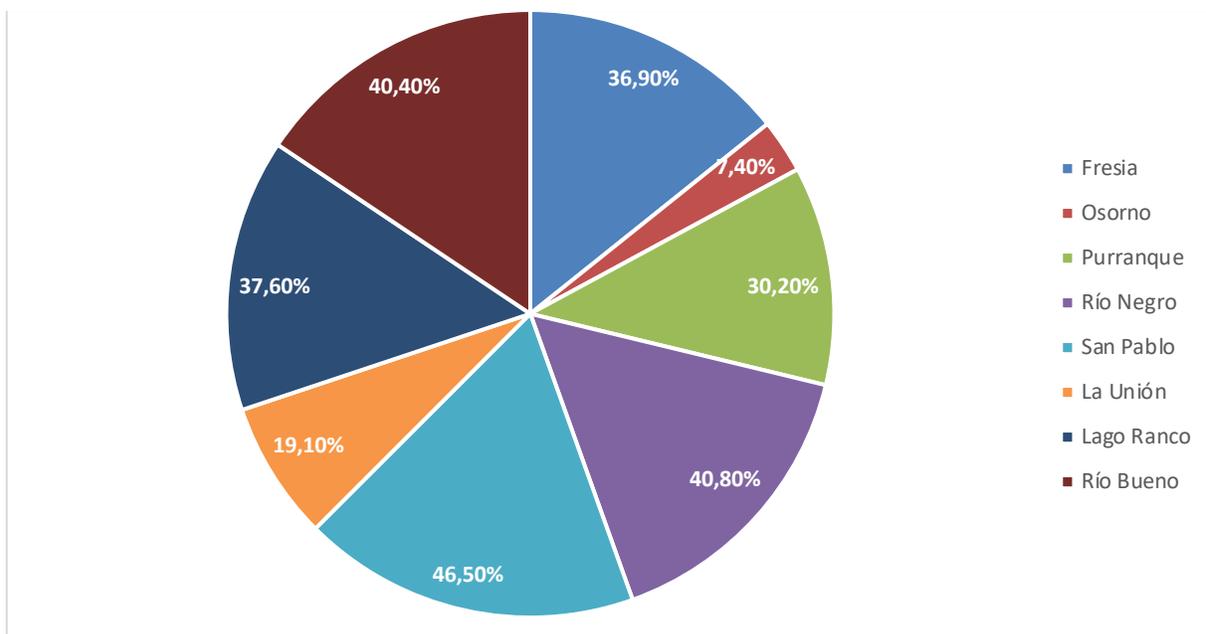


Figura 2-10. Actividad silvoagropecuaria por comunas de la población activa de la cuenca Río Bueno.

Fuente: Elaboración propia a partir del Censo (2002).

2.1.10. 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 Bueno (Tabla 2-4) mostrando también cambios a lo largo del tiempo (Figura 2-11). La selección de las categorías de reclasificación (Figura 2-12) 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. Ver detalles en el Anexo J, Cap. 4. De las figuras se deduce que los usos predominantes al 2019 en la cuenca son los bosques de hoja perenne (40,3%), las sabanas (17,1%) y las praderas y el bosque mixto (11,6% y 11,2% respectivamente). Mientras tanto, los usos con menores superficies son: los arbustos (0,1%) y los bosques de hoja caducifolia (0,4%) y los humedales (0,4%). Los mayores cambios durante el período 2001-2019 han ocurrido en los bosques que aumentaron su superficie en cerca de 58.000 ha, excepto el bosque mixto que disminuyó su superficie en 32.000 ha; mientras las sabanas y las praderas disminuyeron en conjunto 115.000 ha durante este mismo período de tiempo. Por otro lado, se observa que el uso urbano (0,2%) ha aumentado (42 ha), especialmente durante la última década, y que el uso agrícola ha aumentado cerca de las 20.000 ha, lo que supone un aumento promedio aproximado de 1000 ha/año.

Tabla 2-4. Esquema de clasificación del IGBP, superficie al 2019 y correspondencia con categoría reclasificada en el PEGH de Río Bueno.

Valor	Categoría IGBP	Superficie al 2019 [ha]	Categoría PEGH	Superficie al 2019 [ha]
1	Evergreen Needleleaf Forests	148.500,9	Bosques	785.672,2
2	Evergreen Broadleaf Forests	461.924,0		
3	Deciduous Needleleaf Forests	0,0		
4	Deciduous Broadleaf Forests	6.117,8		
5	Mixed Forests	169.129,6		
6	Closed Shrublands	815,7	Arbustos/matorrales	815,7
7	Open Shrublands	0,0	Suelo agropecuario (cultivos+frutales+forestales+ praderas)	610.145,8
8	Woody Savannas	122.012,0		
9	Savannas	259.822,9		
10	Grasslands	175.612,3		
12	Croplands	19.770,1	Suelo urbano o sin vegetación	29.429,7
14	Cropland/Natural Vegetation Mosaics	32.928,6		
13	Urban and Built-up Lands	7.878,0		
16	Barren	21.551,7	Cuerpos de agua	89.469,7
17	Water bodies	83.051,4		
11	Permanent Wetlands	5.795,8		
15	Permanent Snow and Ice	622,5		

Fuente: Elaboración propia en base a producto MC12Q1.

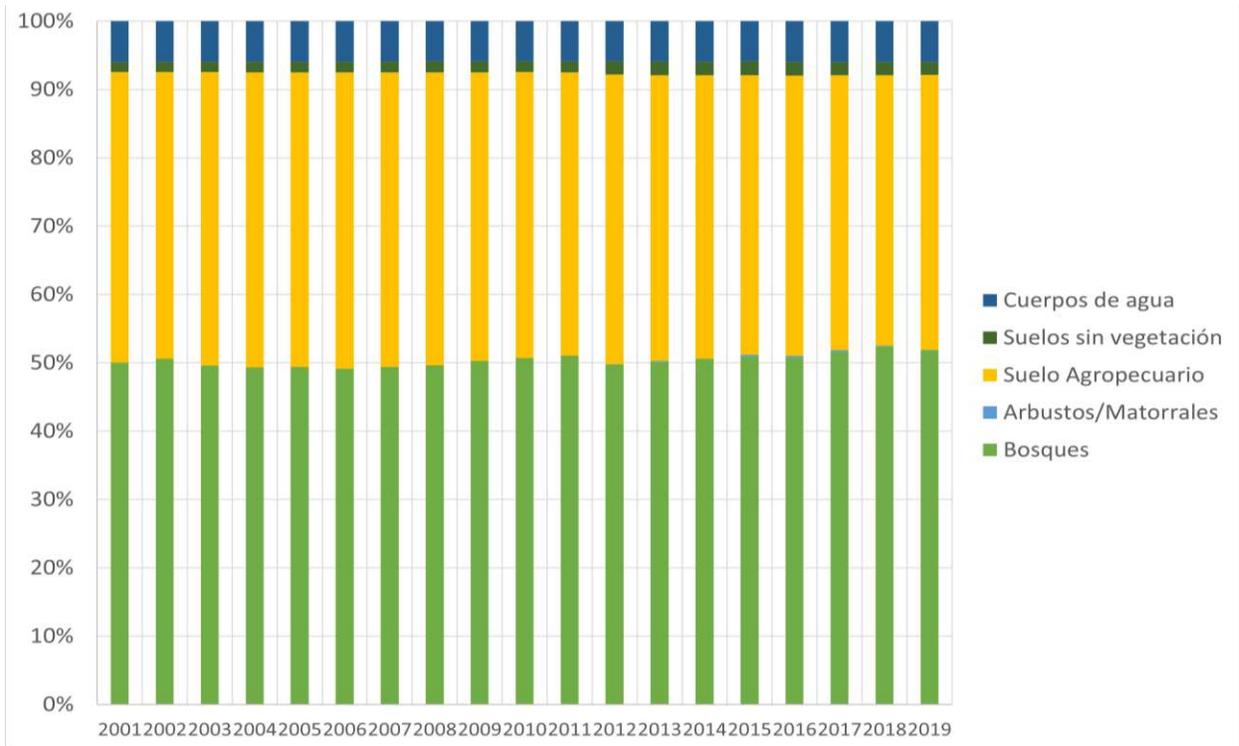


Figura 2-11. Evolución temporal (2001-2019) de los usos de suelo para el PEGH de Río Bueno.

Fuente: Elaboración propia en base a producto MC12Q1.

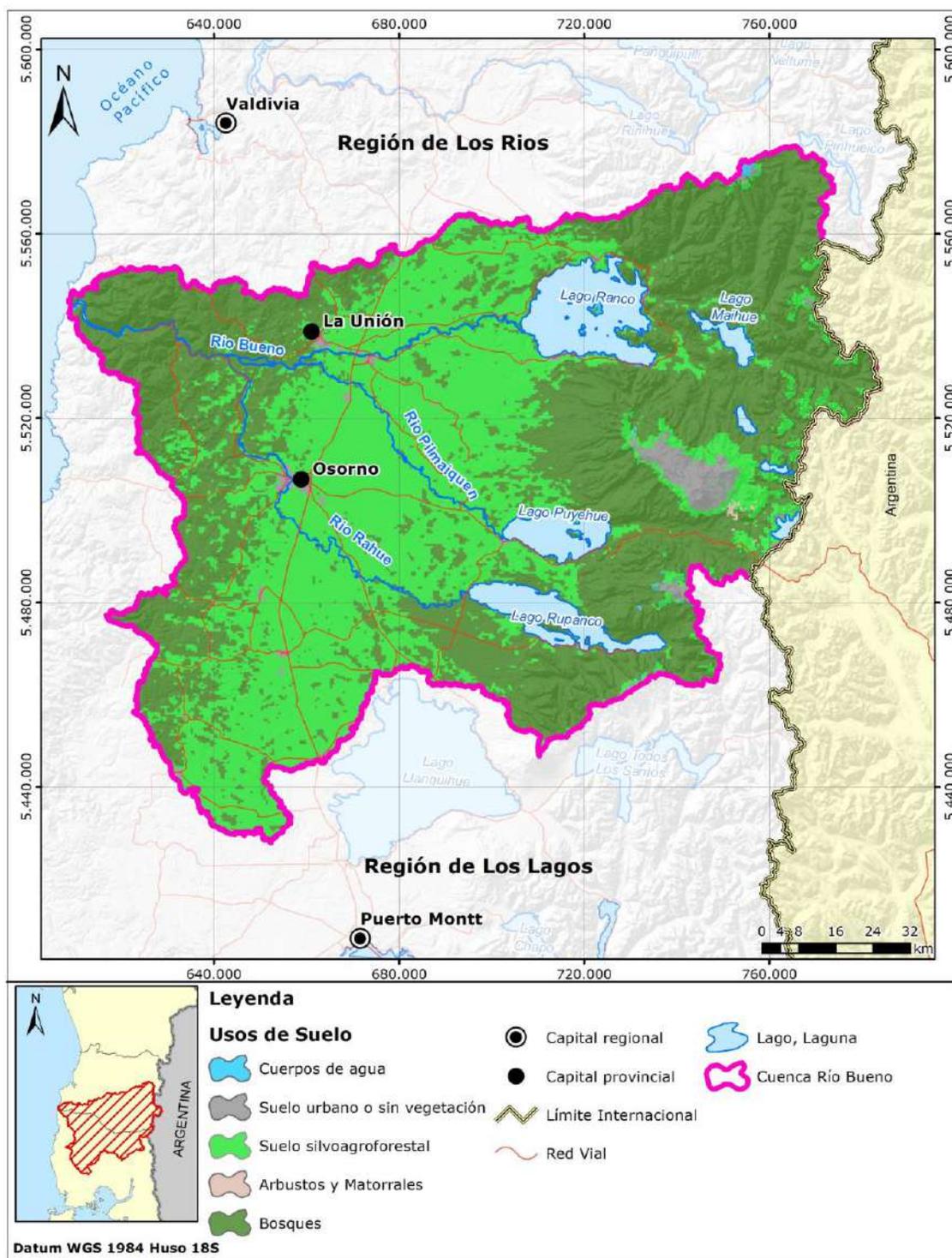


Figura 2-12. Distribuci3n del uso del suelo reclasificado al a3o 2019 en la cuenca R3o Bueno.

Fuente: Elaboraci3n propia en base a producto MC12Q1.

2.2. Clima

2.2.1. Caracterización climática

La cuenca Río Bueno presenta un clima templado lluvioso con leve sequedad estival de código Cfb según la clasificación de Köppen. Este clima se caracteriza por la presencia de precipitaciones todo el año, aunque de todas formas presenta estacionalidad. Por otro lado, la temperatura media mensual tiene un rango entre los 4°C y los 16°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 meses cuyas temperaturas superan los 10°C.

A continuación, la Figura 2-13 presenta el climograma obtenido de la integración de los productos grillados sobre la cuenca.

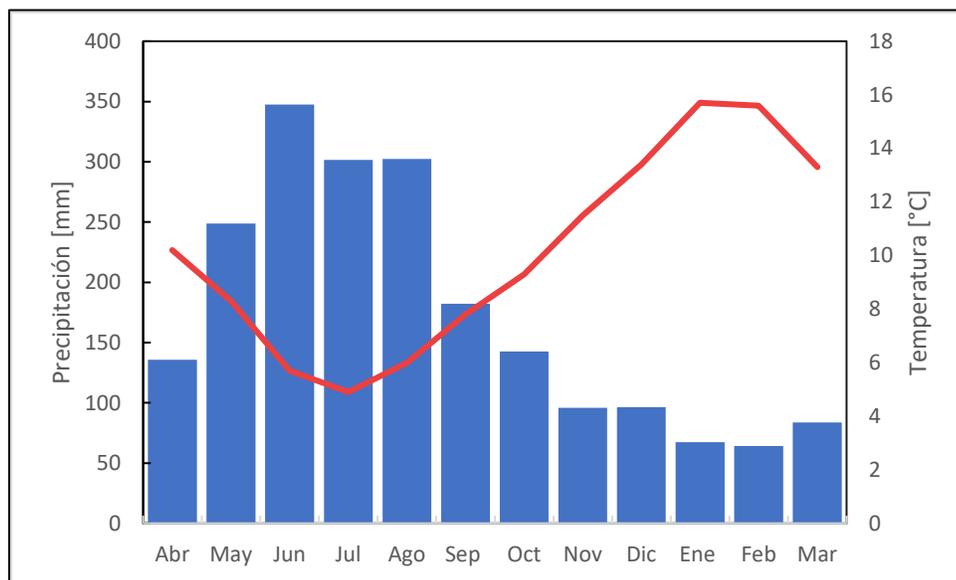


Figura 2-13. Climograma representativo cuenca Río Bueno. Integración producto CR2MET, intervalo 2010-2020.

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

En la cuenca, la precipitación media anual en la última década es igual a 2120 mm/año, sin embargo, se aprecia una tendencia en disminución de la precipitación media anual. En la Figura 2-14 se presenta la tendencia anual histórica (1980-2019) de precipitaciones para la cuenca Río Bueno en donde se observa una disminución de la precipitación.

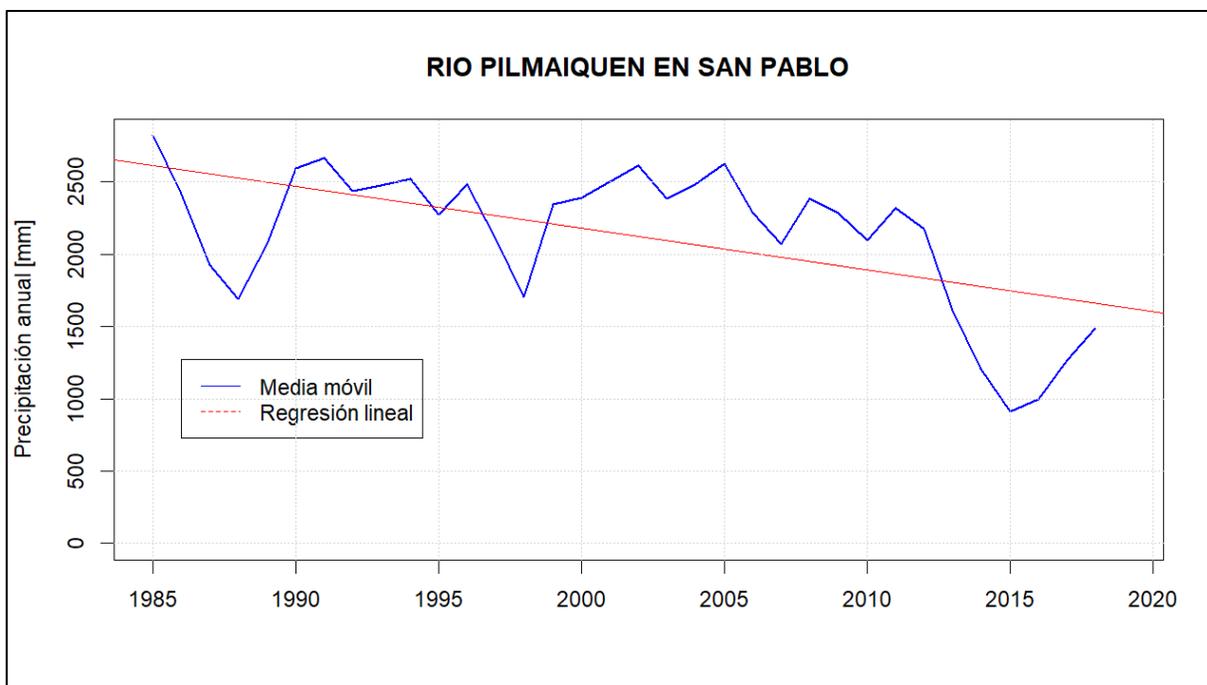


Figura 2-14. Media móvil de precipitaciones, estación Río Pilmaiquén en San Pablo.

Fuente: Elaboración propia, en base a datos DGA.

El detalle de las estaciones utilizadas para representar el clima se encuentran en el “Anexo J. Descripción y diagnóstico”

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, las que presentan un gradiente longitudinal, probablemente debido al efecto orográfico. La metodología de ajuste se encuentra en el Anexo F, capítulo 1.2.

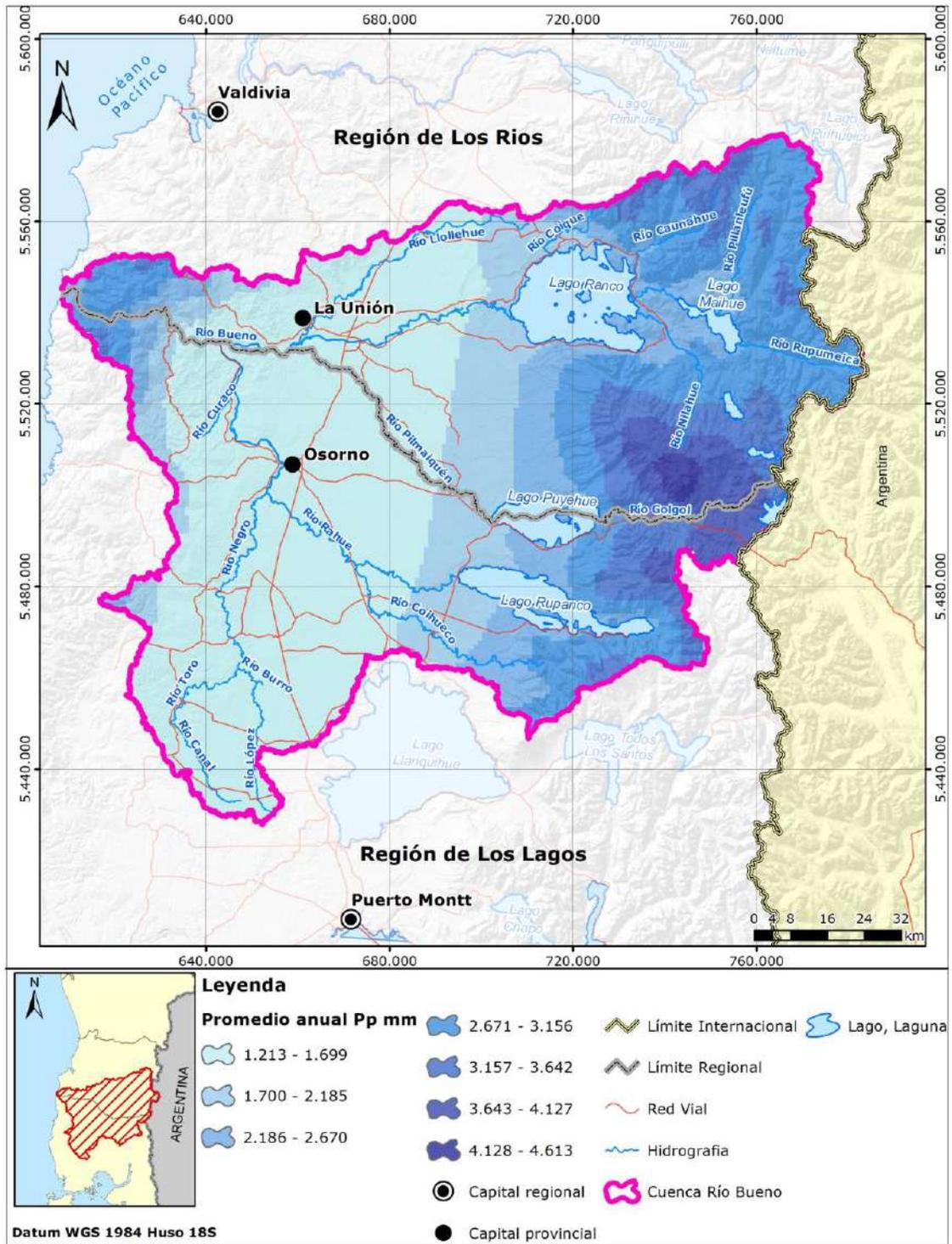


Figura 2-15. Promedio anual 1979-2015 precipitación. Producto grillado de la Actualización Balance Hídrico.

Fuente: Elaboración propia partir de producto grillado CR2MET.

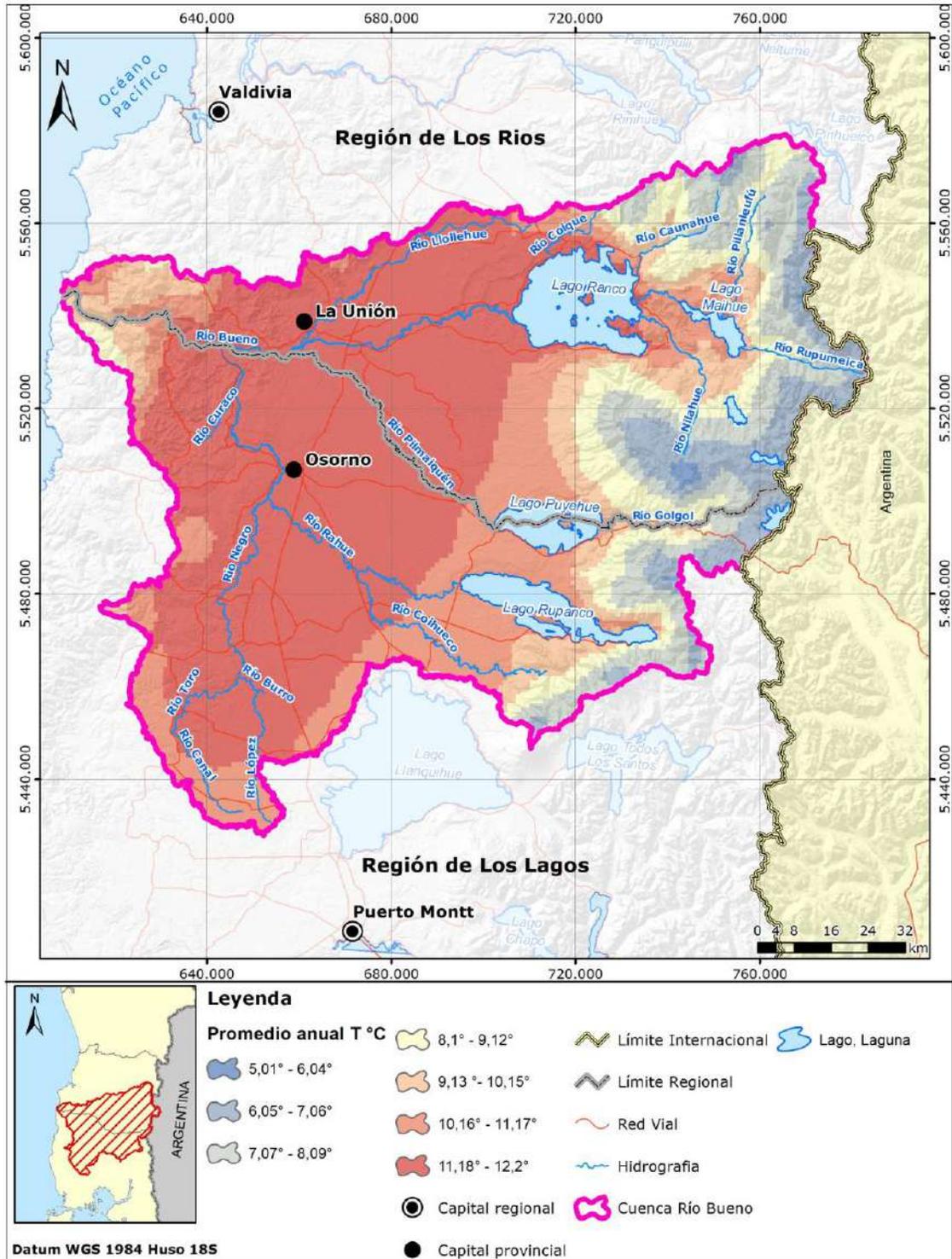


Figura 2-16. Promedio anual 1979-2015 temperatura. Producto grillado de la Actualización Balance Hídrico.

Fuente: Elaboración propia partir de producto grillado CR2MET.

2.2.2. 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 más información ver "Anexo J- Clima, Hidrología e Hidrogeología"). El detalle de la metodología aplicada se expone en el "Anexo F - Aspectos metodológicos". La Figura 2-17 presenta la comparación de Modelos GCM.

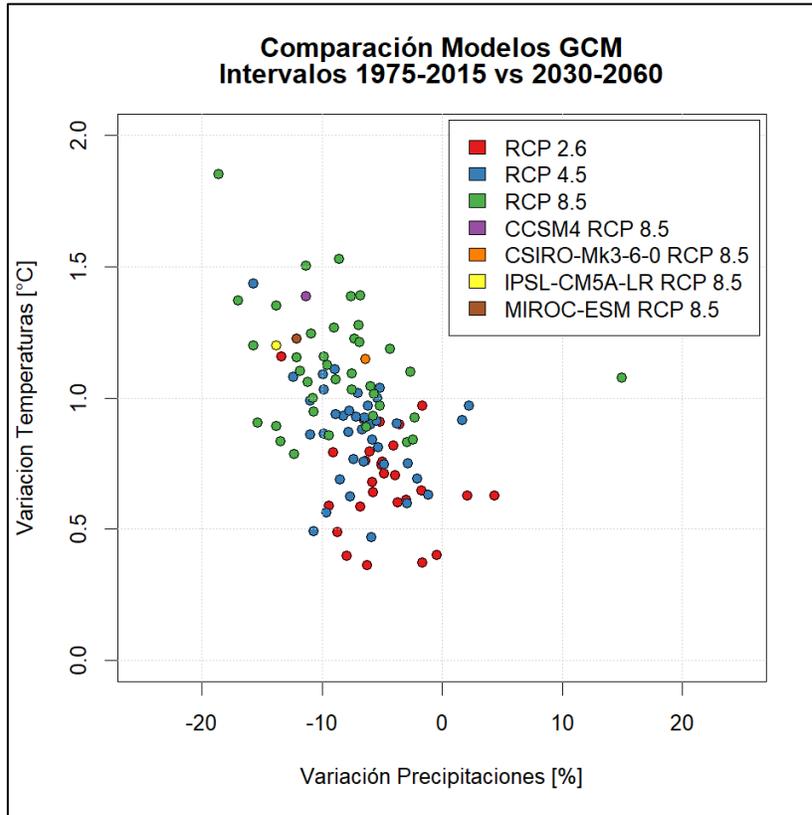


Figura 2-17. Comparación de GCM. Los destacados corresponden a los utilizados por el BHN.

Fuente: Elaboración propia a partir de DGA (2019).

En la Figura 2-17 se comparan las condiciones promedio de la precipitación y la temperatura de dos períodos, uno histórico (1975-2015) y otro futuro (2030-2060). Aunque el período de análisis del plan se ha establecido hasta el 2050, se consideró que el período futuro a comprar debía tener al menos 30 años para tener valores comparables con la normal climática histórica. De la figura se aprecia que, en términos generales, los escenarios de cambio climático, que se consideraron como alternativas para la elaboración de este plan, se ubican en entre -20 a -5% de cambio en la precipitación y 0,3 a 2,0 °C de aumento de temperatura. El escenario escogido para implementar en este plan es el IPSL-CM5A-LR RCP 8.5, pues en promedio anual presenta las peores condiciones en el período futuro, ubicándose en un aumento de temperatura entre 1,0°C y 1,5°C, y una disminución de la precipitación entre un 5% y 15%.

2.2.3. Eventos extremos y variabilidad climática

Para el análisis de los eventos extremos, se calcularon las precipitaciones máximas en 24 h para distintos periodos de retorno (para más información ver Anexo J -Clima). A continuación, en la Tabla 2-5 y en la Figura 2-18 se muestran los valores de precipitación máxima en 24h en la estación Rupanco 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 60 mm hasta valores cercanos a 90 mm. Posteriormente, la curva presenta un menor crecimiento, alcanzando un valor de 111,0 mm para 100 años de período de retorno.

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

Tabla 2-5. Precipitación máxima en 24h según período de retorno para la estación Rupanco ajustada a una función Pearson 3.

Periodo de Retorno [años]	Precipitación máxima [mm]
2	58,9
5	73,2
10	82,7
20	91,6
25	94,4
50	102,8
100	111,0

Fuente: Elaboración propia a partir de datos a DGA.

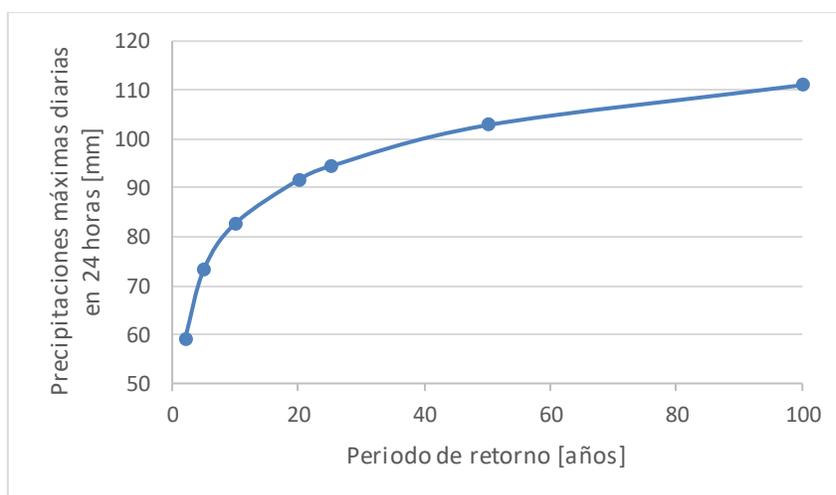


Figura 2-18. Precipitación máxima en 24h según período de retorno para la estación Rupanco ajustada a una función Pearson 3.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos a DGA.

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).

2.3. Dimensión ambiental

En esta sección se presentan los ecosistemas terrestres y acuáticos, para los primeros se describe el ecosistema sin intervención a través de Luebert y Pliscoff (Luebert & Pliscoff, 2020) y para los segundos se presenta el Inventario Nacional de Humedales (MMA, 2020). 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.

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, los ecosistemas acuáticos a través de la descripción del Inventario Nacional de Humedales (MMA, 2020), 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.

2.3.2.1. Ecosistemas terrestres

El ecosistema terrestre se define por la cobertura que posee – por ejemplo, bosque, matorral, pradera, etc. Los procesos dentro de cada tipo de ecosistema sostienen comunidades ecológicas distintas. Hay muchos factores que influyen la composición de la cubierta vegetal en un área, que incluyen condiciones climáticas, el tipo de suelo, la hidrología, la topografía y la comunidad de plantas en la zona. Los pisos vegetacionales de Luebert y Pliscoff (2006) incorporan las relaciones físico-ecológicas de plantas nativas de Chile para evaluar las distribuciones de comunidades florísticas que existirían en una condición no intervenida.

Debido al clima, topografía, hidrología y tipos de suelo, la cuenca se presenta con 12 tipos de pisos vegetacionales de comunidades potenciales en la cuenca Río Bueno (Tabla 2-6, Figura 2-19). La gran mayoría de la cuenca puede ser descrita por los pisos de bosque caducifolio (8.167,77 km²; 57,41%), seguido por pisos de bosque laurifolio (4.591,89 km²; 32,28%) y bosque siempreverde (1.377,94 km²; 9,69%). Se presenta muy poca cobertura potencial de matorral (10,29 km²; 0,07%) y de bosque resinoso (79,24 km²; 0,56%). En el "Anexo J. Descripción y diagnóstico. Capítulo 6" se describen los pisos vegetaciones agrupados por las formaciones de vegetación que les caracteriza.

Tabla 2-6. Tipos de pisos vegetacionales y sus extensiones geográficas dentro de la cuenca Río Bueno.

Piso vegetacional	Área total [km²]	Porcentaje de cuenca [%]
Bosque caducifolio templado andino de <i>Nothofagus alpina</i> y <i>Dasyphyllum diacanthoides</i>	241,09	1,69
Bosque caducifolio templado andino de <i>Nothofagus alpina</i> y <i>N. dombeyi</i>	447,14	3,14
Bosque caducifolio templado andino de <i>Nothofagus pumilio</i> y <i>Drimys andina</i>	1.046,76	7,36
Bosque caducifolio templado andino de <i>Nothofagus pumilio</i> y <i>Ribes cucullatum</i>	366,05	2,57
Bosque caducifolio templado de <i>Nothofagus obliqua</i> y <i>Laurelia sempervirens</i>	6.066,73	42,64
Bosque laurifolio templado costero de <i>Weinmannia trichosperma</i> y <i>Laureliopsis philippiana</i>	211,90	1,49
Bosque laurifolio templado interior de <i>Nothofagus dombeyi</i> y <i>Eucryphia cordifolia</i>	4.379,99	30,79
Bosque resinoso templado costero de <i>Fitzroya cupressoides</i>	79,24	0,56
Bosque siempreverde templado andino de <i>Nothofagus dombeyi</i> y <i>Gaultheria phillyreifolia</i>	231,08	1,62
Bosque siempreverde templado andino de <i>Nothofagus dombeyi</i> y <i>Saxegothaea conspicua</i>	632,21	4,44
Bosque siempreverde templado interior de <i>Nothofagus nitida</i> y <i>Podocarpus nubigena</i>	514,65	3,62
Matorral bajo templado andino de <i>Adesmia longipes</i> y <i>Senecio bipontini</i>	10,29	0,07

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

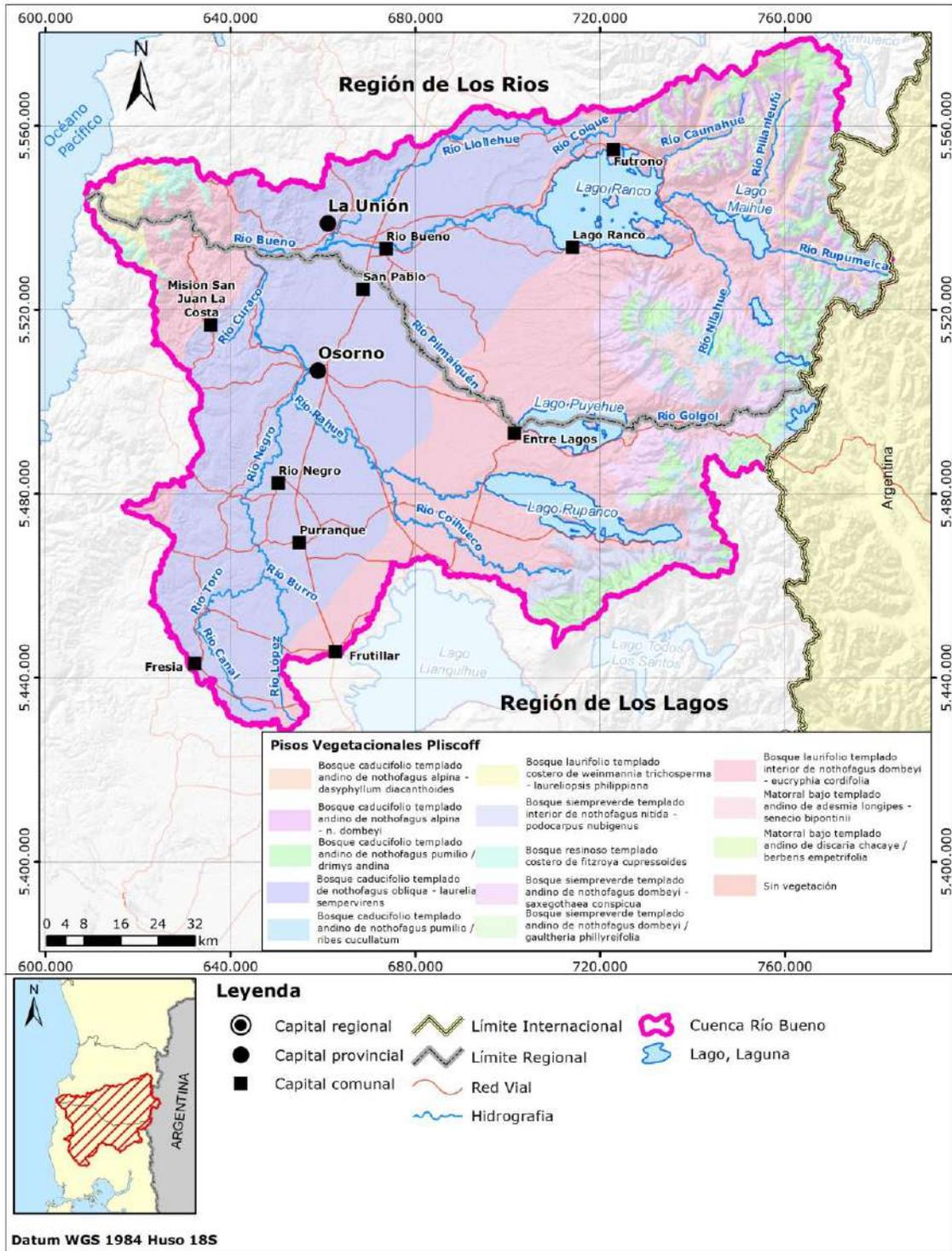


Figura 2-19. Los pisos vegetacionales según Plissock que se podría encontrar en la cuenca Río Bueno.

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

2.3.1.1. Ecosistemas acuáticos o dulceacuícolas

De acuerdo a 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, Capítulo 8) y proveen un apoyo significativo en mantener el caudal base en los ríos (Lacy, 2020). De acuerdo, al Decreto 771 de 1981, los humedales se definen, siguiendo lo propuesto por RAMSAR, como “las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros.”

De acuerdo con el Inventario Nacional de Humedales (MMA, 2020), la cuenca Río Bueno es dominada por áreas inundadas en forma permanente (Tabla 2-7) y es dominada con la presencia de lagos y lagunas (93.536,66 ha) y de los ríos que los conectan (9.247,20 ha). Aunque hay relativamente menos área con inundaciones en forma estacional (861,96 ha) o semi-permanente (mallines; 417,24 ha). También, se presentan 20 tranques dentro de la cuenca, pero su extensión es mínima (58,17 ha). Estos tranques pueden funcionar como hábitat dulceacuícola, especialmente para plancton y macroinvertebrados.

Tabla 2-7. Evaluación de las extensiones de áreas inundados dentro de la cuenca Río Bueno.

Tipo de territorio inundado	Área Inundada [ha]
Estacionales	861,96
Lago	92.989,62
Laguna	547,04
Mallines	417,24
Permanentes	6.059,04
Río	9.247,20
Sin clasificar	1.639,33
Tranque	58,17

Fuente: Elaboración propia en base al Inventario Nacional de Humedales (MMA, 2020).

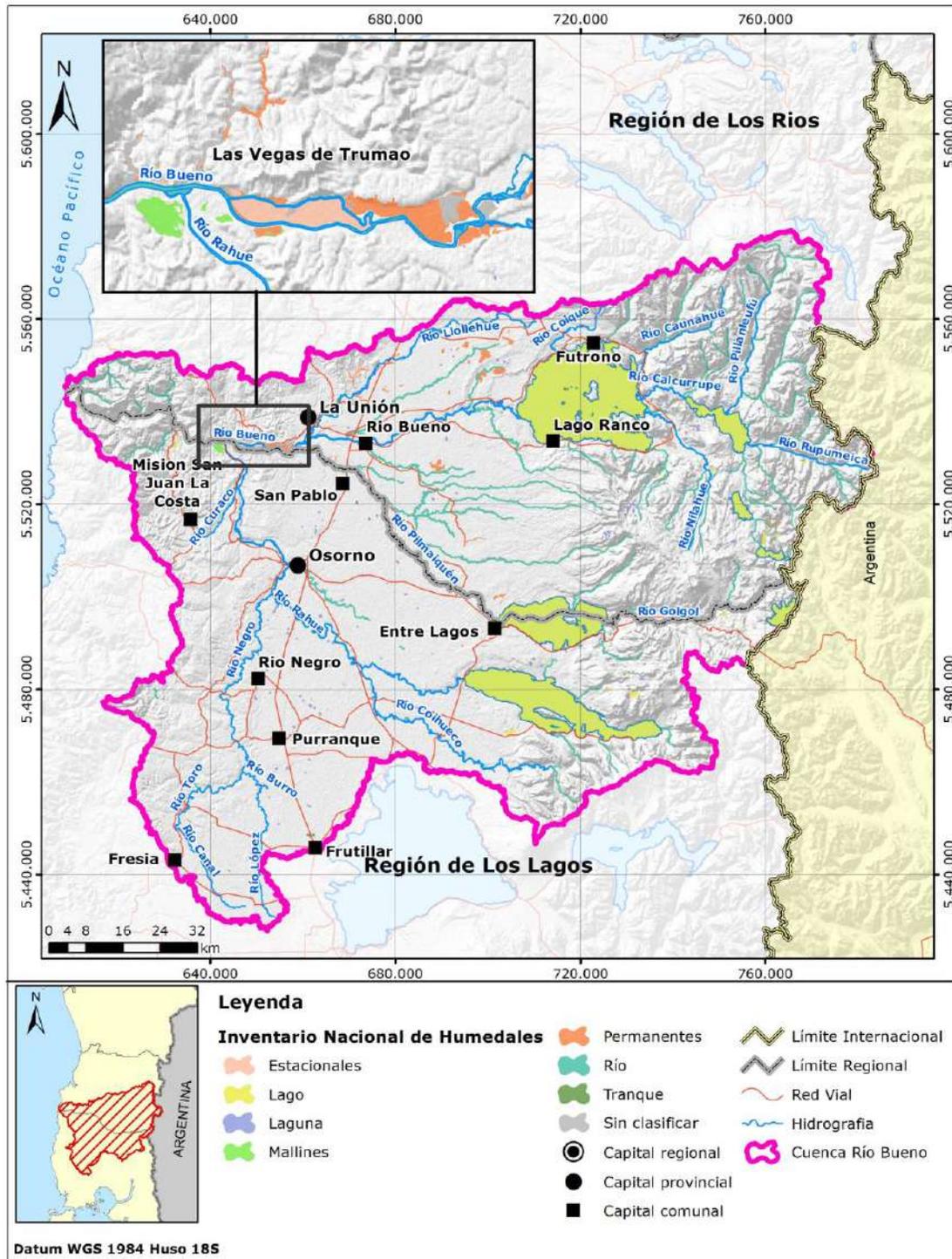


Figura 2-20. Los tipos de territorios inundados dentro de la cuenca Río Bueno, según el Inventario Nacional de Humedales. El sector de Humedal Las Vegas de Trumao es indicado en detalle.

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

Finalmente, es necesario destacar que el Humedal Las Vegas de Trumao forma un complejo de humedales permanentes y estacionales en las orillas del Río Bueno en el sector antes de la entrada a la Cordillera de la Costa (Figura 2-20). Según su relevancia debido a la presencia de aves migratorias, toda esta zona fue declarada un Área de Prohibición de Caza en el año 2000. Si bien existen antecedentes sobre la presencia de estas especies, aún carece, de estudios sobre el funcionamiento de este ecosistema, o sobre las comunidades ecológicas que existen permanentemente en él humedal. Se destaca el único estudio científico publicado sobre el humedal que consideró aves migratorias como población objeto de estudio (Tobar *et al.*, 2021).

2.3.1.2. 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). Entonces, la información que se presenta a continuación, desde fitoplancton hasta peces, se basa en la perspectiva que corresponde a la cadena alimenticia y el flujo de carbón entre ella, en un ecosistema acuático en su desembocadura. 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 no en plantas grandes (como árboles, arbustos, o incluso pasto). En esta sección se resume la información que se encuentra disponible en el Anexo J, Capítulo 8.

La gran cantidad de fijación de carbono que ocurre en las aguas es realizada por organismos unicelulares que se conocen como fitoplancton (microalgas que se encuentran en la superficie del agua) y fitobentos (microalgas adheridas a sustratos como rocas, troncos). En la cuenca Río Bueno se han realizado estudios continuos desde el año 2016 y la cantidad de puntos de muestreo ha variado desde 20 puntos a 17 y además se han modificado en la localización. Los principales resultados indican que, en total, se identificaron 51 *taxa* representadas entre los sitios y etapas de muestreo y gracias a los índices de diversidad biológica (H') y de equidad (J') se señala 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 las 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.*, 2008). Se destaca con gran relevancia la presencia de 15 especies nativas muestreadas (Tabla 2-8). Entre ellos, 2 son clasificados como "preocupación menor" por el MMA. Todos los otros tienen un nivel de conservación asociado; 7 tiene clasificación

“vulnerable” y 5 tiene clasificación “amenazada.” Además, hay 4 especies de salmonidae con observaciones de presencia dentro de la cuenca.

Tabla 2-8. Peces de aguadulce presente dentro de la cuenca Río Bueno.

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)
Galaxiidae	<i>Brachygalaxias bullocki</i>	Sí	VU B2ab(iii)
Characidae	<i>Cheirodon australe</i>	Sí	VU B2ab(iii)
Galaxiidae	<i>Galaxias maculatus</i>	Sí	LC
Galaxiidae	<i>Galaxias platei</i>	Sí	LC
Petromyzontidae	<i>Geotria australis</i>	Sí	VU B1ab(iii)+2ab(iii)
Trichomycteridae	<i>Hatcheria macraei</i>	Sí	VU
Mordaciidae	<i>Mordacia lapicida</i>	Sí	EN A2bce
Atherinopsidae	<i>Odontesthes mauleanum</i>	Sí	VU A2bce
Salmonidae	<i>Oncorhynchus kisutch</i>	No	-
Salmonidae	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	No	-
Percichthyidae	<i>Percichthys trucha</i>	Sí	NT
Percichthyidae	<i>Percilia gillissi</i>	Sí	EN A2ce
Percichthyidae	<i>Percilia irwini</i>	Sí	EN B2ab(ii,iii)
Salmonidae	<i>Salmo salar</i>	No	-
Salmonidae	<i>Salmo trutta</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 según datos de Ministerio de Energía (2016).

2.3.1.3. Áreas bajo protección oficial y otras figuras de conservación

Dentro de la cuenca Río Bueno, hay una riqueza de territorios bajo diferentes formas de conservación de paisaje (Tabla 2-9). La mayoría de los predios son de tipo "Áreas Protegidas Privadas" (APP), con 23 propiedades que cubren 79.041,13 hectáreas dentro de la cuenca (Figura 2-21). Además, la cuenca contiene 469.737,10 hectáreas de la Reserva de la Biósfera Bosques Templados Lluviosos (solo 21,72% de su extensión total), 3 Sitios Prioritarios sin efecto SEIA (238.728,78 hectáreas) y 2 Sitios Prioritarios con efecto SEIA (57.972,62 hectáreas). Estos predios no tienen protección oficial, categoría que reciben aquellos que son otorgados a las áreas del SNASPE, como para los 3 Parques Nacionales (120.853,79 hectáreas) y la única Reserva Nacional (1.490,91 hectáreas). En adición a estas áreas orientados en la conservación de la naturaleza y la biodiversidad, se presenta una Zona de Interés Turística (2.733.885.117,62 hectáreas), dos Áreas de Protección Turística (22.862,08 hectáreas) y una Zona de Prohibición de Caza (10.154,30 hectáreas). 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 643.820,25 hectáreas, o una totalidad de 42,47% de la cuenca. La gran mayoría de las áreas de conservación están ubicadas en la cordillera de los Andes, especialmente la cuenca hidrográfica aguas arriba del Lago Ranco.

En el Anexo J, Capítulo 8 se describen cada una de las categorías de áreas de conservación y otras que aplican a la Cuenca Río Bueno, a través de fichas resumen.

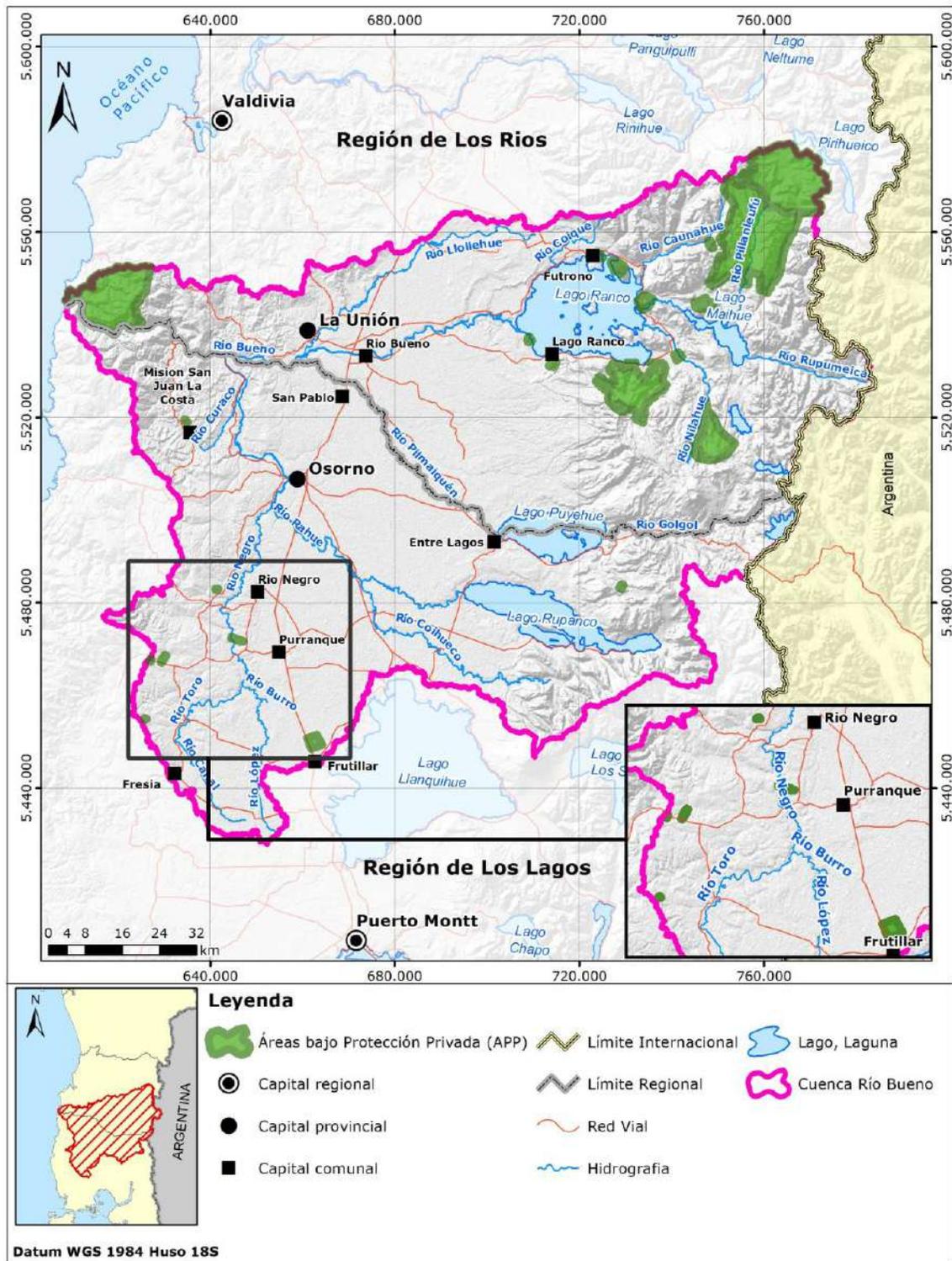


Figura 2-21. Áreas protegidas privadas dentro de la cuenca Río Bueno.
Fuente: Elaboración propia, basado en SINIA (2021).

Tabla 2-9. Tipos de áreas bajo de protección oficial y con otras figuras de conservación del paisaje dentro de la cuenca Río Bueno.

Nombre	Tipo de Área	Área superficial total [ha]	Área dentro de cuenca Río Bueno [ha]	Porcentaje dentro de cuenca [%]
Alerce Costero	PN	24837,79	1.266,06	5,10
Vicente Pérez Rosales	PN	226961,93	6.586,46	2,90
Puyehue	PN	115.286,87	112.970,29	97,99
Mocho - Choshuenco	RN	7.658,30	1.490,91	19,47
Cordillera de la Costa	SP1	935.429,51	29.043,14	3,10
Mocho Choshuenco	SP1	150.007,10	28.929,48	19,29
Cordillera de la Costa	SP2	414.344,92	56.165,34	13,56
Corredor Andino Lago Huishue-Lago Riñihue	SP2	178.072,30	178.072,30	100,00
Corredor ribereño Río Bueno	SP2	.5451,79	5.451,79	100,00
Lago Ranco-Futrón	ZOIT	276.932,10	273.388,51	98,72
Sector Costero de Chaihuin-Hueicolla	APT	82.046,52	21.846,83	26,63
Camino Internacional Puyehue	APT	1.017,66	1.015,25	99,76
Vegas de Trumao	APC	10.154,30	10.154,30	100,00
Bosques Templados Lluviosos - Amortiguación	RdB	309.623,70	62.997,61	20,35
Bosques Templados Lluviosos - Núcleo	RdB	436.333,04	102.333,51	23,45
Bosques Templados Lluviosos - Transición	RdB	1.417.170,25	304.405,99	21,48
Agroturismo Las Bandurrias	APP	80,48	80,48	100,00
Bosque de Quilín	APP	72,47	72,47	100,00
Cerrillos (Termas del Paraíso)	APP	85,18	85,18	100,00
Chihuio	APP	114,41	114,41	100,00
Chollinco	APP	679,09	679,09	100,00
Contrafuerte	APP	1.330,96	1.330,96	100,00
Cordillera Ranco (Ex Providencia)	APP	4.569,43	4.569,43	100,00
La Trafa	APP	466,97	466,97	100,00
La Vega	APP	8,41	8,41	100,00
Las Rosas del Campo	APP	21,48	21,48	100,00
Las vertientes de Chapaco	APP	15,45	15,45	100,00
Los Esteros	APP	62,77	62,77	100,00
Mavidahue	APP	673,49	673,49	100,00
Parcela Lourdes	APP	20,11	20,11	100,00
Parque Alfonso Brandt	APP	96,60	96,60	100,00
Parque Coiguería de Pualhue	APP	11,96	11,96	100,00
Parque Futangue	APP	9.900,55	9.900,55	100,00
Predio Dentro de Parque Nacional Puyehue	APP	56,36	56,36	100,00
Reserva Biológica Huilo Huilo	APP	27.354,03	18.139,83	66,32
Reserva Biológica Huilo Huilo	APP	25.791,94	25.791,94	100,00
Reserva Costera Valdiviana	APP	50.626,30	16.103,69	31,81

Nombre	Tipo de Área	Área superficial total [ha]	Área dentro de cuenca Río Bueno [ha}	Porcentaje dentro de cuenca [%]
Reserva Forestal Edmundo Winkler	APP	582,42	581,21	99,79
sin nombre (Adriana Paredes Pinda)	APP	158,44	158,29	99,90

PN: Parque Nacional; RN; Reserva Nacional, SP1: Sitio Prioritario con efecto en el SEIA; SP2: Sitio Prioritario sin efecto en el SEIA, ZOIT: Zona de Interés Turístico; APT: Áreas de Protección Turística; APC: Área de Control de Caza; RdB: Reserva de la Biosfera; APP: Área Privada Protegidas.

Fuente: Elaboración propia, basado en SINIA (2021).

2.3.2. Glaciares

Los 52 glaciares de la cuenca Río Bueno (Figura 2-22) son asociados a la zona glaciológica de Zona Sur, y se presentan únicamente en las subcuencas que contienen la Cordillera de los Andes (1030, 1032, 1034). Según Tabla 2-10, la mayor cantidad de glaciares de montaña están en subcuenca 1030 (Afluentes Lago Ranco), en las laderas del Volcán Choshuenco.

Tabla 2-10. Extensiones y clases de glaciares dentro de la cuenca Río Bueno.

Código Subcuenca	Nombre Subcuenca	Tipo Glaciar	Cantidad [N°]	Área [ha]
1030	Afluentes Lago Ranco	Glaciar de montaña	8	924,61
		Glaciarete	12	37,39
	Subtotal		20	962,00
1032	Rio Pilmaiquén	Glaciar de montaña	2	176,98
		Glaciarete	17	50,60
	Subtotal		19	227,58
1034	Rio Rahue hasta antes junta Rio Negro	Glaciar de montaña	5	69,56
		Glaciarete	8	11,42
	Subtotal		13	80,98
TOTAL			52	1.270,56

Fuente: Elaboración propia según datos del Inventario Nacional de Glaciares (2015).

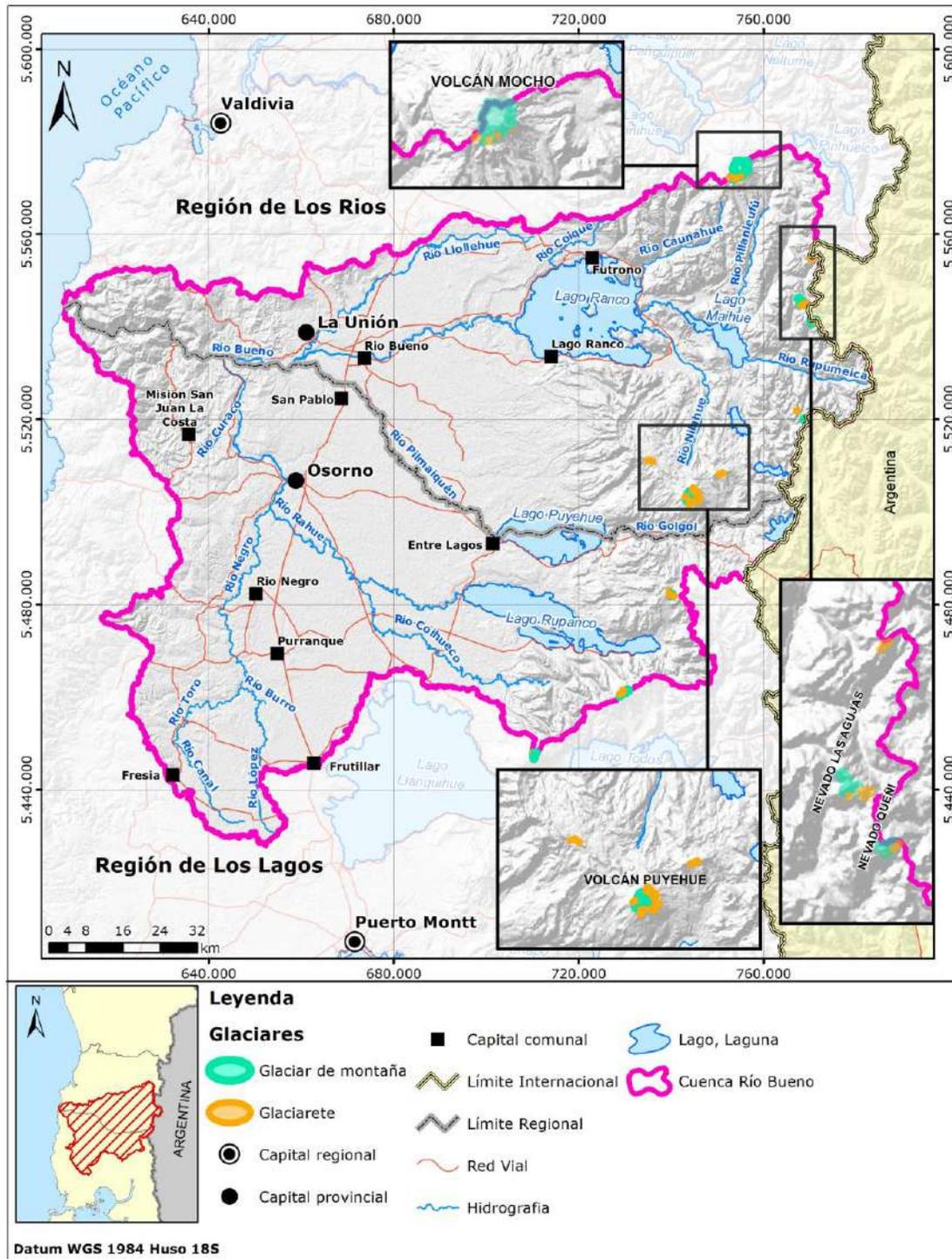


Figura 2-22. Glaciares dentro de la cuenca Río Bueno.
 Fuente: Elaboración propia, basado en DGA (2015).

En lo que respecta al estado de los glaciares, un estudio basado en análisis de imágenes satelitales realizado para la DGA el año 2011 por Rivera *et al.* (2000), que ha estudiado las variaciones temporales de glaciares a lo largo de todo Chile, ha logrado identificar lo siguiente: El Volcán Puyehue, entre los años 1985 y 2011, pasó de un área de 3,17 km² a 2,71 km², teniendo una tasa de variación areal de -0,02 km²/año. Además, se realizó el mismo cálculo para el volcán Puntagüedo, para este volcán en 1987 se determinó un área de 3,06 km² y en 2005 un área de 2,40 km² teniendo una tasa de variación areal de -0,04 km²/año. Cabe destacar que para este último glaciar las aguas se dividen entre la cuenca Río Bueno y las cuencas e islas entre Río Bueno y Río Puelo.

A continuación, se definen brevemente cada tipo de glaciar que se presenta en la cuenca Río Bueno.

Glaciar de montaña: masa de hielo localizada en zonas altas de una montaña. Puede tener muchas formas y donde se evacúa por zonas de acumulación más anchas que largas por una lengua glaciar pequeña.

Glaciarete: las masas de hielo más pequeñas, encontrados en laderas de montañas, depresiones, sombra, receptores de avalanchas, etc. Es posible no tener flujo de masa y en años muy secos pueden desaparecer, reducir su masa o ser cubierto por materiales.

De las 1.270,56 hectáreas de glaciares identificadas dentro de la cuenca Río Bueno, 168,80 hectáreas (12,97%) no están ubicados dentro de un área bajo de conservación oficial (sección 2.3.1.3). Si se considera las Zonas de Amortiguación de la Reserva de la Biósfera "Bosques Templados Lluviosos" dentro de la cuenca Río Bueno, se cubrirá esos glaciares restantes.

2.3.2.1. Aportes a las fuentes superficiales

No hay estudios que hayan indagado en el aporte al régimen hidrológico, como tampoco existen estaciones de medición o programas de monitoreo continuo que permitan determinar o estimar el aporte, mediante derretimiento, al régimen hidrológico

2.3.2.2. Evolución histórica, futura y aportes a fuentes

Los estudios desarrollados en torno a los glaciares de la cuenca Río Bueno, solo destacan los estudios desarrollados por Rivera (1989), Zenteno(2009) y DGA (2009) todos en torno al Volcán Osorno. En los tres estudios se aborda de una forma discreta en el tiempo la variación de la superficie del Glaciar del Volcán Osorno. Sin embargo, no se desarrolla una proyección de la evolución futura ni una cuantificación del aporte de dichos deshielos a las fuentes superficiales y subterráneas.

2.4. Infraestructura hídrica

2.4.1. Obras hidráulicas

2.4.1.1. Embalses y bocatomas

En esta cuenca no hay embalses como obras hidráulicas en cursos superficiales, de la misma forma no se evidencia bocatomas superficiales para riego (CNR, 2021). Aquellas bocatomas existentes están asociadas a proyectos hidroeléctricos y a piscicultura.

2.4.1.2. Centrales hidroeléctricas

En la cuenca existen 27 centrales hidroeléctricas distribuidas principalmente en la zona alta de la cuenca. Estas centrales generan 8 MW en promedio, por lo que sus instalaciones no son de gran envergadura y se distribuyen en la zona cordillerana de la cuenca (ver Figura 2-23).

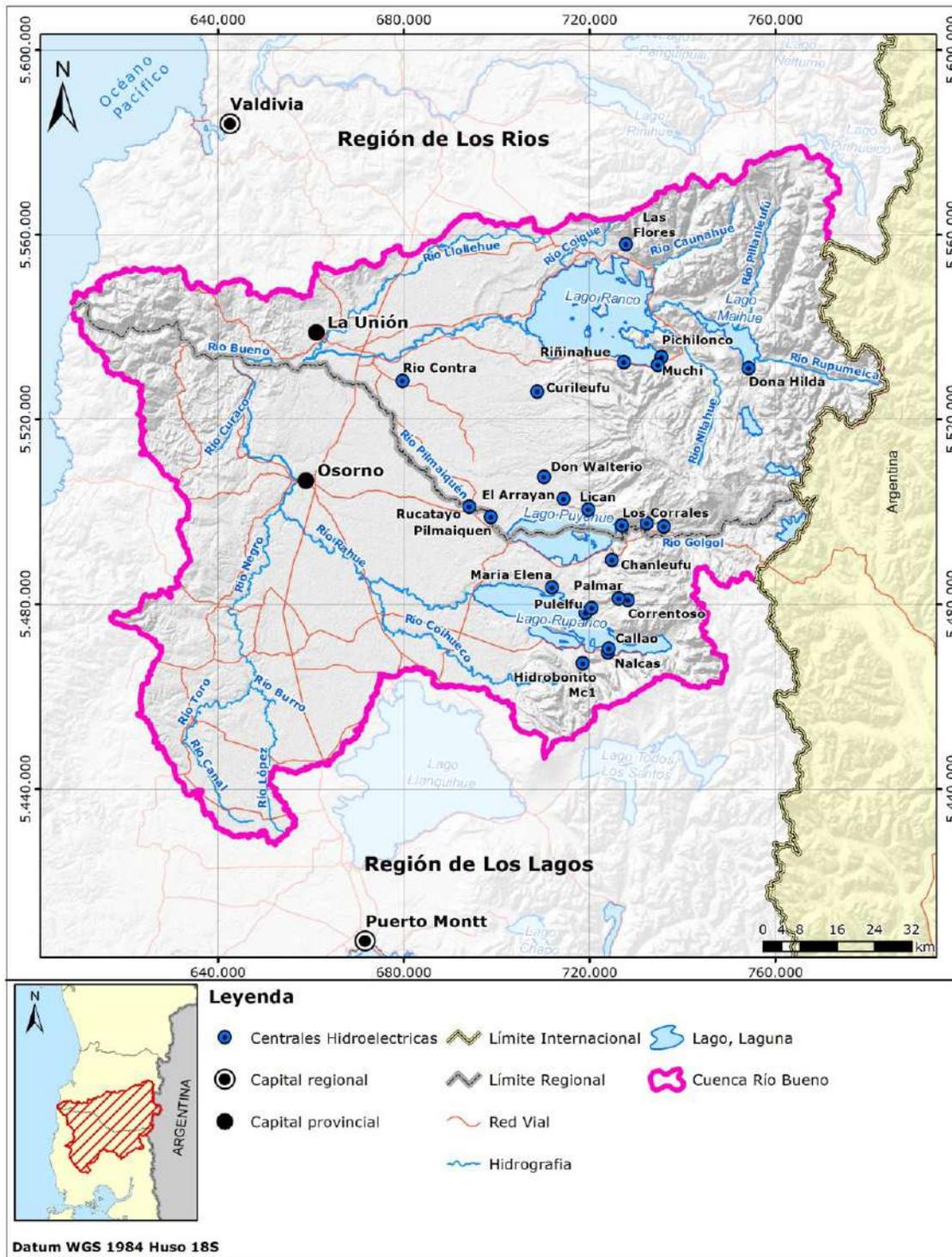


Figura 2-23. Ubicación de las centrales hidroeléctricas en la cuenca Río Bueno.
 Fuente: Elaboración propia basado en información del www.csic.cl.

2.4.1.3. Pisciculturas

Otra infraestructura que presenta bocatomas son las pisciculturas que se ubican principalmente en la parte alta de la cuenca (Figura 2-24). En la cuenca hay 31 pisciculturas y por el tamaño de sus instalaciones, las bocatomas no son de gran envergadura.

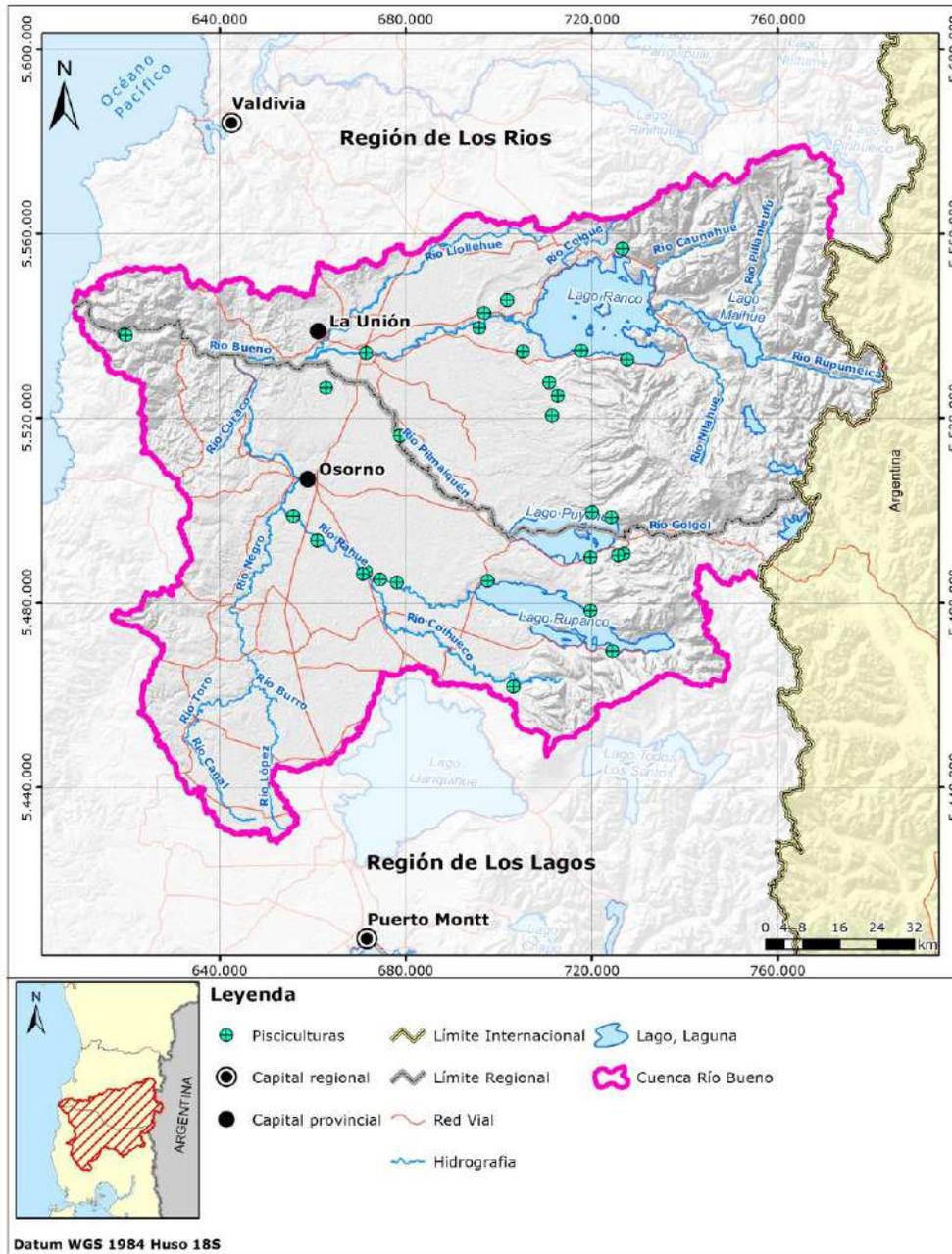


Figura 2-24. Ubicaci3n de las pisciculturas en la cuenca R3o Bueno.

Fuente: Elaboraci3n propia basado en informaci3n de SERNAPESCA (2018).

2.4.1.4. Canales de riego

La cuenca Río Bueno no posee Comunidades de Agua ni asociaciones de canalistas, por lo que tampoco presenta canales de riego. El riego se realiza exclusivamente mediante extracción de agua subterránea y mayoritariamente por aspersión (DGA, 2016).

En el estudio "Diagnóstico del Riego y Drenaje en Chile y su Proyección", (CNR, 2003), se menciona que la infraestructura de riego existente en la zona de estudio es escasa. Existen sólo algunos pequeños canales que se utilizan para fines principalmente industriales y de consumo animal y humano. Entre estos canales se encuentran:

- Canal en sector de Lago Ranco: Posee su captación en el estero Chanuil y con un largo de unos 500 m. es utilizado para el riego de praderas.
- Canal Hacienda Rupanco: Derivado del estero Pichicope, tiene una longitud de unos 40 km. Y en su bocatoma posee una capacidad de 1 m³/s. Se utiliza, principalmente, para satisfacer las necesidades de bebidas de animales.

2.4.1.5. Pozos de extracción

El riego en la cuenca Río Bueno, se realiza mediante extracción de aguas subterráneas y conducción de esta en forma intrapredial. En este sentido, la información de infraestructura de pozos de extracción, su estado de mantención y su estructura en la cuenca es escasa. Respecto a la localización de pozos, se cuenta con la localización de los pozos con Derechos de Agua otorgados por la DGA para uso de riego y naturaleza subterránea. La Figura X presenta la localización de estos derechos.

2.4.1.6. Infraestructura de Servicios Sanitarios Rurales

La infraestructura de los Servicios Sanitarios Rurales (en adelante, SSR), son registrados por la Dirección de Obras Hidráulicas (en adelante, DOH). De esta información se obtuvo registro de la localización de la infraestructura y beneficiarios del sistema de agua potable, información que se profundiza en el acápite 3.1.1 de Demandas de Consumo Humano. La Figura 2-25 presenta la distribución de las SSR en la cuenca Río Bueno.

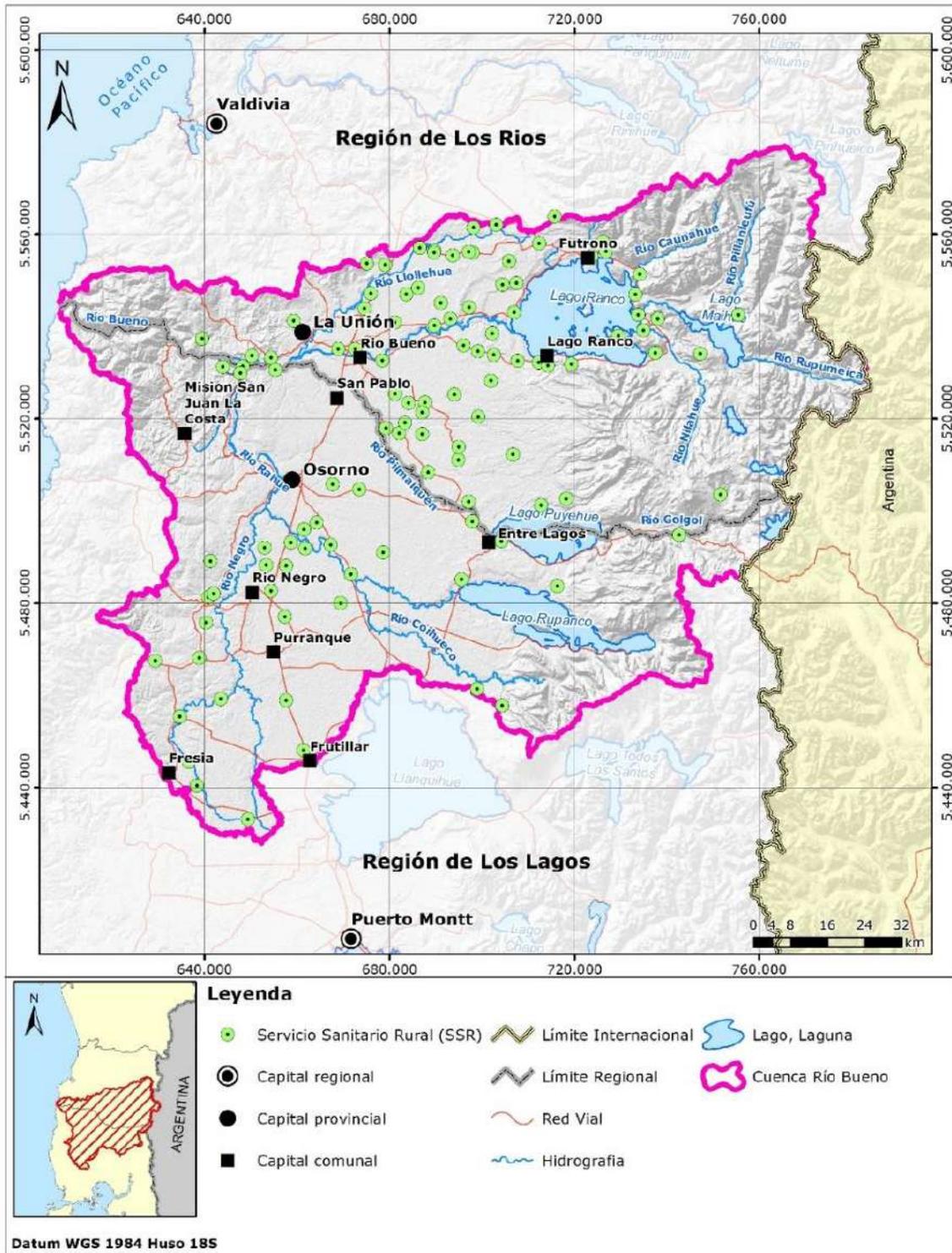


Figura 2-25. Localización de las SSR en la cuenca Río Bueno.

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

2.4.2. Redes de medición

2.4.2.1. Redes de medición hídrica

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 149 estaciones de monitoreo, compuesta por estaciones meteorológicas (28), fluviométricas (19), sedimentológicas (2), de calidad del agua superficial (46) y calidad del agua subterránea (32) y piezómetros (22).

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 9 estaciones están conectadas por el INIA (www.agrometeorología.cl)

2.4.2.2. Estaciones meteorológicas

En la cuenca hay 28 estaciones meteorológicas (Figura 2-26), de las cuales 19 son administradas por la Dirección General de Aguas. Además, cuenta con 9 estaciones administradas por el INIA y la DMC (Detalles de las estaciones presentes puede verse en el Anexo J. Descripción y diagnóstico. Capítulo 9.2). Estas se distribuyen en casi toda la cuenca a excepción de un sector de la depresión intermedia comprendida entre los lagos Puyehue y Ranco.

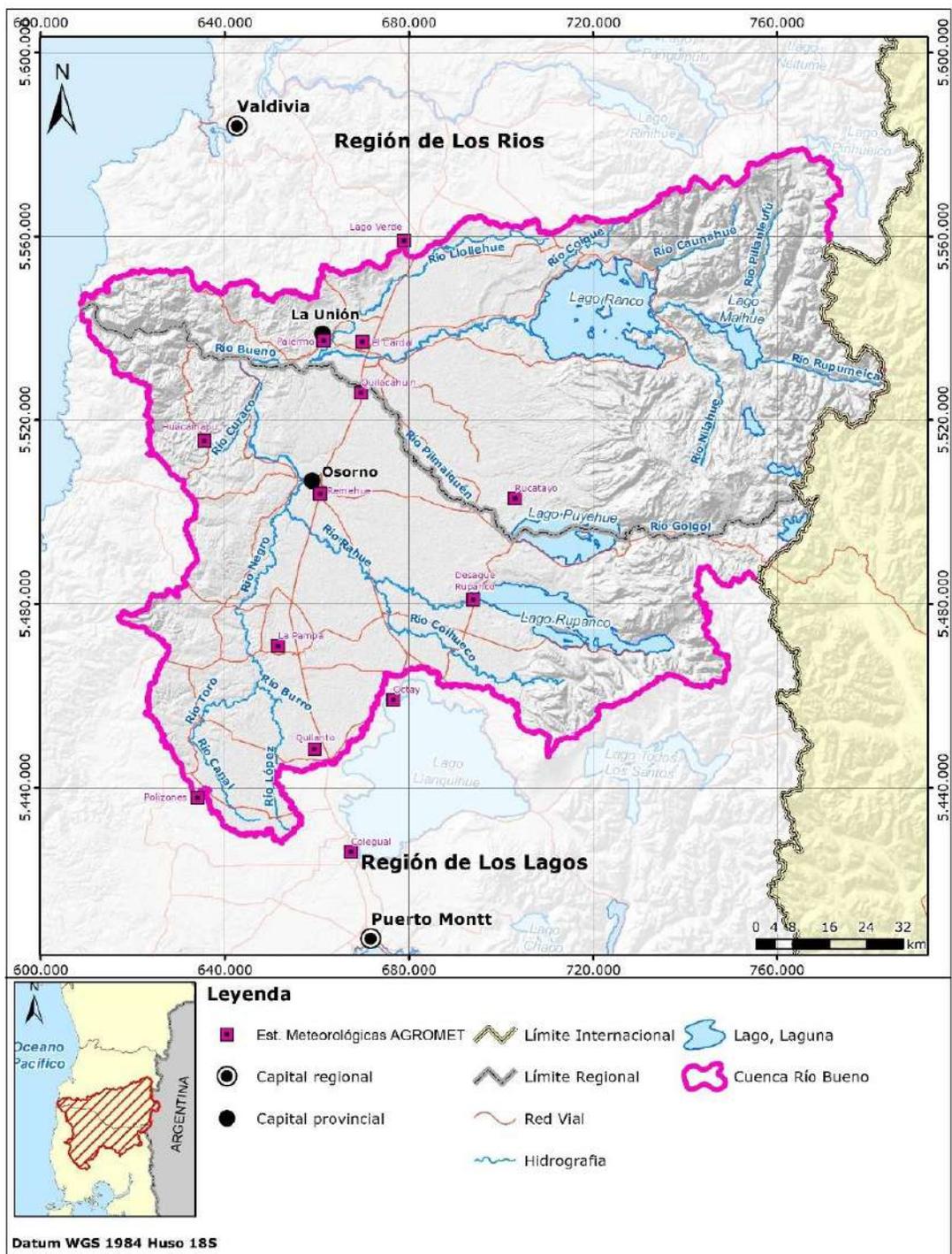


Figura 2-26. Ubicación de estaciones meteorológicas pertenecientes a la red AGROMET.

Fuente: Elaboración propia a partir de información en www.agromet.cl.

2.4.2.3. Estaciones fluviométricas

Para el presente estudio, se utilizaron 19 estaciones fluviométricas ubicadas en la cuenca Río Bueno (Figura 2-27). Estas se distribuyen en toda la cuenca, pero se evidencian ríos afluentes al Río Bueno sin estación de monitoreo, como el Río Chirre y los ríos cercanos a este y ubicados entre los lagos Ranco y Puyehue. (Detalles de las estaciones presentes puede verse en el Anexo J. Descripción y diagnóstico. Capítulo 9.2)

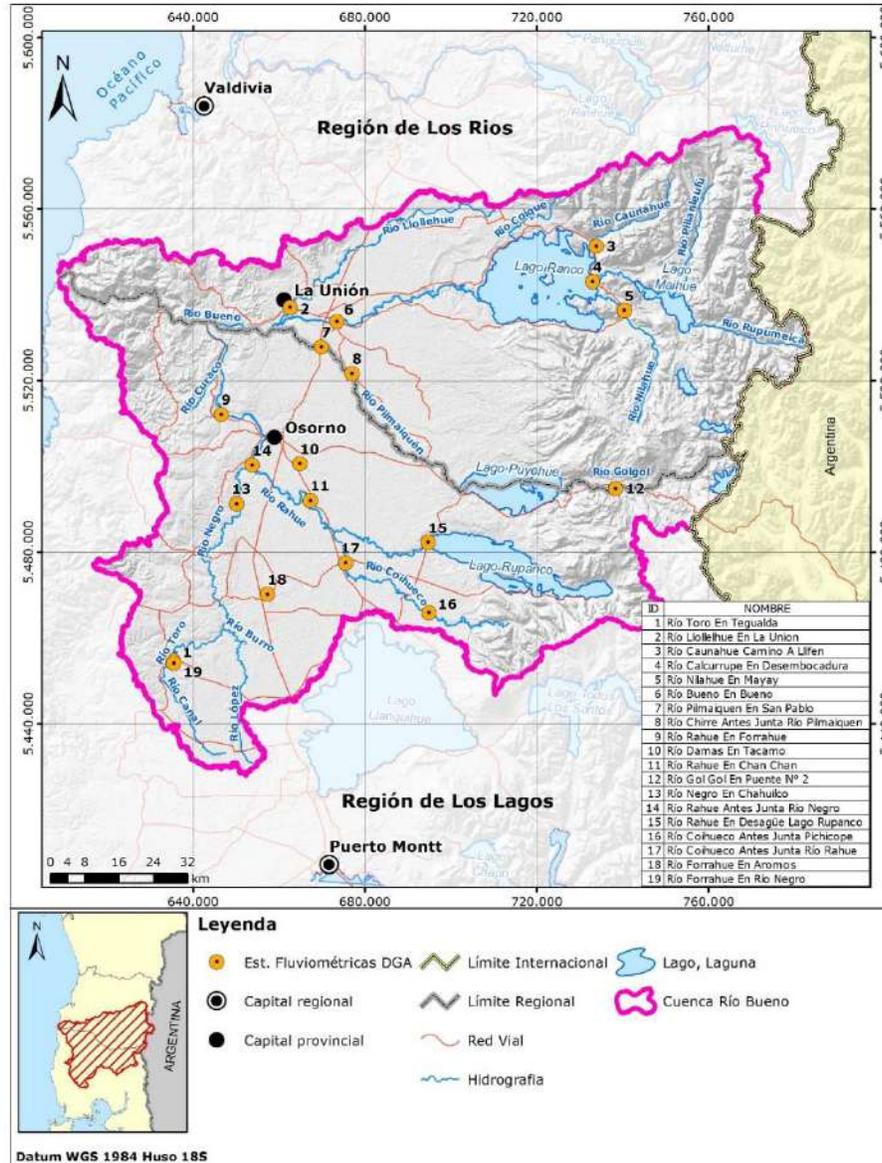


Figura 2-27. Ubicación estaciones fluviométricas en la cuenca Río Bueno.

Fuente: Elaboración propia a partir de información de la mapoteca DGA.

De las 19 estaciones, sólo 15 formaron parte del análisis del Plan y de la modelación. Las estaciones que no se tomaron en cuenta presentaban problemas de vacíos, poca longitud de su serie en el período de análisis o no estar operativas, y fueron las siguientes: 1) Río Forrahue en Río Negro, 2) Río Forrahue en Aromos, 3) Río Gol Gol en Puente No. 2, y 4) Río Coihueco antes junta Pichicope.

La serie de datos diarios de caudales de algunas estaciones (por simplicidad) se muestra en la Figura 2-28. Puede observarse que casi todas las estaciones poseen vacíos en sus registros, al mismo tiempo que se puede deducir que es a finales de la década de los 90 en donde se instalan más estaciones para el monitoreo de los caudales. Las series más extensas pertenecen a estaciones que estaban orientadas a conocer el recurso hídrico para su explotación agrícola, o para conocer los aportes a los lagos.

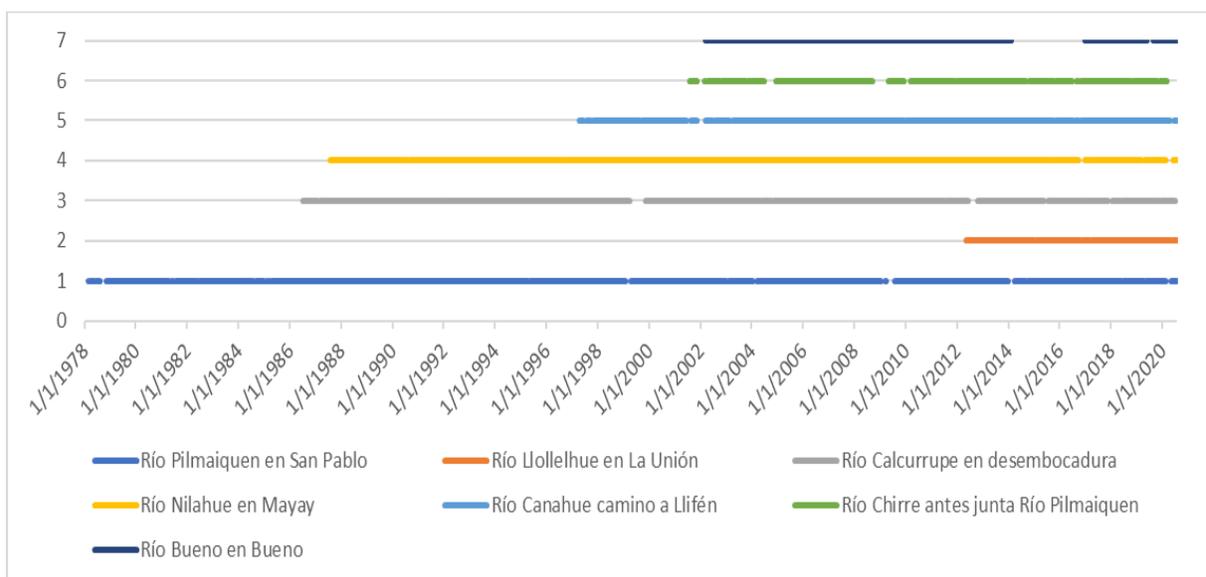


Figura 2-28. Comparación de series de datos de estaciones fluviométricas en cuenca Río Bueno.

Fuente: Elaboración propia a partir de información de la página web de la DGA.

2.4.2.4. Estaciones de niveles de acuífero

Para el monitoreo de niveles, lo que permite evaluar la cantidad de agua disponible en el subsuelo y calibrar los modelos subterráneos, se cuenta con una red de 19 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 2014. Los pozos DGA tienen información que abarca desde el año 2014 hasta el año 2020.

En la Figura 2-29 se presenta la distribución espacial de la red de monitoreo de niveles freáticos de aguas subterráneas en el Río Bueno, para el sector modelado subterráneamente.

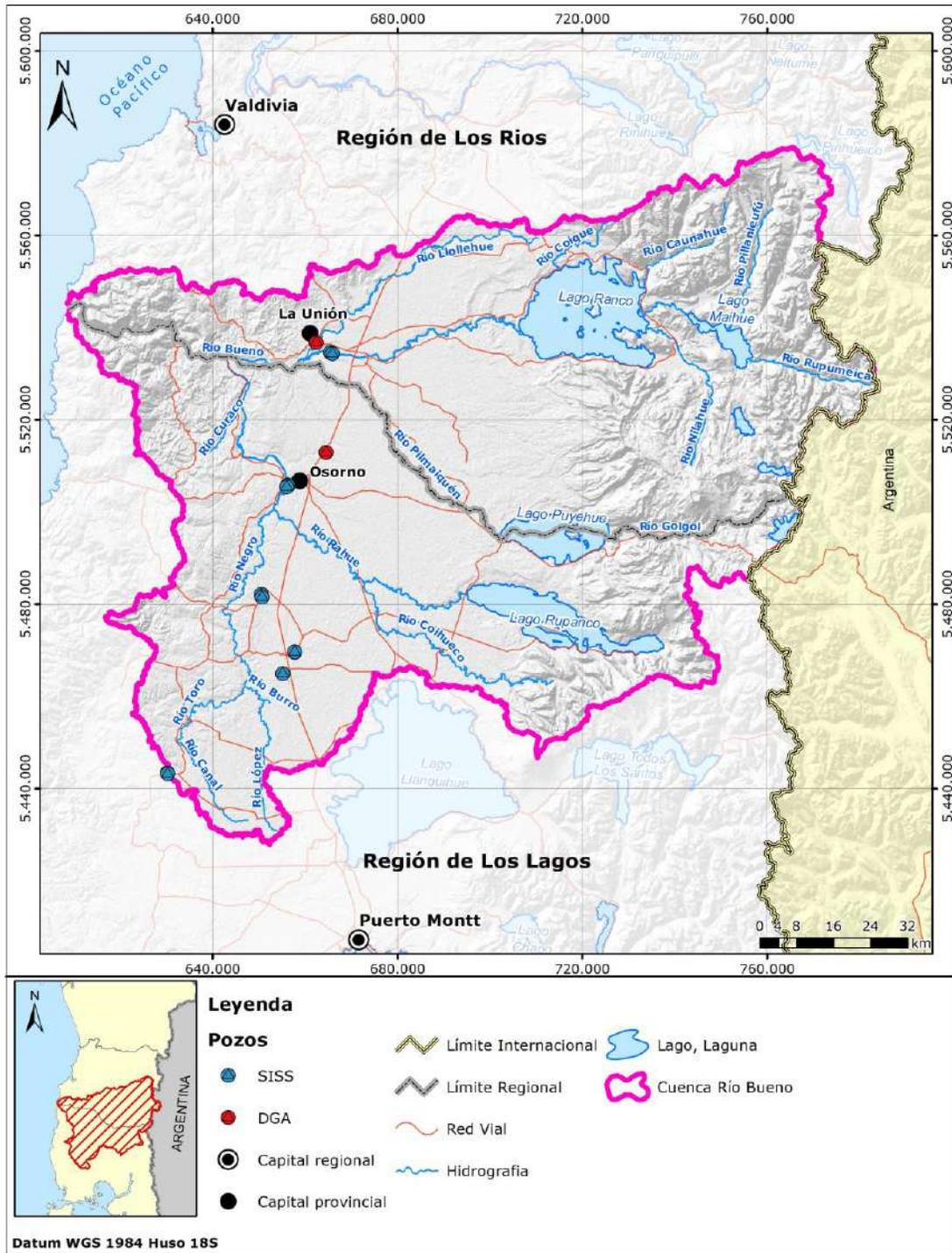


Figura 2-29. Ubicación de los pozos DGA y SISS.

Fuente: Elaboración propia, información SISS y DGA (2021).

Se presenta en la Figura 2-30, el hidrograma de la estación DGA Multicancha Villa Los Ríos en La Unión, en ésta se observa que las profundidades del pozo son estables con variación estacional.

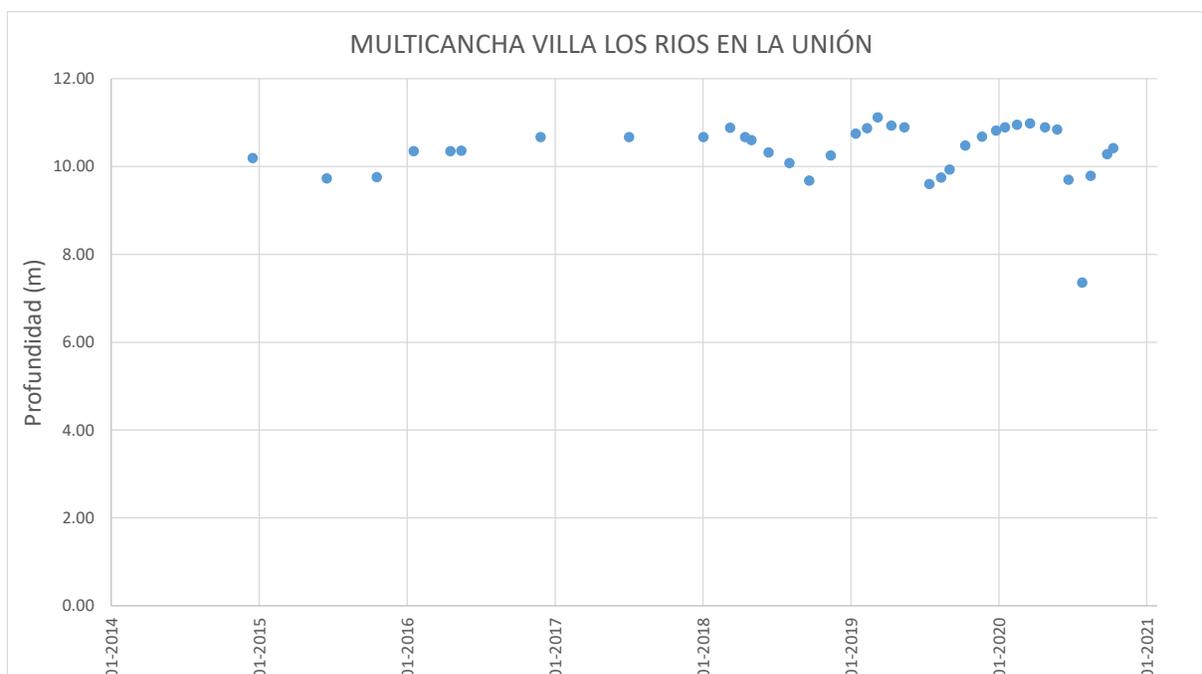


Figura 2-30. Hidrograma pozo Multicancha Villa Los Ríos en La Unión.

Fuente: Elaboración propia.

Los hidrogramas generados de la información de niveles de pozos se encuentran en el (Detalles de las estaciones presentes puede verse en el Anexo J. Descripción y diagnóstico. Apéndice J2.2.

2.4.3. Red de calidad

La cuenca Río Bueno presenta 46 estaciones de monitoreo de calidad del agua superficial (Tabla 2-11). La distribución geográfica de las estaciones por subcuenca (

Tabla 2-11) indica que hay 17 estaciones en subcuenca "Afluentes Lago Ranco" (Código BNA: 1030), 2 estaciones en subcuenca "Río Bueno entre Lago Ranco y Río Pilmaiquén" (1031), 15 estaciones en subcuenca "Río Pilmaiquén" (1032), 1 estación en subcuenca "Río Bueno entre Río Pilmaiquén y Río Rahue" (1033), 7 estaciones en subcuenca "Río Rahue hasta antes junta Río Negro" (1034), 1 estación en subcuenca "Río Negro" (1035), 3 estaciones en subcuenca "Río Rahue Bajo" (1036) y 0 estaciones en subcuenca "Río Bueno Bajo" (1037). Además, hay una concentración de monitoreo dentro de lagos, con 24 estaciones de lagos, en comparación de 21 estaciones de ríos.

Entre las estaciones 46 de calidad de agua superficiales, 44 tiene datos de al menos un día muestreado de cualquier año y 35 estación es al menos un día muestreado entre la última década (2011 - 2020) (Figura 2-31). Debido a la distribución temporal de los datos (ver Anexo J. Descripción y diagnóstico. Capítulo 9.2.3) se observan tres periodos de expansión de monitoreo de aguas superficiales: en el año 1988, con la inauguración de 13 estaciones, entre los años 1997-2001, con 8 estaciones y entre los años 2009-2013, con 23 estaciones.

Tabla 2-11. Número de estaciones de calidad de agua superficial de la DGA dentro de cada subcuenca del sistema hidrográfica Río Bueno.

Nombre de Subcuenca	Código BNA	N° de Estaciones
Afluentes Lago Ranco	1030	17
Río Bueno entre Lago Ranco y Río Pilmaiquén	1031	2
Río Pilmaiquén	1032	15
Río Bueno entre Río Pilmaiquén y Río Rahue	1033	1
Río Rahue hasta antes junta Río Negro	1034	7
Río Negro	1035	1
Río Rahue Bajo	1036	3
Río Bueno Bajo	1037	0
Cantidad total de estaciones		46

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

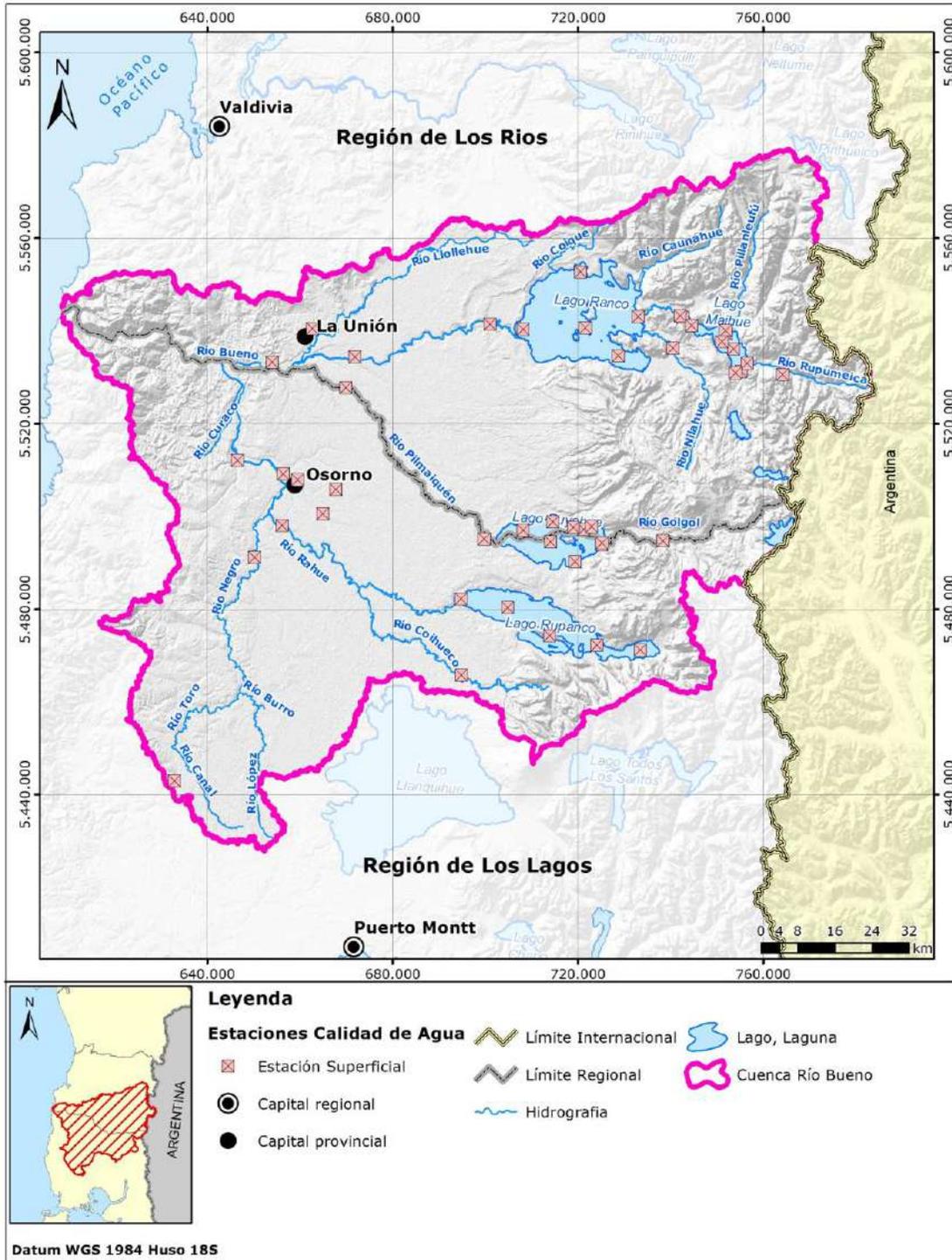


Figura 2-31. La distribución geográfica de las estaciones de calidad de agua superficial por subcuenca.

Fuente: Elaboración propia, basado en datos de DGA (2020) y DGA (2021a).

A la fecha, en la cuenca Río Bueno se han identificado 32 estaciones de monitoreo de calidad de aguas subterráneas, de las cuales cuatro pertenecen a pozos y las restantes 28 estaciones son el resultado de la coordinación entre DGA y DOH para realizar mediciones de calidad de agua en las fuentes de agua que abastecen a las comunidades de agua potable rural, a través de las SSR

De los 32 pozos, la mayor parte de las estaciones de calidad de agua subterránea se asocian al SHAC del Río Bueno Medio (Tabla 2-12). Le sigue el SHAC del Río Bueno Superior con tan sólo tres estaciones de monitoreo. El SHAC Bueno inferior adolece de estaciones de calidad de agua subterránea.

Se destaca, que, del gran número de estaciones de monitoreo de calidad de aguas subterráneas, 28 estaciones poseen una muestra anual y el restante más de una muestra. Estas 28 estaciones han tomado la muestra en el último año de registro analizado y accesible a la fecha. Por lo tanto, es el resultado de un esfuerzo para ampliar la cobertura de monitoreo de calidad de aguas subterráneas gracias a la coordinación entre DGA y DOH y por consecuencia los análisis a escala temporal podrán ser más efectivos en los sucesivos años.

Tabla 2-12. Número de estaciones de calidad de agua subterránea de la DGA dentro de cada SHAC del acuífero del Río Bueno.

Nombre SHAC	Código SHAC	Número de estaciones
Bueno Superior	SHAC-14-05-410	4
Bueno Medio	SHAC-14-11-521	25
Rahue	SHAC-10-106-522	3
Bueno Inferior	SHAC-14-04-409	0
TOTAL		32

Fuente: Elaboración propia.

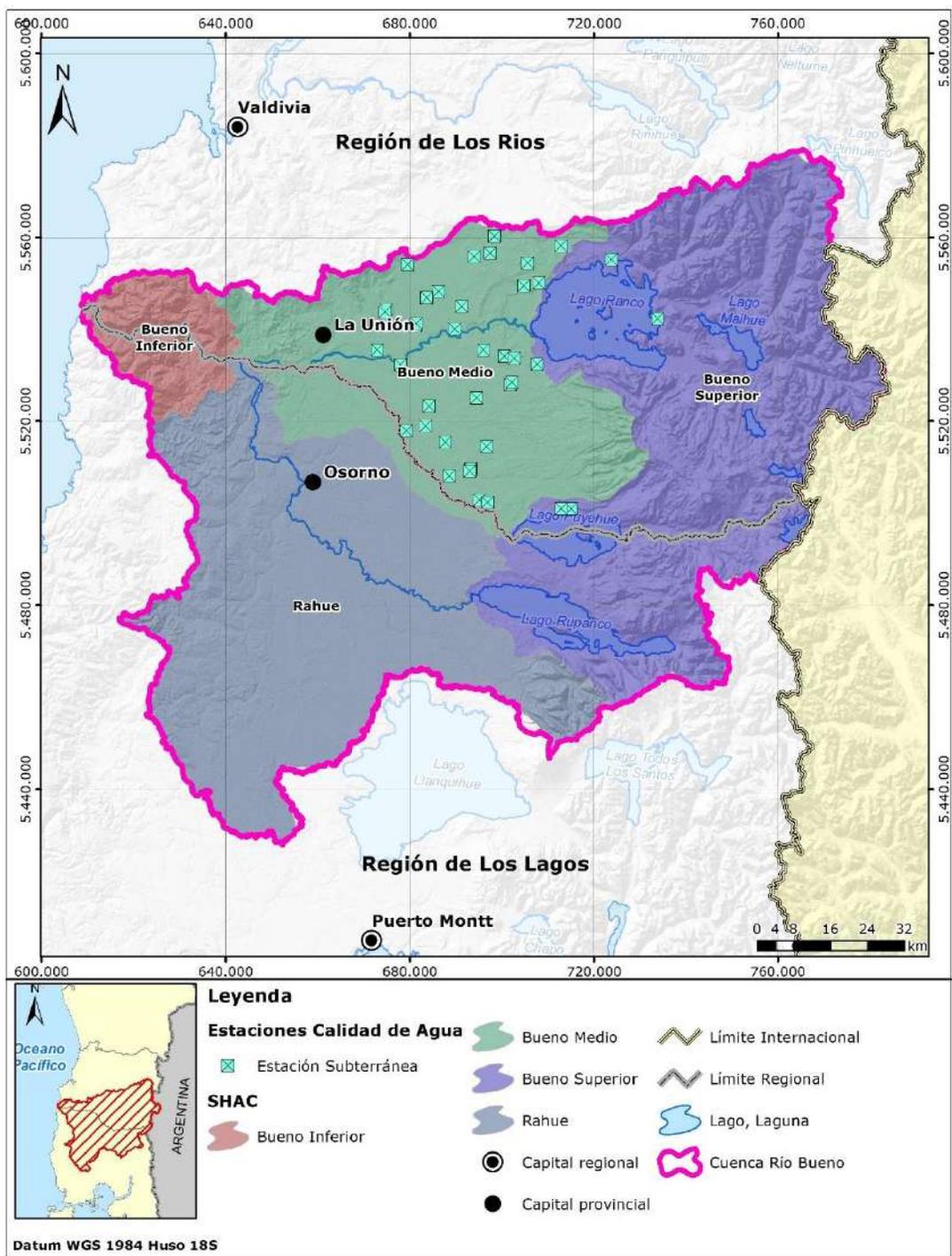


Figura 2-32. Distribución geográfica de las estaciones de calidad de agua subterránea por SHAC.

Fuente: Elaboración propia, basado en datos de DGA (2020) y DGA (2021a).

2.4.4. Red glaciológica y de nieves

En la cuenca no existen redes de monitoreo de glaciares, ni rutas de nieve. Solo se indica que existe la estación Complejo Volcánico Mocho Choshuenco que se encuentra “sin habilitar”

2.5. Nuevas fuentes existentes

2.5.1. Acuíferos profundos

En esta sección se debe analizar la posible presencia de acuíferos profundos en la zona en estudio. 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 2 acuíferos libres identificados, uno denominado depresión intermedia del Río Bueno y el otro Aluvial de los ríos Bueno y Rahue. El primer acuífero mencionado, se reconoció de grandes dimensiones y profundidades de hasta 2.000 m. El segundo acuífero se identifica con profundidades entre los 400 m en la zona alta y de pocas decenas en la zona de la desembocadura. Profundidades mayores que las antes mencionadas tienen poco interés hidrogeológico.

2.5.2. Recarga de acuíferos

No se han evidenciado experiencias de recarga de acuíferos en la cuenca.

2.5.3. Desalinización

No se evidencian iniciativas de desalinización para esta cuenca

2.5.4. Cosecha de aguas lluvias

Se han evidenciado algunas iniciativas de prueba de instalación y utilización de sistemas de cosecha de aguas lluvias en las comunas de Futrono, Mafil y Paillaco, favoreciendo a 150 familias. Esta iniciativa se desarrolló durante los años 2016 y 2017 mandatada por la Intendencia regional de los Ríos

2.5.5. Usos de aguas servidas tratadas

No se evidencian proyectos piloto o estudios que reutilicen aguas servidas dentro de la cuenca.

2.6. Gobernanza del agua a nivel de cuenca

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 (Zurbriggen, 2011).

Para la cuenca en aspectos de relevancia de actores, vinculados a la gobernanza e institucionalidad de la gestión del agua. Se destaca que existe diferentes tipos de agentes que tienen por objetivo temas asociados en la temática hídrica, perteneciendo a las áreas de instituciones públicas, organizaciones sociales, Organismos usuarios del agua, Servicios Sanitarios Rurales y Gremios.

En relación con 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 no existen juntas de vigilancias, comunidades de agua, asociación de canalistas y comunidades de aguas subterráneas. Por lo que para privados no existe la capacidad de administración y distribución de aguas.

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). Y que hoy en día se ven frente a la dificultad del crecimiento demográfico que está afectando a los sectores rurales, provocando una alta demanda de arranques y de ordenamiento territorial.

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 diferentes organismos tienen diferentes formas de trabajar por sus objetivos, entre ellos destaca el movimiento defensa del Río Pilmaiquén y Asamblea Movimiento ciudadano de Osorno, entre otras organizaciones que ven con preocupación el desarrollo de hidroeléctricas, forestales y pisciculturas. Por lo que para la conservación existen capacidad de organizarse, pero que no han logrado vincularse con actores privados de forma continua.

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 SSR la DOH y la DGA son actores claves y que reconocen de forma más clara cuál es el objetivo de sus acciones, también relevan la figura del Municipio para vincularse con las localidades.

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 el ámbito económico es importante mencionar 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, contando con un alto nivel organizacional y de capital humano.

Para la Región de los Ríos en el ámbito económico para la gobernanza es importante el rol que tiene la Sociedad Gremial Agrícola Ganadera (SAVALG), cuya misión es coordinar y potenciar la acción de las asociaciones provinciales por rubro (lechería, ganadería, carne, trigo, remolacha). Situación similar suceder en la Región de los Lagos con Sociedad Agrícola Ganadera (Osorno), quienes tienen una línea similar de trabajo a SAVALG, de ambas organizaciones se recalca su nivel organizacional, quienes desarrollan estudios, diagnósticos y difusión de información.

En conclusión, 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 de la cuenca

En la cuenca Río Bueno 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 Bueno puede verse en Anexo J. Descripción y diagnóstico. Capítulo 14).

La cantidad de instituciones presentes en la cuenca Río Bueno, que presentan algún grado de vinculación con la gestión hídrica de la cuenca se muestra en la Tabla 2-13.

Tabla 2-13. Cantidad de organismo o instituciones presentes en la cuenca Río Bueno con vinculación en el recurso hídrico.

Institución / Organizaciones	Cantidad
Servicios Públicas	13
Municipalidades	9
Servicios Sanitarios Rural	99
Forestales	58
Piscicultura	38
Centrales Hidroeléctricas	12
Juntas de vigilancia	0
Asociación de canalistas	0
Operadores de turismo	17
Organizaciones sociales	17
Asociaciones o comunidades indígenas	333
Servicio Sanitario Urbano	1

Fuente: Elaboración propia (2021). Basado en los procesos participativos (Anexo I).

En conclusión, 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

2.6.2. Mapa de actores

En el mapa de actores se describen nivel de influencia e interés en la cuenca Río Bueno, en el que se presentan a los servicios públicos, gremios, servicios sanitarios rurales y organizaciones sociales, también se distingue el tipo de actor. La construcción del mapa de actores se realiza con la información obtenida en entrevistas, reuniones sectoriales y un formulario google que se envía adjunto con las invitaciones.

A continuación, se presenta el mapa de actores, para cada número está asociado a un actor que se puede leer en la tabla de actores, el actor que no tiene relación es por se ha mencionado como relevante pero no se expone una relación.

Para la lectura de influencia e interés de actores, 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.

El mapa de actores (Figura 2-33) considera a la totalidad de los actores (servicios públicos, organizaciones sociales, agrupaciones gremiales, servicios sanitarios rurales), donde se grafica el grado de influencia e interés que cada uno de ellos, tiene en el proceso de gestión del agua en la cuenca Río Bueno.

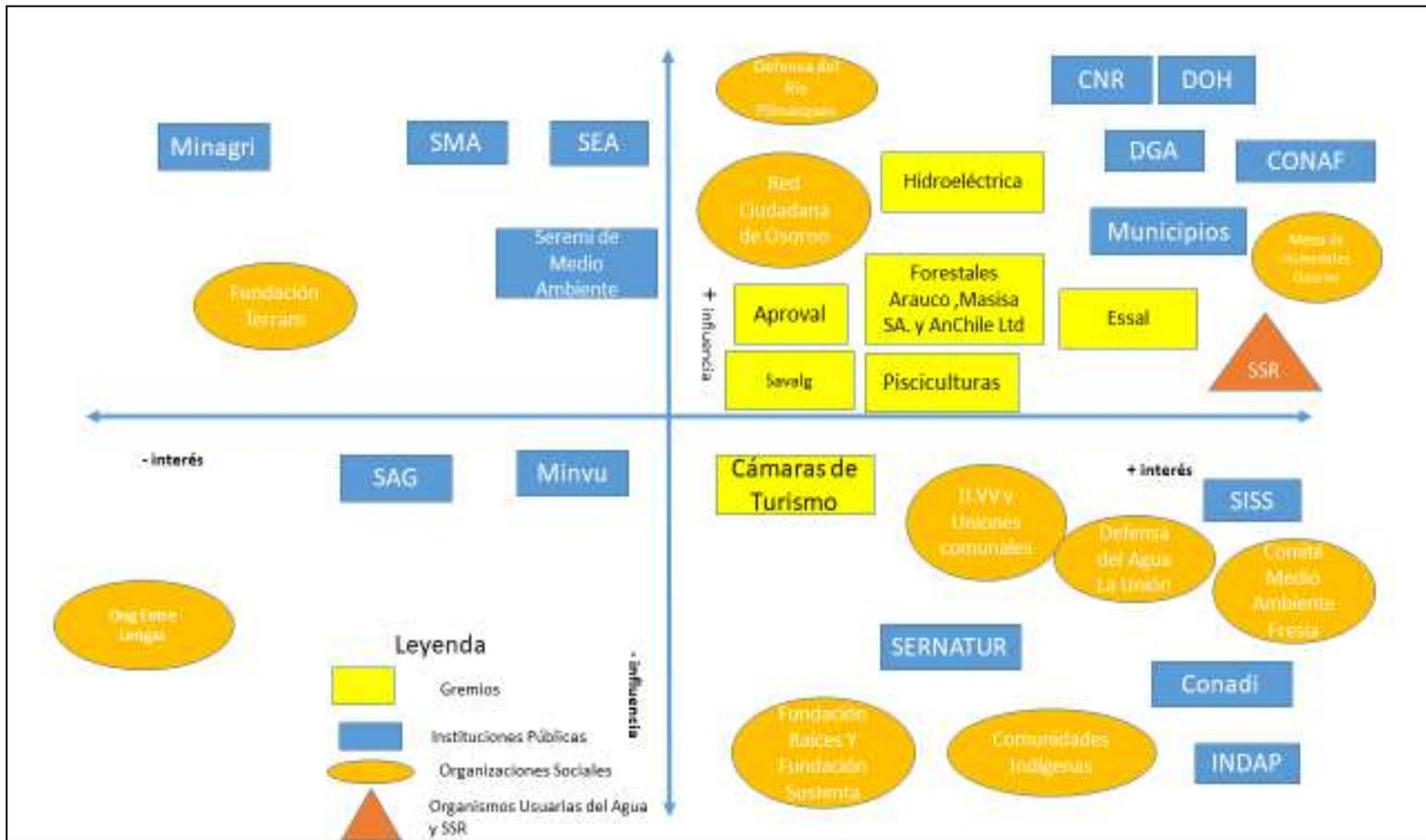


Figura 2-33. Mapa de actores, según nivel de influencia e interés, de las instituciones públicas y organizaciones sociales presentes en la cuenca Río Bueno.

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

El mapa de actores permite identificar el nivel de influencia e interés de los distintos agentes que se vinculan a la gestión del agua en la cuenca Río Bueno. De acuerdo con la metodología, el esquema de actores se construye en base a la percepción de diferentes organizaciones, empresas e instituciones. Entregando como resultado que existen Instituciones públicas claves (actores claves) como lo es el caso de la DOH, DGA, CNR, SISS, SEA, SMA y Municipios, y las instituciones vinculadas al medio ambiente y seguridad social, resolviendo temáticas de distribución de agua, de infraestructura, riego y medio ambiente. En el caso de Sernatur tiene alto interés en la cuenca, y los actores lo consideran importante por la vocación turística pero no incide en la toma de decisiones directa de la gestión del agua, lo mismo sucede con la CONADI e INDAP donde desarrollan programas que contemplan a usuarios de tipo agrícola a escala menor, y a comunidades indígenas que tiene una alta presencia en la cuenca.

Las organizaciones sociales como defensa del Río Pilmaiquén y Asamblea Ciudadana Osorno, son actores claves y con un nivel alto de interés e influencia en la cuenca, ya que tienen la capacidad de movilizar otros actores. Las juntas de vecinos (uniones comunales urbanas rurales) como organización territorial funcional, cumple como actor el rol de canalizar diferentes demandas en la cuenca, como es el caso del de soluciones de alcantarillados, acceso al agua y temáticas ambientales.

También se observan al MINVU y al SAG como instituciones con bajo nivel de influencia e interés, y tomando un rol secundario en la gestión de agua debido a que los actores no los vinculan en su interrelación, pero que, en relación con sus objetivos pueden llegar a ser importante, como es el caso del MINVU debido al aumento poblacional en la cuenca

2.6.3. Brechas de coordinación

De acuerdo con los 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
- 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.
- 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.
- La amplitud de organismos estatales y servicios públicos que ejercen su acción (ya sea en materias de planificación, fiscalización, subsidios y ejecución de planes y proyectos) en torno al agua, presentan dificultades a la hora de ejercer sus labores de fiscalización, por cuanto a la falta de personal para ejercer la fiscalización o el

área de influencia en la cual pueden ejercer dicha fiscalización, se percibe por parte de las instituciones como de la comunidad como una brecha que afecta a supervisar la calidad del agua como la extracción de esta.

- La gestión del agua en la cuenca Río Bueno aparece regida de facto según el régimen de propiedad de los derechos de aprovechamiento en la cuenca. Así, la falta de organizaciones de usuarios de agua que operen efectivamente aparece como una grave brecha de coordinación y gobernanza en el territorio.

2.6.4. Brechas de información

Recurso hídrico superficial

- Ríos afluentes al Río Bueno sin estación de monitoreo, como el Río Chirre y cercanos a este ubicados en la depresión intermedia entre los lagos Ranco y Puyehue.

Calidad del agua

- Ausencia de estaciones de monitoreo de calidad de aguas superficiales y subterráneas. Para calidad de agua superficial no se cuenta con monitoreo en la subcuenca Bueno Bajo. Para calidad de agua subterránea no se cuenta con monitoreo en el SHAC Bueno Inferior. Ambos sectores son semejantes.
- 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.
- Brecha de información debido al sesgo metodológico que se presenta para los metales de Boro, Mercurio, Molibdeno y Plomo en el caso de las aguas superficiales.

Consumo humano

- Poca información disponible sobre los servicios sanitarios rurales. Esto se debe, primero, a la dispersión de los datos disponibles, como también a la falta de organización misma por parte de los propios usuarios, que, a su vez, no se encuentran constituidos o regularizados.
- No se encontró información atinente para evaluar la eficiencia del servicio sanitario rural ni urbano. Los antecedentes recopilados no contaban con los antecedentes mínimos para ser incorporados en el análisis de consumo humano.

Conservación de ecosistemas acuáticos

- Desconocimiento de las comunidades ecológicas dulceacuícolas que habitan Las Vegas de Trumao, el complejo humedal que está ubicado en la confluencia del Río Rahue con el Río Bueno, justamente aguas arriba de donde el Río Bueno empieza a cruzar la cordillera de la costa.

3. DEMANDA FÍSICA Y LEGAL DIFERENTES USOS

3.1. CONSUMO HUMANO

La demanda hídrica para consumo humano 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 2.2.1 Agua Potable.

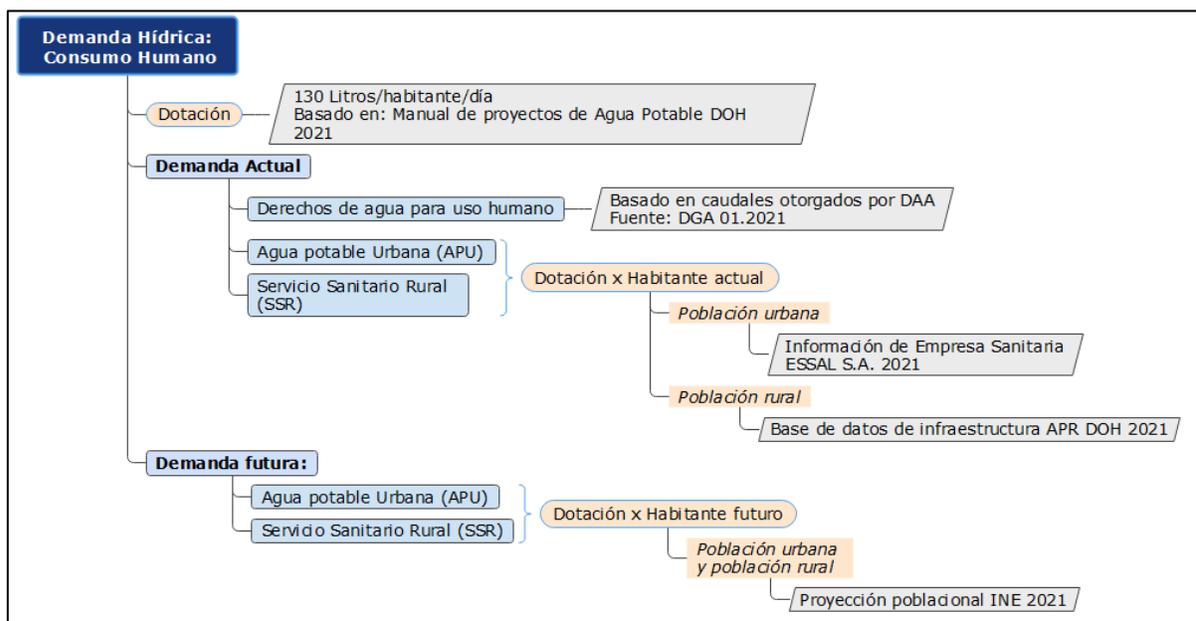


Figura 3-1. Esquema metodológico de estimación para demanda hídrica por consumo humano.

Fuente: Elaboración propia basado en información DOH y DGA.

3.1.1. Demanda actual

La demanda hídrica actual para uso humano se establece considerando una dotación fija por la cantidad de beneficiarios del sistema. Para estimar la dotación promedio por habitante se obtuvo la información del Manual de Proyectos de Agua Potable Rural (MOP, 2019), e información de dotación por habitante de proyectos de agua potable. La revisión de esta información permitió conocer que la mejor estimación para la dotación de agua potable urbana y rural es de 130 litros-habitante/día. La Tabla 3-1 presenta la demanda hídrica actual de Agua Potable Urbana (APU) y rural (SSR), mientras que la Figura 3-2 la distribución porcentual de esta demanda. Para más información visitar Anexo F, acápite 2.2.1 Agua Potable.

Tabla 3-1. Demanda Hídrica en Agua Potable en la cuenca Río Bueno.

RESUMEN	Total	Unidad	Fuente
Número de SSR	110	estructuras	Información DOH 2021
Población beneficiaria de las SSR	58.601	Beneficiarios	Información DOH 2021
Comunas con SSR	14	Comunas	Información DOH 2021
Caudal anual SSR	2,42	Hm³/año	Elaboración propia
Empresas de APU	1	empresa	ESSAL 05/2021
Número de comunas con APU	12	Comunas	ESSAL 05/2021
Población beneficiaria de las APU	298.378	Beneficiarios	ESSAL 05/2021
Caudal anual APU	14,16	Hm³/año	Elaboración propia

Fuente: Elaboración propia basado en información entregada por ESSAL (2021) y DOH (2021).

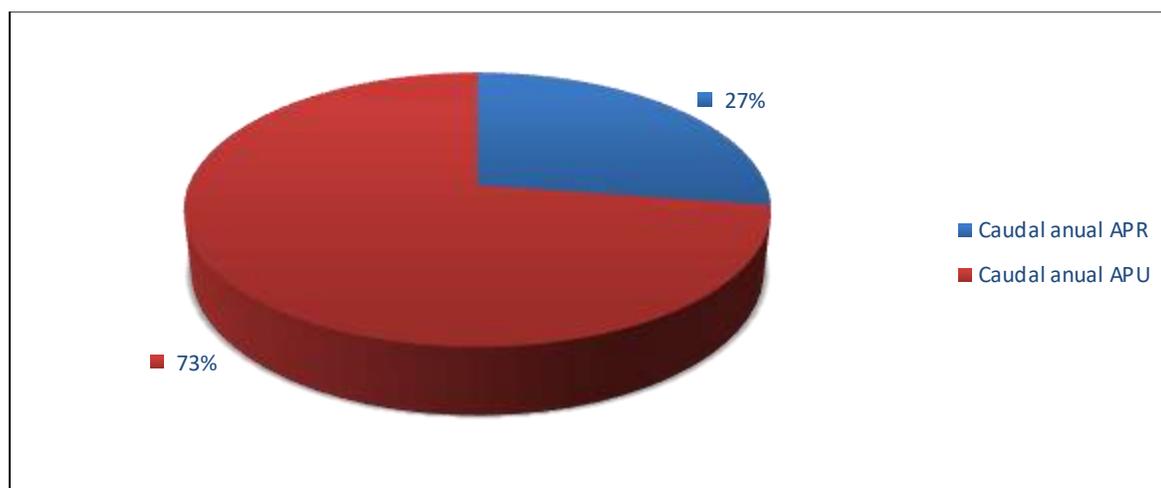


Figura 3-2. Distribución porcentual de la demanda Agua Potable en la cuenca.

Fuente: Elaboración propia basado en antecedentes DOH y DGA.

3.1.1.1. Eficiencia de uso

No existe un catastro que determine o estime la eficiencia en la distribución de agua potable, como tampoco se ha desarrollado un catastro del estado actual de las instalaciones y equipamiento civil en la distribución del agua. Las instancias de participación ciudadana realizadas, permitió conocer la situación dispar de estado de infraestructura según los mismos dirigentes de las SSR. Ante esto, se estimó que la pérdida es del orden de 15 a 20% en la distribución.

Hay que considerar que gran parte del abastecimiento se realiza desde fuentes subterráneas y por lo tanto la distribución es principalmente a través de bombeo y sistema a presión.

3.1.1.2. Derechos de Agua para uso humano

El análisis de distribución de los Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA) para bebida o uso doméstico en la cuenca Río Bueno registró un total de 2.783 DAA, donde 1.632 tienen su origen en aguas superficiales y 1.151 su origen en aguas subterráneas.

En cuanto al caudal mensual y volumen anual, para los derechos subterráneos se identificó un caudal mensual de 10.651 l/s que corresponde a un volumen anual de 335,90 hm³/año. Por otra parte, para los derechos superficiales, se identificó un caudal mensual de 20.072 l/s que corresponde a un volumen anual de 632,99 hm³/año. El resumen de esta información se presenta en la Tabla 3-2 y Figura 3-3

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

Usos	DAA otorgados	Caudal mensual [l/s]	Volumen anual [hm ³ /año]
Subterránea	1.632	20.072	632,99
Superficial	1.151	10.651	335,90
Total	2.783	30.723	968,90

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

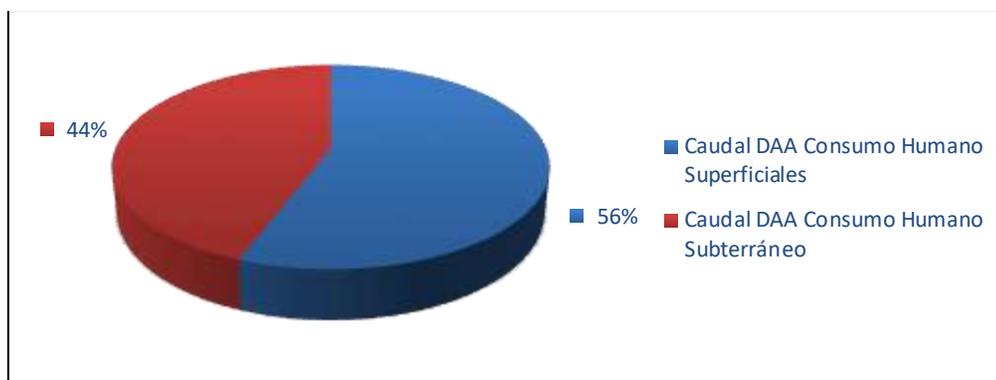


Figura 3-3. Distribución porcentual del caudal otorgado para uso doméstico .

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

3.1.2. Demanda Futura

La DHF para agua potable fue evaluada manteniendo las consideraciones de estimación utilizadas en la demanda actual (demanda hídrica = beneficiarios x dotación).

Para conocer los futuros beneficiarios de la cuenca de estudio, se utilizaron los datos de crecimiento poblacional presentados por el Instituto Nacional de Estadística (INE). Este analiza los datos obtenidos por el CENSO 2017 a nivel comunal y realiza una proyección poblacional para los años 2020 y 2030, información proyectada a los años 2040 y 2050. Para más información de los aspectos metodológicos dirigirse al Anexo F de este documento.

La Figura 3-4 presenta los resultados obtenidos para la estimación de la Demanda Hídrica Futura (en adelante DHF) de agua potable rural y la Figura 3-5 los resultados obtenidos para la estimación de la DHF de agua potable urbana, ambos de la cuenca Río Bueno.

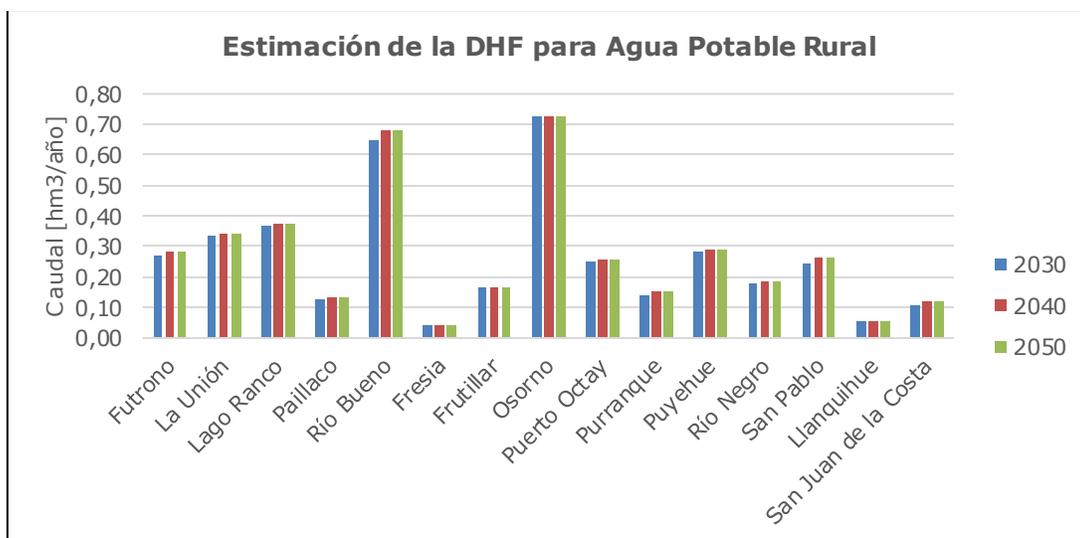


Figura 3-4. Estimación de la DHF para Agua Potable Rural [hm³/año].
Fuente: Elaboración propia, basado en antecedentes demográficos.

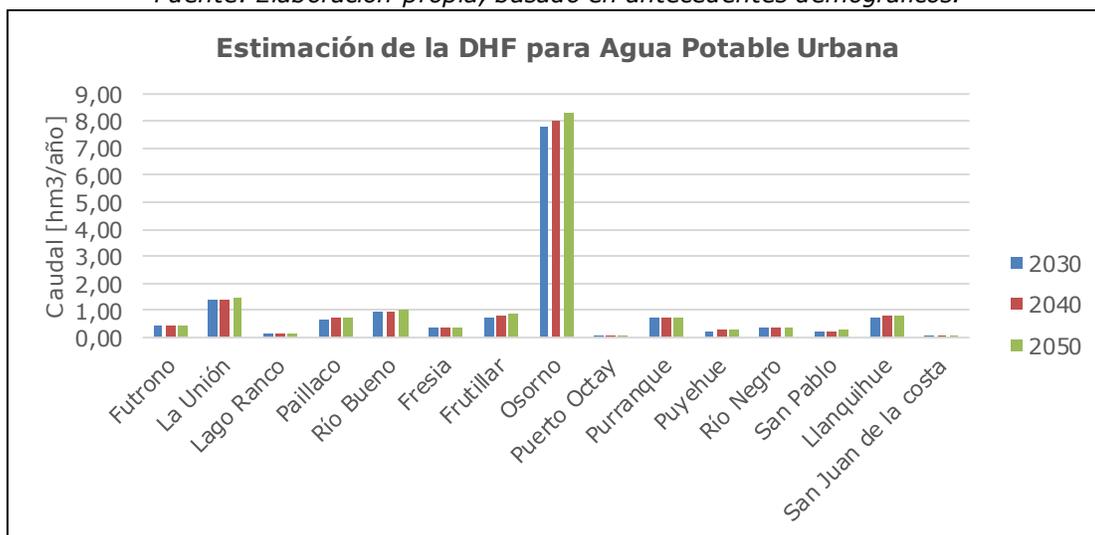


Figura 3-5. Estimación de la DHF para Agua Potable Urbana [hm³/año].
Fuente: Elaboración propia, basado en antecedentes demográficos.

3.2. NECESIDADES MÍNIMAS AMBIENTALES

Esta sección combina información de caudales de conservación dentro de la cuenca Río Bueno, según informes técnicos. Estos caudales 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, 2017) 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 (2017) seleccionó Áreas Silvestres Protegidas acorde a la disponibilidad de datos fluviométricos y para el caso de la Región de Los Ríos se realizó la estimación de la demanda ambiental para:

- Sitio Prioritario para la biodiversidad Mocho Choshuenco,
- Sitio prioritario Curiñanco
- Sitio RAMSAR Río Cruces.

Esto implica que a pesar de que la cuenca Río Bueno alberga 9 áreas protegidas (3 Parques Nacionales, 1 Reserva Nacional, y 5 Sitios Prioritarios), la evaluación abarcó sólo un sitio prioritario. Los datos obtenidos indican dos elementos, las estaciones fluviométricas para estimar dichos caudales se encuentran en la superficie del SP Mocho Choshuenco perteneciente a la cuenca del Río Valdivia y se debe asegurar un flujo anual de 41 y 98 m³/s para cada estación fluviométrica. En ambos casos este flujo aporta al lago Panguipulli, que se encuentra en la cuenca del Río Valdivia. Por lo tanto, no se pueden estimar caudales de protección ambiental a la cuenca Río Bueno.

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 2014a) evaluó valores de caudal ecológico puntuales para varios derechos de agua en las regiones de su estudio, la que incluyó el Río Bueno, 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 Bueno, 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 Bueno al nivel de subsubcuenca o subcuenca.

Según la evaluación en el informe "Estimación de la Demanda Actual, Proyecciones Futuras y Caracterización de la Calidad de los Recursos Hídricos en Chile, Volumen II" (S.I.T. N° 419, DGA 2017), no había ZOIT en este momento para evaluar dentro de la cuenca Río Bueno; la ZOIT Lago Ranco – Futrono fue establecida el 23 de febrero de 2018. Por esta razón, no se encuentra una evaluación sobre los caudales turísticos dentro de la cuenca Río Bueno.

3.3. DEMANDA AGRÍCOLA Y FORESTAL

3.3.1. Zonas de riego modeladas

Para caracterizar la demanda agrícola se necesitan 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. A continuación, se presenta un esquema del flujo de trabajo para estimar la demanda evapotranspirativa.

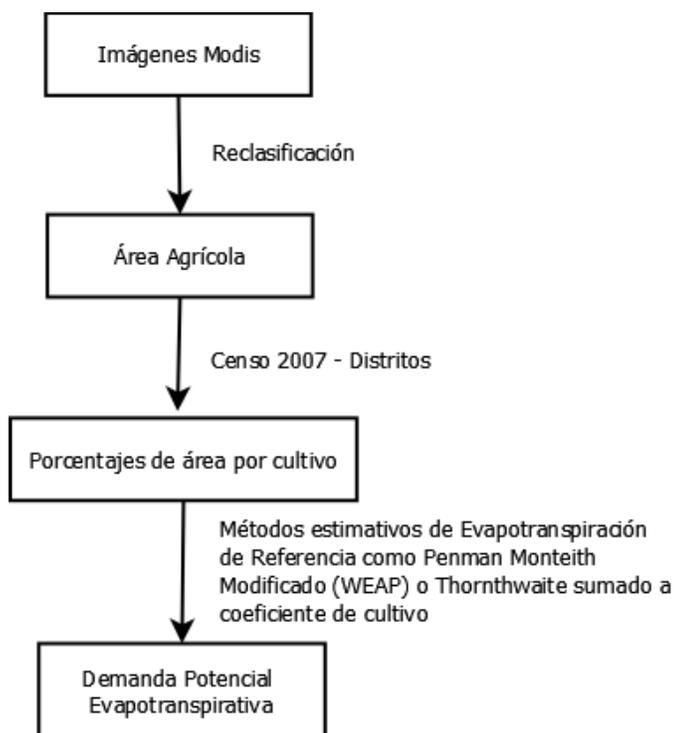


Figura 3-6. Esquema de flujo de trabajo para obtener demanda agrícola.

Fuente: Elaboración propia, en base a FAO.

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 3-7): 90 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 (Tabla 3-3), la mayor superficie bajo manejo en la cuenca son las plantaciones forestales con cerca del 40% del área agrícola reportada, seguida de las forrajeras permanentes en secano (21,5%), luego por las forrajeras anuales

en secano (20,0%) y por los Cereales, Leguminosas, Tubérculos y Cultivos Industriales en secano (13,1%). En su conjunto, todos los cultivos reportan una superficie agrícola al 2007 de 969.287 ha.

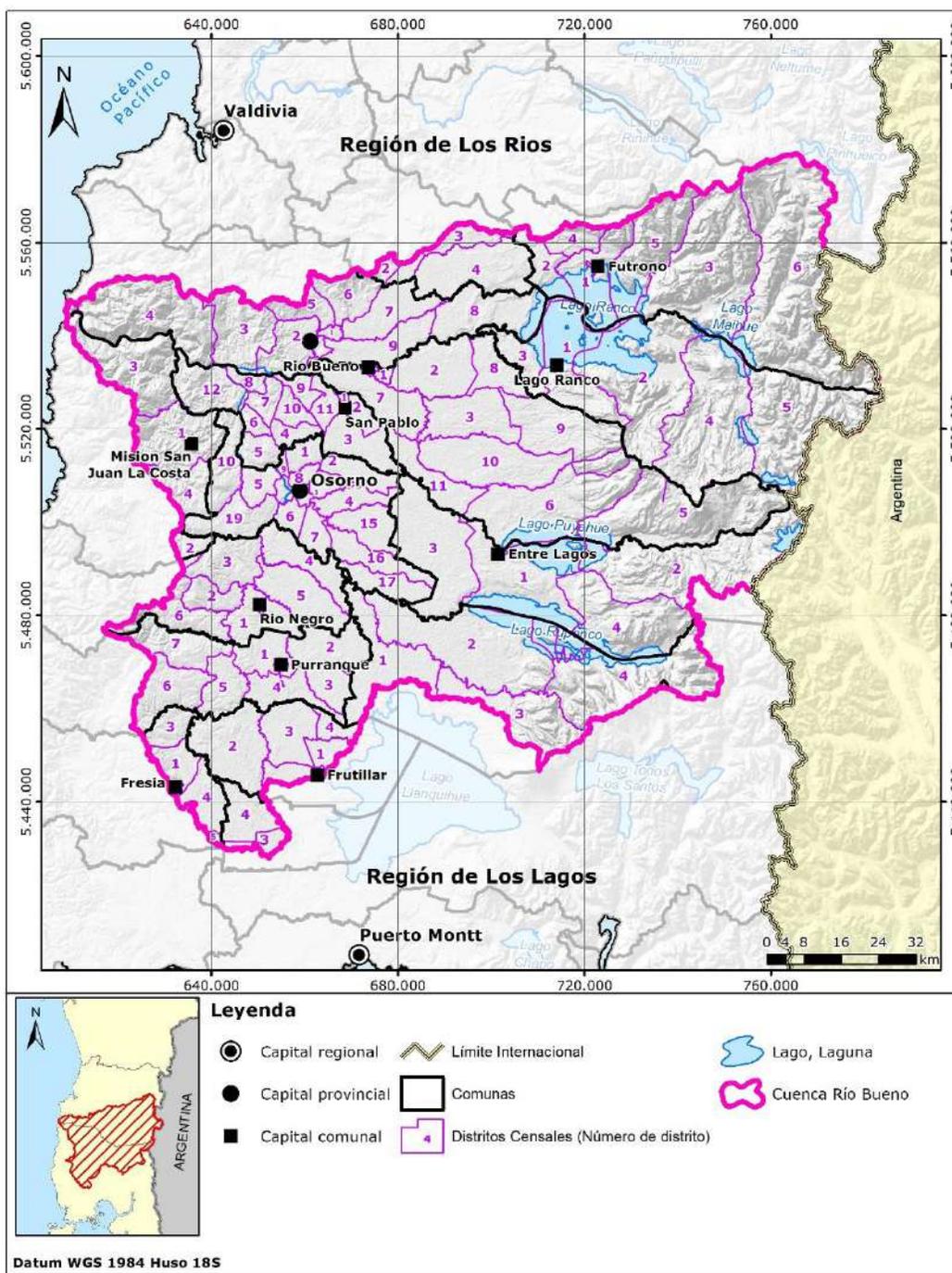


Figura 3-7. Distritos censales en cuenca Río Bueno.
 Fuente: Elaboración propia en base a Censo Agropecuario 2007 (INE).

Tabla 3-3. Distribución de los cultivos en cuenca Río Bueno.

Cultivo	Tipo de riego	Superficie Agropecuaria al 2007 [%]	Superficie al 2019 [ha]
Cereales, Leguminosas, Tubérculos y Cultivos Industriales	Riego	0,6	1.637,6
	Secano	13,1	36.761,8
Forrajeras Anuales	Riego	0,1	354,7
	Secano	20,0	56.146,0
Forrajeras Permanentes	Riego	0,2	589,3
	Secano	21,5	60.275,5
Hortalizas	Aire Libre	0,6	1.694,6
	Invernadero	0,0	9,9
	No Regadas	0,6	1.551,7
Flores	Aire Libre	0,1	294,5
	Invernadero	0,0	1,1
	No Regados	0,0	54,1
Viñas Tintas y Blancas (Finas y Corrientes)	Secano	0,0	4,2
	Riego	0,0	0,0
Parronales-Tintos, Blancos y Pisqueros (Corrientes y Finos)	Riego	0,0	1,4
Frutales (Sup. Há de Plantación Compacta)	En Formac.	0,4	1.036,6
	En Produc.	1,4	3.900,7
Huertos Caseros	En Produc.	0,8	2.200,2
Frutales en Producción	No Regados	1,4	3.850,4
Plantaciones Forestales Sup.	Plantado	39,4	11.0623,6
Viveros	Superficie	0,0	15,4

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

La distribución espacial de los tipos de cultivos puede verse en la Figura 2-12 ya revisada. 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 3-4 presenta los cultivos modelados y la notación WEAP utilizada.

Tabla 3-4. Simplificación WEAP de los cultivos en cuenca de Río Bueno.

Cultivo	Tipo de Riego	Notación WEAP
Cereales, Leguminosas, Tubérculos y Cultivos Industriales	Secano [ha]	Cereales
Forrajeras Anuales	Riego [ha]	Forrajeras anuales
Forrajeras Permanentes	Riego [ha]	Forrajeras permanentes
Hortalizas	Riego [ha]	Hortalizas
Frutales (Sup. ha de Plantación Compacta)	Riego [ha]	Frutales
Plantaciones Forestales Sup. [ha]	Plantado [ha]	Plantaciones forestales

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 3-5 presenta los valores de coeficiente de cultivos (kc) utilizados de manera preliminar para el balance hídrico estimado para la modelación.

Tabla 3-5. Coeficiente de los cultivos en cuenca Río Bueno utilizados en el balance preliminar.

Mes	Cereales	Forrajeras anuales	Forrajeras permanentes	Hortalizas	Frutales	Plantaciones forestales
ene	0,0	0,0	0,9	0,0	0,6	1,0
feb	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	1,0
mar	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0
abr	0,3	0,3	0,4	0,5	1,0	1,0
may	1,2	1,2	0,9	1,2	1,0	1,0
jun	1,2	1,2	0,4	1,1	1,0	1,0
jul	1,2	1,2	0,9	0,5	1,0	1,0
ago	0,3	0,3	0,4	0,0	1,0	1,0
sept	0,0	0,0	0,9	0,0	1,0	1,0
oct	0,0	0,0	0,4	0,0	0,8	1,0
nov	0,0	0,0	0,9	0,0	0,8	1,0
dic	0,0	0,0	0,4	0,0	0,8	1,0

Fuente: Elaboración propia en base a FAO.

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. Se considera brecha de modelación.

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. Se considera brecha de modelación.

3.3.2. Derechos de agua para la agricultura

El análisis de la distribución de los DAA para uso Silvoagropecuario y Uso de Riego en la cuenca Río Bueno, registró un total de 1.864 DAA, donde 1.841 fueron otorgados para uso de Riego y 23 para uso Silvoagropecuario.

En cuanto al caudal mensual y volumen anual, se identificó un caudal mensual de 61.333 l/s para Uso de Riego, que corresponde a un volumen anual de 1.934 hm³/año. Por otra parte, para uso Silvoagropecuario, se identificó un caudal mensual de 196 l/s que corresponde a un volumen anual de 6,1 hm³/año. El resumen de esta información y la naturaleza de captación de estos DAA se presentan en la Tabla 3-6.

Tabla 3-6. DAA otorgados para uso Silvoagropecuario y Uso de Riego.

Tipo de uso	Naturaleza de captación	DAA otorgados	Caudal mensual [l/s]	Volumen anual [hm ³ /año]
Riego	Superficial	1.507	52.803,00	1.665,20
	Subterránea	363	8.530,53	269,02
Silvoagropecuario	Superficial	23	196,08	6,18
Total		1.864	59.648	1.881

Fuente: Elaboración propia, basado en DAA procesados obtenidos desde DGA (2021).

3.3.3. Demanda actual

El análisis de la distribución de los DAA para uso Silvoagropecuario y Uso de Riego en la cuenca Río Bueno, registró un total de 1.863 DAA, donde 1.840 fueron otorgados para uso de Riego y 23 para uso Silvoagropecuario.

En cuanto al caudal mensual y volumen anual, se identificó un caudal mensual de 58.718 l/s para Uso de Riego, que corresponde a un volumen anual de 1.851 Hm³/año. Por otra parte, para uso Silvoagropecuario, se identificó un caudal mensual de 196 l/s que corresponde a un volumen anual de 6,1 hm³/año. El resumen de esta información y la naturaleza de captación de estos DAA se presentan en la Tabla 3-6.

Tabla 3-7. DAA otorgados para uso Silvoagropecuario y Uso de Riego.

Tipo de uso	Naturaleza de captación	DAA otorgados	Caudal mensual [l/s]	Volumen anual [hm ³ /año]
Riego	Superficial	1.480	50.236,79	1.584,27
	Subterránea	360	8.481,33	267,47
Silvoagropecuario	Superficial	23	196,08	6,18
Total		1.863	58.914	1.857,92

Fuente: Elaboración propia, basado en DAA DGA-01.2021.

3.3.4. Demanda futura

A continuación, la Tabla 3-8 presenta la demanda evapotranspirativa futura estimada según el tipo de riego. Se aprecia en la tabla un aumento en la demanda de riego y una disminución en la de secano, principalmente debido a las distintas iniciativas CNR. Más información sobre la estimación de la demanda futura referirse al Anexo J, Cap. 10 (Demandas).

Tabla 3-8. Demanda Evapotranspirativa según tipo de riego. Cuenca Río Bueno.

ETreal [hm ³ /año]		
Tipo de Riego	2030	2050
Secano	713,2	373,6
Riego	64,3	593,6
Forestal	1.754,8	1.754,8

Fuente: Elaboración propia.

Para estimar el uso silvoagrícola al 2030 y al 2050, se recalculó la evapotranspiración de referencia según la metodología presentada en el Anexo F, considerando el aumento de temperatura pronosticado por los modelos de circulación global (GCM) CCSM4, CSIRO-Mk3_6_0, IPSL_CM5A_LR y MIROC-ESM, los cuales en promedio cuantifican esta cantidad en un incremento de 0,84°C respecto a la media de la temperatura actual (2010-2019).

Para el año 2050, se considera un intercambio de superficies entre superficie agrícola de secano (forrajeras permanentes) y superficie agrícola de riego (frutales), totalizando 104.994 ha nuevas del último tipo de superficie. Este intercambio en el uso de suelo agrícola está sustentado en el documento de la Comisión Nacional de Riego "Diagnóstico Integral

de Río Bueno de la CNR". Las demás superficies y coeficientes de cultivo considerados corresponden a las mismas cantidades para la situación actual (año 2019).

De 91 distritos, y sin considerar el documento anterior de CNR, se escogen los 10 distritos con mayor superficie de plantación forestal ya que es esta superficie la que demanda un mayor recurso hídrico. Los distritos que en el futuro demandarán mayor recurso son: El Peligro, Boca del Río Bueno, Licán, San Juan de la Costa, Pulicán, Tegualda, Loma de la Piedra, Tres Esteros, Hueyusca y Fresia.

3.4. DEMANDA PECUARIA

Para el cálculo de la demanda hídrica del sector ganadero o pecuario en la cuenca Río Bueno 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 3-8 presenta el esquema metodológico utilizado para conocer la Demanda Hídrica Pecuaria. Para más información de los Aspectos metodológicos dirigirse al Anexo F.

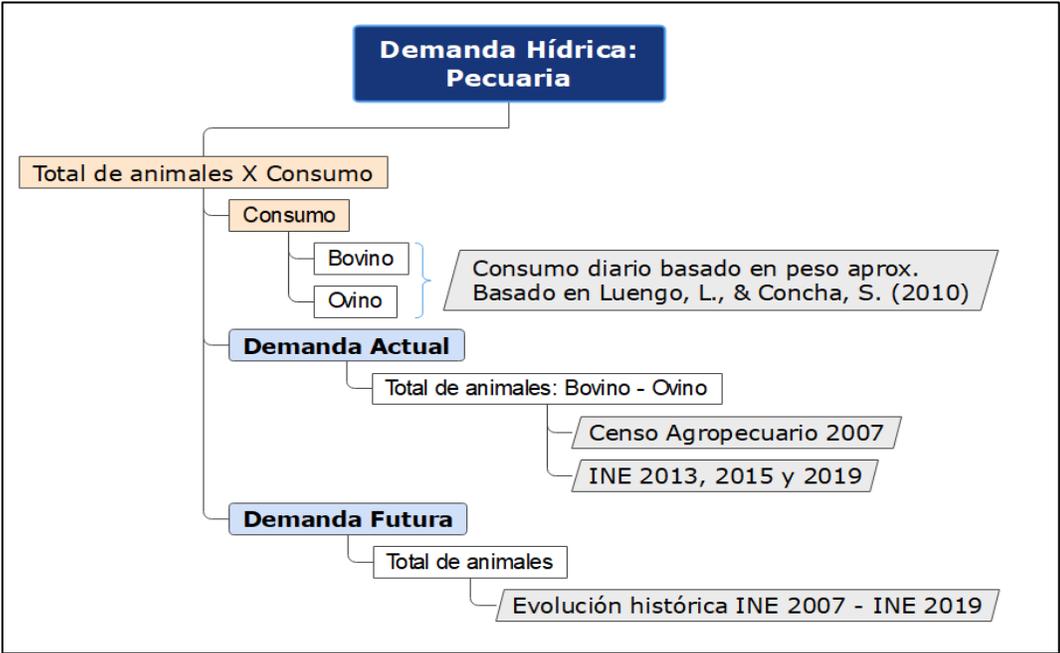


Figura 3-8. Esquema metodológico de estimación para demanda hídrica pecuaria en la cuenca.

Fuente: Elaboración propia basado en censo agropecuario.

3.4.1. Demanda actual

En la cuenca Río Bueno se realiza la ganadería de 1.150.000 cabezas de Bovinos y 15.800 cabezas de Ovinos principalmente, según datos de encuestas de bovinos y ovinos, respectivamente.

La Tabla 3-9 presenta el resultado obtenido por la Demanda Hídrica proveniente del consumo ganadero en la cuenca Río Bueno.

Tabla 3-9. Demanda Hídrica para consumo ganadero.

Tipo de ganadería	Caudal [hm ³ /año]				
	2007	2013	2015	2017	2019
Bovino	5,01	4,86	4,31	5,03	5,84
Ovino	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02

Fuente: Elaboración propia basado en encuestas bovino y ovino (2013, 2015, 2017 y 2019) y FAO (2017).

3.4.2. Demanda futura

La proyección de la DHF de tipo ganadera se ha planteado a partir de la evolución histórica del número de cabezas de ganado y la información de consumo hídrico promedio por especie. Para estimar la proyección futura del ganado en la cuenca Río Bueno se analizó la evolución histórica del crecimiento ganadero a partir de los años 2007, 2013, 2015, 2017 y 2019 en la cuenca.

La Tabla 3-10 presenta los resultados obtenidos para la estimación de la demanda hídrica futura de ganadería ovina y bovina en la cuenca Río Bueno.

Tabla 3-10. Estimación futura de la demanda hídrica en ganadería.

Tipo de ganadería	Caudal [hm ³ /año]		
	2030	2040	2050
Bovino	7,61	7,61	7,61
Ovino	0,02	0,02	0,02

Fuente: Elaboración propia basado en encuestas bovino y ovino (2013, 2015, 2017 y 2019) y FAO (2017).

3.5. DEMANDA MINERA

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

3.6. DEMANDA INDUSTRIAL

La demanda hídrica producida por la Actividad Industrial en la cuenca Río Bueno fue obtenida a través de los Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA) registrados al año

2021. De esta forma, en la cuenca Río Bueno se identificaron 63 DAA otorgados a solicitantes para uso Industrial, 36 DAA de tipo consuntivo y 27 DAA de tipo no consuntivo

3.6.1. Demanda actual

La demanda hídrica para Uso Industrial en la cuenca Río Bueno correspondiente a los DAA consuntivos es de 18,30 hm³/año y correspondiente a los DAA no consuntivos es de 780,55 hm³/año. La Tabla 3-11 y Tabla 3-12 presentan la distribución de la demanda hídrica según el tipo de derecho.

Tabla 3-11. Demanda hídrica actual por DAA consuntivos en Uso Industrial.

Región	Comuna	N° DAA	Volumen [hm ³ /año]
Los Ríos	La Unión	5	2,25
	Río Bueno	5	1,03
Los Lagos	Frutillar	3	1,99
	Llanquihue	2	0,86
	Osorno	14	9,74
	Purranque	1	1,26
	Puyehue	3	0,39
	Río Negro	1	0,54
	San Pablo	2	0,24
Total		36	18,30

Fuente: Elaboración propia basada en antecedentes de los Derechos de Aprovechamiento de Agua (DGA, 2021c).

Tabla 3-12. Demanda hídrica actual por DAA no consuntivos en Uso Industrial.

Región	Comuna	N° DAA	Caudal [hm ³ /año]
Los Ríos	Futroneo	2	0,35
	La Unión	5	544,44
	Lago Ranco	3	75,94
	Paillaco	2	9,30
	Río Bueno	8	68,69
Los Lagos	Osorno	5	12,93
	Purranque	1	5,83
	San Pablo	1	63,07
	San Juan de la Costa	2	14,54
Total		27	795,09

Fuente: Elaboración propia basada en antecedentes de los Derechos de Aprovechamiento de Agua (DGA, 2021c).

3.6.2. Demanda futura

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

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

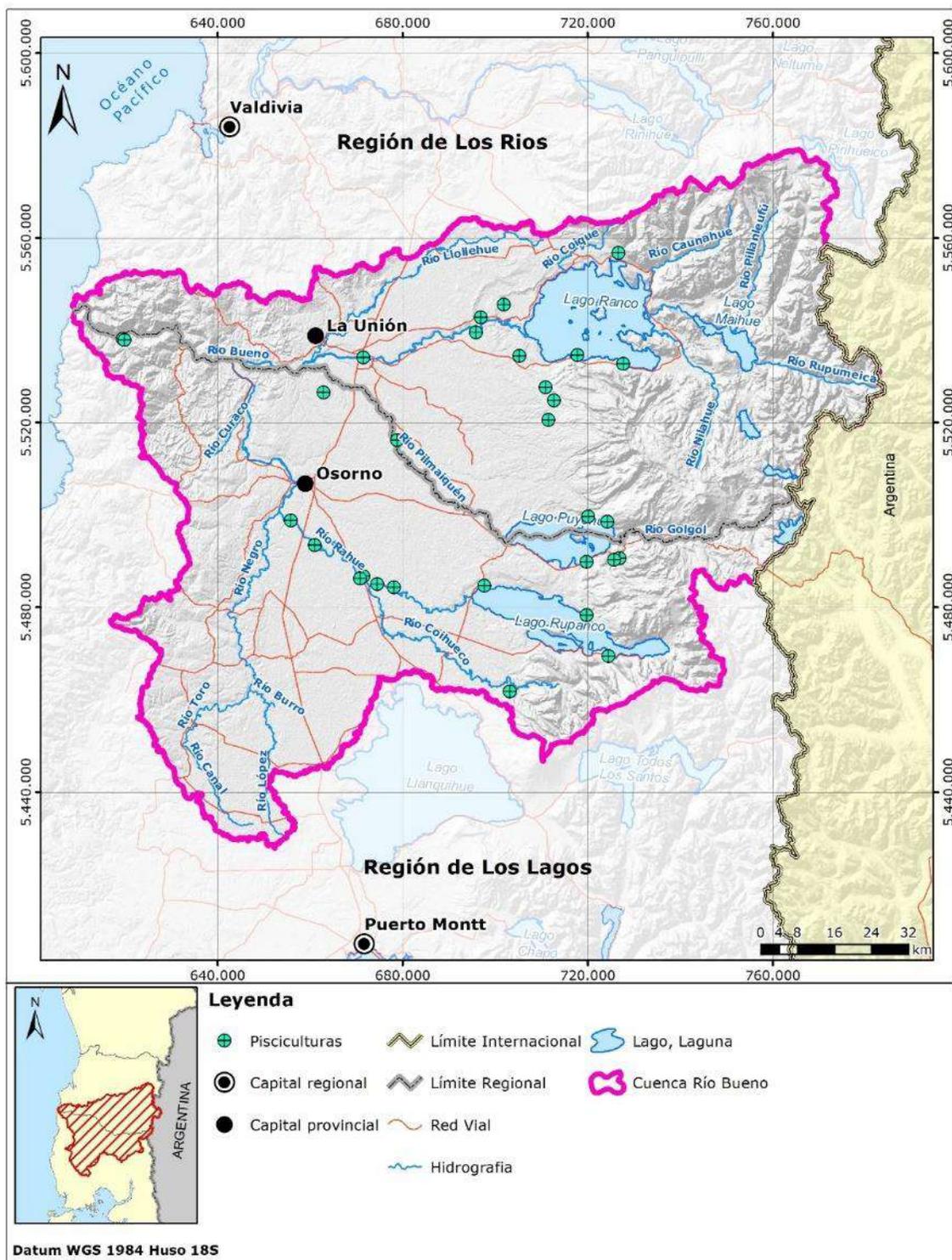
Años	DAA Consuntivos		DAA No consuntivos	
	N° DAA	Caudal [hm ³ /año]	N° DAA	Caudal [hm ³ /año]
2030	47	23,89	40	1.096,19
2040	57	28,97	50	1.370,24
2050	67	34,06	60	1.644,29

Fuente: Elaboración propia basada en antecedentes de los Derechos de Aprovechamiento de Agua (DGA, 2021c).

3.7. DEMANDA DE PISCICULTURAS

En la cuenca Río Bueno, el registro de SERNAPESCA para el año 2021 identifica a través del código de las centrales, un total 31 Pisciculturas, 15 en la región de Los Ríos y 16 en La Región de Los Lagos. 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 Bueno 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.

La Figura 3-9 presenta la localización de pisciculturas en la cuenca Río Bueno.



3.7.1. Demanda actual

La demanda hídrica para Pisciculturas en la cuenca Río Bueno correspondiente a los DAA consuntivos es de 12,91 hm³/año y para los DAA no consuntivos de 11.264,36 hm³/año. La Tabla 3-14 y la Tabla 3-15 presentan la distribución de la demanda hídrica según su tipo de derecho.

Tabla 3-14. Demanda hídrica actual por DAA consuntivos en Pisciculturas.

Región	Comuna	N° DAA	Caudal [hm ³ /año]
Los Ríos	Futrono	1	0,84
	Lago Ranco	1	0,21
	Río Bueno	2	0,06
Los Lagos	Osorno	4	9,84
	Purranque	2	0,19
	Puyehue	5	1,14
	Río Negro	1	0,54
	San Juan de la costa	1	0,09
Total		17	12,91

Fuente: Elaboración propia basada en antecedentes de los Derechos de Aprovechamiento de Agua (DGA, 2021c).

Tabla 3-15. Demanda hídrica actual por DAA no consuntivos en Pisciculturas.

Región	Comuna	N° DAA	Caudal [hm ³ /año]
Los Ríos	Futrono	5	116,05
	La Unión	52	2.101,17
	Lago Ranco	33	1.113,27
	Paillaco	6	34,92
	Río Bueno	51	1.406,65
Los Lagos	Osorno	41	1.550,69
	Puerto Octay	42	1.625,10
	Purranque	1	1,58
	Puyehue	41	1.030,03
	Río Negro	8	960,90
	San Pablo	5	1.049,83
	San Juan de la Costa	10	293,69
Total		314	11.294,36

Fuente: Elaboración propia basada en antecedentes de los Derechos de Aprovechamiento de Agua (DGA, 2021c).

3.7.2. Demanda futura

La Tabla 3-16 presenta los resultados obtenidos para la estimación de la DHF generada por las pisciculturas en la cuenca Río Bueno.

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

Años	DAA Consuntivos		DAA No consuntivos	
	N° DAA	Caudal [hm ³ /año]	N° DAA	Caudal [hm ³ /año]
2030	21	16,81	310	11.953,6
2040	25	20,02	325	12.532,00
2050	29	23,22	336	12.956,16

Fuente: Elaboración propia basada en antecedentes de los Derechos de Aprovechamiento de Agua (DGA, 2021c).

3.8. DEMANDA HIDROELÉCTRICA

Para conocer la demanda hídrica generada por las hidroeléctricas en la cuenca Río Bueno, 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 3-10 presenta el esquema metodológico utilizado para conocer la Demanda Hídrica Pecuaria, para más información de los aspectos metodológicos dirigirse a Anexo F.

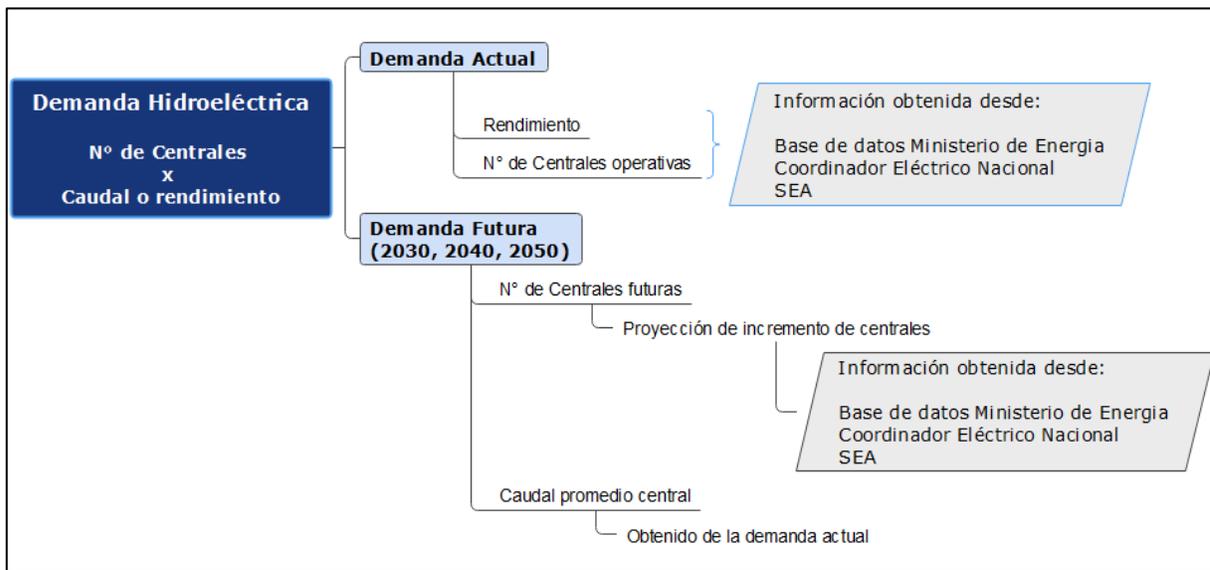


Figura 3-10. Esquema metodológico para la demanda hidroeléctrica.

Fuente: Elaboración propia.

3.8.1. Demanda actual

El número de centrales hidroeléctricas en la cuenca Río Bueno se encuentra establecido por la base de datos del Ministerio de Energía, por el estudio desarrollado por Cabrera, F., & Ramírez, L. (2019), y por la base de datos del Coordinador Eléctrico Nacional (CEN, 2021), información de libre acceso y disponible en sus páginas web.

La revisión de información registró un total de 27 centrales hidroeléctricas de paso que se encuentran operativas en la cuenca Río Bueno, donde utilizando el rendimiento estimativo y la potencia instalada de cada central, se logró obtener el caudal utilizado por cada una de estas. Para mayores antecedentes metodológicos dirigirse al Anexo F, acápite 2.2.3 Hidroeléctricas.

A continuación, la Tabla 3-17 presenta el resultado obtenido por la Demanda Hídrica proveniente de las centrales hidroeléctricas de pasada presentes en la cuenca Río Bueno.

Tabla 3-17. Demanda Hídrica por Hidroeléctricas en la cuenca Río Bueno.

Tipo de uso	Caudal anual [hm ³ /año]
Centrales hidroeléctricas de pasada	14.158,39

Fuente: Elaboración propia, basado en antecedentes Coordinador Eléctrico Nacional (CNE, 2021).

3.8.2. Demanda futura

La Tabla 3-18 presenta los resultados obtenidos para la estimación de la DHF generada por las centrales hidroeléctricas de paso en la cuenca Río Bueno

Tabla 3-18. Estimación futura de la demanda hídrica en hidroelectricidad.

Proyección	2030	2040	2050
Nº de centrales	32	37	42
Caudal [hm ³ /año]	16.908,90	19.550,92	22.192,93

Fuente: Elaboración propia, basado en antecedentes Coordinador Eléctrico Nacional (CNE, 2021).

3.9. RESUMEN DE DEMANDA HÍDRICA ACTUAL Y FUTURA

Para resumir las demandas hídricas actuales y futuras en la cuenca de tipo consuntivas y no consuntivas se presentan las siguientes figuras: Figura 3-11, Figura 3-12 y Figura 3-13.

En la Figura 3-11 resume la demanda hídrica de tipo consuntiva para consumo humano, pecuario, pisciculturas y uso industrial, de las cuales el uso industrial presenta una de las mayores demandas hídricas de tipo consuntiva en la cuenca, siendo superado solo por la demanda hídrica de tipo Silvoagrícola que se presenta en la Figura 3-12.

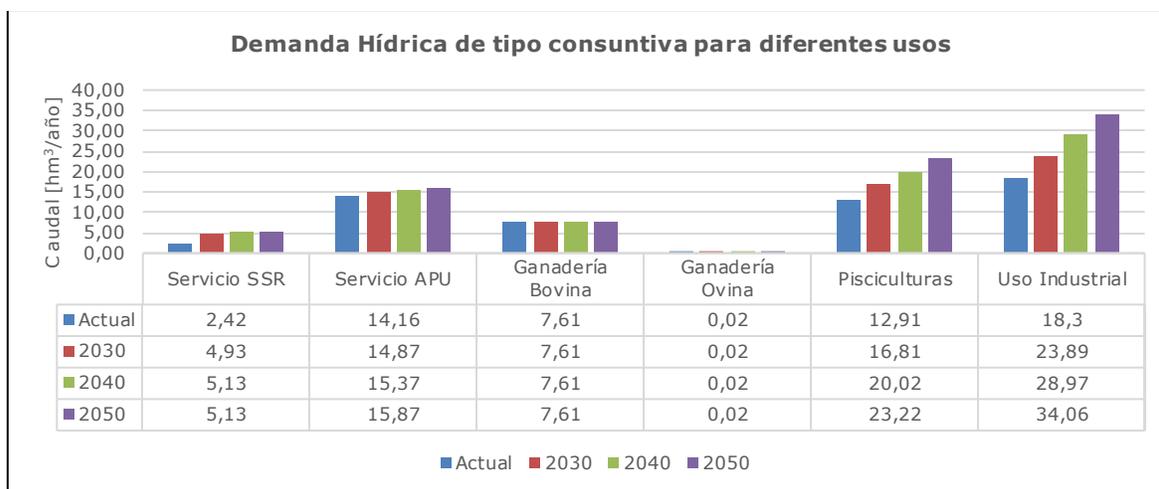


Figura 3-11. Resumen de la demanda hídrica de tipo consuntiva para diferentes usos.

Fuente: Elaboración propia, basada en antecedentes analizados.

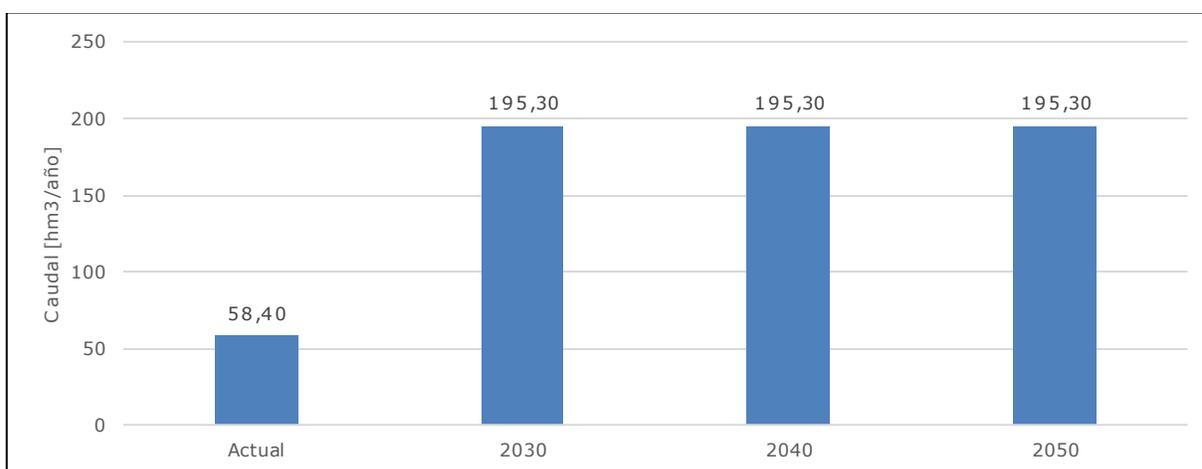


Figura 3-12. Resumen de la Demanda Hídrica de tipo consuntiva para uso Agrícola.

Fuente: Elaboración propia, basada en antecedentes analizados.

Respecto de las demandas hídricas de tipo No consuntiva (Figura 3-13), estas presentan magnitudes de caudal significativamente mayor a los presentados por las demandas consuntivas, aquí la mayor demanda es producida por el uso hidroeléctrico, seguido por las pisciculturas y finalmente por el uso industrial.

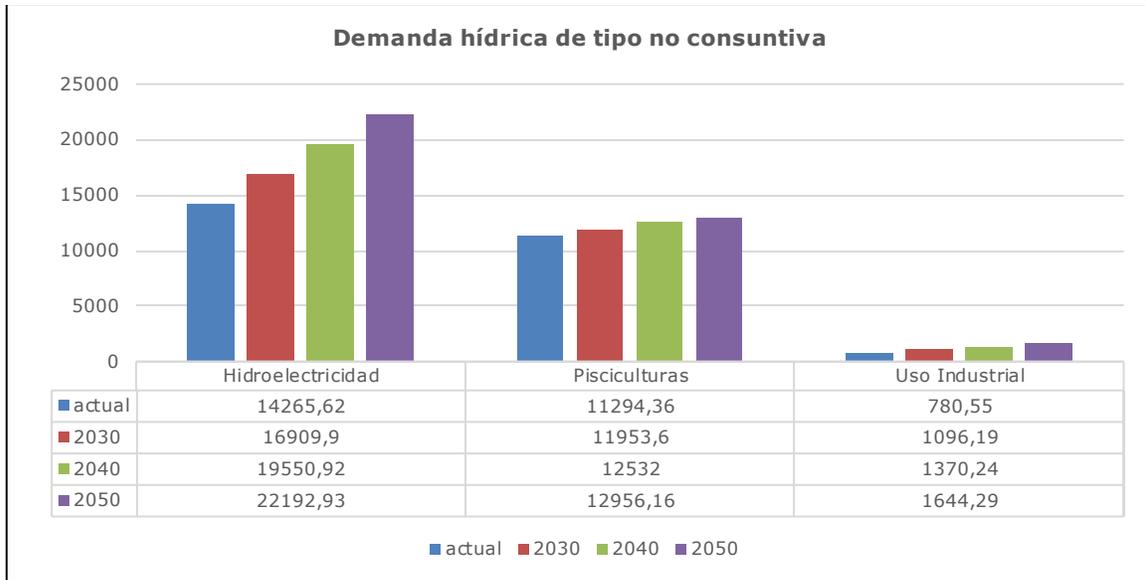


Figura 3-13. Demanda hídrica actual y futura de tipo no consuntiva en la cuenca.
Fuente: Elaboración propia.

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 Bueno se divide en 8 subcuencas: Afluentes al Lago Ranco, Río Bueno entre lago Ranco y Pilmaiquén, río Pilmaiquén, río Bueno entre río Pilmaiquén y río Rahue, río Rahue antes junta río Negro, río Negro, río Rahue bajo y río Bueno bajo (Figura 4-1). Las características de dichas subcuencas se presentan en detalle en el Anexo J Descripción y diagnóstico, capítulo 5

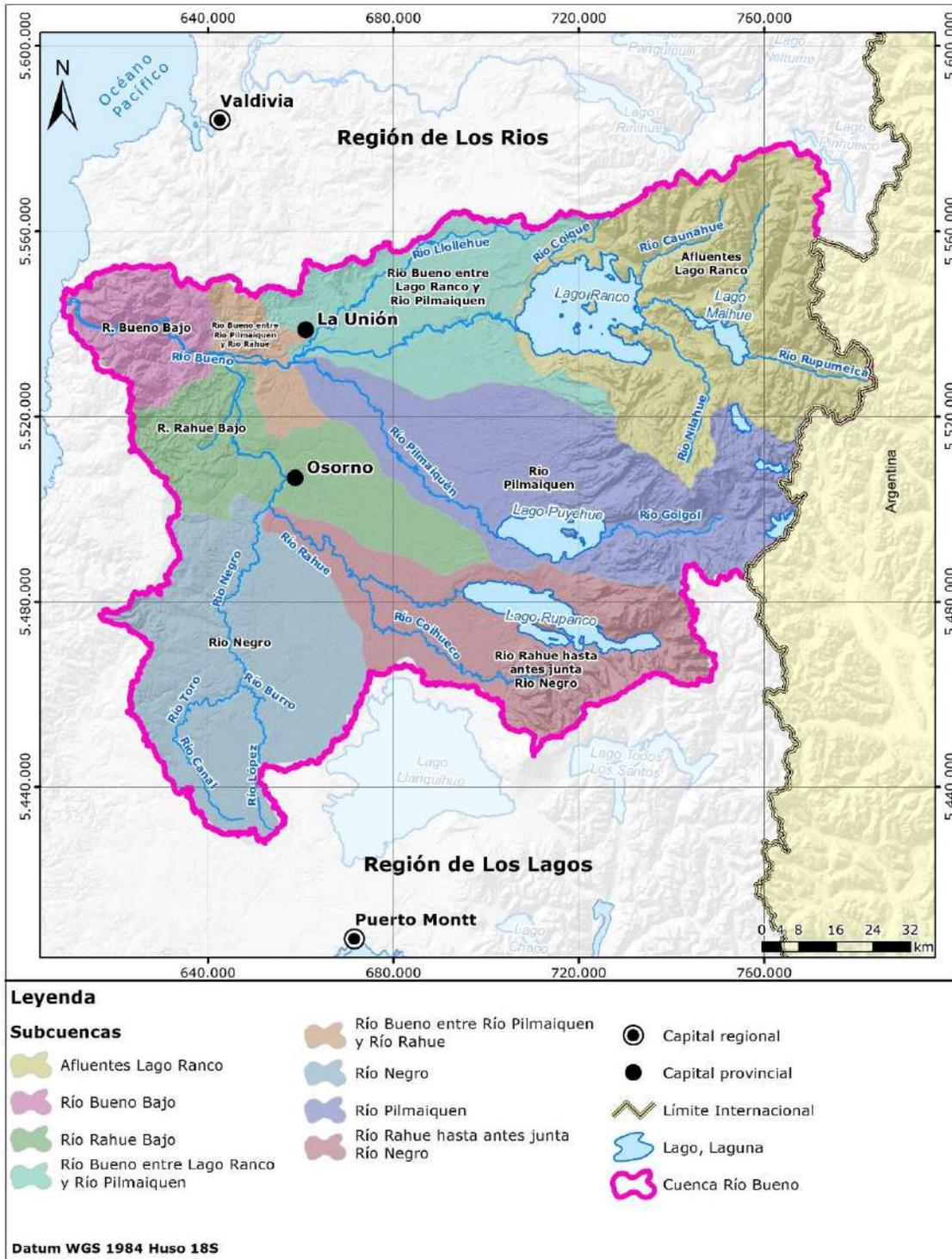


Figura 4-1. Subcuencas de la cuenca Río Bueno.

Fuente: Elaboración propia información DGA (2021).

4.1.2. Oferta en la fuente

La oferta en la fuente fue determinada mediante curvas de variación estacional para precipitación y caudal. A continuación, se expone el caso de la estación San Pablo en Río Pilmaiquén, pues tiene registros de ambas variables. La Figura 4-2 muestra las curvas de variación estacional para la estación DGA "Río Pilmaiquén en San Pablo" correspondientes a diferentes probabilidades de excedencia (5% a 95%). El resto de los gráficos con las curvas de variación estacional correspondientes al resto de estaciones en la cuenca se presentan en el "Anexo J. Descripción y diagnóstico", capítulo 6.2.

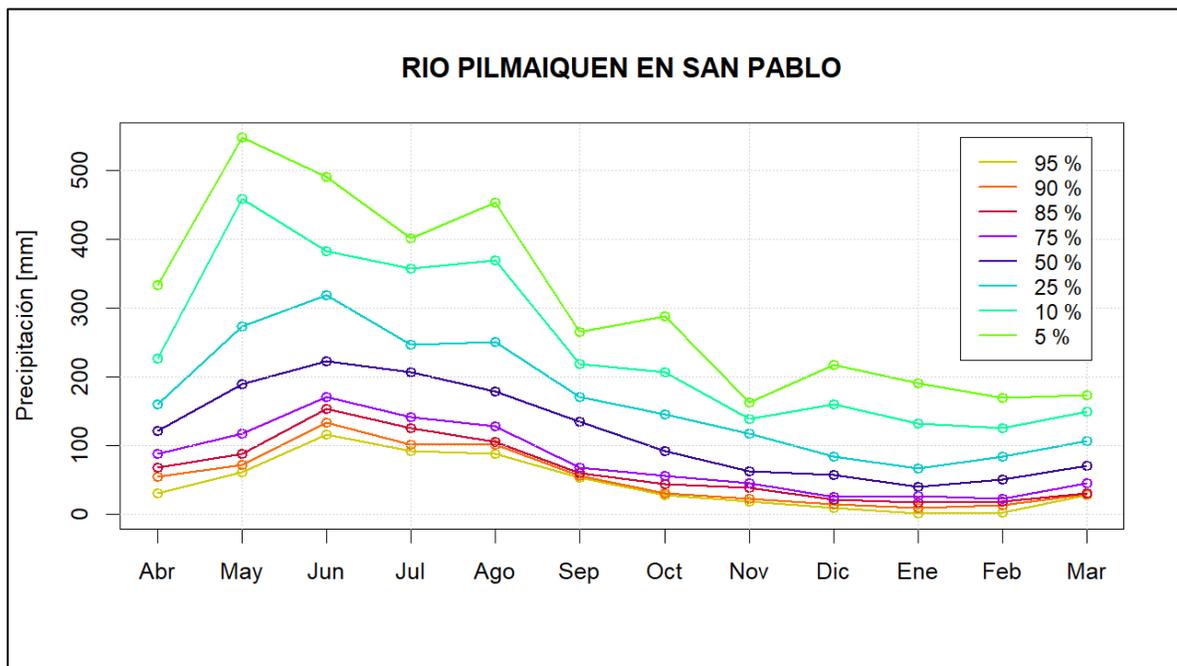


Figura 4-2. Curvas de variación estacional de precipitación. Estación Río Pilmaiquén en San Pablo.

Fuente: Elaboración propia a partir de DGA.

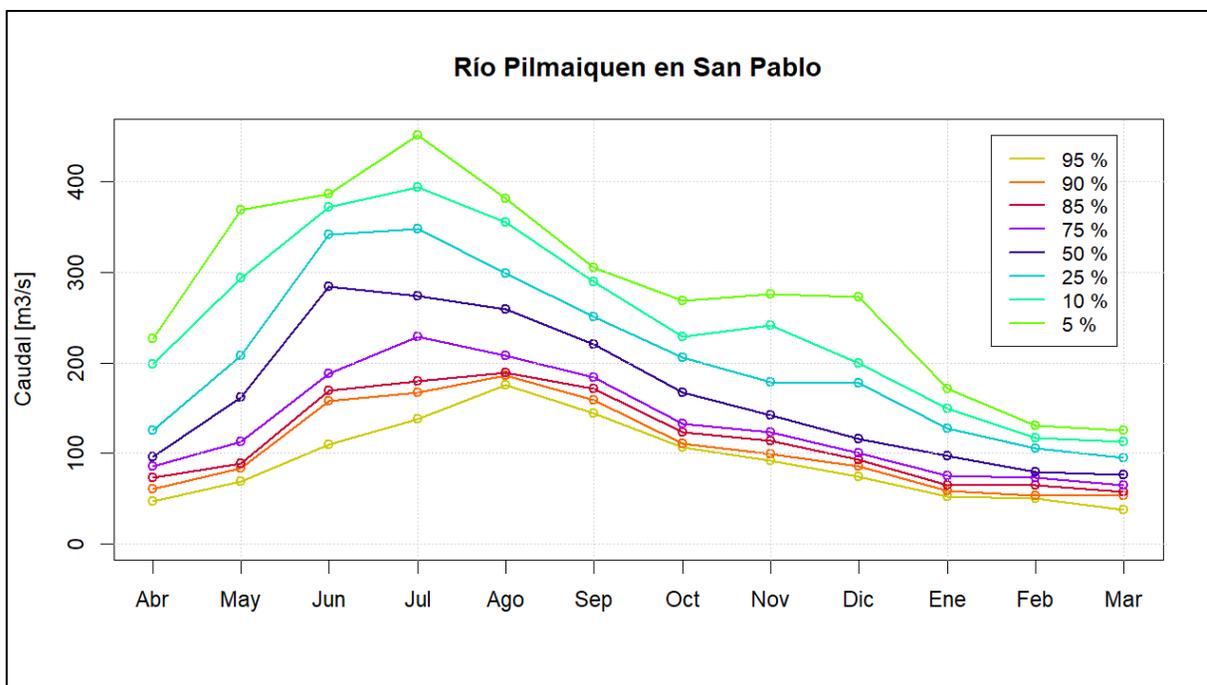


Figura 4-3. Curvas de variación estacional de caudal. Estación Río Pilmaiquén en San Pablo.

Fuente: Elaboración propia a partir de DGA.

De las curvas de variación estacional, se observa que, la precipitación ocurre sobre todo en invierno, alcanzando el máximo entre los meses de mayo y agosto, superando los 100 mm en casi todas las estaciones para una probabilidad de un 95% y los 500 mm para las curvas de probabilidad de excedencia 5%. 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 importante 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.

Hay que destacar que la metodología utilizada no funciona de buena manera para la mayor parte de las estaciones debido a la escasez de datos. Es por esto por lo que actualmente se está desarrollando el mismo análisis, pero ajustando distribuciones y no el ranking actual. Para este análisis solo se considerarán las curvas de variación estacional de las estaciones "Río Pilmaiquén en San Pablo", "Río Nilahue en Mayay" y "Río Calcurrupe en Desembocadura".

A primera vista, en la mayoría de las estaciones se observan dos peaks, uno en el periodo de precipitaciones (mayo-agosto) y otro en el periodo de deshielo (noviembre-enero), predominando el primer efecto, por lo que el régimen de la cuenca es pluvio-nival.

Lamentablemente, la información disponible no es suficiente para evaluar el efecto de los lagos en la amortiguación del régimen fluviométrico, ya que solo "Río San Pablo en Pilmaiquén" se encuentra aguas debajo de un lago, a una distancia aproximada de 45 km por lo que la cuenca de drenaje es mucho más amplia que la del lago tributario (Puyehue).

La estimación de la oferta superficial disponible no es sencilla de determinar, ya que no existe una estación fluviométrica en el río Bueno en la parte baja de la cuenca. Por ello se consideró la oferta en las estaciones más aguas abajo de cada uno de los ríos. Los caudales, con una probabilidad de excedencia asociados a dichas estaciones, se muestran en la Tabla 4-1.

Tabla 4-1. Caudal mensual asociado a una probabilidad de un 85% de excedencia en las estaciones consideradas.

Estación	Caudal Mensual [m ³ /s]											
	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Río Ilolehue en la Unión	4,9	7,3	18,3	29,2	21,7	23,7	11,6	8,7	6,2	5,4	4,3	4,2
Río Bueno en Bueno	152,7	209,2	323,4	388,1	373,8	342,8	299,5	276,2	219,3	162,7	166,5	137
río Pilmaiquén en San Pablo	73,7	89,1	169,2	180,3	189	171,4	123,2	113,6	92,7	65	64,3	57,3
Río Rahue en Forrahue	84,8	102,5	194,6	207,3	217,4	197,1	141,7	130,6	106,6	74,8	73,9	65,9

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

Considerando dichos caudales, la oferta total en las proximidades de la salida de la cuenca es igual a 16.025 Hm³/año con los aportes de cada afluente principal cercano a la desembocadura (Figura 4-4).

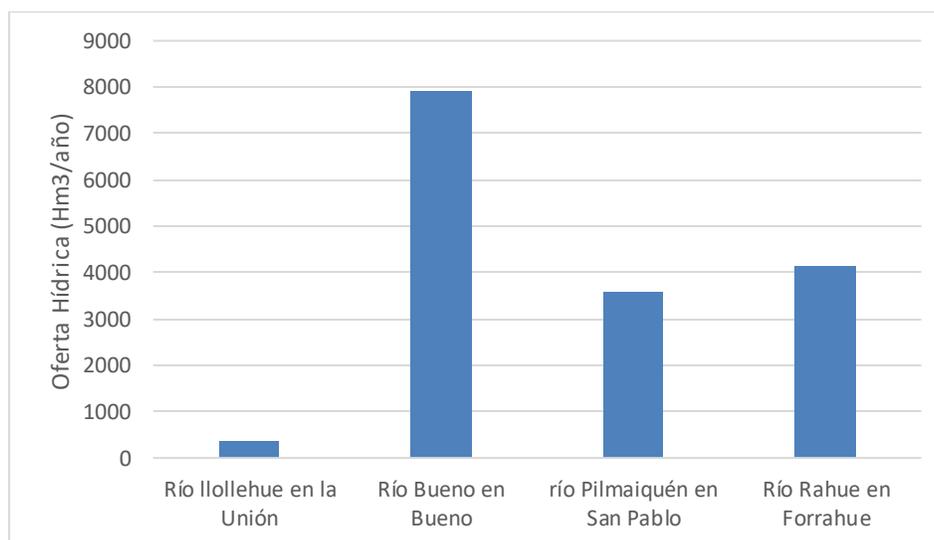


Figura 4-4. Oferta hídrica superficial anual para los principales cauces en la cuenca Río Bueno.

Fuente: Elaboración propia.

Hay que considerar que esta es una estimación de la oferta superficial, puesto como ya se indicó anteriormente, no hay una estación fluviométrica aguas abajo de la cuenca, cerca de la desembocadura que considere todos los aportes.

4.1.3. Oferta en la fuente proyectada

Respecto a la condición proyectada, ésta se determinó a partir de la proyección de cambio climático desarrollada en el Anexo H. Se aprecia que la oferta proyectada es similar orden de magnitud y tipo de régimen hidrológico a la condición histórica, y que ésta disminuye entre un 10% y un 5% respecto al histórico. Las curvas de variación estacional fueron construidas a partir de proyección de la serie de caudales existentes, mediante modelos de GCM.

Las CVE de esta estación Bueno (Figura 4-5) nos muestra que tiene un comportamiento estacional que responde a un régimen invernal de precipitación. El periodo de estiaje ocurre en verano cuando las precipitaciones son menores.

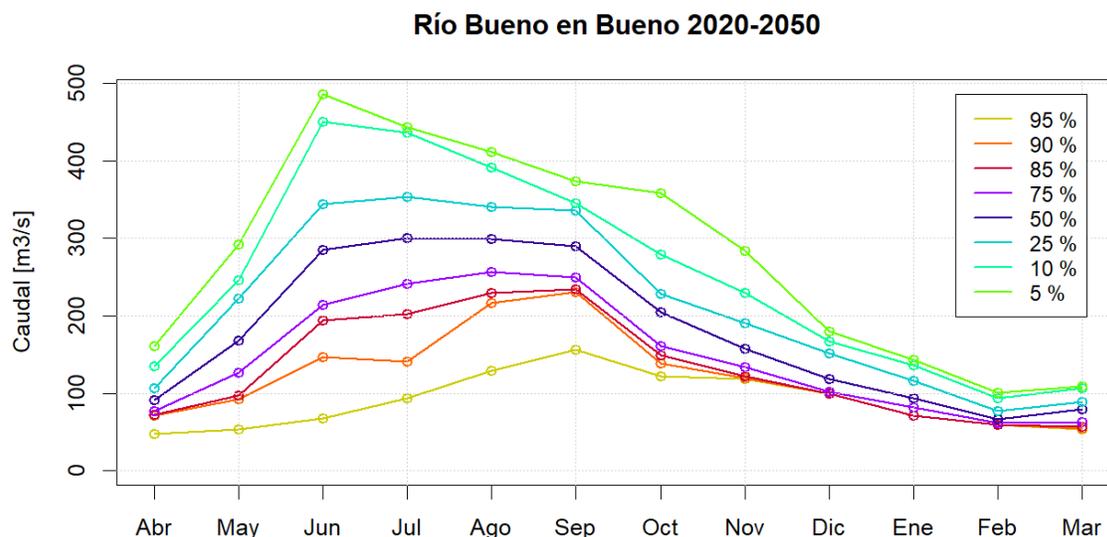


Figura 4-5. Curvas de variación estacional de caudal. Estación Río Bueno en Bueno. Periodo 2020-2050.

Fuente: Elaboración propia basado en proyecciones de cambio climático.

Los caudales para una probabilidad de excedencia igual a 85% de las estaciones utilizadas para la estimación de la oferta proyectada se muestra en la Tabla 4-2

Tabla 4-2. Caudal mensual proyectado asociado a una probabilidad de un 85% de excedencia en las estaciones consideradas.

Estación	Caudal Mensual [m ³ /s]											
	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Río Ilolehue en la Unión	7,0	9,5	17,0	23,3	26,7	24,7	17,9	14,9	11,0	8,0	5,9	5,5
Río Bueno en Bueno	99,7	135,6	270,1	298,8	303,8	279,4	220,3	183,4	143,3	112,2	90,6	81,9
río Pilmaiquén en San Pablo	71,7	84,6	133,6	166,4	166,2	151,3	112,9	96,1	76,0	68,6	63,9	64,4
Río Rahue en Forrahue	35,9	29,9	209,1	278,6	320,2	249,9	151,8	82,4	47,3	22,9	8,4	11,0

Fuente: Elaboración propia a partir proyección climática desarrollada en Anexo H.

Siguiendo el mismo concepto que para la estimación de la oferta histórica, se estimó la oferta proyectada a partir de la suma de los caudales que aporta cada uno de los afluentes principales al río Bueno, según las estaciones mostradas en la Tabla 4-2. En resumen, la oferta superficial proyectada es igual a 13.203 Hm³/año. Se observa que esta oferta disminuye en un 18% respecto a la histórica. La principal disminución ocurre en el río Bueno, en torno a 27% menos respecto a la condición histórica. La distribución de la oferta proyectada se muestra en la Figura 4-6

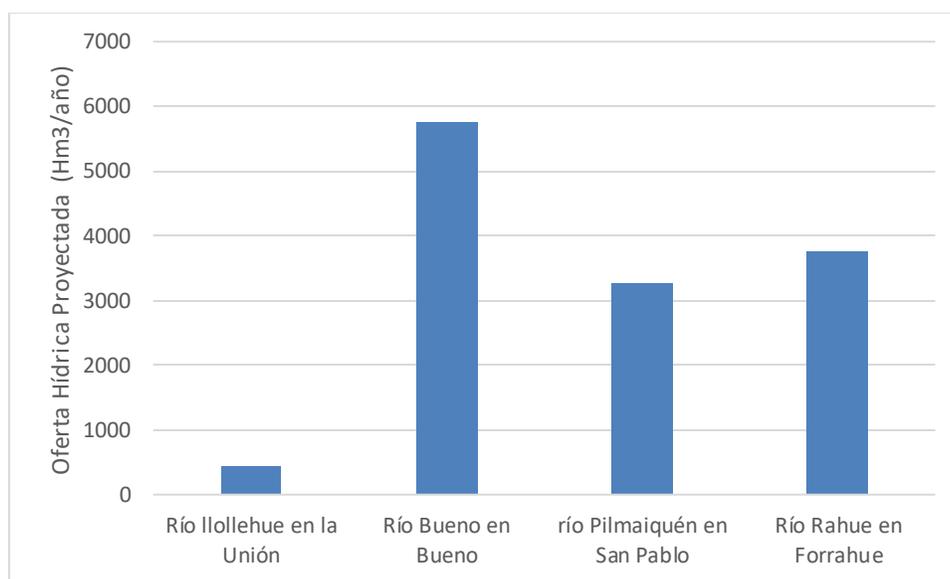


Figura 4-6. Oferta hídrica superficial proyectada para los principales cauces en la cuenca Río Bueno.

Fuente: Elaboración propia a partir proyección climática desarrollada en Anexo H.

4.1.4. Calidad actual

Como se señaló en la sección 2.4.3, en la cuenca Río Bueno se presenta un programa de monitoreo de calidad con estaciones de calidad del agua de la Red Hidrométrica de la DGA.

Este programa tiene data del año 1986, el cual inicio con 13 estaciones de monitoreo y actualmente son 46 estaciones. En el Anexo J, sección 7 se encuentra mayor análisis sobre dicha información.

En base a los datos disponibles se estimó la calidad hidroquímica para toda la cuenca y para cada subcuenca con datos disponibles de diversas fuentes. Todas las subcuencas poseen un carácter hidroquímico sin tipo dominante de cationes, con una tendencia a tipo sodio-potasio. 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.

Ahora bien, la evaluación de la calidad de las aguas superficiales de la cuenca Río Bueno se concentra en la última década, específicamente los años 2011-2020 y se evaluó las mediciones de parámetros presentados en la plataforma en línea de datos fisicoquímicos de la DGA contra las normas chilenas de la calidad de agua, NCh 409/1 y NCh 1333. Se presenta una evaluación sobre los parámetros que cumplen la norma, indicando el número de veces que se encuentra en incumplimiento por subcuenca (Tabla 4-3). Una evaluación completa de la calidad de las aguas superficiales está disponible en el Anexo J, sección 7 y en la hoja de cálculos de Anexo J.5.

Tabla 4-3. 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
1030	115	As	1	Al	1
		Fe	20	B	36
		Hg	16	Fe	2
		Mn	3	Hg	16
		Pb	11	Mn	1
		pH	14	Mo	16
		Se	2	Na %	39
				pH	19
			Turbidez	2	
1031	66	Fe	29	B	33
		Hg	16	Hg	16
		Mn	2	Mn	1
		Pb	20	Mo	17
		pH	5	Na %	49
		Se	2	pH	5
1032	93	Fe	22	B	32
		Hg	16	Fe	5
		Mn	5	Hg	16
		Pb	21	Mn	3
		pH	4	Mo	16
		Se	1	Na %	41
				pH	4
			Turbidez	2	

Subcuenca	N° de muestras	NCh 409/1		NCh 1333	
		Parámetro	N° incumplimientos	Parámetro	N° incumplimientos
1033	33	As	1	As	1
		Fe	5	B	16
		Hg	8	Fe	1
		Pb	10	Hg	8
		pH	1	Mo	8
		Se	1	Na %	27
1034	119			pH	1
		Fe	15	B	48
		Hg	27	Fe	3
		Mn	3	Hg	27
		Pb	10	Mn	1
		pH	4	Mo	24
1035	29			Na %	31
		Fe	28	pH	7
		Hg	9	B	15
		Mn	2	Hg	9
		Pb	11	Mn	2
1036	93			Mo	8
		Fe	47	Na %	25
		Hg	27	B	45
		Mn	4	Fe	1
		Pb	33	Hg	27
		pH	4	Mn	2
		Mo	24		
		Na %	62		
		O ₂	1		
		pH	4		

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

4.1.5. 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 7 subcuencas que han sido monitoreadas, en todas ellas el Boro, Mercurio y Molibdeno presentan al menos 30% de las mediciones por sobre la norma. Al observar los datos para estos parámetros se detectan que la gran mayoría de las mediciones corresponden a un único valor medido en mg/L sin variaciones. Para el caso de Boro el valor repetido era de 1 mg/L, para el caso de Mercurio el valor repetido era de 0.002 mg/L y para el Molibdeno el valor repetido era 0,05 mg/L.

En la Figura 4-7 se presenta para cada parámetro la cantidad de veces que se ha realizado medición del parámetro y la cantidad de veces que se ha registrado el valor repetido. Por ejemplo, en el caso de Boro, de las 257 mediciones de este parámetro, 227 corresponden a valor 1,0 mg/L, lo que corresponde a 88,33% de las mediciones, el restante menos de 10% los valores varían en su expresión. En el caso de Mercurio, de las 306 mediciones de

este parámetro, 186 corresponden a valor 0,001 mg/L, lo que corresponde a 60,78% de las mediciones, a esto se suma que 120 mediciones poseen un valor de 0,002 mg/L lo que corresponde al restante 39,22%, es decir, se presentan sólo dos valores. Por su parte en Molibdeno, la distribución se asemeja al caso de Boro, de las 112 mediciones, 104 mediciones se registraron con un valor de 0,05 mg/L, lo que corresponde a 92,86%.

Finalmente, en el caso de Plomo, de las 312 mediciones de este parámetro, 55 (o 17,63% de casos) corresponden a valor 0,05 mg/L, 28 (8,97%) a valor 0,06 mg/L y 121 (38,78%) a valor 0,07 mg/L.

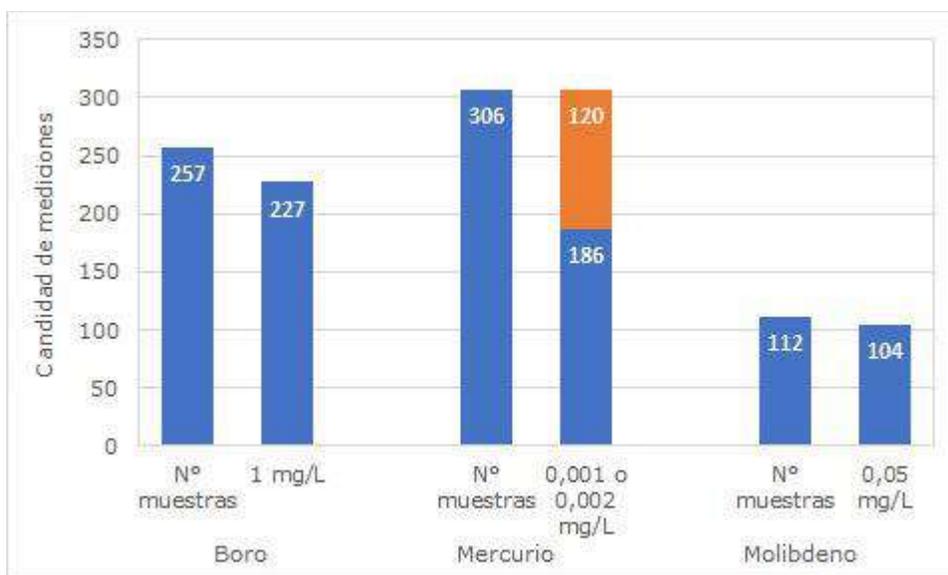


Figura 4-7. Frecuencia de medición de Boro, Mercurio y Molibdeno versus frecuencia de reporte de valor repetido [mg/L].

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

En consecuencia, es muy complejo atribuir a los parámetros de Boro, Molibdeno y Mercurio una alteración en la calidad de agua superficial. Esta anomalía podría explicarse por varias hipótesis. La más sencilla es que se registró un valor de 1,0 mg/L para Boro, de 0,002 mg/L para Mercurio y 0,05 mg/L para Molibdeno para referirse a que los valores se encontraban por debajo del límite de detección (N.D.). La segunda hipótesis se puede atribuir a un problema de tipeo. La tercera y menos probable hipótesis es que los ensayos realizados para medir estos parámetros se encontraban por sobre el valor de las normas de calidad de agua. Debido a todo lo expuesto, se identifica la brecha de información en la calidad de agua superficial para estos parámetros.

Ahora, bien los valores de fierro son altos en todas las subcuencas, pero con registros con valores variables, y ello podría indicar que proviene de una fuente natural. También, se puede ver el mismo patrón con plomo, indicando que es de una fuente natural. De esta manera, los resultados para estos dos metales señalan que no es aconsejable usar el agua para consumo humano sin tratamiento previo.

En el caso de sodio porcentual, hay un excesivo incumplimiento debido a las aguas que poseen carácter químico sin tipo dominante de cationes, con una tendencia a tipo sodio-potasio. En comparación, los valores de magnesio son bajo, que aumentan el efecto de sodio porcentual.

Entre los incumplimientos de pH, se presentan más casos de bajo pH, que indica que las aguas poseen carácter un poco ácido, pero – como los casos de fierro y plomo – parece que tiene 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.

En la

Figura 4-8 se representa la distribución espacial a nivel de subcuenca del porcentaje de muestras que superan la norma. 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.

Se observa que la subcuenca Río Bueno Bajo, en el sector de la desembocadura no presenta datos y consecuentemente, esto reduce la posibilidad de analizar la calidad del agua superficial en toda la cuenca. Al revisar desde la parte alta a la media de la cuenca se destaca que:

- Todos los parámetros por sobre la norma (pH, Na%, Mn y Fe) en algún porcentaje se encuentra por sobre la norma en todas las subcuencas.
- Las tres subcuencas de la parte alta de la cuenca presentan tendencias similares en cuanto a superar la norma en el parámetro de pH y hierro.
- Las cuatro subcuencas de la parte media presentan tendencias similares en cuanto al porcentaje de muestras que superan la norma en cuanto a Na% y Fe.

Entonces es posible señalar que parte de la cantidad de hierro y manganeso se presentan de manera natural en la cuenca y que el sodio porcentual se va acumulando aguas abajo en la cuenca. Cabe destacar que estos análisis son preliminares dado dos elementos:

- La mayor parte de los puntos se concentran en una subcuenca (afluentes río Ranco), pero que poseen pocos registros en el tiempo.
- La mayor cantidad de datos en el tiempo se concentran en otra subcuenca (Río Negro) con tan solo dos estaciones distantes en el espacio.

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.

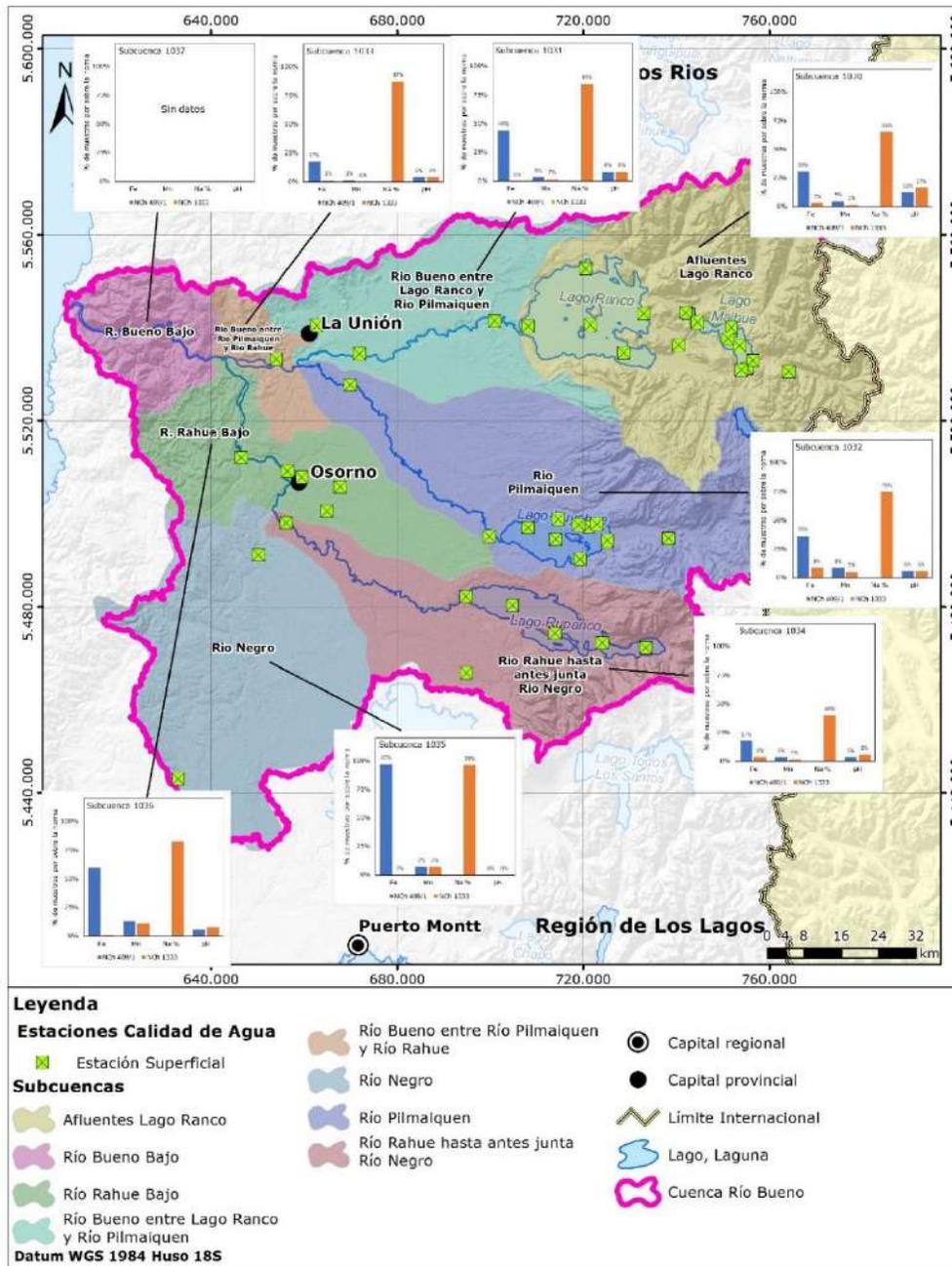


Figura 4-8. Porcentaje de muestras que superan las normas de calidad de agua de Hierro, Manganeso, Sodio porcentual y pH en cada subcuenca.

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

4.2. Agua subterránea

4.2.1. Sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común SHAC

En la zona de estudio existen 4 Sectores Hidrogeológicos de aprovechamiento común: Bueno Superior, Bueno medio, Bueno inferior y Rahue (Figura 4-9), los que posteriormente se acoplaron con el modelo de agua superficial. En particular, el dominio activo del modelo de aguas subterráneas se sitúa en los SHACs Bueno Medio, Rahue y parte de Bueno superior, para mayor detalle ver Anexo H (acápita 4).

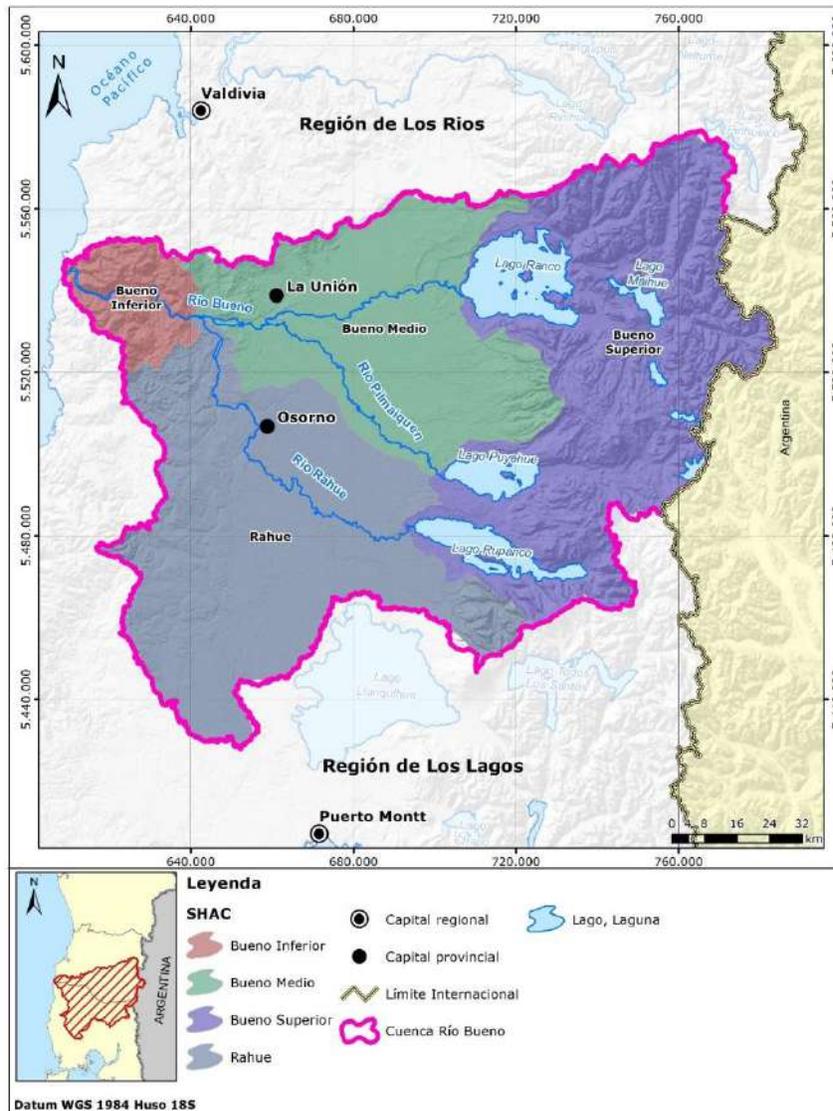


Figura 4-9. Sistema Hidrogeológicos de Aprovechamiento común presentes en la cuenca Río Bueno.

Fuente: Elaboración propia a partir de mapoteca DGA.

Como se menciona anteriormente, en el dominio del modelo conceptual y numérico se identificó una unidad hidrogeológica, por lo que el modelo hidrológico acoplado con profundidades medias en torno a 100 metros con máximo de 200 metros de profundidad. Para mayor detalle de las formaciones acuíferas se encuentra la información en el Anexo H (Acápites 4).

4.2.2. Stock, recarga y niveles

Para el dominio activo del modelo DGA (2016), que considera los acuíferos depresión intermedia Río Bueno y aluvial de los ríos bueno y Rahue, se estima el volumen del acuífero calculado como la cota de la napa freática menos la cota del basamento. Posteriormente para estimar el volumen de agua embalsado se multiplica el volumen del acuífero por la porosidad efectiva. Se debe indicar que el volumen de agua embalsado corresponde a la cantidad de agua que se puede explotar.

En la Tabla 4-4, se presentan los valores calculados descritos previamente. Se estima el valor de la porosidad efectiva en el modelo conceptual descrito en detalle en el Anexo H.

En este caso, no se presenta el volumen almacenado (oferta hídrica) por SHAC, por lo que se presentan el volumen total del acuífero.

Tabla 4-4. Volúmenes de acuífero y embalsado.

Acuíferos Río Bueno		Unidades
Volumen acuífero	3.097.589.233.746	m ³
Porosidad efectiva	0,15	Adimensional
Volumen embalsado	464.638.385.062	m ³
	464,638	hm ³

Fuente: Elaboración propia, información DGA (2016).

Con relación a la recarga, en el modelo desarrollado por DGA (2016), se debe indicar que el único mecanismo de recarga hacia los acuíferos es proveniente de las precipitaciones, que en el caso del acuífero depresión intermedia Río Bueno el valor de la infiltración media obtenida para el período entre 2013-2014 es de 694 mm/año, que para una superficie de 2,005 km² corresponde a 44,123 L/s. En el caso del acuífero aluvial Río Bueno y Rahue la recarga se estima en 2,643 L/s.

Tabla 4-5. Recarga por SHAC.

SHAC	Área [m ²]	Recarga tasa [m/día]	Recarga [m ³ /s]
Bueno Medio	2.467.852.355	0,000376	11,535

SHAC	Área [m ²]	Recarga tasa [m/día]	Recarga [m ³ /s]
Bueno Superior	858.413.489	0,000378	3,756
Lago Llanquihue	45.561.836	0,000378	0,199
Llico	23.408.916	0,000378	0,102
Rahue	3.285.524.041	0,000372	14,129
Río Calle Calle	100.067.097	0,000378	0,438
Río Maullín	16.255.017	0,000378	0,071
Total	6.797.082.751	-	30,230

Fuente: Elaboración propia, información DGA (2016).

En el presente estudio se evaluó la recarga a partir del modelo acoplado WEAP Modflow y sus valores son presentados en la Tabla 4-6. El valor que se presenta es casi el doble del calculado por DGA (2016), esto debido a que en dicho estudio el único mecanismo de recarga que se considera es a partir de las precipitaciones, sin embargo, el modelo acoplado considera otros factores que aportan agua al acuífero, como por ejemplo los ríos.

Tabla 4-6. Recarga por SHAC.

SHAC	Recarga [m ³ /s]
Bueno Medio	18,8
Bueno Superior	10,7
Rahue	21,9
Total	51,4

Fuente: Elaboración propia, información DGA (2016).

Finalmente, como se observa en la Figura 2-29 los pozos SISS y DGA no abarcan el dominio completo del modelo, por lo que se presenta una piezometría basada en los niveles estáticos obtenidos del modelo desarrollado por DGA (2016).

En la Figura 4-10 se observa que la dirección que escurre el acuífero depresión intermedia Río Bueno es desde Este hacia Oeste, presentando gradientes mayores en las zonas cercanas a los lagos, disminuyendo en la parte de la depresión intermedia. Se debe indicar que los flujos se contraen la zona este donde el cauce principal se hace más angosto.

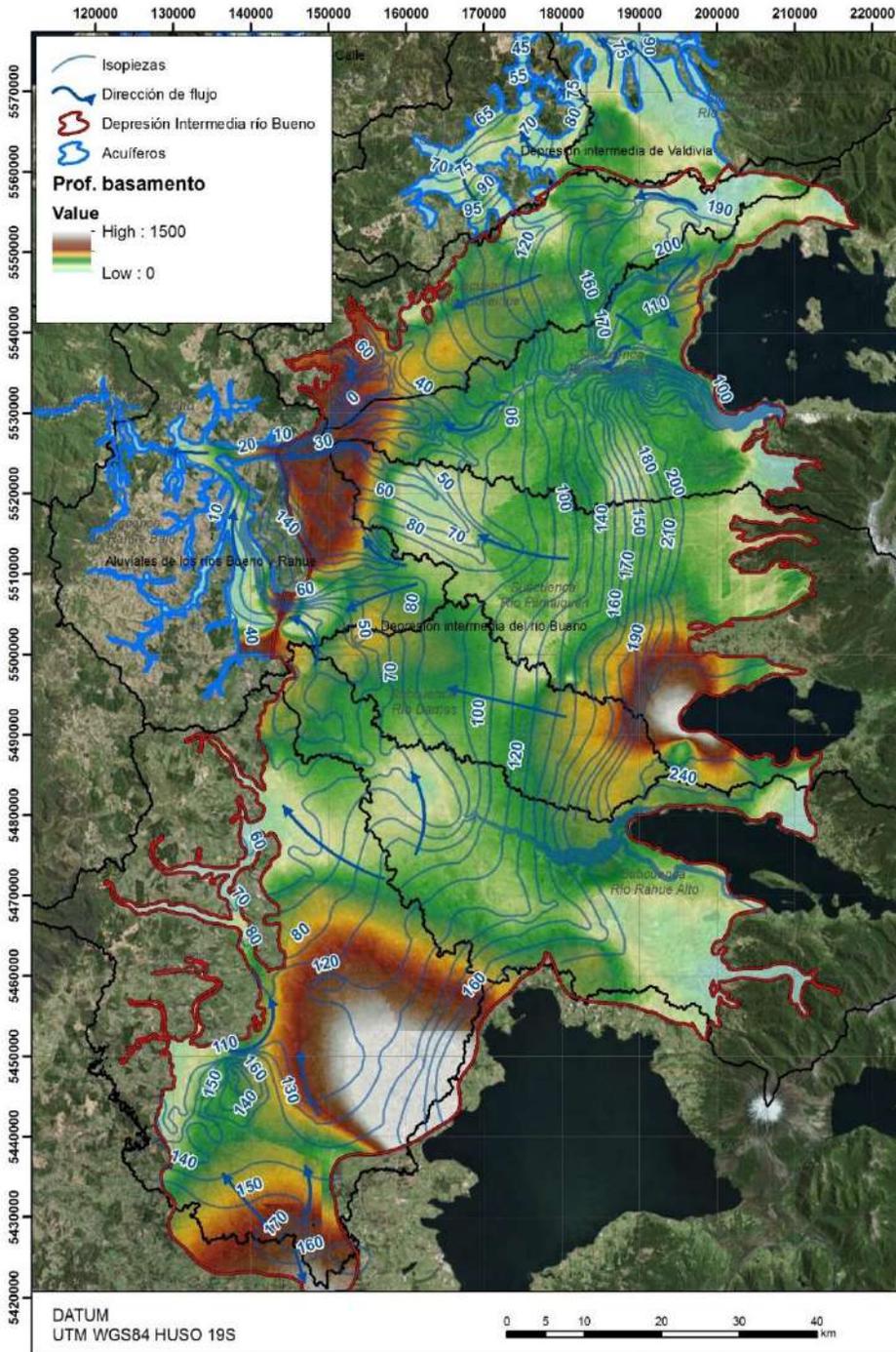


Figura 4-10. Piezometría acuífero depresión intermedia Río Bueno DGA (2016).

Fuente: Elaboración DGA (2016).

Por su parte el acuífero aluvial ríos Bueno y Rahue, muestra unas equipotenciales, en la Figura 4-11, una clara confluencia hacia el cauce del río. En general los gradientes se presentan más suavizados en el eje del río y se acentúan en los bordes.

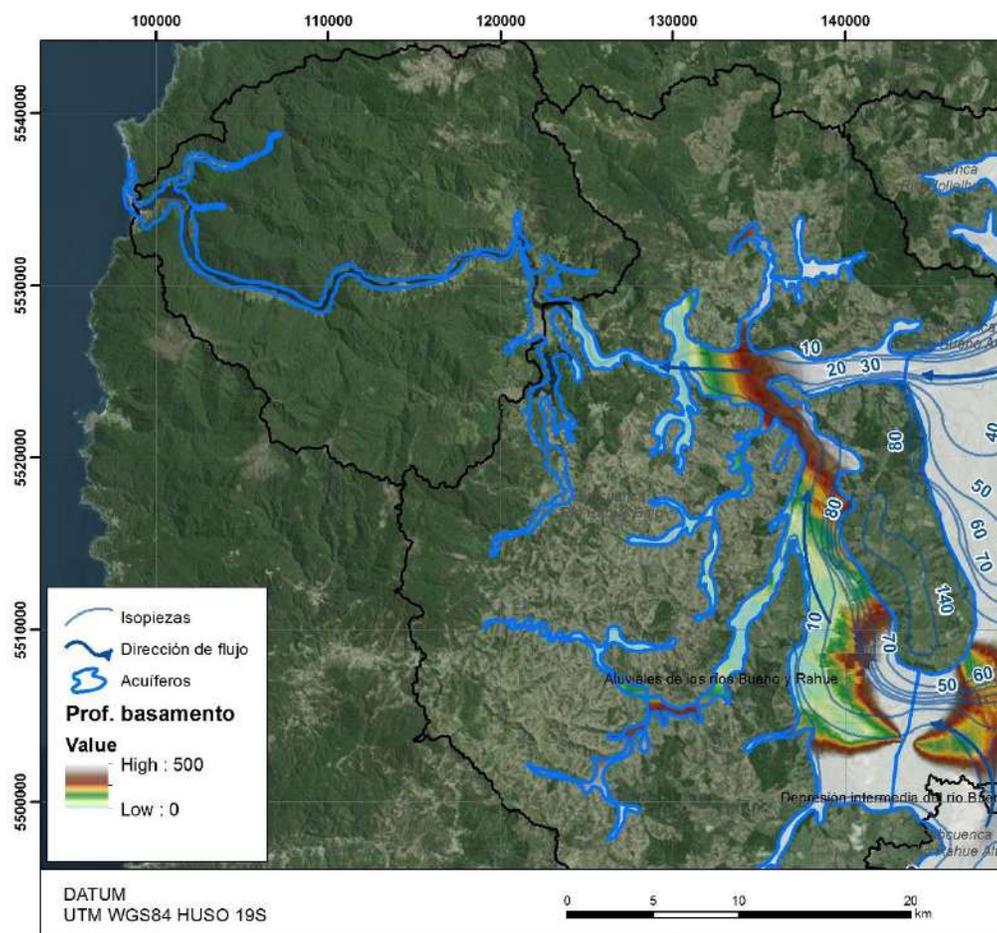


Figura 4-11. Piezometría acuífero Aluvial ríos Bueno y Rahue DGA (2016).

Fuente: Elaboración DGA- (2016).

Esta cuenca no presenta restricciones respecto a acuíferos, tanto de restricción o prohibición. Sin embargo, durante las instancias participativas desarrolladas, se manifestó la inquietud por parte de los asistentes debido a informaciones extraoficiales que el acuífero de Bueno Medio podría ser declarado zona de restricción el cual fue publicado por diversos medios de comunicación. Si esta declaración se concreta, la DGA otorgaría derechos de agua solo en forma provisional.

4.2.3. Estadísticas de parámetros de calidad

Como se señaló en la sección 2.4.3, en la cuenca Río Bueno se presenta un programa de monitoreo de calidad de agua subterránea que a la fecha cuenta con 32 estaciones. (Figura 2-31). En dicha sección también se señala que las 28 estaciones que recientemente se han sumado al programa nacen debido a un esfuerzo de coordinación entre DGA y DOH para aumentar las mediciones en los SSR. En el Anexo J, sección 7 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 Bueno. Los SHAC-14-05-410 (Bueno superior) y SHAC-14-11-521 (Bueno Medio), posee carácter hidroquímico tipo magnesio-bicarbonato. El SHAC-10-106-522 (Rahue) solo poseía valores de cationes durante el periodo del estudio (años 2011-2020) que indicó que fue definido por sodio y potasio.

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, sección 7 indican que el pH se encuentra por sobre o debajo la norma en cada SHAC para ambas normas. 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 (Tabla 4-7) indican que la gran mayoría de las muestras de aguas subterráneas tienen una ICA de clase "Excepcional." Solo hay 8 de clase "Bueno" y 2 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-14-11-521 (Bueno Medio), los dos son de valores altos de nitrato en estaciones SSR Cayurruca (código BNA 10311006-8; NO₃: 10,06 mg/L) y SSR Huape Roi Roi (código BNA 10311009-2; NO₃: 10,59). En SHAC-10-106-522 (Rahue), todas las muestras con valores altos son de la estación Pozo Población Kolbe en Osorno (código BNA 10362003-1) que tiene valores altos de cloruro de 60,26 mg/L, 68,79 mg/L, 102,9 mg/L, 120,2 mg/L, 132,8 mg/L y 153,0 mg/L.

Entre los casos de ICA clase "Regular," en SHAC-10-106-522 (Rahue), es de la muestra de 3 de abril de 2013 de estación Pozo Población Kolbe en Osorno (código BNA 10362003-1) que tenía un valor de calcio de 223,033 mg/L. El caso en SHAC-14-05-410 (Bueno Superior), es de la única muestra de arsénico de 0,2 mg/L de la estación SSR Mantilhue (código BNA 10323016-0).

Tabla 4-7. Evaluación de ICA general en cada SHAC de la cuenca Río Bueno.

Nombre SHAC	Código SHAC	Nº ICA	Nº Excepcional	Nº Bueno	Nº Regular
Bueno Superior	SHAC-14-05-410	4	3	0	1
Bueno Medio	SHAC-14-11-521	51	49	2	0
Rahue	SHAC-10-106-522	38	31	6	1
Bueno Inferior	SHAC-14-04-409	0	-	-	-

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

4.2.4. Fuentes de contaminación

Como en el caso con los datos de calidad de agua superficial (sección 4.1.5), los valores reportados de los parámetros de boro, mercurio, molibdeno y plomo no son confiables, debido probablemente a los errores en el ingreso de los datos o los niveles de detección que posee sus ensayos.

En la Figura 4-12 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 subterráneos de cada SHAC, así como se distinguen los puntos de monitoreo (3) administrados por la DGA (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 (Figura 4-12), debido a su distribución dispersa por la cuenca, 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 Bueno no puede ser utilizada de forma directa sin tratamiento previo. También, los valores de manganeso son altos (Figura 4-12), similar a la condición de Hierro, porque las dos tienen comportamientos geoquímicos muy parecidos.

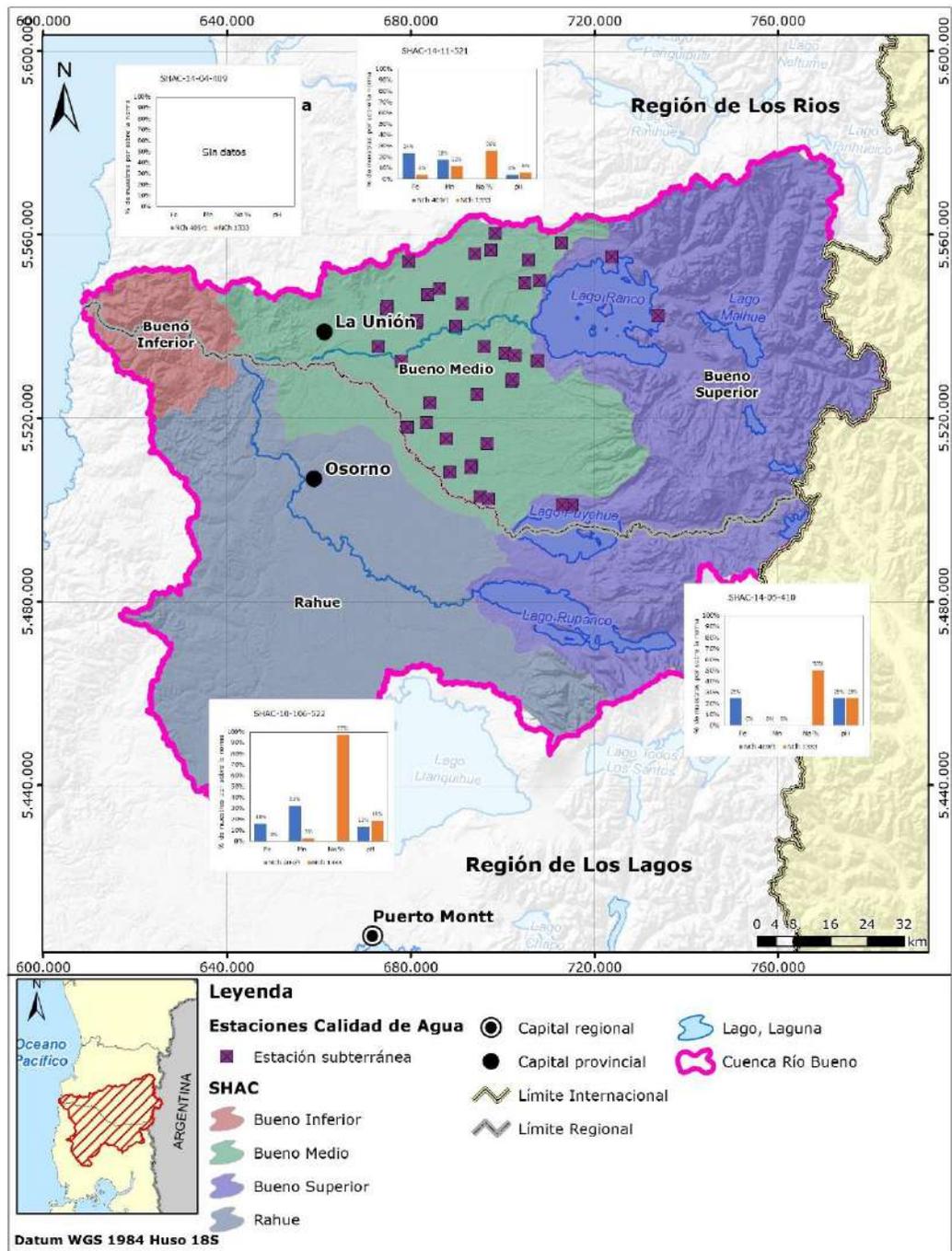
En una manera similar a la calidad de agua superficial, los valores altos de sodio porcentual (Figura 4-12) son más afectados por los valores bajos de otros cationes que unos valores altos de sodio. Y una evaluación de los datos indica que los valores de potasio y magnesio eran más bajos en comparación a sodio.

También en una manera similar al agua superficial, hay más casos de bajo pH (Figura 4-12), que indica que las aguas tienen carácter un poco ácido, pero – como los casos de hierro y plomo – parece que tiene una causa natural, debido su dispersión general.

Se observa que en el SHAC Bueno Inferior, en el sector de la desembocadura no se presentan datos y consecuentemente, esto reduce la posibilidad de analizar la calidad del agua subterránea en toda la cuenca. Al revisar desde la parte alta a la media de la cuenca se observa que todos estos parámetros superan la norma, en alto o bajo porcentaje de las muestras tomadas. Cabe destacar que estos análisis son preliminares dado dos elementos:

- La mayor parte de los puntos se concentran en un SHAC (Bueno Medio), pero que poseen pocos registros en el tiempo. La mayor cantidad de datos en el tiempo se concentran en otro SHAC (Rahue) con tan solo dos estaciones de monitoreo de calidad de agua subterránea distantes en el espacio.

Más información se encuentra en el Anexo J sección 7.2.5 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.



4.3. Derechos concedidos

En la cuenca Río Bueno se identificó un total de 8.246 Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA), 6.698 DAA de tipo Consuntivos y 1.548 DAA de tipo No consuntivos. El resumen de los DAA por naturaleza de captación y región de origen se presenta para los derechos Consuntivos en la Tabla 4-8, mientras que el resumen para los derechos No Consuntivos se presenta en la Tabla 4-9.

Tabla 4-8. Derechos de Agua de tipo Consuntivo en la cuenca Río Bueno.

Naturaleza	Región	Nº DAA	Caudal [l/s]	Caudal [hm ³ /año]
Subterránea	Los Lagos	1.613	19.596,0	618,0
	Los Ríos	765	10.133,5	319,6
	Total, DAA Subterráneos	2.378	29.729,5	937,6
Superficial	Los Lagos	3.048	53.642,0	1.691,7
	Los Ríos	1.272	31.753,4	1.001,4
	Total, DAA Superficial	4.320	85.395,4	2.693,0

Fuente: Elaboración propia, basado en DAA procesados obtenidos desde DGA (2020).

Tabla 4-9. DAA de tipo No consuntivos en la cuenca Río Bueno.

Naturaleza	Región	Nº DAA	Caudal [l/s]	Caudal [hm ³ /año]
Subterránea	Los Lagos	1	15	0,5
Superficial	Los Lagos	483	1.491.660,7	47.041,0
	Los Ríos	1.064	2.672.052,9	84.265,9
	Total, DAA Superficial	1.547,0	4.163.713,6	131.306,9

Fuente: Elaboración propia, basado en DAA procesados obtenidos desde DGA (2020).

La distribución espacial de los derechos de agua superficiales y subterráneos se muestran en las Figura 4-13 y Figura 4-14, respectivamente.

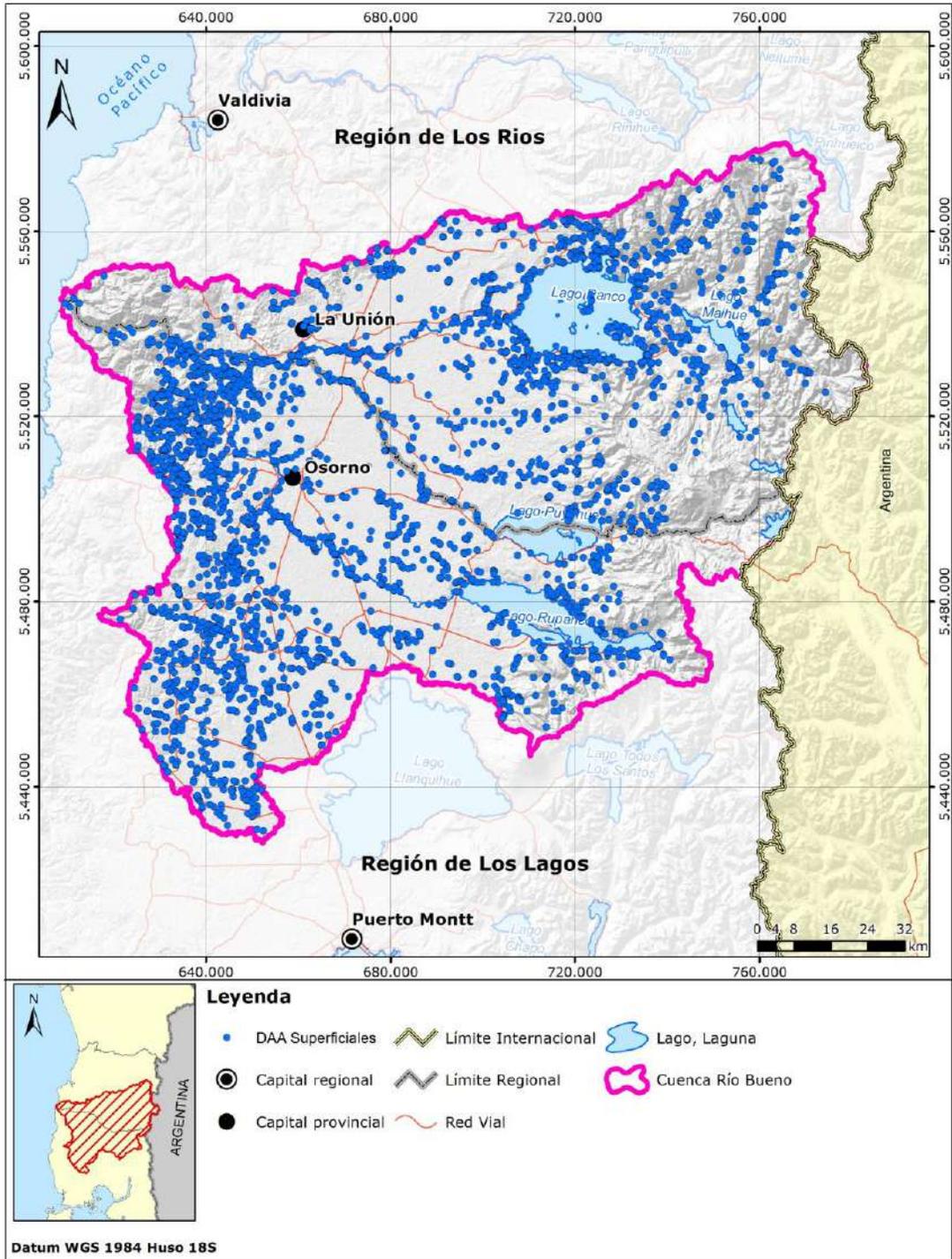
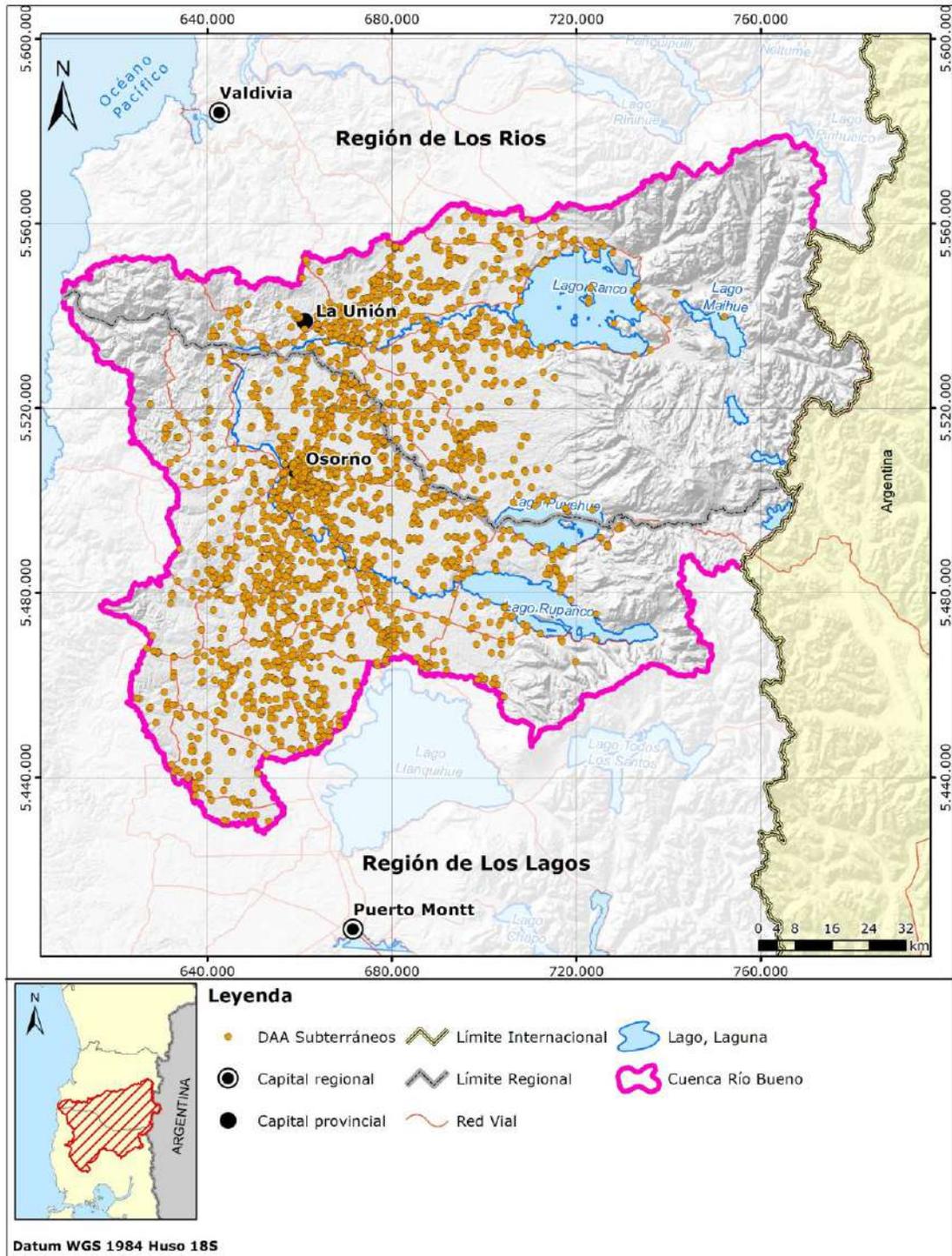


Figura 4-13. Distribución espacial de los derechos de agua superficial otorgados en la cuenca Río Bueno.

Fuente: Elaboración propia basado en información DGA (2020).



5. BALANCE DE AGUA

5.1. Modelo de simulación

Se implementó un modelo acoplado WEAP-MODFLOW para la simulación conjunta de las aguas superficiales y subterráneas de la cuenca. 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, permite 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 Bueno se elaboró el modelo sin contar con un modelo WEAP previo, mientras que para el modelo subterráneo se basó en el modelo conceptual desarrollado por DGA (2016).

El esquema de modelación adoptado integra diferentes subcuencas 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, existe uno 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 (SSR, APU, riego, industrial, etc.). Existen elementos que sirven para conectar las demandas con los acuíferos y con aquellos que abastecen de aguas subterráneas. Todo el sistema es simulado a través de estos elementos que son replicados tantas veces como subcuencas existan en el sistema analizado.

El modelo se ha simulado para un período de 1979-2021 en el período 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 Utilizadas

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.

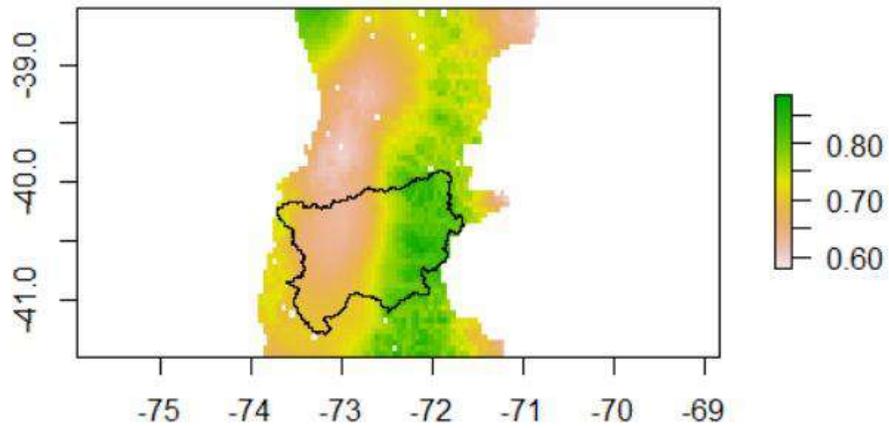


Figura 5-1. Grilla original de producto grillado respecto a la superficie de la cuenca Río Bueno.

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

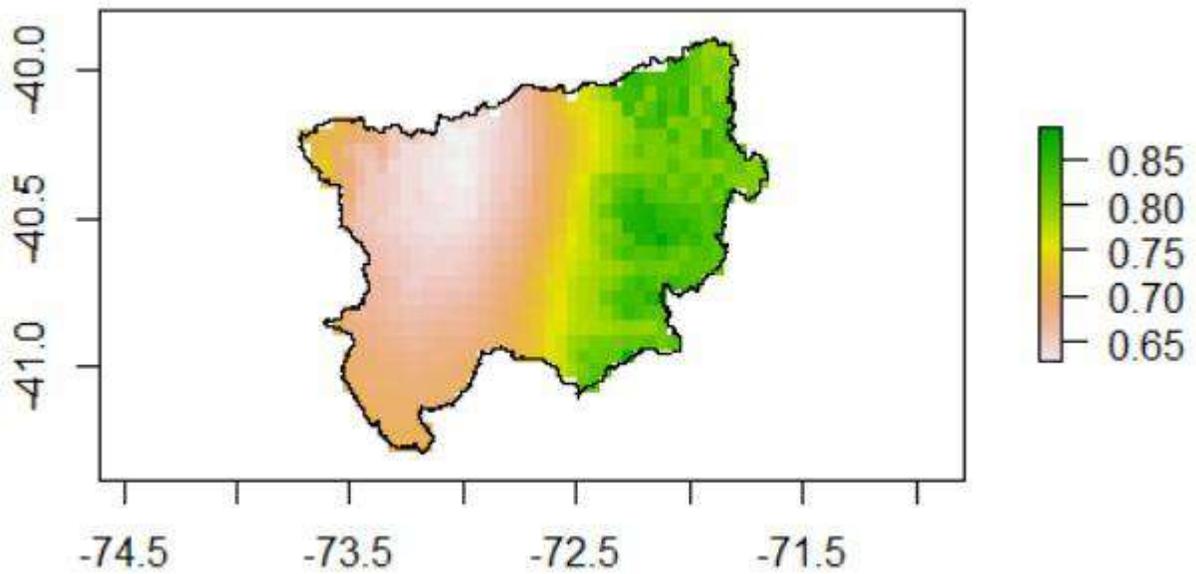


Figura 5-2. Refinamiento, recorte e integración de un producto grillado con respecto a la superficie de la cuenca Río bueno.

Fuente: Elaboración propia a partir de DGA (2019) y 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 dispares 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 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 Bueno [%]				
	CCSM4	CSIRO-Mk3-6-0	IPSL-CM5A-LR	MIROC-ESM	Promedio
ABR	-5,2	-7,1	-26	-8,6	-11,7
MAYO	-9,5	-2,2	-6	-6,7	-6,1
JUN	4,3	-3,1	-11	-3,7	-3,3
JUL	-2,3	2,9	-7	-6,5	-3,3
AGO	4,2	-2,4	-10	9,7	0,3
SEP	-6,6	-5,1	-2	2,6	-2,8
OCT	-0,4	-10,1	-5	-7,9	-5,8
NOV	-13,3	-17,3	-11	-9,9	-12,8
DIC	-15,6	-19,9	-11	-16,3	-15,8
ENE	-11,0	-16,8	-17	8,9	-8,9

Mes	Variación Porcentual en la Precipitación cuenca Río Bueno [%]				
	CCSM4	CSIRO-Mk3-6-0	IPSL-CM5A-LR	MIROC-ESM	Promedio
FEB	-7,2	-14,0	-31	-19,4	-17,9
MAR	-4,1	-14,7	-18	-26,1	-15,7

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 Bueno				
	CCSM4	CSIRO-Mk3-6-0	IPSL-CM5A-LR	MIROC-ESM	Promedio
ABR	1,10	0,83	0,89	1,11	1,0
MAYO	0,88	0,71	0,81	0,98	0,8
JUN	0,82	0,64	0,69	0,96	0,8
JUL	0,91	0,68	0,93	0,92	0,9
AGO	0,99	0,58	0,88	0,96	0,9
SEP	0,83	0,60	0,83	0,58	0,7
OCT	1,02	0,60	0,87	0,89	0,8
NOV	1,14	0,83	1,23	0,86	1,0
DIC	1,28	1,12	0,88	1,11	1,1
ENE	1,50	1,37	0,95	0,77	1,1
FEB	1,40	1,36	1,14	1,14	1,3
MAR	1,21	1,18	0,92	1,33	1,2

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.

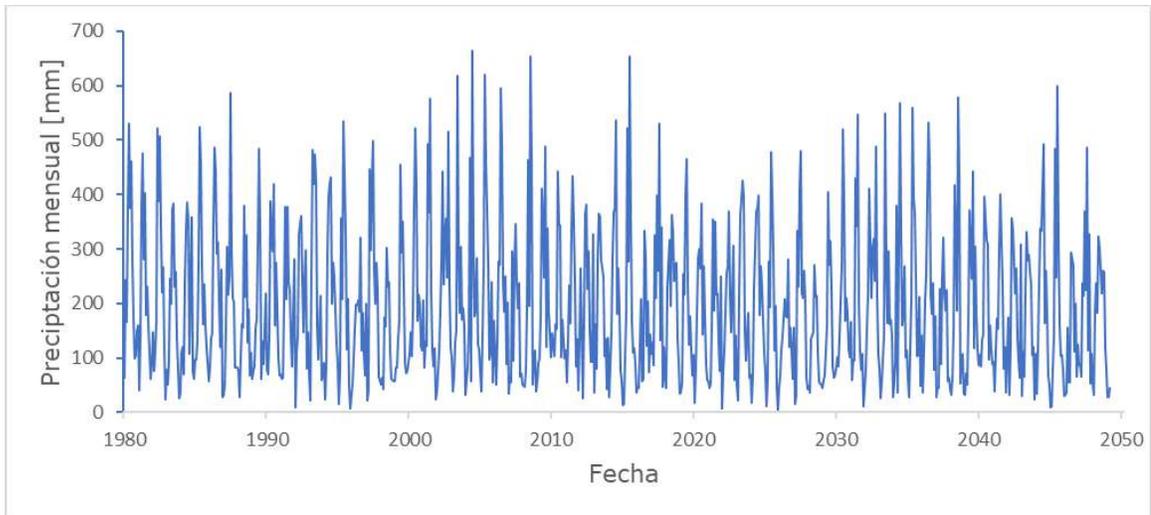


Figura 5-3. Precipitación mensual. Periodo 1979-2050.
Fuente: Elaboración propia a partir de los GCM alojados en el servidor del CR2.

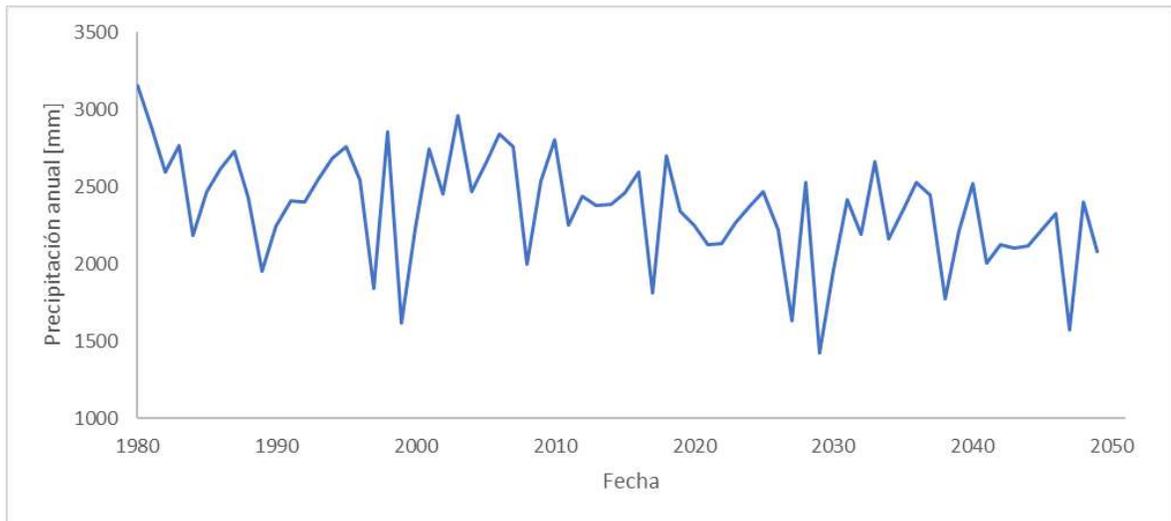


Figura 5-4. Precipitación anual. Periodo 1979-2050.
Fuente: Elaboración propia a partir de los GCM alojados en el servidor del CR2.

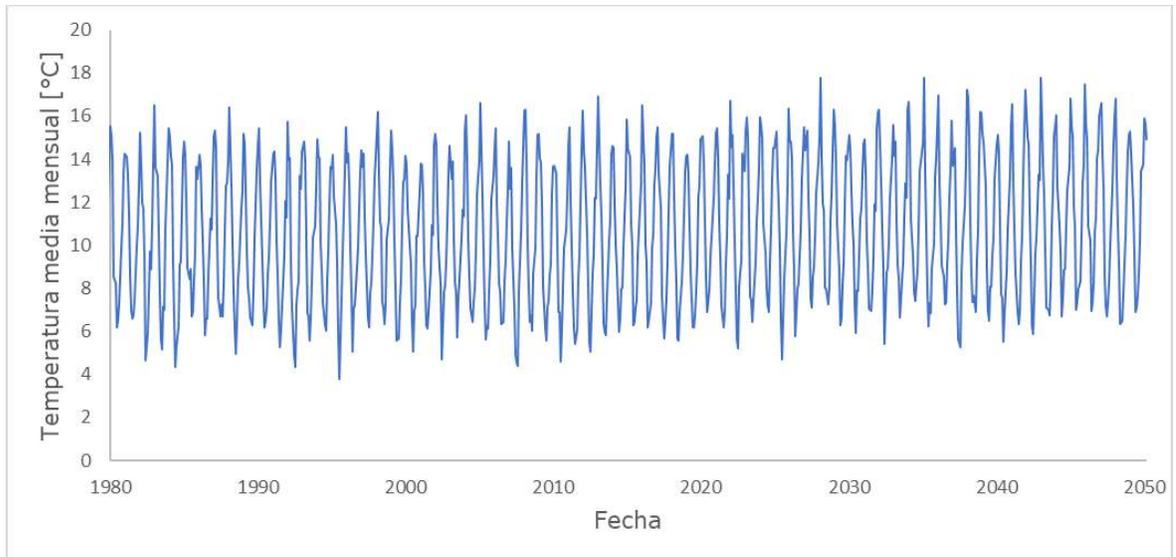


Figura 5-5. Temperatura mensual. Periodo 1979-2050.

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

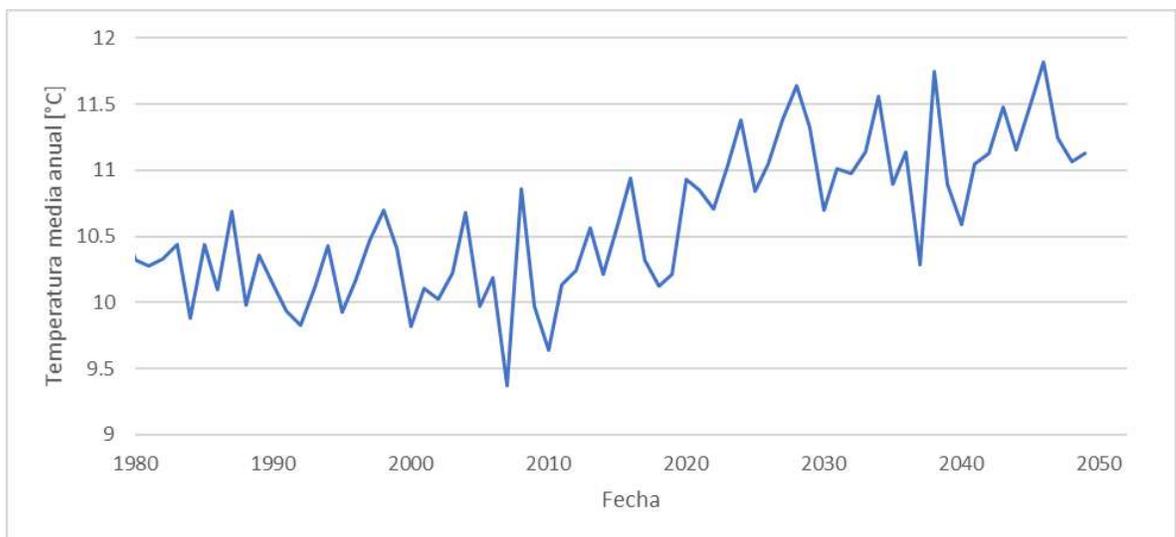


Figura 5-6. Temperatura anual. Periodo 1979-2050.

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

Como se observa en la Figura 5-3 y en la Figura 5-4, la serie utilizada presenta una tendencia a decaer, esto dado por los resultados de los análisis a los GCM. Por otro lado, en la Figura 5-5 y en la Figura 5-6 se observa que la serie sufre un alza en el futuro, lo que condicionará la evapotranspiración en el modelo.

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 32 *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).

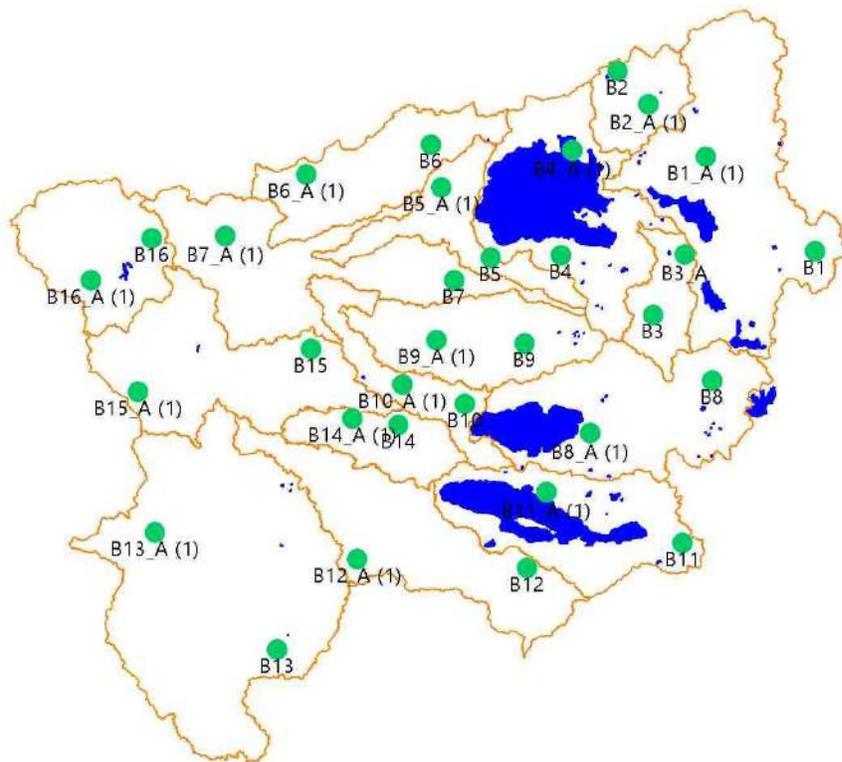


Figura 5-7. Catchments en WEAP. Los puntos verdes representan las 32 catchments simuladas y delimitadas por las líneas naranjas.

Fuente: Elaboración propia basado en Anexo H.

5.1.1.3. Agua subterránea/Groundwater

Se definieron 16 elementos de agua subterránea en el modelo WEAP. De los cuales 5 corresponden a elementos que pertenecen al dominio del modelo MODFLOW, mientras que el resto representan a acuíferos que tributan a los anteriores, y que representan el agua subterránea existente en la ladera de cada unidad de respuesta hidrológica (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.

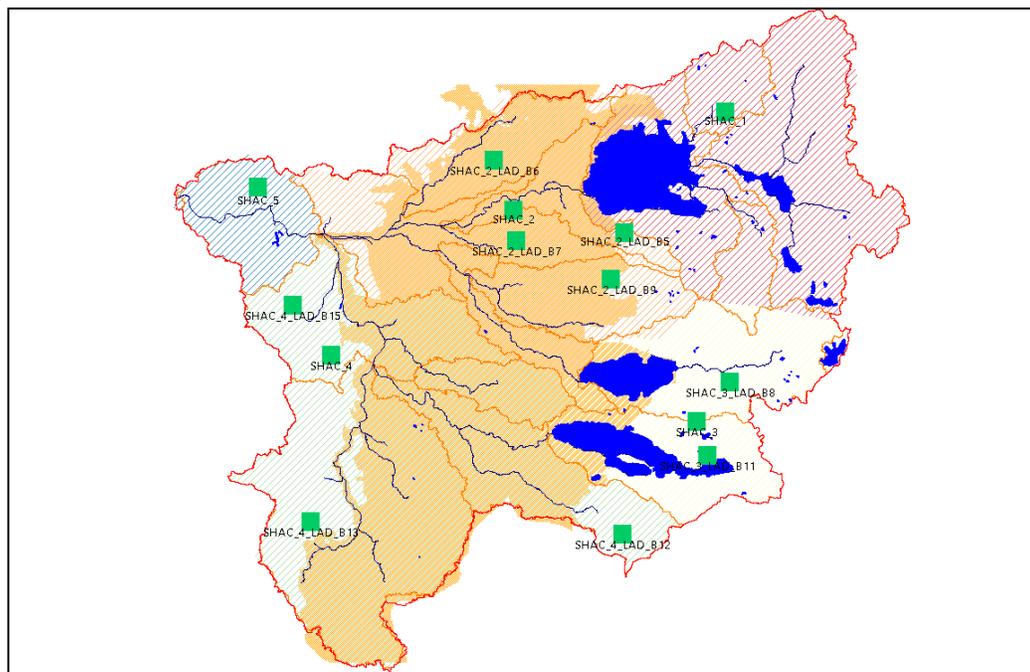


Figura 5-8. Distribución Nodos Acuíferos en WEAP. El área en naranja representa el dominio activo del modelo subterráneo (Linkage) y su intersección con las Unidades de Respuesta Hidrológica divide las zonas MODFLOW de las zonas de ladera.

Fuente: Elaboración propia. Basado en Anexo H.

5.1.1.4. Embalses (Lagos)/Reservoir

En la modelación WEAP de la cuenca Río Bueno existen tres nodos reservorios que corresponden a lagos naturales. Los tres lagos corresponden al Lago Ranco, al Lago Puyehue y al Lago Rupanco si se nombran de Norte a Sur. Existen otras superficies de lagos y lagunas menores, pero se consideran que afectan poco la hidrología al nivel de cuenca y del paso de tiempo semanal seleccionado.

La extracción de agua de los lagos se realizó a través de requerimientos de flujo, definidos en base a una relación entre los niveles de los lagos y los caudales de las estaciones fluviométricas aguas debajo de los mismos.

Los lagos se simulan usando información de su capacidad de almacenamiento, curvas de elevación-volumen, evaporación neta, máximo efluente hidráulico, y las pérdidas hacia las aguas subterráneas.

5.1.1.5. Sitios de Demanda/Demand Sites

Los sitios de demanda son aquellos que requieren agua de los otros elementos y que pueden, si el balance es positivo, tener algún flujo de retorno. Estos elementos no generan agua, sólo simulan el consumo del agua que le llega según las reglas impuestas al modelo.

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 SSR. Otros nodos corresponden a la demanda asociada al riego, a las SSR y a las APU. Finalmente, otro set de demandas se configuró para simular el flujo entre los acuíferos de ladera y los acuíferos del modelo MODFLOW, así como de las infiltraciones o afloramientos desde o hacia los acuíferos.

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 (Linkeage.shp)

La comunicación entre los modelos WEAP y MODFLOW se produce a través de un archivo especial vectorial (tipo *shape*), que se le llama *Linkeage.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 320 columnas y 500 filas, por lo que el número total de celdas es de 160.000 celdas. Del total de celdas solo hay 88.422 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 Linkage (enlace) según corresponde, se vinculó el modelo MODFLOW a WEAP. En la Figura 5-10 se muestra el detalle de la vinculación.

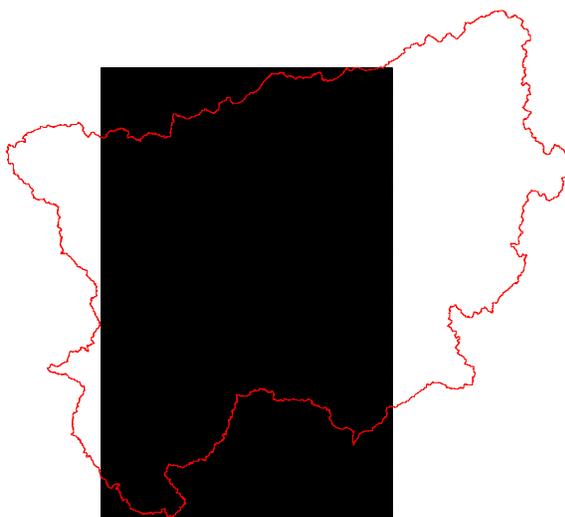


Figura 5-9. Shape Linkage cuenca Río Bueno.

Fuente: Elaboración propia a partir de modelo acoplado WEAP-MODFLOW (Anexo H).

caudales base en algunas de las estaciones (Figura 5-12). Lo mismo ocurre a nivel de los pozos, en donde la falta de datos (una serie muy corta de tiempo) ha hecho difícil realizar una mejor calibración. Respecto a la evapotranspiración, el modelo representa las magnitudes y temporalidad de la evapotranspiración del producto PMLv2, excepto en la parte alta de la cuenca en donde se simula una evapotranspiración menor.

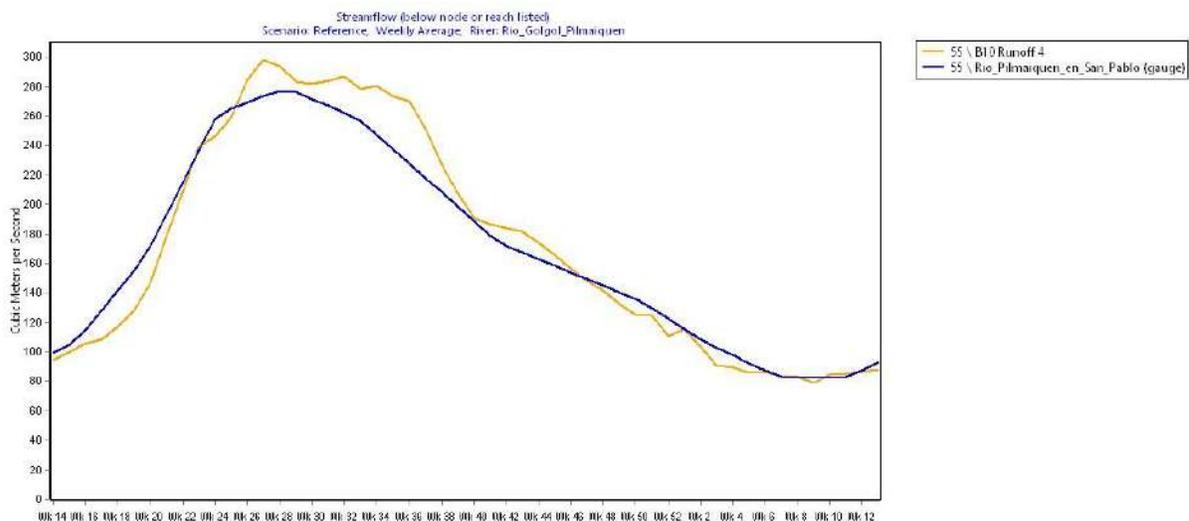


Figura 5-11. Simulación de caudales medios en estación Río Pilmaiquen en San Pablo.

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

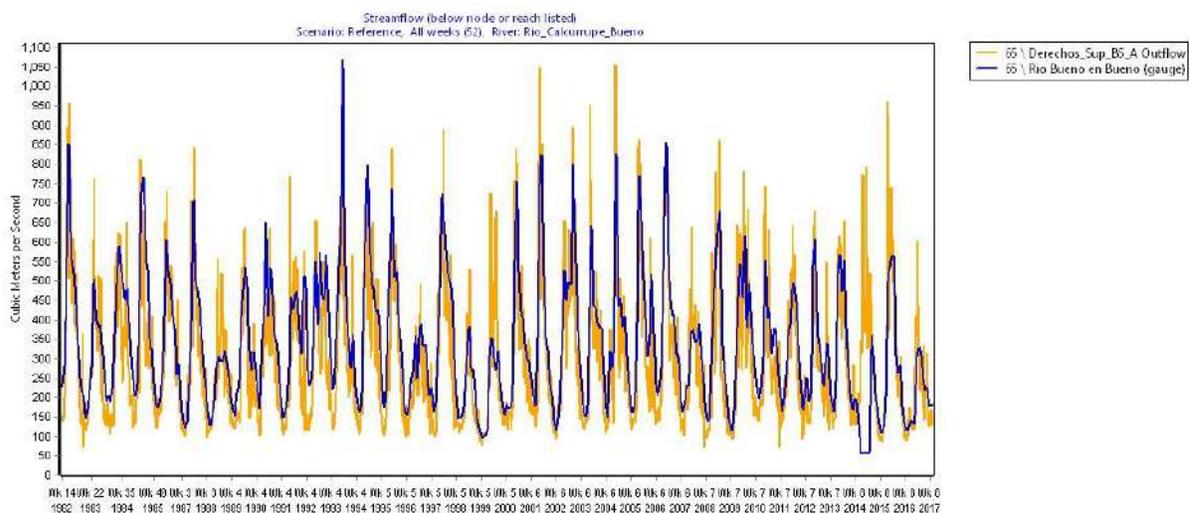


Figura 5-12. Simulación de caudales medios en estación Río Bueno en Bueno.

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 Rahue en Forrahue, 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 está calibrado en un rango aceptable, aunque una de las estaciones tenga un nivel de desempeño muy bajo (Río Coihueco antes junta río Rahue, NSE=-0.24). Los detalles de la calibración y las limitantes en la construcción del modelo están descritas en el Anexo H.

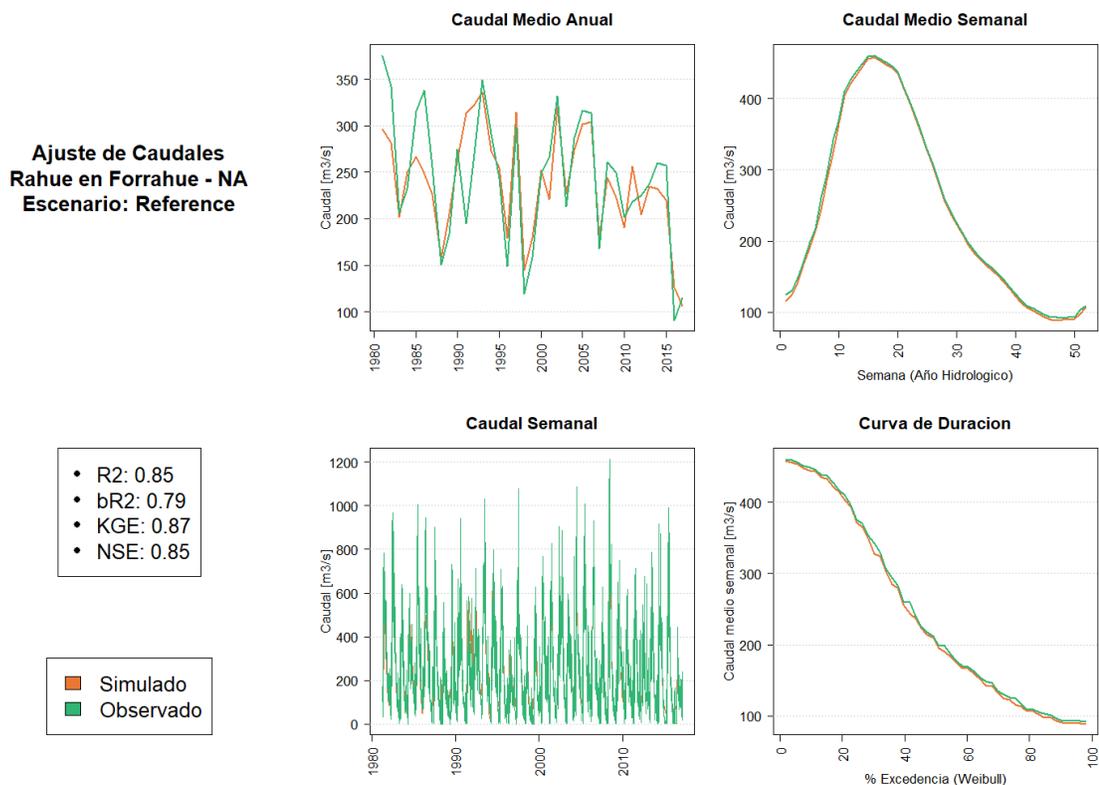


Figura 5-13. Indicador de eficiencia y gráficos de series semanales. Río Rahue en Forrahue.

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

Tabla 5-4 Indicadores de eficiencia mensuales.

Estación	R2	bR2	KGE	NSE
RIO CHIRRE ANTES JUNTA RIO PILMAIQUEN	0,84	0,74	0,77	0,82
RIO PILMAIQUEN EN SAN PABLO	0,89	0,88	0,92	0,87
RIO BUENO EN BUENO	0,75	0,66	0,82	0,68
RIO CAUNAHUE CAMINO A LLIFEN	0,9	0,73	0,75	0,82
RIO LLOLLEHUE EN LA UNION	0,78	0,74	0,65	0,55
RIO NILAHUE EN MAYAY	0,73	0,58	0,75	0,53
RIO CALCURRUPE EN DESEMBOCADURA	0,81	0,75	0,87	0,77
RIO COIHUECO ANTES JUNTA RIO RAHUE	0,77	0,3	0,11	-0,24

Estación	R2	bR2	KGE	NSE
RIO DAMAS EN TACAMO	0,86	0,77	0,72	0,74
RIO NEGRO EN CHAHUILCO	0,85	0,73	0,53	0,62
RIO RAHUE ANTES JUNTA RIO NEGRO	0,92	0,82	0,82	0,8
RIO RAHUE EN CHAN CHAN	0,93	0,88	0,91	0,9
RIO RAHUE EN DESAGUE LAGO RUPANCO	0,9	0,86	0,83	0,83
RIO RAHUE EN FORRAHUE	0,85	0,79	0,87	0,85
RIO TORO EN TEGUALDA	0,84	0,81	0,82	0,81

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

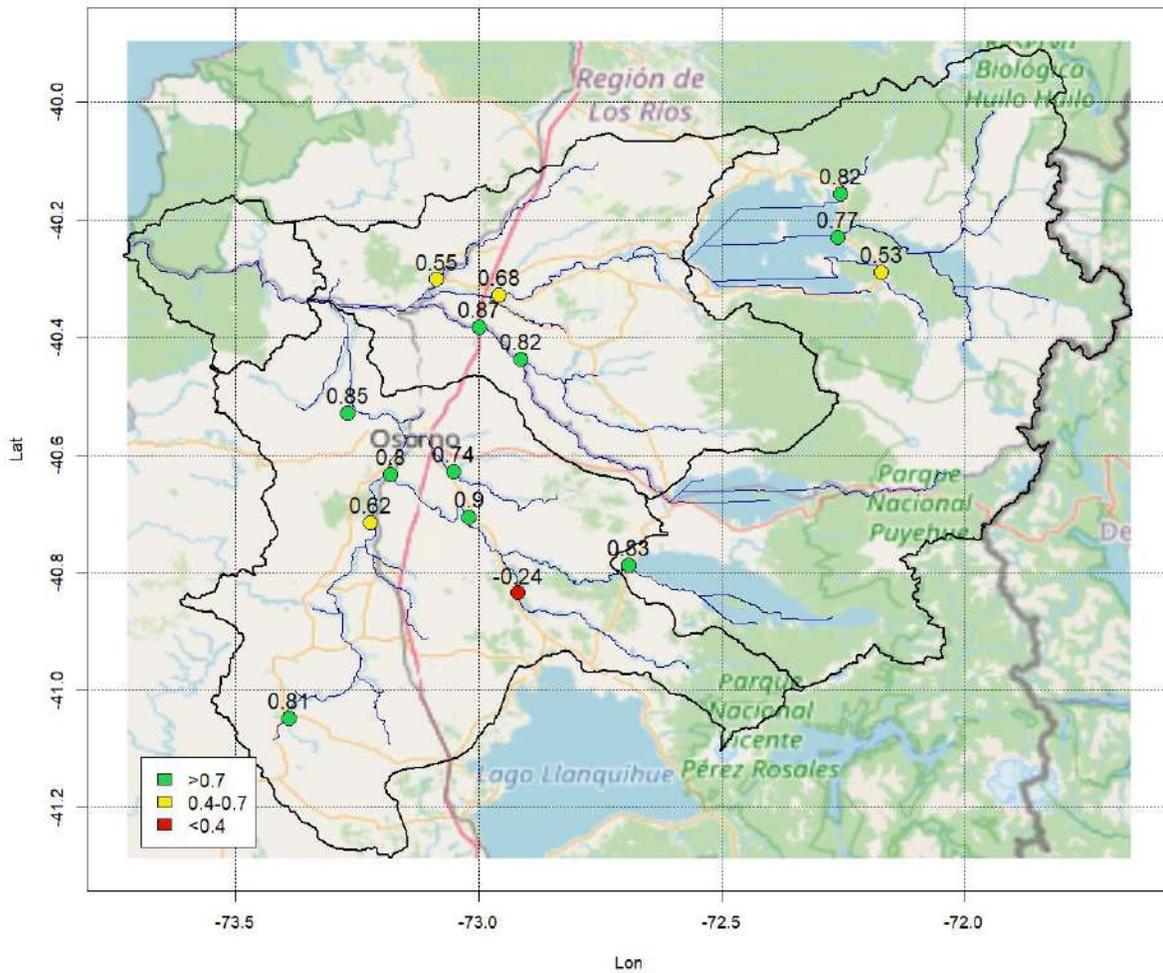


Figura 5-14. Indicador de eficiencia NSE en las estaciones. Series mensuales.

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

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 respectivamente. 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 SSR (2,42 Hm³/año para la década del 2010 y 4,08 Hm³/año para la década del 2040), las demandas de APU (14,16 Hm³/año para la década del 2010 y 15,45 Hm³/año para la década del 2040), las demandas de ganadería (7,63 Hm³/año para ambas décadas) y demanda industrial (18,30 Hm³/año para la década del 2010 y 28,97 Hm³/año para la década del 2040). Todas las demandas son distribuidas durante el año de manera homogénea.

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

Meses	Precipitación [hm ³ /mes]	Evapotranspiración [hm ³ /mes]
abr	2.299,4	592,8
may	3.853,8	516,3
jun	4.710,1	318,8
jul	4.326,7	317,5
ago	4.699,4	355,2
sep	2.729,1	486,9
oct	2.164,4	633,3
nov	1.669,4	857,3
dic	1.730,5	1.019,3
ene	1.119,7	1.249,6
feb	1.236,7	954,0
mar	1.566,7	807,2

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

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

Meses	Precipitación [hm ³ /mes]	Evapotranspiración [hm ³ /mes]
abr	2.360,5	635,0
may	3.703,1	533,3
jun	4.288,8	345,7
jul	3.631,0	335,0

Meses	Precipitación [hm ³ /mes]	Evapotranspiración [hm ³ /mes]
ago	3.265,6	385,9
sep	2.378,3	505,1
oct	2.008,2	670,3
nov	1.537,9	869,0
dic	1.348,5	1.075,0
ene	1.013,4	1.251,3
feb	923,2	1.029,6
mar	1.464,8	895,4

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

Tabla 5-7. Balance hídrico mensual de la cuenca Río Bueno para las décadas de 2010 y 2040.

Meses	2010-2020 [hm ³ /mes]	2040-2050 [hm ³ /mes]
abr	1.706,6	1.725,6
may	3.337,5	3.169,8
jun	4.391,2	3.943,1
jul	4.009,2	3.296,0
ago	4.344,3	2.879,7
sep	2.242,2	1.873,2
oct	1.531,2	1.337,9
nov	812,1	668,9
dic	711,2	273,5
ene	-129,9	-237,9
feb	282,7	-106,4
mar	759,5	569,4

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

A partir de la precipitación, la estimación del balance se realizó considerando todas las demandas previamente estimadas. De este balance (FIG) se observa que para la condición histórica (década 2010-2020) solo enero presenta déficit en torno a las 130 hm³/mes. EL resto de los meses presenta superávit, llegando valores por sobre los 4.000 hm³/mes en los meses de invierno.

Para la condición futura (década 2040-2050), se aprecian dos meses de déficit: enero y febrero. El déficit aumenta respecto a la condición histórica con un tal de 344 hm³.

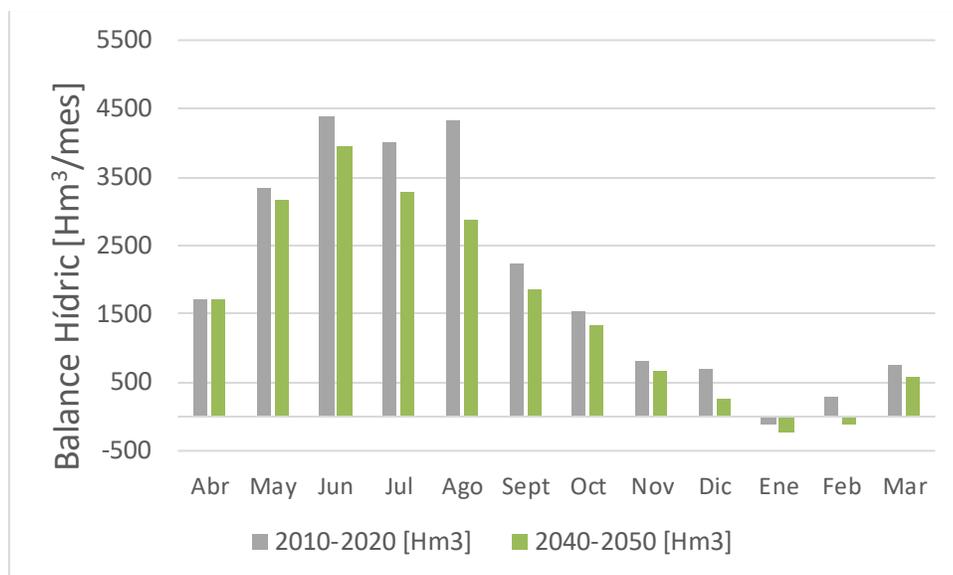


Figura 5-15. Balance hídrico mensual de la cuenca Río Bueno para las décadas de 2010-2020 y 2040-2050.

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

5.2.2. Balance hídrico modelo acoplado

5.2.2.1. Balance a nivel de cuenca

En la Figura 5-16 se muestran los resultados del Balance Hídrico en la cuenca Río Bueno obtenidos a partir del modelo acoplado WEAP-Modflow a nivel de totales anuales considerando 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 realiza desde 1990 al 2050 (antes de 1990 se considera período de calentamiento del modelo, y hacia futuro se usa el escenario de cambio climático descrito en la sección 5.1.1.1 La 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. Se observa una tendencia del balance a valores positivos, por lo que el agua estaría siendo almacenada en la cuenca.

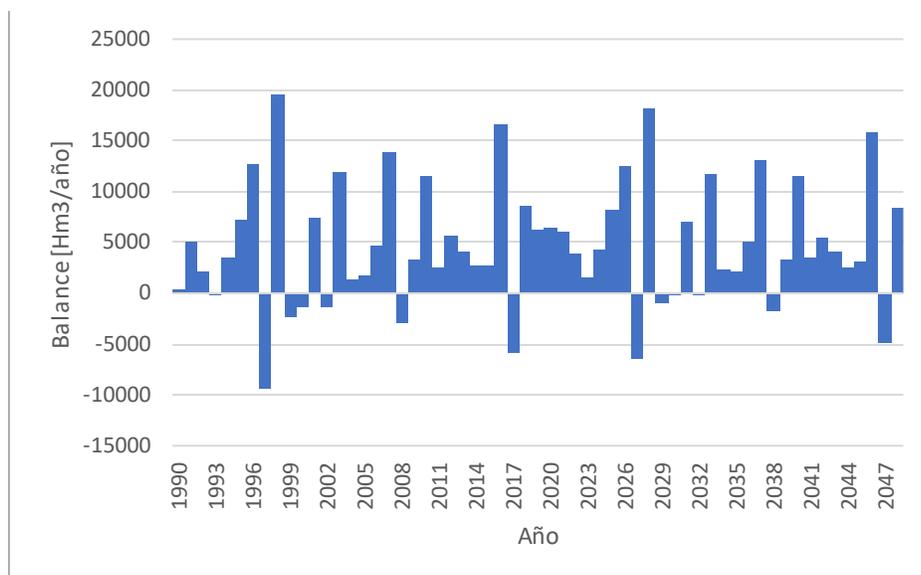


Figura 5-16. Balance Hídrico anual 1990-2050, cuenca Río Bueno.

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

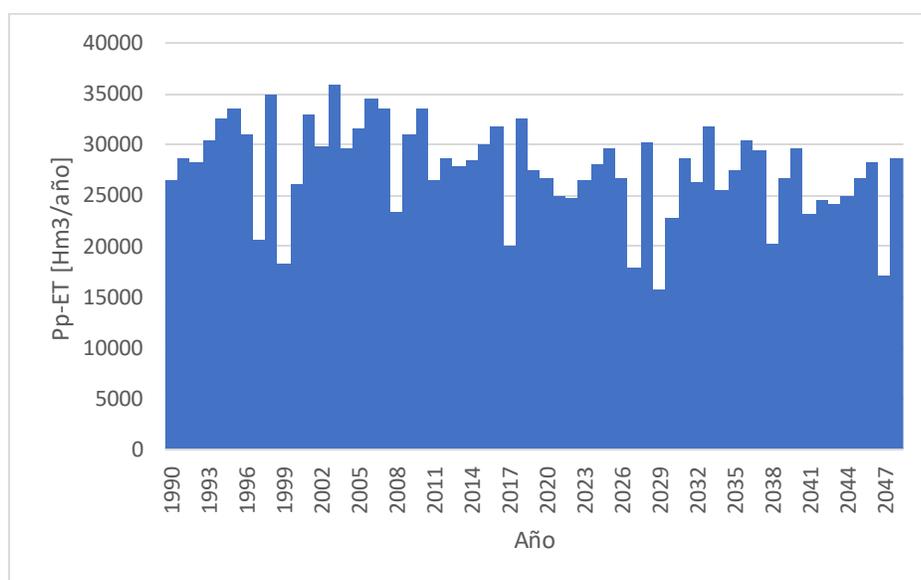


Figura 5-17. Disponibilidad Hídrica anual 1990-2050. Cuenca Río Bueno.

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

Siendo el balance positivo, se pronostica que en general, a futuro el balance será menos positivo, más neutro. Lo anterior se explica por la disminución en el afloramiento hacia los ríos y la mayor retención del agua subterránea en el sistema, lo que se traducirá en una disminución de los caudales superficiales, además de una caída en la precipitación. Ante esto es importante conocer los caudales ambientales necesarios para la conservación de ecosistemas y usos in situ como el turismo.

En la Figura 5-18 se muestra el balance hídrico mensual para las décadas estudiadas, en donde se observa una disminución de la disponibilidad entre el periodo histórico 1990-2020 y el periodo futuro 2020-2050. Aunque existe una disminución de la disponibilidad de agua a futuro, y puede existir una situación crítica del recurso, no se observa en ningún mes un déficit.

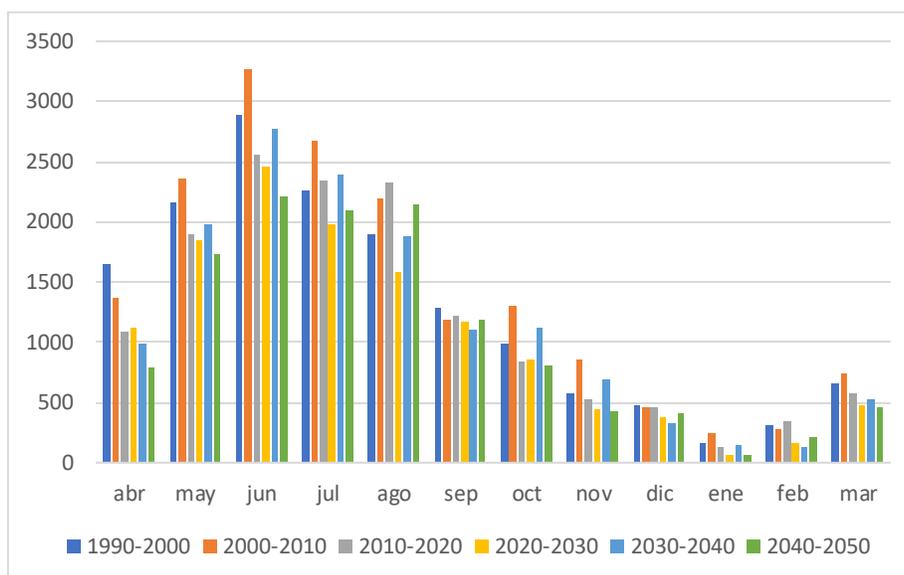


Figura 5-18. Balance hídrico mensual por décadas. Periodo 1990-2050, Cuenca Río Bueno.

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

En la Tabla 5-8 se muestra un resumen de los flujos explicados en la Figura 5-16, en unidades de $Hm^3/año$ 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 Bueno modelo acoplado. Unidades de [hm³/año].

Década	PP Agrícola	PP Sub-cuenca	SSR/APU	Otras	Ganadería	ET Agro riego	ET Agro seco	ET Sub-cuenca	Caudal Subterráneo	Caudal	Balance Hídrico
1990	17.498,0	21.269,6	0,0	0,0	-3,1	-27,2	-1.459,0	-6.205,4	-3,5	-26.773,6	4.295,9
2000	16.112,7	19.812,9	-0,8	0,0	-4,0	-27,6	-1.420,3	-6.000,2	0,5	-24.597,3	3.875,9
2010	17.434,5	21.073,8	-3,1	-0,6	-4,8	-30,8	-1.488,3	-6.143,5	2,1	-26.936,5	3.902,8
2020	15.615,4	20.722,1	-3,3	-3,4	-5,0	-33,2	-1.448,4	-6.182,0	-1,5	-23.163,0	5.497,7
2030	13.595,1	18.611,6	-4,7	-7,5	-6,7	-34,1	-1.332,2	-5.693,2	-1,3	-19.757,8	5.369,1
2040	14.587,8	19.616,0	-7,3	-8,6	-7,6	-34,5	-1.375,4	-5.877,1	1,9	-22.633,8	4.261,4

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

En general se puede apreciar que las precipitaciones han ido disminuyendo desde la década de 1990 hasta la fecha, pasando de 38.767 hm³ o 2527 mm anuales a los 35.9265 hm³ o 2342 mm de la última década. La evapotranspiración varía levemente debido al aumento de temperatura, pero sin una tendencia marcada. 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 20%, 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. Finalmente, la recarga neta al acuífero, es decir considerando sus recargas y descargas, muestra que hay décadas en las cuales la recarga es positiva, pero en la última década en conjunto los acuíferos descargan más de lo que reciben.

Tanto la superficie constante agrícola bajo riego (y su demanda evapotranspirativa) como las disminuciones en las precipitaciones totales generan balances positivos con valores cada vez más pequeños.

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 como consuntivas ni todas las descargas a los acuíferos ni a los ríos. Adicionalmente, 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. Se aprecia, de las figuras, que los meses críticos son diciembre, enero y febrero; y aunque el balance anual sea positivo, el balance mensual muestra que hay 3 meses con déficit.

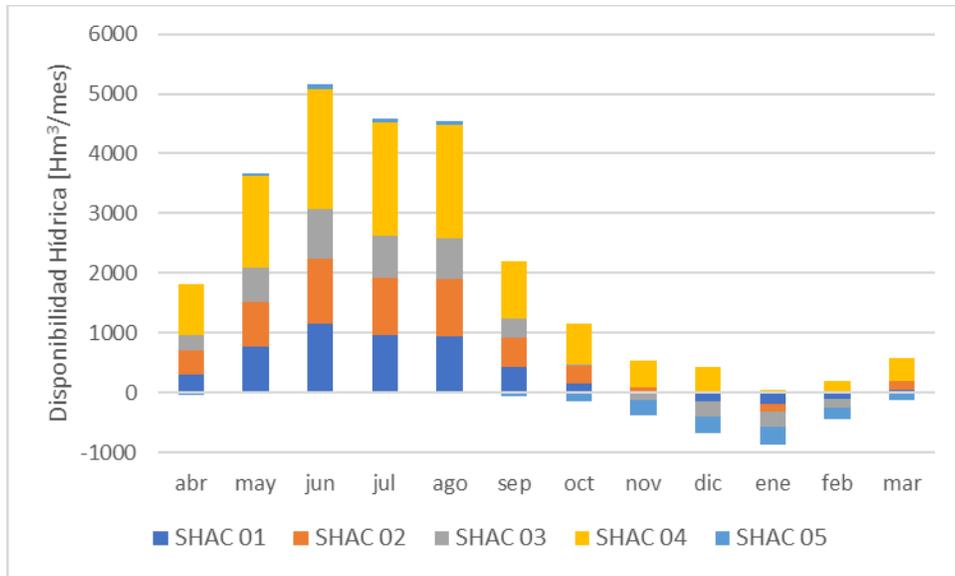


Figura 5-19. Balance hídrico mensual para década 2010-2020.

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

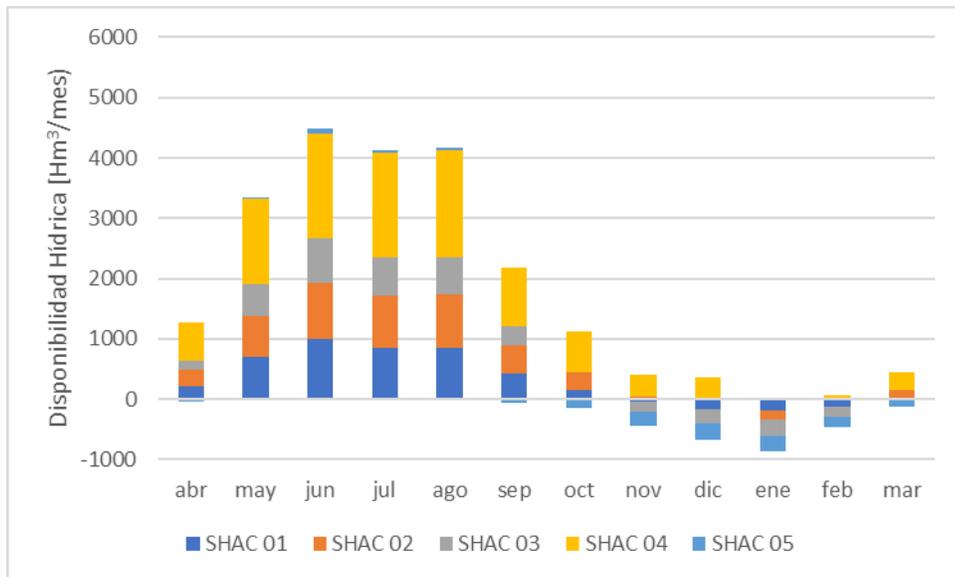


Figura 5-20. Balance hídrico mensual para década 2040-2050.

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

5.2.3. Diferencias entre demandas teóricas y demandas modeladas

A continuación, la Tabla 5-9 presenta las diferencias entre las demandas utilizadas en WEAP y las teóricas según el Anexo J – Capítulo 10.

Tabla 5-9. Nodos Acuíferos en WEAP.

Rubro	Modelo WEAP 2019 [hm ³ /año]	Teórico 2019 [hm ³ /año]	Diferencia 2019 [hm ³ /año]	Porcentaje no simulado
Hidroelectricidad	10.817,2	14.265,6	3.448,4	24%
Piscicultura	6.928,8	11.294,4	4.365,6	39%
SSR+APU	16,4	16,6	0,2	1%
Industrial	11,2	18,3	7,1	39%
Ganadería	7,63	7,63	0,0	0%

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

Tanto en hidroelectricidad como en piscicultura, existen elementos que no fueron incluidos en la modelación debido a la complicación que agregaba incrementar la red de drenaje para incluirlos. Por otro lado, el mayor cambio se encuentra en las demandas Industrial, esto debido a que en el modelo se consideraron sólo los derechos con coordenadas geográficas declaradas. En SSR+APU y Ganadería casi no existen diferencias entre las demandas utilizadas en el modelo y las teóricas.

5.2.4. Recargas

La Tabla 5-10 presenta las entradas y salidas por SHAC en el periodo 1990-2020.

Tabla 5-10. Resumen de flujos de entradas y salidas e los distintos SHACS. Periodo 1990-2020.

Origen	Bueno Medio	Bueno Superior S	Bueno Superior N	Rahue
Entradas [m³/s]				
Flujo Subterráneo	3,56	0,14	0,21	1,41
Recarga	1,80	0,14	0,16	2,86
Recarga desde río	11,23	0,01	0,02	8,14
Recarga desde almacenamientos	1,68	0,04	0,06	4,27
Desde Pozos	0,32	0,24	0,00	3,33
Carga constante	0,00	2,55	7,16	1,34
Total	18,58	3,12	7,61	21,35
Salidas [m³/s]				
Flujo Subterráneo	0,90	3,41	0,61	0,38
Carga Constante	0,00	0,33	0,21	0,00
Drenes	0,39	0,00	0,00	4,38
Recarga	0,00	0,00	0,00	0,00
Ríos	16,08	5,43	1,63	14,66

Origen	Bueno Medio	Bueno Superior S	Bueno Superior N	Rahue
Almacenamiento	1,04	0,08	0,06	0,93
Pozos de bombeo	0,35	0,02	0,01	0,39
Total	18,76	9,26	2,52	20,74
Balance [m³/s]				
Variación de almacenamiento	-0,17	-6,15	5,09	0,61

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

Se aprecia que las mayores recargas a la cuenca, y a los SHAC proviene de la precipitación y de los lagos. Si bien ambas recargas son importantes para mantener el acuífero en niveles sustentables, la recarga por lagos no es constante en todos los SHAC, ya que esta ocurre principalmente en los SHAC donde hay lagos, es decir, Bueno Superior y Rahue en menor medida (debido a una posible conexión subterránea con el lago Llanquihue).

Cada SHAC tiene una fuente de recarga de importancia. Como ya se mencionó, el Bueno Superior la mayor recarga se produce por la influencia del lago, el SHAC Bueno Medio presenta una mayor recarga desde los ríos y la precipitación en forma directa y también es importante el flujo desde el Bueno Superior. Para el SHAC Rahue, la precipitación es la principal fuente de recarga, pero no hay que dejar de lado la posible conexión con el lago Llanquihue. Finalmente, el SHAC Bueno Inferior si bien presenta baja recarga en todos los componentes, es importante resaltar la incertidumbre que existe en torno a este SHAC dada la carencia de información en todos sus aspectos (ver capítulo 2.6.4)

Para la situación proyectada, las recargas se muestran en la tabla

**Tabla 5-11. Resumen de flujos de entradas y salidas de los distintos SHACS.
Periodo 2020-2050.**

Origen	Bueno Medio	Bueno Superior S	Bueno Superior N	Rahue
Entradas [m³/s]				
Flujo Subterráneo	3,54	0,18	0,17	1,57
Recarga	1,83	0,14	0,14	2,82
Recarga desde río	11,07	0,01	0,02	8,04
Recarga desde almacenamientos	1,36	0,03	0,06	2,43
Desde Pozos	0,30	0,49	0,00	3,38
Carga constante	0,00	2,58	7,19	1,37
Total	18,24	3,43	7,58	20,26
Salidas [m³/s]				
Flujo Subterráneo	0,96	3,49	0,64	0,37
Carga Constante	0,00	0,51	0,14	0,00
Drenes	0,35	0,00	0,00	3,04

Origen	Bueno Medio	Bueno Superior S	Bueno Superior N	Rahue
Recarga	0,00	0,00	0,00	0,00
Ríos	14,09	5,43	1,63	12,42
Almacenamiento	1,04	0,04	0,04	0,95
Pozos de bombeo	1,79	0,10	0,05	2,24
Total	18,24	9,57	2,49	19,10
Balance [m³/s]				
Variación de almacenamiento	0;00	-6,14	5,08	1,16

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

La situación proyectada entre las décadas 2020 a 2050 si bien la recarga debido a precipitación disminuye, aumentan otras fuentes de recarga debido a la generación de un mayor gradiente entre río y el acuífero, por lo tanto, el déficit se ve reflejado principalmente en los caudales superficiales.

A simple vista, pareciera que el acuífero presenta una estabilidad importante, debido a que es capaz de suplir la falta de recarga de precipitación desde recarga de los ríos, sin embargo, las recargas de retorno por extracción aumentan y es otro factor importante que contribuye a que las recargas aumenten. Sin embargo, si las eficiencias de dichas extracciones aumentan, las recargas netas al acuífero disminuirán

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 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 de aproximadamente 600 millones de m³ en la última década. En cambio, la brecha de agua potable rural es considerablemente menor, por lo menos con respecto a disponibilidad del recurso en base a la modelación, que puede presentar incertidumbres y errores puntuales.

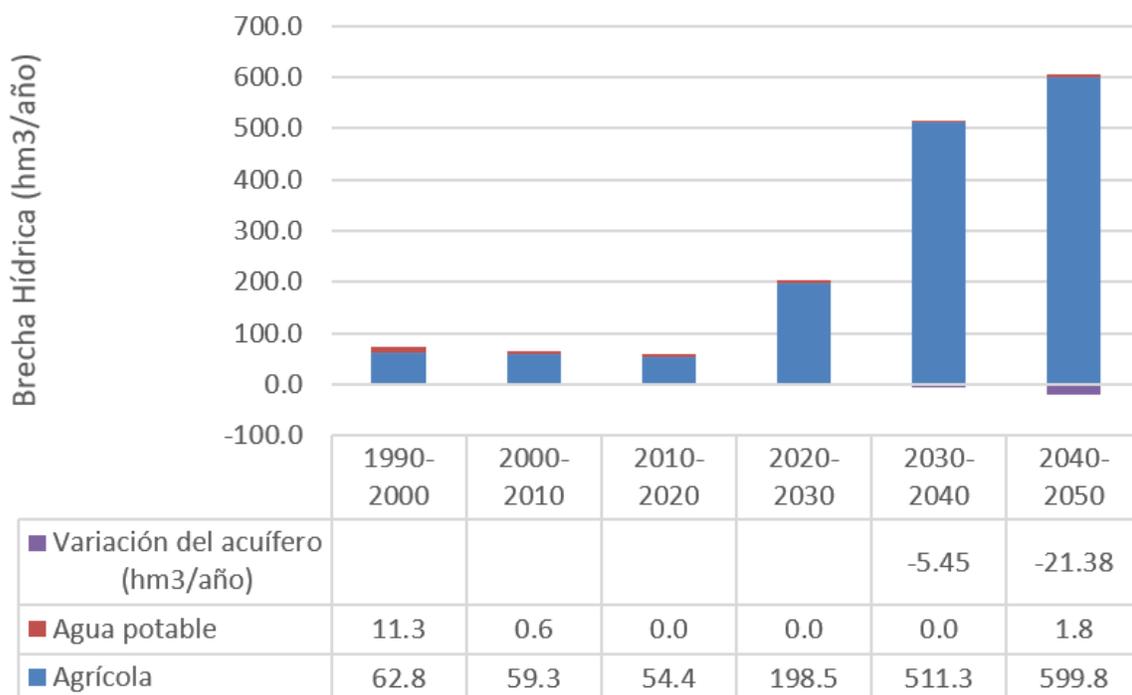


Figura 5-21. Brecha para agua potable rural, demandas agrícolas bajo riego, y demandas consuntivas del Río Bueno.

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

Se aprecia en la Figura 5-21 que la brecha para riego se encuentra entre los 54,4 a los 600 hm³, lo que representa entre un 4% a 5% 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 600 Hm³ en la década 2040-2050. Le siguen las brechas de otros usos consuntivos, incluidos los industriales, sin una brecha en la década 2010-2020 y un brecha igual a 1,25 Hm³ para la condición futura. Finalmente, la brecha asociada a SSR+APU tiene una disminución significativa desde la década de los 90 hasta la década del 2010-2020, momento en el cual comienza a aumentar debido al crecimiento poblacional y a la premisa que no se otorgan más derechos de aprovechamiento, pasando de 0,02 Hm³ a 1,8 Hm³ en la condición futura. Así, la cuenca Río Bueno presenta una brecha total histórica igual a 54,4 hm³ (década 2010-2020) y una brecha proyectada igual a 599,8 Hm³ (década 2040-2050).

En esta cuenca, se aprecia que entre las décadas 1900 a 2030 el acuífero no presenta variaciones negativas del volumen, sin embargo, a partir de la década del 2030 al 2050 se comienzan a presentar.

En la Tabla 5-12, Tabla 5-13, Tabla 5-14, Tabla 5-15, se presentan las brechas históricas totales y según rubro por SHAC. Puede observarse que las brechas del agua potable rural disminuyen desde la década de 1990 hasta la década de 2010-2020. Lo anterior es debido a que la adquisición de derechos de agua de este sector aumentó paulatinamente y por tanto fueron satisfaciendo la demanda de agua potable; sin embargo, esta condición no fue igual en todos los SHAC. en Rahue, por ejemplo, aunque los derechos para las SSR+APU aumentaron, existe una brecha de agua por satisfacer.

Tabla 5-12. Brecha SHAC Bueno Superior. Periodo 1990-2020.

Década	Brecha [hm ³ /año]			
	Agrícola	Agua potable	Otros	Total
1990-2000	4,50	0,98	0,00	5,48
2000-2010	4,65	0,51	0,13	5,29
2010-2020	5,70	0,01	0,54	6,25

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

Tabla 5-13. Brecha SHAC Bueno Medio. Periodo 1990-2020.

Década	Brecha [hm ³ /año]			
	Agrícola	Agua potable	Otros	Total
1990-2000	33,21	1,69	0,00	34,90
2000-2010	33,33	0,00	1,35	34,68
2010-2020	32,06	0,00	3,15	35,21

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

Tabla 5-14. Brecha Bueno Inferior. Periodo 1990-2020.

Década	Brecha [hm ³ /año]			
	Agrícola	Agua potable	Otros	Total
1990-2000	0,00	0,08	0,00	0,08
2000-2010	0,00	0,00	0,00	0,00
2010-2020	0,00	0,00	0,00	0,00

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

Tabla 5-15. Brecha Rahue. Periodo 1990-2020.

Década	Brecha [hm ³ /año]			
	Agrícola	Agua potable I	otros	Total
1990-2000	47,18	8,38	0,00	55,56
2000-2010	46,11	0,02	0,00	46,13
2010-2020	42,25	0,00	0,00	42,25

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 Rahue presenta los mayores valores debido a su extensión con una brecha igual a 30,5 hm³, seguido de Bueno Medio con una brecha igual a 18,2 hm³/año y Bueno Superior con una brecha igual a 1,2 Hm³/año. Respecto a las brechas proyectadas en las Tabla 5-16, Tabla 5-17, Tabla 5-18 y Tabla 5-19 se presentan las brechas proyectadas totales y según rubro por SHAC.

Tabla 5-16. Bechas proyectadas Bueno Superior. Periodo 2020-2050.

Década	Brecha [hm ³ /año]			
	Agrícola	Agua potable	Otros	Total
2020-2030	5,97	0,00	0,54	6,51
2030-2040	5,82	0,00	0,54	6,36
2040-2050	5,61	0,00	0,54	6,15

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

Tabla 5-17. Brechas proyectadas Bueno Medio. Periodo 2020-2050.

Década	Brecha [hm ³ /año]			
	Agrícola	Agua potable	Otros	Total
2020-2030	26,38	0,00	5,23	31,61
2030-2040	239,44	0,00	5,23	244,67
2040-2050	329,80	0,00	5,23	335,03

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

Tabla 5-18. Brechas proyectadas Bueno inferior. Periodo 2020-2050.

Década	Brecha [hm ³ /año]			
	Agrícola	Agua potable	Otros	Total
2020-2030	0,00	0,00	0,00	0,00
2030-2040	0,00	0,00	0,00	0,00
2040-2050	0,00	0,00	0,00	0,00

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

Tabla 5-19. Brechas proyectadas Rahue. Periodo 2020-2050.

Década	Brecha [hm ³ /año]			
	Agrícola	Agua potable Se corrige en	otros	Total
2020-2030	166,11	0,02	17,61	166,13
2030-2040	266,00	0,02	17,60	266,02
2040-2050	264,36	1,78	17,61	266,14

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 Rahue y Bueno Medio se proyectan mayores valores debido principalmente a su extensión y es en donde se realiza mayor cultivo de secano, puesto que ambos se ubican en la zona media de la cuenca. Cabe destacar que es en el SHAC Rahue y Bueno Medio en donde se simuló la alternativa de extensión del área de riego sin alimentar (para el caso base), por lo que esto aporta un importante valor de recurso demandado y no satisfecho a la cuenca (brecha)

Respecto a la década del 2010, en todos los SHAC el déficit total aumenta, tendencia causada principalmente por el aumento de la temperatura y la disminución de la precipitación en el sector agrícola; sin embargo, las brechas de agua potable rural aumentan evidenciando la necesidad de optimizar la infraestructura o el uso de los derechos de aprovechamiento.

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 la superficie de secano no evapotranspira de acuerdo con la evapotranspiración potencial, por lo tanto, esos volúmenes en hm³ de brecha indicadas deben ser disminuidas de acuerdo a la entrega de seguridad de riego. De igual forma, 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 las entidades, 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 con el 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). No por eso, no 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 con 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 46,5% de las pisciculturas y del 33% 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 reservas ambientales (ver capítulo 3.2), pero no están desarrollados caudales de reserva asociados a usos turísticos.

En este estudio se realizó el ejercicio de determinar el caudal ecológico mínimo mediante la minuta 4 del MMA (2012) (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

De acuerdo con procesos participativos, (Anexo I. Procesos participativos) los SSR indican que, si bien no aprecian carencia de agua, no logran satisfacer a sus socios, por lo que algunos deben recurrir a camiones aljibes. Esta limitación se debe principalmente a: 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.

Debido a la excedencia de agua, la eficiencia de conducción, distribución, no es una variable que se realice su cuantificación ya que no genera una preocupación o bien.

La eficiencia en el abastecimiento de agua potable rural no ha sido estimada o medida en estos SSR. Durante las entrevistas realizadas (ver Anexo I, Procesos participativos) 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, pero no cuenta con los recursos para cuantificar las pérdidas ni para reemplazar la infraestructura existente.

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 ESSAL (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%.

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. Por lo que se ve una oportunidad en la cuenca de poder gestionar la articulación de diferentes actores que tengan interés en la gestión o protección del agua. Y con ello aumentar su capital social

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.

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.

Por ejemplo, existen diferentes organizaciones ambientales que trabajan o se organizan de forma separadas entre ellas.

Otro aspecto importante, es la posibilidad que el SHAC Bueno medio sea declarado como de restricción, y por lo tanto, los actores que hagan uso del aprovechamiento de sus derechos de agua, deberán ser parte de la Comunidad de Agua Subterránea (CAS) que será necesario constituir, así como estar regidos bajo el Monitoreo de Extracciones Efectivas (MEE). Ante ello, es imperante mostrar los beneficios de organizarse y se debe generar un acompañamiento continuo en la constitución y funcionamiento de esta CAS.

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 de los umbrales mínimos de agua para la conservación de ecosistemas y la realización de turismo y carencia de protección de calidad de las aguas ante potenciales puntos de contaminación.

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.
- Exista 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 eco sistémicos y funciones ecológicas.
- Carencia de instancias institucionalmente establecidas para realizar acciones coordinadas entre 2 o más usuarios en torno al recurso hídrico. Particularmente a los actores comprendidos en el SHAC Bueno Medio ante la posibilidad de ser declarado zona de restricción.

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.

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.

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 ingles).

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

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.

Se debe indicar que en el análisis de los criterios de sustentabilidad fue acordado con los inspectores fiscales de las autoridades, por lo que sólo se presentarán los criterios que sean sustentables, en caso que alguno de los criterios es no sustentable lo que conclusión que el SHAC (o la entera cuenca) es no sustentable, no se evaluarán los criterios sucesivos.

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.

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).

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.

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

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.

Para analizar los criterios de sustentabilidad, se utilizaron las iniciativas propuestas y detalladas en el Anexo H (Acápito 4.4), estas simulaciones realizadas por el modelo acoplado, se simulan hasta el año 2050, éstas se resumen en:

1. Base IPSL: Escenario futuro incorporando clima del modelo GCM IPSL.
2. Zanja: Escenario futuro incorporando zanjas de infiltración en zonas específicas de la cuenca.

3. Q Ambiental: Escenario futuro implementando el caudal ambiental como normativa.
4. Plan: escenario que incluye todos los planes en conjunto

Con estos resultados, con caudales relativamente constantes, se puede indicar que Rahue es sustentable en el criterio de sustentabilidad 1.

Finalmente, se presenta en la Tabla 5-20, se presenta un resumen de los resultados de los criterios de sustentabilidad evaluado en el caso base IPSL.

Tabla 5-20. Resumen de criterios de Sustentabilidad para el caso base IPSL.

Criterio de Sustentabilidad	Bueno Medio	Bueno Superior Norte	Bueno Superior Sur	Rahue
1	No sustentable	Sustentable	No sustentable	Sustentable
2	No sustentable	No sustentable	Sustentable	No sustentable
3	No sustentable	No sustentable	No sustentable	No sustentable
4	No evaluado	No evaluado	No evaluado	No evaluado
5	No evaluado	No evaluado	No evaluado	No evaluado

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de modelo acoplado WEAP-MOFLOW (2021).

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

Evaluando 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 4 indicadores para la cuenca Río Bueno se muestra en la Tabla 5-21.

Tabla 5-21. Indicadores de brecha, cobertura de la demanda y variación del acuífero para la condición histórica en la cuenca Río Bueno.

Década	Brecha [hm ³ /año]		Cobertura [%]		Variación del acuífero [hm ³ /año]
	Agrícola	Agua potable Rural	Agrícola	Agua potable rural	
1990-2000	62,8	11,3	31	31	458,83
2000-2010	59,3	0,6	34	96	69,29
2010-2020	54,4	0,0	38	97	49,94

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

Para la condición actual (década 2010), se aprecia que la agricultura presenta una confiabilidad del 38%, esto significa que para la última década no se satisfacen las demandas ya que la evapotranspiración estimada es menor que la evapotranspiración potencial. Para el agua potable rural, la confiabilidad es del orden de 97%, satisfaciéndose casi en su totalidad.

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 Bueno se muestra en la Tabla 5-22.

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

Década	Brecha [hm ³ /año]		Cobertura [%}		Variación del acuífero [hm ³ /año]
	Agrícola	Agua potable Rural	Agrícola	Agua potable rural	
2020-2030	198,5	0,0	15	99	51,29
2030-2040	511,3	0,0	6	99	-5,45
2040-2050	599,8	1,8	5	97	-21,38

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

Se aprecia que la brecha agrícola aumenta en gran forma debido al interés de incorporar 35.000 há para riego, lo que se traduce en mayor demanda y menor cobertura, logrando solo un 5%. En el caso del agua potable rural, aumenta levemente la brecha hídrica a 1,8 hm³, lo cual hace disminuir su cobertura a un 97%.

Realizando un análisis conjunto de la brecha, de las coberturas y además de la variación del volumen de almacenamiento del acuífero, se aprecia que esta cuenca presenta 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 35.000 ha de acuerdo con 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.

Análisis de sensibilidad

5.5.3. Descripción de escenarios de simulación

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 las Tabla 5-23. y Tabla 5-24. se muestran los escenarios definidos por las acciones correspondientes. Todos los escenarios se listan y describen a continuación:

Tabla 5-23. 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 remante 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
Futuro Base (FB)	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	No aplica

Escenario WEAP	Descripción	Código de la acción o iniciativa
	que fueran comparables el escenario histórico con el escenario de implementación de una 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 período 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 5-24. describe estos escenarios:

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

Escenario WEAP	Descripción	Código de la acción
(FB) + aumento de superficie agrícola asociados canales de regadío	Se incorporan los proyectos de riego desarrollados por CNR con una elevada Seguridad de riego	OH-01
(FB) + zanjias de infiltración	Incorporación de las zanjias 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 la modelación hidrológica superficial (ver Anexo H Modelación hidrológica acoplada).

5.5.4. 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 5-25.

Tabla 5-25. Resultados de la simulación de los escenarios como promedio decadal 2040-2050 en las cuencas del Río Bueno.

Década	Brecha [$\text{hm}^3/\text{año}$]		Cobertura [%]		Variación del acuífero [$\text{hm}^3/\text{año}$]
	Agrícola	Agua potable Rural	Agrícola	Agua potable Rural	
Futuro	599,8	1,8	5	97	-21,38
IPSL + aumento de riego	71,0	1,3	89	97	-14,60
IPSL + zanjas de infiltración	598,6	0,9	5	98	-78,84
(FB) + Caudal Ambiental	599,8	1,8	5	97	-21,38

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

En el caso futuro, la brecha hídrica asociada al riego aumenta a 599,8 hm³ debido al interés de aumentar la superficie de riego CNR (para 13 proyectos de riegos priorizados) en 35.000 ha (ver Anexo H, acápite 4.4.5). Solo el escenario de construcción de los 13 canales y su red de regadío es el que permite disminuir considerablemente la brecha y aumentar la cobertura en riego a 71 hm³/año y 89% respectivamente. Este mismo escenario, es que el presiona en mayor medida los volúmenes subterráneos 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, genera un efecto no esperado en el acuífero, ya que se esperaba que con la mayor recarga la variación del acuífero fuese menor.

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.

5.6. Mercado de aguas

A continuación, se presenta el análisis del mercado de Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA) de la cuenca Río Bueno. La información presentada fue obtenida a través de la página web de la DGA, siendo información proporcionada por los Conservadores de Bienes Raíces (CBR) de: i) La Unión, con jurisdicción en la comuna de La Unión; ii) Los Lagos, con jurisdicción en las comunas de Los Lagos y Futrono; iii) Paillaco, con jurisdicción en la comuna de Paillaco; iv) Río Bueno, con jurisdicción en las comunas de Río Bueno y Lago Ranco; v) Osorno, con jurisdicción en las comunas de Osorno, San Pablo, San Juan de la Costa, Puyehue y Puerto Octay, y vi) Puerto Varas, con jurisdicción en las comunas de Puerto Varas, Llanquihue, Frutillar y Fresia (solamente estas dos últimas pertenecen a la cuenca de estudio). Esta información está publicada en la web DGA 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. Para los CBR que tienen jurisdicción, tanto en comunas pertenecientes como no pertenecientes a la cuenca Río Bueno, 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 Bueno.

En la Tabla 5-26 se entrega el total de transacciones de DAA informadas por los CBR anteriormente enumerados. Estas transacciones cubren el periodo comprendido entre año

1982 hasta el año 2020, según la "Fecha de Inscripción en CBR" indicado en los registros de la DGA

Tabla 5-26. Transacciones según naturaleza del agua en la cuenca Río Bueno, años 1982 – 2020.

Naturaleza del Agua	N° de Transacciones	Característica no indicada		
		Nombre vendedor	Nombre Comprador	Caudal
Subterránea	1.091	156	34	77
Superficial	5.092	1.266	1.228	398
No indica	51	6	5	20
Total	6.234	1.428	1.267	495

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

El total de transacciones identificadas corresponde a 6.234, de las cuales, según la naturaleza del agua, 1.091 (17,5%) de ellas pertenecen al tipo de fuente subterránea, 5.092 (81,7%) corresponden al tipo de fuente superficial y 51 (0,8%) no indica el tipo de fuente. Es importante señalar que un gran número de registros, tanto para DAA subterráneos como superficiales, no indican características como "Nombre vendedor", "Nombre Comprador" y "Caudal", de hecho, un 22,9% no presenta "Nombre vendedor", 20,3% no presenta "Nombre Comprador" y 8,0% no presenta "Caudal".

La Figura 5-22 muestra el total de transacciones de DAA entre el 1982 y 2020. En ella se aprecia que las transacciones registradas en CBR presentan una tendencia al alza partir del año 2001, de igual forma, las transacciones de DAA subterránea también presentan un alza importante, llegando a un nivel máximo el año 2018. Aun así, la naturaleza predominante en las transacciones es la superficial a lo largo de los años donde se tiene registro. Cabe señalar que, la disminución de las transacciones en los años 2019 y 2020 tiene relación con que la base de datos cuente con información parcial dado que es muy reciente y puede que no incluya todas las transacciones efectivas, o porque efectivamente se redujeron las transacciones.

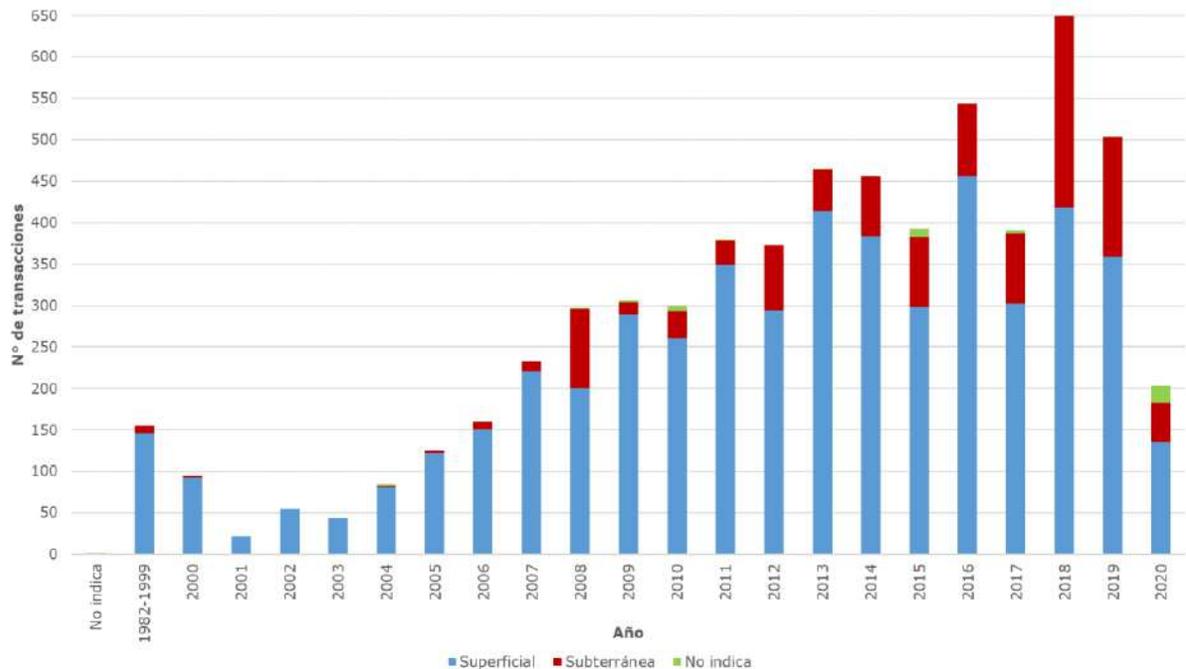


Figura 5-22. Distribución anual del número de DAA transados en cuenca Río Bueno, periodo de Fecha de Inscripción en CBR entre 1982-2020.

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

5.6.1. Análisis de transacciones depuradas

A partir de los mismos registros utilizados en el análisis anterior proveniente de web DGA, se estimó el valor de mercado 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 5-27.

Tabla 5-27. Aplicación incremental de criterios de depuración para transacciones en cuenca Río Bueno.

	Número de transacciones
Base de datos inicial	6.234

Criterio de depuración	Número de transacciones
Compraventa	2.453
Con información de naturaleza	2.435
Con información de tipo de ejercicio	2.380
Con información de caudal	2.169
Con información de monto	893
Transacciones sin otros bienes	607
Base de datos depurada	607

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

Las transacciones que quedaron fuera del análisis, según la depuración descrita anteriormente, 5.627 (90,3%) no se consideraron debido a que no cuentan con información básica de la transacción de un DAA. La Tabla 5-28 muestra el número de transacciones depuradas según tipo de ejercicio del DAA.

Tabla 5-28. Transacciones depuradas por tipo de ejercicio del DAA.

Tipo de ejercicio del DAA	N° Subterránea	N° Superficial	Total
Eventual	2	125	127
Eventual y continuo	1	61	62
Eventual y discontinuo	1	64	65
Permanente	127	353	480
Permanente y alternado	0	0	0
Permanente y continuo	127	318	445
Permanente y discontinuo	0	35	35
Total general	129	478	607
Proporción	21,3%	78,7%	100%

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

5.6.1.1. Transacciones por sector económico

A partir de la base de datos anteriormente utilizada y con las transacciones ya depuradas, se identifica y asocia cada una de las transacciones a un sector económico. Es importante señalar que se consideran DAA con tipo de derecho tanto consuntivo como no consuntivo para este análisis de transacciones por sector.

Dentro de las posibilidades de transacciones registradas en los datos otorgados por la DGA, existen 4 tipos.

- Venta del DAA por empresa, compra del DAA por empresa
- Venta del DAA por persona natural, compra del DAA por empresa
- Venta del DAA por empresa, compra del DAA por persona natural
- Venta del DAA por persona natural, compra del DAA por persona natural

Para este análisis se consideran las dos primeras ya que estas muestran el movimiento de las transacciones por parte de las empresas. Esta información se obtiene a partir de las columnas de los registros de los derechos con los nombres de "Nombre Vendedor" y "Nombre Comprador", luego se clasifica cada uno de los registros dado por el nombre de las empresas. La Tabla 5-29 muestra el número de transacciones y caudales vendidos y comprados por cada sector, además de transacciones y caudales netos, que se obtienen a partir de la resta entre número de compras de DAA menos número de ventas de DAA y Caudales comprados menos caudales vendidos.

Tabla 5-29. Número de transacciones y caudal vendido y comprado por sector en la cuenca Río Bueno.

Sector	N° de transacciones de venta por sector	Caudal vendido por sector [L/s]	N° de transacciones de compra por sector	Caudal comprado por sector [L/s]	Transacciones Netas	Caudal Neto transado [L/s]
Forestal/Maderero	5	58,0	3	114,0	-2	56,0
Minero	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Agua Potable	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Eléctrico	49	205.825,7	56	116.626,5	7	-89.199,2
Sanitaria	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Construcción/ Inmobiliario	21	16.327,7	19	3.788,1	-2	-12.539,6
Pesquero	40	62.279,9	72	154.010,2	32	91.730,3
Agrícola	65	6.169,6	93	520.890,5	28	514.720,9
Ganadero	5	75,3	42	90.166,2	37	90.090,9
Lácteo	5	241,0	14	6.338,1	9	6.097,1
Bancario/Financiero	44	93.237,7	73	163.518,5	29	70.280,8
Comercio	3	20.901,2	6	10.093,2	3	-10.808,1
Hotelería/ Restaurantes	1	5,0	2	14,5	1	9,5
Transporte	0	0,0	1	4,0	1	4,0
Manufactura	0	0,0	1	1,2	1	1,2
Total sector	238	405.121,1	382	1.065.565,0	144	660.444,0
Personas Naturales	332	865.911,5	188	81.548,7	-144	-784.362,8
Fundación	0	0,0	4	1.880,0	4	1.880,0
No se identifica	30	43.329,8	25	164.761,0	-5	121.431,2

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

De la Tabla 5-29, se aprecia que el mayor porcentaje de caudal de DAA vendido por las empresas es el sector eléctrico (%50,81), luego la bancario/financiero (%23,01) y más atrás el sector pesquero (%15,37). Por otro lado, se aprecia que los sectores con mayor porcentaje de caudal de DAA comprado son el sector agrícola (%48,88), luego bancario/financiero (%15,35), pesquero (%14,45) y el sector eléctrico (%10,95).

Además, en la Tabla 5-29 se presentan las transacciones netas y caudales netos transados, que nos indica una tendencia de la posesión de los DAA por cada sector. De lo anterior, se logra destacar el crecimiento de los caudales poseídos por parte del sector agrícola, el cual aumentó en 514.720,9 L/s, el sector pesquero que aumentó en 91.730,3 L/s y el sector ganadero que aumentó en 90.090,9 L/s. Los sectores que más disminuyeron su caudal en DAA son el sector eléctrico en 89.199,2 L/s, construcción/inmobiliario en -12.539,6 L/s y el comercio en -10.808,1 L/s.

Es importante destacar que, las transacciones clasificadas anteriormente a personas naturales pueden estar asociadas a alguno de los sectores presentados, lo cual podría cambiar los resultados de la Tabla 5-29, pero no fue posible realizar esta asociación.

5.6.1.2. Caudales transados

En este acápite 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".

La Figura 5-23 muestra los caudales transados entre el 1992 y 2020 en la cuenca Río Bueno, de acuerdo con la base de transacciones depurada correspondiente a 607 registros.

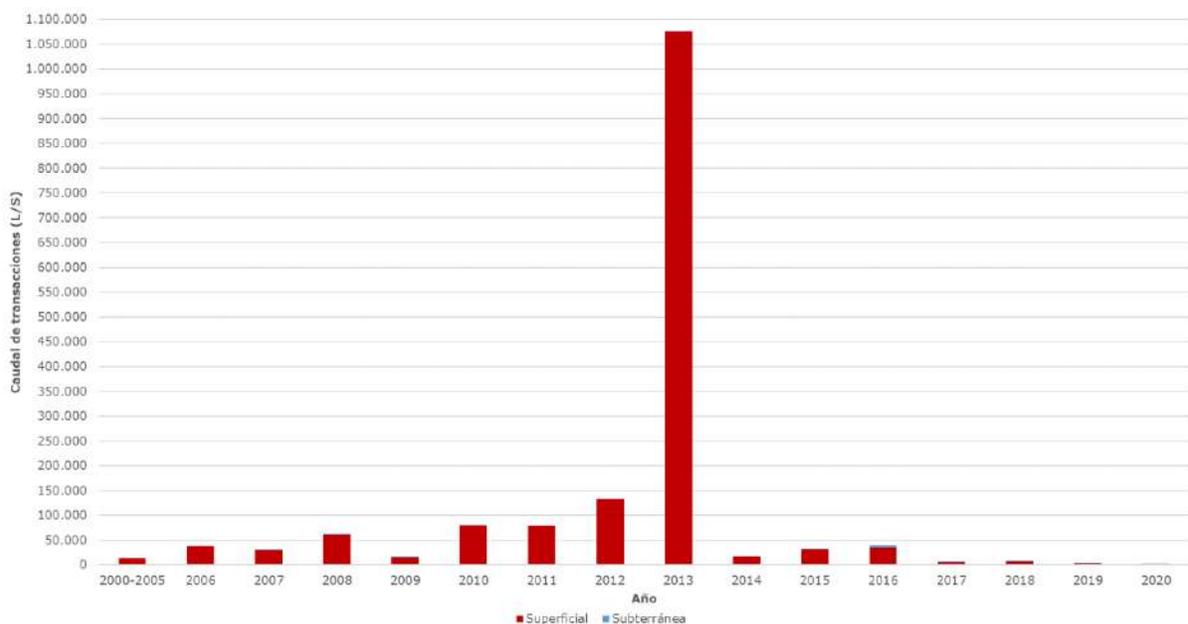


Figura 5-23. Distribución anual del caudal promedio transado en cuenca Río Bueno, periodo de Fecha de Inscripción en CBR entre 2000-2020.

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

Se observa que en el año 2013 se presenta el mayor caudal total transado. Situación similar a lo presentado en la Figura 5-22 con respecto al número de transacciones totales (no depuradas). No fue posible atribuir este comportamiento del caudal transado para el año 2013 a un evento o situación en específico.

a) Aguas Subterráneas

Como resultado de la depuración de los datos de transacciones de DAA para aguas subterráneas se encontraron 9 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 117 UF/L/s y 33 UF/L/s respectivamente.

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

Transacciones	120
Transacciones atípicas	9
Media [UF/L/s]	117
Mediana [UF/L/s]	33

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). No se encontraron ofertas para el caso de DAA con naturaleza subterránea.

b) Aguas Superficial

Como resultado de la depuración de los datos de transacciones de DAA para aguas superficiales se encontraron 199 valores atípicos, los cuales fueron omitidos para los resultados de la Tabla 5-31, donde se obtiene una media y mediana por caudal de 87 UF/L/s y 9 UF/L/s respectivamente.

Tabla 5-31. Resultado de las transacciones superficiales de los DAA en cuenca Río Bueno.

Transacciones	279
Transacciones atípicas	199
Media [UF/L/s]	87
Mediana [UF/L/s]	9

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

Para los mercados digitales donde se publican DAA para su compra y venta, se encontraron un total de 8 ofertas de ventas de derechos de agua consuntivos y de naturaleza superficial. La Tabla 5-32 muestra estos registros.

Tabla 5-32. Ofertas de venta de DAA con naturaleza superficial en cuenca Río Bueno.

ID	Caudal [L/s]	Precio por caudal [UF/L/s]
1	6,7	302,0
2	140,8	5.138,5
3	40,0	1.452,0
4	40,0	1.595,0
5	70,0	1.172,5
6	25,0	917,3
7	95,4	394,1
8	495,0	677,2

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

6. ACCIONES DEL PLAN

Las acciones para 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.

Sin duda las iniciativas orientadas a estas acciones no mejoran por si sola la situación hídrica de las cuencas, sino que es necesario implementar medidas orientadas a mejorar la gestión del recurso, las capacidades técnicas, la información disponible para la toma de decisiones, todo en un marco de sostenibilidad de acuífero y del ecosistema de la cuenca. 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
- Integrar la gestión hídrica 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 climático, 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. En la Tabla 6-1, se presenta un resumen de las acciones propuestas para disminuir las brechas identificadas en la cuenca Río Bueno.

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

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 una 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 Bueno
AG-02	Consejo para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos a Nivel de Cuenca	Ausencia 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 (ver Anexo K.1 Plan de Acción).

6.2. Fortalecimiento de Organizaciones 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 Bueno no presenta ningún grado de constitución de OUA, 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 con las brechas identificadas en este aspecto, se proponen 6 acciones a implementar en el plan:

- 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 13 comunidades de aguas superficiales.
- Programa de apoyo legal y técnico para la conformación y operación de la Junta de Vigilancia de la cuenca del río Bueno.

En la Tabla 6-2, se presentan una tabla resumen con las acciones necesarias para disminuir las brechas que se identifican en la cuenca del Río Bueno en relación a los OUAs

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

CÓDIGO	ACCIÓN	BRECHA	INSTITUCION PRINCIPAL RESPONSABLE
FO-01	Programa de constitución y fortalecimiento de Comunidades de Aguas Subterráneas	Inexistencia de OUA que gestionen y coordinen el aprovechamiento de las aguas subterráneas en la cuenca Río Bueno	DGA
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	DGA
FO-03	Constitución y fortalecimiento de 13 comunidades de aguas superficiales	Inexistencia de OUA que gestionen y coordinen el aprovechamiento de agua para los canales seleccionados (OH-01) priorizados por la CNR	DGA
FO-04	Programa de apoyo legal y técnico para la conformación y operación de la Junta de Vigilancia de la cuenca Río Bueno	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	DGA

Fuente: Elaboración propia (ver Anexo K.1 Plan de Acción.

6.3. Recarga 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 90% 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. Se favorecieron acciones contempladas como parte de las soluciones basadas en la naturaleza en donde se favorezca la infiltración mediante sistemas y procesos naturales. Este tipo de solución tiene alta eficiencia, fácil de implementar y mantención (Pizarro *et al.*, 2008).

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:

- Siembra y cosecha de lluvias mediante zanjas de infiltración.

En la Tabla 6-3, se presenta un resumen de las acciones propuestas para disminuir las brechas identificadas en la cuenca Río Bueno.

Tabla 6-3. Resumen de las acciones necesarias sobre la protección del acuífero en la cuenca Río Bueno.

CÓDIGO	ACCIÓN	BRECHA	INSTITUCION PRINCIPAL RESPONSABLE
RA-01	Siembra y cosecha de lluvias mediante zanjas de infiltración	Vulnerabilidad del acuífero 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	Alianza Publico-privado

Fuente: Elaboración propia (ver 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 estas cuencas, por ejemplo: desconocimiento de la calidad de las aguas, desconocimiento de la hidrogeología a nivel local y a nivel de cuenca, 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:

- Instalación, operación y monitoreo de estaciones de monitoreo de aguas subterráneas nuevas y existentes.
- Monitoreo participativo de calidad del agua realizado por la ciudadanía.
- Fortalecimiento del actual programa de monitoreo de calidad de las aguas superficiales y subterráneas.
- Instalación y operación de estaciones superficiales de monitoreo
- Desarrollo de una plataforma única de visualización de datos hidrometeorológicos y medioambientales.
- Instalación y operación de estaciones de calidad del agua subterránea.
- Estudio hidrogeológico de la cuenca.

En la Tabla 6-4, se presenta un resumen de las acciones propuestas para disminuir las brechas identificadas en la cuenca Río Bueno.

Tabla 6-4. Resumen de las acciones identificadas sobre la carencia de información para la caracterización del recurso hídrico en el Río Bueno.

CÓDIGO	ACCIÓN	BRECHA	INSTITUCION PRINCIPAL RESPONSABLE
SI-01	Instalación, operación y monitoreo de estaciones de monitoreo de aguas subterráneas nuevas y existentes	Carencia de información de niveles de pozos de monitoreo, en específico la cuenca cuenta solo con 19 pozos SISS y 3 DGA, los cuales no están bien distribuidos en la cuenca y sus mediciones no son periódicas	DGA
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 las pisciculturas, actividad forestal y las centrales hidroeléctricas	GORE
SI-03	Fortalecimiento del actual programa de monitoreo de calidad de las aguas superficiales y subterráneas	Dificultad para caracterizar la calidad del agua la cuenca Río Bueno, debido a carencia de datos y sesgo metodológico en el monitoreo fisicoquímico que dificulta analizar con enfoque de cuencas	DGA
SI-04	Instalación y operación de estaciones superficiales de monitoreo	Carencia de información de caudal en cada una de las subcuencas de la cuenca Río Bueno, considerando escenario de cambio climático desfavorable	DGA
SI-05	Desarrollo de una plataforma única de visualización de datos hidrometeorológicos y medioambientales	Complejo acceso a la información hídrica y medioambiental existente en la cuenca	GORE

CÓDIGO	ACCIÓN	BRECHA	INSTITUCION PRINCIPAL RESPONSABLE
SI-06	Instalación y operación de estaciones de calidad del agua subterránea	Escasa información de calidad del agua subterránea en todos los SHACs de la cuenca Río Bueno	DGA
SI-07	Estudio hidrogeológico de la cuenca	Desconocimiento de características del acuífero a nivel local	DGA

Fuente: Elaboración propia (ver Anexo K.1. Plan de Acción).

6.6. Infraestructura hidráulica

Las acciones a realizar obedecen principalmente a reponer infraestructura obsoleta y profundizar los pozos de los servicios sanitarios rurales ya que no son capaces de satisfacer la demanda de sus asociadas. Además, las iniciativas incorporan planificación para el riego realizada por la CNR. Esta institución considera la posibilidad de incorporar 34 proyectos (canales) de riego en la cuenca Río Bueno (más detalles en el Anexo K). Estos proyectos fueron agrupados en 3 iniciativas, respondiendo a la propia prioridad establecida por la CNR, de los cuales solo uno de esos grupos fue considerado como una iniciativa factible para este PEGH.

Como parte de la agricultura campesina, se evidenció en las entrevistas realizadas, la precariedad de pozos y norias de pequeños campesinos quienes indicaron que sus pozos se secan entre octubre y marzo. Ante ello se plantea una iniciativa de profundizar y mejorar sus pozos y norias

Si bien la cuenca Río Bueno 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:

- Diseño y construcción de 13 canales de riego asociados proyectos CNR priorizados.
- Mejoramiento y aumento de capacidad de infraestructura hidráulica en Servicios Sanitarios Rurales.
- Profundización de pozos existentes para SSR.
- Profundización de pozos existentes para pequeños agricultores.

En la Tabla 6-5, se presenta un resumen de las acciones propuestas para disminuir las brechas identificadas en la cuenca Río Bueno.

Tabla 6-5. Resumen de las acciones identificadas sobre la implementación de nueva infraestructura hidráulica en la cuenca Río Bueno.

CÓDIGO	ACCIÓN	BRECHA	INSTITUCION PRINCIPAL RESPONSABLE
OH-01	Diseño y construcción de 13 canales de riego asociados proyectos CNR priorizados	Carencia de seguridad de riego deficiencia en la disponibilidad de agua de riego para los productores silvoagropecuarios	DOH
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	DOH
OH-03	Profundización de pozos existentes para SSR	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)	DOH
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)	INDAP

Fuente: Elaboración propia (ver 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:

- Educación ambiental para la conservación de los ecosistemas y recursos hídricos desde una mirada ecohidrológica.
- Programa de acompañamiento continuo a SSR.

En la Tabla 6-6, se presenta un resumen de las acciones propuestas para disminuir las brechas identificadas en la cuenca Río Bueno.

Tabla 6-6. Resumen de las acciones identificadas sobre las debilidades en capital humano asociadas a OUA en la cuenca Río Bueno.

CÓDIGO	ACCIÓN	BRECHA	INSTITUCION PRINCIPAL RESPONSABLE
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	MINEDUC
CH-02	Programa de acompañamiento continuo a SSR	Bajo nivel de formación en el capital humano en los Servicios Sanitarios Rurales para hacer frente a las nuevas tecnologías, digitalización y operación de sistemas de tratamiento.	DOH

Fuente: Elaboración propia (ver 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. En la Tabla 6-7 se resumen las iniciativas de este tema y la brecha a la cual están asociadas.

- Asignación de caudal ambiental en humedales de interés en la cuenca Río Bueno y afluentes.
- Desarrollo de mecanismos normativos que aseguren la conservación de la biodiversidad, servicios ecosistémicos y provisión hídrica a través de la protección de humedales.
- Implementación de Norma Secundaria de Calidad del agua en la cuenca Río Bueno.

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 Bueno.

CÓDIGO	ACCIÓN	BRECHA	INSTITUCION PRINCIPAL RESPONSABLE
OM-01	Asignación de caudal ambiental en humedales de interés en la cuenca Río Bueno y afluentes	Alta vulnerabilidad de humedales bajo ninguna categoría de conservación legal frente a un escenario de menor disponibilidad hídrica futura producto del cambio climático	MMA
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	MMA
OM-03	Establecimiento de Normas Secundarias de Calidad del Agua en la cuenca Río Bueno	Preocupación por parte de la ciudadanía sobre rubros productivos potenciales contaminadores del agua	MMA

Fuente: Elaboración propia (ver Apéndice K.1 Fichas iniciativas Bueno).

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: Elaboración propia (ver Anexo K.3 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 desde las reuniones sostenidas con la comunidad (organizaciones sociales, SSR, gremios.), donde planteaban las problemáticas que vivencian en su cotidianeidad, así como la forma en la cual se podrían responder a estas. A medida que una acción se repetía esta era considerada entre las acciones que se plantean. 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 >999.999 UF, Medio 99.999UF y Bajo 9.999 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
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: Elaboración propia (ver 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 23 acciones, un 61% presenta un alto impacto sobre la brecha definida, un 39% un impacto medio sobre la brecha y no presenta iniciativas con un bajo un impacto bajo.

Esto representa que estas acciones son necesarias para la implementación de otras acciones con mayor impacto.

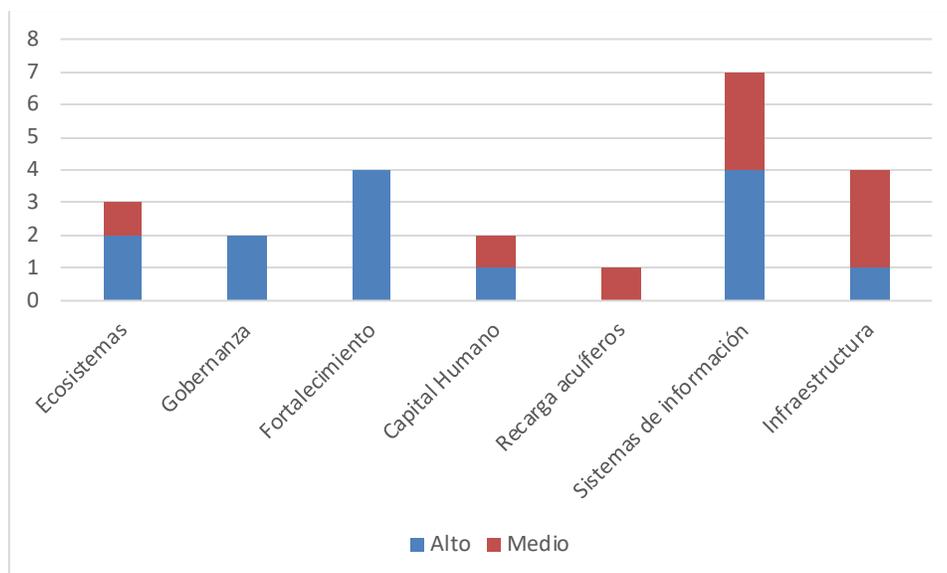


Figura 7-1. Distribución del impacto de reducción de la brecha en cada eje definido.

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 23 acciones, un 22% presenta un alto valor de aceptación por parte de los actores locales, un 43% una aceptación media y un 35% 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.

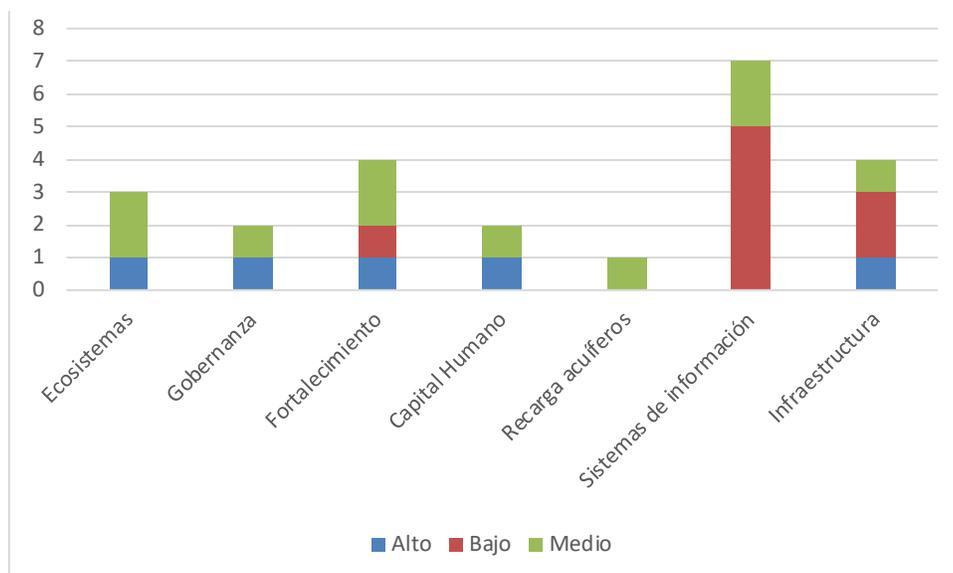


Figura 7-2. Distribución del beneficio percibido por los actores locales de las acciones locales.

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.

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.

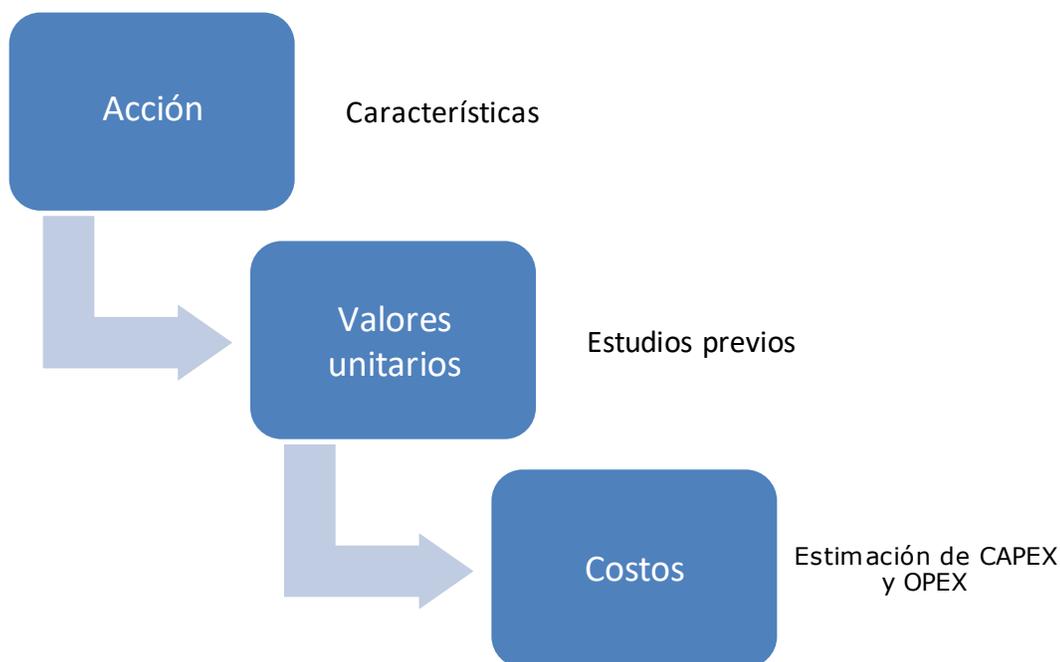


Figura 7-2. Metodología de obtención del CAPEX (Capital Expenditure) y OPEX (Operational Expenses).

Fuente: Elaboración propia.

De la Figura 7-3 se aprecia que los mayores costos están asociados a los esfuerzos a realizar por la DOH en la construcción y fortalecimiento de los canales de riego.

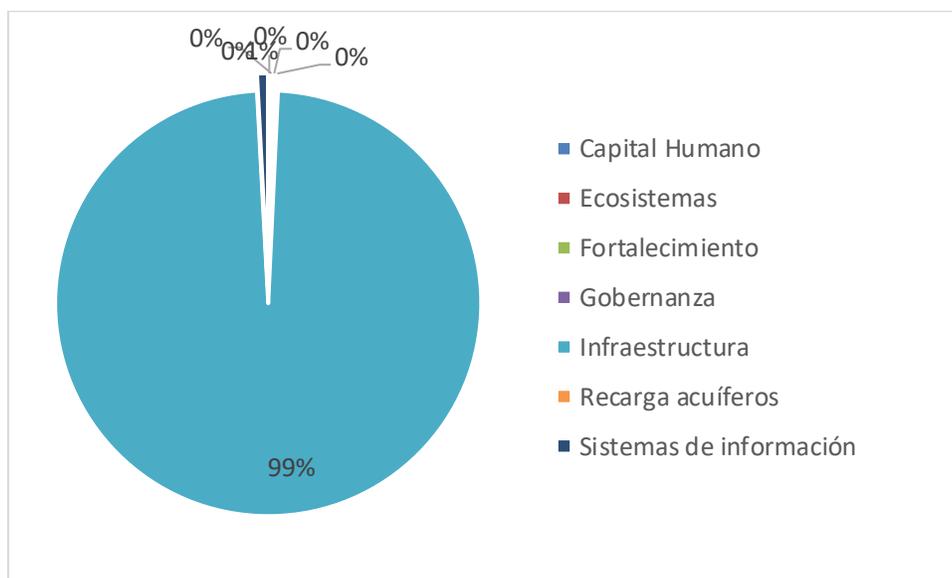


Figura 7-3. Distribución de costos del plan por eje de acción.

Fuente: Elaboración propia (ver Anexo K.2 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 cual da como resultado la siguiente tabla:

Tabla 7-2. Plazos de implementación de las acciones.

EJE	PLAZO DE IMPLEMENTACIÓN		
	CORTO	MEDIANO	LARGO
RECUPERACIÓN 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. Consejo para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos a Nivel de Cuenca
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 13 comunidades de aguas superficiales	FO-04. Programa de apoyo legal y técnico para la conformación y operación de la Junta de Vigilancia de la cuenca Río Bueno
RECARGA DE ACUÍFEROS		OH-03 Profundización de pozos existentes para SSR OH-04 Profundización de pozos existentes para pequeños agricultores	

EJE	PLAZO DE IMPLEMENTACIÓN		
	CORTO	MEDIANO	LARGO
CAPITAL HUMANO	CH-02. Creación de programa de acompañamiento continuo a SSR	CH-01. Educación ambiental para la conservación de los ecosistemas y recursos hídricos desde una mirada ecohidrológica	
SISTEMAS DE INFORMACIÓN	<p>SI-01 Instalación, operación y monitoreo de estaciones de monitoreo de aguas subterráneas nuevas y existentes</p> <p>SI-02 Monitoreo participativo de calidad del agua realizado por la ciudadanía.</p> <p>SI-05 Desarrollo de una plataforma única de visualización de datos hidrometeorológicos y medioambientales.</p>	<p>SI-04. Instalación e implementación de estaciones superficiales de monitoreo.</p> <p>SI-06 Instalación y operación de estaciones de monitoreo de calidad del agua subterráneas</p>	
INFRAESTRUCTURA		<p>OH-01. Diseño y Construcción de 13 canales de riego asociados proyectos CNR priorizados</p> <p>OH-02 Mejoramiento y aumento de capacidad de infraestructura hidráulica en Servicios Sanitarios Rurales</p>	

EJE	PLAZO DE IMPLEMENTACIÓN		
	CORTO	MEDIANO	LARGO
ECOSISTEMAS		<p>OM-01.- Asignación de caudal ambiental en humedales de interés en la cuenca Río Bueno y 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.- Establecimiento de Normas Secundarias de Calidad del Agua en la cuenca Río Bueno</p>	

Fuente: Elaboración propia. ver Anexo K.3 Plan de acción

7.5. Síntesis de la selección de alternativas priorizadas

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 siguiente tabla.

Tabla 7-3. Priorización de las acciones definidas.

CÓDIGO	ACCION	Priorización
OM-01	Asignación de caudal ambiental en humedales de interés en la cuenca del río Bueno y 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 Norma Secundaria de Calidad del agua en la cuenca del río Bueno	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	Consejo para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos a Nivel de Cuenca	Alta

CÓDIGO	ACCION	Priorización
FO-01	Programa de constitución y fortalecimiento de Comunidades de Aguas Subterráneas	Alta
FO-02	Programa de apoyo para el saneamiento y regularización de los derechos de agua de los SSR y títulos de dominio	Alta
FO-03	Constitución y fortalecimiento de 13 comunidades de aguas superficiales	Media
FO-04	Programa de apoyo legal y técnico para la conformación y operación de la Junta de Vigilancia de la cuenca del Río Bueno	Alta
CH-01	Educación ambiental para la conservación de los ecosistemas y recursos hídricos desde una mirada ecohidrológica	Alta
CH-02	Programa de acompañamiento continuo a SSR	Alta
FA-01	Siembra y cosecha de lluvias mediante zanjas de infiltración y embalses	Media
SI-01	Instalación, operación y monitoreo de estaciones de monitoreo de aguas subterráneas nuevas y existentes	Media
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 superficiales y subterráneas	Media

CÓDIGO	ACCION	Priorización
SI-04	Instalación y operación de estaciones superficiales de monitoreo	Media
SI-05	Desarrollo de una plataforma única de visualización de datos hidrometeorológicos y medioambientales	Media
OH-01	Diseño y Construcción de 13 canales de riego asociados proyectos CNR priorizados	Baja
OH-02	Mejoramiento y aumento de capacidad de infraestructura hidráulica en Servicios Sanitarios Rurales	Media
SI-06	Instalación y operación de estaciones de calidad del agua subterránea	Alta
OH-03	Profundización de pozos existentes para SSR	Alta
OH-04	Profundización de pozos existentes para pequeños agricultores	Media
SI-07	Estudio hidrogeológico de la cuenca	Alta

Fuente: Elaboración propia (ver Anexo K.3 Plan de acción).

Se observa que solo una de las iniciativas ha sido clasificada con una baja prioridad debido principalmente al poco interés por parte de los actores y por los elevados costos de los canales.

De las 23 iniciativas seleccionadas, 12 (52%) de ellas presentan una clasificación Alta, 10 iniciativas (44%) presentan una prioridad Media y una (4%) está priorizada como baja. 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 temáticas de acciones con mayor porcentajes de 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 7-4).

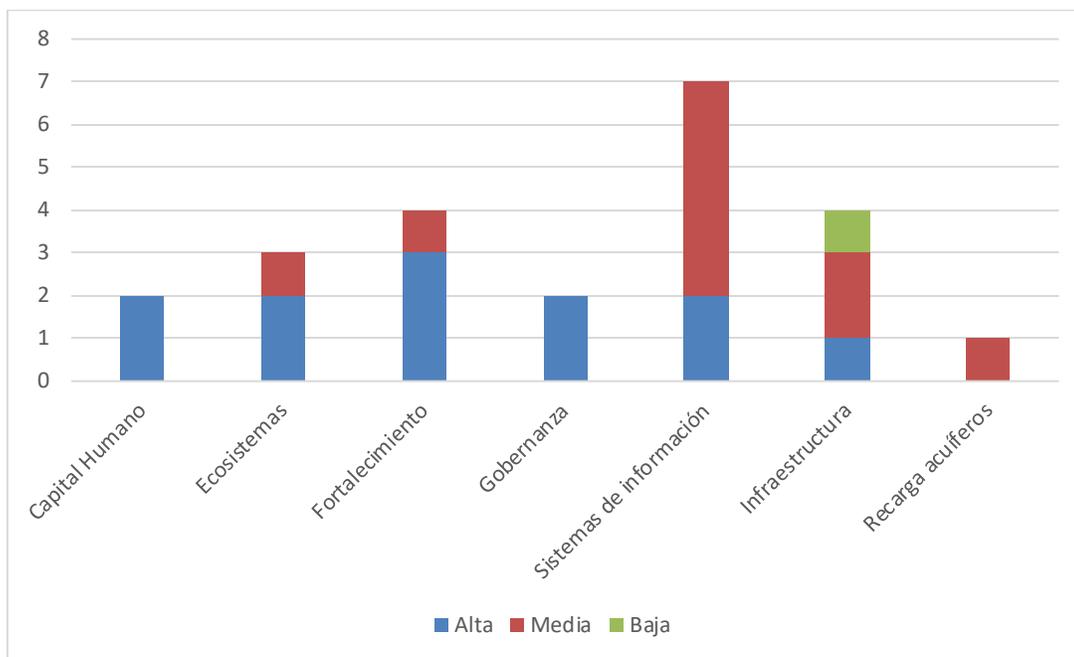


Figura 7-4. Distribución de la priorización de acciones.
Fuente: Elaboración propia (ver Anexo K.3. Plan de Acción).

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 todas las iniciativas definidas en los escenarios individuales. Estas iniciativas fueron puestas en marcha de acuerdo a los plazos de implementación expresados anteriormente.

Particularmente, se consideraron los escenarios: Grupo de canales de riego, Siembra y cosecha de agua mediante zanjas de infiltración y la mantención de un caudal ambiental. En la Figura 7-5 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 del Río Bueno 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.

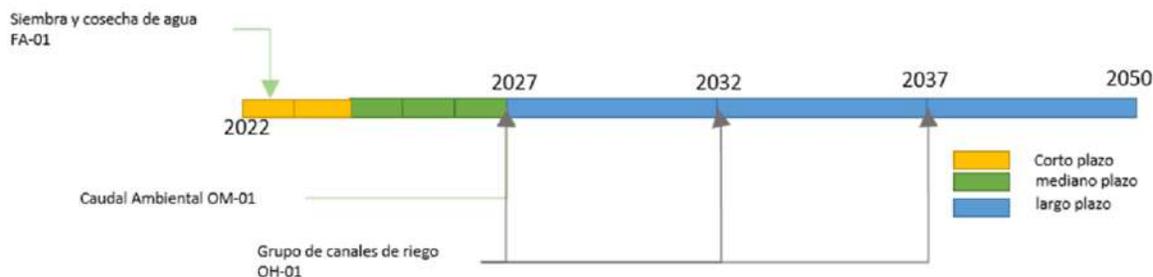


Figura 7-5. Esquema temporal de la simulación del PEGH para la cuenca Río Bueno.

Fuente: Elaboración propia Los resultados de la modelación del PEGH muestran que la implementación de las acciones, representadas en escenarios.

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 Bueno 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	
2010-2020	54,4	0,0	38%	100%	66,07
Futuro (2040-2050)	599,8	1,8	5%	97%	-21,38
PEGH (2040-2050)	68,5	0,0	89%	99%	-96,22

Fuente: Elaboración basado 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 599,8 hm³ a 68.5 hm³ y aumentando su cobertura de un 5% a un 89%. El agua potable rural, también ve mejorados sus indicadores, pero en valores bastante menores, ya que la brecha hídrica se disminuye de 1,8 hm³ a prácticamente nula, y su cobertura aumenta del 97% al 99%.

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 623 hm³/año (en el escenario futuro) a 164,7 hm³/año con la implementación del PEGH. Así, la brecha total, disminuyen en un 73% (Figura 7-6).

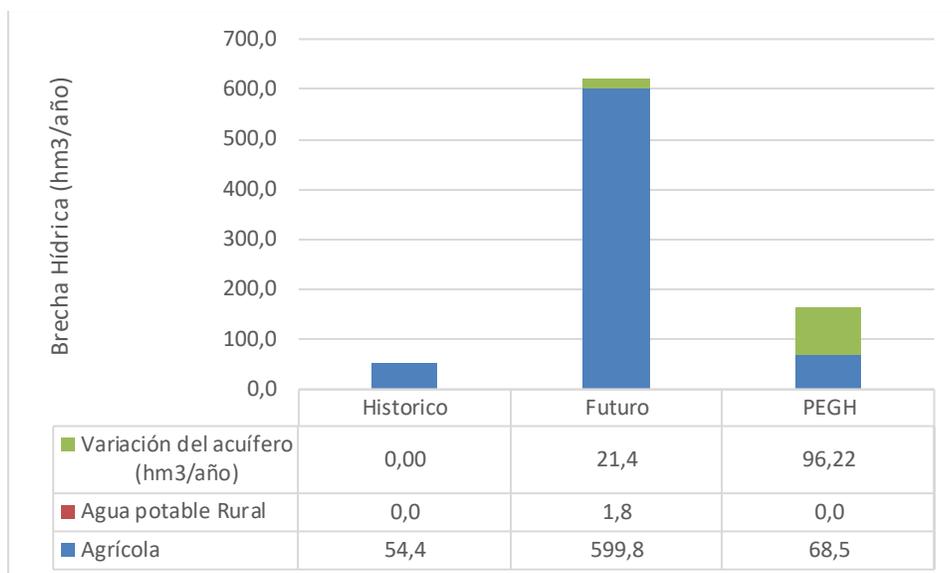


Figura 7-6. Variación de la brecha total al implementar el PEGH en la cuenca Río Bueno.

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 7-7.

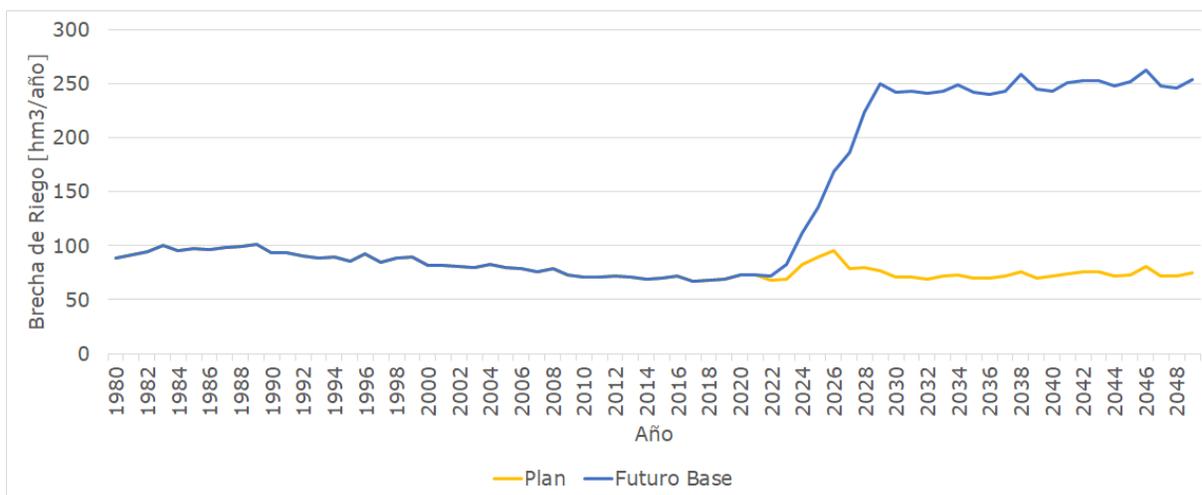


Figura 7-7. Evolución temporal de la brecha agrícola bajo escenario histórico, futuro y con la implementación del Plan en la cuenca Río Bueno.

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 2024 y 2026 se aprecia una reducción notoria de la brecha, que la fecha cuando se activa la iniciativa de la construcción de los 13 canales de riego (iniciativa OH-01) y ya están operativas las zanjas de infiltración (RA-01).

En la Figura 7-8 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.

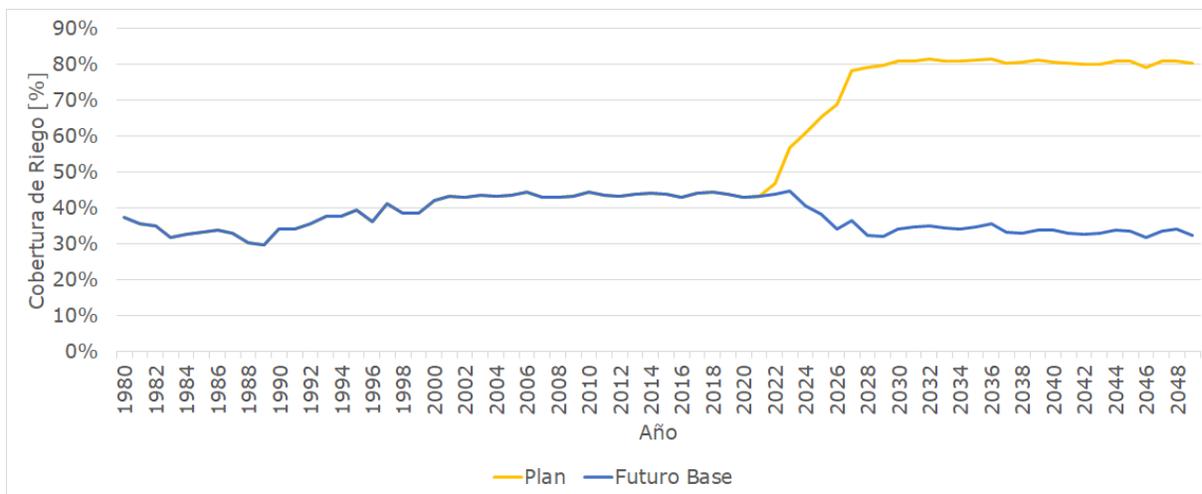


Figura 7-8. Evolución temporal de la cobertura de la demanda agrícola bajo escenario histórico, futuro y con la implementación del Plan en la cuenca Río Bueno.

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 Bueno, considerando la condición histórica, la futura y la aplicación del Plan (Figura 7-9).

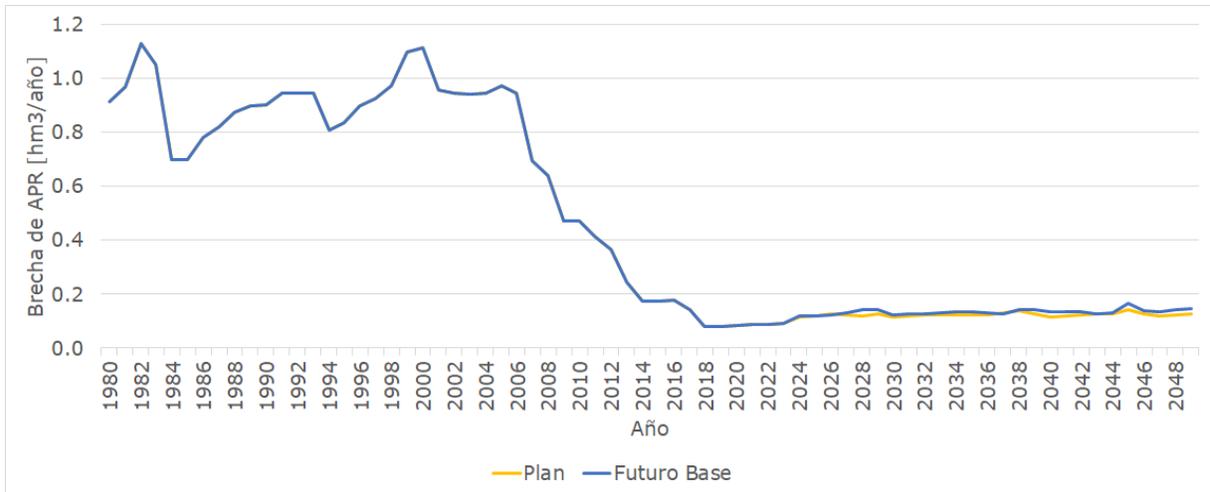


Figura 7-9. Evolución temporal de la brecha de agua potable bajo escenario histórico, futuro y con la implementación del Plan en la cuenca Río Bueno.

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. 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 mayor variaciones entre la implementación de las iniciativas modeladas en el PEGH, pasando de un 97% de cobertura en el año 2020 a un 99% de cobertura al año 2049.

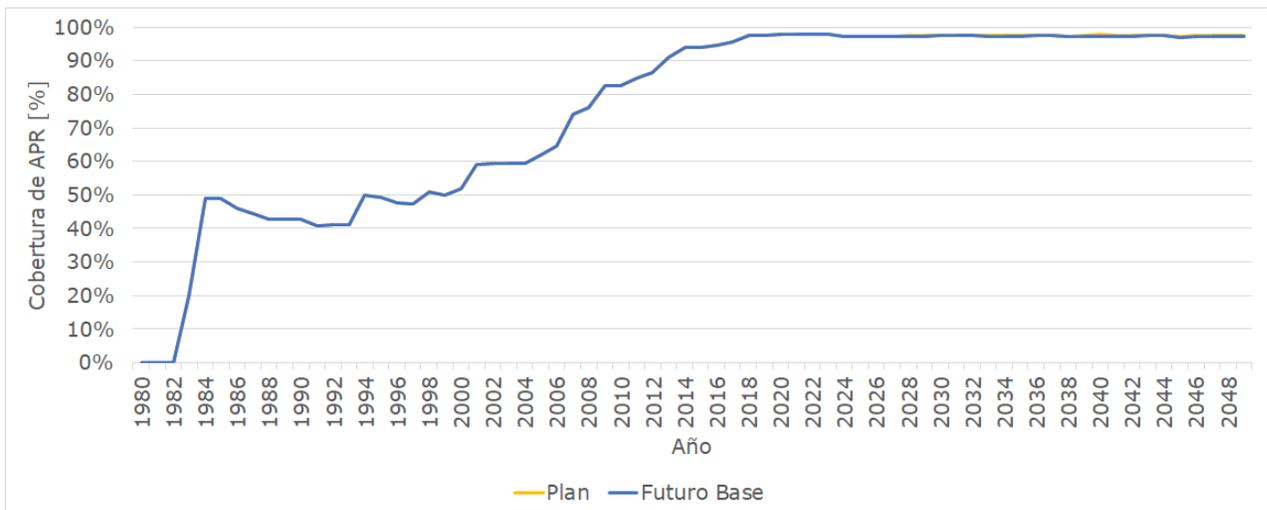


Figura 7-10. Evolución temporal de la cobertura de agua potable bajo escenario histórico, futuro y con la implementación del Plan en la cuenca Río Bueno.

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 del Río Bueno 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 comprender 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 y fortalecimiento 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 13 Comunidades de agua superficiales.
- FO-04. Programa de apoyo legal y técnico para la conformación y operación de la Junta de Vigilancia en la cuenca Río Bueno
- SI-01. Instalación y operación de estaciones de monitoreo de aguas subterráneas
- SI-03. Programa de monitoreo de calidad de las aguas
- SI-04. Instalación y operación de estaciones superficiales de monitoreo

- SI-06 Instalación y operación de estaciones o de calidad de aguas subterráneas
- SI-07 Estudio hidrogeológico de la cuenca

7.7.2. Otras instituciones

Aunque las siguientes acciones se visualizan en coordinación y/o con el apoyo de la DGA, el impulsor principal son otras instituciones Nacionales descentralizadas y Regionales, e incluso lideradas por OUAs y otras organizaciones de usuarios de agua (Tabla 7-5.).

Tabla 7-5. Otras Instituciones responsables principales de cada una de las iniciativas.

<p>Dirección de Obras Hidráulicas</p> <ul style="list-style-type: none"> - CH-02- Programa de acompañamiento continuo a SSR - OH-01 Diseño y Construcción de 13 canales de riego - OH-02 Mejoramiento y aumento de capacidad de infraestructura hidráulica en Servicios Sanitarios Rurales - OH-03 Profundización de pozos existentes para SSR
<p>Gobierno Regional</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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. Consejo para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos a Nivel de Cuenca - SI-02. Monitoreo participativo de calidad del agua realizado por la ciudadanía - SI-05. Desarrollo de una plataforma única de visualización de datos hidrometeorológicos y medioambientales
<p>Ministerio de Medio Ambiente</p> <ul style="list-style-type: none"> - OM-01. Asignación de caudal ambiental en humedales de interés en la cuenca Río Bueno y afluentes. - 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 Implementación de Norma Secundaria de Calidad del agua en la cuenca del río Bueno.
<p>Ministerio de Educación</p> <ul style="list-style-type: none"> - CH-01. Educación ambiental para la conservación de los ecosistemas y recursos hídricos desde una mirada ecohidrológica.
<p>Instituto de Desarrollo Agropecuario</p> <ul style="list-style-type: none"> - OH-04 Profundización de pozos existentes para pequeños agricultores.

Alianzas Público-privadas

- FA-01 Siembra y cosecha de lluvias mediante zanjas de infiltración

Fuente: Elaboración propia (ver Anexo K.1. Plan de Acción).

Existen algunas iniciativas que a lo largo de su ejecución sufrirá un cambio en la institución mandante o ejecutora. 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). El rol de la oficina de asuntos hídricos es articular los requerimientos de los actores de la cuenca que aprovechan el agua, respondiendo a los objetivos ambientales, sociales y culturales, con énfasis en la educación en torno al agua, monitoreo y difusión.

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 872.333,2 M \$USD (miles de dólares) para las 23 acciones definidas, en donde un 99% de dicho monto es considerando acciones para el aumento de la superficie de riego. El detalle del porcentaje de costo de cada temática, se aprecia en la Figura 7-11.

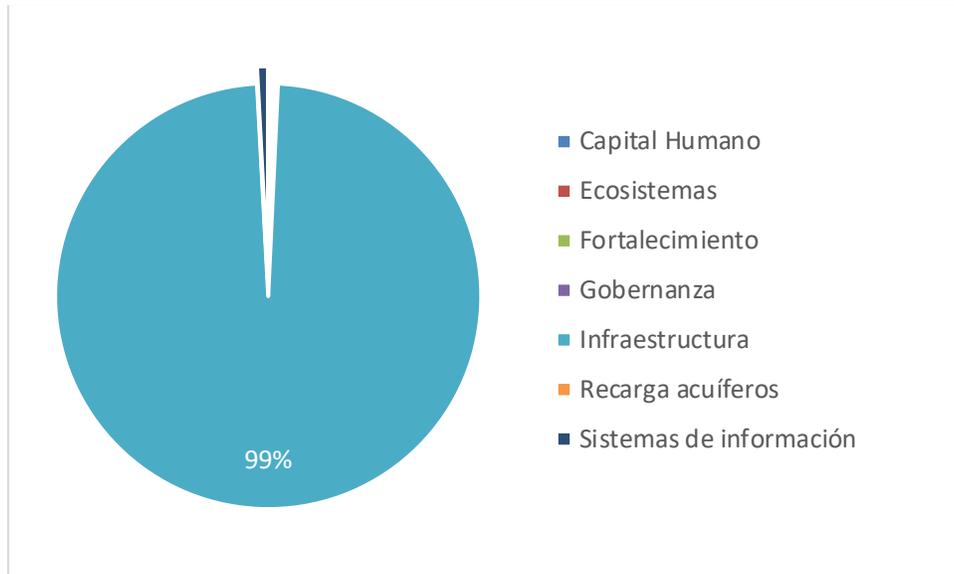


Figura 7-11. Distribución de los costos de implementación y operación por área temática de las acciones pertenecientes al Plan Estratégico de Gestión Hídrica de la cuenca Río Bueno.

Fuente: Elaboración propia (Ver Anexo K.3 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 7-12). De ella se aprecia que los montos mayores se producen en el mediano y largo plazo. En el mediano plazo, el aumento del valor del Plan se debe principalmente a la inversión a realizar en cuanto a infraestructura hidráulica, en cambio en el largo plazo, al costo de la infraestructura se le agregan los costos operacionales de mantención de la red de canales, así como la construcción del tercer grupo de red de canales (Ver OH-01, Anexo H. Plan de Acción).

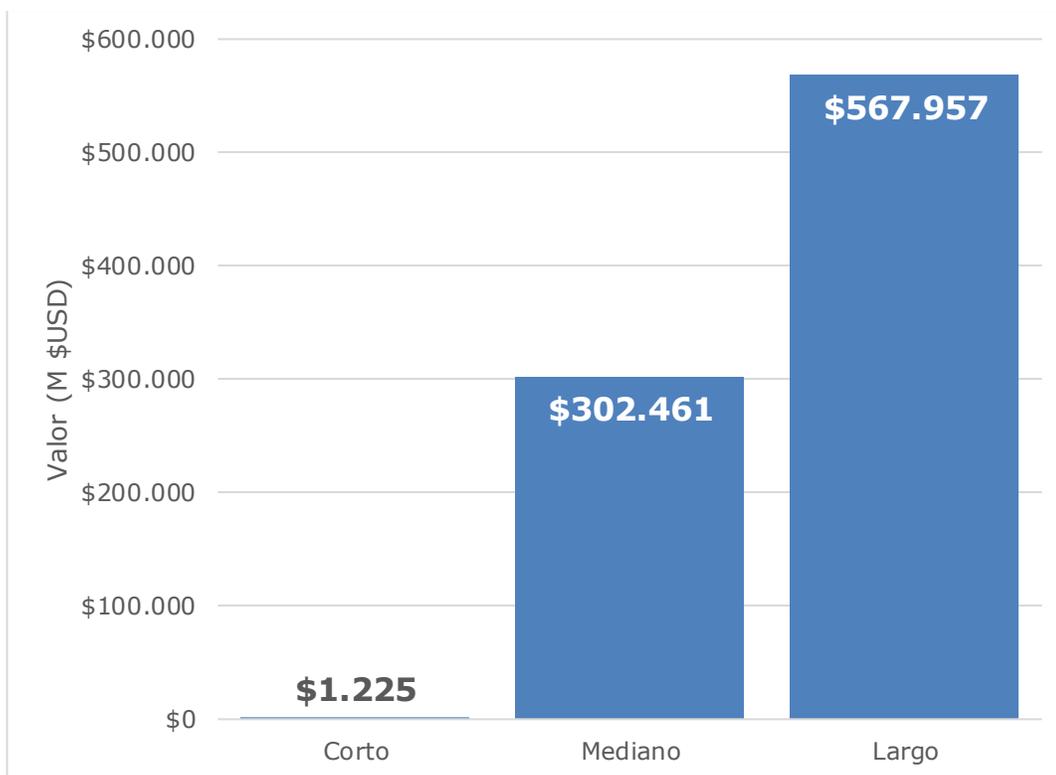


Figura 7-12. Distribución de los costos de implementación y operación del Plan Estratégico de Gestión Hídrica del Río Bueno.

Fuente: Elaboración propia (ver Anexo K.3 Plan de acción).

Al realizar una distribución anual de los costos del Plan (Figura 7-13) se aprecia que la mayor inversión ocurre entre los años 6 y 16 de comienzos del Plan (equivalentes a 2028 a 2038), lo cual comprende los periodos de mediano y comienzos del largo plazo. Estas inversiones se traducen en instalación de estaciones de medición, construcción de los canales de riego, 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 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 consejo de cuencas.

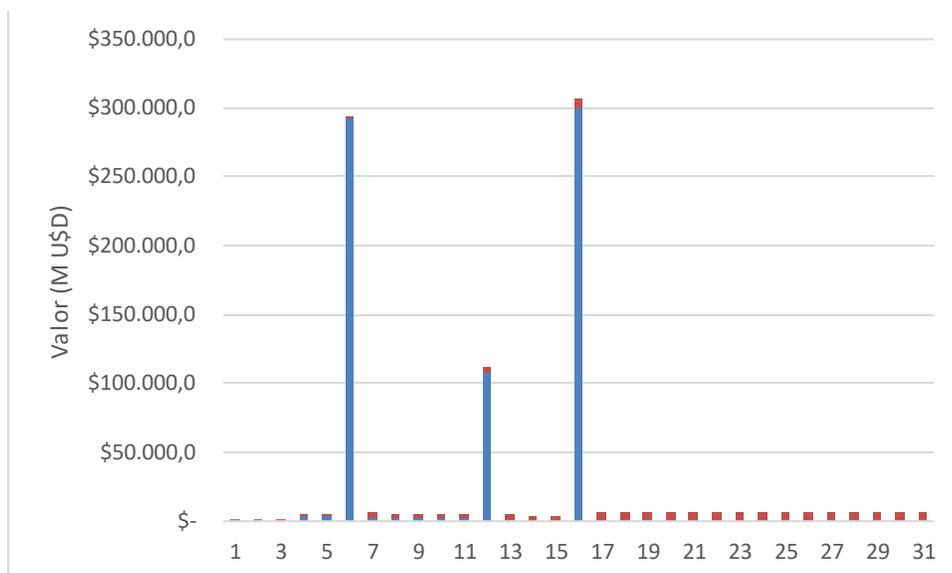


Figura 7-13. Distribución anual del costo del Plan.

Fuente: Elaboración propia (Ver Anexo K.3, 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 7-6.

Tabla 7-6. Distribución de costos por actores y plazos.

Institución	Corto [M \$USD]	Mediano [M \$USD]	Largo [M \$USD]	Total [M \$USD]
DGA	\$ 753	\$ 2.005	\$ 5.848	\$ 8.606
MMA	\$ 2	\$ 565	\$ -	\$ 567
DOH	\$ 134	\$ 298.739	\$ 560.142	\$ 859.015
GORE	\$ 281	\$ 397	\$ 1.664	\$ 2.341
MINEDUC	\$ 2	\$ 112	\$ 214	\$ 328
INDAP	\$ -	\$ 630	\$ -	\$ 630
Privados	\$ 51	\$ 14	\$ 89	\$ 154
TOTAL	\$ 1.225	\$ 302.461	\$ 567.957	\$ 871.642

Fuente: Elaboración propia (Ver Anexo K.3, Plan de acción).

7.9. Cronograma de las soluciones

En la Figura 7-14 se observa que para el corto plazo 11 son las acciones que deben ser implementadas. En términos generales, estas acciones obedecen a la implementación de la Oficina de Asuntos Hídricos, estudio hidrogeológico, 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, construcción de canales de riego y constitución y fortalecimiento de CAS y Asociaciones de Canalistas.

Finalmente, en el largo plazo se espera que las juntas de vigilancias y el consejo de cuencas se encuentren operativos y permita llevar a cabo la gestión de cuencas y se terminen de construir la última fase de los canales de riego proyectados por CNR.

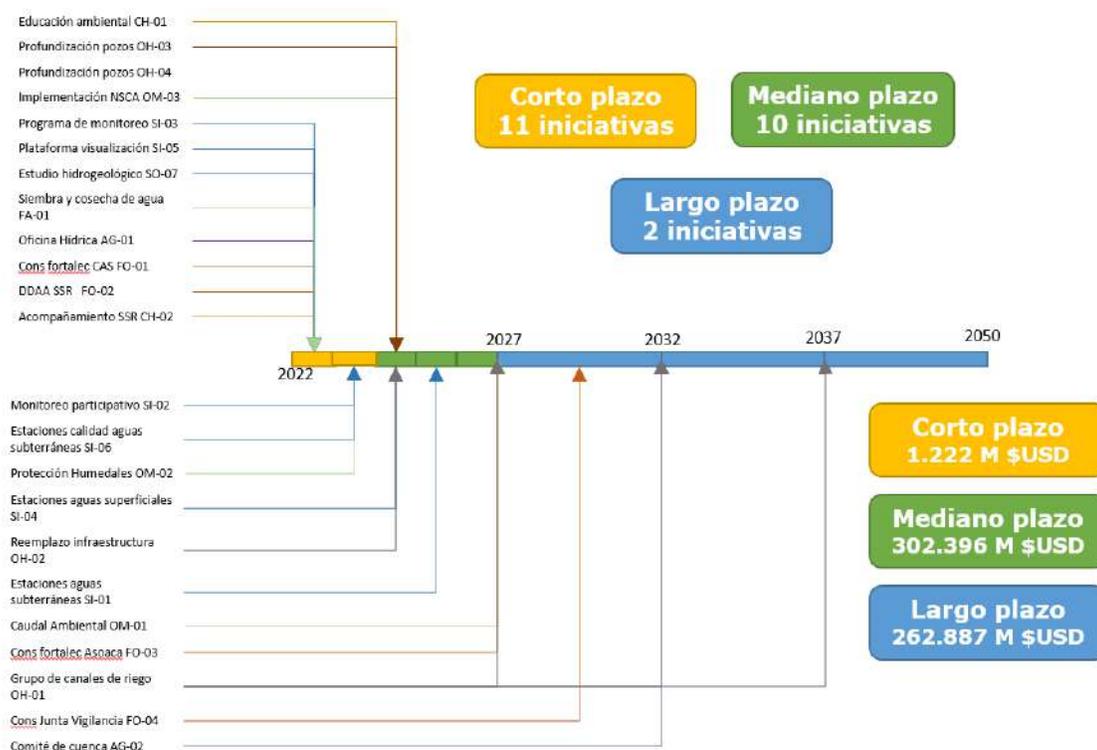


Figura 7-14. Línea de tiempo de implementación de las acciones.

Fuente: Elaboración propia (Ver Anexo K.3. Plan de Acción).

8. IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN

8.1. Hitos de referencia en la implementación del Plan

A continuación, se presentan los hitos de cada plazo del Plan (Tabla 8-1.), estos hitos marcan la criticidad de las acciones, tanto las que se implementan en el mismo plazo, como para aquellas en plazos posteriores

Tabla 8-1. Hitos del PEGH de la cuenca Río Bueno.

<p>Corto Plazo</p> <ul style="list-style-type: none">- 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-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)- Siembra y cosecha de lluvias mediante zanjas de infiltración (RA-01)- Estudio hidrogeológico de la cuenca (SI-07)- Desarrollo de la Plataforma única de visualización de datos hidrometeorológicos y medioambientales (SI-05)- 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)
<p>Mediano Plazo</p> <ul style="list-style-type: none">- Inicio constitución de la Comunidad de Aguas Subterráneas (FO-01) y de la Comunidades de Agua (FO-03)- Instalación de estaciones de monitoreo y comienzo de monitoreo (SI-01; SI-04; SI-06)- 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 del primer grupo de canales de riego (OH-01) y de profundización de pozos para SSR (AP-01) y para pequeños agricultores (AP-02).
<p>Largo Plazo</p> <ul style="list-style-type: none">- Construcción último grupo de canales de riego. (OH-01)- Constitución de las Juntas de Vigilancia (FO-04)- Constitución del consejo de cuenca para el Río Bueno (AG-02)

Fuente: Elaboración propia (Ver Anexo K.3 Plan de Acción).

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 (Capítulo 7.5), 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 como se muestra en la Figura 8-1 (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 participantes del PEGH

En la Tabla 8-2, se muestran el rol de las instituciones, tanto públicas como privadas en las respectivas acciones.

Tabla 8-2. 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. Realizará la instalación de estaciones de monitoreo y su programa respectivo. Apoyo para la constitución y fortalecimiento de distintos niveles organizacionales de OUA, como las CAS, Comunidades de aguas superficiales y Juntas de Vigilancia	\$ 8.606
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 de 13 canales de riego para aumentar la seguridad de riego.	\$ 859.015
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	\$ 567
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 consejo de cuencas.	\$ 2.341
Ministerio de educación	Velar por la educación ambiental de los actores de la cuenca y generar consciencia del uso eficiente y conservación de ecosistemas	\$ 328
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.	\$ 630
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. Tecnificación de riego e implementación de sistemas de medición, telemetría y automatización intra y extrapredial	\$ 154

Fuente: Elaboración propia (Apéndice K.3 Priorización).

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 Bueno medio y la del Rahue las prioritarias en constituirse. La CNR construirá 13 canales de riego, los cuales fueron distribuidos en su implementación en el plan. Esto da pie a la necesidad de constituir y fortalecer a las Comunidades de aguas superficiales asociadas a dichos canales, así como a gestionar en forma conjunta las aguas subterráneas y superficiales mediante el establecimiento de Juntas de Vigilancia (JdV).

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. Se propone que se exprese en sus estatutos que serán partícipes de dicho consejo organizaciones sectoriales, gremiales y civiles que no poseen derechos de agua, pero que su actividad está vinculada directamente con el recurso hídrico y/o sus fuentes naturales.

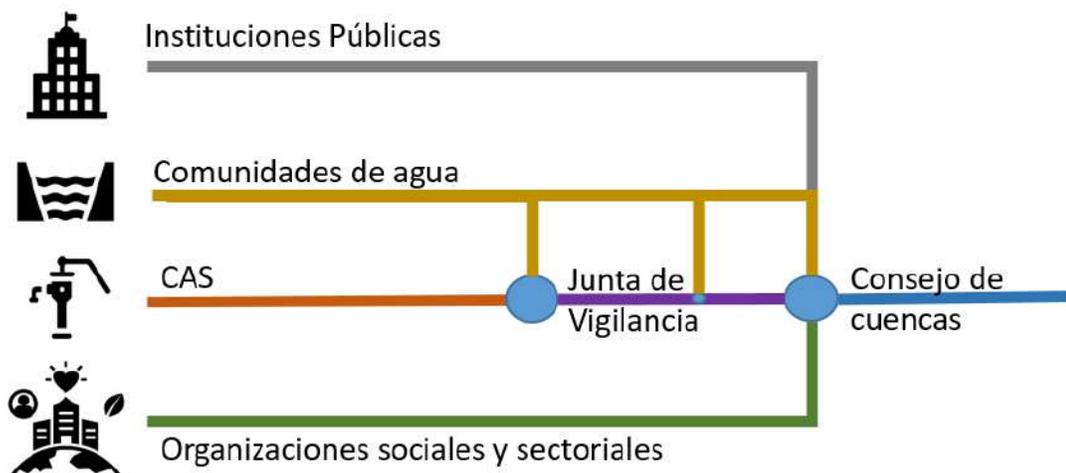


Figura 8-2. Gobernanza del agua propuesto.

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

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 Comunidades de Agua).

El rol del Consejo se encuentra en el largo plazo, en el ámbito político estratégico, y en lo principal en esta instancia se debieran tomar decisiones sobre:

- Velar por la implementación del Plan Estratégico de Gestión Hídrica
- Gestionar los apoyos y financiamientos requeridos para la implementación del Plan Estratégico
- Representar a la cuenca en las instancias políticas, técnicas y sociales que así lo requieran.
- Definición de criterios mínimos de seguridad hídrica, de común acuerdo entre todos los actores.
- Ser una instancia de acuerdo que permita abordar vacíos de planificación y gestión, territorial y sectorial.

Desde el punto de vista operativo, el Consejo podrá trabajar mediante grupos de trabajo internos (Comités sectoriales) 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.

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 mantenimiento 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 consejo de cuenca, 2) Construcción y mantenimiento 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.

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 8-3. Fuentes de financiamiento para la ejecución del Plan.

Tipo de fuente	Rango de montos	Institución que lo otorga	Descripción financiamiento	Tipo de financiamiento
FIC-R	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
FNDR	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
FPA	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 	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
	Y \$35.000.000 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 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	Ministerio de Economía Fomento y Turismo - Consejo de	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
	Nación y por otros aportes (cpor ejemplo; pagos anticipados de patentes pesqueras y de acuicultura)	Investigación Pesquera 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 Gobierno regional Atacama (2021).

9. MONITOREO Y EVALUACIÓN DEL PLAN

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. Metas y monitoreo asociados a los indicadores propuestos.

Eje	Tipo de 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 de 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

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 consejo de cuenca quienes revisen el cumplimiento dentro del período 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 pudiese implementarse, aunque sea en forma primera instancia, mediante normativa vigente.

Para la implementación del Plan hay ciertos aspectos normativos a tener en cuenta. Cada una de las iniciativas implementadas se veló que pudiese 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- e) Consejo de cuenca: aspectos legales y factibilidad: Debido a la necesidad de que exista una coordinación integral del territorio, se propone desarrollar un Consejo de cuenca en el que se accede a la participación no solo de juntas de vigilancias, comunidades de agua y Comunidades de Agua, sino también a la participación de otros actores (asociación de SSR, 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.

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 consejo 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 consejo, 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, y porque, además, la normativa vigente basado en el código de aguas permite esta forma de organización. Las estrategias se resumen en:

- 1.- Generación de OUA para usuarios con derechos de agua
- 2.- Generación de la Junta de Vigilancia para la coordinación de los actores con derechos de aguas regularizados
- 3.- Conformación del consejo de cuenca, tal que en sus estatutos permita la incorporación de la Junta de Vigilancia, 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.