



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

PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HIDRICA EN LA CUENCA DEL MAULE

INFORME FINAL

**REALIZADO POR
UTP EVERIS CHILE S.A. - HIDROGESTIÓN S.A
S.I.T. N° 465**

SANTIAGO, DICIEMBRE DE 2020



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



MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

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

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

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

**Inspector Fiscal
Sr. Franco Calderón Maturana**

**Inspectores Fiscales Subrogantes
Miguel Caro Hernández
Claudio Ramírez Bravo
Andrea Osses Vargas**

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

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

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

**Especialistas y Profesionales
Sr. Eugenio Celedón Correa
Sr. Eugenio Celedón Cariola
Sr. Alejandro Rodríguez Lazcano
Sr. Nicolás Friz Mardones
Sr. Álvaro Castillo Sauterel
Sra. María Sol Tejada
Sra. Mitzy Carmona López
Sr. Marcial Valenzuela Celis
Sr. Óscar Romera Martínez
Sr. Diego Flores Niklitschek
Sr. Sebastián Carvajal Marambio**



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



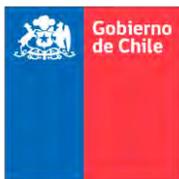
Índice del Informe Ejecutivo

Página

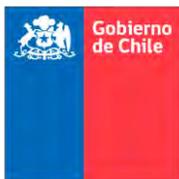
1	INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO	1-11
1.1	INTRODUCCIÓN.....	1-11
1.2	OBJETIVOS DEL ESTUDIO	1-13
1.2.1	Objetivo general	1-13
1.2.2	Objetivos específicos	1-13
2	DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA	2-14
2.1	Dimensión político administrativa y económica.....	2-15
2.2	Dimensión ambiental.....	2-17
2.2.1	Litósfera.....	2-18
2.2.2	Atmósfera	2-19
2.2.3	Hidrosfera	2-22
2.2.4	Biósfera	2-31
2.3	Dimensión construida.....	2-42
2.3.1	Obras de regulación y generación eléctrica	2-42
2.3.2	Sistemas de Riego.....	2-43
2.4	Red de Monitoreo de aguas	2-49
2.4.1	Red Hidrométrica de la Dirección General de Aguas	2-49
2.4.2	Red de Calidad de Aguas.....	2-50
2.5	Nuevas fuentes de agua	2-51
2.5.1	Embalses Superficiales.....	2-52
2.5.2	Embalses Subterráneos.....	2-53
2.5.3	Red de Canales de Riego.....	2-54
2.6	Gobernanza del agua.....	2-56
2.6.1	Actores principales	2-56
2.6.2	Instancias actuales de Gobernanza.....	2-60
2.6.3	Brechas para la implementación de una Gobernanza	2-61
3	DEMANDA FÍSICA Y LEGAL PARA LOS DIFERENTES USOS.....	3-62
3.1	Demanda de agua.....	3-62
3.1.1	Demanda de agua para Consumo Humano Rural y Urbano	3-62
3.1.2	Demandas ambientales.....	3-66
3.1.3	Demanda agrícola	3-70
3.1.4	Demanda industrial y minera	3-79



3.1.5	Demanda hidroeléctrica	3-80
3.2	Derechos de aprovechamiento de agua	3-81
3.2.1	Derechos de Agua Superficiales	3-81
3.2.2	Derechos de Agua Subterráneos	3-84
3.3	Mercado de aguas	3-85
4	<u>OFERTA DE AGUA</u>	<u>4-92</u>
4.1	Agua superficial	4-92
4.1.1	Fuentes de agua	4-92
4.1.2	Oferta en la fuente	4-92
4.1.3	Calidad de Aguas	4-98
4.2	Agua subterránea	4-100
4.2.1	Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común (SHAC)	4-100
4.2.2	Oferta en la fuente	4-100
4.2.3	Calidad de aguas	4-104
5	<u>BALANCE DE AGUA</u>	<u>5-105</u>
5.1	Modelo de simulación	5-105
5.1.1	Descripción del modelo elaborado	5-105
5.1.2	Escenarios de cambio climático	5-107
5.1.3	Balace de Agua. Situación actual	5-109
5.1.4	Balace de Agua. Situación proyectada	5-111
5.2	Brechas	5-113
5.2.1	Brecha de agua para consumo humano	5-113
5.2.2	Brecha de agua para demandas ambientales	5-114
5.2.3	Brecha de agua para uso agrícola	5-117
5.2.4	Brecha de agua para uso hidroeléctrico	5-119
5.2.5	Brechas del Modelo Hidrológico e Hidrogeológico	5-120
5.3	Sustentabilidad de acuíferos	5-122
5.4	Indicadores hídricos de la cuenca	5-127
5.5	Escenarios de Gestión	5-130
5.5.1	Escenario 1: Gestión de aguas superficiales	5-130
5.5.2	Escenario 2: Gestión de aguas subterráneas	5-134
5.5.3	Escenario 3: Gestión de la demanda mediante eficiencia de riego	5-136
5.5.4	Comparación entre escenarios	5-136
5.6	Identificación de mejoras	5-139
6	<u>MARCO CONCEPTUAL DEL PLAN ESTRATÉGICO</u>	<u>6-140</u>
6.1	Gestión Integrada de Recursos Hídricos	6-142
6.2	Soluciones Basadas en la Infraestructura, la gestión y la naturaleza	6-142
6.2.1	Soluciones Basadas en la Infraestructura (Sbi)	6-143



6.2.2	Soluciones Basadas en la Gestión (SbG).....	6-144
6.2.3	Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN)	6-145
6.3	Estructura del Plan Estratégico de Gestión.....	6-147
6.4	Gobernanza para el Plan Estratégico	6-148
6.5	Proceso de elaboración del Plan	6-149
7	<u>FORMULACIÓN DEL PLAN</u>	<u>7-151</u>
7.1	Definiciones Estratégicas	7-152
7.1.1	Ejes estratégicos	7-152
7.1.2	Unidades de Gestión	7-153
7.1.3	Temas Materiales	7-154
7.1.4	Objetivos del Plan	7-156
7.2	Criterios de Sostenibilidad.....	7-158
7.2.1	Prioridad de agua para consumo humano	7-158
7.2.2	Sustentabilidad de Acuíferos	7-159
7.2.3	Caudal ecológico	7-159
7.3	Planificación del Balance Hídrico	7-159
7.3.1	Definición de Metas	7-159
7.3.2	Definición de Estrategias	7-163
7.3.3	Definición de Soluciones y evaluación de las Estrategias de Gestión.....	7-164
7.3.4	Evaluación de Estrategia Compuesta.....	7-168
7.3.5	Balance de recursos hídricos de la estrategia compuesta	7-171
7.3.6	Comentarios sobre la estrategia propuesta	7-173
7.4	Planificación de la Gestión Hídrica.....	7-177
7.4.1	Eje Estratégico 4: Consumo humano	7-177
7.4.2	Eje estratégico 5: Conservación	7-178
7.4.3	Eje Estratégico 6: Información y Control	7-184
7.4.4	Eje Estratégico 7: Gobernanza del Plan	7-189
8	<u>IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN.....</u>	<u>8-194</u>
8.1	INVERSIÓN REGIONAL	8-194
8.1.1	Inversión pública.....	8-194
8.1.2	Inversión privada	8-196
8.2	CARTERA DE INICIATIVAS	8-198
8.2.1	Cartera de iniciativas existentes.....	8-198
8.2.2	Cartera de iniciativas propuestas.....	8-199
8.3	ESTRATEGIA DE IMPLEMENTACIÓN.....	8-205
8.3.1	Gobernanza del Plan Estratégico	8-205
8.3.2	Cultura del agua	8-206
8.3.3	Normativa	8-207
8.3.4	Fuentes de financiamiento.....	8-207



8.3.5	Estrategia de comunicación	8-208
9	<u>SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN</u>	<u>9-209</u>
9.1	SEGUIMIENTO	9-209
9.1.1	Indicadores de Impacto	9-209
9.1.2	Indicadores de Gestión	9-210
9.1.3	Indicadores de Ejecución.....	9-210
9.1.4	Responsable del Seguimiento.....	9-211
9.2	EVALUACIÓN	9-211
10	<u>DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES</u>	<u>10-212</u>
10.1	Discusión.....	10-212
10.1.1	Modelos computacionales	10-212
10.1.2	Efectos del cambio climático en la recarga de acuíferos.....	10-213
10.1.3	Innovación en la red de distribución de agua de riego.....	10-213
10.1.4	Aumento de la demanda agrícola	10-213
10.1.5	Definición de un caudal ambiental	10-214
10.1.6	Participación ciudadana.....	10-214
10.2	Conclusiones	10-216



Anexos

Anexo A. Abreviaturas

Anexo B. Referencias

Anexo C. Glosario

Anexo D. Participación Ciudadana (PAC)

Anexo E. Antecedentes Recopilados

Anexo F. Aspectos complementarios del Plan

Anexo F.1 Descripción de la cuenca

- Anexo F-1.1 Serie de Suelos
- Anexo F-1.2 Especies Flora, y fauna nativa
- Anexo F-1.3 Proyectos con caudal ecológico
- Anexo F-1.4 Organizaciones de Usuarios de Agua (OUAs)

Anexo F2-Diagnóstico de la cuenca

- Anexo F-2.1 Demandas
- Anexo F-2.2 Red Hidrométrica

Anexo G. SIG

Anexo H. Modelo Hidrológico

- Anexo H-1 Modelo hidrológico Superficial y subterráneo
- Anexo H-2 Canales sometidos a criterios de reducción de la red de canales
- Anexo H-3 Iteraciones consecutivas de calibración del modelo y sus resultados.
- Anexo H-4 Comparación entre precipitaciones mensuales estimadas en CR2MET y observadas en estaciones meteorológicas DGA
- Anexo H-5 Comparación entre temperaturas medias mensuales estimadas en CR2MET y observadas en estaciones meteorológicas DGA
- Anexo H-6 Mediciones de nivel estático entregados por Nuevo Sur y DGA
- Anexo H-7 Resultados del balance de ofertas y demandas superficiales
- Anexo H-8 Gráficos de series de caudales observados y simulados en estaciones fluviométricas de calibración
- Anexo H-9 Gráficos de series de niveles observados y simulados en pozos de Nuevo Sur S.A.
- Anexo H-10 Indicadores obtenidos como resultados de la modelación
- Anexo H-11 Proyecto SIG del modelo hidrológico
- Anexo H-12 Balance Hídrico Subterráneo



-
- Anexo H-13 Análisis de los criterios de sustentabilidad
 - Anexo H-14 Resultados de los criterios de sustentabilidad

Anexo J. Formulación del Plan

- Anexo J-1 Calculadora Hídrica
- Anexo J-2 Evaluación de estrategias
- Anexo J-3 Iniciativas de Inversión
- Anexo J-4 Escenarios de Gestión
- Anexo J-5 Memoria de indicadores
- Anexo J-6 Formulación del Plan

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO

1.1 INTRODUCCIÓN

El presente informe entrega el Plan Estratégico de Gestión Hídrica de la cuenca del río Maule. El propósito de este Plan es conocer la oferta y demanda actual de agua, establecer balance hídrico y sus proyecciones a 10 años, diagnosticar el estado de información, infraestructura e instituciones que toman decisiones respecto al recurso hídrico, y proponer una cartera de acciones DGA y de terceros público-privados, que permitan suplir la demanda de agua y adaptación al cambio climático, con un portafolio de acciones que aseguren su abastecimiento en cantidad y calidad.

Para la elaboración del Plan Estratégico se realizó una recopilación, análisis y diagnóstico de las características de la cuenca y las condicionantes del ciclo hidrológico; se identificó, caracterizó y conversó con los actores públicos y privados relacionados con la gestión de los recursos hídricos; se implementó un modelo computacional hidrológico y otro hidrogeológico que permitiera evaluar la disponibilidad de agua actual y proyectada bajo escenarios de cambio climático y distintas alternativas de gestión; y se formuló un plan de trabajo a partir de un marco conceptual alineado con los consensos nacionales internacionales respecto de la gestión integrada de recursos hídricos.

El presente documento es de carácter ejecutivo, y su propósito es entregar de manera resumida y directa el desarrollo del Plan Estratégico de Gestión Hídrica de la cuenca del Maule. El detalle de cada una de las actividades realizadas, las memorias de cálculo y el respaldo de las actividades de participación presenciales y remotas, se presenta en los anexos y apéndices del mismo.

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

- **Diagnóstico de los recursos hídricos en la cuenca**, en los Capítulos 2, 3, 4 y 5
- **Formulación del Plan**, en los Capítulos 6 y 7
- **Implementación**, en el Capítulo 8
- **Seguimiento y Evaluación**, en el Capítulo 9.

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

El **Capítulo 2, Descripción de la Cuenca**, presenta una caracterización de los elementos que definen, afectan o condicionan el desarrollo del ciclo hidrológico en la cuenca del Maule. Se revisan la dimensión política, administrativa y económica; la dimensión ambiental; y la dimensión construida. Se identificaron las nuevas fuentes potenciales de agua, con la posibilidad de aumentar la disponibilidad del recurso para los usuarios; y la gobernanza definida por los actores y su interacción en la cuenca.

El **Capítulo 3, Demanda Física y Legal para los Diferentes Usos del Agua**, presenta en detalle la demanda de agua requerida para el consumo humano, el medio ambiente, la agricultura, el uso industrial y minero, así como la demanda no consuntiva dada por la generación hidroeléctrica. Detalla la demanda legal, determinada por los derechos de

aprovechamiento de aguas superficiales y subterráneos otorgados, y una evaluación del mercado de las aguas.

El **Capítulo 4, Oferta de Agua**, desglosa la oferta de agua superficial y subterránea, identificando las fuentes, cuantificando la disponibilidad, y evaluando la calidad de las aguas en cada fuente.

El **Capítulo 5, Balance de Agua**, relaciona la oferta y demanda por medio de los modelos hidrológicos e hidrogeológicos construidos. Se describen los modelos, los escenarios de cambio climático adoptados, y la situación actual y proyectada de los recursos hídricos a 30 años. Se identifican las brechas por tipo de uso, la sustentabilidad de acuíferos, y se definen y modelan tres escenarios de gestión: aumento de la disponibilidad de agua mediante embalses (1), mediante uso de aguas subterráneas (2), y aumento de la eficiencia de riego (3).

El **Capítulo 6, Marco Conceptual del Plan**, presenta el marco conceptual adoptado para la planificación estratégica, destacando la Gestión Integrada de Recursos Hídricos como concepto principal; plantea un conjunto de Soluciones basadas en la Infraestructura (SbI), en la Gestión (SbG), y en la Naturaleza (SbN) disponibles para la implementación del Plan; y propone un modelo de gobernanza para la implementación del Plan Estratégico.

El **Capítulo 7, Formulación del Plan de Gestión**, define los ejes estratégicos, objetivos y metas del Plan. Para esto, segmenta la cuenca en tres Unidades de Gestión (UG), Maule, Loncomilla y Perquillauquén, y define los temas materiales en cada una de ellas. Finalmente se propone y evalúa las estrategias posibles para alcanzar las metas propuestas, seleccionando aquellas que prueban ser costo eficientes.

El **Capítulo 8, Implementación del Plan**, define la cartera de iniciativas existentes y propuestas para la implementación del Plan, estableciendo presupuestos, plazos y responsables para cada una de ellas. En complemento, define una estrategia de implementación, proponiendo una estructura, roles, responsabilidades y atribuciones de los actores de la cuenca.

El **Capítulo 9, Seguimiento y Evaluación del Plan**, define los indicadores de gestión y de impacto que permiten evaluar el avance en la implementación del Plan, y establece los mecanismos y responsables de la actualización de los objetivos estratégicos y sus metas.

Finalmente, el **Capítulo 10**, se presenta las conclusiones del informe.

1.2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

1.2.1 Objetivo general

Proponer un **Plan Estratégico indicativo** para la cuenca del Maule, para que en su realidad se pueda conocer la oferta y demanda actual de agua establecer balance hídrico y sus proyecciones a 10 años, diagnosticar el estado de información, infraestructura e instituciones que toman decisiones respecto al recurso hídrico, y 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 su abastecimiento en cantidad y calidad.

1.2.2 Objetivos específicos

OBJETIVO N°1: Conocer el estado actual de la cuenca del Río Maule en cuanto a oferta, demanda, balance de agua y sus respectivas herramientas de cálculo (modelos), control de extracciones, calidad físico-química de fuente de aguas superficiales y subterráneas, gobernanzas, y red hidrométrica superficial, subterránea, de calidad de glaciología y nieves.

OBJETIVO N°2: Construir o actualizar los modelos de simulación hidrológicos, e integrarlos a nivel superficial-subterráneo.

OBJETIVO N°3: Definir acciones para restaurar condiciones de abastecimiento y calidad de las fuentes de agua potable rural y urbana, tanto para fuentes superficiales como subterráneas.

OBJETIVO N°4: Diagnosticar estado de calidad de aguas de las fuentes superficiales y subterráneas. Definir acciones para proteger funciones ecosistémicas críticas relacionadas con los cuerpos de agua en el tiempo.

OBJETIVO N°5: Diagnosticar el estado de la infraestructura hidráulica actual y proponer acciones para mejorar monitoreo de las aguas de la cuenca (superficial, subterráneo, de montaña y glaciares). Se deberá analizar el estado de funcionamiento, la antigüedad y confiabilidad de los sistemas en general.

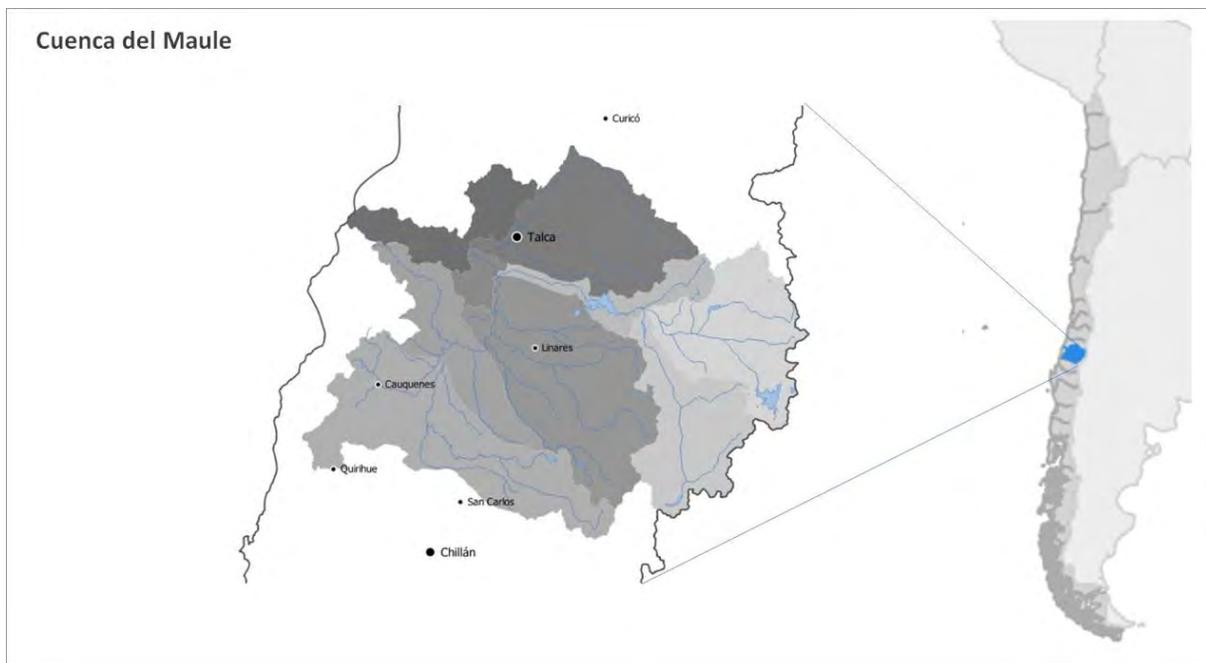
OBJETIVO N°6: Identificar las brechas entre oferta y demanda de agua en distintos escenarios de cambio climático, sequía e inundaciones, estableciendo un portafolio de acciones (estrategias de gestión) para reducirlas. Se deberá establecer un caso de base y distintos escenarios para evaluación).

OBJETIVO N°7: Entregar estrategias para mejorar la toma de decisiones, mediante la utilización de modelos operativos de gestión, los cuales deberán tener escenarios de planificación a corto plazo, mediano y largo plazo, y ser adaptativos en el tiempo.

OBJETIVO N°8: Entregar estrategias para promover y revitalizar la alianza público-privada, y así incrementar cualitativamente.

2 DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA

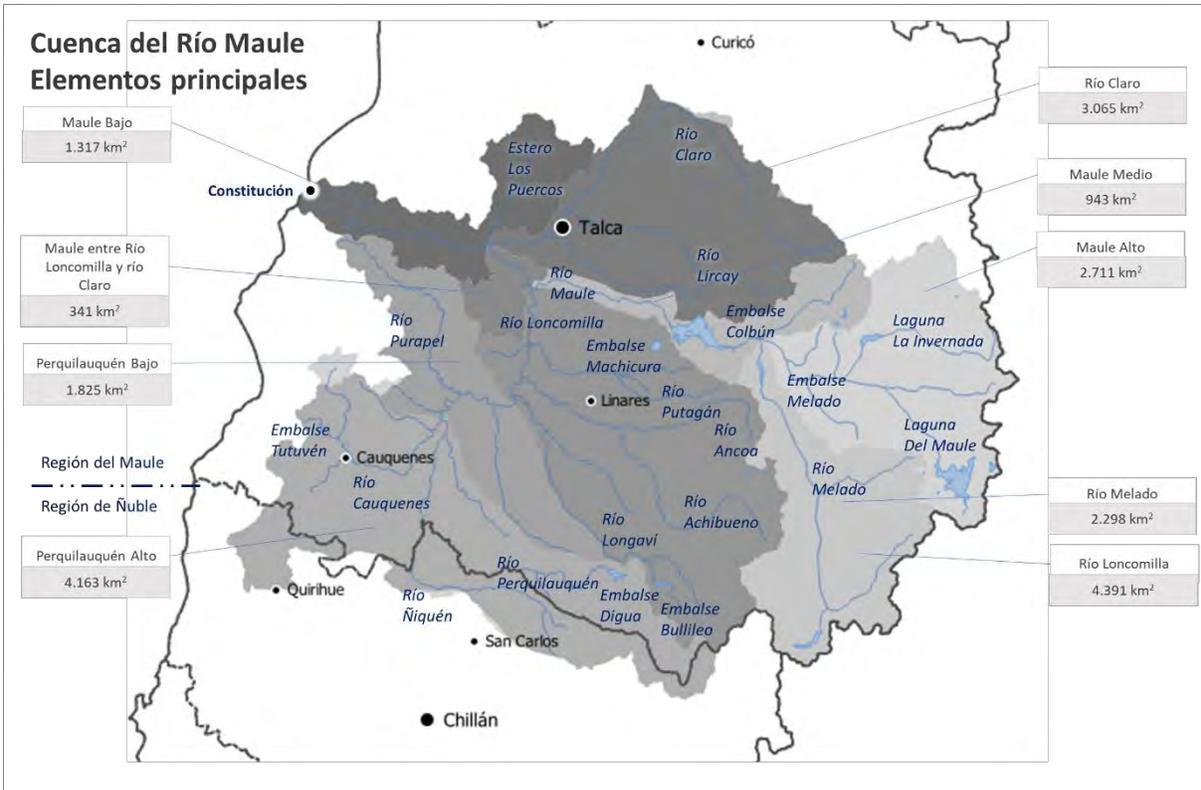
El alcance territorial del presente estudio corresponde a la cuenca del río Maule, según se presenta en la Figura 2-1.



Fuente: elaboración propia

Figura 2-1. Zona de estudio. Cuenca del Maule

La cuenca del Maule tiene una superficie de 21.054 km², y cuenta con 9 subcuencas, las que a su vez se dividen en 64 subsubcuencas según el Banco Nacional del Agua (BNA). Los elementos principales de la cuenca del Maule, hidrografía, cuerpos de agua y la distribución de las subcuencas se presenta en la Figura 2-2.



Fuente: Elaboración propia a partir de información DGA.

Figura 2-2. Elementos principales de la cuenca del río Maule

2.1 Dimensión político administrativa y económica

La dimensión político administrativa determina la forma en que el Estado, en tanto aparato legislativo y ejecutor, y en particular las instituciones públicas, se aproximan al territorio. En este sentido son determinantes para la definición de una gobernanza de la cuenca, así como las decisiones de inversión pública necesarias para la materialización del Plan Estratégico.

A nivel administrativo, la Cuenca del Maule tiene su superficie mayormente dentro de la **Región del Maule**, y en una pequeña superficie por la **Región del Ñuble**. Por lo tanto, la cuenca está formada por las **Provincias de Cauquenes, Curicó, Linares y Talca** en la Región del Maule y la **Provincia de Itata** por la parte de la Región del Ñuble. La Tabla 2-1 presenta las Comunas dentro de la Cuenca del Maule.

Tabla 2-1 Comunas Cuenca del Maule

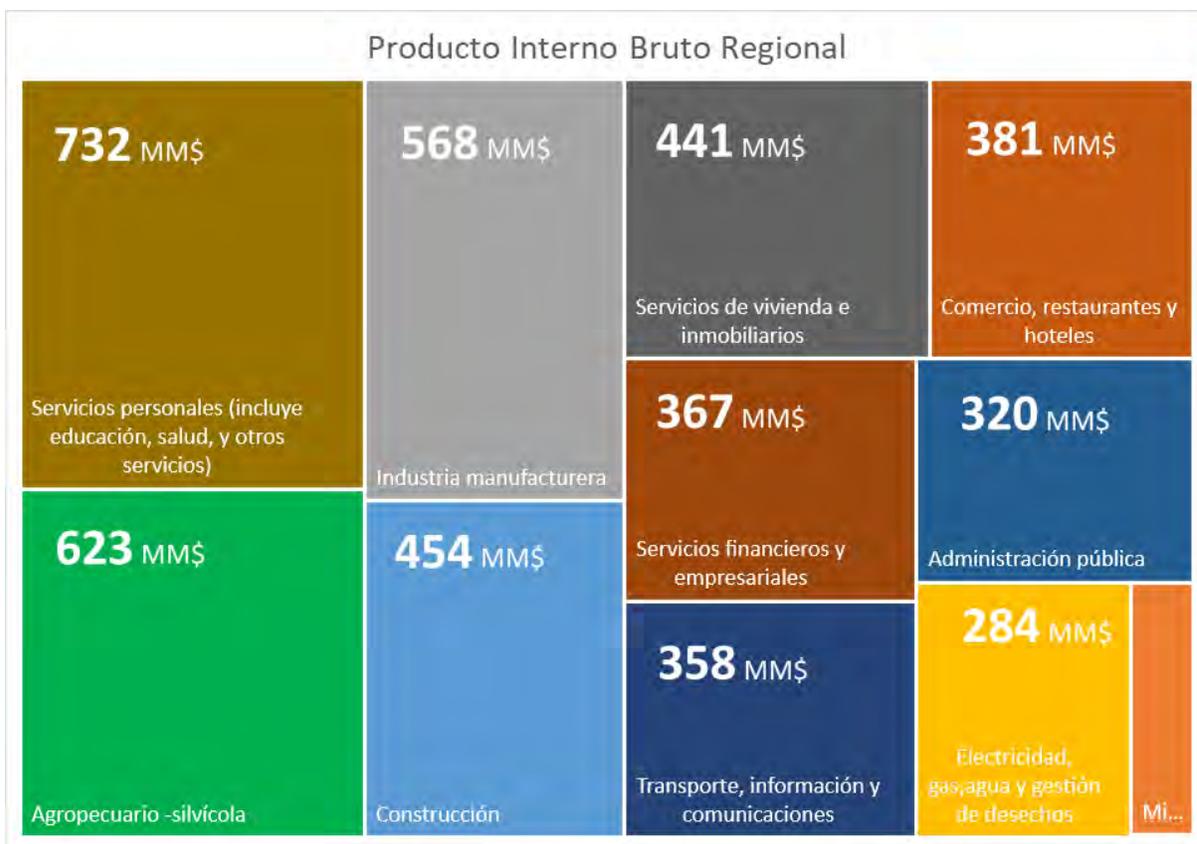
Región	Provincia	Comunas
Maule	Curicó	Molina
Maule	Talca	Constitución, Maule, Pelarco, Péncahue, Río Claro, San Clemente, San Rafael, Talca
Maule	Linares	Colbún, Linares, Longaví, Parral, Retiro, San Javier, Villa Alegre, Yervas Buenas
Maule	Cauquenes	Cauquenes
Ñuble	Itata	San Fabián, San Carlos, Quirihue y Ñiquén

Fuente: Elaboración propia

La cuenca del Maule¹ tiene una población de **852.035 habitantes** con un **72,1% en zona urbana** y un **38,9% en zona rural**. En comparación con el censo 2002 **la población total aumento un 13,9 %**, y la población urbana creció un 12,4% según el censo de Población y Vivienda del 2017 (INE, 2017).

Para el año 2016, el Producto Interno Bruto de la región del Maule es de 4.598 Miles de Millones de pesos (MM\$), liderado por la prestación de Servicios Personales (732 MM\$) y la actividad agropecuario – silvícola (623 MM\$), representando el 14,1% del PIB agrícola nacional (ODEPA, 2018). La proporción entre las distintas actividades productivas que componen el PIB se presenta en la Figura 2-3.

¹ Población compuesta por las 22 comunas presentadas en la Tabla 2-1



Fuente: ODEPA, 2018

Figura 2-3. Producto Interno Bruto de la Región del Maule

2.2 Dimensión ambiental

El ciclo hidrológico, es un modelo conceptual que describe el almacenamiento y movimiento del agua entre la Biosfera, Atmósfera, Litosfera e Hidrosfera, lo que se denomina Sistema Climático.

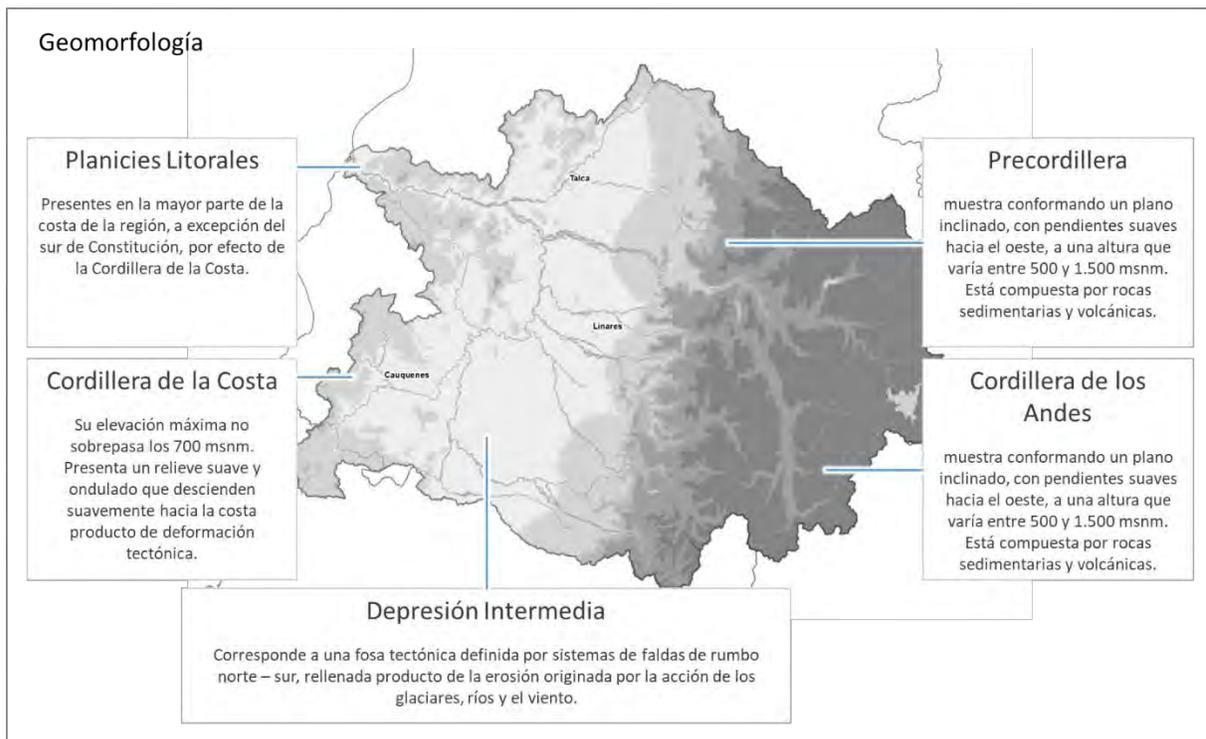
En este contexto, los ecosistemas de la cuenca prestan servicios ecosistémicos de provisión de agua, de regulación y mantención del ciclo hidrológico, y de desarrollo cultural asociado al agua. La comprensión de las condiciones de los ecosistemas permite, por un lado, incorporar en el análisis las condicionantes del ciclo hidrológico, así como las Soluciones Basadas en la Naturaleza que permiten recomponer estos servicios ecosistémicos. Estos conceptos son desarrollados dentro punto 6 Marco Conceptual del Plan Estratégico.

2.2.1 Litósfera

2.2.1.1 Geología y Geomorfología

La geología y la geomorfología inciden en el ciclo hidrológico en tanto determinan, por un lado, los patrones naturales de escurrimiento superficial; y por el otro, los patrones de escurrimiento subterráneo y el aporte de elementos locales a las aguas naturales.

Dentro de la cuenca se pueden diferenciar cinco unidades características de la zona: Cordillera de los Andes, Precordillera, Depresión Intermedia o Valle Central, Cordillera de la Costa y Planicies Litorales. Estas unidades definen tanto las condiciones climáticas, hidrología, ecosistemas, y el desarrollo social y económico de la región.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-4. Geomorfología de la cuenca del Maule

La descripción geológica se puede dividir en dos partes principales: una parte de los estratos rocosos y otra de los depósitos no consolidados. Dentro de los estratos rocosos se puede contar con dos grupos, los que pertenecen a la serie de la Cordillera de la Costa y los cerros islas en la zona occidente de la cuenca, y los que son parte de la Cordillera de Los Andes. Los depósitos no consolidados se encuentran en los rellenos de los valles centrales y en las subcuencas de Cauquenes y Los Puercos, y se dividen en 05 unidades: depósitos cineríticos, fluviales antiguos del río Maule, abanico fluvial del río Maule, abanico de Linares y abanico medio del río Perquillauquén (DGA, 2017b).

2.2.1.2 Suelos

Dada su extensión, la cuenca presenta una gran variabilidad en cuanto a los tipos de suelo que la componen. En el sector del valle y piedemontes precordilleranos, los suelos se caracterizan por su textura predominantemente arcillosa. Por su parte, la zona del llano central, entre los ríos Claro y Maule, está constituida por terrazas altas, generalmente con sustrato de tobas en profundidad media a delgada, en una topografía anastomosada, con algunos problemas de drenaje interno.

Entre los ríos Maule y Perquillauquén se presentan suelos de origen aluvial con pedregosidad variable en superficie y perfil, y de profundidad que varía de delgada a media. Al oriente de la localidad de Longaví y Parral, los suelos poseen un sustrato aluvial, caracterizados por una topografía plana, de suelos moderadamente profundos a profundos; son derivados de cenizas volcánicas recientes. En el sector sur y sur – poniente de la localidad de Parral hasta los llanos al oriente de Cauquenes, se encuentra el suelo denominado Parral que posee un color pardo rojizo.

En el sector de la Cordillera de la Costa, existen terrazas remanentes como el suelo Maule; lomajes y cerros graníticos del suelo Cauquenes; lomajes y piedemontes porfiríticos del suelo Pocillas y sedimentos coluviales de valles intermontanos. Al borde de los cursos de agua hay depósitos recientes constituidos por sedimentos tanto graníticos como porfiríticos de los cerros que rodean los valles, siendo su característica principal el ser estratificados, planos, profundos, de mal drenaje interno y con alto contenido de cuarzo y mica (CNR, 2017a).

2.2.2 Atmósfera

2.2.2.1 Caracterización Climática

La cuenca del Río Maule se encuentra bajo la influencia de un clima templado cálido, es decir, existe un período de estación seca de alrededor de 4 a 5 meses y se caracteriza por lluvias intensas que se suelen concentrar en el período invernal, alcanzando en esta época cerca del 75% de las precipitaciones alcanzadas durante el año. La cuenca cuenta con dos ombroclimas: El clima **Mediterráneo pluviestacional-oceánico** influye en los sectores costeros, la Cordillera de la Costa, el Valle Central y los pisos inferiores de la Cordillera de los Andes, bajo los 2.000 msnm; mientras que el **Mediterráneo pluviestacional-continental** se encuentra en las zonas andinas altas por sobre los 2.000 msnm, cuyo régimen ombrotérmico está dado por el efecto que ejerce la altitud sobre la continentalidad.

Según el Pronóstico de Caudales de Deshielos 2019-2020 (DGA, 2019c), las precipitaciones observadas en el año 2019 para las ciudades de Talca, Linares y Parral era de 258, 413 y 439 mm (al 31 de agosto de ese año), inferiores a los 310, 441 y 438 mm observados el año anterior. Las precipitaciones del año 2019 presentaron un déficit entre un 44 y 52% con relación al promedio histórico.

Para la calibración y proyección de los modelos hidrológicos e hidrogeológicos, se obtuvo los antecedentes de **precipitaciones** desde el proyecto CR2MET (CR2), que generó una distribución espacial de precipitaciones traduciendo los datos climáticos del proyecto ERA-Interim (Análisis global de variables atmosféricas) y ajustados por la topografía y mediciones locales (es decir, rectificadas con las estaciones de la DGA). Este trabajo contiene datos de precipitación real mensual en mm/año desde 1979 hasta 2018, espaciados en una grilla regular de 0,05°, o aproximadamente 5 km.

2.2.2.2 Eventos Extremos y Variabilidad Climática

Los fenómenos naturales analizados son las inundaciones, sequías, deslizamientos y aluviones.

Lluvias. Precipitaciones pluviales que producen daños en servicios básicos (electricidad o agua potable). Se incluye lluvias puntuales, persistentes o torrenciales.

Inundaciones. Las grandes precipitaciones elevan el nivel de los ríos hasta superar la capacidad del cauce, provocando inundaciones que afectan la infraestructura urbana, agrícola y vial. En la sierra predominan las inundaciones rápidas por desborde de ríos andinos caracterizados por fuertes pendientes y flujos hiperconcentrados. Se ha observado una fuerte vinculación entre el fenómeno El Niño y las inundaciones. El incremento del nivel de los ríos se produce en el último trimestre del año y alcanza su valor máximo a mediados del primer trimestre. Las inundaciones, pueden producirse por la reducción de la sección transversal del río, por colmatación, cambios abruptos en la dirección del flujo de las aguas e invasión de la llanura de inundación del río.

Sequías. Con carácter general, se puede considerar como la insuficiente disponibilidad de agua en una región, por un periodo prolongado, para satisfacer las necesidades del recurso hídrico en la zona. No obstante, puede enfocarse desde distintos aspectos y así se puede considerar la sequía meteorológica, agronómica o hidrológica, según la duración y efectos de la misma. La sequía produce importantes efectos para la salud pública, el medio ambiente y los sistemas productivos dependientes del agua y ha causado la pérdida de vidas humanas, el deterioro ambiental, incrementando incluso la posibilidad de incendios forestales y la destrucción de campos y cultivos, además de reducirse la producción hidroeléctrica.

Remociones en masa (deslizamientos). Pueden producirse a causa de diversos factores como inestabilidad de taludes, sismo y deforestación, pero en la mayoría de los casos están combinados con la presencia de agua, producida por las precipitaciones de agua que saturan los suelos y debilitan su resistencia, lo cual si se encuentran condiciones estructurales favorables, como pendientes fuertes o deforestación, pueden dar lugar al deslizamiento del terreno. Los deslizamientos producen catástrofes, pero sus consecuencias pueden ser muy graves si se ve afectada la población, o bien, si los daños se producen en las infraestructuras hidráulicas, en la infraestructura vial, o, si se produce la pérdida de cultivos y terrenos agrícolas. (Hauser, 1993 y 2000). En la cuenca del Maule las remociones

en masa suelen ir acompañadas de fuertes precipitaciones concatenadas con movimientos sísmicos.

Aluviones. Son corrientes de lodos que se manifiestan con flujos rápidos y crecidas intempestivas de aguas turbias que arrastran, a su paso, materiales de distintos tamaños, desde suelos finos a grandes bloques de roca, desplazándose en los cauces de las quebradas y ocasionando desbordes y cambios de cauce en algunos casos. Las intensas precipitaciones, conjuntamente con la existencia de condiciones favorables como la presencia de suelos inestables, taludes debilitados y deforestación, son sus causas principales.

En referencia a la información disponible de la base de datos de la RED (2020) y la revisión de la presa en sus portales web se hace un análisis de los eventos extremos del periodo 1985-2019. Se identificaron 79 eventos importantes de los cuales destacan las inundaciones, lluvias y sequías en la Región del Maule, los que se grafican en la Figura 2-5.

Año	1985 - 1989	1990 - 1994	1995 - 1999	2000 - 2004	2005 - 2009	2010 - 2014	2015 - 2019
Inundaciones	1	3	1 2	8 3		1 1 1	2 1
Lluvia		1		4 1	1 2	1 1 1	1 2 3 3 1
Sequía		2 4	8	1 1		1 2 1	1 2 1 1
Deslizamientos		1 1		1	1		1
Aluviones	1						

Fuente: Elaboración propia en base a información de la base de datos de la RED 2020 y prensa online.

Figura 2-5. Número de eventos extremos Región del Maule

En relación a los eventos de sequía, la Dirección General de Aguas dicta Decretos de Escasez Hídrica con el objeto de proveer determinadas herramientas a usuarios del agua y a la población en general para reducir al mínimo los daños derivados de la sequía. La Figura 2-6 presenta el resumen de comunas consideradas dentro de los **15 decretos dictados** para la cuenca entre el año 2008 y la temporada de riego 2019-2020.

Año	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Comunas con decreto de escasez	5	4	0	8	0	0	15	22	22	17	14	22	22

Fuente: DGA 2019. Decretos declaración zona de escasez vigentes.

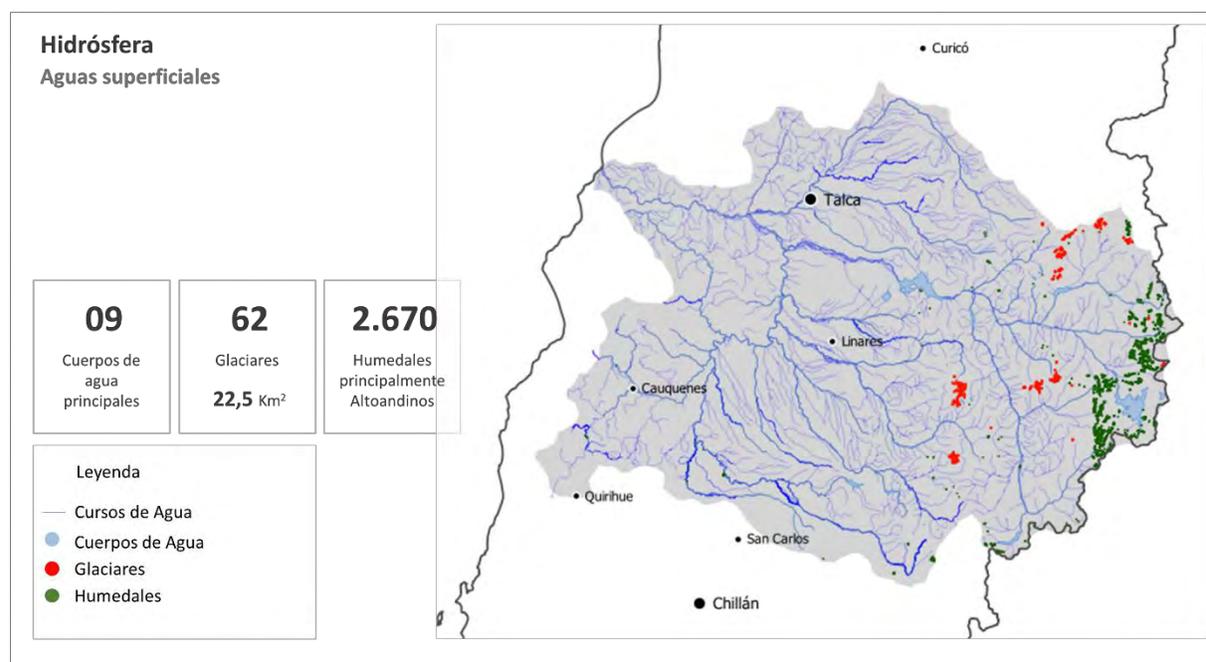
Figura 2-6. Decretos de Escasez Hídrica dictados en la Cuenca del Maule

De la serie de tiempo no se puede extraer una tendencia clara sobre la ocurrencia de eventos extremos. Se identifican puntos altos en 1991 (sequía), y en 2000 (inundaciones), y si bien la frecuencia aumenta hacia el quinquenio 2015-2019, disminuye la cantidad de

eventos registrados². En complemento, se aprecia un marcado aumento sostenido del número de comunas consideradas dentro de los decretos de escasez a partir del año 2014. Se debe comentar que los primeros decretos se establecían por cuenca afectada (hasta el año 2011), mientras que a partir de 2014 se establecieron por unidad administrativa: región, provincias o comunas.

2.2.3 Hidrósfera

En la hidrósfera se consideran la totalidad de las aguas superficiales y subterráneas, ya sea que estén contenidas en cuerpos de agua, cursos de agua o bien en nieves y glaciares. La Figura 2-7 presenta los sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común (SHAC), en el numeral 2.2.3.3.



Fuente: DGA (2011) Catastro, exploración y estudio de glaciares en Chile Central, SIT 265

Figura 2-7. Hidrósfera de la cuenca del Maule

A propósito de este Plan, la hidrósfera representa los distintos estados del ciclo hidrológico y sus continentes, ya sean superficiales o subterráneos. Consecuentemente, serán los

² Esta variación puede deberse también a que los datos del último quinquenio fueron complementados con revisión de prensa online.

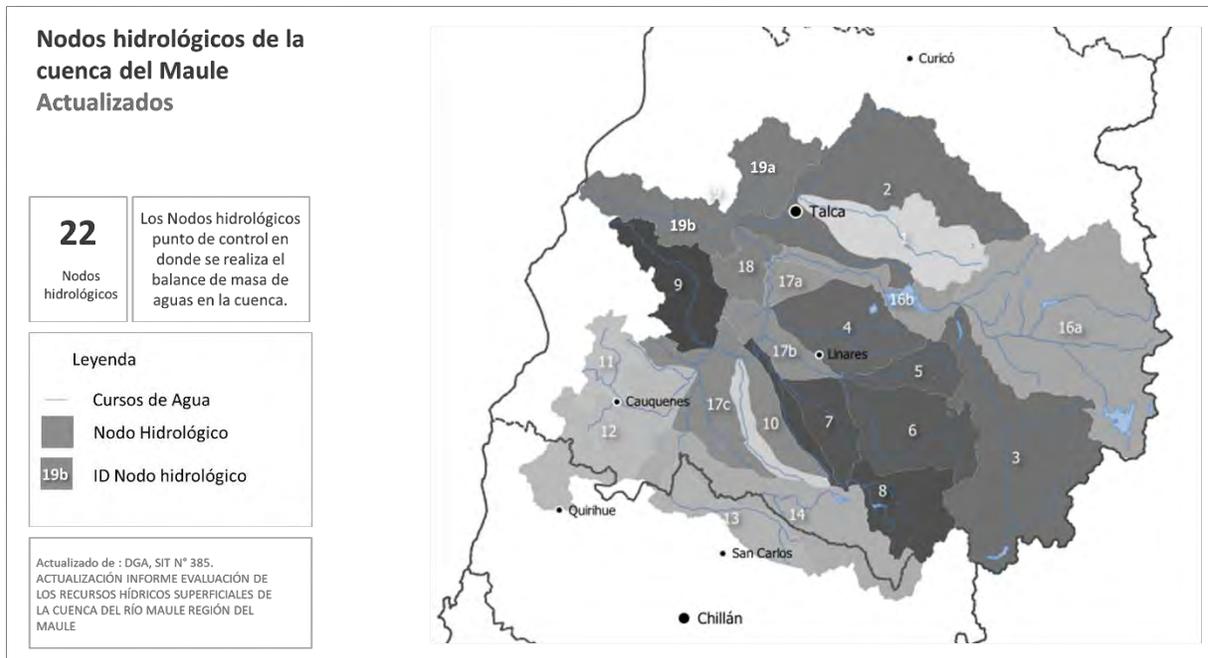
principales objetos de gestión a considerar en los capítulos de formulación del Plan Estratégico.

A continuación se describen los cursos de agua y caudales asociados, cuerpos de agua y volumen embalsado, glaciares y nieves asociados a los caudales de deshielo, y los sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común con la capacidad de almacenamiento y recarga.

2.2.3.1 Cuencas Hidrográficas

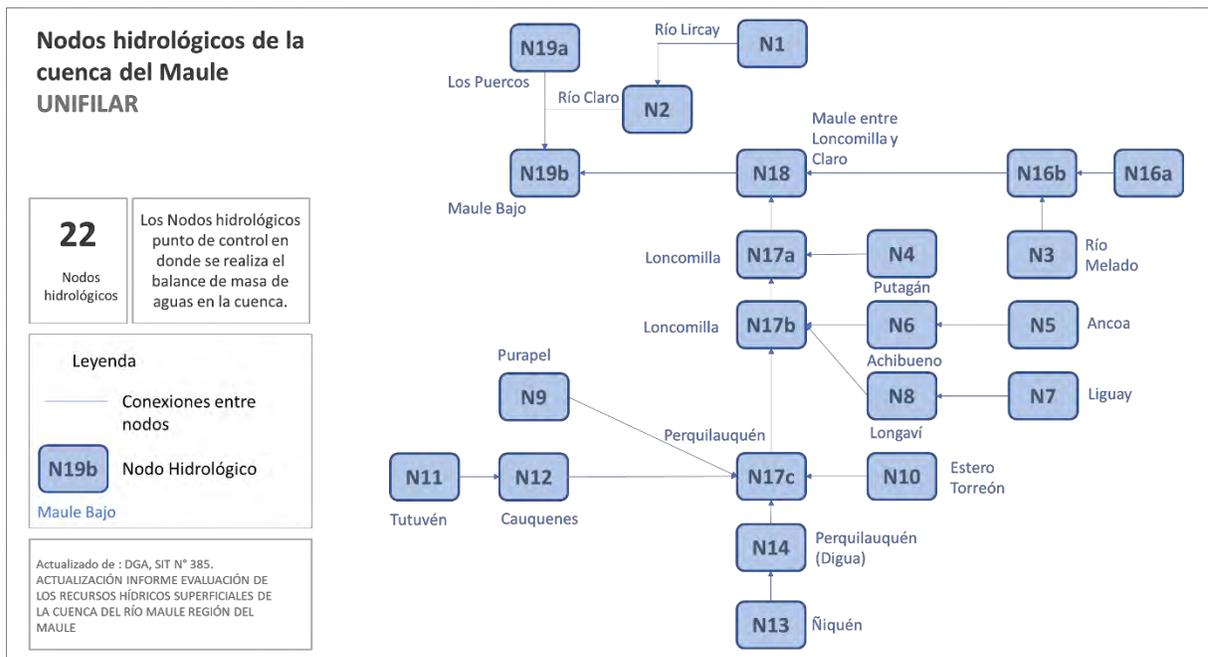
El territorio de la cuenca del Maule puede ser clasificado desde distintos puntos de vista, dependiendo de los criterios y objetivos definidos. Desde el punto de vista hidrológico, la cuenca se divide en 09 subcuencas principales: Río Maule Alto (0730), Río Melado (0731), Maule Medio (0732), Maule entre Loncomilla y Río Claro (0736), Maule Bajo (0738), Río Claro (0737), Río Loncomilla (0735), Río Perquillauquén Alto (0733) y Perquillauquén Bajo (0734). Las cuencas se presentan en la Figura 2-7. Hidrósfera de la cuenca del Maule contenida al inicio de este apartado.

El SDT N° 385 (DGA, 2016a), Actualización Informe Evaluación de los Recursos Hídricos Superficiales de la Cuenca del Río Maule, de la Dirección General de Aguas definió un total de 19 nodos que representan el comportamiento hidráulico de la cuenca, entendidos como el punto de control en donde se realiza el balance de masa y forma parte de cauce, en la mayoría de los casos este nodo no coincide con la estación fluviométrica, ya que es un punto de control impuesto en un punto donde se desea conocer el balance y se optó por las desembocaduras de un cauce a otro de mayor orden. Para efectos del presente Plan, se subdividió el Nodo 17 en tres subsectores (17a, b y c), y el Nodo 19, en dos (19a y 19b), llegando a un total de 22 nodos. La distribución espacial de los nodos se presenta en la Figura 2-8, el unifilar en la Figura 2-9, y el listado en la Tabla 2-2.



Fuente: Elaboración propia en base a información del informe DGA SDT N°385 (2016a)

Figura 2-8. Nodos hidrológicos de la cuenca del río Maule



Fuente: Elaboración propia en base a información del informe DGA SDT N°385 (2016a)

Figura 2-9. Unifilar de nodos de la cuenca del río Maule

El nombre de referencia de cada uno de los nodos definidos se presenta en la Tabla 2-3.

Tabla 2-2. Nodos hidrológicos de la cuenca del Maule

ID Nodo	Nombre del Nodo
1	Río Lircay aguas arriba junta Río Claro
2	Río Claro aguas arriba junta Río Maule
3	Río Melado aguas arriba junta Río Maule
4	Río Putagán aguas arriba junta Río Loncomilla
5	Río Ancoa aguas arriba junta Río Achibueno
6	Río Achibueno aguas arriba junta Río Loncomilla
7	Río Liguay aguas arriba junta Río Longaví
8	Río Longaví aguas arriba junta Río Loncomilla
9	Río Purapel aguas arriba junta Río Perquillauquén
10	Estero Torreón aguas arriba junta Río Perquillauquén
11	Río Tutuvén aguas arriba junta Río Cauquenes
12	Río Cauquenes aguas arriba junta Río Perquillauquén
13	Río Ñiquén aguas arriba junta Río Perquillauquén
14	Río Perquillauquén en Quella
16a	Río Maule Alto
16b	Río Maule en Longitudinal
17a	Río Loncomilla aguas arriba junta Río Maule
17b	Río Loncomilla aguas arriba junta Río Ancoa
17c	Río Perquillauquén aguas arriba junta Río Loncomilla
18	Río Maule después de junta Río Loncomilla hasta antes junta con el Claro (Melozal)
19 a	Estero Los Puercos
19 b	Río Maule después de junta con el Claro hasta desembocadura

Fuente: Elaboración propia en base a información del informe DGA SDT N°385 (2016a)

2.2.3.2 Cursos de Agua

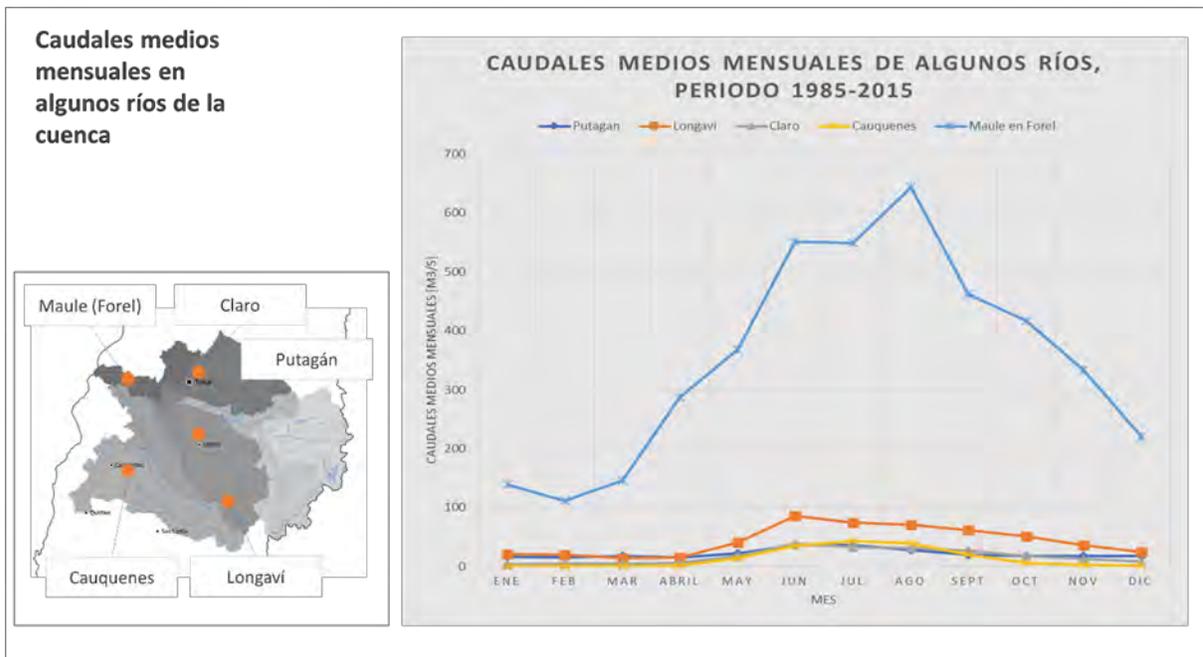
Entre las **fuentes superficiales de mayor envergadura** de la cuenca, se pueden contar los ríos **Maule, Claro y Lircay** al norte; el **Melado y Cipreses** en la zona cordillerana; **Putagán, Ancoa, Achibueno y Longaví**, todos afluentes del **Loncomilla** en la parte central; y **Perquillauquén, Ñiquén, Cauquenes y Purapel** en la zona sur poniente.

Con excepción del río Cauquenes (y cursos de menor tamaño, como Purapel y Estero los Puercos), que nacen en las zonas altas de la Cordillera de la Costa o en pequeños cerros del valle; la mayoría de estos ríos tienen un origen andino, es decir, que nacen en la alta cordillera y se encauzan hacia el valle central. Todos los cauces tienen su punto final de confluencia con el río Maule, el cual finalmente avanza en sentido oeste, para llegar a desembocar en el Océano Pacífico, cerca de la ciudad de Constitución.

En cuencas pertenecientes a la zona de costa o valle, los mayores caudales se concentran en los meses fríos, principalmente en invierno, debido a que en ese periodo ocurren las mayores precipitaciones en la cuenca. Mientras que a medida que se aproxima a la cordillera de Los Andes, los caudales en las cuencas presentan alzas en los meses de primavera, esto debido a los deshielos de las precipitaciones caídas en forma sólida en la zona cordillerana y precordillerana.

Los **caudales** en los ríos de la cuenca son un reflejo de las precipitaciones de esta, por lo que los mayores valores se concentran en los meses fríos, principalmente en invierno. Es de notar también que, como hay partes de la cuenca en las que las precipitaciones se acumulan de forma sólida, el deshielo produce un caudal medianamente alto durante los meses de primavera en ríos con alcance en la cordillera.

Para obtener los datos de caudales medio mensuales de la cuenca se usaron los datos del Sistema Nacional de Información del Agua (SNIA) de la DGA, que presenta información de 20 estaciones fluviométricas instaladas en la región con información completa en el periodo de tiempo las modelaciones (1985-2018). Los caudales de confluencias de ríos en donde no se cuenta con una estación de medición, se calcularon realizando una suma de los caudales individuales.



Fuente: Elaboración propia en base a datos de estaciones fluviométricas DGA

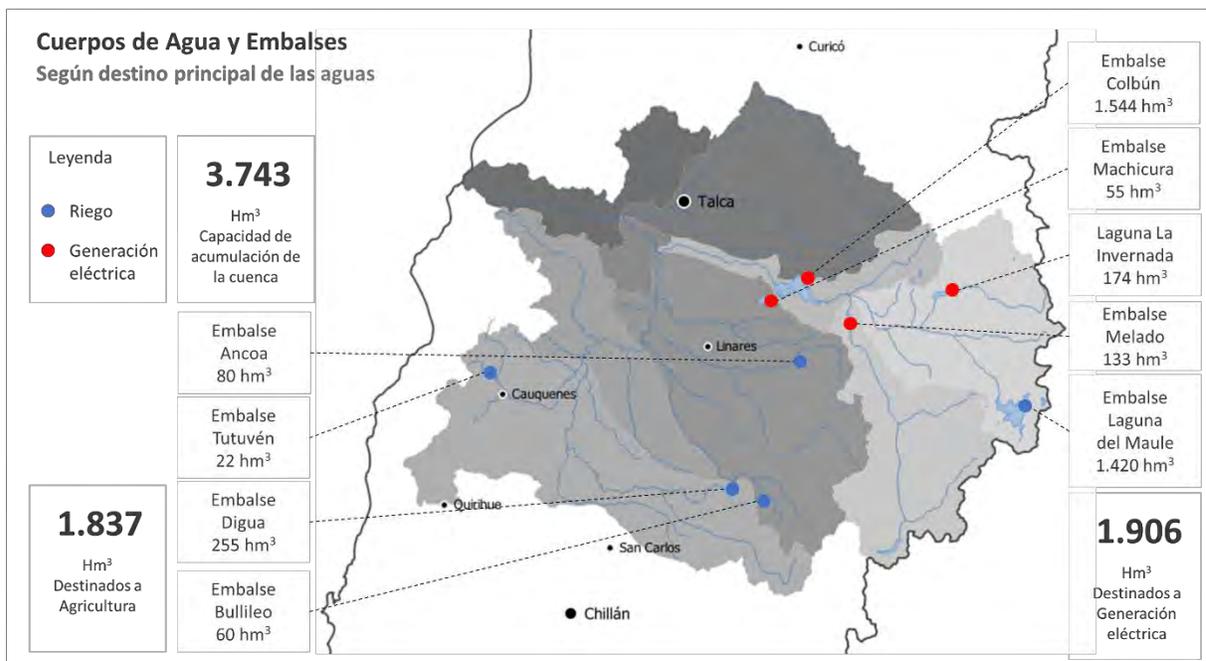
Figura 2-10. Caudales medios mensuales en algunos ríos de la cuenca

2.2.3.3 Cuerpos de Agua, Embalses y Humedales

La cuenca del Maule cuenta con lagunas y embalses, dentro de los más importantes se encuentran los embalses **Colbún, Machicura, Melado, Ancoa, Bullileo, Digua y Tutuvén**, y las lagunas **del Maule y La Invernada** (ambas reguladas).

Según se resume en Figura 2-11, la capacidad total de embalse es de 3.743 Hm³ de agua, en su mayoría está destinada a un uso mixto, de generación eléctrica y agricultura. En particular, la capacidad total de Laguna del Maule su capacidad es de 1.420 hm³ con uso mixto regulado por Convenio suscrito entre ENDESA y la Dirección de Riego de 1947, que especifica un gasto máximo para riego es de 800 hm³ y para generación 250 hm³, además de otras restricciones.

Complementariamente, la cuenca cuenta con 2.670 ha de humedales, en su mayoría de tipo altoandino (Figura 2-7), que forman parte de la red de regulación de ciclo hidrológico.



Fuente: Elaboración propia a partir de DGA

Figura 2-11. Cuerpos de agua y embalses principales dentro de la cuenca del río Maule

2.2.3.4 Nieves y Glaciares

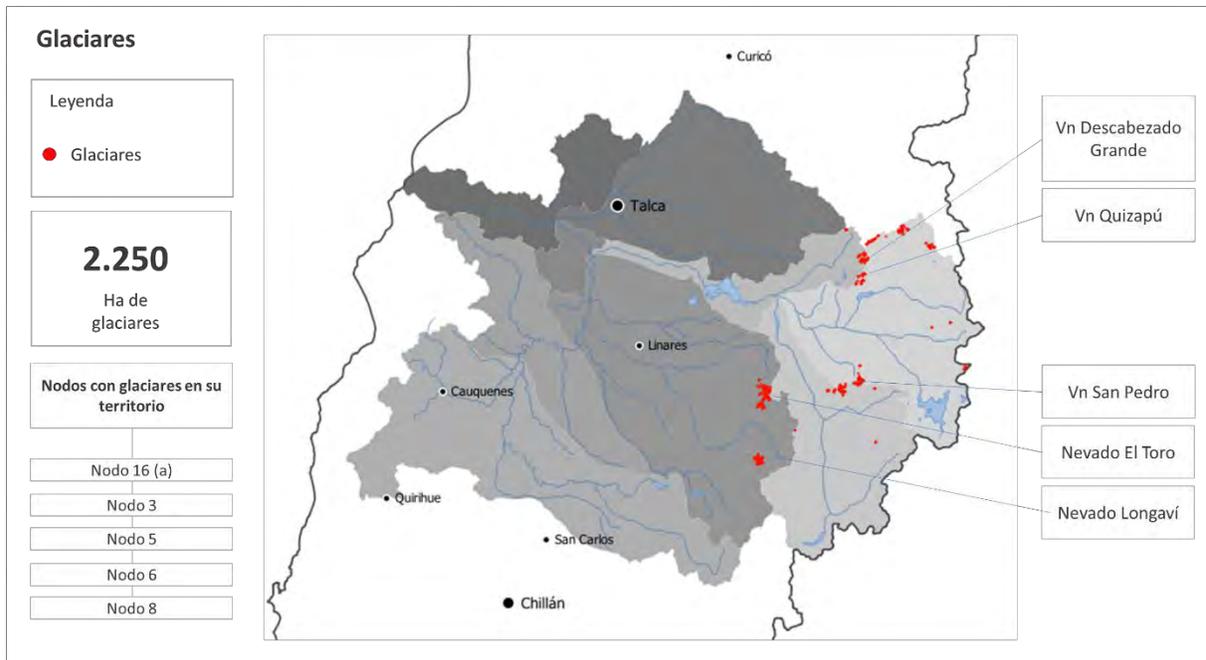
Desde el punto de vista glaciológico, la cuenca del Maule se encuentra en el sector -Zona Central: Zona Glaciológica de Los Andes Centrales. El inventario de glaciares realizado por la DGA en el año 2011 concluyó que en la cuenca del río Maule existen 62 glaciares con una superficie agregada de 22,50 km², los que en su mayoría son glaciares de montaña y se encuentran en Río Maule Alto, Río Melado, Río Loncomilla. Los glaciares con mayores dimensiones se encuentran en el norte, quedando en la subcuenca del Río Teno, el grupo Peteroa – Azufre como último gran complejo de hielo (al norte de la cuenca del Maule), ya que la cordillera pierde continuidad y el área glaciaria se encuentra en cumbres específicas como el Descabezado Grande, Cerro Azul (Quizapú) y Nevado Longaví.

Según el Pronóstico de Caudales de Deshielos 2019-2020 (DGA, 2019c), para la Ruta Lo Aguirre (Maule), se tiene una acumulación de 380 mm de nieve en 2019, inferior a los 470 mm observados en 2020. Esto se traducirá en un volumen de agua proveniente de deshielos de 2.740 Hm³ en la estación virtual Maule en Armerillo, un 23% inferior a los 3.583 Hm³ esperados en el año 2018.

En el caso de la cuenca del Maule, los usuarios de la cuenca³ señalan que los deshielos ocurren cada vez más temprano dentro de la temporada, y que las tasas de reparto se ven significativamente reducidas en los meses de enero y febrero. Esta variación ha llevado a estos usuarios y a la empresa hidroeléctrica Colbún a establecer un nuevo acuerdo de colaboración, por un máximo de 230 Hm³ año, para embalsar aguas de primavera en el Lago Colbún⁴.

³ Anexo D.1 Minuta de reunión de fecha 21 de octubre de 2020.

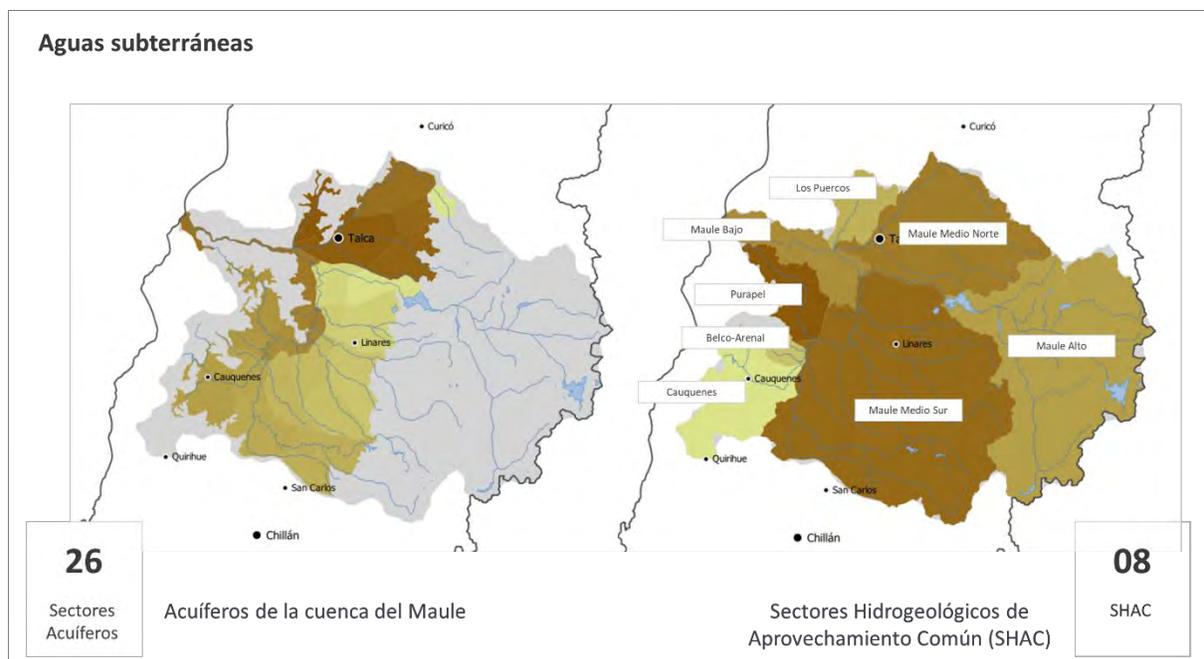
⁴ Anexo D.1 Minuta de reunión de fecha 27 de octubre de 2020



Fuente: Elaboración propia en base a (DGA, 2011)
Figura 2-12. Glaciares cuenca del Maule

2.2.3.5 Aguas Subterráneas

El Plan Director para la Gestión de los Recursos Hídricos de la Cuenca del Maule (DGA, 2008), definió 25 **sectores acuíferos** para la cuenca, a lo cual se agregó un sector en el presente análisis. Posteriormente el Departamento de Administración de Recursos Hídricos de la DGA definió Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común (SHAC) para el territorio nacional, con 8 SHAC en la cuenca del Maule. La Figura 2-13 presenta la distribución de sectores acuíferos y SHAC dentro de la cuenca.



Fuente: Elaboración Propia en base a datos BNA (DGA, 2020)

Figura 2-13. Clasificación de las aguas subterráneas en la cuenca del Maule

La DGA realiza una valoración de la disponibilidad de los recursos subterráneos a través de informes técnicos (SIT y SDT) para el otorgamiento de los derechos de aprovechamiento de agua subterráneos. La recarga estimada por la DGA para los distintos SHAC de la cuenca se presenta en la Tabla 2-3. El total de la recarga estimada es de 66.022,6 l/s, lo que equivale a 2.082 Hm³ al año.

Tabla 2-3. Recargas estimadas para los distintos SHAC

SHAC	Superficie (km ²)	Recarga (l/s)	Fuente DGA
Estero Los Puercos	619	280,0	SIT N° 319
Maule Medio Norte	3.210	15.000,0 ⁽¹⁾	SDT N° 362
Maule Medio Sur	7.869	43.000,0 ⁽¹⁾	SDT N° 362
Cauquenes	1.568	2.803,0	SDT N° 322
Belco Arenal	251	301,5	SDT N° 345
Purapel	796	327,0	SDT N° 359
Maule Bajo	1.044	512,6	SDT N° 359 / SDT N° 345
Maule Alto	5.727	3.798,2	SDT 359 2014
Total	21.084	66.022,3	

⁽¹⁾ Recarga neta SDT N°359

Fuente: Dirección General de Aguas, varios documentos.

Hasta el momento, el único SHAC restringido dentro de la cuenca es el de los Esteros Belco y El Arenal, decretado como Área de Restricción mediante Resolución DGA N° 92, de marzo

de 2015. La evaluación de la sustentabilidad de los acuíferos se realiza más adelante en este documento, en el numeral 5.3.

2.2.4 Biósfera

La relación de la biósfera con el ciclo hidrológico se establece en forma bidireccional. Por un lado, el ciclo hidrológico provee de agua en condiciones de cantidad, calidad y oportunidad, condición *sine qua non* para el desarrollo de los distintos ecosistemas característicos de la región. Esta relación no se basa solo en la provisión del recurso, sino que también la red hidrográfica es parte del hábitat de los ecosistemas acuáticos.

En el otro sentido, los ecosistemas proveen servicios de regulación para el ciclo hidrológico. Las cubiertas vegetales regulan los procesos de precipitación, infiltración y escorrentía, al mismo tiempo que regulan los procesos erosivos. De manera similar, la fauna, en sus distintas categorías, modela su hábitat natural y participa en forma relevante de los procesos de biodepuración de las aguas. En forma indirecta, el desarrollo de la vegetación contribuye al ciclo del carbono, fijando los excedentes y contribuyendo a la mitigación del cambio climático.

El concepto de Servicios Ecosistémicos (SSEE), es consistente además con el de **Infraestructura Ecológica (IE)**, entendida como “un sistema de soporte de vida natural, con una red interconectada de cursos de agua, humedales, bosques, hábitats de vida silvestre y otras áreas naturales; vías verdes, parques y otras tierras de conservación y territorios con producción silvoagropecuaria sustentable, que mantienen los procesos ecológicos naturales, conservan los recursos de agua y aire y contribuyen a la salud y calidad de vida de las comunidades y pueblos” (Benedict y McMahon, 2002).

De esta forma tanto el activo natural (IE), como sus externalidades (SSEE), pueden ser gestionados tratando de restaurar, replicar o potenciar los mismos procesos que les son inherentes. Esta alternativa se denomina Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN), que son descritas dentro del marco conceptual del presente Plan Estratégico (numeral 6-140)

2.2.4.1 Ecosistemas Terrestres

Desde el punto de vista biogeográfico, en la cuenca del río Maule es posible encontrar 07 formaciones y 15 pisos vegetacionales (Lübert y Pliscoff, 2006) asociados a un piso bioclimático en específico, nivel altitudinal y topografía presente en el territorio. Es así como se pueden definir cuatro grandes tipologías de vegetación; **matorral espinoso, bosque esclerófilo, bosque caducifolio y herbazal de altitud**. Dada la gran dimensión de la cuenca y el gradiente altitudinal que está presente, es posible encontrar una riqueza de biodiversidad considerable, la que se presenta en la Figura 2-14.

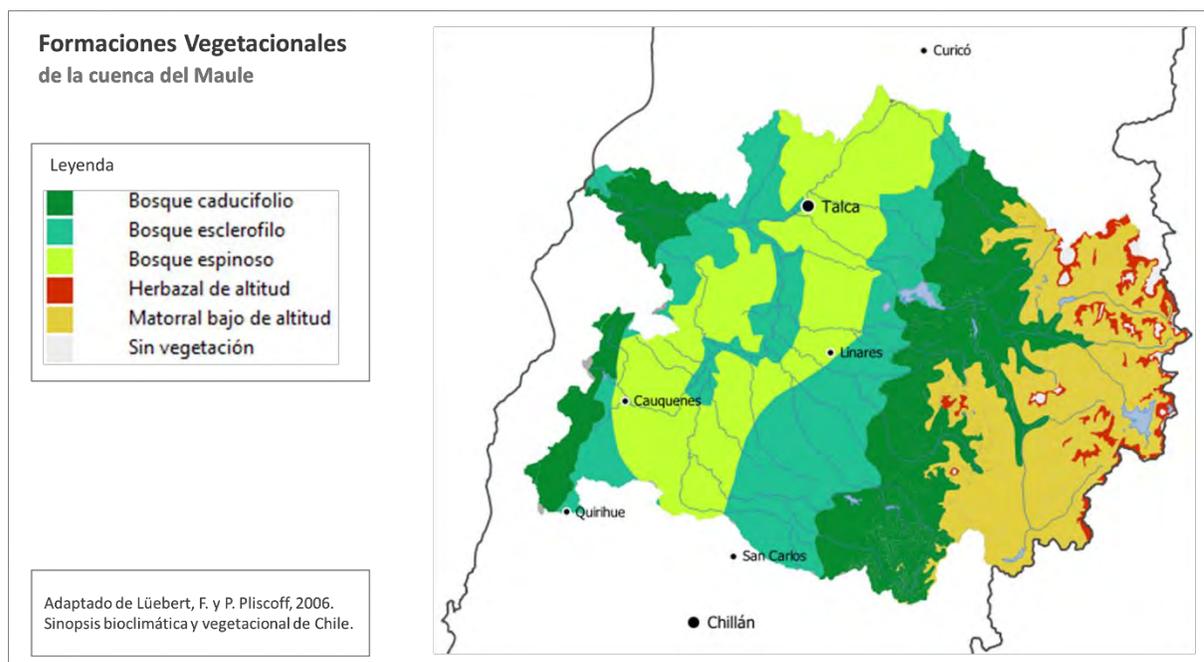
En directa relación con lo anterior, la biodiversidad de Flora y Fauna se ve influenciada por la continentalidad y topografía presente en el territorio. Gracias a estas variables es posible

encontrar variados elementos endémicos tales como el Bosque Maulino, el cual está conformado por el Roble Maulino, hasta diversas especies de *Calceolarias* y *Alstromerias*.

La flora que está presente en la estepa costera, en especial en las planicies y los terrenos antepuestos a la Cordillera de la Costa, es principalmente herbácea de carácter primaveral (DGA, 2004), frecuentando la presencia de cactáceas en las laderas y los matorrales en los fondos de quebrada como el Boldo, Canelo, Patagua y variados tipos de helechos del género *Lomaria*.

En el sector de la Cordillera de la Costa, entre los 600 y 1300 metros sobre el nivel del mar, se entremezclan formaciones vegetacionales del bosque esclerófilo y caducifolio, con especies como el Quillay, Litre, Maitén, Algarrobo Chileno, Patagua, Peumo, entre otros. Por otra parte, en la misma altitud en las pendientes extensas de Los Andes, se sigue encontrando este bosque mixto, pero a diferencia de lo mencionado anteriormente es un bosque más abierto sin coníferas, denominado principalmente por el género *Nothofagus*, como el Roble, Coihue y Olivillo.

En lo que respecta a la flora presente en el área del valle longitudinal de la cuenca predomina el Espino asociado a arbustos y pequeños árboles referentes a una vegetación herbácea, y vegetación característica de un bosque esclerófilo. La Cordillera de los Andes, por su parte, se caracteriza por arbustos o bien plantas tipo cojín dada las condiciones climáticas presentes (fuertes vientos y bajas temperaturas). Entre las especies arbustivas de baja altura que se pueden encontrar esta la Tepa, Adesmia y Yaretilla.



Fuente: Elaboración propia a partir de Lúbert y Pliscoff, 2006

Figura 2-14. Pisos vegetaciones de la cuenca del Río Maule

La Fauna terrestre de la cuenca se caracteriza por la presencia de especies típicas de la zona centro-sur del territorio nacional, las cuales ocupan ambientes variados desde la costa hasta la cordillera. La comunidad sabana está representada por un clima y vegetación mediterráneo, siendo asociada esta clasificación a anfibios como el Sapo Espinoso, reptiles como el Lagarto Llorón y la Lagartija lemniscata, aves como La Diuca y la Tenca y mamíferos como la Chinchilla, el Degú y Ratón de pastizal, entre otros (CONAF, 1999). En sectores con mayor altitud aumenta la precipitación y la presencia de especies del bosque esclerófilo y caducifolio, es posible observar especies del género *Acanthopelma* (tarántulas) y otras arañas migalomorfas. Además, es posible encontrar aves como la Turca, y mamíferos como el Degú de Bridges o el gato Huiña.

Por otra parte, según la clasificación de Man (1964), la comunidad de selva en la cuenca está representada por franjas que avanzan desde el sur por ambas cordilleras a oriente y occidente (CONAF, 1999). En esta clasificación la fauna se caracteriza por presentar de lado a lado, elementos propios de la selva austral, como el Monito del Monte y la Ranita de Darwin (CONAF, 1999).

Conforme a la nómina de especies según estado de conservación del ministerio del Medio Ambiente, actualizada en enero de 2020, en la cuenca del Maule es posible encontrar 31 especies en peligro de extinción (considerando hongos, invertebrados, plantas y vertebrados) y 6 en estado crítico:

- Reino Fungi: según fuentes del MMA en la región del Maule se encuentran 15 especies de hongos, de los cuales 2 de ellos se encuentran en peligro de conservación, los cuales son el *Boletus Loyo* y *Hiygrophorus nothofagi*.
- Reino animal; invertebrados: en lo que respecta a los invertebrados son contabilizados 12 especies de las cuales 2 de ellas se encuentran en peligro crítico de conservación y 3 en peligro de conservación. Entre algunas especies que están dentro de estas categorías está el Escarabajo, la Pancora y el Cascaduro de plata.
- Reino Plantae: este reino es el que presenta mayor número de contabilización de especies, siendo 59 el total de ellas según fuentes del MMA. De estas 59 especies, 20 de ellas se encuentran en peligro y 3 en estado crítico, algunas de las especies que se encuentran amenazadas son la *Alstroemeria achirae*, la *Chloraea disoides*, el *Nothofagus alessandri*, la *Ademia bijuga* entre otras.
- Reino animal; vertebrados: según la nómina del MMA son 6 especies que se encuentran en peligro y una en peligro crítico de conservación. Entre el grupo de vertebrados que se encuentra más afectados están los anfibios y los reptiles. Entre los anfibios que se encuentran en peligro de conservación nos encontramos con el Sapo de *vanzolinii* y el Sapo hermoso, por otra parte, tenemos el sapo de pecho que se encuentra en estado crítico de conservación.

2.2.4.2 Ecosistemas Acuáticos

Según el catastro del Inventario Nacional de Humedales (2011), en la cuenca del Maule existen 729 unidades, con una superficie de 2.670 ha. Dentro del Plan Nacional de Humedales la Laguna Invernada se caracterizó como prioritaria para ser declarada Santuarios de la Naturaleza, este cuerpo de agua se encuentra en la cuenca del río Maule, a 1.300 msnm, y tiene una superficie drenable de 7,5 km². Las principales amenazas son la pesca deportiva, introducción de especies exóticas que compiten por nichos de especies nativas, en relación con la avifauna, se observó colonias de loros choroy, cisnes de cuello negro y taguas común (MMA, 2016).

La flora y fauna acuática presente en la cuenca del río Maule cuenta con escasa información, por ende, se describen a continuación las especies identificadas en el informe de **“Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad, cuenca del río Maule, 2004”**, las cuales pertenecen al sector alto de la cuenca, específicamente a la subcuenca del río Ancoa. Se menciona que ninguna especie mencionada se encuentra en peligro de extinción, siendo la especie de flora acuática más representativa *Eleocharis*.

Los ecosistemas acuáticos que conforman el hábitat de las especies descritas se ven sometidos a un severo estrés hídrico en la cuenca, toda vez que el ciclo hidrológico se encuentra regulado y no se cumple con los caudales ecológicos mínimos en una buena parte de los nodos evaluados (numeral 5.2.2 del presente documento). Por esta razón se han considerado Soluciones Basadas en la Naturaleza tendientes a restablecer estos caudales mínimos.

2.2.4.3 Infraestructura Ecológica

Se encontraron dos estudios que analizan el territorio desde el punto de vista funcional:

- Ministerio del Medio Ambiente, elaborado por Universidad de Concepción. 2018. **“Planificación ecológica de la infraestructura ecológica de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos y programa regional de prioridades de restauración ecológica en el contexto de los incendios de la temporada 2016-2017: aplicación en Región del Maule”**.
- ENEL Generación Chile, elaborado por WSP. 2020. **“Estudio Hidroenergía por Diseño en la cuenca del río Maule”**.

Los que se describen a continuación.

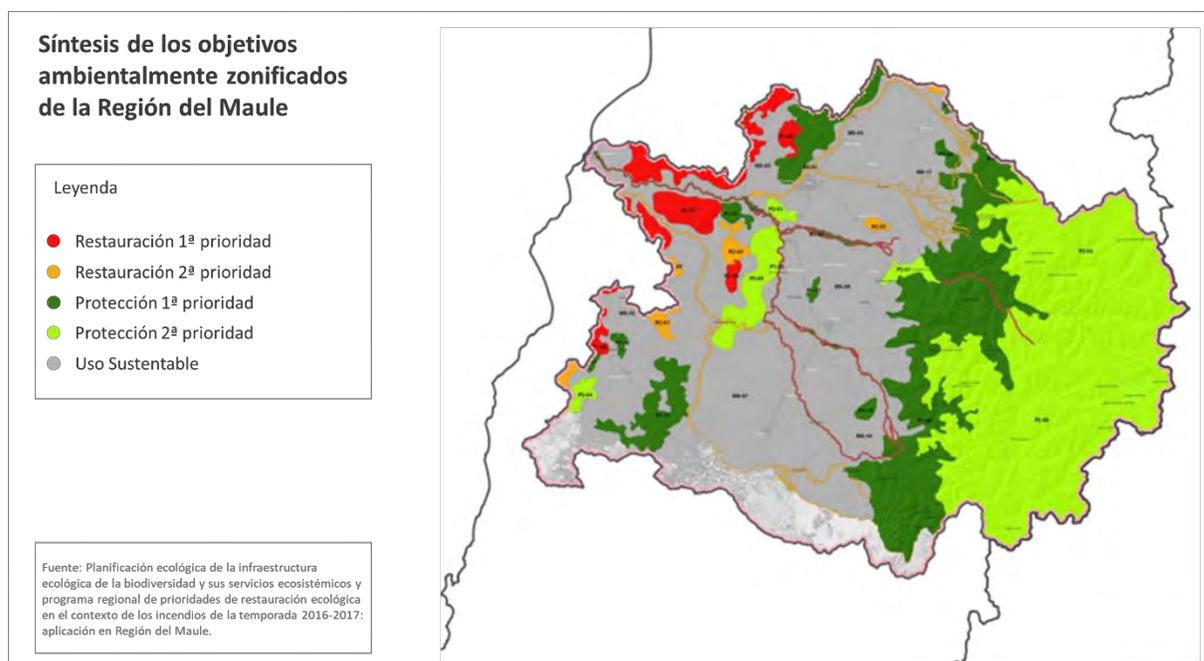
2.2.4.3.1 Infraestructura Ecológica

En el estudio “Planificación ecológica de la infraestructura ecológica de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos y programa regional de prioridades de restauración ecológica en el contexto de los incendios de la temporada 2016-2017: aplicación en Región del Maule” (UDEC, 2018), se definen unas áreas de protección, restauración y uso sustentable a partir de un análisis territorial de los servicios ecosistémicos.

Las **áreas de protección** corresponden principalmente a la región preandina de la cuenca del Maule, seguido de sectores específicos de la cordillera de la Costa.

Las **áreas de restauración** corresponden principalmente a sectores degradados de la cordillera de la costa, y a las márgenes de los ecosistemas acuáticos que cruzan la cuenca de este a oeste.

Las **áreas de uso sustentable** corresponden a los territorios que no son de protección ni restauración.



Fuente: UDEC, 2018.

Figura 2-15. Síntesis de los objetivos ambientalmente zonificados de la Región del Maule.

2.2.4.3.2 Hidroenergía por Diseño en la cuenca del río Maule

El estudio identificó tres Objetos de Conservación (OC): Laguna La Invernada, Laguna El Maule y Ruta Pehuenche, y El Melado.

- **Laguna La Invernada** presenta un alto potencial de turismo regulado, de alto valor nacional en conservación ejemplificado en que es uno de los humedales prioritarios a nivel nacional. Dada sus características naturales, geológicas y ecológicas, podría ser un laboratorio natural importante para la investigación científica, y desarrollar conciencia a través de programas de educación ambiental. ENEL lleva a cabo algunas iniciativas con las comunidades locales que potencian su importancia. El área está ubicada en un sitio de restringido acceso que facilita su gestión dada la influencia y propiedad de Enel sobre este.
- **Laguna El Maule y ruta Pehuenche**, presenta buenas posibilidades de mejoras en el actual desarrollo turístico, mejorando la infraestructura para potenciar un desarrollo turístico sustentable. Es una zona de alto valor escénico, importante para la comunidad. Posee elementos naturales y sociales ya reconocidos y valorados. De condiciones geográficas extremas, propias de esta área. Cabe destacar que Laguna el Maule tiene una zona declarada Bien Nacional Protegido, por otro lado, es Sitio Prioritario y para Enel constituye una fuente de recursos para sus operaciones.
- **El Melado**, destaca por buenas condiciones de infraestructura natural, sin actividades antrópicas de envergadura como la hidroeléctrica en su parte alta, sin embargo, presenta focos de presión antrópica. Su potencial está en la interrelación con localidades cercanas, a diferencia de las otras áreas, cuya población es flotante.

De los 3 OC prioritarios el estudio concluye que es posible seleccionar la Laguna la Invernada y laguna El Maule-Ruta Pehuenche para el desarrollo de un Plan de Conservación, por cumplir los requisitos en base a su valoración socio ambiental, y de salud del ecosistema para ello, considerando las capacidades de gestión de Enel en el territorio. Respecto al Cajón río Melado -Ampliación RN Los Belloto siendo este también un área de importancia socioambiental posee un grado de amenaza mayor en término de IRE al compararlo con los otros dos OC, por tanto, requiere un Plan de Reparación. Esto significa que, dada sus características, se requeriría de un esfuerzo mayor en término ambientales y económicos, para enfrentar las amenazas del área y mejorar la resiliencia de sus ecosistemas, siendo más adecuado para este OC considerar primeramente acciones de restauración más que de conservación.

- **Laguna La Invernada**, está consolidada por su alto valor para conservación, al formar parte del Plan Nacional de Humedales 2018-2020. Presenta elementos de valor arqueológicos y un área de gran belleza escénica, con potencial desarrollo de un turismo

regulado. dado su acceso restringido. El grado de riesgo ecológico de acuerdo con los **resultados del IRE fue de un "valor medio", esto es por no presentar amenazas importantes** en términos de frecuencia (los estresores varían entre un 1% a 28 %, destacando central hidroeléctrica con y sin embalse, extracción de agua por bocatomas), con ecosistemas bajo condiciones resiliente. Esto se traduce, que es posible manejar los estresores a través de acciones contenidas en un PCA. Por otra parte dada sus características naturales geológicas y ecológicas, puede constituirse en un laboratorio natural, con aportes a la investigación científica, y una oportunidad para sensibilizar a través de programas de educación ambiental. Enel posee directa influencia en este sector pues el acceso es por sus predios, lo cual es una ventaja en términos de gestión de la conservación.

- **Laguna El Maule-Ruta Pehuenche**, está consolidada por su alto valor para conservación, pues por un lado constituye un sitio prioritario, destacado en la Estrategia Regional de Biodiversidad, y está protegido por el Ministerio de Bienes Nacionales (Dto.254). Presenta un área de gran belleza escénica, y presenta diversos objetos culturales importantes de proteger, usos tradicionales de recursos, desarrollo de actividades turísticas, recreativas y fiestas patrimoniales. Es más, forma parte de iniciativas regionales para relevarlo como un polo de desarrollo turístico y constituye un sitio estratégico por limitar con Argentina. Es un sector de acceso restringido dada por sus dificultades climáticas, siendo muy limitado en períodos invernales. El grado de riesgo **ecológico de acuerdo con los resultados del IRE fue de un "valor medio", las amenazas más importantes** en términos de frecuencia fueron por acciones por turismo, centrales hidroeléctricas de embalse y modificación de ribera, pero es un área que presentó ecosistemas bajo condiciones resilientes. Esto se traduce que es posible manejar las amenazas que enfrenta el área, a través de acciones contenidas en un PCA. Por otra parte dada sus características naturales geológicas y ecológicas, puede constituirse en un laboratorio natural, con aportes a la investigación científica, y una oportunidad para sensibilizar a través de programas de educación ambiental. Enel posee directa influencia en este sector, posee predios cercanos, que junto a la categoría de sitio prioritario representa una ventaja en términos de gestión de la conservación.

- **Cajón río Melado -Ampliación RN Los Belloto**, es un área de una gran infraestructura natural, con un sector en la parte alta de difícil acceso y sin urbanización, sin embargo, hacia aguas abajo la presión antrópica va en aumento, con una gran diversidad de amenazas entre las que se destaca las centrales hidroeléctricas (con embalse 31,53%) y sin embalse con trasvasije de aguas (17,52%) y modificación de ribera (13,71%). El ecosistema ante esta presión es vulnerable lo que le confiere alta sensibilidad con baja capacidad de soportar presiones sin verse afectado, de ahí la necesidad de recuperarlo vía primeramente acciones enfocadas a la restauración para posteriormente dar pie a la conservación. Cabe destacar que la Ampliación RN Los Bellotos constituye un sitio prioritario aledaño a la Reserva Nacional Los Bellotos que forma parte del SNASPE (protección oficial), precisamente por sus ecosistemas representativos destacando el bosque maulino, que forma parte de un hotspot de biodiversidad que releva a esta región en su importancia de protección de la biodiversidad. Es un área de gran belleza escénica y de importancia en sus objetos culturales, prácticas locales, actividades recreativas y

turísticas, festividades religiosas, etc. También en su parte alta se localiza un humedal altoandino importante de conservar que constituye un sitio prioritario La Laguna Dial, por lo que es un sitio interesante que podría constituir a futuro un gran corredor biológico conectando los sitios de protección oficial y no oficial, bajo una articulación de actores que represente una buena gobernanza.

2.2.4.4 Amenazas sobre los Ecosistemas

En la arista contraria a la conservación de los ecosistemas, se encuentran los factores que inciden en su deterioro. Se describen tres amenazas principales, el reemplazo (pérdida) de ecosistemas naturales, los incendios forestales, y el browning o proceso de desecación de ecosistemas de Chile central.

Browning

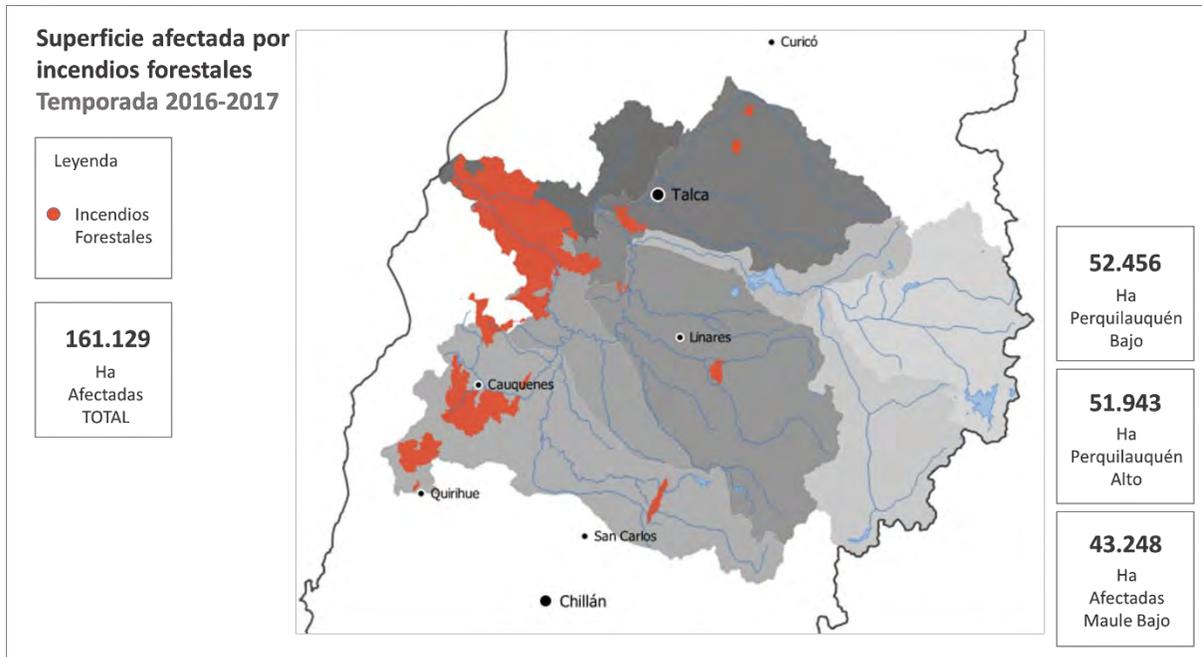
Un análisis de 13.000 km² del índice de verdor en bosques nativos de la zona centro de Chile, realizado para el período 2001-2017 mediante imágenes satelitales MODIS, reveló una pérdida de verdor de sus árboles debido a la megasequía que se ha mantenido desde el año 2010. Pese a que este tipo de bosque se caracteriza por su resistencia a la escasez de precipitaciones, la secuencia ininterrumpida de años secos, con un déficit que oscila entre el 25 % y el 45 %, ha provocado este fenómeno conocido en inglés como browning (Miranda et al, 2020).

Uno de los efectos del browning es que dejaría más vulnerable al bosque esclerófilo ante impactos indirectos del cambio climático, como cambios en la cobertura del suelo, invasiones biológicas, un mayor número de incendios, deforestación y eventos extremos. De hecho, todos ellos pueden ocurrir simultáneamente, generando sinergias provocadas por otros procesos que afectan la estructura de las comunidades forestales, modificando, por ejemplo, el régimen hídrico en el ecosistema y el ciclo de nutrientes en los suelos, como también afectando a la biodiversidad que sustentan.

Incendios forestales

Si bien no se establece una correlación con el proceso de browning, en la temporada 2016-2017 se registraron incendios forestales de gran magnitud en la zona central de Chile. El 93% de la 518.174 ha afectadas por los incendios forestales ocurridos entre el 01 de enero y 10 de febrero de 2017, corresponde a formaciones vegetales. La región del Maule fue la más afectada con un 54% de la superficie total quemada, le siguen las regiones de Biobío y O'Higgins con 19,2% y 17,4% respectivamente (CONAF, 2017). En particular, la

temporada de incendios forestales del verano 2016 – 2017 resultó en una superficie quemada de 161.129 ha en la cuenca del Maule⁵.



Fuente: Elaboración propia a partir de coberturas CEDEUS.

Figura 2-16. Superficie afectada por incendios forestales (temporada 2016-2017)

Para la región del Maule, los bosques nativos representan 29.009 ha (10,4%) de las 280.106 ha afectadas. La mayor proporción corresponde a plantaciones forestales, con 165.016 ha (58,9%). El principal tipo forestal afectado es Roble Hualo, con 10.497 ha, seguido de bosques mixtos, con 8.176 ha, y bosque esclerófilo, con 6.579 ha. En menor medida se vieron afectadas formaciones de Roble-Raulí-Coihue, Ciprés de la Cordillera y bosques siempreverdes.

Reemplazo de ecosistemas

Pliscoff (2020a) señala que el análisis de pérdida de los ecosistemas en el río Maule da cuenta de niveles de pérdida histórica muy elevados, especialmente en la zona costera e interior. El Bosque Caducifolio costero ha perdido más del 80% de su superficie original,

⁵ Análisis propio a partir de cartografías disponibles en CEDEUS

los Bosques Esclerófilos y Espinoso han perdido más del 70% de su superficie, lo que da cuenta del alto grado de perturbación antrópica en la cuenca. Los ecosistemas andinos no presentan cambios en su superficie entre los dos periodos lo que podría estar relacionado a la definición del catastro⁶, que identifica este tipo de ecosistemas en zonas más amplias que la definición histórica.

Este mismo autor señala que para una comparación de usos de suelo entre 1996 y 2016, las comunas de la cuenca del Maule que muestran más expansión agrícola son las de Cauquenes (7,6%) y Retiro (7,0%). En ambos casos, la agricultura se expandiría en áreas de Bosque Espinoso interior. En forma complementaria, se observó la expansión de las plantaciones forestales, especialmente en las comunas del sector de la cordillera de la costa de la cuenca. La comuna de Cauquenes presenta una expansión de un 27,9% de su superficie dentro de la cuenca, luego sigue Pencahue (27,3%) y Empedrado (25,5%).

Este reemplazo se relaciona también con la ocurrencia de incendios forestales en esta zona, siendo el mega incendio del año 2017 el mayor evento registrado, donde en toda la zona **costera entre las regiones de O'Higgins y del Biobío** se quemaron alrededor de 450 mil hectáreas (Pliscoff et al. 2020b), y 250.000 ha en la cuenca del Maule, según se complementó en entrevista sostenida con la Corporación Nacional Forestal regional⁷, donde se precisó que la superficie quemada en la temporada de incendios 2016-2017 alcanzó a 28.000 hectáreas de bosque nativo en la cuenca. Además, se destacó que en la región existe una gran cantidad de zonas con matorral nativo en el secano interior (330 mil ha), que corresponden a bosques degradados que se pueden recuperar. Un concepto que maneja CONAF es el de cuenca abastecedora de agua, donde priorizan aquellas cuencas con asentamientos humanos asociados, y se espera desarrollar una estrategia de recuperación de la vegetación en el contexto del Fondo Verde del Clima.

2.2.4.5 Conservación de Ecosistemas

La protección de los ecosistemas se puede manifestar de distintas maneras, ya sea mediante declaraciones públicas (Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado, SNASPE), privadas (Red de Áreas Protegidas Privadas, RAPP); o también mediante estrategias de conservación que implican otros niveles de protección mediante gestión, al establecer incentivos o restricciones sobre corredores biológicos o zonas de relevancia a nivel regional. Las distintas áreas protegidas se describen a continuación, y se presentan en la Figura 2-17.

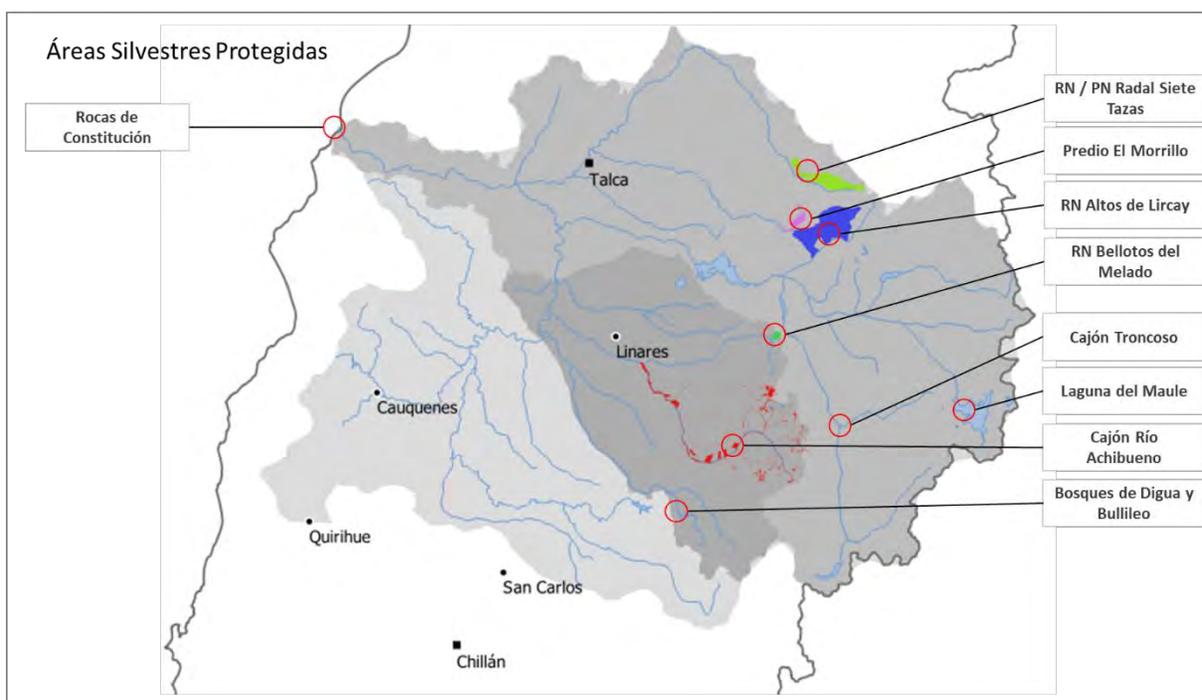
En la cuenca del río Maule se localizan 4 sitios dentro del **Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE)**, tres de ellas Reservas Nacionales y uno como Parque Nacional: Reserva y Parque Nacional Radal Siete Tazas, Reserva Nacional

⁶ Catastro de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile (Catastro de Bosque Nativo).

⁷ Según Minuta de reunión de fecha 26 de octubre de 2020.

Altos de Lircay y la Reserva Nacional Los Bellotos del Melado. En la cuenca del Maule se localizan 3 áreas protegidas bajo la denominación de **Santuarios de la Naturaleza**: el predio El Morrillo (1.100 ha bajo protección), Rocas de Constitución (108 ha) y Cajón del río Achibueno (3.327 ha). La cuenca del río Maule posee 18 sitios referidos a la **Estrategia Regional de Conservación de la Biodiversidad** según fuentes del Ministerio del Medio Ambiente y su visualizador de "Registro Nacional de Áreas Protegidas". En total suman 211.476 hectáreas, donde destacan la Laguna del Maule – Cajón de Troncoso (66.601 ha); Agua fría, Ampliación Reserva Radal 7 tazas (estero Toro), con 21.526 ha; entre otras.

Adicionalmente, en la cuenca se encuentran dos **Sitios Prioritarios de conservación de la biodiversidad**: Altos de Achibueno y Bosques Nativos de Digua y Bullileo. Dentro de la Cuenca del Maule se encuentran 13 áreas registradas en la Red de Áreas Protegidas Privadas (RAPP), y 5 Iniciativas de Conservaciones Privadas insertas en la plataforma del Registro Nacional de Áreas Protegidas. Se registran además los siguientes **Bienes Nacionales Protegidos**: Laguna del Maule, y Potrero Lo Aguirre. En complemento, existe una red de **Áreas Protegidas Privadas (APP)**, que se definen como un área protegida bajo el control o que pertenece a un individuo, cooperativa, organismo no gubernamental (ONG) o corporación, manejada con o sin fines de lucro. En la cuenca existen 13 APP, con un total de 10.021 ha.



Fuente: DGA, capas temáticas.

Figura 2-17. Áreas Silvestres Protegidas en la cuenca del Maule

2.3 Dimensión construida

Las obras de regulación y generación eléctrica, así como los sistemas de riego han modificado el régimen natural de los recursos hídricos en la cuenca de forma significativa. Se trata de un sistema complejo, con distintos elementos de acumulación, trasvase y distribución, que al mismo tiempo constituye un activo al momento de la planificación estratégica de soluciones basadas en la gestión y en la naturaleza. Un aspecto que resulta de la operación del sistema en su conjunto lo constituyen los caudales ecológicos, que si bien cuentan definiciones de montos y períodos, estas son limitadas y dispersas, y para su solución se requiere un acuerdo conjunto entre todos los usuarios de la cuenca.

A continuación se describe cada uno de los componentes de esta red de infraestructura, y las relaciones que existen entre sí. En un segundo término, se describe la red hidrométrica y la de calidad de aguas, ambas mantenidas por la Dirección General de Aguas, las que representan la principal fuente de información pública para el seguimiento de los impactos (indicadores de impacto) de la gestión integrada de recursos hídricos en la cuenca.

2.3.1 Obras de regulación y generación eléctrica

En la Cuenca del Maule existen nueve **embalses** que son utilizados para generación eléctrica o de uso mixto (riego y generación eléctrica). Los embalses son: El Melado, Laguna Invernada, Laguna del Maule, Colbún, Bullileo, Digua, Tutuvén, Anca y Machicura, que en conjunto regulan 3.743 Hm³ de agua. Destacan el embalse Colbún (1.544 Hm³) y la laguna del Maule (1.420 Hm³). La distribución de estas obras en la cuenca se presenta en la Figura 2-11 y en la Figura 2-18.

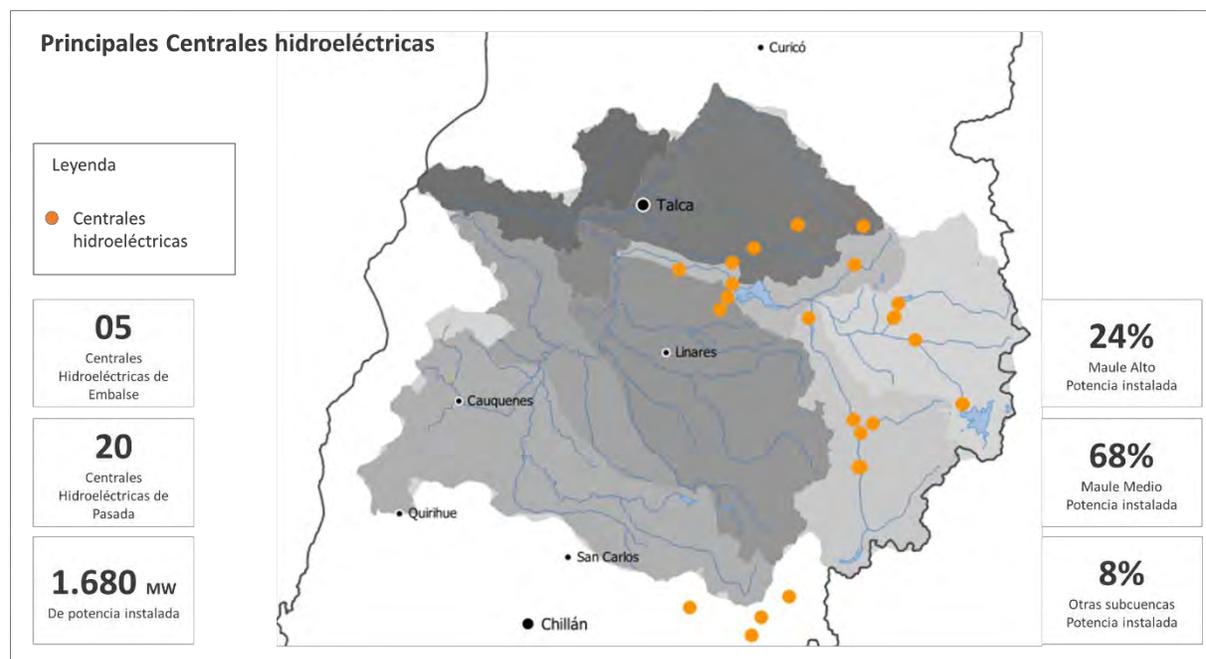
La generación eléctrica asociada a estos embalses se realiza en **25 centrales hidroeléctricas** tipo embalse y de pasada. En su mayoría se ubican en subcuenca Alta del Maule y Media – Baja del Maule. Las principales centrales con respecto a la potencia son Colbún y Pehuenche. En su conjunto, la potencia de las centrales hidroeléctricas de la cuenca tiene una potencia instalada de 1.680 MW.

Uno de los aspectos relevantes de las obras de regulación existentes, es que en su mayoría corresponden a almacenamiento de derechos de aprovechamiento no consuntivos para generación, no obstante su capacidad total supera la demanda consuntiva de la cuenca, que se estima en 2.156 Hm³ para el año 2020.

Esta asimetría es parte fundamental de la coordinación entre usuarios, que en parte está regulada por el Decreto Supremo MOP N° 3.341, de fecha 11 de noviembre de 1947, para la explotación de las aguas de la Laguna del Maule, que fue flexibilizado mediante convenio Ad-Referendum de diciembre de 2015. Estos acuerdos son críticos, ya que los volúmenes embalsados en esta Laguna se encuentran muy por debajo de la media histórica, y se espera recuperarla a lo menos hasta 800 Hm³.

En la misma línea de acuerdos, en octubre de 2020 se alcanzó un acuerdo de colaboración entre la empresa Colbún S.A. y las organizaciones de usuarios de agua del río Maule, para

que el embalse Colbún almacene entre 100 a 130 Hm³ al año de aguas de deshielo, con un máximo de 230 Hm³. Este acuerdo no tiene costos de implementación y se definió una vigencia de 05 años.



Fuente: Elaboración propia.

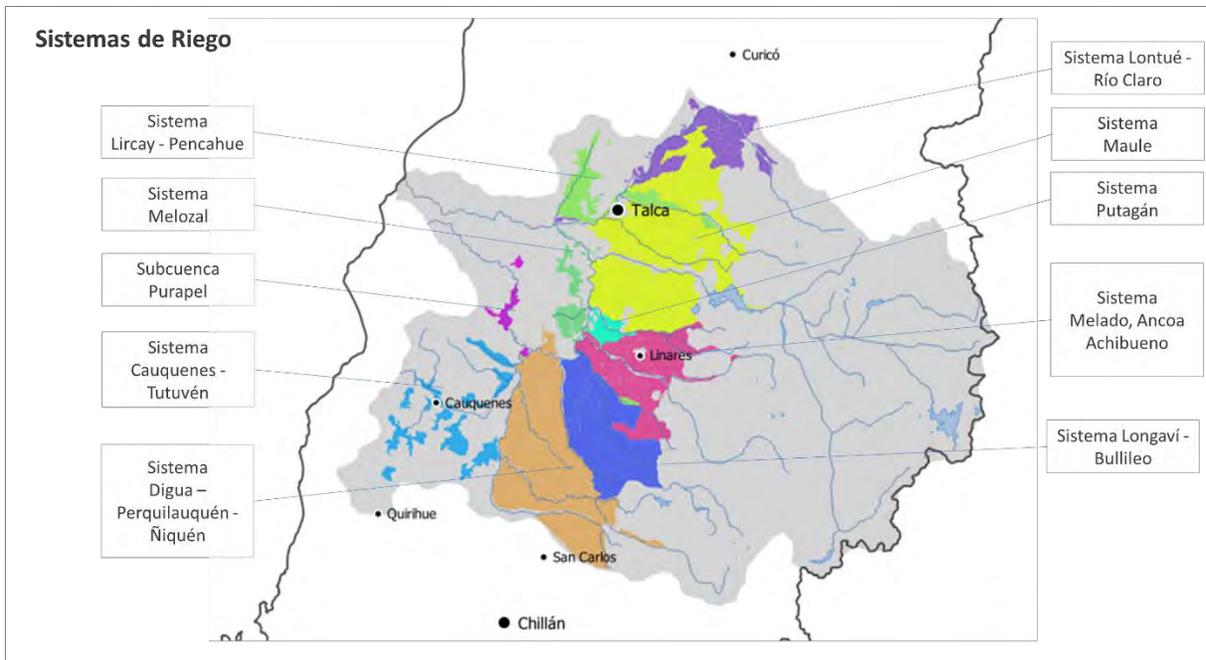
Figura 2-18. Principales Centrales Hidroeléctricas de la cuenca del Maule

2.3.2 Sistemas de Riego

En complemento a las obras de regulación ya descritas, la Cuenca del río Maule se caracteriza por poseer una extensa y compleja red de canales, que en su conjunto representa un activo de igual valor que la capacidad embalsada. Esto porque permite, por un lado, la distribución de las aguas de riego requeridas para los distintos sistemas que se describen, pero también representa una red de recarga (voluntaria o involuntaria) de los acuíferos, abasteciendo en forma directa a múltiples usuarios de aguas subterráneas en sus inmediaciones.

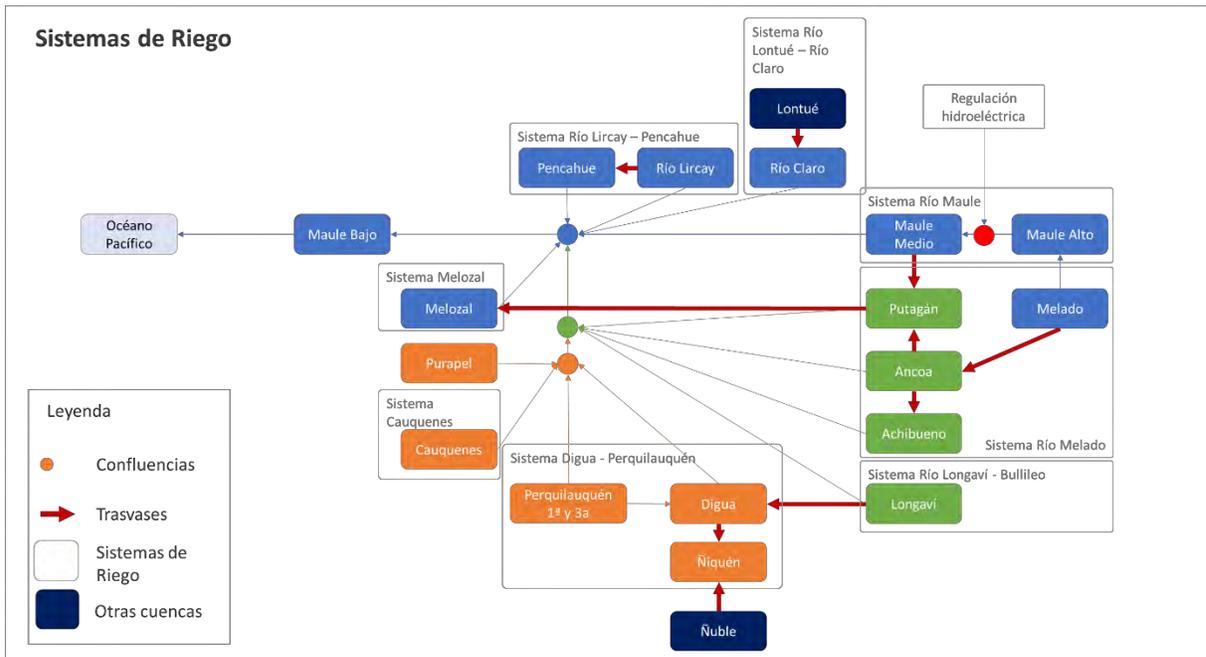
Dado el valor de este activo en el funcionamiento de la cuenca, se requiere la elaboración de Planes específicos que definan zonas de recarga de acuíferos y otras de control de pérdidas, en conjunto con un programa de operación en temporada de invierno y verano.

Los sistemas de riego se presentan en la Figura 2-19, mientras que en la Figura 2-20 se esquematizan las relaciones que se establecen entre ellos. A continuación se describe brevemente cada uno de los sistemas mencionados.



Fuente: DGA, 2008.

Figura 2-19. Distribución de los Sistemas de riego en la cuenca del Maule



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-20. Diagrama de los sistemas de riego de la cuenca del Maule

2.3.2.1 Sistema Maule

El Sistema Maule cuenta con una demanda potencial de 2.670 Hm³ de agua por temporada, en función de las acciones asignadas y su equivalencia, considerando una seguridad de riego de un 85%⁸. Esta demanda corresponde a una superficie máxima de 200.000 ha.

Según indican los usuarios, la disponibilidad de agua es variable por temporada, y el déficit se pronuncia hacia fines de la temporada de riego, llegando a tasas de reparto del 55% en el mes de febrero (temporada 2019-2020 se repartieron 100 Hm³, para una demanda de 180 Hm³). Esto se debe a que se anticipan los deshielos primaverales.

La disponibilidad promedio en las últimas 10 temporadas se encuentra en torno a los 2.300 Hm³. Para la temporada 2019-2020, la disponibilidad bajó a 1.770 Hm³.

El déficit de agua ha sido sorteado mediante aumento de eficiencia, y la variación de cultivos para adaptarse a la disponibilidad real de agua en el tiempo. El cambio a frutales, con tecnificación incluida, ha sido más que relevante.

El sistema está compuesto por 6 canales matrices principales, los cuales se presentan a continuación:

- Canal Maule Norte Alto y Bajo, 22.000 ha de riego
- Sistema Maitenes, 20.000 ha
- Canal Maule Sur, 14.300 ha
- Canal de devolución Machicura, 38.500 ha
- Canal San Clemente, 32.000 ha (estimado)

Este sistema cuenta con acuerdos de regulación para acceder a aguas de la Laguna del Maule y al embalse Colbún. Así mismo, trasvasa aguas al sistema Melozal.

Los usuarios identifican como soluciones principales la obtención de acuerdos con las empresas hidroeléctricas, la tecnificación del riego y la automatización, y priorizan además un embalse de regulación de 250 Hm³ en la zona del río Claro (sector Altos de Lircay).

2.3.2.2 Sistema Río Lontué - Río Claro

Este sistema comprende las zonas de riego ubicadas en ambas riberas del río Claro. Recibe un trasvase de aguas desde el río Lontué (10.000 l/s), que se suman a un caudal similar obtenido a partir del mismo río Claro, enterando 20.000 l/s. La superficie potencial de riego en función de los derechos de agua existentes es de 18 a 20.000 ha⁹.

⁸ Según Minuta de entrevista a organizaciones de usuarios del Maule de fecha 21 de octubre de 2020.

⁹ Según Minuta de entrevista con Junta de Vigilancia de Río Claro, de fecha 28 de octubre de 2020.

Los canales principales son Mercedes, Galpón, Molina Opazo, Bellavista Porvenir, San Luis. Además canal Cumpeo (5.000 l/s, derechos eventuales, que trae aguas del Lontué, tiene asociada la Central Hidroeléctrica Cumpeo); canal Pelarco Buena Unión, y se suma Canal Purísima Concepción, que atraviesa el río Claro, y se divide en el canal Chapes (con aguas del Lontué), y canal Peñaflor (con aguas del Claro).

Aguas debajo de la jurisdicción de la Junta de Vigilancia del Río Claro se encuentra el sector de San Rafael (comunidades de San Rafael, Camarico, Las Paredes, Alto Pangué), que extraen hasta 4m³/s desde el Río Claro, que corresponden a una superficie regada de 4.000 ha. **Este sector se abastece de derrames y "renuncios" de agua de la sección precedente**¹⁰.

Los usuarios identifican como soluciones para el déficit de aguas el revestimiento de canales y la recarga de acuíferos.

2.3.2.3 Sistema Río Lircay - Pencahue

La superficie bajo riego en el sector el río Lircay se cruza con el área abastecida por el canal Maule Norte. En total se riegan 20.000 ha, correspondientes a 6.035 acciones, con un reparto de 1,465 l/s por acción. De este total, 10.000 ha se riegan en Lircay, y otras 10.000 ha se riegan en la cuenca del estero Los Puercos a través del canal Pencahue (los usuarios señalan que este canal tiene 2.900 acciones inscritas en la Junta de Vigilancia, pero cuenta con más de 8.000 acciones disponibles)¹¹.

El canal Pencahue trasvasa las aguas provenientes del río Lircay, aguas debajo de la quebrada Arenas, al valle de Pencahue. Cuenta con una capacidad de 12 m³/s y una longitud de 30 km.

2.3.2.4 Sistema Melozal

La zona de Melozal no cuenta con cursos de agua relevantes, por lo que originalmente no contaba con riego.

Actualmente el sector cuenta con 7.675,6 acciones, que se traducen en 8.000 m³/s de caudal, de los cuales 6.000 m³/s provienen del río Maule y 2.000 m³/s del río Putagán. La superficie regada se estima en 11.000 a 12.000 ha al año¹².

El canal Melozal tiene su bocatoma en la ribera sur del río Putagán y alcanza una longitud de 37 km. Este canal cruza el río Loncomilla mediante un puente – sifón y posteriormente ingresa al valle de Melozal.

¹⁰ Según Minuta de entrevista con usuarios sector San Rafael, de fecha 28 de octubre de 2020.

¹¹ Según Minuta de entrevista con Junta de Vigilancia del Río Lircay, de fecha 28 de octubre de 2020.

¹² Según Minuta de entrevista con Junta de Vigilancia de Melozal, de fecha 29 de octubre de 2020.

Este canal cuenta con una capacidad de 10,5 m³/s y una longitud de 37 km, que le permite regar una superficie de 8.500 ha ubicadas en el valle del Melozal, al sur del río Loncomilla. En cuanto a la red de canales secundarios, esta suma una longitud de 71,5 km.

2.3.2.5 Sistema Melado

Este sistema está formado por la red de canales que captan sus aguas desde los ríos Ancoa, Achibueno y canal Melado fiscal. Dicho canal traspasa aguas desde el valle del río Melado al valle central, con una capacidad de 19 m³/s, haciendo finalmente la entrega de aguas al río Ancoa. Este sistema riega desde el río Putagán por el norte hasta el río Longaví por el sur, y desde el cordón del valle del Melado por el este hasta el río Loncomilla por el oeste.

El canal Putagán cuenta con 5.000 l/s, y riega una superficie de a lo menos 5.714 ha (según estudio de la Universidad Católica de la Santísima Concepción). A la fecha, la Junta de Vigilancia cuenta con sentencia y directorio provisorio, pero está pendiente la resolución de la Dirección General de Aguas. En estos momentos no se encuentra operativa.

En este sector, el canal Melado cuenta con 04 canales que sacan agua del Putagán, pero son aguas de su propiedad. Los principales canales en este sector son: Melozal (2.000 l/s, que trasvasa a esa cuenca), Putagán (5.000 l/s), Viznaga (963 l/s), Matanzas (canal del Melado), San Bartolomé (130 l/s), El Carmen (237 l/s), Valenzuela (25 l/s) y La Unión.

La **Junta de Vigilancia del río Ancoa** administra el embalse Ancoa, con una capacidad de 80 Hm³, de los cuales el 55% corresponden al río Achibueno. Según señalan¹³, cuentan con una superficie potencialmente regada de 7.500 ha, con una seguridad de riego cercana al 75%. Destacan la necesidad de avanzar en el proyecto del embalse Ancoa sitio original, en el sector de Roblería, cuya prefactibilidad debe ser evaluada. Este proyecto permitiría dar mayor seguridad de riego y aumentar la superficie efectivamente regada.

La **Junta de Vigilancia del Río Achibueno** cuenta con una superficie regada de 20.000 ha, según el Estudio de prefactibilidad Mejoramiento del sistema de riego en Río Achibueno, Región del Maule (CNR, 2014b). Cuentan con 13.379 acciones, con una equivalencia de 1,5 l/s por acción. Estiman la seguridad de riego en un 60-65%, y su principal aspiración es la materialización del embalse del mismo nombre¹⁴.

2.3.2.6 Sistema Bullileo – Longaví

Corresponde al sistema de canales que riegan el área comprendida entre el río Longaví y el estero Liguay por el norte, y el estero Parral por el sur. Desde el río Longaví nacen una serie de canales, que en conjunto suman 396,7 km de longitud, abasteciendo una superficie

¹³ Según Minuta de entrevista con Junta de Vigilancia del Río Ancoa, de fecha 30 de octubre de 2020.

¹⁴ Según Minuta de entrevista con Junta de Vigilancia de Río Achibueno, de fecha 27 de octubre de 2020.

de 30.000 ha, según el Estudio de prefactibilidad Construcción sistema de riego Embalse Longaví, Región del Maule (CNR, 2015). La Junta de Vigilancia de la primera sección estima la seguridad de riego en un 69%, y que con el embalse Bullileo sube a 83%¹⁵. Actualmente el embalse Bullileo almacena 60 Hm³ de agua, y se espera sumar 279 Hm³ con el embalse Longaví, que se encuentra dentro de los embalses priorizados en la región.

Desde el río Longaví se trasvasan 25 m³/s de derechos de aprovechamiento de aguas eventuales hacia el embalse Digua, a través del Alimentador Digua.

El sector cuenta con dos Juntas de Vigilancia. La primera sección cuenta con una Junta de Vigilancia constituida, mientras que la segunda sección se encuentra en trámite.

2.3.2.7 Sistema Digua – Perquilauquén – Ñiquén

Este sistema de riego aprovecha los recursos hídricos de los ríos Perquilauquén, Cato y Ñiquén, y el embalse Digua (255 Hm³), que recibe aguas desde el río Perquilauquén y el alimentador Digua, que viene de Longaví.

Complementariamente, el canal Perquilauquén – Ñiquén hace un trasvase desde el río Perquilauquén al Ñiquén, regando el área de Ñiquén con un caudal de 5 m³/s. El canal tiene una longitud de 11,7 km. El canal Perquilauquén Fiscal riega el área al sur occidente del sistema Digua – Perquilauquén. Tiene una capacidad de 5 m³/s y una longitud de 32 km. En su conjunto, cuentan con una superficie de 20.000 a 21.000 ha bajo riego del embalse, en las comunas de Parral, Retiro y Ñiquén¹⁶.

Además del área bajo riego del embalse Digua, se cuenta con las secciones 1 y 3 del río Perquilauquén, cuyas Juntas de Vigilancia no han sido reconocidas por la DGA.

La 1ª sección del río Perquilauquén cuenta con 5.000 ha bajo riego, aproximadamente. Pero el desarrollo agrícola es incipiente. Los acuíferos en esta zona son superficiales, el agua está a pocos metros. Señalan que los pozos en comunidad no han dado buenos resultados, y que identifican el financiamiento de proyectos de pozos como una limitante. La tecnificación es muy baja, sobre todo en los pequeños usuarios (limitantes económicas, técnicas, etc.).

La 3ª sección del río Perquilauquén cuenta con una superficie regada de 5.000 a 7.000 ha, y se alimentan agua proveniente de derrames del sistema Digua. Realizan elevación mecánica de las aguas, los canales están revestidos y la eficiencia de riego es alta. Todas las empresas agrícolas cuentan con pozos, y se cuenta con bastante desarrollo en este punto.

¹⁵ Anexo D Minuta de entrevista con Junta de Vigilancia de Río Longaví, 1ª sección, de fecha 27 de octubre de 2020.

¹⁶ Anexo D Minuta de entrevista a usuarios del río Perquilauquén, de fecha 27 de octubre de 2020.

2.3.2.8 Sistema Cauquenes – Tutuvén

Este sistema está formado por un conjunto de canales que suman 72 km de longitud, constituidos por el canal Tronco y los derivados Rosal Matriz, Rosal Alto, Rosal Bajo, Derivado San Miguel, Cauquenes, Pilén, Miraflores, El Boldo y Montebruno.

El embalse Tutuvén tiene una capacidad de 22 Hm³, aunque según información de los usuarios de agua¹⁷, alcanza un llenado de 15 Hm³ con una reserva de 4Hm³, regando una superficie de 1.000 a 1.200 ha. El 30% de la superficie está tecnificado, el resto se riega por tendido.

2.3.2.9 Subcuenca del río Purapel

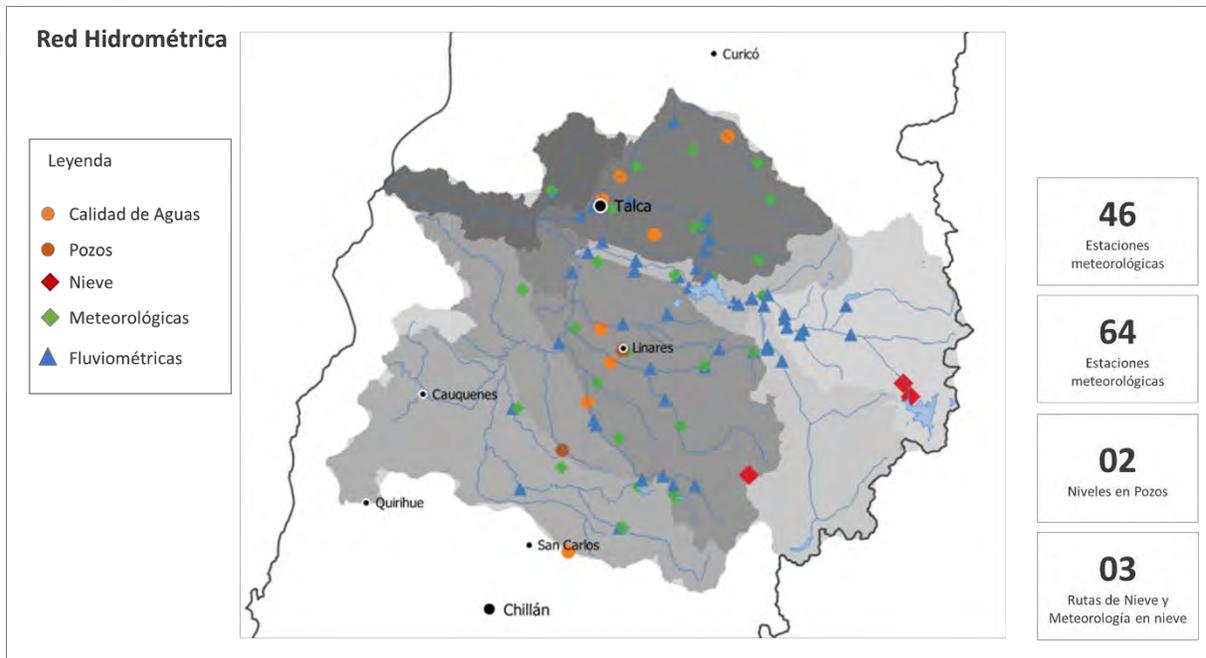
La subcuenca del río Purapel funciona en forma separada del resto de las unidades de riego de la cuenca del Maule. Se estima que cuenta con una superficie regada de 318 ha. Se dispone de escasa información para este sector, y la participación de los usuarios es particularmente baja en el contexto de la cuenca del Maule.

2.4 Red de Monitoreo de aguas

2.4.1 Red Hidrométrica de la Dirección General de Aguas

La cuenca del Maule dispone una **red hidrométrica** vigente con 46 estaciones meteorológicas y 64 fluviométricas. Respecto a las estaciones de medición de sedimentos la cuenca dispone de 03 estaciones en los cauces de Purapel, Loncomilla y Río Maule en Forel. Además, se dispone de la información de 03 estaciones suspendidas. La distribución de estas estaciones se presenta en la Figura 2-21.

¹⁷ Anexo D Minuta de entrevista a usuarios del embalse Tutuvén, de fecha 26 de octubre de 2020.



Fuente: Elaboración propia a partir de antecedentes DGA 2020.

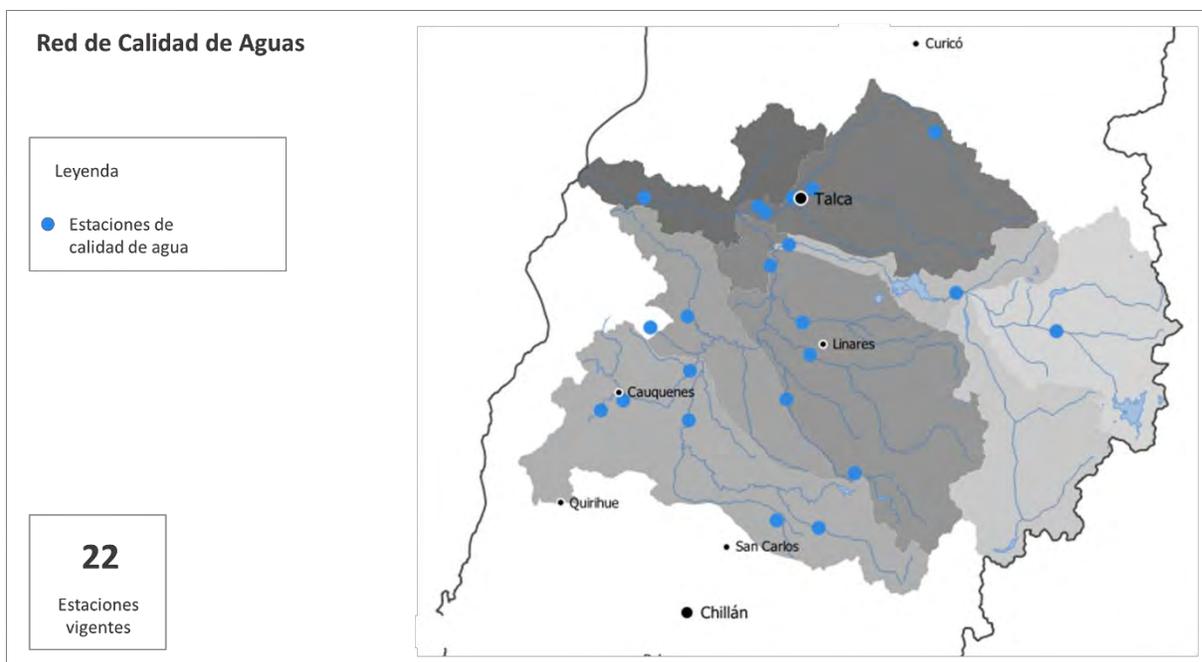
Figura 2-21. Red Hidrométrica de la cuenca del Maule

La cuenca del Maule cuenta con solo 02 estaciones de control piezométrico en los acuíferos de Putagán sur, y Perquilauquén Norte. Estas estaciones se encuentran vigentes desde el año 2012. La Dirección General de Aguas recibe información de niveles de los siguientes embalses y lagunas: Colbún, Melado, Tutuvén, Digua, Bullileo, Laguna del Maule, Laguna Invernada. Además, la DOH reporta del volumen medido en el embalse Ancoa.

La Red hidrométrica actual es la más extensa del país. Sin embargo, es claramente insuficiente para la caracterización de los SHAC de la cuenca, toda vez que estos son 8, y solo se cuenta con dos puntos de medición. En estos momentos existe una iniciativa en desarrollo para ampliar en 9 puntos de medición la red de pozos, llegando a 11. Se considera que con esta mejora se contribuye a mejorar la información de aguas subterráneas, pero sigue siendo notablemente inferior a la información que se puede obtener desde los comités de Agua Potable Rural.

2.4.2 Red de Calidad de Aguas

La Dirección General de Aguas reporta en 22 puntos en Calidad de Aguas (01 subterráneo), sin embargo, a través de un convenio con la DOH se pudo reportar, entre los años 2017-2018, un total de 111 puntos de aguas subterráneas ubicados en instalaciones de Agua Potable Rural. La distribución las estaciones de calidad de aguas se presenta en la Figura 2-22.



Fuente: Elaboración propia a partir de antecedentes DGA.

Figura 2-22. Red monitoreo de calidad de aguas cuenca del Maule

La disponibilidad de información de calidad de aguas es abundante respecto de parámetros físico-químicos, no biológicos, y en aguas superficiales. Sin embargo, es deficiente en el seguimiento de parámetros biológicos (por ejemplo, contaminación por *E. coli*), o bien otros compuestos como pesticidas, de interés para el consumo humano. Respecto de las aguas subterráneas, destaca la insuficiencia de la red respecto de la cobertura de agua potable rural (que realiza análisis periódicos y obligatorios), por lo que urge la necesidad de combinar ambas fuentes de información (DGA, 2014).

2.5 Nuevas fuentes de agua

La identificación de nuevas fuentes de agua se encuentra destacada dentro del Desafío de Aumentar la Seguridad Hídrica definido en la Mesa Nacional del Agua. Si bien existen múltiples alternativas, a continuación se mencionan las opciones que potencialmente podrían aumentar la disponibilidad de recursos hídricos a nivel regional, ya que permiten el uso de recursos que si bien existen en el sistema, hoy no son accesibles o no son utilizados por los usuarios del agua.

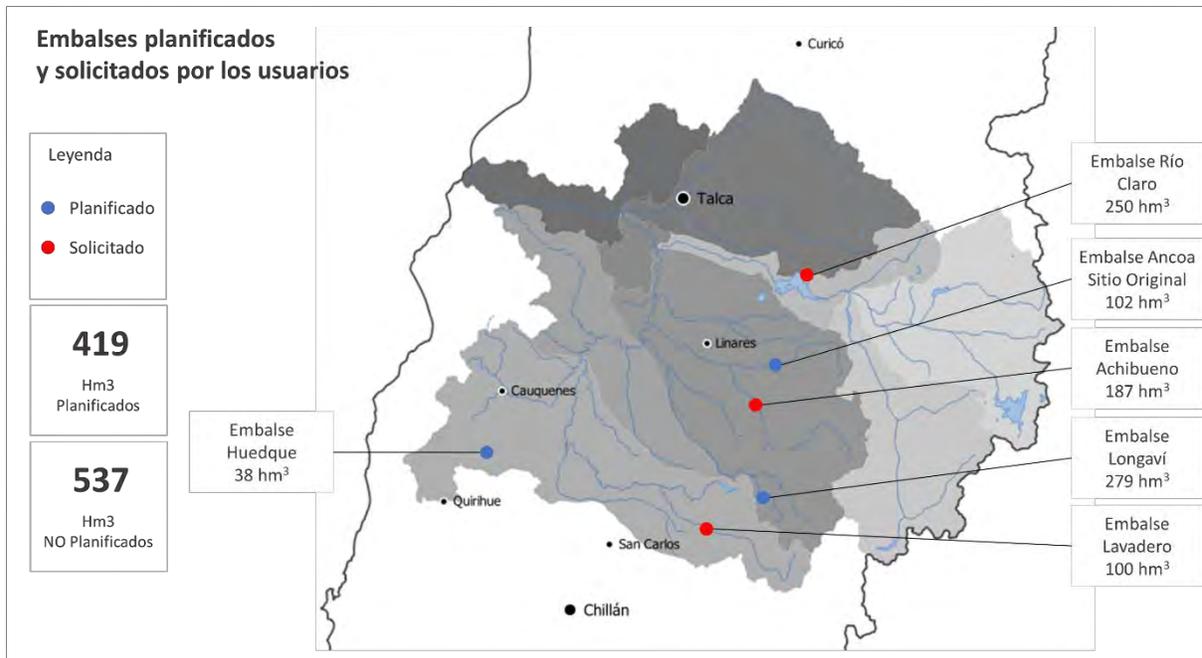
2.5.1 Embalses Superficiales

La cuenca cuenta con 3.743 Hm³ de agua embalsados, no obstante, existe un potencial y sobre todo una demanda por la construcción de nuevos embalses. La justificación se basa en el aumento de seguridad de riego, sobre todo ante la disminución de los caudales de estiaje. Se recopiló las distintas alternativas de embalses identificados en la cuenca, incluyendo fuentes del Ministerio de Obras Públicas (embalses priorizados), estudios de prefactibilidad, y las menciones realizadas por las organizaciones de usuarios en cada cuenca. En total se identificó 06 embalses potenciales a construir (2 ya se encuentran priorizados, y 1 en proyecto (Huedque)), con un total de 956 Hm³ embalsados. Los resultados se presentan en la Tabla 2-4.

Tabla 2-4. Nuevos embalses en la cuenca

Embalse	Unidad de Gestión	Capacidad (Hm³)	Superficie Regada (ha)	Fuente
Ancoa Original	Sitio Loncomilla	102	60.000	Plan Nacional de Embalses 2019
Longaví	Loncomilla	279	41.600	Plan Nacional de Embalses 2019
Huedque	Perquillauquén	38	3.254	Estudio de prefactibilidad proyecto construcción de embalse de riego Huedque, Comuna de Cauquenes. CNR 2012
Achibueno (Montecillo-1)	Loncomilla	187	28.509	Estudio de prefactibilidad "Mejoramiento del sistema de riego en río Achibueno, Región del Maule". CNR 2014
Lavadero	Perquillauquén	100	70.000	Minuta Embalse Lavadero. Asociación Embalse Digua. Parral.
Río Claro - Lircay	Maule	250	No determinada	PAC. Taller 2. Maule Entrevista usuarios Maule (21 oct 2020)
Total		956		

Fuente: elaboración propia



Fuente: elaboración propia

Figura 2-23. Embalses planificados y/o solicitados por los usuarios

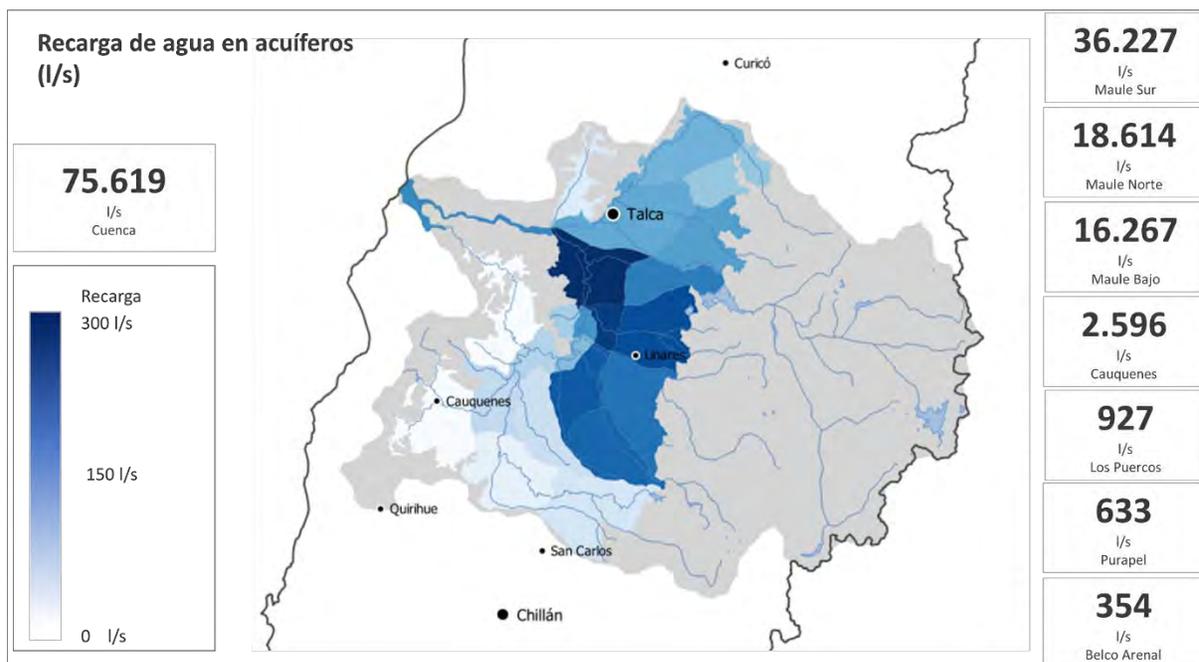
Dada la relevancia de esta fuente de agua para el sistema, y sobre todo para los usuarios, se incluirá su modelación dentro de los escenarios de gestión a evaluar.

2.5.2 Embalses Subterráneos

La región del Maule se ha caracterizado por el uso de aguas superficiales para los usos dominantes, como la generación eléctrica y la agricultura. Es así como los derechos de aprovechamiento superficial de tipo consuntivo alcanzan los 183.714 l/s, mientras que los derechos de aprovechamiento subterráneos llegan a 50.779 l/s. En complemento, la Dirección General de Aguas, en antecedentes anteriores a este estudio determinó que la recarga de aguas subterráneas en la cuenca alcanza a 66.022,3 l/s (Tabla 2-3), sin embargo el presente estudio declara una recarga promedio para la cuenca de 75.619,3 l/s para el periodo 2000-2020 (Tabla 4-3).

No obstante existen SHAC con bajas tasas de recarga, incluso con establecimiento de restricciones, como es el caso de Belco Arenal, existen otros sectores que concentran buena parte de la recarga de la cuenca. Es así como los SHAC Maule Norte y Maule Sur contabilizan en conjunto una recarga de 54.841 l/s al año (Tabla 4-3), lo que equivale a 1.729 Hm³ de recarga al año.

Una estimación preliminar (Tabla 4-3) indica una **reserva de agua superior a 320.000 Hm³** de agua en el acuífero de ambos SHAC (considerando el volumen hasta los 100 m de profundidad con una porosidad del 10%), lo que permite considerar un escenario de "gestión de aguas subterráneas" mediante la utilización de obras de recarga artificial o de infiltración con pozos profundos. De esta forma, llegar a paliar el déficit hídrico de la cuenca con la gestión dinámica de estos acuíferos, uso intensivo y recarga distribuida a nivel del territorio.



Fuente: Elaboración propia a partir de antecedentes DGA.

Figura 2-24. Zonas de recarga de los acuíferos principales de la cuenca

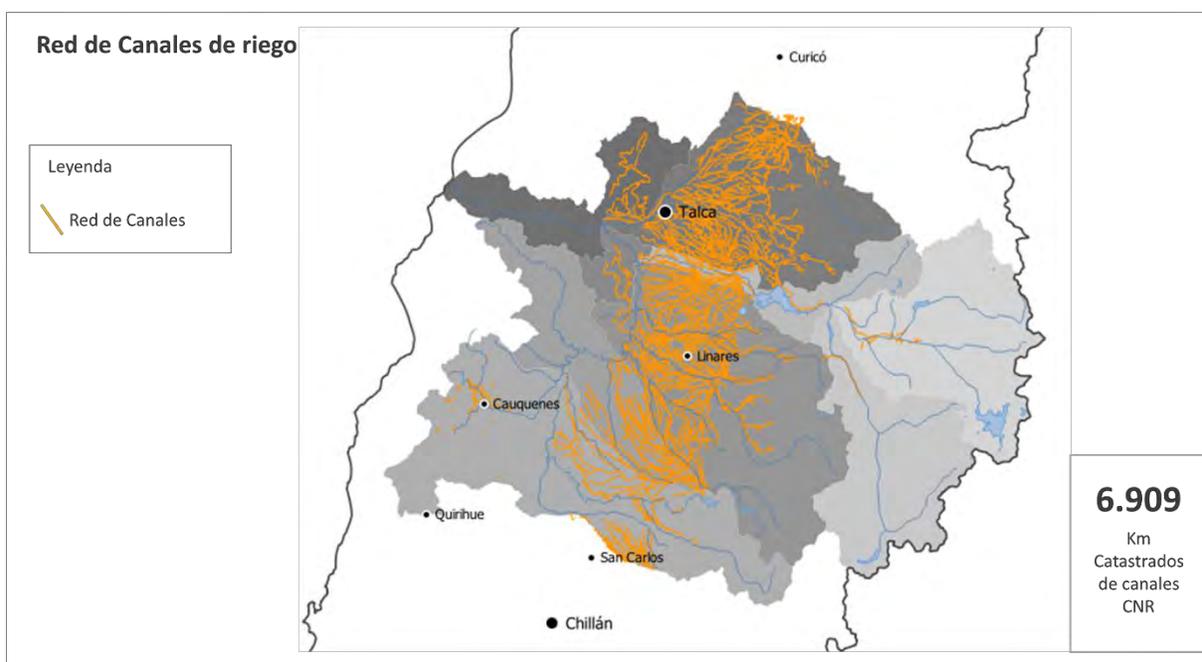
De la Figura 2-24 se tiene que existe una coincidencia parcial entre la distribución de las zonas de riego (Figura 2-19). De esta forma, se estima que es posible contribuir al cierre de las brechas de la zona central de la cuenca. Sin embargo, acuíferos como el de Cauquenes cuentan con bajas tasas de recarga, por lo que se evaluará la posibilidad de trasvasar agua desde el valle central hasta este punto de demanda.

2.5.3 Red de Canales de Riego

La red de canales de la cuenca del Maule constituye una de las principales obras de infraestructura de la cuenca, superior en extensión a la red vial, que alcanza a 6.976 km. Según antecedentes del E-SIIR de la Comisión Nacional de Riego, la red de canales catastrada es de 6.909 km de longitud, como se aprecia en la Figura 2-25. No se cuenta

con una estimación formal de la parte no catastrada, pero la experiencia de los usuarios señala que esta duplicaría los canales identificados, llegando por lo menos a 12.000 km de canales.

La red de canales permite la conducción y distribución de las aguas, y se caracteriza por ser variable en cuanto a su materialidad, alternando tramos revestidos y no revestidos, con distintos porcentajes de pérdida de agua por infiltración o ineficiencias en la gestión. Un ejemplo claro de esto son los derrames de agua, o caudales que exceden la demanda de un canal y son vertidos a otros canales o cursos de agua. Así mismo, los sectores que circundan la red de canales se ven favorecidos por la infiltración de aguas que se produce, abasteciendo norias y pozos de escasa profundidad. Los canales de riego proporcionan agua para el abrevío de los animales, forman parte de la red de evacuación de aguas lluvias primaria o secundaria contemplada por la Dirección de Obras Hidráulicas, y funcionan como punto de descarga y dilución de residuos líquidos tratados, ya sean domiciliarios o industriales.



Fuente: CNR, E-SIIR

Figura 2-25. Red de canales de riego de la cuenca del Maule

Dada la multiplicidad de funciones, y la contraposición entre algunas de ellas, que proporcionan los canales de regadío, existe particularmente un contrapunto entre la opción de revestir canales, con la consecuente disminución de pérdidas y aumento de la eficiencia en el uso del agua para riego, frente a su rol de infraestructura de recarga de los acuíferos de la cuenca y los beneficios que esto trae para otros usuarios. Por esta razón, se considera a la red de canales como una nueva fuente de agua, en tanto una diseño y operación

apropiada puede permitir, por un lado, mejorar la eficiencia en temporada de riego; y por el otro, permitir una recarga significativa de los acuíferos casi la totalidad de la cuenca. Según una estimación de recarga de 1% del caudal conducido por km de canal, el uso de 1.000 km de canales, con 1 m³/s de conducción, resultaría en una recarga de 78 Hm³/año¹⁸. Sin embargo, se debe profundizar en la realización de estudios técnicos que permitan establecer con mayor certeza las tasas de recarga asociadas, y el destino de las aguas.

El Plan Nacional de Recarga de Acuíferos para la agricultura, de la Comisión Nacional de Riego

2.6 Gobernanza del agua

La Gobernanza del agua hace alusión al conjunto de actores, reguladores, usuarios o beneficiarios que interactúan en torno al recurso hídrico, y que en conjunto dan forma a un conjunto de normas o acuerdos, explícitos e implícitos, para la gestión del recurso. En el Anexo I Gobernanza se presenta los resultados del diagnóstico de gobernanza así como las propuestas para la mejora de la gobernanza actual.

2.6.1 Actores principales

En lo principal, se pueden distinguir tres tipos de actores que participan de la gobernanza de las aguas a nivel regional: actores públicos, actores privados, y actores de la sociedad civil e instancias territoriales. Estos actores se representan en la Figura 2-26 y se describen a continuación.

¹⁸ Este cálculo se basa en los supuestos definidos para la calculadora hídrica, que se presenta en el numeral 5.5 de este documento.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-26. Actores que participan de la gobernanza del agua en la cuenca del Maule

La región del Maule es particularmente activa en cuanto a la participación de usuarios del agua, debido a la matriz agrícola e hidroeléctrica, incluso forestal, que la caracteriza.

Los **actores públicos** se encuentran en una coordinación permanente con los actores privados, y canalizan intervenciones de distinto nivel, ya sea a nivel de formación y apoyo productivo (CNR, INDAP), a la inversión en grandes obras (MOP DOH). La Dirección General de Aguas, por su parte, tiene una participación activa en mesas regionales para la gestión hídrica, además de su rol de implementación sobre el Código de Aguas. El Ministerio de Energía, y en particular el Coordinador Eléctrico Nacional, gestiona los despachos de energía desde las distintas centrales hidroeléctricas presentes en la cuenca, incidiendo en la operación de los embalses asociados.

- **Gobierno central**

(1) Ministerio de Obras Públicas

- DGA
- DOH
- SISS
- INH

(2) Ministerio de Agricultura

- CNR
- INDAP
- SAG
- CONAF

(3) Ministerio de Energía

- Coordinador Eléctrico Nacional

(4) Ministerio de Medio Ambiente

- Servicio de Evaluación Ambiental

- **Gobiernos locales**

(1) Gobernación regional y provinciales de Talca, Linares y Cauquenes

(2) Municipios

Los **actores privados** se caracterizan por la diversidad de intereses particulares, pero conectados por el uso de los recursos hídricos.

- Las **empresas sanitarias y Comités de Agua Potable Rural (APR)** gestionan el abastecimiento de agua para consumo humano. La principal empresa sanitaria es Nuevo Sur S.A. Los Comités de Agua Potable Rural son cerca de 305 en la cuenca, 193 de los cuales dependen del Ministerio de Obras Públicas, y cerca de 200 con otras dependencias (por ejemplo, municipios). Desde el punto de vista de la gobernanza, los APR no se encuentran organizados en conjunto, ni disponen de comunicación entre ellos.

- Las **Organizaciones de Usuarios de Agua** se clasifican según el Código de Aguas en:

(1) **Juntas de Vigilancia (JV)**: organizaciones de nivel superior, cuya jurisdicción corresponde a la totalidad de la cuenca hidrográfica y los recursos superficiales y subterráneos que se encuentren en ella. La cuenca cuenta con las siguientes JV:

- **Sector Maule**

- JV del río Maule (1ª sección)
- JV del Río Lircay
- JV del Río Claro (pendiente DGA*)

-
- **Sector Loncomilla**
 - JV del Río Putagán (pendiente)
 - JV del Río Ancoa
 - JV del Río Achibueno 1ª sección
 - JV del Río Achibueno 2ª sección (pendiente DGA)
 - JV del Río Longaví 1ª sección
 - JV del Río Longaví 2ª sección (no organizada, no constituida)
 - **Sector Perquillauquén**
 - JV del Río Perquillauquén 1ª sección (pendiente DGA)
 - JV del Río Perquillauquén 2ª sección (Asociación de Canalistas Digua-Perquillauquén)
 - JV del Río Perquillauquén 3ª sección (organizada, no constituida)

(2) **Asociaciones de Canalistas y Comunidades de Aguas Superficiales:** en la cuenca existen 234 organizaciones de usuarios de agua de este tipo, las que se encuentran bajo la jurisdicción de las Juntas de Vigilancia antes descritas.

(3) **Comunidades de aguas subterráneas:** En la cuenca no existe ninguna comunidad de aguas subterráneas. Pero se debe tener en cuenta que si existe un acuífero restringido, SHAC Belco Arenal desde el año 2015.

- Las **empresas hidroeléctricas** que administran buena parte de la capacidad de embalse de la cuenca:
 - (1) COLBÚN, con las centrales Colbún, Machicura, LA Mina, San Ignacio, Chiburgo y San Clemente.
 - (2) ENEL GENERACIÓN, con las centrales Pehuenche, Curillinque, Loma Alta, Cipreses, Ojos de Agua y futura Central Los Cóndores.
 - (3) Otras hidroeléctricas: HIDROLIRCAI, ENERBOSH, HIDROELÉCTRICA EMBALSE ANCOA, RÍO COLORADO, AGUAS DEL MELADO, PORTEZUELO, CUMPEO, DOSAL, CFH EL MANZANO.

Los **actores de la sociedad civil** corresponden a Universidades y Centros de Investigación de carácter local y nacional, así como a la sociedad civil agrupada en Organizaciones No Gubernamentales, ONGs. Las universidades de la región son Universidad de Talca, Universidad Católica del Maule, la Universidad Bolivariana, y Universidad Autónoma. Los actores identificados son los siguientes:

-
- **Centros de Investigación regionales**
 - (1) Centro Tecnológico de Hidrología Ambiental (CTHA, Universidad de Talca)
 - (2) Centro de Investigación y Transferencia en Riego y Agroclimatología (CITRA, Universidad de Talca)
 - **Iniciativas nacionales**
 - (1) Escenarios Hídricos 2030 (Fundación Chile)
 - **Organizaciones No Gubernamentales locales**
 - (1) ONG Andes Sustentable (protección del Alto Maule)
 - (2) Fundación Hualo (Reserva Nacional los Bellotos de Melado)
 - (3) Movimiento de Defensa Achibueno
 - (4) Evolucionera (Achibueno)
 - (5) SurMaule
 - **Federación de Juntas de Vigilancia de la Región del Maule:** agrupa a Juntas de Vigilancia de las cuencas de Mataquito y Maule. Está compuesta por las siguientes organizaciones:
 - **Mataquito**
 - JV del Río Lontué
 - JV del Río Mataquito
 - JV del Río Estero Pichuco
 - JV del Estero Carretón
 - JV del Río Seco
 - **Maule**
 - JV del Río Claro
 - JV del Río Maule 1ª sección
 - JV del Río Longaví 1ª sección

2.6.2 Instancias actuales de Gobernanza

En la actualidad existen diversas instancias de gobernanza del agua, entre las cuales se da la aplicación del Código de Aguas en tanto define los derechos de aprovechamiento de aguas, las organizaciones de usuario de agua, y la Dirección General de Aguas. Transversalmente existen dos Mesas que permiten la interacción entre los usuarios.

- **Mesa Regional del Agua.** Es presidida por el intendente regional y cuenta con la asistencia de los ministros de Agricultura y Obras Públicas, además de la participación de Comités de Agua potable rural, Juntas de vigilancia, agricultores, entre otros. El propósito de esta mesa es buscar soluciones o medidas de apaciguamiento frente a la crisis hídrica que presenta la cuenca del Maule, dentro de sus principales ámbitos se encuentra: en establecer los contenidos centrales de una política hídrica de largo plazo, proponer infraestructura hídrica necesaria y forma de gestión del agua en las cuencas en el mediano y largo plazo y definir principios básicos del marco legal e institucional para sustentar la política hídrica de

largo plazo. Por eso entre los primeros desafíos planteados esta la seguridad hídrica, calidad de aguas y ecosistemas y marco legal.

- **Mesa de Recuperación de la Laguna del Maule.** compuesta por el Ministro de Energía, Ministro de Agricultura, Ministro de Obras Públicas, SEREMI DE Agricultura, SEREMI DE Obras Públicas, Director Nacional DOH, Director Nacional de DGA, Colbún S.A., Enel Generación S.A., Director Nacional de Comisión Nacional de Riego, Secretario Ejecutivo de CNR Nacional y Regional, Director Regional de DGA y DOH, Junta de Vigilancia del Río Maule Primera Sección. El propósito de esta mesa es la recuperación de la laguna del Maule en época de sequía y además de fortalecimiento de los convenios de ahorro con empresas hidroeléctricas. La problemática principal a solucionar es el doble uso del agua y la interpretación legal del convenio del año 47.

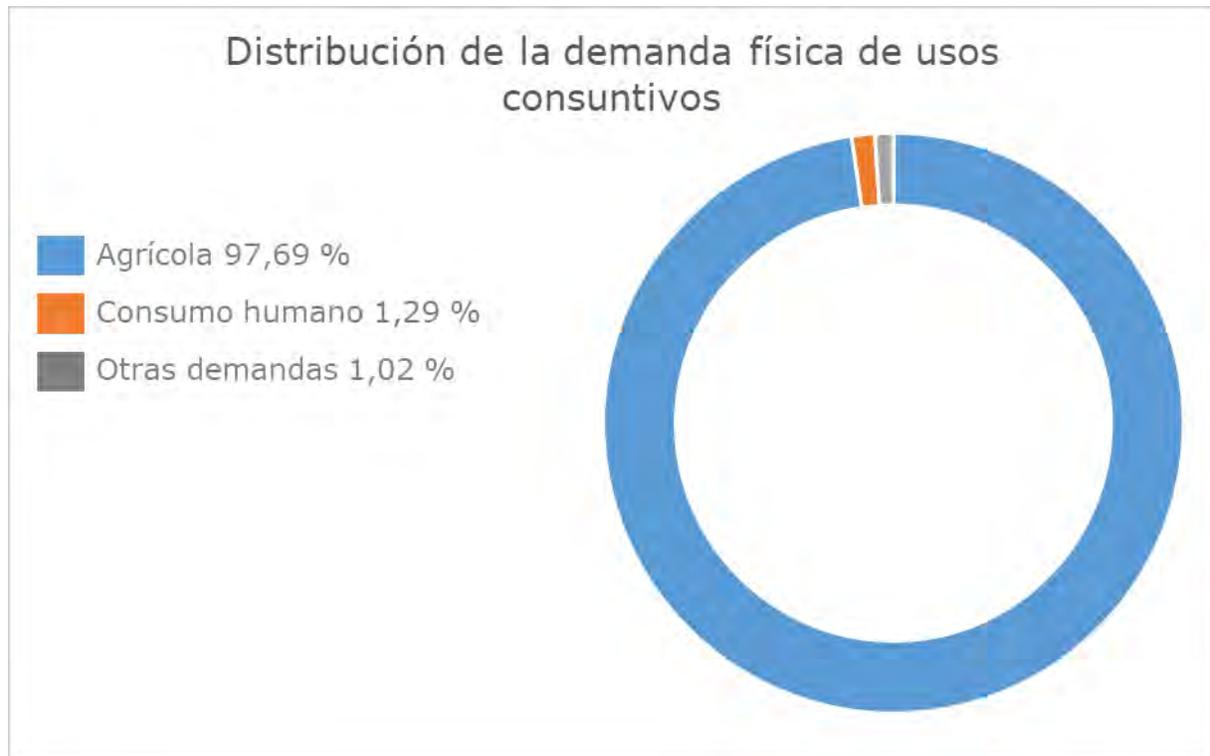
2.6.3 Brechas para la implementación de una Gobernanza

Las brechas para la implementación de una gobernanza se basan en la ausencia de formalización de los actores locales. Estos son:

- La falta de constitución o reconocimiento de las Juntas de Vigilancia de:
 - (1) Sector Maule: JV del Río Claro
 - (2) Sector Loncomilla: JV del Río Putagán, JV del Río Achibueno 2ª sección, JV del Río Longaví 2ª sección (no organizada, no constituida)
 - (3) Sector Perquillauquén: JV del Río Perquillauquén unificada
- La falta de una Comunidad de Aguas Subterráneas en el sector de Belco Arenal y la constitución voluntaria de otras comunidades de agua en la cuenca.
- La falta de organización de Comités de Agua Potable Rural a nivel de cuenca o regional, que agrupe no solo a los APR dependientes del MOP.

3 DEMANDA FÍSICA Y LEGAL PARA LOS DIFERENTES USOS

En el presente apartado se entrega la demanda asociada a los diferentes usos de agua. Adicionalmente se complementa la información con la metodología de cálculo en el Anexo F.2. En la Figura 3-1 se presenta la diferencia existente entre la cantidad demandada por el uso agrícola y el resto de las demandas consuntivas. En la cuenca la demanda agrícola (bruta) es el 97,69 % respecto al total de las demandas consuntivas.



Fuente: Elaboración propia a partir del estudio DGA (2019b)

Figura 3-1 Distribución de la demanda física de usos consuntivos

3.1 Demanda de agua

3.1.1 Demanda de agua para Consumo Humano Rural y Urbano

3.1.1.1 Actual

En la cuenca del Maule, la demanda actual para el **consumo humano en el sector urbano** es de **31,24 Hm³/año** con una producción de **53,02 Hm³/año**. La naturaleza de la fuente de la demanda es principalmente subterránea, siendo Constitución la única localidad con

captaciones superficiales. El consumo humano actual en el sector rural es de **11,24 Hm³/año** según datos ofrecidos por la DOH (año 2020, Tabla 3-1).

Para aspectos de cálculo de estimaciones y proyecciones se ha considerado la metodología del informe de la DGA (2017c) "Estimación de la demanda actual, proyecciones futuras y caracterización de la calidad de los recursos hídricos en Chile", S.I.T. 419. Dicha metodología se presenta en el Anexo F2.

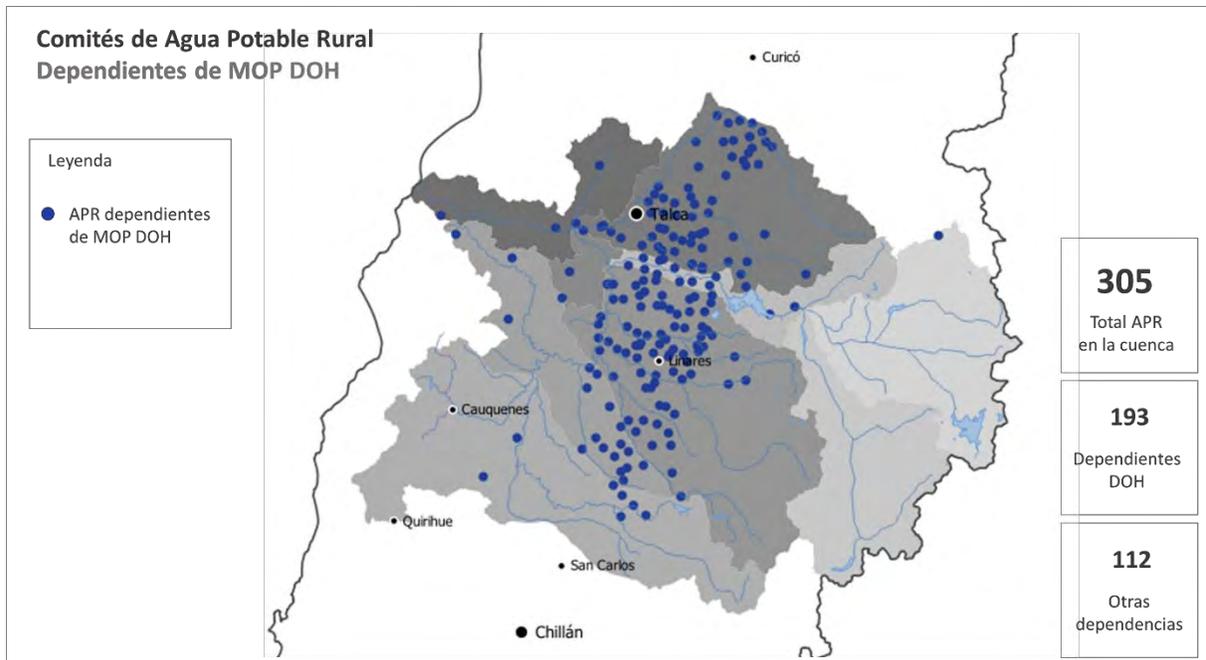
Tabla 3-1. Demanda hídrica actual de Consumo de agua potable por SHAC (Hm³/año), año 2020

SHAC	Demanda Rural	Demanda Urbana	
		Producción	Consumo
Maule Medio Norte	4,31	31,69	18,59
Maule Medio Sur	6,14	15,16	9,02
Maule Alto	0,36	0,00	0,00
Maule Bajo	0,19	2,84	1,68
Los Puercos	0,22	0,00	0,00
Cauquenes	<0,01	2,86	1,96
Estero Belco y Arenal	<0,01	0,00	0,00
Purapel	0,20	0,00	0,00
Total (Hm ³ /año)	11,24	52,02	31,24

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

Mayoritariamente el consumo humano proviene de fuentes subterráneas, siendo de un 96% en el sector urbano y un 99% en el sector rural. En conclusión, **la demanda por consumo humano es dependiente a las fuentes subterráneas.**

En complemento, la Figura 3-1 presenta la distribución espacial de los Comités de APR dependientes de la Dirección de Obras Hidráulicas del MOP. Del total de 305 Comités en la cuenca, 193 dependen del MOP, y 112 tienen otras dependencias.

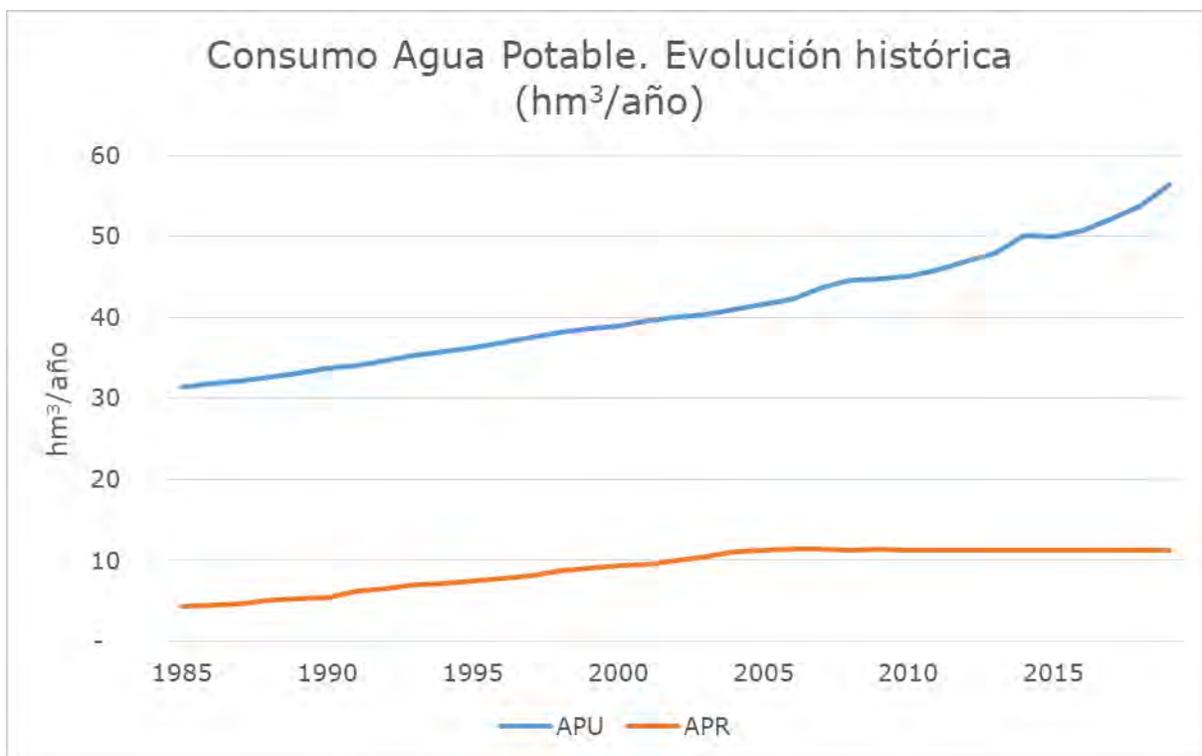


Fuente: DOH (2020)

Figura 3-1. Comités de APR dependientes de la Dirección de Obras Hidráulicas

3.1.1.2 Histórico

La Figura 3-2 presenta la evolución histórica del consumo de agua potable. El consumo urbano refleja un crecimiento sostenido, e incluso a tasas crecientes en el último quinquenio, pasando de 18 Hm³ al año en 1985, a más de 30 Hm³ en el 2015. En el mismo período, el consumo de agua potable rural pasó de poco menos de 5 Hm³ a poco más de 10 Hm³, con un crecimiento nulo a partir de 2005.



Fuente: Elaboración propia en base a datos DOH, 2020 & SISS, 2020

Figura 3-2. Consumo Agua potable. Evolución Histórica

3.1.1.3 Eficiencia del uso

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

En los últimos años, en la cuenca del Maule se registra una **pérdida promedio de un 41%**, y presenta una **tendencia levemente decreciente**.

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

3.1.1.4 Projectado

Como se indicó en el punto 2.1 Dimensión político administrativa económica, la población aumentará en base a la tendencia de los censo 2002 y 2017. Por lo tanto, esta hipótesis es base para el cálculo de la demanda proyectada (ver Anexo F2). Aunque el porcentaje de la demanda es menor respecto al resto de demandas, el efecto del cambio climático y estrés

de crecientes presiones de demandas afectará al acceso del consumo humano. Un pasivo directo del aumento de la demanda es la construcción de nuevos pozos para otros usos (por ej. riego). Desde 2010, las solicitudes de nuevos derechos de aprovechamiento de agua subterránea aumento considerablemente respecto al histórico. El 45% de las solicitudes se concentra en el periodo de 2010-2020.

Respecto a esta proyección se espera un crecimiento marginal del consumo rural, desde 11,24 Hm³/año al año, hasta casi 11,97 Hm³/año en el año 2050. En el mismo período, se espera que la demanda urbana ascienda desde 31,24 Hm³/año a casi 37,87 Hm³/año por consumo (Tabla 3-2), mientras que por producción llega a 64,99 Hm³ en el año 2050. Este aumento de la demanda define una brecha hídrica para consumo humano por 12,52 Hm³/año entre demanda urbana y demanda rural.

Tabla 3-2 Demanda hídrica proyectada de consumo de agua potable rural por SHAC (Hm³/año), años 2030-2050

SHAC	Rural		Urbana	
	2030	2050	2030	2050
Maule Medio Norte	4,86	4,59	21,15	20,84
Maule Medio Sur	0,02	0,02	10,07	11,93
Maule Alto	0,37	0,39	0,00	0,00
Maule Bajo	6,24	6,54	1,85	2,27
Los Puercos	0,19	0,20	0,00	0,00
Cauquenes	<0,01	<0,01	2,22	2,84
Estero Belco y Arenal	<0,01	<0,01	0,00	0,00
Purapel	0,02	0,02	0,00	0,00
Total (Hm³/año)	11,42	11,97	35,30	37,87

Fuente: Elaboración propia en base a datos DOH (2020)

3.1.2 Demandas ambientales

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

Desde el punto de vista de los ecosistemas terrestres, la demanda corresponde a las aguas empleadas por la vegetación y los animales para sus procesos biológicos, crecimiento, alimentación y reproducción. En este sentido, la demanda ambiental corresponde al conjunto de la evapotranspiración potencial de las masas de vegetación natural existentes en la cuenca, la cual se descuenta desde la precipitación ocurrida en el territorio.

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

A nivel de cuenca no existe una estimación de los caudales ecológicos, pero en este caso se pueden suponer como un porcentaje de los caudales medios según se emplea para la determinación del caudal pasante mínimo en los procesos de evaluación de impacto ambiental. Este criterio se tomará como indicador hídrico de la cuenca para la toma de decisiones (5.4 Indicadores hídricos de la cuenca).

3.1.2.1 Caudal ecológico

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

Para el estudio "Actualización Informe Evaluación de los Recursos Hídricos superficiales de la cuenca del Río Maule Región del Maule", Informe Técnico 2016, se obtuvieron resultados de caudal ecológico mínimo mensual (ver Anexo F2, punto 4.1.1.7), los cuales se presentan en la Tabla 3-3.

Tabla 3-3 Caudal ecológico mínimo por nodos en la cuenca del Maule (l/s)

	NODO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
1	Río Lircay aguas arriba junta río Claro	1.090	864	4.241	8.003	7.883	8.189	5.637	6.128	4.148	3.270	2.326	1.569
2	Río Claro aguas arriba junta río Maule	4.262	4.813	12.766	20.361	20.547	20.547	15.599	14.736	9.071	6.294	4.871	4.047
3	Río Melado aguas arriba junta río Maule	67	1.288	3.529	4.658	4.448	2.893	3.808	2.715	2.277	1	640	527
4	Río Putagán aguas arriba junta Río Loncomilla	7.407	5.456	8.052	8.052	8.052	7.472	8.052	8.052	8.052	8.052	8.052	7.546
5	Río Ancoa aguas arriba junta río Achibueno	339	380	1.382	1.469	1.469	1.469	1.469	1.469	1.210	1	1	1
6	Río Achibueno aguas arriba junta río Loncomilla	2.269	3.403	12.101	13.844	3.844	13.844	13.844	13.844	10.546	5.836	3.816	2.750
7	Río Liguay aguas arriba junta río Longaví	673	1.009	3.587	4.104	4.104	4.104	4.104	4.104	3.126	1.730	1.131	815
8	Río Longaví aguas arriba junta río Loncomilla	3.697	6.727	18.691	18.922	18.922	18.922	18.922	18.922	15.526	15.099	16.348	8.174
9	Río Purapel aguas arriba junta río Perquilauquén	101	220	1.217	2.049	1.877	1.792	592	220	152	51	51	51
10	Estero Torreón aguas arriba junta río Perquilauquén	381	572	2.034	2.327	2.327	2.327	2.327	2.327	1.772	981	641	462
11	Río Tutuvén aguas arriba junta río Cauquenes	35	82	322	788	788	730	266	126	63	26	14	16
12	Río Cauquenes aguas arriba junta río Perquilauquén	95	205	1.149	2.829	2.829	2.122	819	444	215	85	115	80

	NODO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
13	Río Ñiquén aguas arriba junta río Perquillauquén	222	1.011	3.547	3.547	3.547	3.547	2.026	710	328	161	116	136
14	Río Perquillauquén en Quella	699	3.185	1.170	11.170	1.170	11.170	6.381	2.236	1.032	506	365	427
16	Río Maule en Longitudinal	7.935	25.241	38.405	38.405	38.405	34.024	25.717	14.712	10.223	6.345	3.280	3.923
17	Río Loncomilla aguas arriba junta río Maule	26.435	26.435	52.870	52.870	52.870	52.870	26.435	26.435	6.435	26.435	6.435	26.435
18	Río Maule después de junta Río Loncomilla hasta antes junta con el Claro	34.829	27.894	55.091	55.091	55.091	54.837	27.922	27.286	27.026	26.802	26.625	26.662
19	Río Maule después de junta con el Claro hasta desembocadura	42.782	37.281	73.954	81.549	81.429	81.482	49.585	46.682	39.076	34.967	33.488	33.291

Fuente: DGA 2016, Actualización Informe Evaluación de los Recursos Hídricos superficiales de la cuenca del Río Maule Región del Maule", Informe Técnico

3.1.2.2 Reservas ambientales

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

En referencia a esta metodología la cuenca del Maule se encuentra el Sitio Prioritario para la Biodiversidad de los Bosques Nativos de Digua y Bullileo. Sobre el sitio mencionado se indica que se caracteriza por ser ecosistema de bosque maulino de la precordillera de Linares. Los ecosistemas maulinos se distinguen a nivel mundial por su gran singularidad y valor biológico. Se encuentra en una región de transición entre los biomas del Bosque Templado Lluvioso Valdiviano y del Matorral Esclerófilo Chileno, considerados como dos de las 200 eco regiones de mayor importancia para la conservación a nivel global (WWF 1997).

Tabla 3-4. Caudales para Protección Ambiental Cuenca del Maule (m³/s)

Nombre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Anual
Bosques nativos Digua y Bullileo	12,9	7,43	5,2	15,38	66,76	101,48	77,55	37,32
	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Agosto	Septiembre	
	68,08	59,23	49,01	35,64	23,8	68,08	59,23	

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

En base a la propuesta presentada por el informe DGA (2017c), se afianza en el presente Plan, siendo una de las acciones (ver punto 8.2).

3.1.3 Demanda agrícola

Para el cálculo de la demanda agrícola se dispone de los datos censales, del último censo agropecuario del 2007, complementados con el catastro frutícola de ODEPA. Esta información fue utilizada en estudio de la DGA denominado "Estimación de la Demanda Actual, Proyecciones Futuras y Caracterización de la Calidad de los Recursos Hídricos en Chile" (DGA, 2017c).

En relación a la brecha de información obtenida en los Talleres PAC respecto a la superficie apartada por las referencias anteriores se sostuvo una serie de reuniones con las organizaciones de usuarios de agua, con empresas hidroeléctricas, y con la Comisión

Nacional de Riego regional, con el propósito de disponer de criterios que permitan establecer una superficie de riego cercana a la realidad de la cuenca.

Finalmente se obtuvo una metodología de “superficie equivalente” que resulta de la determinación de una superficie fija presentada por el censo agropecuario de 2007 y el informe DGA (2017c) y una superficie potencia indicada por los usuarios. La resta entre estas dos últimas da una demanda variable que representa la superficie con seguridad de riego del 50 % (Ver metodología en el anexo F2).

Tabla 3-5. Superficie estimada para la cuenca del Maule. Datos de entrevistas

JDV/OUA	Superficie de Riego Potencial (ha)
Sector Rio Claro y Lircay	38.500
J.V. Claro	15.000
J.V Lircay	10.000
Asoc. Pencahue	10.000
Asoc. San Rafael	3.500
Sector Rio Maule	200.000
Asoc. Canal Maule Norte	53.000
Asoc. Canalistas Maule Sur (Sorpam)	24.000
Asoc. Canalistas Melado	28.000
Asoc. Canalistas Melozal	11.000
Cooperativa de Riego	35.000
Otros	49.000
Sector Loncomilla	63.632
J.V Rio Putagán	6.000
J.V. Longaví y sus afluentes	31.000
J.V. Achibueno	20.332
J.V. Ancoa	6.300
Sector Perquilauquén	33.538
J.V. Perquilauquén	10.000
Asociación Canal Sistema Digua/Perquilauquén	20.000
Asoc. Embalse Tutuvén	1.800
Sector Cauquenes*	1.304
Sector Belco*	115
Sector Purapel*	318
TOTAL	335.670

Fuente: Entrevistas con actores de la cuenca

Para aspectos del modelo hidrológico la **superficie potencial anterior de 355.670 ha** es igual a **259.321 ha equivalentes**.

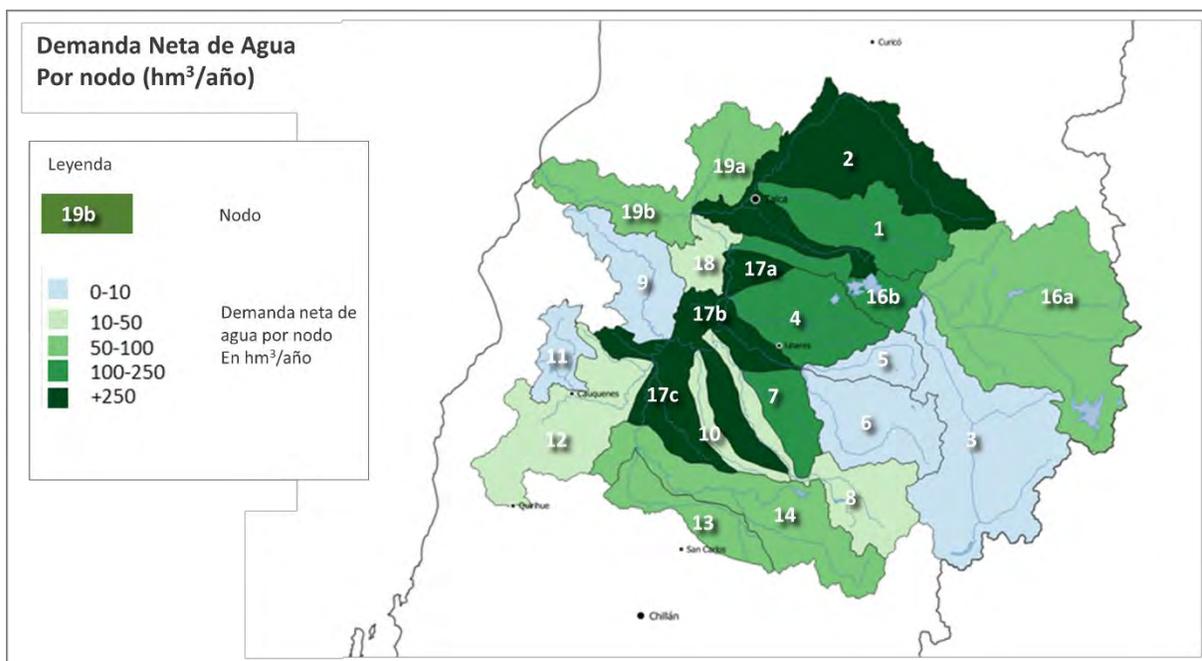
3.1.3.1 Demanda actual

La demanda agrícola estimada para el **año 2019** es de **1.597 Hm³ de demanda neta** y **2.857 Hm³ de demanda bruta** para toda la cuenca del Maule. La distribución espacial se presenta en la Figura 3-3 y se detalla en la Tabla 3-6.

Tabla 3-6 Demanda agrícola neta estimación 2019 por Nodo

Nº	NODO	Demanda Neta (Hm ³)
1	Río Lircay aguas arriba junta río Claro	197,78
2	Río Claro aguas arriba junta río Maule	376,36
3	Río Melado aguas arriba junta río Maule	0,72
4	Río Putagán aguas arriba junta río Maule	262,22
5	Río Ancoa aguas arriba junta Río Loncomilla	5,99
6	Río Achibueno aguas arriba junta río Loncomilla	4,32
7	Río Liguay aguas arriba junta río Longaví	79,39
8	Río Longaví aguas arriba junta río Loncomilla	43,36
9	Río Purapel aguas arriba junta río Perquillauquén	1,90
10	Estero Torreón aguas arriba junta río Perquillauquén	32,21
11	Río Tutuvén aguas arriba junta río Cauquenes	2,77
12	Río Cauquenes aguas arriba junta río Perquillauquén	11,98
13	Río Ñiquén aguas arriba junta río Perquillauquén	57,49
14	Río Perquillauquén en Quella	72,99
16	Río Maule en Longitudinal	101,89
17	Río Loncomilla aguas arriba junta río Maule	271,28
18	Río Maule después de junta Río Loncomilla hasta antes junta con el Claro	25,47
19	Río Maule después de junta con el Claro hasta desembocadura	48,85
TOTAL (Hm³)		2.858,15

Fuente: Elaboración propia – estimación según censo 2007



Fuente: Elaboración propia por estimación de INE (2007) y DGA (2017a).

Figura 3-3. Demanda de agua para uso agrícola por nodo (Hm³/año)

La demanda agrícola neta se transformó en demanda bruta (Tabla 3-7) según la eficiencia de riego que se indica en el punto 3.4.4.

Tabla 3-7 Demanda bruta estimación 2019, Nodos

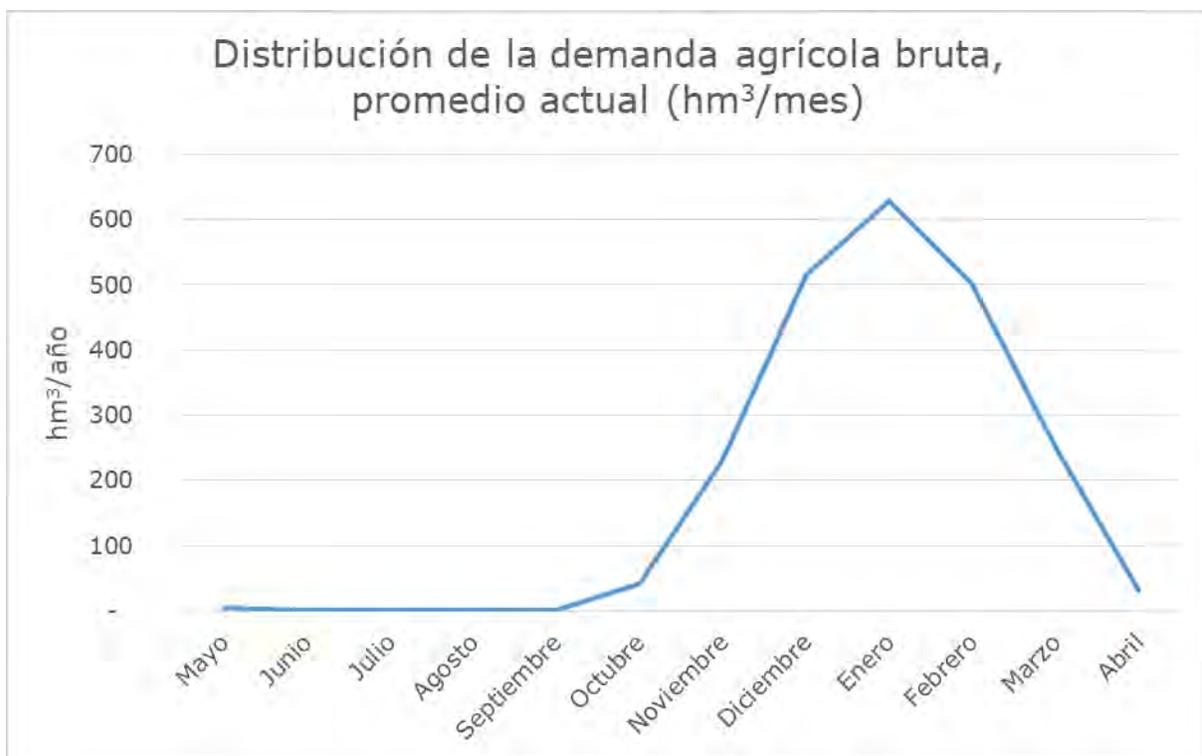
N°	NODO	Demanda Bruta (Hm ³)
1	Río Lircay aguas arriba junta río Claro	348,28
2	Río Claro aguas arriba junta río Maule	663,05
3	Río Melado aguas arriba junta río Maule	1,45
4	Río Putagán aguas arriba junta río Maule	514,25
5	Río Ancoa aguas arriba junta Río Loncomilla	11,79
6	Río Achibueno aguas arriba junta río Loncomilla	8,50
7	Río Liguay aguas arriba junta río Longaví	156,40
8	Río Longaví aguas arriba junta río Loncomilla	81,98
9	Río Purapel aguas arriba junta río Perquillauquén	2,89
10	Estero Torreón aguas arriba junta río Perquillauquén	49,51
11	Río Tutuvén aguas arriba junta río Cauquenes	4,43
12	Río Cauquenes aguas arriba junta río Perquillauquén	19,18

N°	NODO	Demanda Bruta (Hm ³)
13	Río Ñiquén aguas arriba junta río Perquilauquén	92,11
14	Río Perquilauquén en Quella	116,94
16	Río Maule en Longitudinal	189,21
17	Río Loncomilla aguas arriba junta río Maule	489,29
18	Río Maule después de junta Río Loncomilla hasta antes junta con el Claro	38,29
19	Río Maule después de junta con el Claro hasta desembocadura	69,74
	TOTAL (Hm³)	2.857,29

Fuente: Elaboración propia

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

La Figura 3-4 presenta la distribución de la demanda bruta a lo largo del año. En los meses de septiembre a abril se fija la demanda agrícola, cuyo punto máximo se presenta en el mes de enero.



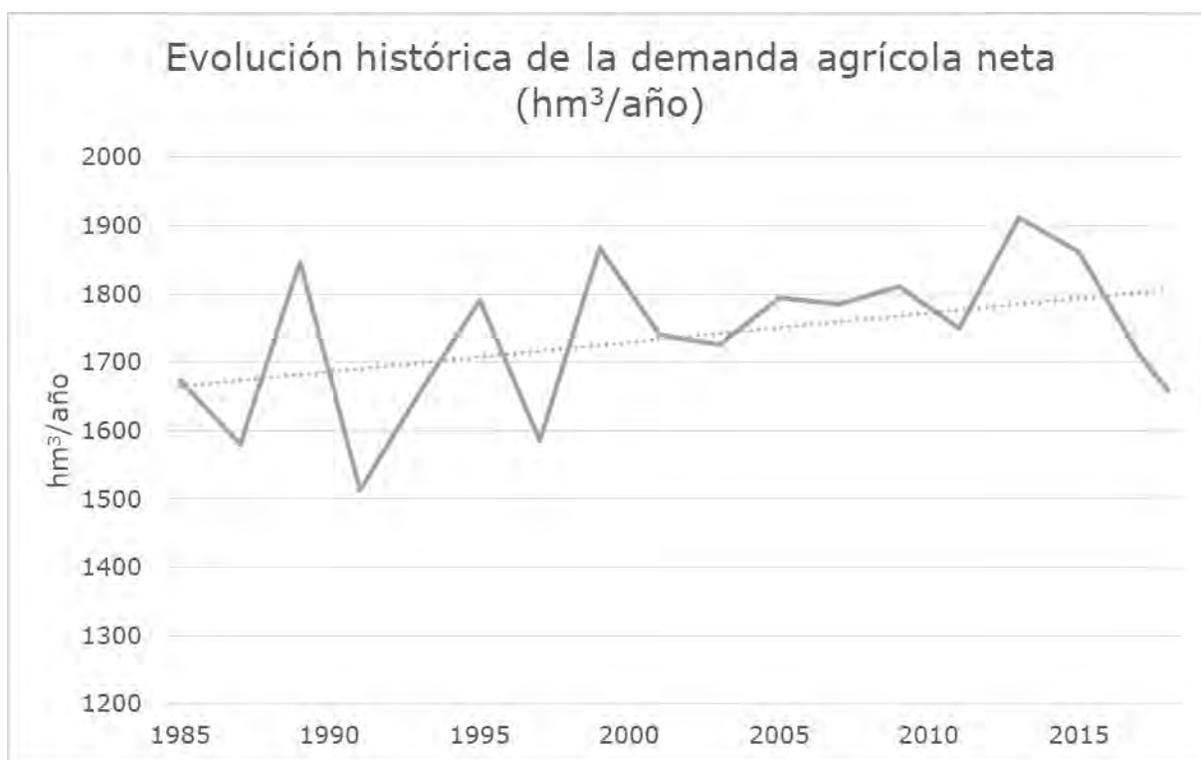
Fuente: elaboración propia a partir de DGA 2017.

Figura 3-4 Distribución de la demanda agrícola bruta, promedio actual (Hm³/mes)

Para aspectos de la modelación, la demanda es distribuida en los sistemas de riego nombrados en la sección 2.3.2. Sistemas de Riego, estos están formado por un conjunto de "Zonas de Riego (ZR)" buscando la distribución semejante a la realidad. En el Anexo F2 se encuentra la metodología para la limitación de estas zonas de riego. En conclusión el modelo tiene como input la demanda neta y la eficiencia de riego por Zona de Riego (ZR).

3.1.3.2 Demanda Histórica

El sector agrícola es el principal demandante de aguas de uso consuntivo en la cuenca y a nivel nacional. El gráfico siguiente presenta la demanda neta histórica de agua, para el período 1985 a 2019. En este se aprecia una tendencia variable, influenciada por la hidrología de cada año y el comportamiento de los mercados. Sin embargo, se aprecia una tendencia general creciente, aunque inferior al 10% dentro del período analizado. Esta leve variación se debe en parte al límite que establece la disponibilidad real de agua para riego, por lo que el crecimiento de la superficie regada se origina en un aumento en la eficiencia en la captación y conducción de las aguas, así como en el riego intrapredial.

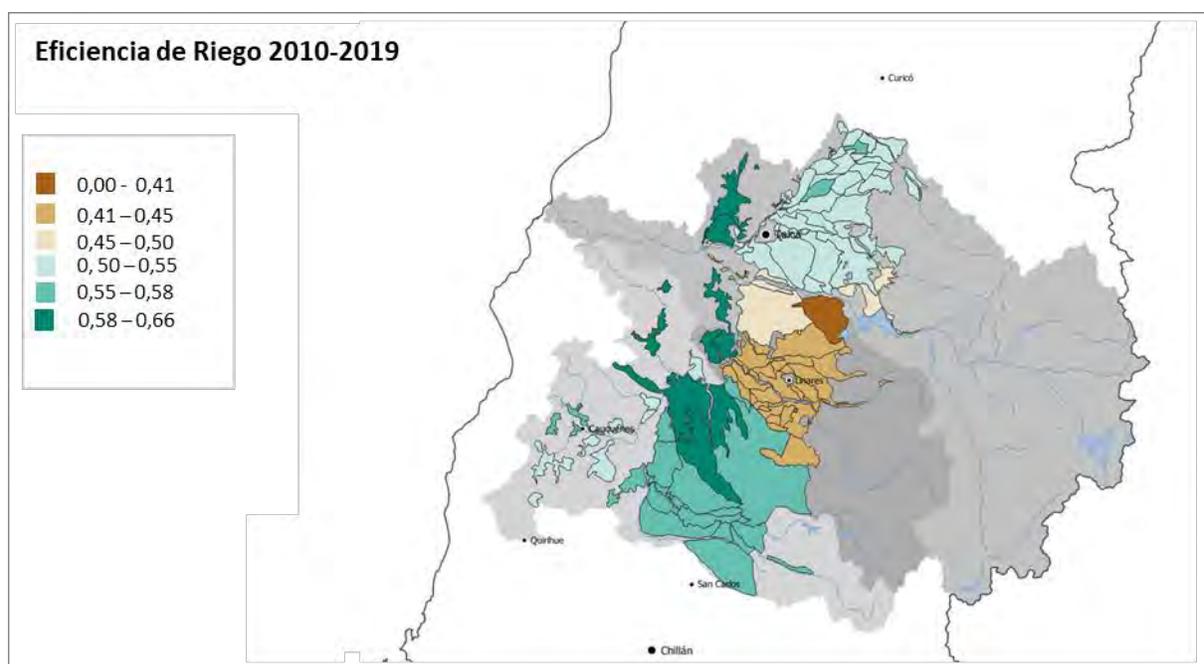


Fuente: Elaboración propia, en base a estimación calculada del censo agrícola 2007 y la estimación de los actores de la cuenca

Figura 3-5. Evolución histórica de la demanda agrícola neta (hm³/año)

3.1.3.3 Eficiencia del uso

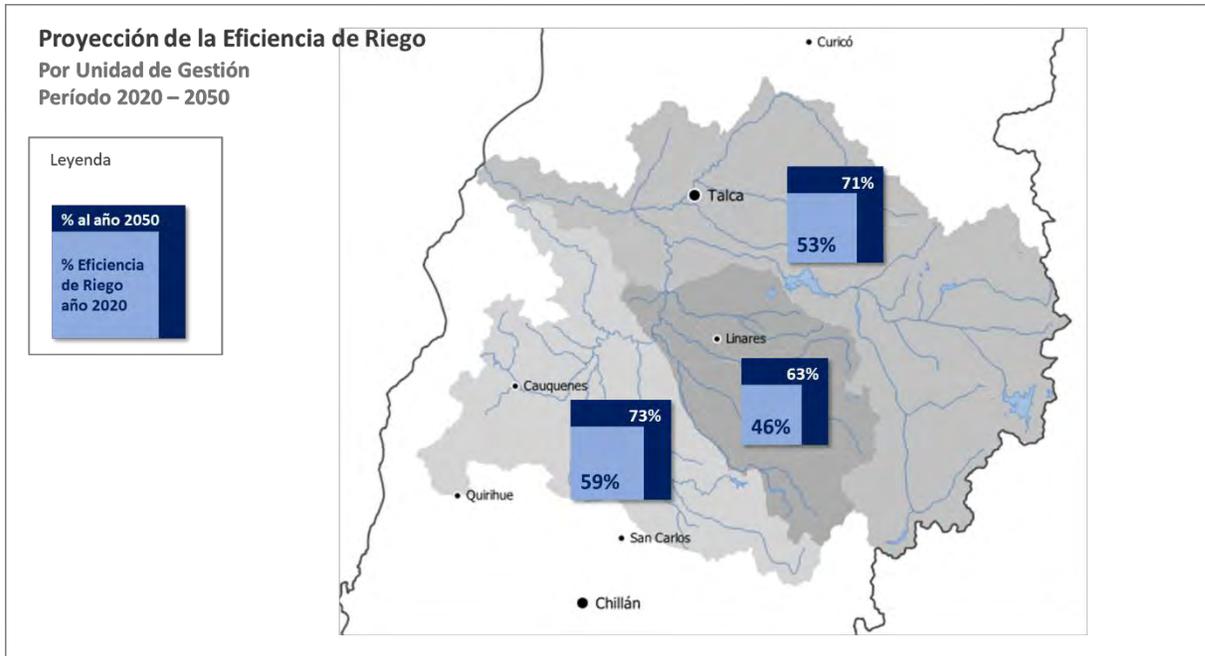
Una componente clave en el aumento de la superficie regada la constituye el aumento de la eficiencia en el uso de agua de riego, la que considera tanto las obras de captación y conducción del recurso, como la tecnificación del riego intrapredial. La estimación al año 2020 muestra que todos los nodos tienen una tendencia creciente, llegando a un promedio para la cuenca de 57% de eficiencia. El punto de partida en el año 1990 se encuentra por debajo del 50%. Dicha eficiencia para aspectos de modelación se mantiene fija desde 2019, de esta forma los escenarios de modelación serán comparable entre sí, sin tener influencias de otro parámetro como es la eficiencia. Sin embargo, y como se ha comentado en el punto anterior, es importante para la cuenca acciones que permitan la mejora de la eficiencia, de esta forma se crea un escenario de gestión de mejora de eficiencia (ver 7.3).



Fuente: Elaboración propia a partir de DGA 2017.

Figura 3-6. Eficiencia promedio de Riego distribuida en la cuenca del Maule (2010-2019)

La Figura 3-6 presenta la distribución de las eficiencias de riego donde se pueden observar mayores eficiencias en la zona Melozal, Longaví y Penciahue. Una de las zonas con eficiencia baja se encuentra al sur del embalse Colbún y sistema de Maule sur.



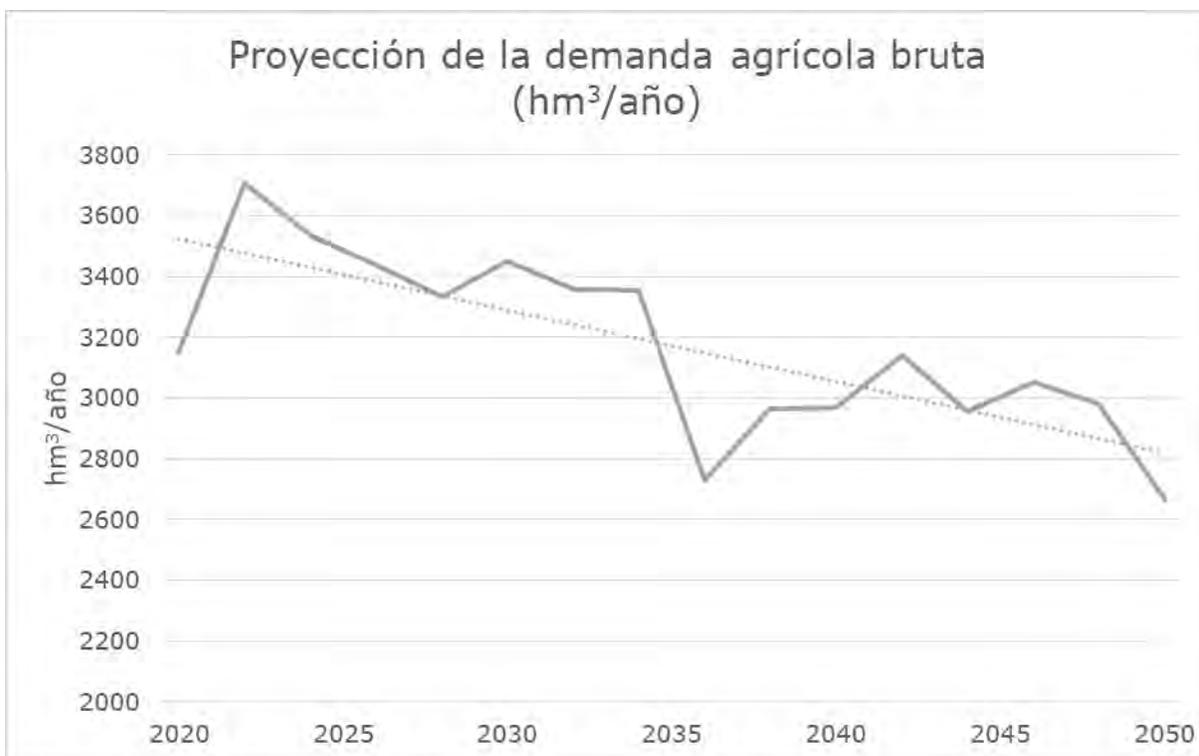
Fuente: Elaboración propia, en base a DGA (2017c).

Figura 3-7. Proyección de la eficiencia de riego por unidad de gestión

3.1.3.4 Demanda Proyectada

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

Por su parte, la demanda proyectada muestra unas tasas crecientes similares a las observadas a la fecha. Sin embargo, para aspectos de modelación al igual que la eficiencia, la superficie se mantiene fija en el tiempo, y por lo tanto la demanda neta y bruta varían según la precipitación efectiva.



Fuente: Elaboración propia, en base a proyección calculada

Figura 3-8. Evolución Demanda bruta (precipitación efectiva escenario CSIRO)

Tabla 3-8 Demanda bruta proyectada, Nodos

N°	NODO	2018	2030	2050
1	Río Lircay aguas arriba junta río Claro	236,53	248,33	253,93
2	Río Claro aguas arriba junta río Maule	528,17	552,99	550,59
3	Río Melado aguas arriba junta río Maule	0,97	1,27	1,57
4	Río Putagán aguas arriba junta río Maule	354,92	369,91	334,91
5	Río Ancoa aguas arriba junta Río Loncomilla	9,04	12,06	14,14
6	Río Achibueno aguas arriba junta río Loncomilla	5,97	4,05	2,85
7	Río Liguay aguas arriba junta río Longaví	111,54	115,51	112,40
8	Río Longaví aguas arriba junta río Loncomilla	71,71	73,51	74,79

N°	NODO	2018	2030	2050
9	Río Purapel aguas arriba junta río Perquilauquén	3,16	2,87	3,30
10	Estero Torreón aguas arriba junta río Perquilauquén	49,32	51,84	49,29
11	Río Tutuvén aguas arriba junta río Cauquenes	2,98	3,90	4,58
12	Río Cauquenes aguas arriba junta río Perquilauquén	13,47	17,59	21,65
13	Río Ñiquén aguas arriba junta río Perquilauquén	89,83	98,43	93,88
14	Río Perquilauquén en Quella	111,51	119,75	114,17
16	Río Maule en Longitudinal	128,16	141,72	139,66
17	Río Loncomilla aguas arriba junta río Maule	389,56	394,14	356,65
18	Río Maule después de junta Río Loncomilla hasta antes junta con el Claro	29,40	34,04	36,70
19	Río Maule después de junta con el Claro hasta desembocadura	68,69	90,87	110,10
	TOTAL (Hm ³)	2.205,0	2.332,79	2.275,17

Fuente: Elaboración propia, en base a proyección calculada

3.1.4 Demanda industrial y minera

En la cuenca del Maule se estimó un **consumo hídrico por uso industrial de 35,5 Hm³** (año 2019). Esta demanda esta ejercida principalmente por industrias alimentarias y bebidas, papeleras, fábricas de vino, fábricas de madera, empresas de envasado entre otras. La **Tabla 3-9** presenta la estimación de la demanda industrial a futuro.

Tabla 3-9 Proyección demanda industrial años 2030-2050

Año	2019	2030	2050
Demanda Hídrica	35,50 Hm ³	47,97 Hm ³	70,63 Hm ³

Fuente: Elaboración propia en basa a datos SISS & SMA

Para la cuenca del Maule se estima la demanda hídrica ejercida por las principales faenas mineras identificadas (toda ella de tipo consuntiva), pertenecientes a la minería del cobre y al resto de la minería metálica, representada por las producciones de cobre.

De acuerdo a DGA (2017c), la estimación de la demanda minera (con año base en 2015) para las subcuencas de la región, arroja los resultados que se entregan en la **Tabla 3-10**,

donde los valores se indican en términos de caudal medio anual (l/s) y volumen anual demandado (m³/año).

Tabla 3-10. Estimación demanda hídrica (consuntiva) minera actual (año base: 2015) – Subcuencas demandadas VII Región del Maule

Subcuencas Región del Maule	DDA aguas continentales año 2015		
	Hm ³ /año	m ³ /año	l/s
Maule Bajo	0,001044	1.044	0,03
Total	0,001044	1.044	0,03

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

3.1.5 Demanda hidroeléctrica

Las centrales hidroeléctricas incluidas en el modelo se presentan en la Tabla 3-11, junto con las características consideradas en el modelo para cada una de ellas.

Tabla 3-11 Características de las centrales hidroeléctricas consideradas en el modelo.

Central Hidroeléctrica	Caudal Máximo Turbinable (m ³ /s)	Eficiencia de Generación Energética (%)	Altura de Caída (m)	Entrada en Operación
Ojos de Agua	13,3	87	71,50	Julio 2008
Cipreses	36,4	75	Variable	Desde el inicio de la modelación
Isla	84	87	93,00	Desde el inicio de la modelación
Curillinque	84,5	92	114,29	Octubre 1993
Loma Alta	99	82	50,40	Agosto 1997
Pehuenche	315	90	Variable	Julio 1991
Colbún	280	83	Variable	Desde el inicio de la modelación
Machicura	280	95	Variable	Desde el inicio de la modelación (1985)
Chiburgo	14	95	118,00	Junio 1996
San Ignacio	194	98	20,00	Agosto 1996

Fuente: CORFO (2013)

En la Tabla 3-12 sistematiza la demanda hidroeléctrica de los derechos no consuntivos de la cuenca para el periodo actual y lo simulada para los periodos hasta 2050. En el Anexo H se entregan las reglas de operación dentro del modelo.

Tabla 3-12 Volumen anual turbinado por centrales hidroeléctricas (Hm³/año)

Central	2010- 2020	2020-2030	2030-2050
Central Cipreses	813	679	577
Central Curillinque	1.993	1.751	1.574
Central Isla	1.993	1.751	1.574
Central Loma Alta	2.285	1.996	1.806
Central Ojos de Agua	295	228	170
Central Pehuenche	5.430	4.889	4.670
Central Chiburgo	347	327	317
Central Colbún	4.876	4.385	4.118
Central Machicura	4.876	4.386	4.118
Central San Ignacio	3.752	3300	3.074
Total	26.659	23.692	22.000

Fuente: Elaboración propia en base a los derechos de aprovechamiento de aguas de las centrales hidroeléctricas y resultados del Modelo Hidrológico WEAP –Modflow

La Tabla 3-12 presenta un descenso significativo de los caudales turbinados expresados en Hm³/año. Marca un escenario de **reducción de producción** de energía de un 17 % en el año 2050, el cual está siendo contrarrestado por parte de las empresas generadoras mediante un “re powering” de sus instalaciones, con el propósito de mantener los niveles de producción de energía con menores caudales de agua¹⁹.

3.2 Derechos de aprovechamiento de agua

3.2.1 Derechos de Agua Superficiales

De acuerdo con la información proporcionada por el Catastro Público de Aguas (CPA) de la Dirección General de Aguas, actualizados al año 2020, los derechos de aprovechamiento de agua (DAA) superficiales y consuntivos (permanentes y eventuales) presentes en la cuenca son 2.945, los que se separan en 2.744 permanentes y 201 DAA eventuales. Se indica que el tratamiento de los derechos superficiales se realiza de acuerdo a los nodos definidos por DGA (Figura 2-8), mientras que los DAA subterráneos se agrupan de acuerdo

¹⁹ Anexo D. Minuta de entrevistas ENEL Chile, realizada con fecha 13 de noviembre de 2020.

a los SHAC. Dicho análisis se realiza mensualmente en l/s. Para sistematización de la información, en la Tabla 3-13 se presentan los datos por nodo, indicando un promedio anual de los derechos superficiales consuntivos y no consuntivos.

Tabla 3-13. Derechos de agua superficiales consuntivos y no consuntivos (l/s)

Unidades de Gestión	Consuntivos		Caudal promedio anual No Consuntivos (l/s)
	Ejercicio	Caudal promedio anual (l/s)	
Maule Nodos: 1, 2, 3, 16, 18,19	Permanente	40.259	1.621.258
	Eventual	69.603	
Loncomilla Nodos: 4, 5, 6, 7, 8, 17	Permanente	30.550	299.725
	Eventual	11.422	
Perquillauquén Nodos: 9, 10, 11, 12, 13, 14	Permanente	40.500	189.174
	Eventual	22.224	
S/I	Permanente	17.250	0
	Eventual		

Fuente: Elaboración propia, información CPA DGA (2020)
En el anexo F1 se encuentra el desglose de los derechos por mes.

Según se tiene de la Figura 3-9, la distribución de los derechos consuntivos está marcada por las reservas que se hacen en embalses para la temporada de riego (en los meses de mayo a noviembre).

En complemento, según el CPA DGA al año 2020, los derechos de aguas **superficiales no consuntivos** presentes en la cuenca son 494. Al revisar la cantidad y suma de caudales de derechos por nodo, destacan "N16 Río Maule en Longitudinal" (146 DAA y 714.443 l/s) y "N3 Río Melado aguas arriba junta río Maule" (103 DAA y 527.408,8 l/s). Por su parte los nodos que presentan menor número de DAA y caudales son "N17 Río Loncomilla aguas arriba junta río Maule" (2 DAA con 2.900 l/s) y "N9 Río Purapel aguas arriba junta río Perquillauquén" (1 DAA con 60,0 l/s).

De acuerdo a la base datos CPA-DGA (2020) se indica que principalmente estos derechos de aprovechamiento de aguas son utilizados para la generación eléctrica. Siguiendo a la generación eléctrica, destaca clasificación que no tiene uso en la base de datos DGA y del uso industrial. Las categorías que no se alcanzan a desplegar en el gráfico son Otros Usos (3.511 l/s), Pisciculturas (1.351 l/s), y Bebida, uso doméstico y saneamiento (477 l/s). En la Figura 3-10 se muestra distribución de los derechos según las coordenadas del punto de captación informadas a la DGA. Los **Derechos No Consuntivos** se localizan en la **zona de la cordillera** principalmente. Estos derechos se han considerado en el modelo hidrológico dentro de las centrales hidroeléctricas más significativas para los efectos de planificación.

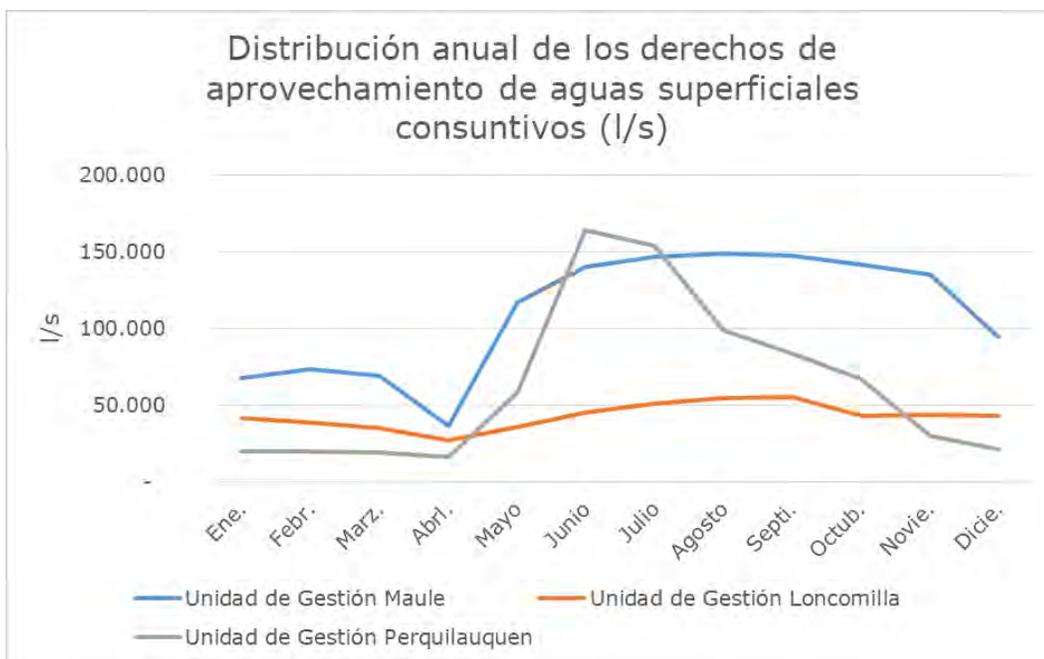
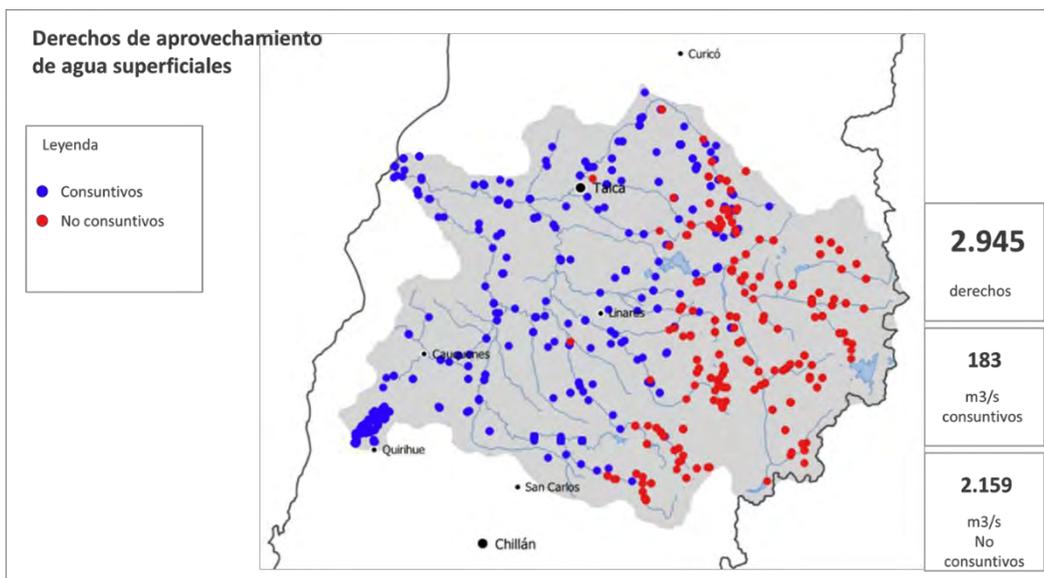


Figura 3-9. Distribución anual de los Derechos de aprovechamiento superficiales consuntivos por Unidad de Gestión (I/s)

Fuente: Elaboración propia en base a información CPA DGA (2020)



Fuente: Elaboración propia, información CPA DGA (2020)

Figura 3-10. Distribución de Derechos de Agua Superficiales y Consuntivos

3.2.2 Derechos de Agua Subterráneos

De acuerdo a la información CPA que dispone la DGA, los derechos de aguas subterráneos en los sectores que se ubican en la cuenca del Río Maule totalizan 3.944 derechos, los cuales se componen de derechos solicitados y aquellos que efectivamente han sido otorgados por la Dirección General de Aguas. Esto último es importante ya que existen DAA que fueron solicitados pero no han sido otorgados debido al tiempo transcurrido del proceso de adjudicación, así existe 2.843 DAA que cuentan con caudal otorgado por DGA.

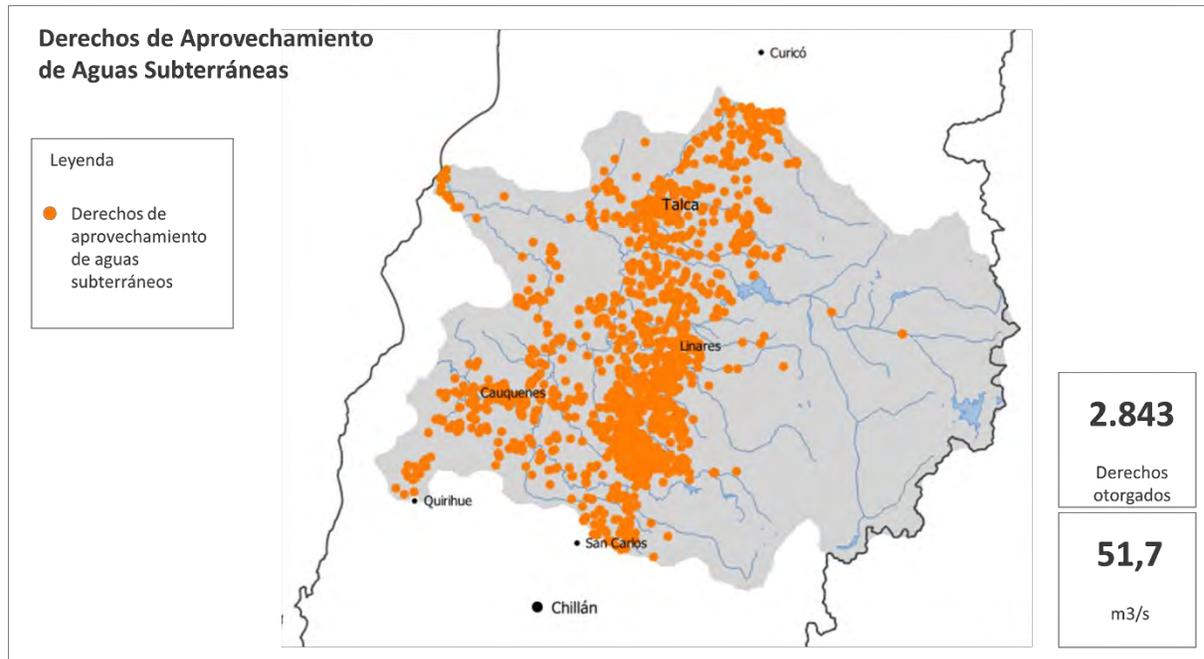
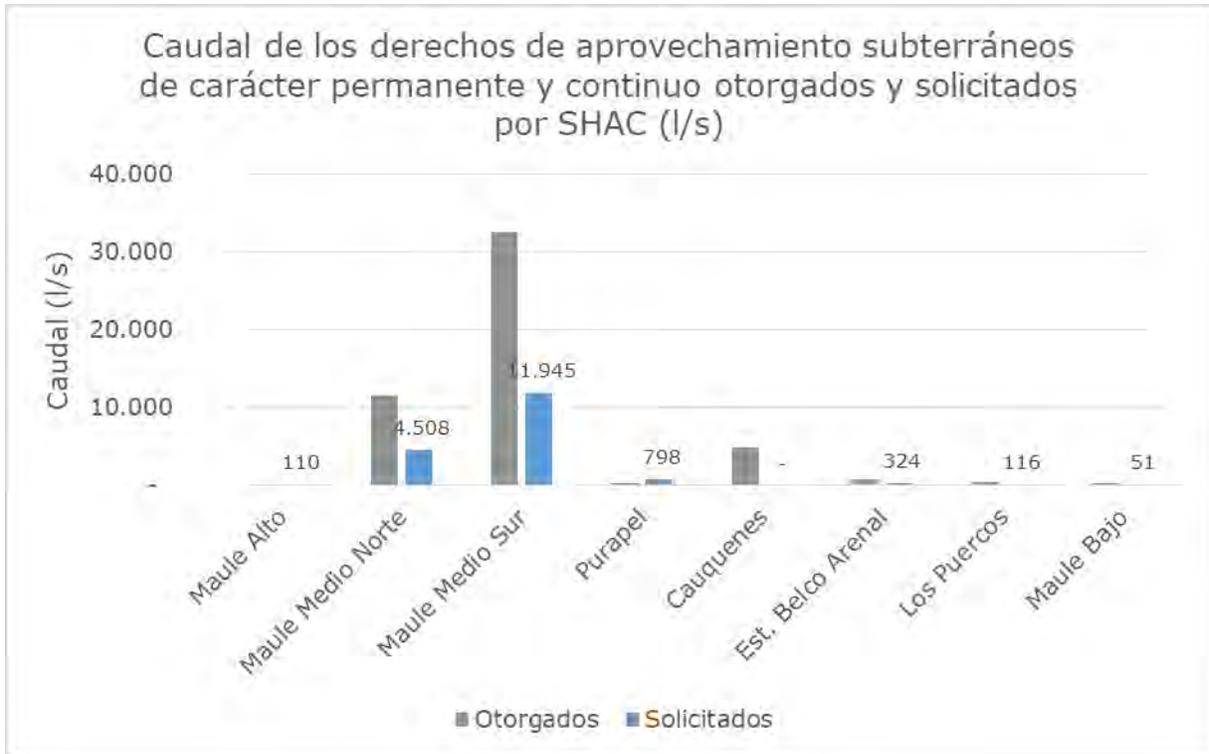


Figura 3-11. Derechos de Aguas Subterráneos

Fuente: Elaboración propia, información CPA DGA (2020)

Para la administración de estas solicitudes y caudales y otorgados, se han definido los Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común (SHAC), de los cuales en la cuenca del Río Maule existen 8, sobre los cuales los derechos se distribuyen de acuerdo a lo que se muestra en la Figura 3-11.

En la Figura 3-12 destacan los derechos otorgados en Maule Medio Sur (1.672 derechos por 32.537 l/s), Maule Medio Norte (548 derechos por 11.560 l/s), Cauquenes (351 derechos por 4.855 l/s). Maule Alto, que no aparece reflejado en el gráfico, tiene sólo 88 l/s otorgados.

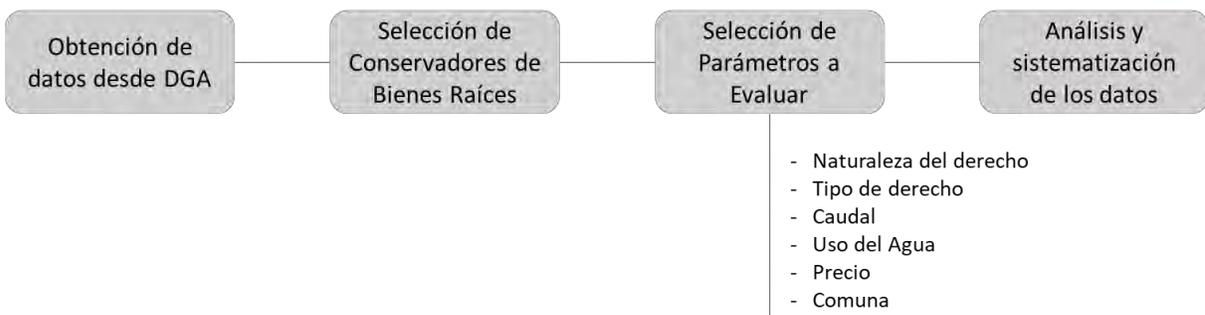


Fuente: Elaboración propia, información CPA DGA (2020)

Figura 3-12. Caudal de los derechos de aprovechamiento subterráneos de carácter permanente y continuo otorgados y solicitados por SHAC

3.3 Mercado de aguas

La Figura 3-13 presenta un diagrama conceptual de cómo se obtuvo la información para la sistematización de un escenario de Mercado del Agua.



Fuente: elaboración propia.

Figura 3-13. Diagrama conceptual para el análisis del Mercado de Agua

3.3.1.1 Resultados por Caudal

En el caso del caudal el análisis incluye todos los movimientos que se han realizado en los Conservadores de Bienes Raíces desde el año 2009 hasta el 2019. Los resultados se presentan en la Tabla 3-14.

Tabla 3-14 Transacciones de agua por unidad de caudal transada

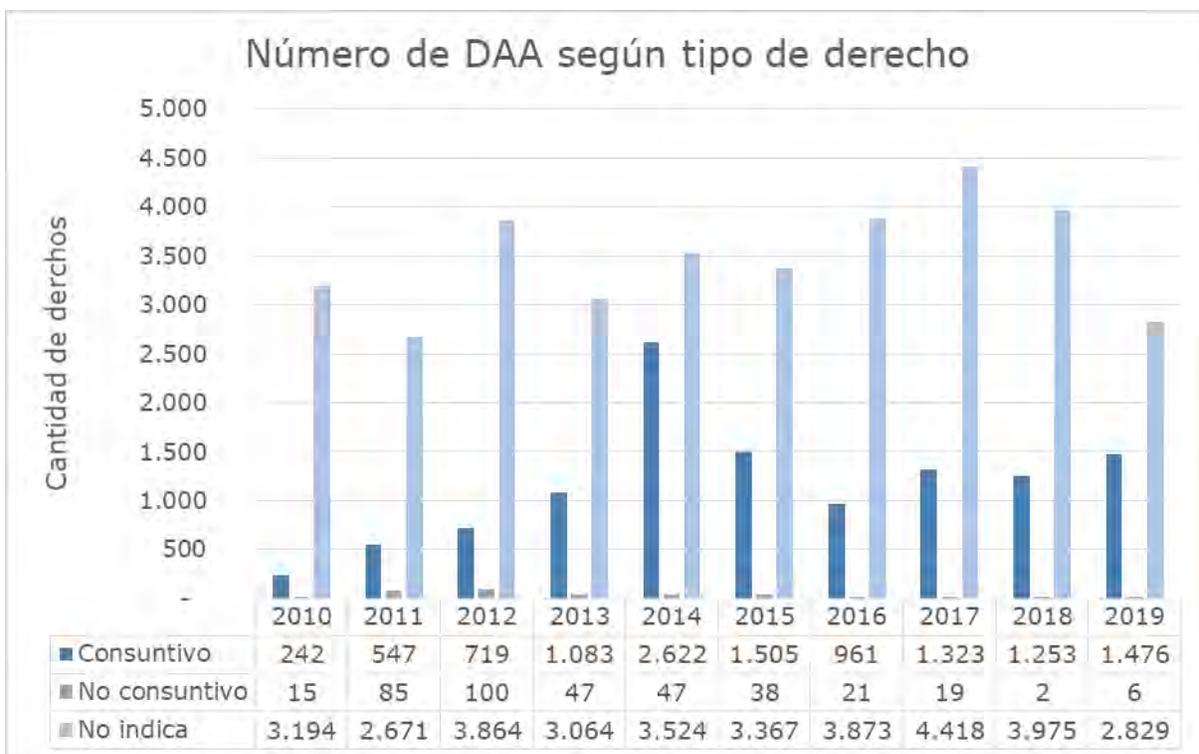
Año	Caudal l/s	Acciones	Caudal m ³ /s	Caudal m ³ /Año	Regadores	Milésimas de Regadores	No se Indica
2010	32.508	49.735		378.921	376		158
2011	85.986	19.969			223		42
2012	215.138	57.719		8.854.642	697		192
2013	192.741	31.948	2		425		22
2014	117.015	25.098	138.628	77	448		127
2015	165.230	19.040			1.232		7
2016	124.477	20.285	79.488		484	275	52
2017	67.809	15.764			131.320	299	3.416
2018	58.578	163.301			168		2
2019	14.465	9.304	2	56.597	345	600	24
Total	1.073.947	412.162	218.120	9.290.237	135.719	1.174	4.042

Fuente: elaboración propia

Como se observa, los movimientos que se han realizado los últimos 10 años se encuentran mayoritariamente en litros por segundo. Cabe mencionar que existe libertad absoluta por parte de los abogados en redactar escrituras de compraventa en la unidad de caudal que estimen conveniente, sin tener que realizar el perfeccionamiento de derechos en el caso que sea necesario. Se resalta que en el año 2014 existe un gran movimiento en la cuenca del Maule en metros cúbicos por segundo, y entre los años 2018 y 2019, grandes movimientos en regadores y acciones de derechos de aprovechamiento.

3.3.1.2 Resultados por Tipo de Derecho de Aprovechamiento

En ese apartado se identifican los movimientos de derechos de aprovechamiento según el tipo de derecho. Esto corresponde a derechos Consuntivos y no consuntivos.



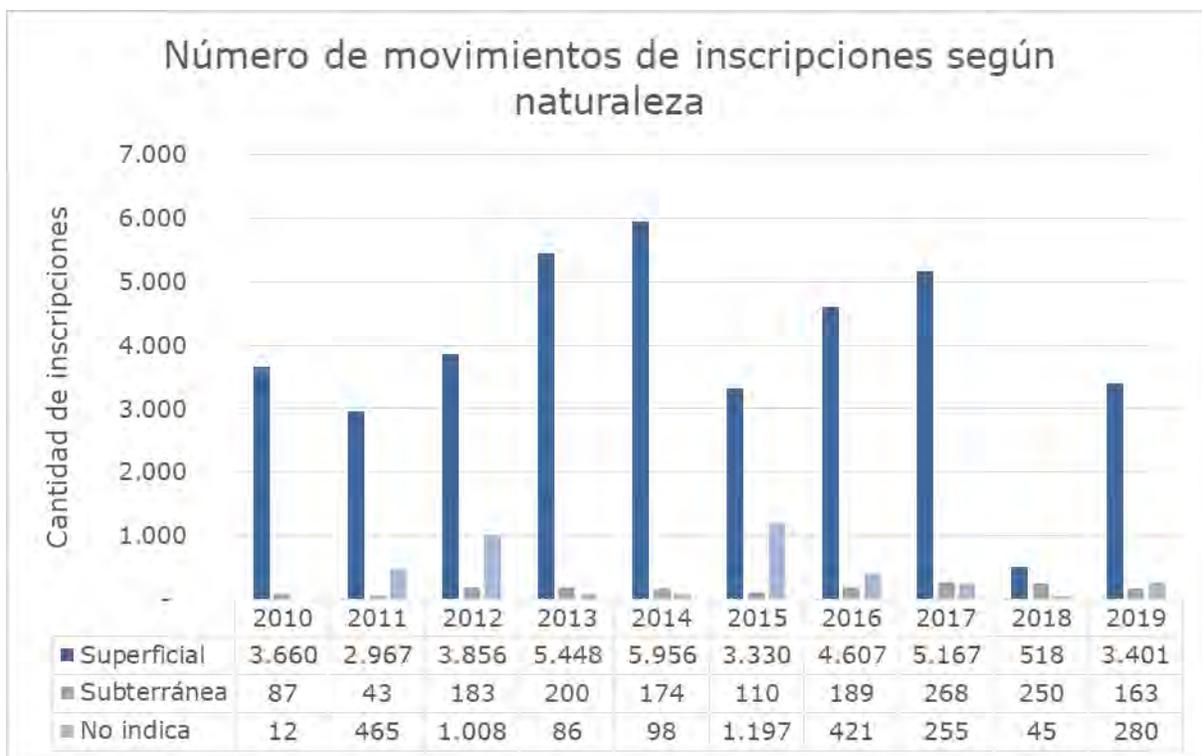
Fuente: Elaboración propia en base CBR cuenca del Maule

Figura 3-14. Número de DAA transados según tipo de derecho

En la Figura 3-14 destaca la gran cantidad de derechos de aprovechamiento que no tienen reflejados en sus inscripciones la característica. Eso refleja la gran cantidad de DAA que no han sido perfeccionados y que no poseen las características esenciales que mandata el código de aguas. Adicionalmente se puede concluir que el movimiento en la cuenca del Maule es mayoritariamente de derechos consuntivos por sobre derechos no consuntivos.

3.3.1.3 Naturaleza del Derecho

Es relevante señalar que estimar los movimientos de inscripciones según la naturaleza del derecho, tiene relación con disponibilidad hídrica que existe actualmente en la región y más particularmente en la cuenca. Los resultados son los siguientes:



Fuente: Elaboración propia en base CBR cuenca del Maule

Figura 3-15. Número de DAA transados según naturaleza

Como muestra la Figura 3-15, las inscripciones de aguas superficiales, prevalecen por sobre las aguas subterráneas. Esto se debe a que en la cuenca del Maule existen muchos derechos de aguas superficiales otorgados y el derecho de agua subterráneo está recién incorporándose a la realidad hídrica de la cuenca. Sin embargo, se debe tener especial precaución en el sentido que quizás existen muchos pozos que no han sido solicitados ni otorgados por la Dirección general de Aguas.

3.3.1.4 Conservador de Bienes Raíces

Este análisis muestra la cantidad de derechos inscritos por Conservador de Bienes Raíces.



Fuente: Elaboración propia en base CBR cuenca del Maule

Figura 3-16. Número de DAA según el CBR

Dado los resultados expuestos en la Figura 3-16, se puede dar cuenta que el Conservador de Linares contiene las mayores inscripciones de manera sostenida y uniforme durante el tiempo. Esto, obedece a que las comunas donde tiene jurisdicción el Conservador de Linares tienen una de las mayores actividades agrícolas del país. Por el contrario las zonas costeras (Cauquenes y Constitución) representan un porcentaje muy bajo de inscripciones de Derechos de Aprovechamiento, esto está enmarcado a la poca utilización de DAA en zonas costeras.

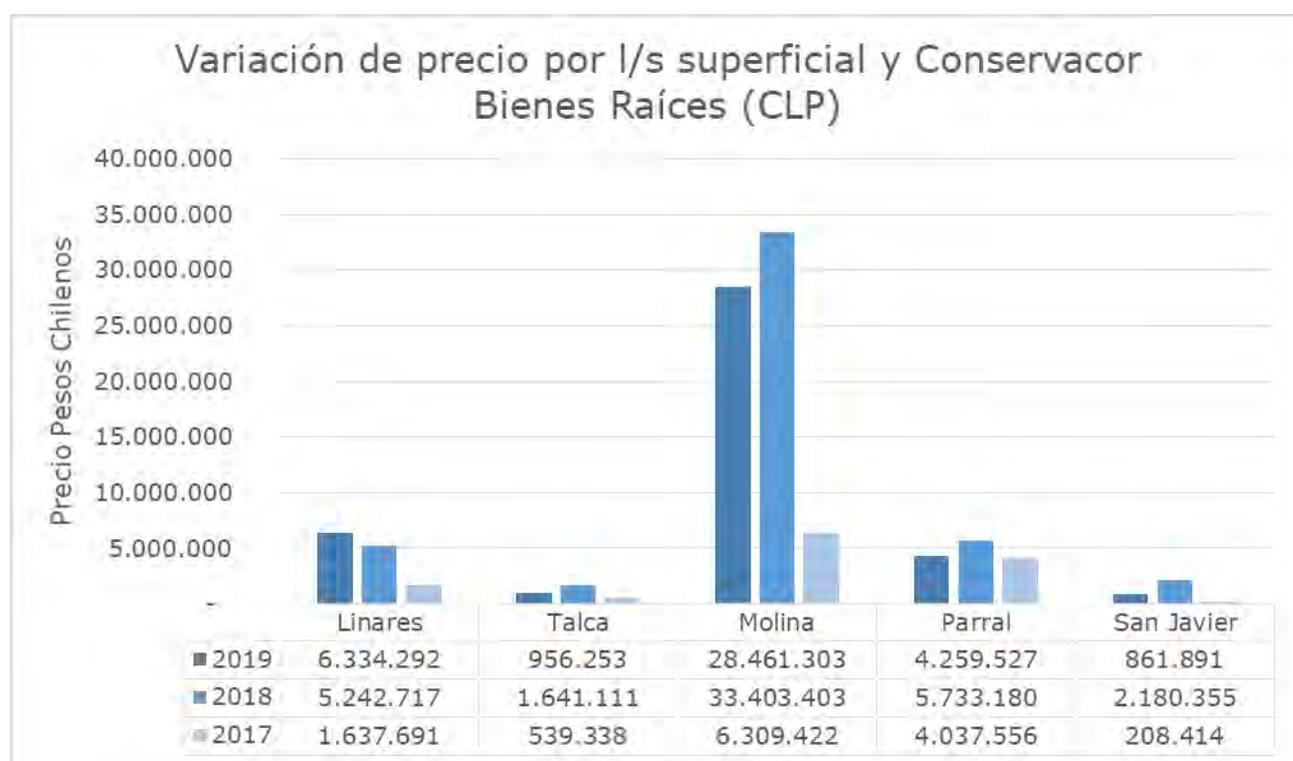
3.3.1.5 Precio

Para el entendimiento de este punto es válido resaltar que la calidad de la información con la que cuenta la Dirección General de Aguas en cuanto a lo que informan los Conservadores de Bienes Raíces no es de la mejor calidad. Al revisar la información contenida en los distintos Excel, se ha podido constatar que la información contiene errores tales como diferencias entre lo que señala la escritura y el Excel, no coinciden fojas, números y años entre las bases de datos, precios mal anotados, datos inexistentes en algunos años de

algunos conservadores, entre otros problemas. Es por esta razón que se determinó realizar muestras para establecer precios estimativos de litros por segundo, siguiendo las siguientes reglas.

- Se tomaron en cuenta 5 Conservadores de Bienes Raíces que son los que contienen información más completa.
- Se tomaron datos de derechos que solo estuvieran en Litros por segundo
- Se tomaron datos de derechos que solo estuvieran en pesos.
- Se tomaron como base los últimos 3 años para hacer el análisis
- Se tomaron como base 10 derechos de forma aleatoria en cada Conservador y Años.
- Se dividió el análisis en derechos superficiales y subterráneos.

Los resultados se presentan en la Figura 3-17.

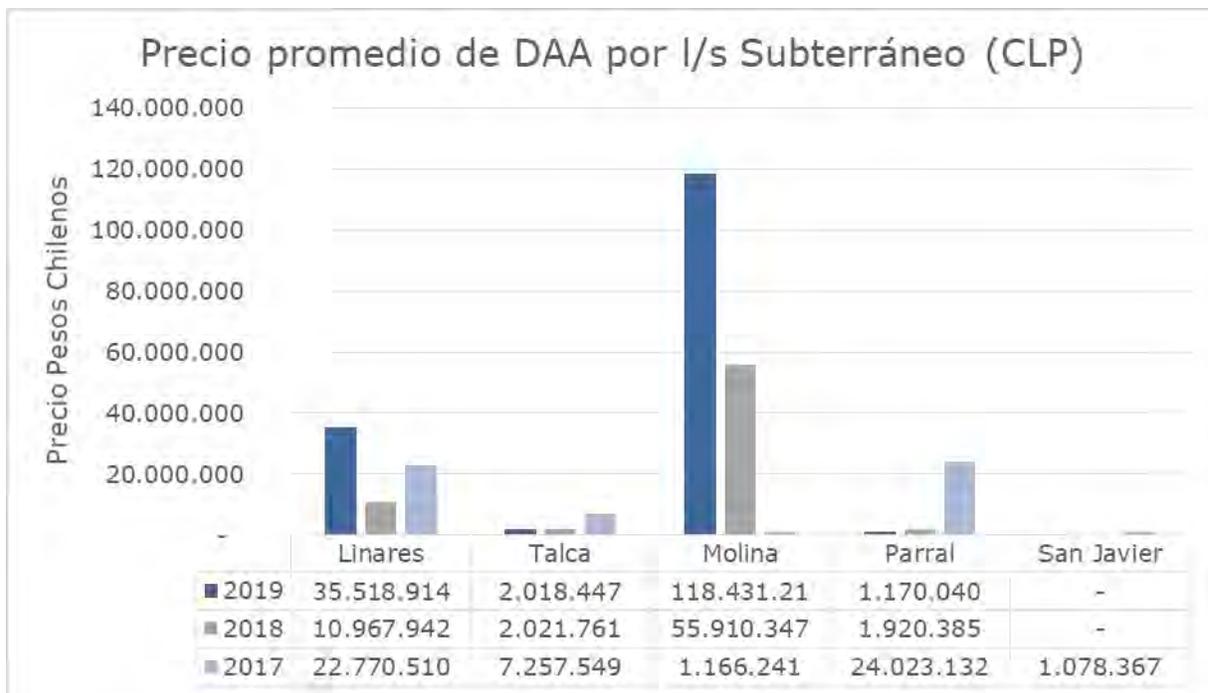


Fuente: Elaboración propia en base CBR cuenca del Maule

Figura 3-17. Variación de precio por litro/segundo por CBR

En el caso de los derechos de aprovechamiento superficiales, se puede notar que el CBR de Molina concentra la mayor cantidad de precio en relación al litro por segundo promediando entre los tres años un precio de litro por segundo de **\$22.724.709.-** Es relevante destacar que pese a que existe alguna tendencia a que los precios se eleven durante va pasando el tiempo, la información presente no es suficiente para aseverar esto. La volatilidad de los precios durante los tres años estudiados es bastante notoria y es relevante en el sentido

de que con esos datos es imposible asegurar un buen funcionamiento de un mercado de las aguas. Según se tiene de la Figura 3-18, en el caso de los derechos subterráneos se debe hacer notar es que el valor del litro por segundo es superior que al litro por segundo superficial.



Fuente: Elaboración propia en base CBR cuenca del Maule

Figura 3-18. Precio de DAA por litro/segundo por CBR

4 OFERTA DE AGUA

4.1 Agua superficial

4.1.1 Fuentes de agua

Como se indicó en el apartado 2.2.3 Hidrósfera, dentro de las **fuentes superficiales de mayor envergadura** de la cuenca se pueden contar los ríos **Perquillauquén, Ñiquén, Cauquenes y Purapel** en la zona sur; **Putagán, Ancoa, Achibueno y Longaví**, todos afluentes del **Loncomilla** en la parte central; el **Maule, Claro y Lircay** al norte; y el **Melado y Cipreses** en la zona cordillerana.

Estas fuentes de agua adicionalmente pueden tener reservorios superficiales como es el caso de las lagunas y embalses. Dentro de los más importantes se encuentran los embalses **Tutuvén, Digua, Bullileo, Colbún, Machicura, Melado y Ancoa**; y las lagunas **del Maule y La Invernada**.

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

4.1.2 Oferta en la fuente

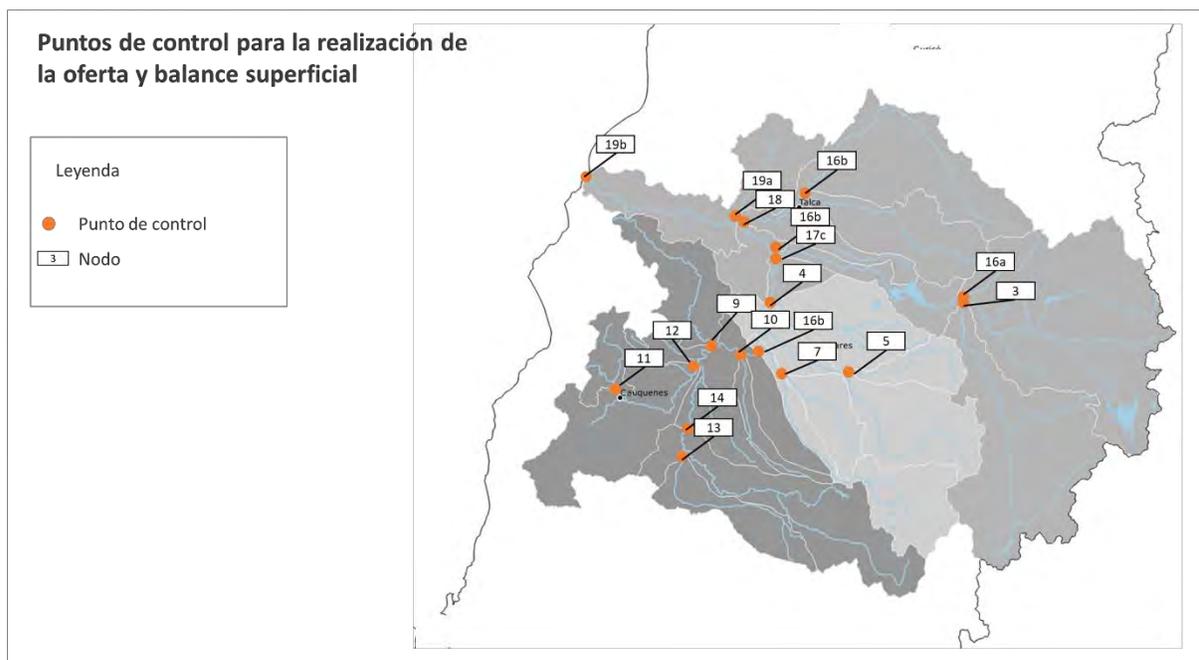
La oferta anual promedio de agua superficial en la cuenca del Maule es de **20.154,9 Hm³/año** para el **periodo 2000-2020**. En el presente estudio se han calculado las ofertas superficiales en cada uno de los nodos de las subsubcuencas del Maule (Figura 4-1). Las subsubcuencas más aportantes son las subsubcuencas de cordillera (nodo 3 y 16(a)) y la subsubcuenca del Río Achibueno aguas arriba de la junta del Río Loncomilla. Por el contrario, los nodos con menor oferta por superficie (km²) son los nodos 9, 10, 11 y 12, que forman la subcuenca del Río Perquillauquén (ver Tabla 4-1).

Sin embargo, para el análisis por nodos se diferencia la oferta según el régimen de operación, es decir, dependiendo de si se consideran la intervención actual de la cuenca, se define:

Oferta en régimen intervenido: Tomando los cauces superficiales de los nodos como volúmenes de control para establecer la oferta superficial, en la oferta en régimen intervenido se consideran los ingresos por escorrentía propia, ingresos provenientes de otros nodos a través de cauces superficiales, trasvases desde otros nodos, flujos de retorno superficiales provenientes de las zonas de riego y desembalses si corresponde. Es decir, en este régimen se considera la cuenca con toda su infraestructura de aprovechamiento hídrico en funcionamiento (canales de riego, embalses, centrales hidroeléctricas, trasvases, etc.), de acuerdo a las características de cada uno de estos elementos y a las reglas operacionales que han sido comunicadas por los mismos usuarios de aquella infraestructura.

Oferta régimen natural: Al igual que en la oferta en régimen intervenido, en este caso se toman los cauces superficiales de los nodos como volúmenes de control para establecer

La oferta de agua, sin embargo, en este caso se considera a la cuenca en su régimen natural. Es decir, se evalúan los caudales en la cuenca considerando que no hay extracciones por parte de los canales. Sin embargo, dada la importancia de los trasvases en la cuenca del Maule, que muchas veces permiten disponer, en un lugar, del agua proveniente de otras subcuencas, éstos han sido considerados en funcionamiento para este escenario.



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

Figura 4-1. Puntos de control para la realización de la oferta y balance superficial

4.1.2.1 Oferta de Agua Actual en Régimen Intervenido

La oferta en régimen intervenido u operacional se presenta por nodos, siendo la entrada a cada unidad por la escorrentía propia más la oferta proveniente de otro nodo o de un transvase. La Tabla 4-1 presenta la oferta actual (promedio) para el período 2000-2020.

Tabla 4-1 Oferta promedio anual en régimen intervenido periodo 2000-2020 (Hm³/año)

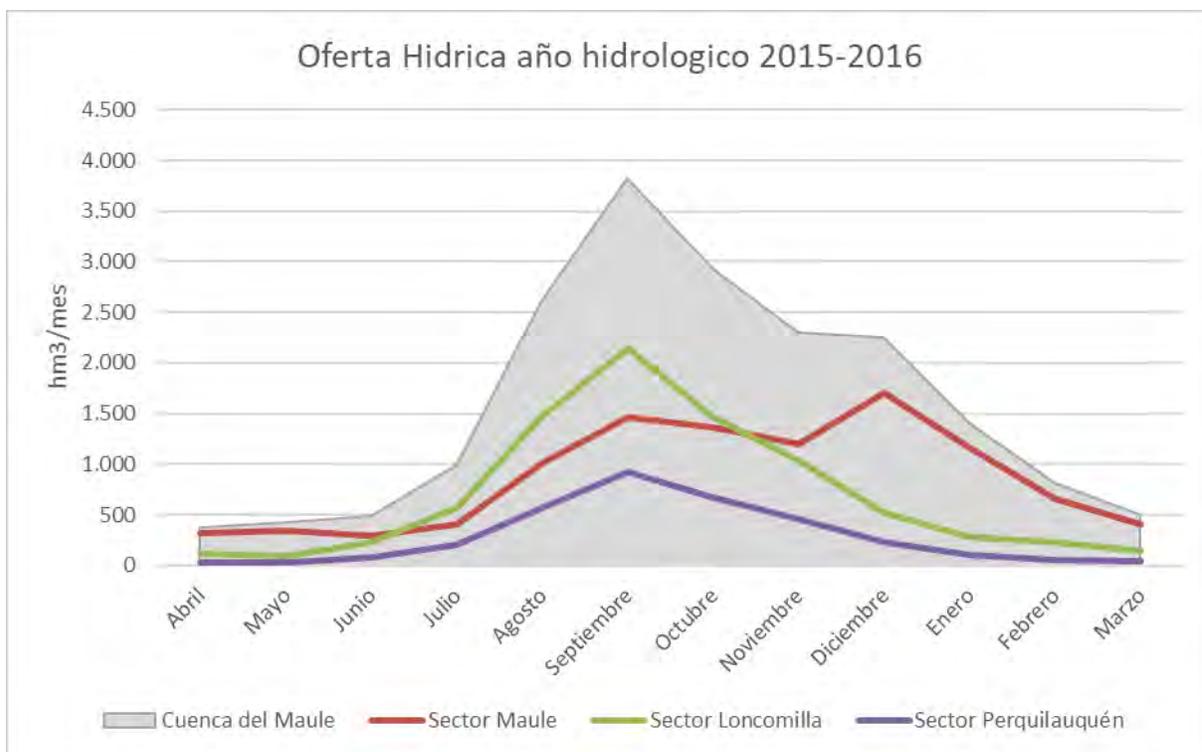
UG Maule		UG Loncomilla		UG Perquillauquén	
Nodo	Oferta	Nodo	Oferta	Nodo	Oferta
Oferta UG	11.618,8	Oferta UG	5.189,8	Oferta UG	3.338,0
1	1.216,0	4	686,5	9	224,8
2	985,1	5	733,3	10	125,9
3	3.110,1	6	1.881,1	11	62,9
16(a)	2.241,5	7	333,4	12	667,7
16(b)	4.135,0	8	1.285,2	13	314,2
18	15.474,3	17(a)	9.888,2	14	1.952,4
19(a)	565,5	17(b)	7.824,2	17(C)	
19(b)	19.781,1				

Nota: Los valores por Unidades de Gestión no son el sumatorio de los nodos representativos, debido a que dichos nodos disponen de la oferta sobrante de los nodos aguas abajo.

Fuente: Elaboración propia en base al modelo hidrológico actualizado

En el Anexo H sección 2.1 Oferta superficial se entrega la metodología utilizada para su cálculo.

La oferta hídrica se acumula en los meses de junio a noviembre, donde el mayor volumen se presenta en el mes de agosto. La Figura 4-2 representa un año hidrológico (2015-2016) para la cuenca del Maule y los tres sectores.



Nota: El sector Maule no incluye acumulación proveniente del rio Loncomilla

Fuente: Elaboración propia en base al modelo hidrológico actualizado. Datos meteorológicos CR2MET

Figura 4-2. Oferta Hídrica actual, año hidrológico 2015-2016 (Hm³)

4.1.2.2 Oferta de Agua Proyectada en Régimen Intervenido

Por otra parte, como se ha mencionado en el punto 2.2.2.3 Escenarios de cambio climático y se menciona en el anexo del modelo conceptual superficial, la precipitación y temperatura del periodo proyectado (2016-2050) es obtenida desde el modelo GCM CSIRO-Mk3-6-0. Para este escenario la proyección de la oferta es la siguiente:

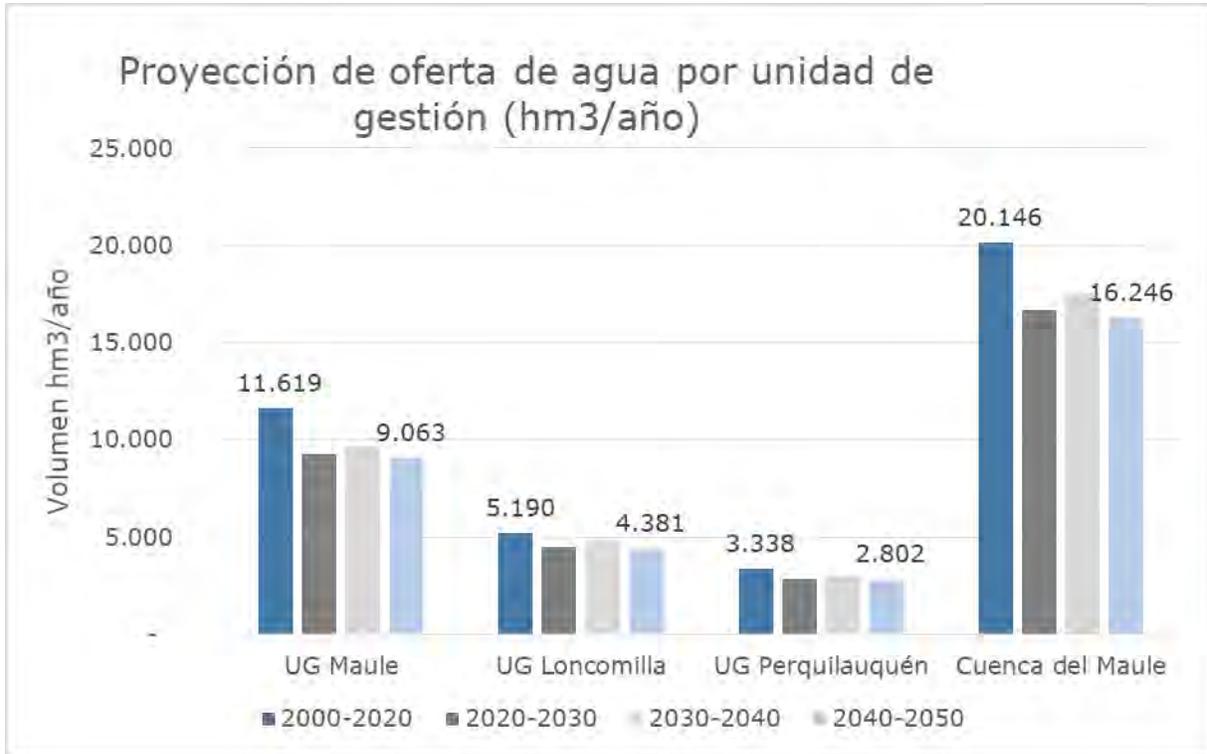
Tabla 4-2 Proyección de la oferta por nodo (Hm³/año)

Nodo	2000-2020	2020-2030	2030-2040	2040-2050
Cuenca del Maule	20.145,9	16.638,7	17.518,2	16.246,0
UG Maule	11.618,8	9.283,6	9.647,7	9.062,9
1	1.216,0	974,6	1.011,4	955,4
2	985,1	790,9	819,5	785,2
3	3.110,1	2.678,5	2.894,9	2.629,4
16(a)	2.241,5	1.617,3	1.715,1	1.614,3
16(b)	4.135,0	3.117,4	3.312,5	3.035,4
18	15.474,3	12.519,9	13.274,1	11.995,2
19(a)	565,5	460,4	485,8	470,2
19(b)	19.781,1	16.138,8	16.939,3	15.532,9
UG Loncomilla	5.189,8	4.484,9	4.803,3	4.380,9
4	686,5	549,2	578,3	541,0
5	733,3	647,5	670,4	626,9
6	1.881,1	1.606,9	1.734,5	1.571,2
7	333,4	270,6	291,1	266,0
8	1.285,2	1.168,0	1.262,5	1.130,7
17(a)	9.888,2	6.609,2	7.074,7	6.432,0
17(b)	7.824,2	2.462,6	2.622,8	2.388,4
UG Perquillauquén	3.338,0	2.870,2	3.067,2	2.802,1
9	224,8	203,9	220,6	208,4
10	125,9	103,6	112,6	102,7
11	62,9	55,5	58,9	55,8
12	667,7	552,1	596,5	546,7
13	314,2	243,9	264,6	238,0
14	1.952,4	1.703,4	1.812,6	1.660,1
17(c)	3.338,0	2.462,6	2.622,8	2.388,4

Nota: Los valores por Unidades de Gestión no son el sumatorio de los nodos representativos, debido a que dichos nodos disponen de la oferta sobrante de los nodos aguas abajo.

Fuente: Elaboración propia en base al modelo hidrológico actualizado

La cuenca del Maule reduce su oferta para el año 2050 un **19,4 %** respecto al promedio de 2000-2020. Los tres sectores o unidades de gestión se comportan de forma similar para dicha proyección, según se puede apreciar en la Figura 4-3.



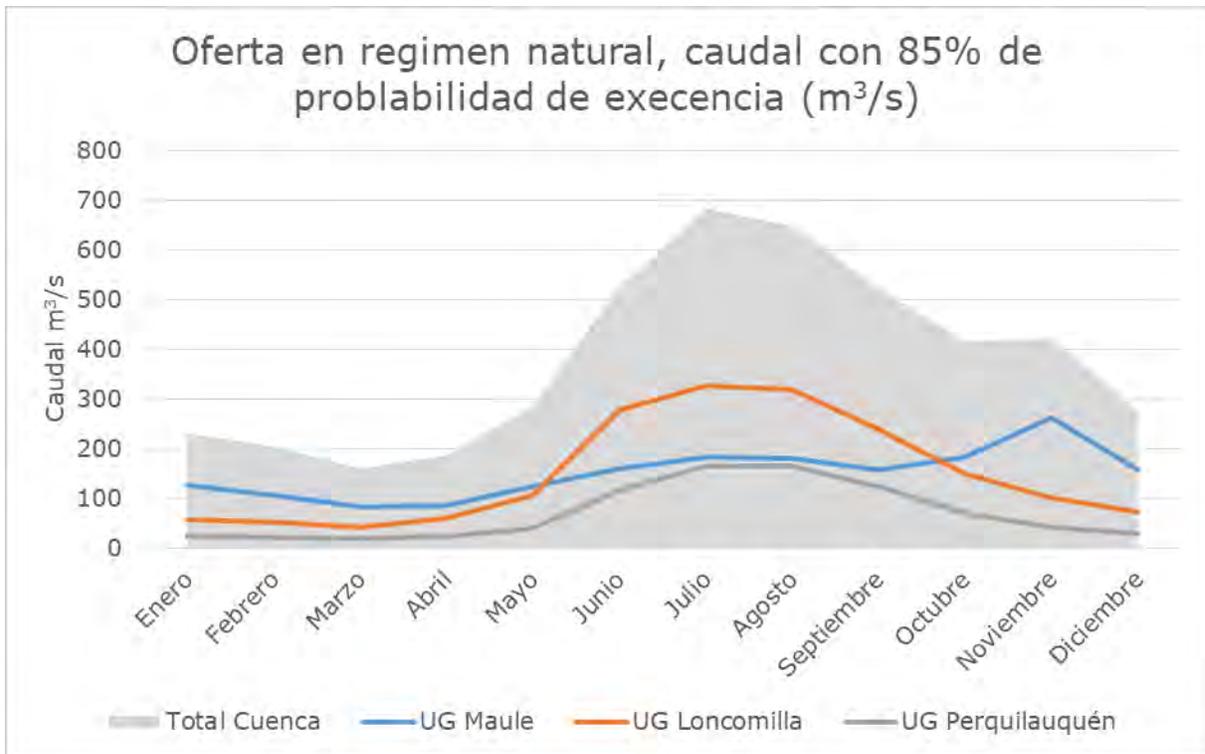
Fuente: Elaboración propia en base al modelo hidrológico actualizado

Figura 4-3. Proyección de la oferta de agua por unida de gestión (UG) (Hm³/año)

4.1.2.3 Oferta de Agua Proyectada en Régimen Natural

El cálculo de la oferta de agua en régimen natural no considera la infraestructura construida por el hombre para la regulación y operación de la cuenca, es decir no contempla las captaciones por bocatomas, transvases y regulación en embalses. De esta forma se puede conocer la oferta natural existente para la estimación de la disponibilidad según la metodología descrita en el Anexo H, sección 2.1.2 Oferta régimen natural.

La Figura 4-4 presenta la oferta de agua en régimen natural para una probabilidad de excedencia del 85%. De forma natural, los nodos en las confluencias (17c, 18) y desembocadura (19b), presentan el mayor caudal en la cuenca. Igualmente se observa en las cuencas Nivo-pluviales (16a, 3) el aumento de caudal en los meses de deshielos (noviembre), así como su influencia aguas abajo (16b).



Nota: Caudal medido en los nodos 16b (Maule), 17c (Loncomilla), 17c (Perquilauquén), y 19b (Cuenca del Maule)

Fuente: Elaboración propia

Figura 4-4. Distribución anual de la oferta en régimen natural, Caudal 85% de excedencia (m³/s)

4.1.3 Calidad de Aguas

La calidad de las aguas en las fuentes naturales es el resultado de un proceso en el que interactúan la geología de base, el uso del suelo, el régimen hidrológico y las actividades antrópicas. La geología determina los aportes basales de minerales que se pueden encontrar en aguas superficiales y subterráneas; el uso del suelo condiciona el arrastre de sedimentos y contaminantes mediante la capacidad de biofiltro que ejercen las coberturas vegetales; el régimen hidrológico determina la capacidad del sistema para diluir los contaminantes recibidos; y las actividades antrópicas inciden directamente en el resto de los parámetros, al mismo tiempo que contribuyen con contaminantes en forma puntual o difusa.

El estudio **“Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad: Cuenca del Río Maule”**, realizado por la DGA en el año 2004, concluyó que la calidad natural del agua superficial de la cuenca está influenciada fuertemente por las siguientes características que explican la calidad actual del río Maule y sus tributarios:

-
- La calidad natural en la parte alta de la cuenca de los ríos Maule, Claro, Longaví, Achibueno y Perquillauquén está dominada por el efecto de los volcanes de la cuenca. Adicionalmente a lo anterior predomina una litología de rocas sedimento – volcánicas con presencia de calizas y arcillas.
 - En el valle central comienza a predominar el efecto de las aguas subterráneas, las cuales adicionan a los cursos de agua contenido de compuestos metálicos.
 - La concentración de aluminio en la cuenca resulta anormalmente alta especialmente en los ríos Claro, Perquillauquén y Maule en Armerillo.
 - Las cuencas costeras que drenan hacia el valle central son fuertemente de origen subterráneas, por lo cual presentan contenido de metales en solución y particulado.
 - En el litoral, existe una fuerte interrelación entre el acuífero y el río Maule, el cual le adiciona metales en solución, los cuales provienen de la lixiviación volumétrica de toda la litología existente desde la cordillera de los Andes hasta el litoral mismo.

De forma similar, el estudio **“Análisis Crítico de la Red de Calidad de Aguas Superficiales y Subterráneas de la DGA”**, realizado en el año 2014 (SIT N° 337), realizó un análisis a nivel nacional de las tendencias y desviaciones estadísticas sobre la totalidad de los parámetros monitoreados en la red, con el propósito de proponer modificaciones en la frecuencia de monitoreo en función de la dispersión de datos. Para la cuenca del río Maule, el estudio identificó presiones debido a la regulación del cauce, uso agrícola, forestal, hidrobiológico, y descargas de efluentes de plantas de tratamiento de aguas servidas y agroindustrias.

El resultado del análisis histórico de cada una de las estaciones concluyó que las variaciones observadas en la calidad de las aguas se deben a aspectos propios del sistema hidrológico de la cuenca, con efectos no apreciables de la actividad antrópica. Sin embargo, se reconoció que dado que la red no incorpora parámetros biológicos, no es posible identificar procesos de contaminación debido a coliformes fecales, entre otros.

Este aspecto es relevante, ya que en el proceso de participación ciudadana realizado, los usuarios identifican problemas de calidad de agua en los cursos de agua que están asociados a zonas urbanas, principalmente por un inadecuado manejo de residuos domiciliarios. Este hecho es particularmente relevante en canales de regadío. Sin embargo, estos aspectos quedan fuera de las capacidades actuales de monitoreo de la red de aguas superficiales y subterráneas de la DGA.

Otro problema de calidad de aguas identificado en la cuenca corresponde al aumento de salinidad en el tramo bajo del Río Maule, informado por usuarios como Arauco (que posee una captación para Celulosa Arauco y Constitución, CELCO), y Nuevo Sur, cuya toma de agua para consumo humano se encuentra aguas arriba de la de CELCO. En este caso, no existen antecedentes claros para determinar las causas de este fenómeno, por lo que no fue abordado dentro de las acciones del Plan. Sin embargo, es de interés evaluar su dinámica y las soluciones posibles de implementar para mitigar sus efectos sobre los ecosistemas costeros y las personas que allí habitan.

4.2 Agua subterránea

4.2.1 Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común (SHAC)

El acuífero de la zona de estudio está compuesto por un conjunto de sectores acuíferos (8 en total, ver Figura 2-13), los cuales han sido denominados **Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común (SHAC)**. Según lo establecido por la DGA, un SHAC es acuífero o parte de un acuífero, cuyas características hidrológicas espaciales y temporales permiten una delimitación para efectos de su evaluación hidrogeológica o gestión de forma independiente (DGA, 2016b).

Dado que es la división administrativa que maneja la DGA, esta se usa dentro del proyecto como una forma para reportar resultados y a por medio de éstos evaluar la situación hidráulica subterránea.

Aunque la escasez hídrica actual está activa en varias zonas de la cuenca, la recarga del conjunto de los SHAC es de **75.619,3 l/s** para el periodo 2000-2020 y un volumen o Stock de **339.093 hm³** (Tabla 4-3). Además se debe considerar que **el SHAC de Belco y Arenal es el único que está declarado como zona de restricción**. En comparación con los resultados actuales la Tabla 2-3 presenta los datos de la recarga establecida por la DGA.

4.2.2 Oferta en la fuente

4.2.2.1 Stock y recarga actual

Para la caracterización de la oferta Subterránea en los SHAC se utiliza el Volumen o Stock, la Recarga (l/s), y el nivel de la napa. Para ver la metodología de cálculo referirse al Anexo H. En la Tabla 4-3 se presenta los datos de stock, recarga u nivel de la napa para el periodo de tiempo de 1985-2020.

Se observa que en la cuenca existen dos grandes SHAC en aspectos de capacidad, como son Maule Medio Norte y Maule Medio Sur, que suman un total de **325.602 Hm³**, con **recargas de 18.589,5 l/s y 36.834,9 l/s** respectivamente de acuerdo con los resultados del presente estudio (Tabla 4-3). Respecto a nivel de la napa, se encuentra a 201 m para el sector de Maule Medio Norte, 148 m para Cauquenes y 146 m para Maule Medio Sur.

La Tabla 4-4 presenta el desglose del balance superficial según las entradas y salidas en l/s. La interferencia río acuífero promedio de los SHAC es del 12% excepto en Maule Bajo y Estero los Puercos que presentan interferencias más elevadas.

Tabla 4-3 Stock, recarga y nivel de la napa por SHAC (actual)

SHAC	Superficie (km ²)	Volumen o Stock 2018 (Hm ³)	Recarga (l/s) Periodo 2000-2020	Nivel de la Napa 2018 (m)
Estero Los Puercos	619	2.226	958,5	82
Maule Medio Norte	3.210	72.940	18.589,5	201
Maule Medio Sur	7.869	250.662	36.834,9	146
Maule Bajo	1.044	6.145	16.502,1	67
Cauquenes	1.568	4.690	2.690,4	148
Belco Arenal	251	946	369,2	127
Purapel	796	1.934	660,0	138
Total	15.357	339.093	76.604,6	

Fuente: Elaboración en base al modelo acoplado del presente estudio

Tabla 4-4. Balance hídrico subterráneo, escenario base 2000-2020 (l/s)

Item	Periodo 2000-2020							Total
	BA	CQ	LP	MB	MMN	MMS	PP	
Entradas (l/s)								
Flujo interacuífero	284,5	1.550,6	526,7	3.508,1	11.640,6	20.710,6	1.090,1	
Recarga desde ríos	60,3	301,0	374,0	15.152,1	4.325,4	9.942,6	189,3	30.344,8
Recarga superficial	308,9	2.389,4	584,4	1.350,0	14.264,1	26.892,3	470,7	46.259,9
Total	653,7	4.241,0	1.485,2	20.010,2	30.230,1	57.545,5	1.750,1	115.915,9
Salidas (l/s)								
Flujo interacuífero	477,1	1.843,9	747,7	4.198,3	9.025,8	16.482,7	532,2	33.307,8
Afloramiento ríos	23,4	1.735,4	644,4	11.676,8	18.629,2	33.857,3	1.142,2	67.708,7
Pozos de bombeo	153,2	661,8	93,1	22,4	2.574,6	7.205,4	75,7	10.786,3
Descarga hacia el mar u otros	-	-	-	4.112,9	-	-	-	4.112,9
Total	653,8	4.241,2	1.485,2	20.010,3	30.229,6	57.545,5	1.750,1	115.915,6
Variación del Almacenamiento (l/s)	0,2	1,0	0,2	0,7	4,9	6,4	0,7	14,1
Error de Balance (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Nota: Las abreviaciones corresponden a los diferentes SHAC del área de estudio: BA: Estero Belco y Arenal, CQ: Cauquenes, LP: Estero Los Puercos, MB: Maule Bajo, MMN: Maule Medio Norte, MMS: Maule Medio Sur, PP: Purapel

Fuente: Elaboración en base al modelo acoplado del presente estudio

4.2.2.2 Stock y recarga histórica y proyectada

Se aplica el escenario de cambio climático para obtener una estimación de los parámetros de los SHAC de Stock, recarga y Nivel de la Napa. En la Tabla 4-5 se presenta dichos valores para el año 2000-2018-2050.

Tabla 4-5. Stock y nivel de la napa por SHAC (proyectado)

SHAC	Volumen o Stock (Hm ³)			Nivel de la Napa (m)		
	2000	2018	2050	2000	2018	2050
Estero Los Puercos	2.552	2.226	2.265	79	82	83
Maule Medio Norte	74.490	72.940	71.152	205	201	197
Maule Medio Sur	252.294	250.662	248.760	148	146	143
Maule Bajo	6.245	6.145	6.021	68	67	66
Cauquenes	4.608	4.690	4.626	146	148	147
Belco Arenal	980	946	934	128	127	126
Purapel	2.000	1.934	1.920	139	138	138
Total	343.169	339.543	335.678			

Fuente: Recarga Modelo Acoplado versión 06/10/2020

En el Anexo H Modelación Hidrológica se encuentra la metodología utilizada, así como otros resultados de niveles por pozo de observación.

En la Tabla 4-6 se presenta desglosado la información de la recarga obtenida del modelo hidrológico hasta el 2050. Los resultados de otros periodos y diferentes escenarios se incluyen en el Anexo H-12.

Tabla 4-6. Recarga por SHAC proyectado (l/s)

SHAC	Periodo	Recarga Ríos	Recarga Superficial	Recarga Total	Total entradas	Descarga hacia el mar	Extracción por pozos	Afloramiento ríos	Total Salidas
Los Puercos	2000-2020	374	584	958	527	1.485	-	93	644
	2021-2030	336	428	764	537	1.301	-	93	619
	2031-2050	343	486	829	530	1.359	-	95	606
Maule medio Norte	2000-2020	4.325	14.264	18.590	11.641	30.230	-	2.575	18.629
	2021-2030	3.896	11.098	14.993	11.059	26.052	-	2.721	16.336
	2031-2050	4.163	11.882	16.045	9.877	25.922	-	2.834	14.963
Maule Medio Sur	2000-2020	9.943	26.892	36.835	20.711	57.545	-	7.205	33.857
	2021-2030	8.992	21.029	30.021	19.309	49.330	-	7.229	30.258
	2031-2050	9.398	22.658	32.056	17.574	49.629	-	7.359	27.778
Maule Bajo	2000-2020	15.152	1.350	16.502	3.508	20.010	4.113	22	11.677
	2021-2030	13.395	1.016	14.411	3.422	17.834	3.427	23	10.679
	2031-2050	13.498	1.162	14.661	3.413	18.074	3.407	23	10.625
Cauquenes	2000-2020	301	2.389	2.690	1.551	4.241	-	662	1.735
	2021-2030	272	1.861	2.133	1.580	3.713	-	666	1.729
	2031-2050	286	2.090	2.376	1.550	3.926	-	682	1.651
Belco Arenal	2000-2020	60	309	369	284	654	-	153	23
	2021-2030	59	252	311	273	584	-	153	17
	2031-2050	64	284	347	270	618	-	156	17
Purapel	2000-2020	189	471	660	1.090	1.750	-	76	1.142
	2021-2030	174	382	556	1.074	1.629	-	76	1.119
	2031-2050	180	444	625	1.054	1.678	-	77	1.093

Fuente: Elaboración propia

4.2.3 Calidad de aguas

En la cuenca se dispone de 4 puntos de medición de calidad de aguas bajo seguimiento de la Dirección General de Aguas. Por esta razón, el estudio **“Diagnóstico de la Calidad de las Aguas Subterráneas de la Región del Maule”**, SDT N° 409 (DGA, 2018), realizó un monitoreo de 148 servicios de Agua Potable Rural (APR), para obtener datos de las condiciones fisicoquímicas y relacionarlos con la geología de la zona, para posteriormente generar un estudio hidrogeológico y determinar el índice de calidad (IC) por pozo. El estudio comprendió los acuíferos SHAC (Mataquito, Maule Medio, Estero Belco y Arenal, Cauquenes), como de los acuíferos preliminares (Maule Alto, Los Puercos, Vichuquén, Nilahue Alto, Playa Junquillar, Dunas de Chanco, Pelluhue, Maule Bajo, Cauquenes Alto y Purapel), ubicados en la región del Maule.

En lo principal, se concluyó que para los iones mayoritarios, los SHAC, en particular el acuífero de Mataquito, presentan profundidades más importantes que los otros pozos del área, por lo que se infiere que llevan un proceso de infiltración de mayor interacción agua-roca, presentando una composición bicarbonatada cálcica en las zonas altas del río Lontué, mientras que aguas abajo como aguas cloruradas cálcicas (APR Pichingal, APR San Jorge de Romeral).

El acuífero Maule Medio presenta aguas bicarbonatadas cálcicas en la zona norte, mientras que a medida que se avanza en el valle tiende a aumentar la concentración de magnesio a bicarbonatadas cálcicas y magnésicas. A medida que las aguas avanzan de Este a Oeste se enriquecen en sales aumentando la cantidad de magnesio, sodio y calcio. Finalmente el acuífero de Cauquenes se clasifican como cloruradas cálcicas, en donde el APR Coronel del Maule, posee una baja profundidad y nivel freático, lo que entrega información de aguas de poco tiempo de residencia, así también como un pozo propenso a ser afectado por la actividad antrópica en la superficie.

Las aguas de los acuíferos Preliminares no varían demasiado en su composición, correspondiente en su gran mayoría a bicarbonatadas cálcicas, a excepción de las aguas cercanas a la costa, en donde corresponden a cloruradas y sulfatadas sódicas y bicarbonatadas sódicas.

La superación de la normativa vigente se dio principalmente con el Nitrato (3 pozos) y Amonio (1 pozo), mientras que los microelementos dados por Arsénico (3 pozos), Hierro (13 pozos), Manganeso (7 pozos) y Plomo (2 pozos). La superación de Nitrato se debería a causas antrópicas, por el uso del suelo en agricultura.

Por otra parte, en aquellos metales que superaron la Normativa Vigente, Arsénico, Hierro, Manganeso y Plomo, existe un factor común relacionado con los pozos APR Quella (superación hierro – Manganeso), APR El Rodeo (superación Arsénico – Hierro – Manganeso) y APR Lien Placilla (superación Hierro – Manganeso), los cuales cuentan con más de una superación, y corresponden a los acuíferos de Maule Medio (1 pozo) y Mataquito (2 pozos). De esta misma forma el mayor número de superaciones se genera en el acuífero de Mataquito, involucrando 14 superaciones de norma.

En particular se recomendó:

- Realizar un seguimiento a los pozos costeros de la región del Maule.
- En el acuífero Mataquito se obtuvieron resultados de concentraciones altas de Arsénico, Hierro y Manganeseo en 3 de los 44 pozos APR, debido a esto, se recomienda realizar un monitoreo sitio específico de las aguas de pozos no estudiados cercanos a (APR PLACILLA, LORA, RODEO).
- Implementar un seguimiento de la calidad de las aguas subterráneas en el Acuífero Mataquito y Maule Medio, ya que se detectaron pozos cuyas concentraciones sobrepasaron la Norma de agua potable (NCh409/2005).
- Implementar un monitoreo de observación de las aguas subterráneas en los otros 12 acuíferos, tanto preliminares como SHAC, incluidos en el presente informe donde se detectaron concentraciones de nitrato en un rango próximo al máximo permitido.

5 BALANCE DE AGUA

5.1 Modelo de simulación

5.1.1 Descripción del modelo elaborado

La modelación de la cuenca hidrológica del Maule se ha realizado a través de dos modelos: uno que abarca la zona cordillerana, y otro que abarca la zona de valle y costa. Respectivamente, ambos modelos han sido denominados **“modelo cordillerano”** y **“modelo de valle y costa”**. En la Figura 5-1 se presentan las zonas abarcadas por cada modelo.

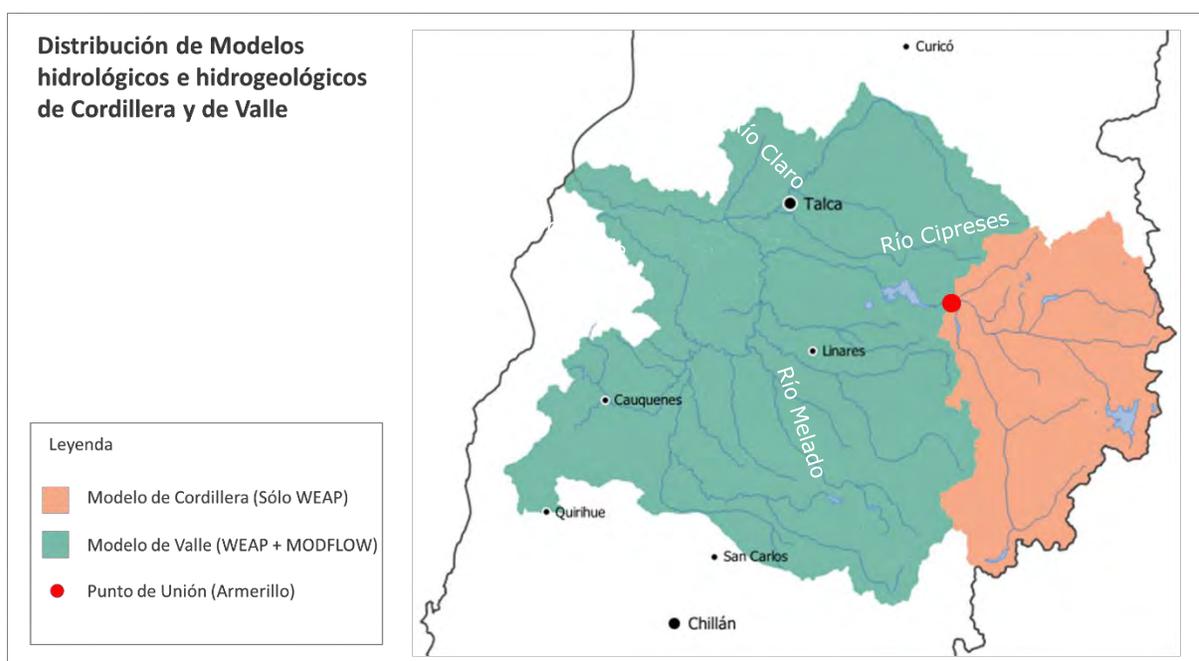
Ambos modelos son desarrollados en la plataforma WEAP, pero dada la relevancia de las aguas subterráneas en la zona de valle, el modelo de valle y costa contempla un acople de WEAP con MODFLOW; este último correspondiente a un modelo de aguas subterráneas. De esta forma, tanto aguas superficiales como aguas subterráneas son modeladas de manera integrada en la cuenca del Maule por medio del acople WEAP-MODFLOW.

WEAP permite realizar la representación de distintos elementos de relevancia hídrica en la cuenca modelada; elementos tales como ríos, subcuencas a través de elementos “Unidad Hidrológica”, embalses, centrales hidroeléctricas, sitios de demanda con sus flujos de abastecimiento y retornos, canales, requerimientos de caudal en puntos específicos y zonas acuíferas por medio de elementos “Aguas Subterráneas”. Cabe destacar que a pesar de que en WEAP pueden representarse zonas acuíferas, esta plataforma no es un programa especializado en la modelación hidráulica subterránea, razón por la cual se utiliza el modelo MODFLOW.

De esta forma, en el modelo se ha incluido la red hidrográfica principal de la cuenca en estudio, con cauces tales como los **ríos Cipreses, Melado, Claro, Lircay, Maule, Ancoa, Achibueno, Putagán, Longaví, Perquilauquén, Ñiquén y Cauquenes**, entre otros. Adicionalmente, se han incluido los embalses **Melado, Bullileo, Digua, Tutuvén, Ancoa,**

Colbún y Machicura; y las **lagunas del Maule y La Invernada**. También han sido incluidas las centrales hidroeléctricas **Ojos de Agua, Cipreses, Isla, Curillinque, Loma Alta, Pehuenche, Colbún, Machicura, Chiburgo y San Ignacio**. Por otro lado, en el modelo también se han considerado las **demandas sanitarias** de las ciudades más grandes y de consumo rural, así como las **demandas agrícolas** a por medio de **114 zonas de riego**.

La información meteorológica utilizada corresponde a datos de **precipitación, temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y fracción de nubosidad**. Esta información ha sido obtenida de estadísticas medidas en estaciones meteorológicas DGA, a partir de productos grillados desarrollados por centros de investigación del clima (Center for Climate and Resilience Research y European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) y de datos utilizados en el estudio Aplicación de la Metodología de Actualización del Balance Hídrico Nacional en las Cuencas de las Macrozonas Norte y Centro (DGA, 2018).



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-1. División de modelos de Cordillera y de Valle

Para la calibración del modelo desde el punto de vista de aguas superficiales, éste es sometido a un proceso de optimización en el que se busca que los caudales simulados sean satisfactoriamente cercanos a los caudales medidos en estaciones fluviométricas DGA.

En el documento *Modelo Hidrológico (Anexo H)* del presente estudio se presenta el desarrollo del modelo y sus resultados.

5.1.2 Escenarios de cambio climático

El presente Plan utiliza la metodología de la Actualización del Balance Hídrico Nacional, S.I.T. N°417 (DGA, 2017a) para la selección del Modelo de Circulación General (MCG). Los escenarios evaluados están dentro la trayectoria de concentración de gases de efecto invernadero al equivalente del forzamiento radiactivo a 8,5 W/m² (RCP 8.5) en 2100.

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) ha definido cuatro escenarios de emisión de gases de efecto invernadero, denominadas Trayectorias de Concentración Representativas (RCP, por sus siglas en inglés), los que buscan representar posibles casos futuros respecto al forzamiento radiativo total generado a causa de la emisión de gases de efecto invernadero hasta el año 2100. En estos escenarios, se pretende reflejar el forzamiento radiativo total obtenido hasta el año 2100 de acuerdo con diferentes esfuerzos de mitigación que podrían darse hasta aquel año.

Estos escenarios contemplan forzamientos radiativos al 2100 de 2,6 (W/m²), 4,5 (W/m²), 6,0 (W/m²) y 8,5 (W/m²), que representan, respectivamente, tendencias decreciente, estable, creciente y creciente del forzamiento radiativo con respecto al actual. De acuerdo con el forzamiento radiativo que cada uno involucra, estos escenarios han sido nombrados como: RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 y RCP8.5.

En el presente estudio se ha decidido optar por el uso de un **modelo de cambio climático** elaborado bajo el escenario RCP **más exigente**, que corresponde al **RCP8.5** e involucra la mayor emisión de gases de efecto invernadero de cara al año 2100. De esta forma, la proyección de cambio climático considerada para la modelación contempla una situación asociada con precipitaciones cuyas tendencias son a la baja y temperaturas con tendencias al alza, lo que permite representar con seguridad una posible falta en el recurso hídrico para la cuenca.

Con esta consideración se presentan los criterios para la elección de los modelos.

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

La Tabla 5-1 presenta los modelos globales de clima seleccionados para representar las proyecciones de cambio climático.

Tabla 5-1 Modelos globales de clima seleccionados para representar las proyecciones de cambio climático

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

Fuente: DGA (2017a)

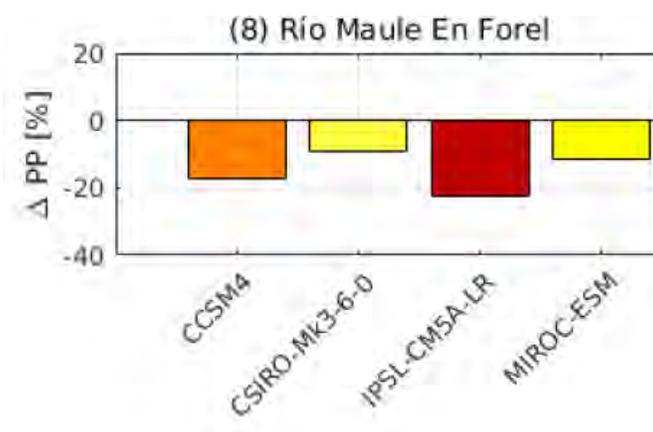
En la Figura 5-2 se presenta la diferencia o cambio relativo de precipitación media anual proyectada para el periodo futuro de 2030-2060 para los cuatro modelos MCG evaluados.

Para la elección del modelo de cambio climático a utilizar en la modelación, se cuenta con los modelos globales de clima acoplados (GCM, por sus siglas en inglés) utilizados en el estudio: Aplicación de la Metodología de Actualización del Balance Hídrico Nacional en las Cuencas de las Macrozonas Norte y Centro (DGA, 2018). Estos corresponden a los modelos mencionados a continuación:

- CSIRO-Mk3-6-0, desarrollado por la Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization in collaboration with Queensland Climate Change Centre of Excellence, Australia.
- CCSM4, desarrollado por el National Center for Atmospheric Research, USA.
- MIROC-ESM, desarrollado por el Institut Pierre-Simon Laplace, France.

Teniendo en cuenta la sensibilidad climática de cada uno de estos modelos, y dado que todos estos consideran el escenario RCP8.5, que como se ha mencionado anteriormente, es el escenario de cambio climático más pesimista de los definidos por el IPCC, este consultor ha seleccionado el modelo CSIRO-Mk3-6-0, que tiene una sensibilidad climática baja. Esto permite evaluar una situación proyectada que, de lo contrario, se situaría en un escenario RCP muy exigente, considerando un modelo GCM muy pesimista, lo que podría llevar a conclusiones exageradas respecto al déficit hídrico esperado en la cuenca.

En conclusión, el modelo CSIRO representa un cambio en las precipitaciones más moderado respecto a los otros tres.



Fuente: Actualización del Balance Hídrico Nacional (DGA, 2017a)

Figura 5-2. Cambio relativo en precipitación media anual proyectado para el periodo futuro (2030-2060) respecto al periodo de línea base (1985-2015)

Respecto a la temperatura, en la parte central de Chile, donde se sitúa la cuenca, los modelos prevén una disminución de precipitaciones para el periodo 2030-2060, con magnitudes que van desde 5-10% (CSIRO-Mk3.6) hasta 20-25% (IPSL-CM5A-LR) (DGA, 2017a).

Para el presente estudio **se seleccionó el escenario CSIRO-MK3-6-0 siendo el más favorable en la cuenca del Maule.**

5.1.3 Balance de Agua. Situación actual

El balance de agua se calcula con la oferta superficial en régimen intervenido y la demanda superficial. Esta demanda se asigna a cada nodo el cual suministra en su origen, es decir dicha demanda puede estar ubicada en otro nodo pero la oferta que utiliza está en dicho nodo asignado. La metodología de cálculo se encuentra en el Anexo H para su revisión.

Con estas consideraciones, la Tabla 5-2 presenta el balance promedio anual en el periodo de 2000-2020.

Tabla 5-2. Balance de agua promedio anual. Situación actual 2000-2020 (Hm³/año)

Nodo	2000-2020 (Hm ³ /año)			
	Oferta	Demanda	Balance	Déficit estacional
1	1.212	144	1.068	-1,55
2	983	195	788	-59,38
3	3.099	0	3.099	0,00
4	685	199	486	-64,87
5	730	106	623	-12,69
6	1.872	135	1.738	-2,55
7	333	46	287	-12,47
8	1.278	216	1.062	-37,86
9	225	0	225	0,00
10	126	0	126	0,00
11	63	7	56	-1,16
12	667	0	667	0,00
13	314	0	314	0,00
14	1.948	235	1.713	-4,39
16(a)	2.233	0	2.233	0,00
16(b)	4.121	1,36	2.757	-113,86
17(a)	9.845	0	9.845	0,00
17(b)	7.797	117	7.679	0,00
17(c)	2.963	3	2.960	0,00
18	15.416	0	15.416	0,00
19(a)	565	0	565	0,00
19(b)	19.709	0	19.709	0,00

Fuente: Elaboración propia en base a datos del modelo hidrológico

Se observa un balance positivo en promedio anual, ya que la brecha hídrica se presenta en el periodo estival. Esto indica que a nivel promedio anual que la cuenca es excedentaria en todas sus subdivisiones. Para presentar la brecha hidria del balance interanual se suman los meses con déficit. La Tabla 5-2 (última columna) presenta el promedio anual del déficit acumulado en la temporada.

Son 9 nodos con déficit en meses estivales, de los cuales destacan **los nodos N°16b "Río Maule en longitudinal (Medio)" (-113,86 Hm³/año), N°4 "Río Putagán aguas arriba junta Río Loncomilla" (-64,87 Hm³/año), N°8 "Río Longaví aguas arriba junta río Loncomilla" (-**

37,86 Hm³/año), N°2 "Río Claro aguas arriba junta río Maule" (-59,38 Hm³/año). Para la cuenca del Maule el déficit total para este periodo es de **-310.768 Hm³/año**.

5.1.4 Balance de Agua. Situación proyectada

Aplicando el mismo balance para la simulación con el escenario climático nos presenta la tendencia del balance hasta 2050. La Tabla 5-3 presenta la oferta, demanda y balance para distintos periodos de tiempo.

Tabla 5-3. Balance de agua promedio anual. Situación proyectada (Hm³/año)

Nodo	2000-2020 (Hm ³ /año)			2020-2030 (Hm ³ /año)			2030-2050 (Hm ³ /año)		
	Of.	Dem.	Balance	Of.	Dem.	Balance	Of.	Dem.	Balance
1	1,212	144	1,068	1,005	144	861	984	216	767
2	983	195	788	823	184	638	802	279	524
3	3,099	-	3,099	2,763	-	2,763	2,763	-	2,763
4	685	199	486	571	204	367	560	307	253
5	730	106	623	666	102	564	649	152	497
6	1,872	135	1,738	1,657	141	1,516	1,653	208	1,445
7	333	46	287	282	52	229	279	78	200
8	1,278	216	1,062	1,198	200	998	1,197	296	901
9	225	-	225	217	-	217	214	-	214
10	126	-	126	109	-	109	108	-	108
11	63	7	56	58	8	51	57	11	46
12	667	-	667	582	-	582	572	-	572
13	314	-	314	254	-	254	251	-	251
14	1,948	235	1,713	1,746	216	1,530	1,737	323	1,413
16(a)	2,233	-	2,233	1,667	-	1,667	1,665	-	1,665
16(b)	4,121	1,364	2,757	3,200	1,421	1,779	3,175	2,128	1,046
17(a)	9,845	-	9,845	8,638	-	8,638	8,454	-	8,454
17(b)	7,797	117	7,679	6,857	126	6,732	6,755	189	6,566
17(c)	2,963	3	2,960	2,561	4	2,557	2,506	6	2,500
18	15,416	-	15,416	12,923	-	12,923	12,637	-	12,637
19(a)	565	-	565	485	-	485	478	-	478
19(b)	19,709	-	19,709	16,655	-	16,655	16,239	-	16,239

Fuente: Elaboración propia en base a datos del modelo hidrológico

Se observa una **evolución negativa** en el balance entre los periodos de tiempo observados. En la cuenca, **reducción del balance en promedio es del 15%** entre los periodos de tiempo de 2000-2020 y 2020-2030, **y un 22 %** para 2000-2020 y 2030-2050.

Sin embargo, este análisis sigue indicando un balance positivo como promedio anual, ya que la brecha hídrica se presenta en el periodo estival. Por lo tanto, para representar la brecha hídrica se analiza los meses con déficit hídrico. La Tabla 5-4 presenta los datos del Balance de agua en los meses de déficit.

Tabla 5-4. Balance de agua en los meses de déficit. Situación actual e histórica (Hm³/año)

Nodo	2000-2020	2020-2030	2030-2040	2040-2050
1	-1,55	-8,17	-6,72	-9,43
2	-59,38	-70,55	-63,29	-76,63
3	0,00	0,00	0,00	0,00
4	-64,87	-81,36	-74,29	-87,02
5	-12,69	-6,60	-7,11	-9,86
6	-2,55	-3,90	-1,92	-9,61
7	-12,47	-20,41	-15,41	-22,74
8	-37,86	-41,24	-32,72	-41,19
9	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,00	0,00	0,00	0,00
11	-1,16	-1,64	-1,50	-1,58
12	0,00	0,00	0,00	0,00
13	0,00	0,00	0,00	0,00
14	-4,39	-8,41	-5,37	-13,02
16(a)	0,00	0,00	0,00	0,00
16(b)	-113,86	-225,65	-205,09	-237,85
17(a)	0,00	0,00	0,00	0,00
17(b)	0,00	0,00	0,00	0,00
17(c)	0,00	0,00	0,00	0,00
18	0,00	0,00	0,00	0,00
19(a)	0,00	0,00	0,00	0,00
19(b)	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	-310,77	-467,94	-413,41	-508,93

Nota: Rojo Nodos con mayor estrés hídrico

Fuente: Elaboración propia en base a datos del modelo hidrológico

Complementando el análisis anterior del balance, la **brecha hídrica** generada en los meses de déficit (Tabla 5-4) evoluciona de una forma negativa hasta llegar a **-508,93 Hm³/año** en el **periodo 2030-2050 para la cuenca del Maule**. A nivel de nodo destaca el N°16b "Río Maule en longitudinal (Medio)" con -237,85 Hm³/año). El aumento de la brecha con 198,16 Hm³/año viene precedido por el descenso de precipitaciones y aumento de temperaturas establecido en el modelo de cambio climático escogido, CSIRO-Mk3-6-0.

5.2 Brechas

El modelo es una herramienta de suma utilidad para determinar los balances de agua proyectados en el mediano y largo plazo, en función de la variabilidad climática de consenso. Sin embargo, requerimientos sobre el agua como el consumo humano, o la calidad de las aguas, no pueden ser evaluados a partir del modelo, por lo que se recurrió a antecedentes complementarios.

5.2.1 Brecha de agua para consumo humano

Según la Dirección de Obras Hidráulicas, dentro de los sistemas del convenio MOP son dos APR con problemas identificados de acceso al agua (ver Tabla 5-5).

Tabla 5-5. Sistemas APR con problemas de acceso al agua

COMUNA	Personas Afectadas	Nombre del Sistema	Descripción de la falla	Camiones Aljibe	Volumen m ³ /año
Linares	738	Vega de Ancoa	Disminución del aporte del pozo de captación	Cuenta con 2 camiones diarios 20m ³	16.600
San Javier	896	Luis Cruz Martínez	Disminución de los aportes de ambos pozos de captación	cuenta con 1 camión diario 20m ³	12.300

Fuente: DOH Región del Maule, 2020

El costo de abastecimiento mediante camiones aljibes ha sido motivo de controversia, tanto por la variabilidad de los contratos de distribución asociados, como por los montos comprometidos. En la región del Maule el costo de contratación de estos servicios lo asumen las Gobernaciones provinciales. Para el año 2019, se tienen los siguientes antecedentes²⁰:

- Provincia de Talca, abastecimiento para un total de 800 familias
- Provincia de Linares, abastecimiento para un total de 2.804 familias.
- Provincia de Cauquenes, abastecimiento para 3.600 familias.

²⁰ <https://la7.cl/2019/01/02/intendente-asegura-agua-potable-para-consumo-en-la-region/>

Adicionalmente, el informe DGA (2017c) declara 20 localidades sin suministro de APR las cuales demandan aproximadamente 274 m³/año.

En función de los antecedentes aportados, se estima que la **brecha de agua para consumo humano es de 1,18 Hm³ /año (Rural)**. Para esto se determinó el número de familias con vulnerabilidad en el acceso al agua, por una cantidad de 4 personas por familia, y una dotación de 112 l/hab/día (DGA, 2017b).

Se espera que esta brecha tienda a incrementarse debido al aumento de población, lo que se espera suponga una demanda adicional de agua en sectores rurales y urbano de 12,52 hm³/año al 2050 (Tabla 3-2). Si se supone que la totalidad de esta nueva demanda no es satisfecha, la **brecha futura por consumo humano sería de 14,25 hm³ al año 2050**.

5.2.2 Brecha de agua para demandas ambientales

Las demandas ambientales consideran un conjunto de requerimientos sobre los recursos hídricos, que van desde el caudal mínimo para mantención de hábitat acuáticos, hasta los caudales con destino recreacional, cultural y simbólico.

Como se ha indicado en el apartado 3.1.2 Demandas ambientales, para determinar la brecha se consideró los caudales ecológicos mínimos mensuales establecidos en el estudio "Actualización Informe Evaluación de los Recursos Hídricos superficiales de la cuenca del Río Maule Región del Maule", Informe Técnico 2016 (DGA, 2016). Para cada nodo se evaluó el caudal disponible en forma mensual, entre la situación actual y la proyectada.

Sin embargo, como resultado de la modelación se realizó la actualización del caudal ambiental respecto a la oferta no intervenida (sección 4.1.2.3.). Se utilizó el mismo procedimiento establecido en DGA (2016), es decir lo establecido en el Decreto N° 71 del 30/09/14 (ver Anexo F2).

La Tabla 5-6 presenta el resultado de la evaluación que indica los nodos que no cumple dicho caudal ecológico mínimo establecido.

En el **Nodo 3 "Río Melado aguas arriba junta río Maule"** presenta una brecha de incumplimiento de caudal ecológico de 781,42 Hm³/año en el periodo 2040-2050. Esto se debe a la metodología de cálculo, ya que se ha considerado el caudal no intervenido. Respecto a los datos de caudal ecológico del informe DGA (2016) este nodo presentaba una brecha de 51,17 Hm³/año.

Por otra parte, el **Nodo 16b "Río Maule en longitudinal (Aguas debajo de estación Armerillo)"** presenta una brecha de incumplimiento de caudal ecológico de 181,58 Hm³/año en el periodo 2040-2050.

Tabla 5-6. Brecha ambiental por incumplimiento de caudal ecológico mínimo

Nodo	2000-2020			2020-2030			2030-2040			2040-2050		
	Nº Meses (1)	Q (l/s) (2)	V. (Hm ³ /año) (3)	Nº Meses (1)	Q (l/s) (2)	V. (Hm ³ /año) (3)	Nº Meses (1)	Q (l/s) (2)	V. (Hm ³ /año) (3)	Nº Meses (1)	Q (l/s) (2)	V. (Hm ³ /año) (3)
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	10.85	26.15	735.54	11.40	-26.42	780.69	10.00	25.38	657.91	11.40	26.44	781.42
4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	4.45	-1.48	-17.02	3.50	-1.29	-11.68	3.50	-1.52	-13.79	4.00	-1.26	-13.02
6	1.30	-1.30	-4.39	1.50	-1.98	-7.69	0.70	-1.83	-3.32	2.00	-2.29	-11.86
7	2.60	-0.57	-3.82	3.80	-0.63	-6.21	2.90	-0.58	-4.38	3.80	-0.64	-6.35
8	0.05	-0.12	-0.02	0.80	-0.28	-0.59	0.80	-0.83	-1.72	1.40	-1.15	-4.17
9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.10	-0.02	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.40	-0.06	-0.06
11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16(a)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16(b)	1.00	0.00	0.00	2.70	0.00	0.00	2.30	0.00	0.00	3.00	-23.35	-181.58
17(a)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17(b)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17(c)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Nodo	2000-2020			2020-2030			2030-2040			2040-2050		
	Nº Meses	Q (l/s)	V. (Hm ³ /año)	Nº Meses	Q (l/s)	V. (Hm ³ /año)	Nº Meses	Q (l/s)	V. (Hm ³ /año)	Nº Meses	Q (l/s)	V. (Hm ³ /año)
	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
19(a)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
19(b)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: Elaboración Propia en base al informe DGA (2016) y resultados de la modelación hidrológica actualizada

- (1) Número de meses con incumplimiento de caudal ecológico
- (2) Caudal (l/s) promedio anual no cumplido
- (3) Volumen (l/s) promedio anual acumulado no cumplido

5.2.3 Brecha de agua para uso agrícola

La brecha de agua para uso agrícola se calcula al considerar la demanda histórica y actual, sin embargo no se realiza una proyección de la demanda para la situación futura. Es decir, no se consideraron cambios en la superficie regada, ni en los métodos de riego, buscando el propósito de identificar la brecha en relación al cambio climático o los escenarios propuestos (sección 5.5).

De esta forma la Tabla 5-7 presenta los resultados de brecha hídrica según la cobertura satisfecha de riego. Los resultados se obtiene por Zonas de riego (ZR), sin embargo para aspectos de presentación la tabla agrupa la brecha según el sistema de riego asociado a cada ZR

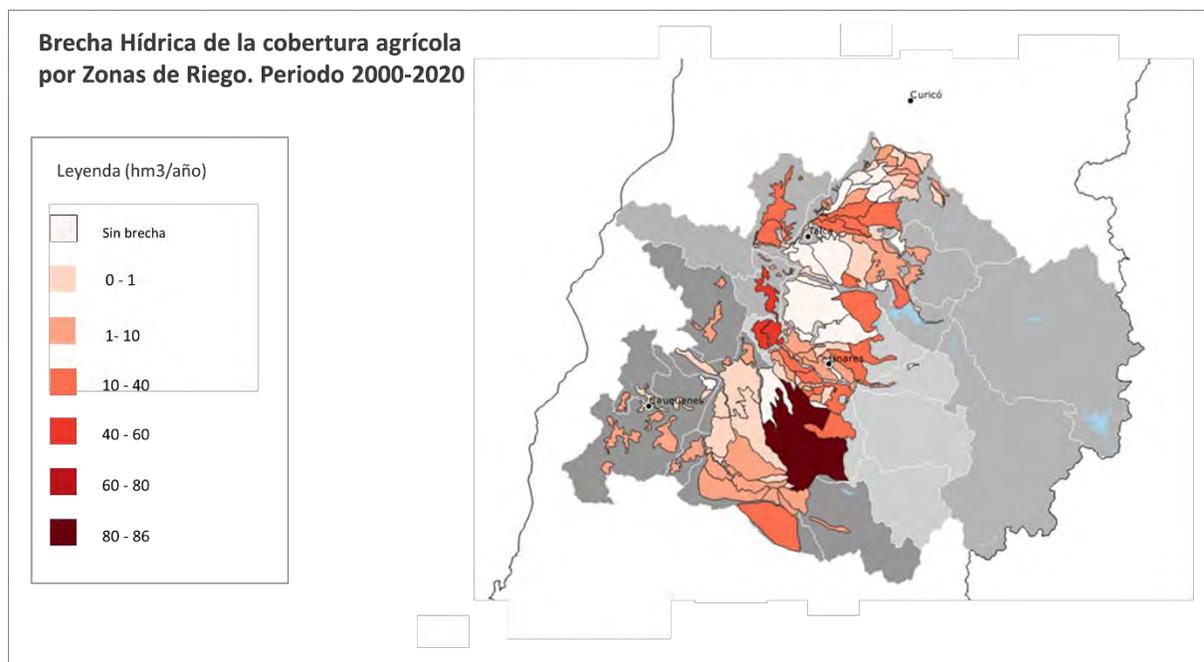
Tabla 5-7. Brecha Hídrica en uso agrícola. Cobertura Agrícola por sistemas de riego (Hm³/año)

Sistema de Riego	2000-2020	2020-2030	2030-2040	2040-2050
Río Claro	24	27	24	29
Lircay	37	42	40	43
Pencahue	62	75	73	77
El Rincón	0	0	0	0
Río Claro Norte	0	0	0	0
Sector Río Claro Lircay	123	143	138	149
Maule Alto	23	56	52	60
Maule Bajo	46	55	53	59
Río Maule	0	0	0	1
Cooperativa de Riego	18	24	24	31
Maule	37	77	71	86
Sorpam	-	1	1	5
Sector Río Maule	123	213	203	240
Putagán	3	3	3	3
Melozal	56	69	68	69
Sector Putagán	59	72	70	72
Melado	76	91	78	101
Ancoa	3	5	4	5
Sistema Melado –Ancoa	79	95	82	106
Achibueno	46	72	60	78
Longaví	86	77	67	100
Sistema Achibueno y Longaví	132	149	126	178
Digua	7	5	5	11
Perquillauquén	13	15	13	18

Sistema de Riego	2000-2020	2020-2030	2030-2040	2040-2050
Ñiquen	21	21	18	23
Tricao	2	2	2	2
Sistema Perquilauquén	43	44	39	54
Otros Sistemas				
Tutuvén	4	5	5	5
Cauquenes sur	6	11	11	11
Vaqueria	1	1	1	1
Purapel	2	1	1	1
Belco	0	0	0	0
Total Cuenca (Hm³/año)	572	733	676	816

Fuente: Elaboración Propia en base a la cobertura de riego del modelo hidrogeológico

En la Figura 5-3 presenta la zonificación de la brecha hídrica por ZR. Se observa que las zonas más afectadas son los valles de Pencahue, Melozal, Rio Claro (Riego por C. Maule Norte), Achibueno y Longaví.



Fuente: Elaboración propia.

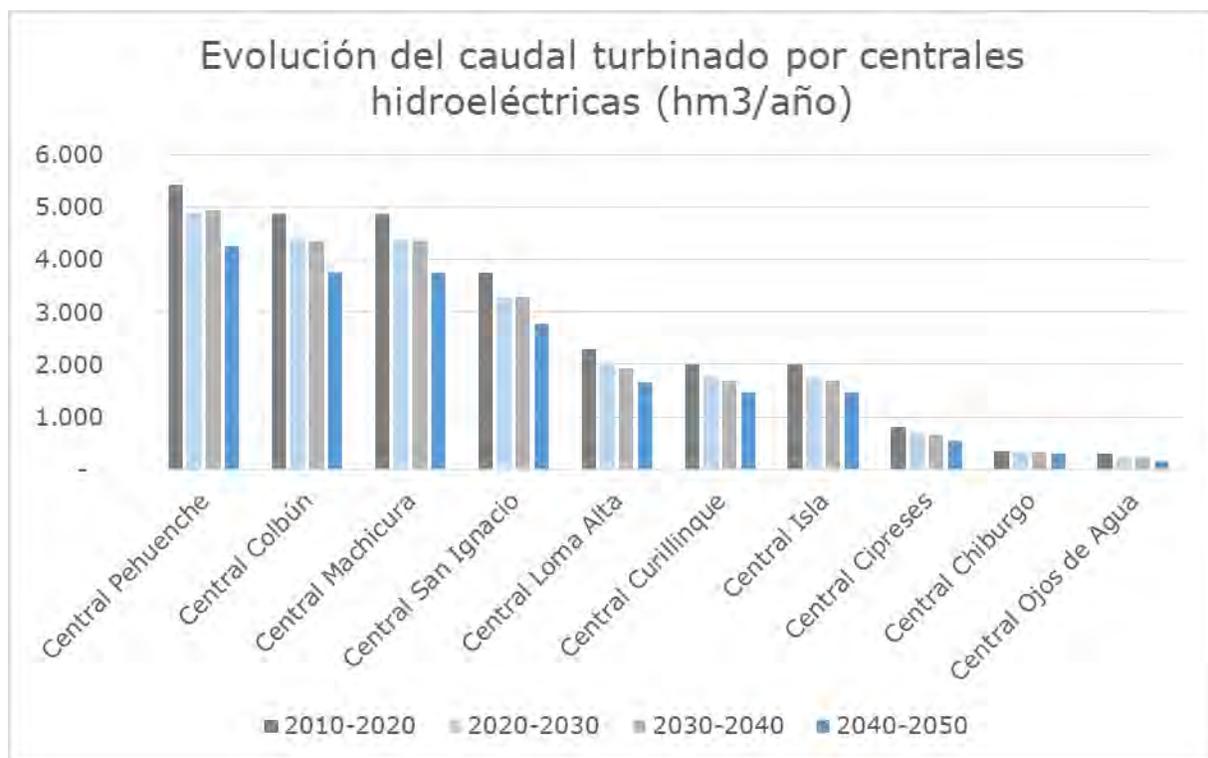
Figura 5-3. Brecha hídrica en el uso agrícola, periodo 2000-2020 (Hm³/año)

5.2.4 Brecha de agua para uso hidroeléctrico

Las centrales hidroeléctricas de la cuenca se abastecen principalmente de obras de regulación ubicadas en la parte alta de la cuenca, concentradas en la unidad de gestión Maule.

La brecha de agua responde a dos factores principales. Por un lado, los caudales potencialmente turbinados, que se obtienen a partir de la simulación realizada con el modelo hidrológico en función del escenario de cambio climático seleccionado. En complemento, la oportunidad en que estos caudales deben ser liberados responde al establecimiento de acuerdos operacionales con el resto de los usuarios de derechos de aprovechamiento de tipo consuntivo. Al respecto, destacan los acuerdos de operación que las empresas Colbún y ENEL han suscrito con los usuarios del río Maule.

La variabilidad en los caudales turbinados se presenta en la Figura 5-4. Se marca la **tendencia decreciente del caudal turbinado** desde 2000 al 2050. La evolución es semejante para todas las centrales.



Fuente: elaboración propia a partir de modelo hidrológico

Figura 5-4. Evolución del caudal turbinado por central hidroeléctrica (Hm³/año)

La infraestructura de las centrales hidroeléctricas en la cuenca del Maule, respecto a la capacidad de almacenamiento, permite acuerdos entre los diferentes actores. La Junta de Vigilancia del Río Maule (JVM) ha podido llegar a un acuerdo de ahorro de agua en las dependencias de las empresas generadoras como Colbún S.A. Este acuerdo fue firmado en el año 2020 y tiene una vigencia de 5 años. Este consiste fundamentalmente en la acumulación en Colbún de derechos de aprovechamiento de aguas, pertenecientes a los regantes asociados a la Junta de Vigilancia, en los meses previos a la mayor demanda. Esto no solo impulsa una coordinación entre los distintos usuarios, sino también fortalece la gestión por parte de la JVM para aprovechar los caudales de inicio de temporada.

5.2.5 Brechas del Modelo Hidrológico e Hidrogeológico

En el desarrollo del modelo hidrológico del presente plan se han detectado brechas que podrían ser mejoradas en futuros estudios. La existencia de estas brechas se debe a limitaciones propias de las plataformas utilizadas, a información que requiere de la realización de estudios específicos que no han sido llevados a cabo en el pasado, y a simplificaciones realizadas con fines de modelación, las que son tomadas siempre y cuando se logren los objetivos del presente plan.

Desde el punto de vista del modelo hidrológico superficial, la primera brecha a mencionar corresponde a la **agrupación de pozos de uso agrícola** por sectores acuíferos y zonas de riego. Esta agrupación necesariamente implica que en el modelo acoplado WEAP-MODFLOW se asignan caudales de extracción uniformes para todos los pozos unificados en un solo grupo, lo que no se condice con la realidad, ya que lo que verdaderamente ocurre es que cada punto de captación subterránea tiene asociado un caudal de explotación específico. Esta estructura ha sido llevada a cabo con el objetivo de crear un modelo manejable, en términos topológicos y de tiempos de modelación, que cumpliera con los objetivos fijados para el presente plan.

Adicionalmente a lo anterior, se suma una brecha del modelo WEAP-MODFLOW asociada a la superficie que es regada en la cuenca año a año. De acuerdo a la **información** agrícola investigada en el presente plan (ver Anexo F2 Diagnóstico), **la superficie sometida a riego agrícola** en cada año oscila aproximadamente entre 185.334 y 335.196 (ha), dependiendo de la cantidad de agua disponible para el periodo de riego en curso; lo que representa una variación importante en el área regada entre un año y otro. A causa de una falta de información más específica, para efectos de esta modelación se ha adoptado un área de riego intermedia de 252.110 (ha), asociada a una seguridad de riego de 50%, sin embargo, esta medida no refleja las variaciones existentes en la superficie regada año a año y genera una brecha en el modelo creado.

En la misma línea de las brechas del modelo hidrológico acoplado WEAP-MODFLOW, dada la gran cantidad de APR presentes en la cuenca del Maule, para efectos de modelación las demandas de caudal de éstas han sido agrupadas a nivel de sectores acuíferos. Esto genera una brecha en la modelación al imposibilitar la revisión de la situación modelada en cada

APR en particular. Para lograr una representación más fiel de la realidad, en la plataforma WEAP-MODFLOW, cada una de estas APR debería haber sido representada a través de un elemento "Sitio de Demanda" individual.

Desde modelos hidrológicos utilizados en estudios anteriores, tales como "Estudio e Implementación de Modelos Hidrológicos Acoplados a SIG para el Manejo y Planificación Cuencas de Maule, Mataquito e Itata" realizado para la CNR en 2006 o "Plan Director para la Gestión de los Recursos Hídricos Cuenca del Río Maule" realizado para la DGA en 2008, la modelación hidrológica del Maule cuenta con una red robusta de flujos de retorno superficiales y subsuperficiales, la cual, debido a razones asociadas a limitaciones de WEAP-MODFLOW, ha sido sometida a un proceso de reducción. Una vez que se haya superado esta limitación en la plataforma de modelación, podría incluirse la red de flujos de retorno anterior, que no tiene asociado el proceso de reducción mencionado.

Por otra parte, **las brechas del modelo hidrogeológico** se pueden resumir en 3 categorías. La primera de estas hace referencia a la **falta de datos**, tanto de mediciones de **nivel estático** en los sectores fuera del valle central como de datos para la construcción del acuífero en la zona costera del Maule Bajo. En general hay una buena cantidad de datos observados para hacer la calibración en el Maule Medio Norte y Sur, pero en el resto de la zona los puntos de observación son escasos, contando con entre 0 y 2 puntos con datos dependiendo del SHAC, lo que afecta directamente a la calidad de la calibración subterránea en dichas zonas.

La segunda categoría corresponde a los **problemas numéricos** con los resultados de nivel estático excesivo en valles laterales de Los Puercos y sector sur de Cauquenes, donde se piensa que ambos pueden ser provocados por una inclusión de zonas con un espesor muy irregular.

Por último, y relacionado a estos dos últimos puntos, los resultados positivos de sustentabilidad en el secano costero presentan un dato incierto debido a que indican un estado que no condice con la realidad presente de la zona, y al mismo tiempo no se tienen suficientes datos (explicados anteriormente) para sustentar la afirmación de que son sustentables.

5.3 Sustentabilidad de acuíferos

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

Este método busca maximizar la explotación posible de obtener desde cada SHAC, evaluando cambios en la demanda y sujeto a una serie de restricciones que determina cada criterio. En este trabajo se comparan los resultados de los diferentes escenarios modelados a través de los 5 criterios estandarizados que diferencian si el sector acuífero está abierto o cerrado:

1. Descensos sustentables en el tiempo a nivel de sector acuífero
2. Interferencia río acuífero
3. Satisfacción de la demanda
4. Pozos secos
5. Afección a sectores abiertos

Debido a la configuración y simplificaciones usadas en la modelación, el acople WEAP-MODFLOW realizado no permite evaluar adecuadamente 2 de los 5 criterios de sustentabilidad (Criterio 4 de pozos secos y Criterio 5 Afección a sectores abiertos). Por esta razón, con el fin de una evaluación correcta de dichos criterios, se desarrolló un nuevo modelo completamente hecho en MODFLOW (específicamente en el software Visual MODFLOW Flex 6.1), que incluyera como datos de entrada los resultados del modelo acoplado, ya que permitiría calcular los criterios faltantes. En el Anexo H Modelo Hidrológico, punto 3, se desarrolla la metodología utilizada con el fin de exponer en el presente documento los resultados del análisis, pero a forma de resumen, los datos de entrada corresponden al escenario base (Cambio Climático), con periodos de estrés bianuales y con caudales de río fijos (estos dos últimos cambios por limitaciones de software).

En las **Tabla 5-8** y **Tabla 5-9**, se presenta el criterio 1 conformado por la evaluación de la variación de nivel estático de los SHAC en conjunto con la variación del volumen acumulado. Los SHAC Maule Medio Norte y Maule Medio Sur no cumplen con el criterio de variación de nivel estático, sin embargo, cumplen con la variación del volumen. Es de considerar que el **SHAC Maule Medio Norte se encuentra al límite** (4,92 % descenso sostenido del volumen) **para incumplir dicho criterio 1.**

En la evaluación de descenso sostenido según el aumento de la demanda para el criterio 1, el SHAC Maule Medio Sur cumple dicho criterio incluso con un aumento de la demanda de 3 veces la actual (ver anexo H). Esto se debe principalmente a que el basamento rocoso de este acuífero se encuentra a una gran profundidad, lo que produce que haya un volumen excepcionalmente grande.

Tabla 5-8. Criterio 1 de Sustentabilidad (Valoración de nivel estático), escenario Cambio Climático en Modelo MODFLOW

SHAC	NE 2030 (m.s.n.m.)	NE 2050 (m.s.n.m.)	Variación Nivel estático (m)
Los Puercos*	83,57	84,75	1,17
Maule Medio Norte	198,04	195,33	-2,71
Maule Medio Sur	143,08	141,53	-1,55
Maule Bajo	65,74	65,29	-0,45
Purapel	138,43	138,22	-0,21
Esteros Belco y Arenal	126,92	126,57	-0,35
Cauquenes*	147,12	146,72	-0,40

Nota: Los SHAC de Estero Los Puercos y Cauquenes presentan problemas en la simulación de niveles estáticos en algunos puntos (suben más de lo debería ser posible en la realidad). Debido a estos alcances, se recomienda ponderar adecuadamente los resultados obtenidos de esta evaluación. Se considera que no se cumple el subcriterio en el caso de una variación negativa superior a 1m.

Fuente: Modelo MODFLOW actualizado para criterios de sustentabilidad del presente estudio

Tabla 5-9. Criterio 1 de Sustentabilidad (diferencia de volumen), escenario Cambio Climático.

SHAC	Volumen Stock 2000 (Hm ³)	Volumen Stock 2050 (Hm ³)	Diferencia (%)
Los Puercos*	24.544	26.448	7,86%
Maule Medio Norte	437.530	416.012	-4,92%
Maule Medio Sur	1.856.940	1.826.970	-1,61%
Maule Bajo	30.805	29.677	-3,76%
Purapel	25.646	24.883	-2,97%
Esteros Belco y Arenal	11.599	11.225	-3,23%
Cauquenes*	56.168	57.226	1,88%

Nota: Debido a que el cálculo de volumen se hace en base a los resultados de nivel estático, los resultados de los SHAC Estero Los Puercos y Cauquenes deben ponderarse adecuadamente. Todos los SHAC cumplen el subcriterio 1 variación del volumen mayor a 5% en 50 años.

Fuente: Modelo MODFLOW actualizado para criterios de sustentabilidad del presente estudio

Para el criterio 2, interferencia río acuífero, se hicieron comparaciones entre los valores de infiltración de los ríos y afloramientos a estos en los años 2020 y 2050 (**Tabla 5-10**). Por lo tanto, para obtener el flujo superficial pasante por cada uno, se extraen los caudales de los puntos de salida de cada uno de estos en el periodo 2000-2020. Este caudal es obtenido desde el modelo acoplado (WEAP-MODFLOW), ya que los caudales en MODFLOW son fijos.

El caudal es luego transformado a uno de tipo anual y ordenado para calcular el que corresponde al de 85% de probabilidad de excedencia. Los resultados arrojan que todos los SHAC cumplen el criterio $AQ < 10\%Q_{85}$.

Tabla 5-10. Criterio 2 de Sustentabilidad, interferencia río acuífero escenario Cambio Climático.

SHAC	10% Q85 (m ³ /s)	(ΔQ) Disminución en infiltración de ríos (m ³ /s)	% de Interferencia
Los Puercos	0,8	0,54	67,6
Maule Medio Norte	22,8	6,86	30,3
Maule Medio Sur	26,7	13,40	50,1
Maule Bajo	52,3	15,35	29,4
Purapel	0,8	0,26	31,6
Belco Arenal + Cauquenes	1,6	0,88	54,0

Nota: De acuerdo a los alcances que tiene la modelación del sector acuífero de "Los Puercos", se recomienda ponderar adecuadamente los resultados obtenidos de esta evaluación.

Fuente: Modelo MODFLOW actualizado para criterios de sustentabilidad del presente estudio

En el criterio 3, satisfacción de la demanda, se compararon el caudal que fue ingresado al modelo a través de los pozos (demanda teórica, Q_{demanda}) y el caudal realmente extraído desde estos en el modelo (demanda satisfecha, Q_{oferta}). Para el cumplimiento, el modelo debe permitir una extracción mínima de un 95% del Q_{demanda} (Anexo H. Punto 3.1).

Los resultados arrojan que todos los SHAC tienen una satisfacción muy alta de su caudal

Tabla 5-11. Criterio 3 de Sustentabilidad, satisfacción de la demanda escenario Cambio Climático.

SHAC	Demanda ingresada (Q_{demanda}) (m ³ /día)	Extraído por MODFLOW (Q_{oferta}) (m ³ /día)	Satisfacción (%)
Los Puercos*	10.807	8.506	78,7
Maule Medio Norte	549.014	549.000	100,0
Maule Medio Sur	1.202.419	1.201.000	99,9
Maule Bajo	11.420	9.365	82,0
Belco Arenal	21.499	21.499	100,0
Purapel	11.692	11.551	98,8
Cauquenes	103.170	103.010	99,8

Nota: Cumplimiento $Q_{\text{oferta}} > 95 Q_{\text{demanda}}$. De acuerdo a los alcances que tiene la modelación del sector acuífero de "Los Puercos", se recomienda ponderar adecuadamente los resultados obtenidos de esta evaluación.

Fuente: Modelo MODFLOW actualizado para criterios de sustentabilidad del presente estudio

El criterio 4 o pozos secos evalúa la cantidad de pozos en estado seco en un periodo, y este no debe ser superior a 5% del total en cada SHAC. En la **Tabla 5-12**, se presentan los resultados del criterio, donde los SHAC Maule bajo y Maule Medio Sur tiene un porcentaje de criterios superior al 5%. Por lo tanto, dichos SHAC no cumplen el criterio, sin embargo, se debe considerar que en Maule bajo el número de pozos es bajo (56) para analizar dicho resultado.

Tabla 5-12 Criterio 4 de Sustentabilidad, pozos secos escenario Cambio Climático.

SHAC	Pozos totales	Pozos secos a 2050	Pozos secos (%)
Los Puercos	49	1	2,0
Maule Medio Norte	723	23	3,2
Maule medio Sur	1747	90	5,2
Maule Bajo	56	4	7,1
Purapel	61	1	1,6
Belco Arenal	35	1	2,9
Cauquenes	238	1	0,4

Nota: De acuerdo a los alcances que tiene la modelación del sector acuífero de "Los Puercos", se recomienda ponderar adecuadamente los resultados obtenidos de esta evaluación. Maule Bajo tiene un 7,1 % de pozos secos respecto a un total de 56 pozos incluidos dentro del modelo.

Fuente: Modelo MODFLOW actualizado para criterios de sustentabilidad del presente estudio

Finalmente, en el criterio 5 afecciones a sectores abiertos, se realizan múltiples simulaciones usando otras cantidades de demanda, así se prueba si afectan a los demás SHACs

Este criterio exige probar varias configuraciones de demanda hasta que se logre llegar a un estado en que todos los SHAC estén en el límite de sobrepasar un estado sustentable. Para esto se han hecho múltiples configuraciones, las que se muestran en el Anexo H-13 y 14. En estas se modifica la cantidad de extracciones de los SHAC sustentables (multiplicando el caudal extraído por un factor numérico) para probar cuánto es lo que se puede sacar desde los pozos sin incumplir los criterios de sustentabilidad.

Los resultados obtenidos a través de este análisis, sin embargo, **no presentan una evidencia suficiente para poder concluir que este aumento de extracciones** en algunos SHAC se pueda llevar a cabo en la realidad sin afectar la sustentabilidad de estos, por lo que se limita a ser un análisis de sensibilidad de los acuíferos.

Conclusiones de los criterios de sustentabilidad

Para la evaluación de los criterios de sustentabilidad de acuíferos en la cuenca del Maule, se realizó un análisis mediante un modelo acoplado WEAP-MODFLOW. Sin embargo, dadas las características y configuración con que se elaboró este acople, no es posible evaluar de manera adecuada el criterio N°4, que se refiere al porcentaje de pozos secos dentro del acuífero, dada la simplificación acordada con el Mandante de asignación de extracciones por zona en el modelo acoplado, que representa un promedio de extracción individual de pozos que se usan, por lo que los caudales no son representativos de las extracciones individuales.

En consecuencia, se decidió de común acuerdo con la Dirección General de Aguas ajustar un modelo MODFLOW sin acople, lo que permitía una mucho mejor representación de los pozos y su interacción con el acuífero y por tanto un análisis acertado de estos criterios de sustentabilidad. En este se estableció un escenario base donde es posible evaluar los 5 criterios establecidos por la DGA, con los siguientes resultados generales de la **Tabla 5-8** y **Tabla 5-9**.

En las tablas anteriores se puede apreciar que, aunque las cotas de niveles absolutos tienen una variación menor (producto de que las variables de los modelos son diferentes), la variación de profundidad es similar para los dos modelos en los SHAC que son más **representativos de la cuenca (se recomienda leer el subcapítulo de “Brechas de los criterios de sustentabilidad” para entender esto)**.

Dada la configuración y determinación de los valores de las variables del Modelo, las brechas de información y de complejidades de los sectores acuíferos asociados al secano interior (Los Puercos, Cauquenes, Purapel, Belco Arenal), no fue posible aplicar correctamente la metodología en todo el sector acuífero. Para lograr esto es necesario disponer de mayores estudios complementarios, tales como estadística histórica y espacial de niveles estáticos del acuífero, datos de pruebas de bombeo y una matriz de piezómetros o pozos de observación más extensa, que llegue a la zona con brechas de información, con el fin de obtener resultados que reflejen el comportamiento hidrogeológico local con mayores niveles de certidumbre en este modelo.

A pesar de estos problemas, los acuíferos del valle (Maule Medio Norte y Maule Medio Sur) muestran un buen nivel de ajuste y una buena representación en el modelo, por lo que el modelo sirve como una herramienta base que toma en cuenta los efectos del cambio climático, y que conforme se vaya complementando con nueva información y estudios, podrá ser utilizada para aplicar la metodología de evaluación de los criterios de sustentabilidad.

Comentarios finales

Todos los modelos se basan en análisis y expresiones matemáticas, significan una simplificación de la representación de la realidad, que normalmente tienen una estructura más compleja. El objetivo de la modelación es acercamiento a una realidad y sus pronósticos serán más acertados mientras más información histórica y espacial se tenga. Desde esa perspectiva, para una mayor explotación futura y prudencial del agua

subterránea, será conveniente ir actualizando la variación histórica de variables de la cuenca y mejorando características del modelo con datos que se recojan en el tiempo.

A la luz de los resultados, se verifica una sensibilidad importante del porcentaje de pozos secos (criterio N° 4), criterio dependiente de las profundidades constructivas que tienen las captaciones actuales, significativamente menores que la profundidad del acuífero, que además se conoce para solo una parcialidad de los pozos existentes, por lo que se recomienda revisar los resultados de este criterio con un mayor nivel de información de las captaciones existentes y futuras, que permitan evaluar con mayor grado de certidumbre este Criterio.

También se propone promover la ejecución de captaciones de aguas subterráneas de mayor profundidad, que permita aumentar la capacidad de extracción de aguas subterráneas del acuífero sin afectación a los titulares de derechos de aprovechamiento y verificando el cumplimiento de los criterios definidos por la DGA, para así mejorar la seguridad de abastecimiento.

5.4 Indicadores hídricos de la cuenca

Para la evaluación de la brecha hídrica se ha desarrollado Indicadores Hídricos por cuenca, estos indicadores se dividen en dos: **Indicadores para la sustentabilidad de acuíferos e Indicadores de uso** (recurso superficial).

- **Indicadores para la sustentabilidad de acuíferos:** Son aquellos criterios que componen la sustentabilidad de acuíferos, por lo tanto se evaluará en los escenarios de gestión la variación de la napa, Stock del acuífero, interferencia río acuífero, y satisfacción de la demanda. No se evaluará el criterio de pozos secos ya que el modelo en su forma acoplada entre las dos plataformas impide este cálculo según la estructura desarrollada en la presente modelación (agrupación de pozos). El indicador para la sustentabilidad de acuíferos tendrá una ponderación del 50 % respecto al total, los subindicadores 25% cada uno respecto a este último.
- **Indicadores de seguridad de uso de agua:** Agrupa criterios para valoración del agua superficial en diferentes situaciones de uso como balance superficial, acumulación, generación eléctrica, seguridad de riego, seguridad ambiental. No se valorará la seguridad de agua potable ya que el modelo no aporta información precisa de este criterio. El indicador de seguridad de uso de agua tendrá una ponderación del 50% respecto del total, y los subcriterios anteriores 20 % cada uno respecto a este último.

Dichos indicadores nos permiten visualizar brechas hídricas a nivel superficial y subterráneo, además son utilizados como referencia en el seguimiento y monitoreo del Plan de Acción.



Fuente: elaboración propia

Figura 5-5 Indicadores Hídricos

Normalización de los resultados

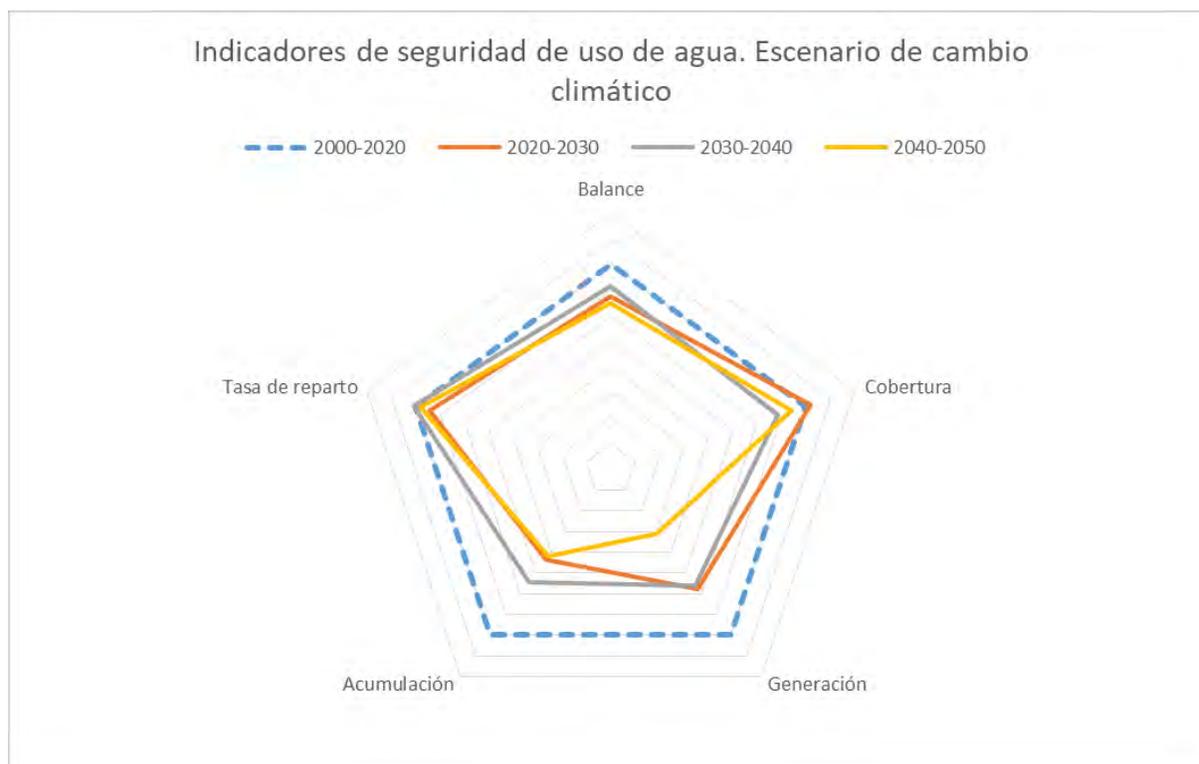
Con objeto de poder comparar los criterios entre sí, y finalmente hacer una ponderación de los mismos se realiza una **ponderación del resultado por subcriterios**. Esto consiste en considerar como valor máximo el valor obtenido en el periodo 2000-2020, de esta forma se podrá comparar con los valores obtenidos de los escenarios de cambio climático y estrategias de gestión. De esta forma, los indicadores responderán de dos formas diferentes, ya que un aumento de la brecha hídrica (cobertura de riego, Balance superficial, tasa de reparto), es negativa para el análisis y los descensos de acumulación o generación serán negativos. Para representar lo anterior, los criterios de brecha hídrica estarán en la parte superior del pentágono de indicadores, dejando la inferior para los criterios de generación eléctrica y acumulación.

En el Anexo J, se presentan la memoria de cálculo de los indicadores.

Resultados de los indicadores

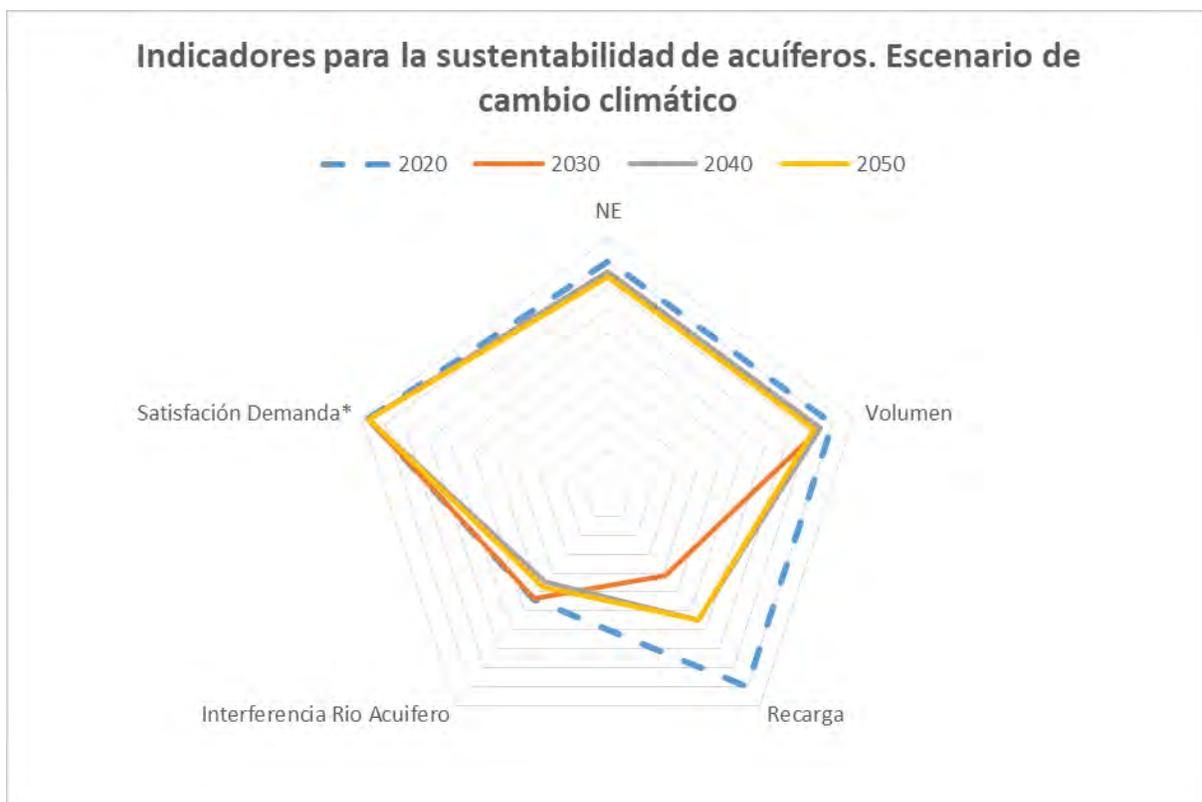
La Figura 5-6, representa los Indicadores de seguridad de uso de agua, donde la figura base es el periodo 2000-2020 (polígono azul), y el resto simbolizan los periodos de tiempos analizados en el escenario de cambio climático.

El escenario base, periodo 2000-2020, se sitúa en el valor 1 ya que se ha normalizado respecto a él, por lo tanto el resto de los escenarios se desplazan según la variación de cada indicador. La figura del periodo 2040-2050 (amarilla), se desplaza hacia dentro de una forma pronunciada en los distintos indicadores debido a la reducción de la oferta (ver sección 4.1.2.2)



Fuente: elaboración propia

Figura 5-6. Indicadores de seguridad de uso de agua, escenario de cambio climático



Fuente: elaboración propia

Figura 5-7. Indicadores para la sustentabilidad de acuífero, escenario de cambio climático

5.5 Escenarios de Gestión

Se definieron dos escenarios de gestión a ser modelados, con el propósito de determinar la respuesta del sistema frente a distintas estrategias definidas para abordar la brecha hídrica.

La evaluación de los escenarios no limita la incorporación de distintas soluciones dentro del Plan, como la automatización o el aumento de la eficiencia de riego. Estas acciones se consideran en forma explícita dentro de la calculadora hídrica, instrumento construido para una evaluación de eficiencia (costo / beneficio) de las distintas alternativas que darán cuerpo al Plan Estratégico.

5.5.1 Escenario 1: Gestión de aguas superficiales

Una de las demandas permanentes de los usuarios de la región es el desarrollo de infraestructura de regulación, que permita un traspaso intra o interanual de los recursos

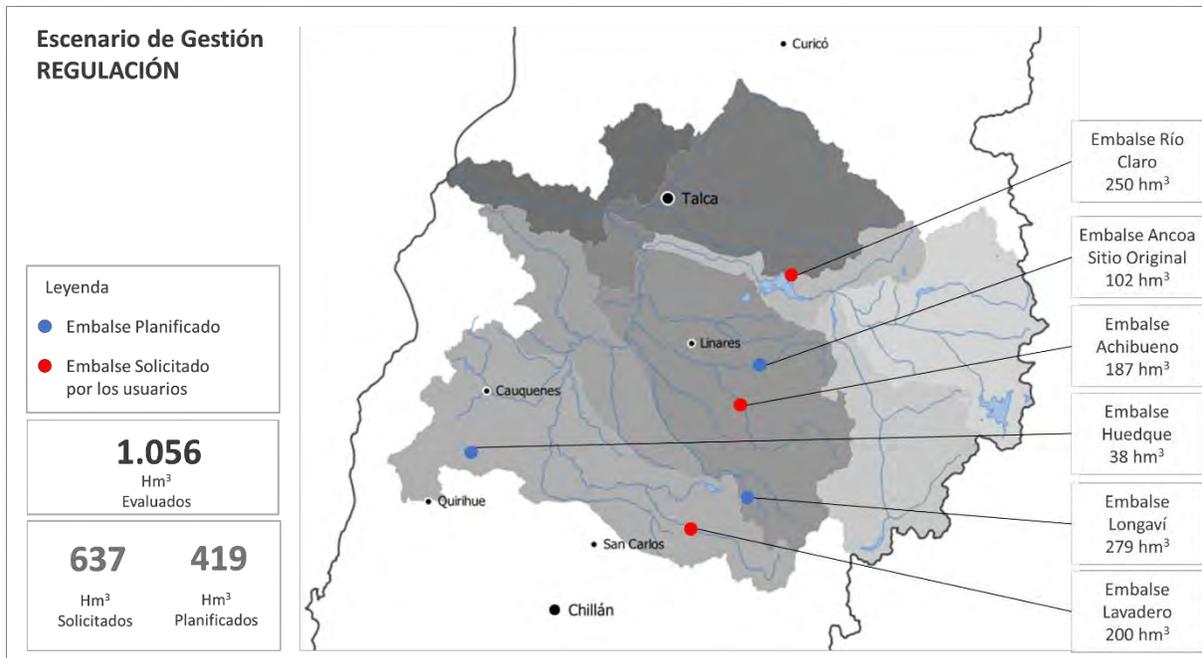
excedentarios de los meses de invierno. Los embalses que han sido considerados en este escenario son los siguientes.

Tabla 5-13. Escenario de Gestión de aguas superficiales

Embalse	Unidad de Gestión	Capacidad (Hm³)	Superficie Regada (ha)	Fuente
Ancoa Original - Sitio	Loncomilla	102	60.000	Plan Nacional de Embalses 2019
Longaví	Loncomilla	279	41.600	Plan Nacional de Embalses 2019
Huedque	Perquillauquén	38	3.254	Estudio de prefactibilidad proyecto construcción de embalse de riego Huedque, Comuna de Cauquenes. CNR 2012
Achibueno (Montecillo-1)	Loncomilla	187	28.509	Estudio de prefactibilidad "Mejoramiento del sistema de riego en río Achibueno, Región del Maule". CNR 2014
Lavadero	Perquillauquén	200	70.000	Minuta Embalse Lavadero. Asociación Embalse Digua. Parral.
Río Claro - Lircay	Maule	250	25.000	PAC
Total		1.056	228.363	

Fuente: elaboración propia

Estos embalses, con las superficies de riego potencial, fueron incorporados dentro del modelo, y se simuló la capacidad del sistema para proveer los recursos en función de los escenarios de cambio climático, así como los efectos en la seguridad de riego de los territorios que se encuentran dentro del área de influencia de cada una de estas obras de regulación. La metodología de la creación del escenario de gestión se encuentra en el Anexo H, sección 1.4.4.



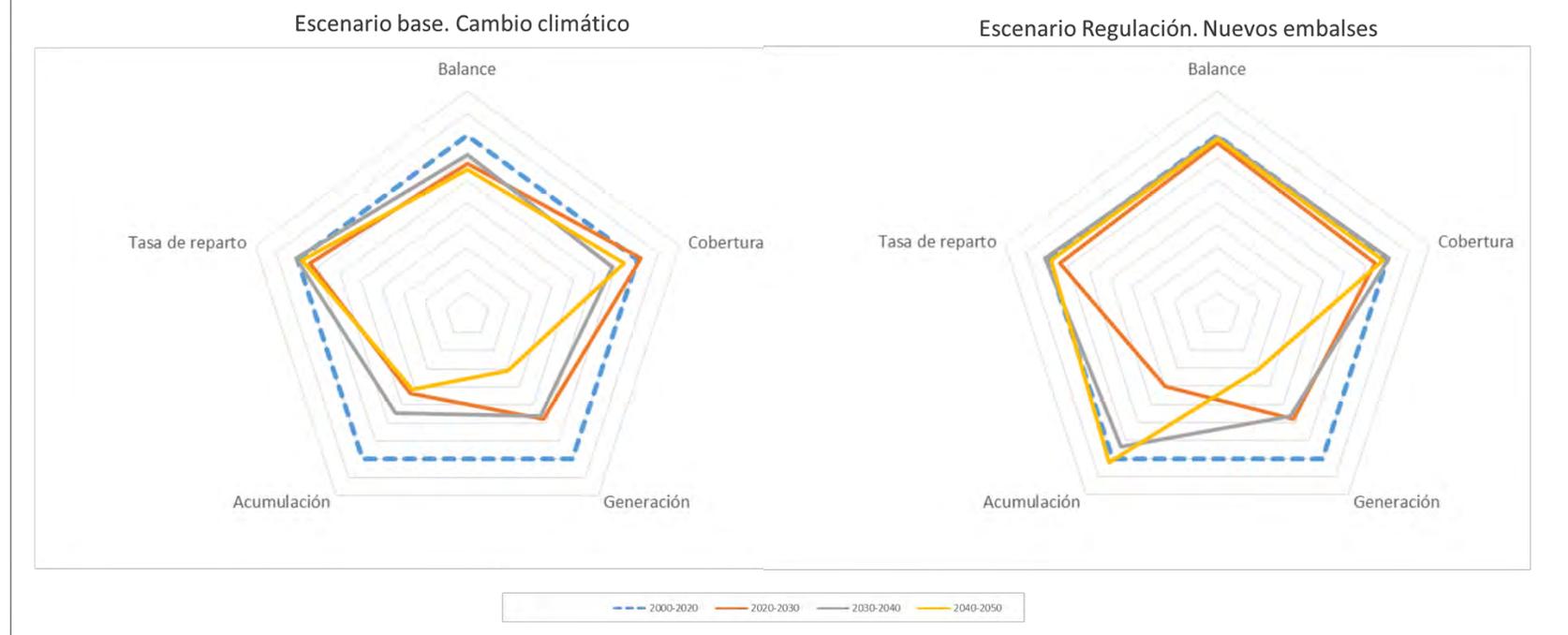
Fuente: elaboración propia.

Figura 5-8. Escenario de Gestión de aguas superficiales

Los resultados se presentan según la variación de los indicadores señalados en el punto 5.5. La Figura 5-9 ilustra la mejora en los indicadores ya que el polígono tiende a desplazarse a la posición base (2000-2020) para los años proyectados al 2050 (línea amarilla). Destaca la mejora en el balance superficial y cobertura de riego, así como el aumento de la acumulación.

En el Anexo J se presentan los resultados del escenario evaluado.

Indicadores de Seguridad Hídrica Escenario de Regulación



Fuente: elaboración propia.

Figura 5-9. Escenario de embalses. Comparación de Indicadores hídricos

5.5.2 Escenario 2: Gestión de aguas subterráneas

La cuenca del Maule dispone de un acuífero con una capacidad de almacenamiento que es largamente superior a la demanda actual sobre los recursos hídricos. Dado que la cuenca ha podido suplir, en general, la demanda a partir de fuentes superficiales, la alternativa de uso de aguas subterráneas no ha sido abordada en forma masiva, con excepción de los sectores del secano interior (Cauquenes, Belco Arenal y Purapel).

Se propone un escenario de explotación de aguas subterráneas con dos objetivos principales:

1. Aportar recursos hídricos para resolver la brecha hídrica actual, proporcionar seguridad de abastecimiento y aumento de superficie regada.
2. Aporte de recursos hídricos para el trasvase de los mismos desde el acuífero principal, hacia las zonas del secano interior, que no cuentan con la misma reserva de aguas subterráneas.
3. Recarga de los acuíferos afectados de la extracción, con el objetivo de mantener una explotación sustentable en el tiempo.

Para esto, se propone la evaluación de extracciones de agua subterránea mediante pozos profundos. Consistente en un conjunto de baterías de pozos instaladas en los SHAC de Maule Medio Norte y Sur. Son un total de 230 baterías con 10 pozos cada una, con profundidades del orden de 100 (m), y un caudal total de extracción (total de las 230 baterías de pozos) de **51,66 m³/s** (Tabla 5-14) distribuidos en las cuencas de Río Putagán (N4), Achibueno (N17b), Maule Medio (16b), y Río Claro (Nodo 1 y 2). La operación de los pozos se considera progresiva, iniciando el año 2022 hasta disponer de todos los pozos en el año 2027.

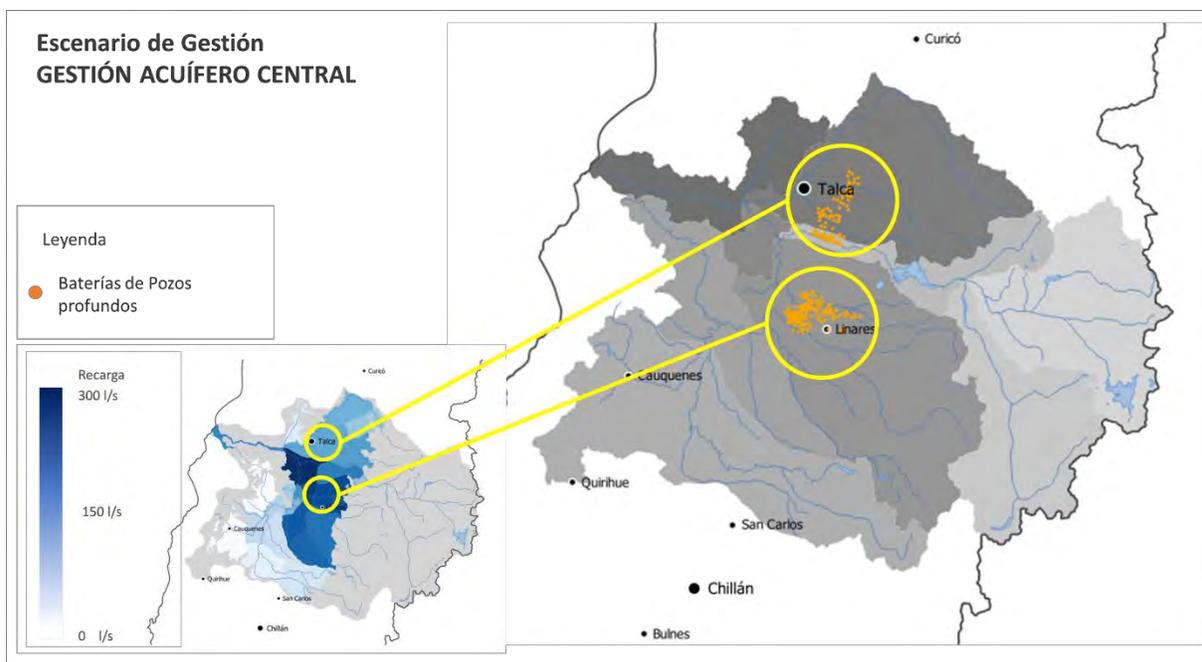
La distribución es dirigida de forma conceptual a las Zonas de Riego con mayor déficit según el balance de agua (Escenario de cambio climático). La solución finalmente aportará un total de **543 Hm³/año** (Figura 5-10).

Tabla 5-14 Escenario de batería de pozos. Distribución de la batería de pozos

SHAC	Número de batería de pozos por SHAC	Caudal total de extracción (m ³ /s)	Volumen anual (Hm ³ /año)
Maule Medio Norte	80	17,97	355
Maule Medio Sur	150	33,69	188
Total	230	51,66	543

Fuente: elaboración Propia

La metodología de la creación del escenario de gestión se encuentra en el Anexo H, sección 1.4.4.



Fuente: elaboración propia.

Figura 5-10. Escenario de Gestión de aguas subterráneas

Tabla 5-15. Comparación de brecha hídrica con escenario base y escenario Gestión de aguas subterráneas (Hm³)

	2000-2020	2020-2030	2030-2040	2040-2050
Brecha con Escenario base	572,21	732,75	675,58	815,81
Brecha con Escenario Gestión de aguas subterráneas	572,21	505,25	336,29	439,42
Reducción de la brecha (Hm³)	0,00	227,50	339,29	337,39

Fuente: Elaboración propia

La brecha se reduce directamente desde el año 2020, generando ya una reducción en el periodo 2020-2030 (Tabla 5-15). Este efecto es positivo en comparación con el escenario anterior, ya que la proyección de finalización de los embalses está fijada en el año 2035.

5.5.3 Escenario 3: Gestión de la demanda mediante eficiencia de riego

En relación al porcentaje de eficiencia declarado en el presente informe y validado por los diferentes actores, la mejora de la eficiencia de riego es una prioridad a nivel de cuenca para el ahorro de agua y desarrollo agropecuario.

Con esta consideración se toma como escenario el aumento de la eficiencia de riego hasta un 70%. Dicho aumento se hace progresivo según la tendencia marcada en el informe DGA (2017b) multiplicada por un factor para llegar al 2035 (Tabla 5-16).

Tabla 5-16. Comparación escenario base y escenario Gestión de la demanda mediante eficiencia de riego (Hm³)

	2000-2020	2020-2030	2030-2040	2040-2050
Escenario base	572,21	732,75	675,58	815,81
Escenario Eficiencia	572,21	550,20	372,11	454,97
Menor recarga (Hm³)	0,00	182,55	303,47	360,84

Fuente: Elaboración propia

Esta menor recarga afectará a los acuíferos en forma negativa, reduciendo el aporte de agua que reciben producto de la ineficiencia del riego. De la misma forma, afectará a sectores que se alimentan de los afloramientos de agua, o aquellas captaciones poco profundas que se encuentran en las inmediaciones de los canales.

Se debe considerar este efecto secundario en la planificación de las estrategias de gestión a formular, con el propósito de no perjudicar a terceros.

La metodología de la creación del escenario de gestión se encuentra en el Anexo H, sección 1.4.4.

5.5.4 Comparación entre escenarios

Con el objetivo de poder comparar las estrategias que conforman los escenarios analizados, se realiza un análisis comparativo de dichos escenarios.

En la Figura 5-1 se presenta, de forma esquemática, el comparativo de los indicadores de seguridad hídrica o indicadores de uso de agua. Se observa una mejora en el indicador de balance superficial para los escenarios de regulación y mejora de eficiencia. En el indicador de cobertura agrícola es el escenario de batería de pozos aquel que tiene mejor comportamiento para la proyección a 2050 junto al escenario de mejora de eficiencia. Como es de esperar el escenario de regulación es el único que mejora el indicador de acumulación.

En mayor detalle la Tabla 5-17 presenta la brecha hídrica para el balance superficial como resultado de cada simulación realizada. Como se ha indicado anteriormente, el escenario de eficiencia permite reducir la brecha hídrica de mejor forma que el resto de escenarios.

Tabla 5-17 Comparativo de la brecha hídrica para el balance superficial (Hm³/año)

Escenario	2000-2020	2020-2030	2030-2040	2040-2050
Escenario base	311	468	413	509
Regulación	311	468	192	212
Gestión del Acuífero central	311	480	436	534
Mejora eficiencia	311	228	87	121

Fuente: Elaboración propia en base al modelo actualizado

La Tabla 5-18 presenta la brecha hídrica para la cobertura agrícola como resultado de cada simulación realizada. El escenario de eficiencia permite reducir la brecha hídrica de mejor forma que el resto de escenarios al igual que el escenario de baratería de pozos.

Tabla 5-18 Comparativo de la brecha hídrica para la cobertura agrícola (Hm³/año)

Cobertura	2000-2020	2020-2030	2030-2040	2040-2050
Escenario base	572	733	676	816
Regulación	572	718	605	613
Gestión del Acuífero central	572	505	336	439
Mejora eficiencia	572	550	372	455

Fuente: Elaboración propia en base al modelo actualizado



Figura 5-1 Comparativa de escenarios con indicadores de seguridad de uso de agua

5.6 Identificación de mejoras

Como ya se ha mencionado anteriormente, existen ciertas brechas del modelo hidrológico que podrían ser abordadas. Dentro de la modelación WEAP-MODFLOW, la agrupación de **pozos agrícolas** por sectores acuíferos y zonas de riego podría ser deshecha y así representar cada punto de captación subterránea a través de un elemento "Sitio de Demanda", lo que se traduciría en la **creación del orden de 3.000 de estos elementos en la modelación**. Esta medida generaría un modelo muy robusto, seguramente engorroso en su topología y probablemente con un tiempo de cómputo muy elevado (esto depende de los avances que tenga WEAP a futuro), por lo que se recomienda hacerlo solo en aquellas zonas de la cuenca en que la representación fiel de la realidad sea necesaria por alguna razón importante.

Adicionalmente, respecto a la amplia variación de la **superficie regada** en la cuenca año a año y de su representación en la modelación, se plantea la posibilidad de realizar un mejoramiento del modelo aplicando una regla de operación que busque determinar el área sometida a riego en cada año. Se recomienda que esta regla de operación esté respaldada por un estudio acorde (estudio de la superficie agrícola y su demanda actual), que basado por ejemplo en los caudales presentes en los ríos al inicio del periodo de riego, al volumen de agua almacenado en los embalses al inicio del periodo de riego o a la precipitación existente en la cuenca durante el periodo de otoño-invierno, se determine para el modelo qué superficie de riego considerar año a año.

Posteriormente, en la misma línea de lo mencionado respecto a la agrupación de los pozos de uso agrícola, se plantea un mejoramiento del modelo **desagrupando las APR** que han sido unificadas por sectores acuíferos. Para ello, en la plataforma WEAP-MODFLOW se **tendría que crear un elemento "Sitio de Demanda" para cada APR que se quiera representar** de manera individual. Al igual que en el caso agrícola, se debe tener especial cuidado en que este proceso no se traduzca en la creación de un modelo que finalmente sea exageradamente complejo.

Respecto a la reducción de la red de **flujos de retorno** mencionada anteriormente en este informe, en futuras modelaciones podría evaluarse la consideración de la red original utilizada en los estudios "Estudio e Implementación de Modelos Hidrológicos Acoplados a SIG para el Manejo y Planificación Cuencas de Maule, Mataquito e Itata" realizado para la CNR en 2006 o "Plan Director para la Gestión de los Recursos Hídricos Cuenca del Río Maule" realizado para la DGA en 2008, sin haber sido sometida a reducción; siempre y cuando las limitaciones propias de la plataforma WEAP-MODFLOW, que obligaron a esta reducción, hayan sido superadas.

Por otra parte, como se ha mencionado en el informe anteriormente, la mayoría de las brechas de la modelación subterránea proviene desde la **falta de datos** para construir y calibrar el modelo. En específico, los datos de **niveles estáticos** observados para la zona del secano costero son críticos para lograr una buena calibración, por lo que un estudio que recopile datos históricos de esta zona o un proyecto que produzca mediciones constantemente para un futuro trabajo servirían para aliviar este problema. Por otro lado,

se necesita un levantamiento de **datos hidrogeológicos y geométricos** del acuífero en la desembocadura y costa de Maule Bajo, ya que los datos que se han podido encontrar son mínimos para esta zona. Un trabajo de análisis de información hidrogeológica en terreno y/o un levantamiento geofísico podrían arreglar este problema tanto para actualizar este modelo como para otros proyectos futuro en el acuífero de Maule Bajo.

Sin perjuicio de lo anterior, se cree que es necesario que la DGA tenga un control de **medición de niveles más exhaustivo en la cuenca**, ya que apenas se cuenta con 3 puntos de observación para un territorio muy grande.

6 MARCO CONCEPTUAL DEL PLAN ESTRATÉGICO

En los capítulos precedentes se presentó secuencialmente una descripción de la cuenca, junto con el análisis de la demanda de agua, la oferta, y el balance entre ambas. A **continuación, se formula el plan estratégico que permita “suplir la demanda de agua y adaptación al cambio climático, con un portafolio de acciones que aseguren su abastecimiento en cantidad y calidad”.**

Para esta formulación se consideró necesario compartir una serie de conceptos de referencia, que estructuran la visión que se tiene respecto de la gestión integrada de recursos hídricos y su implementación a nivel local.

Desde un enfoque de **Capital Natural**²¹, se identifican una serie de **servicios ecosistémicos** que los ecosistemas proporcionan a las personas, entendidos como la contribución directa e indirecta de los ecosistemas al bienestar humano²². La Clasificación Internacional Común de Servicios Ecosistémicos²³ (CICES) reconoce servicios ecosistémicos de tres tipos: provisión, regulación y mantención, y culturales.

En este contexto, la **Gestión Integrada de Recursos Hídricos**, define un contexto general para la intervención de los servicios ecosistémicos de provisión, regulación y culturales asociados a los recursos hídricos. En una bajada operacional, la implementación de la GIRH se realiza mediante una serie de acciones, las que pueden corresponder a **Soluciones Basadas en la Naturaleza** (SbN), **Soluciones Basadas en la Infraestructura** (SbI) y **Soluciones Basadas en la Gestión** (SbG).

El **Plan Estratégico** define las estrategias a seguir para asegurar la seguridad hídrica, median las soluciones antes descritas. Para esto, considera etapas de Formulación, Implementación, Evaluación y Seguimiento. Finalmente, para ejecutar el Plan Estratégico

²¹ <https://naturalcapitalcoalition.org/>

²² Ministerio de Medio Ambiente. [online] Servicios Ecosistémicos. Disponible en <https://mma.gob.cl/servicios-ecosistemicos/> [Revisado el 08 de noviembre de 2020].

²³ <https://cices.eu/>

se requiere una **Gobernanza** que defina las responsabilidades sobre cada una de las fases de planificación, y asegure que este proceso resulte en una actualización y mejora continua.

La Figura 6-1 Marco conceptual para la formulación del Plan Estratégico, resume la visión expuesta, relacionando todos los elementos que forman parte del marco conceptual y que se detallan en los numerales siguientes.



Figura 6-1 Marco conceptual para la formulación del Plan Estratégico

Fuente: Elaboración propia

6.1 Gestión Integrada de Recursos Hídricos

La **Gestión Integrada de Recursos Hídricos** (GIRH) fue definida por el Comité Técnico de la Asociación Mundial para el Agua (GWP²⁴) como "un proceso que promueve la gestión y desarrollo coordinado del agua, la tierra y los recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico resultante, pero de manera equitativa, y sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas. El concepto de seguridad hídrica es un aspecto clave en la formulación actual de la GIRH, y en este sentido se puede mencionar la seguridad de abastecimiento para consumo humano, la seguridad para los ecosistemas, la seguridad frente a riesgos de origen natural, y la seguridad económica.

Según señala el Estudio "Gestión Integrada de los Recursos Hídricos en Chile" (Universidad de Chile, 2009), la definición aportada por GWP refleja el consenso internacional sobre las normas generales de cómo se debe gestionar el agua considerando un amplio grupo de variables y disciplinas que permitan alcanzar los criterios esenciales del desarrollo sustentable.

La GIRH se presenta como un concepto marco para el Plan Estratégico, pero para su implementación requiere de la definición de soluciones tecnológicas que acompañen a los procesos de información y conocimiento, inducción de comportamiento y gobernanza. Para esto, se proponen en el numeral siguiente un conjunto de Soluciones Basadas en la Infraestructura (SbI), en la Gestión (SbG), y en la Naturaleza (SbN). Estas soluciones se proponen para la cuenca del Maule, en atención a sus condiciones particulares, por lo que otras cuencas requerirán nuevas soluciones.

6.2 Soluciones Basadas en la Infraestructura, la gestión y la naturaleza

La implementación de una Gestión Integrada de Recursos Hídricos requiere de un conjunto de herramientas que permitan gestionar los recursos hídricos en función de una serie de indicadores de desempeño, que aseguren tanto la sostenibilidad del recurso, como la seguridad de los distintos usos asociados, incluidos la calidad de las aguas y el estado de los ecosistemas. Para esto, en la Figura 6-2 se proponen tres ámbitos de soluciones, según el tipo de intervención que realizan.

²⁴ <https://www.gwp.org/>



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-2 Soluciones para la Gestión de Recursos Hídricos

A continuación, se presenta las principales acciones que permiten la implementación de cada una de las líneas de solución definidas.

6.2.1 Soluciones Basadas en la Infraestructura (SbI)

Las SbI corresponden a intervenciones de mediano y largo plazo, materializadas a partir de obras civiles y proyectos con uso intensivo del capital. Algunas características de estas soluciones son:

- Requieren un período largo de evaluación, la que se realiza en etapas de ingeniería
- Requieren de una evaluación social que determine la conveniencia de la inversión
- Requieren de un alto capital de inversión.

Tabla 6-1. Soluciones Basadas en la Infraestructura (SbI)



Soluciones Basadas en la Infraestructura (SbI)

- **Embalses superficiales y embalses subterráneos.**
- **Trasvases:** y otras obras de derivación de agua entre cuencas.
- **Obras de Elevación de agua** superficial para disponibilizarla en zonas a mayor altura.
- **Pozos:** Elevación de aguas subterráneas desde pozos, ya sean someros o profundos, los que se pueden emplear además para la recarga a presión de los mismos acuíferos.
- **Recarga de Acuíferos:** obras diseñadas para la Recarga de Acuíferos Gestionada (RAG)
- **Potabilización:** tratamiento de las aguas para permitir el consumo humano
- **Depuración:** Tratamiento de aguas domiciliarias e industriales para su disposición o reutilización.
- **Desalación:** tratamiento de las aguas de mar para permitir su uso como agua dulce.

Fuente: elaboración propia.

6.2.2 Soluciones Basadas en la Gestión (SbG)

Las SbG corresponden a intervenciones de corto y mediano plazo, que se basan en la implementación de mejoras operacionales en sistemas existentes, transferencia tecnológica a usuarios, establecimiento de acuerdos o mejoras en los sistemas de operación y reparto, implementación de sistemas de gobernanza local, entre otros. Las principales características de estas soluciones son:

- Requieren un período corto de evaluación y son de rápida implementación.
- Generalmente se planifican sobre un gran número de usuarios o superficie, por lo que su implementación es gradual.
- Requieren de un bajo capital de inversión, no obstante dependiendo de la extensión de cada medida, puede completar un monto significativo en el tiempo.
- Requieren de la participación activa de todos los usuarios del agua.

Tabla 6-2. Soluciones Basadas en la Gestión (SbG)



Soluciones Basadas en la Gestión (SbG)

- **Automatización de compuertas y telemetría:** de compuertas en distintos niveles de captación y distribución.
- **Tecnificación del riego:** implementación de sistemas de riego más eficientes.
- **Embalses de Regulación Corta:** tranques de regulación día – noche.
- **Recarga de acuíferos mediante infraestructura existente,** por ejemplo, canales de regadío.
- **Capacitación de los usuarios:** capacitación de usuarios en general y regantes en particular para mejorar uso de las aguas.
- **Acuerdos de distribución de las aguas:** entre usuarios particulares, respecto de la oportunidad y cantidad del uso.
- **Fiscalización y control** de extracciones y uso del agua en general.
- **Estudios y Monitoreo** de los recursos hídricos como base para la toma de decisiones y seguimiento del desempeño de los planes de gestión.
- **Buenas Prácticas:** para disminuir aporte de contaminantes a cursos y cuerpos de agua. Acuerdos de Producción Limpia.
- **Gobernanza:** Mejora del estado de derechos de aprovechamiento de agua, Formalización y fortalecimiento de organizaciones de usuarios de aguas, Constitución de Comunidades de Aguas Subterráneas, Establecimiento de una gobernanza del agua

Fuente: elaboración propia.

6.2.3 Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN)

Las SBN corresponden a una serie de prácticas de restauración del ciclo hidrológico y sus atributos, que emulan las propiedades de los ecosistemas para este propósito. La Comisión Europea define a las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) como “soluciones a desafíos a los que se enfrenta la sociedad que están inspiradas y respaldadas por la naturaleza; que son rentables y proporcionan a la vez beneficios ambientales, sociales y económicos, y ayudan a aumentar la resiliencia”²⁵.

Según el Ministerio de Transición Ecológica de España (MITECPO, 2019), Las SbN para la gestión del agua permiten mejorar el uso de los recursos hídricos; por ejemplo, mediante la conservación y protección de las cabeceras de las cuencas hidrográficas o mediante la regulación de los flujos naturales. Se trata de infraestructuras verdes y medidas naturales,

²⁵ European Commission, p. 1: <https://ec.europa.eu/research/environment/index.cfm?pg=nbs>

que pueden complementar a las infraestructuras “grises” tradicionales y reducir los costes totales de los servicios de agua tanto en las ciudades como en el medio rural. Se han desarrollado en diferentes partes del mundo. En Europa en particular, su utilización tiene una larga historia para abordar diversos problemas relacionados con el agua, incluyendo tanto aspectos de calidad como de cantidad (especialmente relacionadas con problemas de sequías e inundaciones).

Las principales características de estas soluciones son:

- Son soluciones con costos variables de implementación
- Los plazos de respuesta también son variables, aunque por lo general sus efectos e manifiestan en el largo plazo
- Los impactos de cada solución van más allá del aumento de la disponibilidad de agua, sino que involucran una gran cantidad de servicios ecosistémicos

Tabla 6-3. Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN)



Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN)

- **Protección estratégica de terrenos:** ya sea mediante regulación, ordenamiento territorial, compra o destinación.
- **Revegetación:** incluyendo reforestación, enriquecimiento y reconversión de áreas vegetadas.
- **Restauración de riberas:** incluyendo corredores de ribera.
- **Eliminación de especies invasoras,** animales y vegetales.
- **Recarga natural de acuíferos,** mediante zanjas de infiltración, llanuras de infiltración, red de canales u otros.
- **Reconexión de ríos y llanuras de inundación,** restitución de cauces de inundación de los ríos.
- **Establecimiento de desviaciones de inundaciones.**
- **Restauración y recuperación de humedales.**
- **Construcción de humedales artificiales.**
- **Espacios verdes,** con el propósito de aumentar bio retención e infiltración.
- **Pavimentos permeables.**
- **Prácticas agrícolas sostenibles,** o Buenas Prácticas Agrícolas.
- **Coberturas vegetales.**
- **Uso reducido de químicos y fertilizantes.**
- **Cambios en métodos de control de plagas.**
- **Prácticas adecuadas de gestión forestal,** incluyendo reducción de combustibles de origen forestal.
- **Prácticas de ganadería y pastoreo apropiadas.**

Fuente: adaptado de MITECO, 2019

6.3 Estructura del Plan Estratégico de Gestión

El presente Plan de Gestión se basa en la definición de acciones que permitan suplir la demanda de agua y adaptación al cambio climático, asegurando su abastecimiento en cantidad y calidad. Para la formulación de estas acciones se evaluaron distintas alternativas, diferenciadas según el tipo de uso del agua y las brechas asociadas. La estructura del Plan Estratégico se presenta en la Figura 6-3 Estructura del Plan de Gestión y se describe a continuación.



Fuente: elaboración propia

Figura 6-3 Estructura del Plan de Gestión

Formulación: corresponde a las definiciones estratégicas del Plan, estableciendo lineamientos, acciones y restricciones, metas y estrategias para su cumplimiento.

- **Definiciones estratégicas:** definición de los aspectos clave que debe abordar el Plan Estratégico, para los cuales se definirán los ejes, objetivos, Unidades de Gestión, así como las Soluciones y Restricciones para la evaluación.
- **Temas Materiales:** definición de los temas relevantes a nivel territorial, y entendidos como los aspectos positivos y negativos del territorio, que favorecen o dificultan la resolución de las brechas.
- **Evaluación de estrategias:** corresponde a evaluación de estrategias alternativas para la resolución de las brechas identificadas.

Implementación: etapa operacional, donde los distintos actores participantes de la gobernanza, implementan las iniciativas determinadas por la estrategia validada en el punto anterior.

- **Implementación del Plan:** corresponde a la definición de la cartera de iniciativas, presupuesto, plazos, la estrategia de implementación y las responsabilidades asociadas.

Seguimiento: parte del proceso de comunicación, revisión y mejora continua. Recopila información de cumplimiento desde los actores, la consolida y mide el avance de la implementación del Plan. Alimenta los procesos de actualización.

- **Seguimiento y Monitoreo:** corresponde a la definición de responsabilidades y mecanismos para el seguimiento y monitoreo del Plan Estratégico, que incluyen la rendición de cuentas a la sociedad sobre la gestión del recurso hídrico, y los procesos de revisión y adaptación del Plan.

6.4 Gobernanza para el Plan Estratégico

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, OCDE, definió en el año 2015 una serie de principios para la Gobernanza del Agua (OCDE, 2015). Justifica su adopción en las presiones globales ejercidas sobre el agua y sus sectores relacionados. Define el sector agua como uno fragmentado, y señala que generalmente las crisis del agua son crisis de gobernanza.

Para el presente Plan Estratégico, la Gobernanza se ha planteado como la organización requerida para permitir el funcionamiento de un sistema de mejoramiento continuo para la gestión de los recursos hídricos en la cuenca del Maule. Los pasos de este sistema, definidos en el Plan Estratégico, son la Formulación del Plan de largo plazo, la Implementación de las iniciativas, y el Seguimiento y evaluación del Plan, que permita su ajuste, cerrando de esta forma un ciclo virtuoso. Los alcances de cada etapa y las responsabilidades a ser asignadas por la gobernanza se definen en la Tabla 6-4.

Tabla 6-4. Relación del Plan Estratégico con la Gobernanza

Etapas del Plan	Alcance	Responsabilidades
Formulación	Consiste en la definición de la visión de largo plazo del Plan, estructurada en Ejes estratégicos, objetivos, metas, y una estrategia que permita alcanzar estas metas en el plazo previsto.	<p>La entidad responsable de la formulación del Plan debe convocar y coordinar a un conjunto de actores, provenientes de las instituciones públicas, a los usuarios del agua, así como a la sociedad civil interesada en la gestión de los recursos hídricos.</p> <p>Debe tener un rol resolutorio a nivel estratégico, y la capacidad de actualizar las definiciones del Plan Estratégico en función de los resultados del seguimiento y evaluación.</p> <p>Una alternativa para este rol es el establecimiento de un Consejo de cuenca o equivalente, que incorpore a titulares de derechos de agua y usuarios de agua, instituciones públicas, centros de estudio y la sociedad civil.</p>
Implementación	Consiste en la implementación de cada una de las iniciativas de inversión que surgen de la evaluación de las estrategias. En este caso participan todas las instituciones y organizaciones que forman parte de la Gestión de los Recursos Hídricos.	<p>Se entiende que la responsabilidad de la implementación recae en cada una de las entidades que participan de la gestión de los recursos hídricos, las que han sido identificadas dentro del Plan.</p> <p>Cada actor debe dar cuenta de las inversiones y acciones realizadas, con el propósito de realizar el seguimiento.</p> <p>Dependiendo de la forma de coordinación elegida, es posible que se instale una secretaría ejecutiva o coordinación técnica que dirija y/o facilite el trabajo conjunto de las entidades implementadoras.</p>

Etapas del Plan	Alcance	Responsabilidades
Seguimiento y Evaluación	<p>Consiste en el seguimiento a los indicadores de gestión y de impacto, que permiten determinar el grado de avance del Plan. Este seguimiento debe ser consolidado por una sola entidad, con el propósito de mantener una consistencia respecto de las unidades de medida: monto invertido, volumen de agua gestionado, y superficie protegida.</p>	<p>El seguimiento debe ser realizado en forma consolidada por una entidad responsable, que recopile los antecedentes aportados por cada una de las entidades responsables de la implementación del Plan.</p> <p>La evaluación debe realizarse en forma anual, y se debe dar una cuenta pública de las mismas. Los destinatarios de la cuenta pública son, finalmente, los mismos usuarios responsables de la formulación del Plan.</p> <p>Esta cuenta servirá de retroalimentación a la instancia de formulación del Plan, para los ajustes de programación, o bien la redefinición del mismo.</p> <p>Dependiendo de la forma de coordinación elegida, es posible que se instale una secretaría ejecutiva o coordinación técnica que realice las tareas de seguimiento. Otra posibilidad es considerar que la DGA puede actuar como una Superintendencia de Recursos Hídricos, requiriendo información y fiscalizando el trabajo de las entidades responsables.</p>

Fuente: elaboración propia

6.5 Proceso de elaboración del Plan

La elaboración del Plan Estratégico considera tres etapas: la formulación, donde se definen y evalúan las estrategias del Plan; la implementación, donde se definen presupuestos, responsables y plazos; y el seguimiento y evaluación, donde se definen indicadores de impacto, gestión y ejecución, así como los responsables y mecanismos de actualización del Plan. La figura 6-1 presenta el marco conceptual del Plan, y la Figura 6-1 presenta los distintos pasos e instrumentos empleados por etapa.

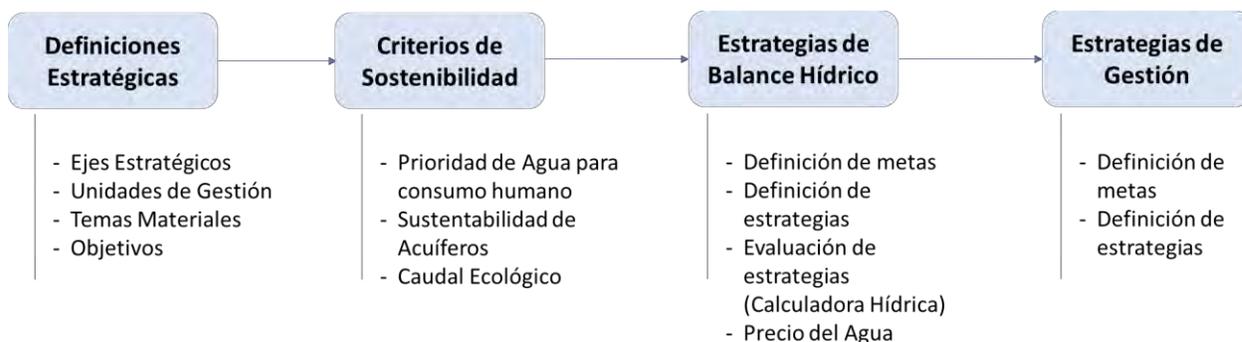


Fuente: elaboración propia.

Figura 6-1. Esquema conceptual del proceso de Formulación, Implementación y Seguimiento del Plan Estratégico

7 FORMULACIÓN DEL PLAN

El presente Anexo técnico presenta en forma detallada los pasos seguidos para la Formulación del Plan Estratégico, cuyos elementos se identifican en la Figura 7-1.



Fuente: elaboración propia.

Figura 7-1. Pasos para la Formulación del Plan de Gestión

La Formulación del Plan corresponde a las definiciones estratégicas del proceso, estableciendo lineamientos, acciones y restricciones, metas y estrategias para su cumplimiento.

- **Definiciones:** definición de los aspectos clave que debe abordar el Plan Estratégico, para los cuales se definirán los Ejes Estratégicos, Unidades de Gestión y Sectores, Temas Materiales y Objetivos.
- **Criterios de Sostenibilidad:** definición de criterios que aseguren que el Plan no producirá efectos negativos no deseados sobre los usuarios, sectores o ecosistemas.
- **Evaluación de estrategias:** corresponde a evaluación de estrategias alternativas para la resolución de las brechas identificadas.
 - (1) **Estrategia de Balance**, que aborda la gestión del balance de masas de agua y aborda directamente el déficit en la disponibilidad actual y esperada de recursos hídricos
 - (2) **Estrategia de Gestión**, que aborda los ejes de trabajo complementarios al balance, tendientes a asegurar el consumo humano, la conservación de la cuenca, la información y control, y la Gobernanza.

7.1 Definiciones Estratégicas

7.1.1 Ejes estratégicos

Para la definición de ejes estratégicos del Plan se tomó como referencia el análisis realizado en el contexto de la Mesa Nacional del Agua (Mesa Nacional del Agua, 2020), el cual fue ajustado al contexto territorial de la cuenca del Maule, y al alcance definido para el presente Plan Estratégico de Gestión Hídrica.

Se agregó un criterio adicional a los ya seleccionados, el que tiene relación con la sostenibilidad del Plan Estratégico. En lo principal, se busca alcanzar un equilibrio entre los recursos hídricos superficiales y subterráneos gestionados, y los que son reincorporados al ciclo hidrológico, el cual quedará refrendado en el Eje Estratégico N°3, sostenibilidad. De esta forma, se pretende aumentar el uso efectivo del agua en la cuenca, pero manteniendo la sostenibilidad del ciclo hidrológico, previniendo una sobreexplotación del mismo.

Los Ejes priorizados se resumieron en dos grupos principales: **BALANCE**, aquellos que abordan el balance hídrico de la cuenca y la sostenibilidad de los ecosistemas; y **GESTIÓN**, los que abordan la gestión de temas específicos, incluida la gobernanza del propio Plan Estratégico (Figura 7-2).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 7-2. Ejes del Plan Estratégico de Gestión Hídrica del Maule

Tabla 7-1. Ejes del Plan Estratégico de Gestión Hídrica

Ejes de la Mesa Nacional del Agua	Ejes Estratégicos del Plan	Objetivo General
2. Plan de Infraestructura Hídrica y Nuevas Fuentes	1 Disponibilidad de Agua	Aumentar la disponibilidad de agua mediante la incorporación de nuevas fuentes, o uso intensivo de las fuentes existentes.
11 Eficiencia hídrica y educación sobre uso del agua	2 Eficiencia del uso del agua	Aumentar la eficiencia en el uso del agua y reducir la demanda directa sobre el recurso.
5 Gestión Sustentable de Acuíferos	3 Sostenibilidad	Gestión sostenible de los aguas superficiales y subterráneas, de manera que se equilibre la extracción con la recarga de aguas, y se aumente el caudal ecológico en las zonas deficitarias.
1 Acceso Universal al Agua y al Saneamiento	4 Consumo Humano	Asegurar la disponibilidad de agua para consumo humano en la cuenca.
4 Protección de Ecosistemas 6 Protección de Glaciares	5 Conservación de la Cuenca	Conservar los ecosistemas y la calidad de las aguas de la cuenca, y restaurar los ecosistemas degradados.
10 Investigación e información pública	6 Información y Control	Levantamiento de información a escala de cuenca sobre el estado de los recursos hídricos, control de extracciones de aguas subterráneas, y estudios específicos.
9 Institucionalidad a nivel de cuencas 12 Financiamiento	7 Gobernanza para el Plan Estratégico	Desarrollo de una gobernanza para la implementación del Plan Estratégico y el financiamiento requerido.

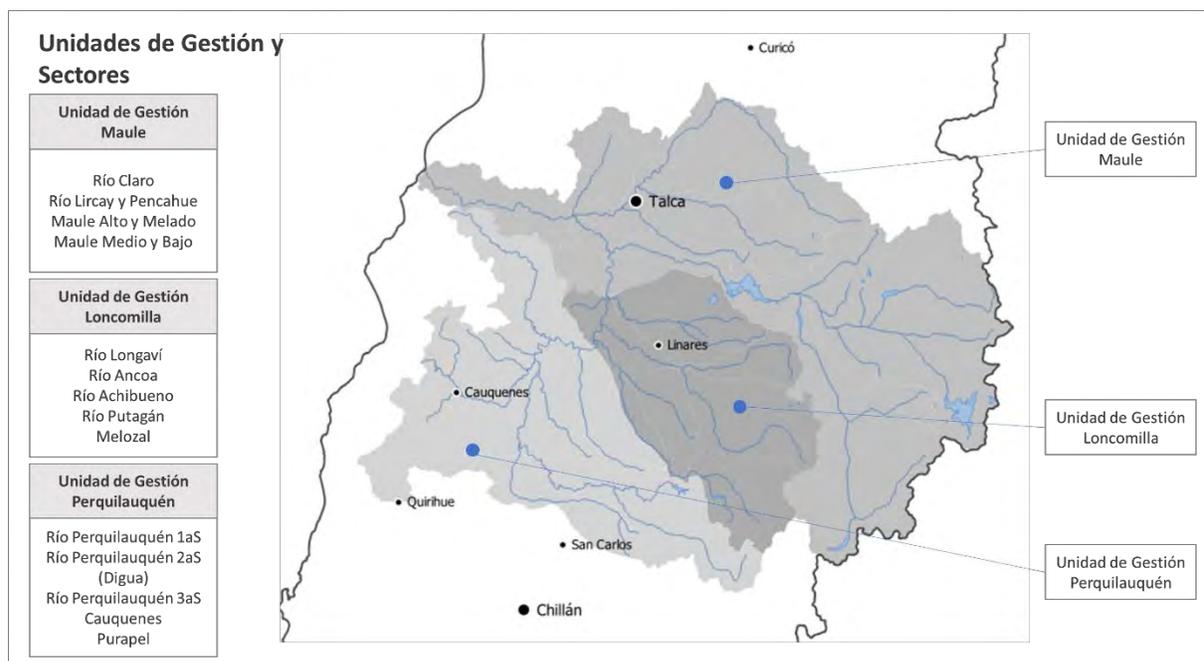
Fuente: elaboración propia.

7.1.2 Unidades de Gestión

El territorio de la cuenca del Río Maule es diverso en condiciones geomorfológicas, hidrológicas, de los usos del agua y del nivel de organización de los usuarios. Por esta razón, para la propuesta de un Plan de Gestión se definieron unidades de gestión que reúnen sectores con condiciones similares. Estas **Unidades de Gestión son: Maule, Loncomilla y Perquillauquén**, y la Figura 7-3 presenta su alcance territorial.

En complemento, y a partir de las reuniones de trabajo sostenidas con los usuarios, se dividió cada Unidad de Gestión en sectores, entendidos como sub unidades o territorios que

comparten una gestión común de los recursos hídricos, por lo que las soluciones propuestas deben ser comunes a este territorio, y distintas de las identificadas para otros sectores.



Fuente: elaboración propia.

Figura 7-3. Unidades de Gestión y Sectores

En el Anexo J6 se presenta la relación de las Unidades de Gestión y sectores con los nodos hidrológicos de la cuenca.

7.1.3 Temas Materiales

Para efectos de este análisis, se entiende por tema material²⁶ a cualquier brecha, acción, conflicto, activo o pasivo que sea de relevancia para los distintos actores que participan de la gestión de los recursos hídricos en la cuenca. En la identificación de los aspectos materiales se tuvo en consideración distintas fuentes, entre ellas la caracterización y diagnóstico de la cuenca; estudios y publicaciones complementarias revisadas; y la participación ciudadana realizada. A continuación se presentan los temas materiales generales identificados para las unidades de Gestión. El detalle por sector se presenta en el Anexo J6.

²⁶ Para el concepto de tema material se revisaron las definiciones de Global Report Initiative (<https://www.globalreporting.org/>)

Tabla 7-2. Temas Materiales por Unidad de Gestión

Eje		Maule	Loncomilla	Perquillauquén
BALANCE	1 Disponibilidad de Agua	<p>Se estimó una brecha hídrica de 331,8 hm³/año, y un efecto negativo por el adelanto de la temporada de deshielos.</p> <p>Se solicita embalse en parte alta de la cuenca.</p> <p>Se identificó potencial para uso de aguas subterráneas en acuífero Maule Medio Norte.</p>	<p>Se estimó una brecha hídrica de 176,1 hm³/año.</p> <p>Se identificaron embalses priorizados (Longaví y Ancoa Sitio Original), y se solicita embalse Achibueno.</p> <p>Se identificó potencial para uso de aguas subterráneas en acuífero Maule Medio Sur.</p>	<p>Se estimó una brecha hídrica de 7,2 hm³/año.</p> <p>El desarrollo agrícola es dispar en Perquillauquén, con cultivos altamente demandantes (arroz en Digua). Sectores con restricciones severas en Cauquenes. Purapel y 3aS de Perquillauquén.</p> <p>Está priorizado embalse Huedque (37,8 hm³), y se solicita embalse Lavadero (+100 hm³).</p>
	2 Eficiencia en el uso del agua	<p>La tecnificación en el riego es dispar, principalmente dada por tipo de cultivos y tamaño de los usuarios. Se debe mejorar infraestructura de captación y conducción.</p> <p>ENEL está mejorando la eficiencia de sus centrales (re powering)</p>	<p>La tecnificación en el riego es media a baja, principalmente dada por tipo de cultivos y tamaño de los usuarios. Se debe mejorar infraestructura de captación y conducción.</p> <p>Se requiere capacitación a regantes.</p>	<p>La tecnificación en el riego es dispar, principalmente dada por tipo de cultivos y tamaño de los usuarios. Se debe mejorar infraestructura de captación y conducción.</p>
	3 Sostenibilidad	<p>El cauce del río Maule es uno de los que presenta mayor intervención en invierno y verano, dado el uso hidroeléctrico y el riego. En consecuencia, presenta problemas de cumplimiento de Caudal Ecológico.</p> <p>Se observan efectos negativos sobre Laguna del Maule, y también en la desembocadura, por intrusión de agua de mar.</p>	<p>En general la Unidad no presenta grandes problemas de caudal ecológico ni de acuíferos.</p> <p>Sin embargo, el sector Melozal, presenta una Dependencia del acuífero local sobre de los aportes por ineficiencia de riego. Una reducción de las pérdidas de agua afectaría al acuífero local.</p>	<p>El nivel freático es somero en la parte alta, sin embargo se debe complementar caudal ecológico en la parte baja del río Perquillauquén.</p> <p>Bajas tasas de recarga de acuífero en Cauquenes y Purapel.</p>
GESTIÓN	4 Consumo humano	<p>Se identificó problemas de abastecimiento de agua en la provincia de Talca, que resulta en 800 familias abastecidas con camiones aljibe. Se identificó como brecha todo el aumento de demanda de agua para consumo humano.</p>	<p>La provincia de Linares abastece a un total de 2.804 familias mediante camiones aljibe.</p> <p>Se identificó como brecha todo el aumento de demanda de agua para consumo humano.</p>	<p>Se abastecen 3.600 familias por camiones aljibe (Cauquenes).</p> <p>Se identificó como brecha todo el aumento de demanda de agua para consumo humano.</p>

Eje		Maule	Loncomilla	Perquillauquén	
5	Conservación de ecosistemas	<p>En general se identifica un problema de Contaminación de las Aguas por aguas servidas (General).</p> <p>Ecosistemas relevantes en Altos de Lircay, y deterioro de ecosistemas en parte baja del Maule.</p>	<p>Los usuarios señalan problemas de Contaminación de las Aguas por aguas servidas / agricultura.</p> <p>Ecosistemas relevantes en Achibueno, y bosques de Digua y Bullileo.</p> <p>Problemas de calidad de aguas en estero Apestoso.</p>	<p>Se identificó como problema general las Altas tasas de reemplazo de bosque nativo por plantaciones forestales.</p> <p>Esta unidad fue altamente afectada por los incendios forestales de la temporada 2017.</p> <p>Ecosistemas relevantes en Achibueno, y bosques de Digua y Bullileo.</p>	
	6	Información sobre los recursos hídricos	<p>La DGA mandató el Control de Extracciones en el Acuífero Maule Norte, el que debe ser implementado.</p> <p>Baja densidad de estaciones fluviométricas en Río Claro – Lircay. Falta información meteorológica a nivel cordillerano.</p>	<p>La DGA mandató el Control de Extracciones en el Acuífero Maule Sur, el que debe ser implementado.</p>	<p>Se requiere mejoramiento de las telemetría y telecontrol en embalse Digua y Tutuvén.</p>
	7	Gobernanza del Agua	<p>Se identificó como necesidad el Fortalecimiento sector San Rafael, que se encuentra fuera de la JV de Río Claro.</p>	<p>Pendiente inscripción de Juntas de Vigilancia de Longaví 2ªS y Río Putagán. Revisar JV Achibueno.</p>	<p>Se debe revisar la constitución de una sola Junta de Vigilancia para todo el río Perquillauquén.</p>

Fuente: elaboración propia

7.1.4 Objetivos del Plan

Los objetivos se formularon a partir de los ejes estratégicos y de las prioridades identificadas en el territorio, obtenidas del proceso de caracterización y diagnóstico, así como los procesos de participación ciudadana.

La implementación de los objetivos se realiza a través de un conjunto de soluciones que se describen en el punto siguiente. La definición de las metas a 10 y 30 años para el Plan Estratégico se realizará para cada una de las Unidades de Gestión definidas en la cuenca.

Tabla 7-3. Objetivos e Indicadores del Plan Estratégico

Eje		Objetivo	Alcance	
BALANCE	1	Disponibilidad de Agua	1.1 Incorporar nuevas fuentes de agua superficial	Aumento en la disponibilidad / Uso de aguas superficiales, en relación a la disponibilidad actual
			1.2 Incorporar nuevas fuentes de agua subterránea	Aumento en la disponibilidad / Uso de aguas superficiales, en relación a la disponibilidad actual
	2	Eficiencia en el uso del agua	2.1 Aumentar la tecnificación del uso de las aguas en la agricultura	Mejoramiento de la infraestructura extrapredial de captación y conducción de agua; y tecnificación del riego intrapredial.
			2.2 Aumentar la eficiencia en el uso de las aguas mediante transferencia tecnológica	Capacitación a los usuarios para uso adecuado y eficiente de las aguas.
	3	Sostenibilidad	3.1 Reducir la brecha de cumplimiento de los caudales ecológicos de la cuenca	Aumentar voluntariamente el caudal pasante en épocas de estiaje, en todas las cuencas, y principalmente en aquellas con déficit de caudal ecológico.
			3.2 Contribuir a la sustentabilidad de los acuíferos	Disponer de recargas de acuíferos por un monto igual o superior al aumento en el uso de las aguas superficiales o subterráneas.
GESTIÓN	4	Consumo humano	4.1 Aumentar la seguridad de abastecimiento de agua para consumo humano	Implementar soluciones para la totalidad de los sistemas de APR con baja seguridad de abastecimiento de agua.
	5	Conservación de ecosistemas	5.1 Proteger y Restaurar la cuenca aportante y los ecosistemas acuáticos y terrestres	Identificar ecosistemas relevantes a ser protegidos y restaurados, en función del rol que tienen en el aprovisionamiento de servicios ecosistémicos.
			5.2 Disminuir la tasa de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas	Disminución del aporte de contaminantes puntuales y difusos en la cuenca.
	6	Información sobre los recursos hídricos	6.1 Aumentar el conocimiento e información sobre los recursos hídricos y el uso que se realiza de ellos	Aumento de la información en tiempo real y conocimiento del funcionamiento de la cuenca, con tal de permitir una gestión integrada de recursos hídricos
			6.2 Aumentar el control de extracciones de agua por parte de los actores privados.	Facilitar mediante financiamiento y capacitación el control de extracciones de aguas subterráneas de la cuenca.

Eje		Objetivo	Alcance
7	Gobernanza de Agua	7.1 Fortalecer a los organismos participantes de la Gobernanza	Formalizar a la totalidad de los organismos participantes de la gobernanza, específicamente organizaciones de usuarios de aguas, incluyendo APR
		7.2 Implementación de una gobernanza para el Plan Estratégico	Definición de roles y responsabilidades para la implementación del Plan Estratégico, así como el financiamiento requerido.

Fuente: elaboración propia

7.2 Criterios de Sostenibilidad

Se consideró necesario definir un conjunto de criterios de sostenibilidad del Plan, que permiten establecer condiciones para el diseño de las estrategias que permitan alcanzar el balance hídrico de la cuenca. Estos criterios de sostenibilidad no necesariamente se encuentran acotados al Eje Estratégico N°3, sino que también se relacionan con otros Ejes y objetivos. Los criterios propuestos se definen a continuación.

7.2.1 Prioridad de agua para consumo humano

Se propone que el consumo humano sea satisfecho en primer lugar pro sobre otros usos del agua, a partir de las acciones que sean priorizadas dentro del presente Plan Estratégico. Para esto, se proponen las siguientes consideraciones:

- Si el APR está ubicado en una zona hidrogeológicamente favorable, tendrá su captación en forma independiente, individual, y con las características necesarias para que entregue el caudal con holgura para la demanda actual y futura.
- Para los APR ubicados en condiciones más desfavorables, deben ser alimentados mediante las baterías de pozos implementadas dentro del plan, pudiendo incorporar varios servicios que se encuentren dentro de un mismo sector de distribución o trazado.
- Si las condiciones son muy desfavorables, o económicamente resulta más conveniente, pueden ser abastecidos desde la red de canales, con sus correspondientes plantas de tratamiento.

De esta forma, se incorpora la posibilidad de que los APR que cuentan con menor seguridad de abastecimiento funcionen en red con el resto de los usos del agua en el territorio.

7.2.2 Sustentabilidad de Acuíferos

Un criterio clave para el Plan Estratégico es mantener la sustentabilidad de acuíferos de la cuenca en el tiempo, independientemente de las acciones que se implementen. El análisis realizado indica que los acuíferos Maule Medio Norte y Maule Medio Sur son sustentables con las tasas de uso actual. Sin embargo, un aumento en el uso de aguas subterráneas resultaría en la vulneración de estos criterios.

Por lo tanto, se establece como restricción que el Plan Estratégico tenga un balance positivo respecto del aumento en la disponibilidad de aguas mediante extracción de aguas subterráneas. Este criterio resulta en que las extracciones de aguas subterráneas que se proponen deben ser contar con una recarga de acuíferos igual o mayor al nuevo volumen de aguas extraído.

De esta forma, el Eje Estratégico N°3, **Sostenibilidad**, considera que el **Plan debe contrarrestar su huella hídrica**.

7.2.3 Caudal ecológico

Se propone un aumento voluntario de los caudales de estiaje, que tienda a resolver la brecha identificada, y que a lo menos debe ser de 100 l/s en la totalidad de los sectores. Se establece una excepción en el sector Maule Alto-Melado, dado que la brecha identificada (superior a 90 m³/s) no es factible, por lo que se propondrá una meta significativa, aunque menor.

El caudal ecológico aportado, debe realizarse en forma voluntaria por la totalidad de los usuarios de cada sector, a cuenta del aumento de disponibilidad resultante de gestión de aguas superficiales y subterráneas, así como de la menor demanda resultante por la eficiencia en el uso del agua.

7.3 Planificación del Balance Hídrico

Este capítulo reúne los ejes estratégicos de Balance con sus objetivos respectivos (Disponibilidad de Agua, Eficiencia en el Uso, y Sostenibilidad), que en su conjunto componen una aproximación al balance hídrico de la cuenca desde el punto de vista de la planificación. El criterio principal empleado para esta agregación es que los indicadores utilizados son de impacto, es decir, miden en unidades de volumen de agua (Hm³/año) el aporte de cada medida al Plan Estratégico.

7.3.1 Definición de Metas

A partir de la revisión de los temas materiales, se definieron las metas para cada uno de los objetivos de balance hídrico y para cada Unidad de Gestión. Para el cumplimiento de estas metas se consideraron las estrategias de gestión ya evaluadas con los modelos computacionales (numeral 5.5 del Informe Ejecutivo), a lo que se suma una estrategia compuesta a partir de las menciones de los usuarios de cada sector.

Metas para los Eje Estratégicos 1 y 2. Disponibilidad de Aguas Superficiales y Subterráneas; y Eficiencia en el uso del agua

Las metas se definieron tomando el valor máximo entre las brechas evaluadas en el Capítulo 5. Balance de Agua, y las expectativas de los usuarios en cada uno de los sectores. Estas expectativas están generalmente relacionadas con la regulación de aguas superficiales mediante embalses. De esta forma, se busca que el balance de recursos hídricos satisfaga las expectativas de los usuarios, o las supere, en el caso que se identifique que es posible aumentar la disponibilidad del recurso. La meta se cumplirá en forma conjunta con el aumento de disponibilidad de aguas superficiales y subterráneas, en conjunto con la disminución de la demanda mediante eficiencia en el uso (que libera agua).

Metas para el Eje Estratégico 3. Sostenibilidad

La meta de sostenibilidad es inseparable de las metas establecidas en los Ejes Estratégicos 1 y 2. Dentro de los postulados de este Plan, no se concibe un aumento en la disponibilidad de agua para usos humanos y productivos, sin una recarga equivalente en los acuíferos más un aporte a la recuperación de los caudales ecológicos.

De esta forma, la meta de sostenibilidad y en particular la de recarga de acuíferos está sujeta a la estrategia que se defina, ya que por ejemplo, **un aumento en la disponibilidad a partir del uso de nuevos derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas para uso humano y productivo, requerirá forzosamente una recarga de agua igual o superior en los acuíferos afectados.**

7.3.1.1 Unidad de Gestión Maule

Para la Unidad de Gestión Maule se definieron metas por eje estratégico y cada uno de los sectores identificados. Para efectos del Plan Estratégico, se gestionó un volumen de 602 Hm³/año, a ser conseguido en aumento de la disponibilidad y aumento de la eficiencia de riego. Este monto permite, por un lado, sobrellevar períodos de escasez como el experimentado en 2019, y aumentar la seguridad / superficie de riego en períodos de mayor disponibilidad. La distribución de la meta por sectores se realizó en forma dirigida, considerando los resultados del modelo y las necesidades indicadas por los usuarios en las distintas reuniones de trabajo sostenidas.

Tabla 7-4. Definición de Metas para la Unidad de Gestión Maule

Objetivo resumido	Río Claro	Río Lircay-Pencahue	Maule Alto	Maule Medio Bajo	Total
Meta Disponibilidad + Eficiencia (Hm ³)	80	20	2	500	602
Sostenibilidad Caudal Ecológico (l/s)	100	100	100	14.010	14.310
Sustentabilidad Acuíferos. Balance recarga y extracción asociada (Hm ³ /año)	0	0	0	0	0

Fuente: elaboración propia.

7.3.1.2 Unidad de Gestión Loncomilla

La definición de las metas de caudal ecológico consideró la brecha evaluada por sector, estimada en relación a la condición natural de la cuenca (sin los proyectos de regulación que operan actualmente). Si esta brecha estimada era nula, se propuso un aporte mínimo de 100 l/s en la temporada de estiaje (coincidente con la temporada de riego). Para el caso de Maule Alto y Melado, la brecha es varios órdenes de magnitud al conjunto de brechas evaluadas para la cuenca en su totalidad, llegando a 94.300 l/s al año 2050. Por esta razón, no es posible satisfacerla en su totalidad. Sin embargo, se propone un aporte de 14.010 l/s en época de estiaje, lo cual representa un aporte significativo al estado de los ecosistemas acuáticos de la unidad de gestión. Adicionalmente, el aporte se materializa en el sector Maule Medio Bajo, toda vez que no hay usos consuntivos en Maule Alto – Melado.

Se definió una meta de 700 Hm³/año, a ser conseguido en aumento de la disponibilidad y aumento de la eficiencia de riego. Este monto permite, por un lado, sobrellevar períodos de escasez como el experimentado en 2019, y aumentar la seguridad / superficie de riego en períodos de mayor disponibilidad. Dependiendo de la estrategia, se pedirá compensar tanto caudales ecológicos como recarga de acuíferos, por lo que el monto podría incrementarse para satisfacer estas otras demandas.

La distribución de la meta por sectores se realizó en forma dirigida, considerando los resultados del modelo y las necesidades indicadas por los usuarios en las distintas reuniones de trabajo sostenidas. En particular, las metas definidas en cada caso apuntan a equiparar los embalses solicitados por los usuarios en Longaví (279 Hm³), Ancoa Sitio Original (102 Hm³), y Achibueno (187 Hm³).

El caudal ecológico se determinó en función de las brechas determinadas al año 2050. Se mantuvo un aporte mínimo de 100 l/s por sector.

Tabla 7-5. Definición de Metas para la Unidad de Gestión Loncomilla

Objetivo resumido	Longaví	Achibueno	Ancoa	Putagán	Melozal	Total
Meta Disponibilidad + Eficiencia (Hm ³)	300	200	102	75	75	752
Sostenibilidad Caudal Ecológico (l/s)	510	100	330	100	460	1.500
Sustentabilidad Acuíferos. Balance recarga y extracción asociada (Hm ³ /año)	0	0	0	0	0	0

Fuente: elaboración propia.

7.3.1.3 Unidad de Gestión Perquilauquén

Se definió una meta de 260 Hm³/año, a ser conseguido en aumento de la disponibilidad y aumento de la eficiencia de riego. Este monto permite, por un lado, sobrellevar períodos de escasez como el experimentado en 2019, y aumentar la seguridad / superficie de riego en períodos de mayor disponibilidad. Dependiendo de la estrategia, se pedirá compensar tanto caudales ecológicos como recarga de acuíferos, por lo que el monto podría incrementarse para satisfacer estas otras demandas.

La distribución de la meta por sectores se realizó en forma dirigida, considerando como hito principal la construcción del embalse Lavadero (sin estudio de prefactibilidad, pero se estima superior a 100 Hm³) para el eje Perquilauquén, y el embalse Huedque (37,8 Hm³), en Cauquenes. La Tabla 7-6 presenta las metas por sector.

Tabla 7-6. Definición de Metas para la Unidad de Gestión Perquilauquén

Objetivo resumido	Perq 1ª secc	Perq 2ª secc (Digua)	Perq 3ª secc	Cauq - Tutuvén	Purapel	Total
Meta Disponibilidad + Eficiencia (Hm ³)	60	100	40	50	10	260
Sostenibilidad Caudal Ecológico (l/s)	100	100	100	100	100	500
Sustentabilidad Acuíferos. Balance recarga y extracción asociada (Hm ³ /año)	0	0	0	0	0	0

Fuente: elaboración propia.

7.3.2 Definición de Estrategias

Se evaluaron cuatro estrategias para la obtención de las metas propuestas en los Ejes 1, 2 y 3. Tres de estas estrategias se basan en los escenarios de gestión ya analizados en el capítulo 5, numeral 5.5, y la última es una estrategia compuesta a partir del trabajo con los usuarios. Todas las estrategias propuestas cumplen con los criterios de sostenibilidad del Plan, definidos en el numeral 7.2: satisfacción de la demanda de agua para consumo humano, sustentabilidad de los acuíferos y aumento del caudal ecológico.

7.3.2.1 Estrategia de Gestión de Aguas Subterráneas

Se definió una estrategia que permite el cumplimiento de la meta de Balance exclusivamente a partir de la gestión de aguas subterráneas, sujeto a los criterios de sostenibilidad del Plan. Esta estrategia se sustenta en el uso de aguas subterráneas de los acuíferos Maule Medio Norte y Maule Medio Sur, mediante una gestión activa del acuífero que considere la recarga natural y artificial de agua. El propósito es almacenar el agua en períodos de excedencia (temporada invernal), y extraerla posteriormente en las épocas de mayor demanda, en forma adicional a los derechos de aprovechamiento que actualmente se encuentran constituidos. De esta forma se utilizarían ambos acuíferos como embalses subterráneos, lo que es posible dado el gran volumen contenido en ambos, identificado en el proceso de caracterización de la cuenca.

7.3.2.2 Estrategia de Gestión de aguas superficiales

Se propone como estrategia la construcción de nuevos embalses de regulación de aguas superficiales, tanto aquellos que se encuentran considerados dentro del Plan Nacional de Embalses, como aquellos solicitados por los usuarios en las actividades de participación ciudadana. La estrategia se sustenta en el análisis mediante modelos hidrológicos que indica que todos los embalses evaluados son factibles desde el punto de vista hidrológico, y en general con buen desempeño. En la evaluación se consideró que los embalses se construirían recién en el año 15, dentro de un período de evaluación de 30 años, como una forma de reflejar esta complejidad.

7.3.2.3 Estrategia de Gestión del Uso del agua

El propósito de esta estrategia es resolver la brecha hídrica mediante la reducción de la demanda de agua. Si bien la demanda es multisectorial, el análisis se centró en las mejoras que se pueden introducir en el uso agrícola, que representa más del 90% de la demanda consuntiva total. Para esto, se evaluó un aumento de la eficiencia de riego al 75%, en todos los sectores de la cuenca, así como el revestimiento de canales, la capacitación de los usuarios, entre otras Soluciones basadas en la Gestión (SbG). Complementariamente, esta estrategia se somete también a los Criterios de Sostenibilidad del Plan²⁷.

7.3.2.4 Estrategia de Gestión Compuesta

Corresponde a una estrategia mixta o compuesta, que recoge acciones propuestas en las estrategias anteriores, más la opinión de los usuarios de cada uno de los sectores evaluados. A diferencia de las estrategias anteriores, que son propuestas de máximos para cada acción propuesta, en esta se busca equilibrar el uso de cada solución y aplicar criterios de realismo en términos de los plazos potenciales de implementación de cada una de estas acciones. En particular, la **Estrategia de Gestión compuesta** consideró los siguientes criterios:

- a. A lo menos la mitad de la meta se completará con aumento de disponibilidad de agua, mediante gestión de aguas superficiales (25%) y subterráneas (25%).
- b. La otra mitad (50%) se completará con aumento de eficiencia en el uso de agua (menor demanda)

7.3.3 Definición de Soluciones y evaluación de las Estrategias de Gestión

7.3.3.1 Soluciones

Con el propósito de implementar el Plan Estratégico, se realizó un análisis de las soluciones basadas en la infraestructura, gestión y naturaleza que potencialmente se pueden implementar en función de los ejes definidos. La Tabla 7-7 presenta la relación entre los

²⁷ Dentro de los supuestos de definición de las estrategias se establece una demanda de agua (y su equivalente en superficie agrícola), constante dentro del horizonte de evaluación. De esta forma, es posible analizar por separado el impacto de cada uno de los factores gestionados. Sin embargo, existe la posibilidad cierta de que este aumento aparente en la disponibilidad (es aparente, en tanto no cuenta con una mayor seguridad de riego), resulte en el aumento de la demanda por adición de nuevas superficies bajo riego.

La planificación del desarrollo agrícola, o de otros sectores productivos excede al ámbito de gestión de los recursos hídricos. Por esta razón, se debe contar con una gobernanza del Plan que oriente, y regule, el uso del agua por parte de los distintos actores, con el propósito de optimizar el beneficio que este recurso proporciona a las personas y ecosistemas en su conjunto.

ejes estratégicos y las soluciones. La definición conceptual se presentó en el numeral 6-142 de este documento.

A partir de esta definición de soluciones potenciales, se seleccionó aquellas que pueden ser implementadas en la cuenca, y se procedió a su definición técnica y económica. En particular, para la evaluación de las distintas estrategias, se requiere estandarizar cada una de las acciones propuestas, determinando su aporte en volumen de agua (en millones de m³, o Hm³), y costo de inversión (\$/m³) y de operación (\$/m³/año).

Para esto, se evaluó en términos generales a las acciones identificadas, estableciendo su costo promedio y el aporte en volumen de agua para el cierre de la brecha hídrica identificada. El resumen de cada acción evaluada se presenta en la Tabla 7-8, y el detalle de cada evaluación se presenta en la Memoria de la Calculadora Hídrica, en el Anexo J1 de este informe.

Por ejemplo, en el caso de los embalses para la regulación de aguas superficiales, se estimó que el costo de inversión es, en promedio, de 1.525 millones de pesos por cada Hm³ de agua embalsada. Este valor se obtuvo al promediar todos los embalses contenidos en el Plan Nacional de Embalses. El costo de operación se estimó a partir de un porcentaje del costo total de inversión (0,5%).

Se debe mencionar que no todas las acciones resultan en costos de inversión o de operación, como es el caso de la obtención de acuerdos, o el establecimiento de caudal ecológico.

Tabla 7-7. Relación entre Ejes Estratégicos y Soluciones

Eje	Soluciones basadas en la Infraestructura (SbI)	Soluciones basadas en la Gestión (SbG)	Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN)
1. Disponibilidad de Agua	Embalses superficiales Trasvases Elevación Pozos	Acuerdos de distribución de agua Captación de Aguas Lluvia	Recarga natural de acuíferos
2. Eficiencia en el uso del agua	Reutilización de Agua	Automatización de compuertas y telemetría Tecnificación del riego Embalses de Regulación corta Capacitación de usuarios Reutilización de Agua	
3. Sostenibilidad	Recarga gestionada de acuíferos	Acuerdos sobre caudal ecológico Recarga gestionada de acuíferos	Recarga natural de acuíferos
4. Consumo humano	Potabilización		
5. Conservación de ecosistemas	Tratamiento de aguas de aguas domiciliarias e industriales	Buenas prácticas agrícolas Acuerdos de Producción Limpia Protección de Sitios Prioritarios	Protección estratégica de terrenos Revegetación Restauración de riberas Restauración y recuperación de humedales Construcción de humedales artificiales Prácticas adecuadas de gestión forestal
6. Información y control sobre recursos hídricos	Telemetría y red hidrométrica Control de Extracciones	Estudio de recursos hídricos	Estudio de bioindicadores a nivel de cuenca
7. Gobernanza de Agua en la Cuenca del Maule		Mejora del estado de derechos de aprovechamiento de agua Formalización y fortalecimiento de organizaciones de usuarios de aguas Constitución de Comunidades de Aguas Subterráneas Establecimiento de una gobernanza del agua	

Fuente: elaboración propia.

Tabla 7-8. Tabla de Unidades y Costos de las Soluciones

Acciones	Unidad	Costo Unitario	Aporte Aguas Superficiales	Aporte Aguas Subterráneas	Costo de Inversión (CAPEX)	Costo de Operación (OPEX)
Disponibilidad de Agua		Millones de \$	Hm3/Unidad	Hm3/Unidad	\$/m3	\$/m3/año
Embalses	Hm ³	1.525,58	1,000	-	1.525,582	6,320
Trasvases	m ³ /s trasvasados	27.111,02	40,824	-	664,095	6,320
Pozos Profundos	Pozo 100 l/s	88,36	-	0,972	90,906	50,000
Elevación	m ³ /s	31.734,64	12,960	-	188,940	50,000
Potabilización	Hm ³ potabilizado	4.375,93	1,000	-	4.375,927	250,000
Depuración / Reutilización	Hm ³ tratado	9.905,11	1,000	-	9.905,113	300,000
Desalinización	Hm ³ tratado	10.006,20	1,000	-	10.006,201	500,000
Acuerdos	Hm ³	-	1,000	-	3,000	-
Eficiencia	Unidad	Millones de \$	Hm3/Unidad	Hm3/Unidad	\$/m3	\$/m3/año
Automatización de compuertas	Hectárea beneficiada	0,02	0,001	-	40,511	-
Tecnificación	ha tecnificada	3,02	0,010	-	316,263	0,200
Embalses de regulación corta	Embalses RC 50.000 m ³	14,18	0,005	-	2.836,552	0,632
Revestimiento de canales	km revestido canal 1 m ³ /s	13,00	0,117	-	111,454	6,320
Capacitación en riego	Usuario capacitado	1,10	0,004	-	268,076	-
Sostenibilidad	Unidad	Millones de \$	Hm3/Unidad	Hm3/Unidad	\$/m3	\$/m3/año
Zanjas de Infiltración	Km de zanja	1,27	-	0,003	497,902	49,790
Recarga de Acuíferos Gestionada	Punto de recarga	2.500,00	-	-5,00	500,000	116,20
Recarga invernal desde canales de riego	Km canal 1 m ³ /s	5,42	-	-0,08	69,730	0,10
Caudal ecológico	l/s de reserva	-	-0,01	-	-	-

Fuente: Elaboración propia.

7.3.3.2 Calculadora hídrica

Con el propósito de disponer de una herramienta que permita evaluar en forma rápida y comparada distintos tipos de soluciones para los **Ejes de Disponibilidad de agua, Eficiencia en el uso del agua y Conservación de Cuenca**, se construyó una calculadora hídrica. Esta calculadora permite realizar las siguientes operaciones:

- Incorporar acciones para aumentar la disponibilidad de agua, cuantificadas en volumen de agua aportado.
- Incorporar acciones para aumentar la eficiencia en el uso del agua, cuantificadas en volumen de agua ahorrado.
- Incluir la recarga de acuíferos y reservas para caudal ecológico, cuantificadas en volumen de agua por año.
- Planificar las acciones en el tiempo, indicando el año en que se comienza a implementar una medida, y el periodo de tiempo que se requiere para su implementación completa.
- Estimar los costos de inversión y de operación de cada una de las estrategias, dentro de un horizonte de evaluación de 30 años.

Adicionalmente, la calculadora permite determinar el **precio del agua**, entendido como el precio mínimo al cual se debería vender el agua aportada por la estrategia, de manera tal que el Valor Actualizado Neto (Van), a 30 años, sea igual a cero²⁸. El precio del agua permite evaluar en forma rápida la conveniencia de distintas estrategias, e informa de la variación espacial de este dato, convertido en indicador.

7.3.4 Evaluación de Estrategia Compuesta

Se consideró cuatro estrategias para el balance de recursos hídricos: la gestión de aguas superficiales, la gestión de aguas subterráneas, la gestión de la demanda del agua, y una estrategia compuesta. A continuación se presenta el resumen de la estrategia compuesta, que es la recomendada por el análisis. El detalle de las estrategias evaluadas y las iniciativas que las componen se presenta en el Anexo J6.

En la Tabla 7-9 se presentan de manera conjunta las estrategias compuestas para las tres unidades de gestión, y se revisan los datos agregados.

²⁸ Para efectos de cálculo se consideró una tasa de descuento de un 10%. Sin embargo, este valor puede ser modificado para ampliar las posibilidades de análisis económico de cada estrategia.

Tabla 7-9. Resumen Económico de Estrategias de Balance Hídrico

Ítem	Maule	Loncomilla	Perquillauquén	Total
Meta (Hm³)	602,0	752,0	260,0	1.614
Disponibilidad	327,6	455,9	155,6	939
Eficiencia	459,9	315,5	100,9	876
Sostenibilidad (caudal ecológico)	-185,5	-19,4	-6,5	-211
Sostenibilidad de acuíferos	0	0	0	0
Uso aguas subterráneas	187,6	302,9	4,9	495
Recarga de aguas para mantener sustentabilidad de acuíferos	-187,6	-302,9	-4,9	-495
Costo de inversión (Millones de \$)	120.463	342.121	237.793	700.377
Precio del agua (\$/m³)	33	80	83	73

Fuente: elaboración propia

El costo conjunto de la estrategia de balance hídrico es de \$700.377 millones de pesos, aproximadamente USD 875 millones²⁹, y provee una oferta de agua de 1.614 Hm³ al año. En comparación, la totalidad de los embalses propuestos aportan 956 Hm³, a un costo estimado de \$1.458.474 millones de pesos (USD 1.823 millones).

Tabla 7-10. Resumen de Estrategia Compuesta para el Balance Hídrico

Objetivos	Estrategia			
	Maule	Loncomilla	Perquillauquén	Total
1.1 Nuevas fuentes de agua superficial	0,8 m ³ /s elevación Péncahue 130 Hm ³ embalsados por acuerdo Colbún	153 Hm ³ de nuevos embalses	138 Hm ³ de nuevos embalses 1 m ³ /s elevación en Perquillauquén 3aS	1,8 m ³ /s de elevación 291 Hm ³ de embalses 130 Hm ³ de acuerdos
1.2 Nuevas fuentes de agua subterránea	193 pozos profundos	312 pozos profundos	--	505 pozos profundos

²⁹ Con un valor de Dólar de CLP\$ 800/USD

Objetivos	Estrategia			
	Maule	Loncomilla	Perquillauquén	Total
2.1 Tecnificación del uso de las aguas en la agricultura	28.020 ha con compuertas automatizadas	21.500 ha con compuertas automatizadas	9.000 ha con compuertas automatizadas	58.520 ha con compuertas automatizadas
	24.831 ha con riego tecnificado	22.371 ha con riego tecnificado	5.273 ha con riego tecnificado	52.475 ha con riego tecnificado
	94 embalses de regulación corta	150 embalses de regulación corta	110 embalses de regulación corta	354 embalses de regulación corta
	1.729 km de revestimiento de canales	800 km de revestimiento de canales	430 km de revestimiento de canales	2.959 km de revestimiento de canales
2.2 Transferencia tecnológica	1.650 usuarios capacitados en riego	1.600 usuarios capacitados en riego	1.300 usuarios capacitados en riego	4.550 usuarios capacitados en riego
3.1 Aportes a Caudal ecológico	14.310 l/s Caudal Ecológico	1.500 l/s Caudal Ecológico	500 l/s Caudal Ecológico	16.310 l/s de caudal ecológico
3.2 Recarga de Agua para mantener Sustentabilidad de acuíferos	3.728 km de canales para recarga invernal	17 puntos de recarga 2.792 km de canales para recarga invernal	1 punto de recarga	17 puntos de recarga 6.520 km de canales para recarga invernal

Fuente: elaboración propia

En términos equivalentes, **1 Hm³ aportado cuesta 1.526 pesos si se realiza mediante embalses, y 434 pesos si se aporta de manera compuesta**, mediante distintas soluciones.

El volumen embalsado propuesto en esta estrategia es de 291 Hm³, en Loncomilla y Perquillauquén. En complemento, se potencia la estrategia de **Gestión de Aguas Subterráneas** (495 Hm³/año), mediante la recarga, almacenamiento y uso de agua en los acuíferos Maule Medio Norte y Maule Medio Sur. Se considera la recarga de los acuíferos como una actividad previa al uso de la misma, gestionándolos como un embalse subterráneo. De esta forma se espera mantener la sustentabilidad de los acuíferos en el largo plazo. Para implementar esta recarga, se dio prioridad al uso de la red de canales de riego, por ser la alternativa de menor costo.

Finalmente, la estrategia considera el aumento de **eficiencia en el uso del agua** en 876 Hm³/año, mediante automatización, tecnificación de riego, revestimiento de canales y capacitación a usuarios.

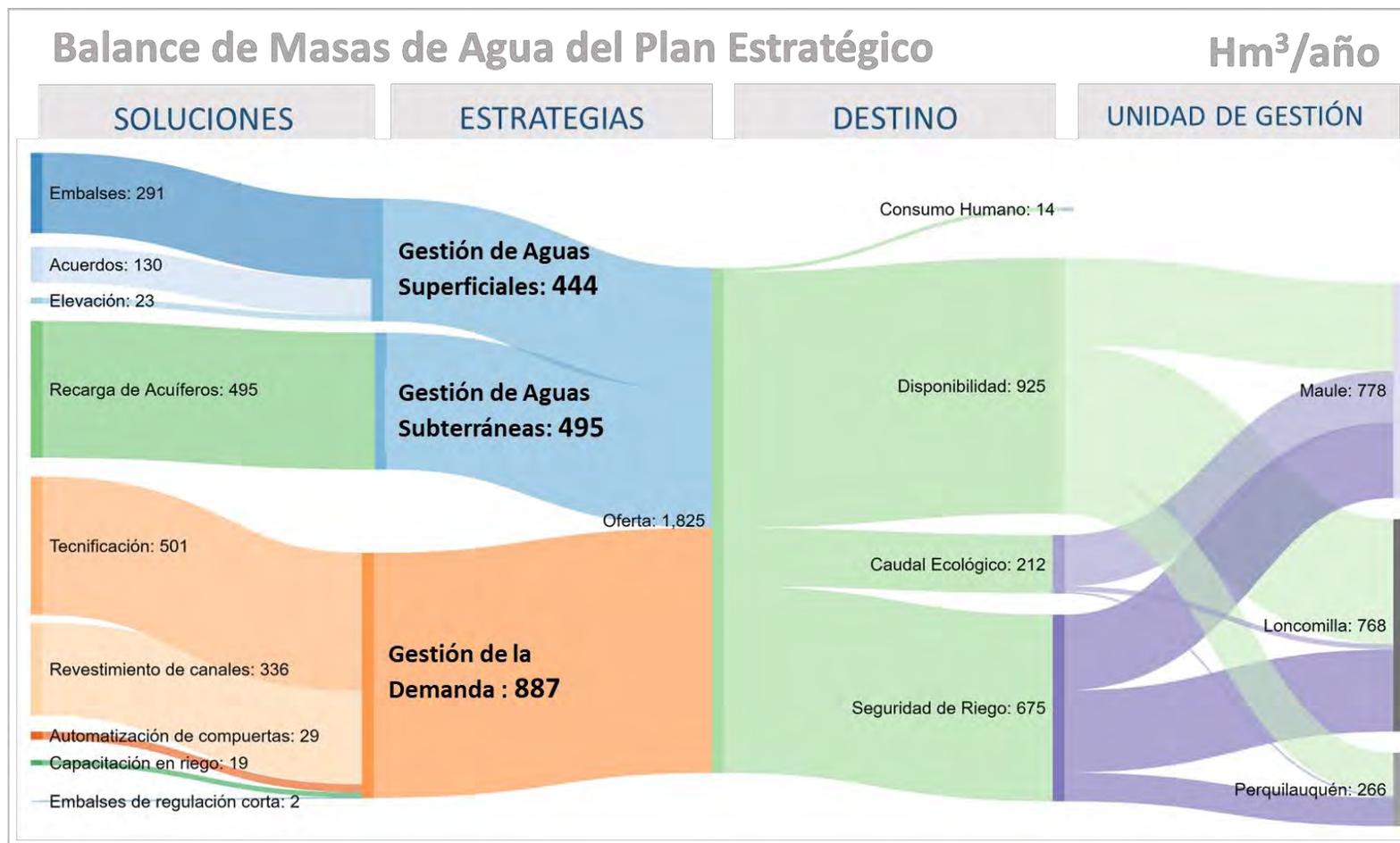
7.3.5 Balance de recursos hídricos de la estrategia compuesta

La Figura 7-4 presenta a través de un Diagrama de Sankey³⁰ el balance de masas de agua aportado por la Estrategia Compuesta. Las estaciones del diagrama son las siguientes:

- ACCIONES: Representa el volumen de agua que resulta de cada una de las acciones propuestas en el Plan Estratégico (Hm³).
- APORTES: Representa la suma de los volúmenes aportados por cada ACCIÓN, clasificado en aguas subterráneas, aguas superficiales, y en eficiencia en el uso.
- DESTINO: Representa el impacto del volumen de agua aportado por el Plan, el cual potencialmente se dividió en aumento de disponibilidad, de seguridad de riego y de caudal ecológico. Esta distribución es potencial y puede materializarse de otra forma. Adicionalmente, el aporte a la recarga de acuíferos ya se consideró en las ACCIONES.
- UNIDAD DE GESTIÓN: Representa el total de agua aportada al balance hídrico de cada unidad de gestión.

Adicionalmente se incorporó dentro de la figura la brecha de agua para consumo humano al año 2050, que es de 14,25 hm³. Si bien esta brecha no se incluyó dentro del balance, se incorpora en la figura para reforzar la asimetría entre este volumen y el total gestionado por el Plan. La figura se presenta a continuación.

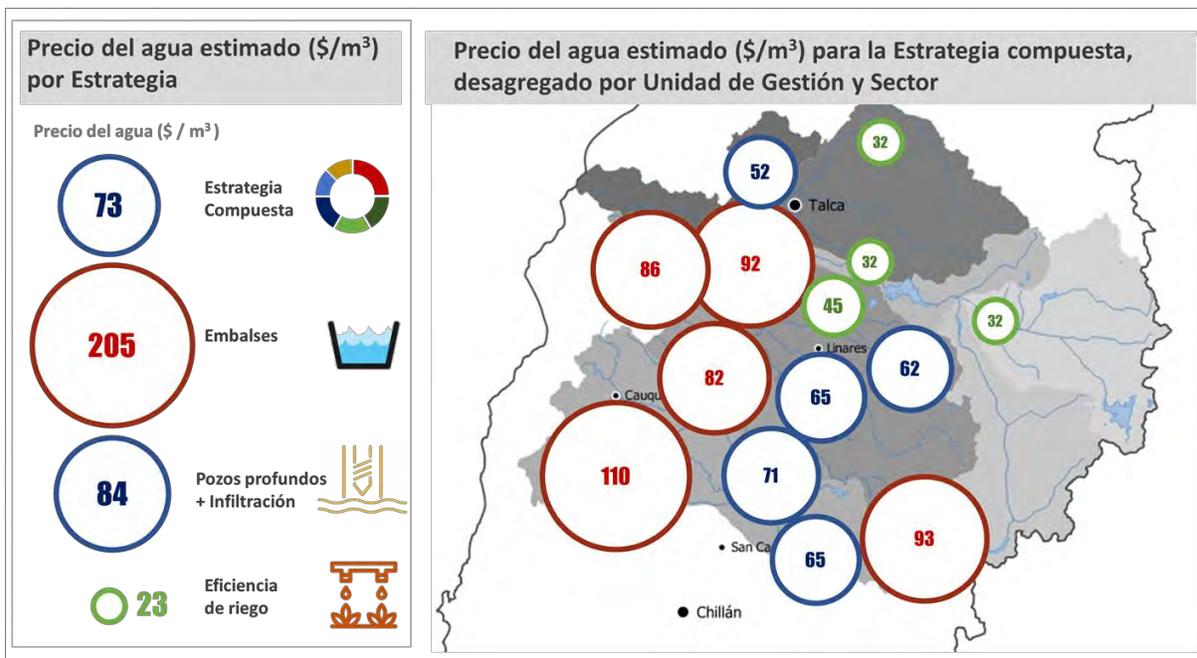
³⁰ El diagrama de Sankey es un tipo específico de diagrama de flujo, en el que la anchura de las flechas se muestra proporcional a la cantidad de flujo.



Fuente: elaboración propia

Figura 7-4. Balance de masas de agua de la Estrategia Compuesta de Balance Hídrico

Como resultado de la Estrategia de Gestión Compuesta, se tiene un precio del agua, que es al valor que se debiera pagar por cada m³ aportado de agua, de manera que la evaluación de proyecto a 30 años (costos de inversión y de operación), con una tasa de descuento del 10%, tenga Valor Actualizado Neto igual a "0". La Figura 7-5 presenta la distribución espacial del precio del agua. El promedio de la cuenca es de 73 pesos por m³.



Fuente: elaboración propia

Figura 7-5. Precio del agua estimado por Unidad de Gestión y Sector

El precio del agua es mayor donde el peso de los embalses en el balance es significativo, y menor en donde priman la gestión de aguas subterráneas y acuerdos entre privados. El resultado no responde solo a los costos de inversión, sino que al plazo en que se tardan en materializar los aportes de cada estrategia. En el caso de los embalses, estos sobrepasan los 15 a 20 años.

7.3.6 Comentarios sobre la estrategia propuesta

El análisis que se presentó corresponde a una evaluación estratégica, cuyo propósito es orientar la toma de decisiones. La programación final de actividades se debe realizar a partir de los estudios de ingeniería (prefactibilidad), que determinen las aptitudes de cada solución en cada territorio. Sin embargo, existen algunos puntos clave en el análisis realizado que requieren ser presentados con mayor detalle.

7.3.6.1 Aumento de la disponibilidad de agua y sustentabilidad de acuíferos

Existen distintas alternativas para el aumento de la disponibilidad de aguas, pero las dos alternativas principales identificadas en la cuenca corresponden a la gestión de embalses superficiales y subterráneos.

En el caso de los embalses superficiales, el escenario de gestión de regulación demostró que todos los embalses propuestos podrían operar en forma adecuada, en caso de ser construidos. En total representan un aporte de 1.056 Hm³, con un costo estimado de 1.611.000 millones de pesos, unos USD 2.000 millones³¹. Sin embargo, la inversión en grandes obras es compleja, y la materialización de cada proyecto no está exenta de complicaciones. Si la tasa de construcción fuera de un embalse al año, los 26 embalses contenidos en el Plan Nacional de Embalses tardarían 26 años. Para la cuenca del Maule, eso resulta en un embalse cada 13 años. Con este promedio, la construcción de la totalidad de los proyectos evaluados en el escenario de regulación tardaría 78 años.

Dado que estos plazos se escapan al horizonte de planificación del presente Plan Estratégico, se evaluó la incorporación de embalses subterráneos como nueva fuente de disponibilidad de aguas, dentro de la estrategia de Gestión de Aguas Subterráneas. En este caso, la propuesta se basa en la gestión del potencial de almacenamiento identificado para el acuífero central del Maule (SHAC Maule Medio Norte y Maule Medio Sur), mediante ciclos de recarga de agua, almacenamiento, y extracción en tiempos de mayor demanda.

El aporte que pueden realizar las aguas subterráneas supera a la brecha identificada, sin embargo, su uso intensivo resultaría en una pérdida de sustentabilidad de los acuíferos producto de una reducción promedio de 5m para el año 2050. Por esta razón, el uso de aguas subterráneas y particularmente el concepto de embalses subterráneos implica una gestión integrada del recurso, y específicamente, la Recarga de Acuíferos Gestionada (RAG), mediante distintas alternativas. Para esto, la recarga debe ser igual o mayor a la extracción proyectada.

Al respecto, la Circular DGA N°4 del año 2016, presenta una actualización de criterios que aplican a la tramitación del Permiso Ambiental Sectorial para ejecutar obras de recarga de acuíferos en el marco del Sistema de evaluación de impacto Ambiental. En esta circular se resume la asignación de derechos de aprovechamiento de aguas de tipo provisional con cargo a obras de recarga artificial de acuíferos en operación, entendidas como todas aquellas cuyo fin sea aumentar intencionalmente la disponibilidad de los recursos hídricos subterráneos. Las aguas factibles de ser infiltradas son aguas superficiales corrientes o detenidas, aguas subterráneas previamente extraídas del acuífero, y aguas tratadas, ya sea agua potable, agua desalinizada o provenientes de los procesos de tratamiento de aguas servidas. No es factible infiltrar aguas provenientes de efluentes industriales.

³¹ Con un valor del dólar de CLP\$ 800.-

Se excluye explícitamente las obras de infiltración de aguas lluvia, así como las recargas producidas por las pérdidas de conducción (incluyendo a las obras de riego). En este caso en particular, se trata de recargas provenientes desde canales de riego bajo un régimen de operación excepcional en fuera de la temporada de riego, y de obras construidas para el propósito exclusivo de recarga de acuíferos, por lo que se entiende que no aplica la exclusión antes definida y las recargas son factibles dentro del marco normativo actual.

Respecto de la organización práctica de la recarga a gran escala mediante canales de riego, esta debiera ser coordinada en conjunto por las comunidades de aguas, asociaciones de Canalistas y Juntas de Vigilancia, así como con empresas hidroeléctricas.

Adicionalmente, se debe considerar el impacto potencial que el uso de los canales pudiera tener en los planes locales de evacuación de aguas lluvias, así como las obras de mantención invernal que se realizan en esta infraestructura. Esta coordinación requiere, por lo tanto, una planificación detallada tanto a nivel de ingeniería, como logística y de seguridad. Además de la coordinación, se debe realizar un análisis detallado de la infraestructura de riego, determinando qué zonas deben permanecer sin revestimiento, para permitir la recarga invernal, y qué zonas deben ser revestidas, para evitar infiltraciones en las épocas de mayor demanda. Se requiere ingeniería, y probablemente innovación, para modernizar el uso de esta infraestructura, que como se mencionó, es una de las de mayor extensión y relevancia a nivel de la cuenca.

En complemento, y dada la necesidad de acreditar los volúmenes de agua efectivamente recargados para respaldar la constitución de los derechos de aprovechamiento provisionales a ser solicitados, se debe establecer un consenso sobre los mecanismos de medición y los indicadores de impacto de esta medida, tanto en el volumen de aguas acumulado, como en los potenciales efectos negativos sobre terceros.

7.3.6.2 Seguridad de abastecimiento de agua para el consumo humano

El aumento en la seguridad de abastecimiento de agua para el consumo humano no fue considerado dentro de Balance Hídrico desarrollado por el Plan, debido a la gran asimetría que existe entre los volúmenes gestionados y las brechas actuales y futuras.

Sin embargo, y tal y como se establece dentro de los criterios de sostenibilidad del Plan, se debe incorporar al sistema de APR (que aparece como el flanco vulnerable del abastecimiento), dentro del global de soluciones propuestas, de manera tal que la seguridad se entienda no solo como el resultado de la implementación de soluciones individuales, sino que como resultado de la resiliencia del sistema.

El detalle de las propuestas para el consumo humano se presenta en el desarrollo del Eje Estratégico N° 4.

7.3.6.3 Seguridad energética

Desde el punto de vista energético, la cuenca del Maule posee una potencia instalada relevante en el contexto nacional. Estas centrales, cuya fuente de abastecimiento se sustenta en derechos de aprovechamiento de agua de tipo no consuntivos, principalmente en la parte alta de las cuencas de los ríos Maule y Melado, no fue incluida en forma explícita dentro de los escenarios ni de las estrategias de gestión, salvo por el acuerdo de gestión de la Laguna del Maule, que resulta en la posibilidad de almacenamiento de entre 100 a 130 millones de m³ de agua para riego en el embalse Colbún, así como la recuperación de 36 hm³ al año de la Laguna del Maule.

Ante la baja de las precipitaciones estimada mediante distintos modelos de cambio climático, las empresas eléctricas han iniciado procesos de repowering, para mantener su potencia instalada aun cuando disminuyan los caudales a ser turbinados. Si bien el Plan no está orientado a aumentar estos volúmenes, si incide directamente sobre ellos por dos razones:

1. Al aumentar la seguridad de abastecimiento de agua del consumo humano, uso agrícola y ecosistemas acuáticos, reduce la presión que pudiera existir sobre la generación eléctrica, sobre todo ante escenarios de escasez y potenciales conflictos.
2. Al aumentar la conservación de la cuenca, se contribuye a mantener el ciclo hidrológico en la cuenca, y de esta forma mitigar la reducción de los caudales pasantes.

En este sentido, las empresas eléctricas juegan un rol clave en la obtención de acuerdos con los usuarios, que permitan mejorar la seguridad hídrica para todos los actores del sistema, al mismo tiempo que se contribuye a la mantención de la infraestructura ecológica de la cuenca.

7.3.6.4 Seguridad de riego

El aumento de la eficiencia en el riego mediante la incorporación de tecnología, al igual que el revestimiento de canales, permite reducir la demanda bruta de agua. De esta forma, es posible una mejor gestión de los embalses superficiales o subterráneos, ya que los caudales se pueden ajustar a las necesidades reales de cada cultivo.

Sin embargo, un sistema altamente alterado como la zona agrícola del Maule, ha incorporado estas ineficiencias en el uso del agua, y por lo tanto se verá afectado por la reducción de pérdidas. Tal es el caso de las zonas que riegan por derrames de agua, por afloramientos que se producen aguas debajo de ciertos canales o zonas de riego, o bien por la recarga de pozos y norias que se encuentran cerca de un canal. Esos también son usuarios del agua, y se ven afectados permanentemente por las acciones que se realizan en la red de canales. El escenario de aumento de eficiencia estimó en 360 Hm³ la menor recarga de acuíferos al año por esta razón.

Como se mencionó dentro del documento, la red de canales supera los 7.000 km de longitud, siendo el mayor activo de los usuarios del agua de la cuenca. En este sentido, un aumento de la eficiencia mediante revestimiento de canales, debe ser precedido de un estudio técnico sobre la red, determinando las zonas que se deben modificar para evitar pérdidas de agua en temporada de riego, pero también aquellas que se deben mantener no revestidas, para asegurar la recarga en invierno. Alternativas a esta gestión son el diseño de puntos de RAG fuera de la red de canales, pero abastecidas por esta; o bien diseños que permitan cumplir ambas funciones a partir de la misma red.

En complemento, la incorporación de nuevos sistemas de riego está limitada por los tipos de cultivos (por ejemplo, cultivos de arroz), por el tamaño predial (producción de maíz o trigo en pequeños predios), y por las capacidades técnicas y económicas de los propietarios. Por lo tanto, existe un límite superior a la tecnificación que irá cambiando a medida que se desplazan los cultivos de norte a sur.

Finalmente, el aumento de eficiencia mediante automatización de compuertas y telemetría, resulta innegable para los usuarios, no obstante no se cuenta con indicadores cuantitativos que permitan demostrar el ahorro efectivo en agua, que permita mejorar el análisis económico de su instalación.

7.4 Planificación de la Gestión Hídrica

Los Ejes de Gestión Hídrica consideran elementos clave para la implementación del Plan Estratégico, además que dan soporte a la implementación de las acciones propuestas para el Balance hídrico de la cuenca. Estos ejes son: Consumo Humano, Conservación de la cuenca, Información y Control, y Gobernanza. A continuación se aborda la estrategia propuesta para cumplir cada uno de los ejes y objetivos asociados.

7.4.1 Eje Estratégico 4: Consumo humano

El Eje Estratégico y su objetivo se centran en la reducción de la brecha de abastecimiento de agua para consumo humano. En la actualidad se determinó la proporción de la población atendida por camiones aljibe y el consumo de agua asociado, como un indicador de la brecha hídrica.

7.4.1.1 Objetivo 4.1 Aumento de la Seguridad de Abastecimiento de Agua para consumo humano

El mejoramiento de la Red de Sistemas de Agua potable Rural pasa por, en primera instancia, aumentar la cobertura de aquellos sistemas que hoy requieren el soporte mediante camiones aljibe. Así mismo, todo el aumento de consumo de agua para consumo urbano y rural debe ser cubierto por la solicitud o adquisición de nuevos derechos de

aprovechamiento de agua, superficiales y subterráneos, por lo que se considera como parte de la brecha. Con esto, el déficit esperado al año 2050 es de 18,40 hm³ al año.

7.4.1.1.1 Acción 4.1.1 Aumentar la seguridad de abastecimiento de agua para consumo humano

La acción propuesta es resolver, mediante los estudios y obras que sean requeridos, el abastecimiento de agua de estas familias y los APR comprometidos. La institución responsable de esta gestión es la Dirección de Obras Hidráulicas, y el plazo de implementación debiera ser inferior a 5 años.

El **Eje Estratégico N°4, Seguridad de Abastecimiento de Agua para Consumo Humano**, no fue incluido dentro del Conjunto de Ejes de Balance Hídrico, dada la asimetría que existe en los volúmenes de agua requeridos para las brechas a nivel general de la cuenca, y la brecha de agua para consumo humano. La brecha estimada al año 2050 es de 18,40 hm³ al año.

Por lo tanto, se propone que el consumo humano sea satisfecho en primer lugar por sobre otros usos del agua, a partir de las acciones que sean priorizadas dentro del presente Plan Estratégico. La materialización de esta Iniciativa dependerá de los estudios de ingeniería específicos, por sector, y de la dispersión misma de los APR y los centros urbanos de demanda. Así mismo, se debe considerar explícitamente a las 7.204 familias abastecidas por camiones aljibe en la actualidad.

El costo de implementación se tomó a partir de los costos de la Memoria de la Calculadora Hídrica, que arroja un promedio de \$4.376.- pesos de inversión por cada m³ de sistema de APR instalado.

De esta forma, el costo total de la solución es de 18,40 hm³ x \$4.376/m³ = \$80.518 millones de pesos, los que se espera se inviertan en el corto, mediano y largo plazo.

7.4.2 Eje estratégico 5: Conservación

Este eje estratégico considera dos objetivos principales, los que se desarrollan en detalle dentro de este numeral.

- Objetivo 5.1 Proteger y Restaurar la cuenca aportante y los ecosistemas acuáticos y terrestres

- Objetivo 5.2 Disminuir la tasa de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas

Estos objetivos se detallan a continuación.

7.4.2.1 Objetivo 5.1 Proteger y Restaurar la cuenca aportante y los ecosistemas acuáticos y terrestres

La protección y restauración de la cuenca es una acción relevante para el mantenimiento del ciclo hidrológico y los estándares de sostenibilidad propuestos en el eje de Balance, sobre todo de cara a los procesos de pérdida de bosque nativo, incendios forestales y browning descritos.

Con el propósito de definir una estrategia para la conservación de los ecosistemas terrestres y acuáticos, se trabajó a partir del estudio "Planificación ecológica de la infraestructura ecológica de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos y programa regional de prioridades de restauración ecológica en el contexto de los incendios de la temporada 2016-2017: aplicación en Región del Maule" (UDEEC, 2018). Según esto, se definen y priorizan áreas de protección, de restauración y de uso sustentable:

- Las **áreas de protección** corresponden principalmente a la región preandina de la cuenca del Maule, seguido de sectores específicos de la cordillera de la Costa.
- Las **áreas de restauración** corresponden principalmente a sectores degradados de la cordillera de la costa, y a las márgenes de los ecosistemas acuáticos que cruzan la cuenca de este a oeste.
- Las **áreas de uso sustentable** corresponden a los territorios que no son de protección ni restauración.

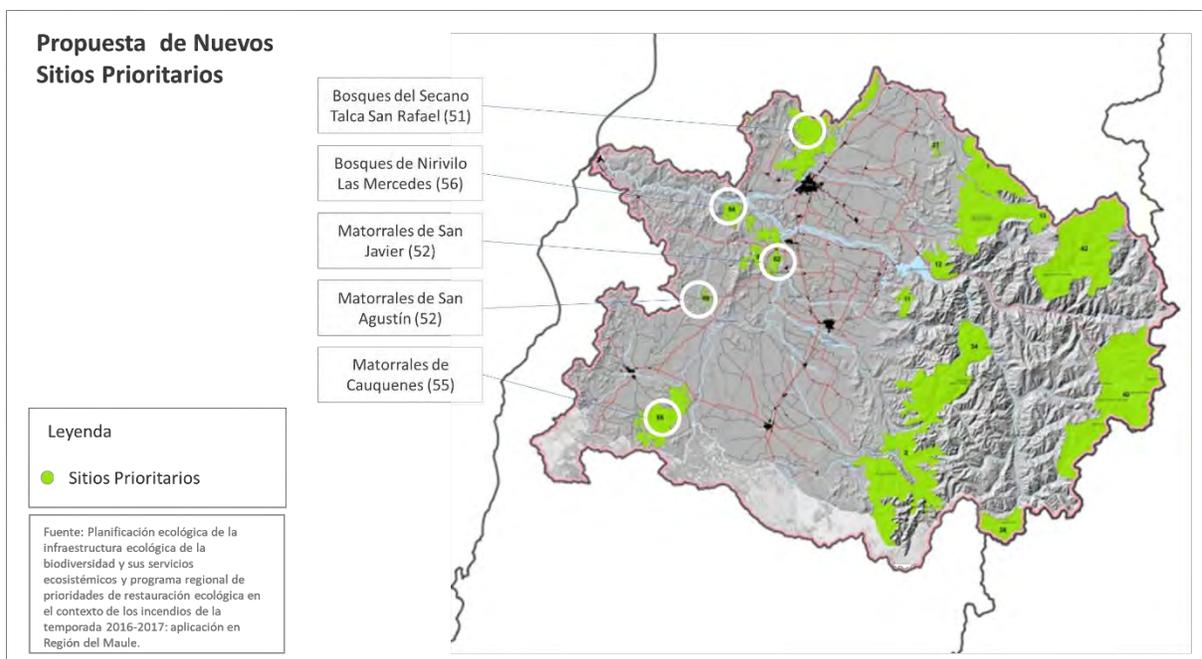
7.4.2.1.1 Acción 5.1.1 Definición de nuevos sitios prioritarios para la conservación

El estudio de referencia propone 08 nuevos sitios prioritarios a nivel regional, 05 de los cuales se encuentran en la cuenca del Maule. El análisis realizado se basa en el valor ecosistémico de la infraestructura apropiada por cada sitio, lo que se considera plenamente coincidente con lo revisado en el presente Plan Estratégico. Los sitios propuestos se presentan en la Tabla 7-11 y en la Figura 7-6.

Tabla 7-11. Propuesta de nuevos sitios prioritarios para la cuenca

Sitio propuesto	Superficie (ha)	Unidad de Gestión
Bosques del secano de Talca y San Rafael	44.833	Maule
Bosques de Nirivilo Las Mercedes	4.424	Maule
Matorrales de San Javier	5.601	Loncomilla
Matorrales de San Agustín	857	Perquillauquén
Matorrales de Cauquenes	17.184	Perquillauquén
Total	72.899	

Fuente: UDEEC, 2018



Fuente: UDEC, 2018

Figura 7-6. Propuesta de Nuevos Sitios Prioritarios de conservación

Para efectos de la implementación, se consideró la realización de estudios técnicos y otros, por un total de \$100.000.000.- de pesos por sitio prioritario, lo que arroja un total de \$500 millones de pesos para la cuenca. Se estima que esta inversión debiera realizarse en el corto plazo, y la entidad responsable es el Ministerio de Medio Ambiente.

7.4.2.1.2 Acción 5.1.2 Definición de Objetos de Conservación Hídrica a nivel de cuenca

Se propone la identificación de Objetos de Conservación Hídrica a nivel de cuenca, que corresponden a ecosistemas que contribuyen en forma significativa a la regulación del ciclo hidrológico, para los cuales elaborar Planes de Conservación Ambiental (PCA) o Planes de Restauración Ambiental (PRA), con participación público-privada.

Se recoge la propuesta inicial del documento "Estudio Hidroenergía por Diseño en la cuenca del río Maule", que propone la conservación de las cuencas aportantes de la Laguna del Maule – Ruta Pehuenche, y del Laguna de la Invernada; y la restauración ambiental del Cajón del Melado. Otros objetos de conservación relevantes identificados son los Bosques del Cajón del Achibueno, y los bosques de Digua-Melado. Sin embargo, se debe realizar una evaluación estandarizada a nivel de cuenca establecido estos ecosistemas relevantes, para determinar los planes de protección requeridos.

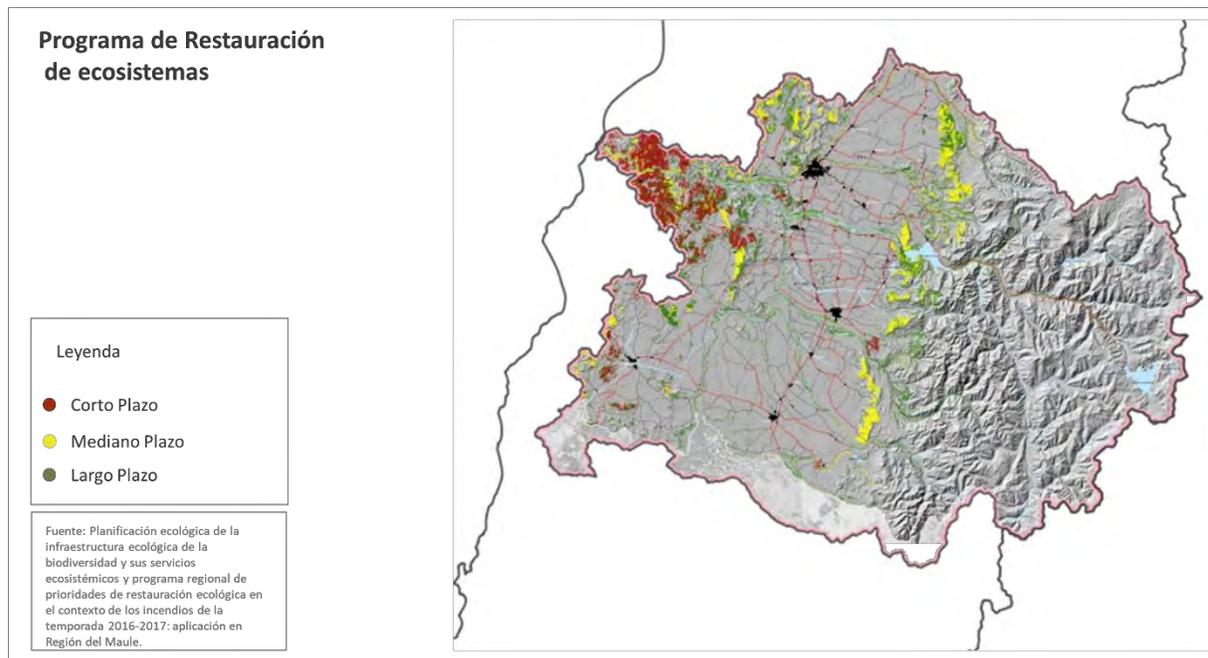
Para este efecto, se propone la realización de un estudio técnico que determine los objetos de conservación hídrica, para lo cual se propone un presupuesto de referencia de \$250.000.000.- La acción depende del Ministerio del Medio Ambiente, y se espera que se implemente en el corto plazo.

7.4.2.1.3 Acción 5.1.3 Programa de Restauración de Ecosistemas

Se tomó como referencia la propuesta de restauración formulada en el estudio de planificación de la infraestructura ecológica regional (UDEEC, 2018). En lo principal, la metodología empleada para la formulación de esta propuesta considera el conjunto de objetivos de restauración resultante de un proceso de evaluación de oportunidades de restauración (ROAM, propuesto por UICN, 2014). Los objetivos con mayor prioridad identificados fueron:

1. Recuperar la provisión de servicios ecosistémicos hídricos
2. Recuperar productividad de suelos
3. Recuperar la funcionalidad de los ecosistemas para proveer hábitat

Las intervenciones de restauración identificadas son la restauración activa para recuperar el hábitat; restauración activa para mejorar la provisión de SSEE hídricos y productividad del suelo; restauración pasiva; reforestación con especies nativas y exóticas; agroforestería y prácticas de conservación de suelos.



Fuente: UDEEC, 2018

Figura 7-7. Programa de Restauración de Ecosistemas

A partir de la zonificación realizada por este estudio, se proponen las siguientes metas de restauración por Unidad de Gestión. La institución responsable de esta implementación es la Corporación Nacional Forestal.

Tabla 7-12. Programa de Restauración por Unidad de Gestión

Prioridad	Maule (ha)	Loncomilla (ha)	Perquillauquén (ha)	Total
Corto plazo (1 a 5 años)	3.000	-	3.000	6.000
Mediano Plazo (6 a 10 años)	3.000	2.500	3.000	8.500
Largo Plazo (más de 10 años)	4.000	2.500	4.000	10.500
Total	10.000	5.000	10.000	25.000

Fuente: elaboración propia

La determinación del costo de restauración por hectárea intervenida es variable, y depende de la magnitud de las intervenciones y el estándar de las mismas. Si se toma como referencia el Documento Técnico N° 239, Tabla de Valores 2020 de la Ley N° 20.282 sobre recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal³², el tope de la bonificación para el manejo de formaciones de bosque esclerófilo, Ciprés de la Cordillera, Roble-Hualo y Roble-Raulí-Coihue es de 5,0 UTM/ha, equivalentes a \$255.125.- pesos por hectárea³³. Dado que la bonificación alcanza al 75% del costo estimado, se llega a un costo de intervención de \$340.193 pesos por hectárea.

Para efectos de análisis, y dada la magnitud del impacto de los incendios observados en la temporada 2016-2017, se aumentará el costo en un 300%, llegando a \$1.020.579.-/ha. De esta forma, la restauración de 25.000 ha de bosque nativo, tendrá un costo total de \$25.514.475.000.- (USD 31.893.094, considerando un valor del dólar de \$800.-). Esta implementación se producirá en el largo plazo, y el responsable es la Corporación Nacional Forestal.

7.4.2.2 Objetivo 5.2 Disminuir la Tasa de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas

Si bien se identificaron problemas puntuales de contaminación de las aguas, la calidad de las aguas es uno de los activos a nivel regional, ya que sustenta no solo a los ecosistemas que dependen del recurso, sino que también el desarrollo de la actividad agropecuaria. Los problemas de calidad de las aguas son diversos, con múltiples causas, aunque a partir de

³² <https://www.conaf.cl/cms/editorweb/chifo/DT239.pdf>

³³ Tomando un valor de UTM de \$51.029 en el mes de diciembre de 2020, según Banco Central.

las actividades de participación ciudadana se identifican tres factores principales de contaminación:

- Actividad agrícola
- Descargas desde plantas de tratamiento de residuos líquidos sanitarios e industriales
- Residuos domiciliarios

La actividad agrícola y sus efectos se relacionan directamente con el recurso, y está considerada en forma directa en buena parte de las acciones propuestas dentro del presente Plan Estratégico, y se propone una acción particular para mejorar su desempeño. Por lo tanto, para este objetivo se propone la siguiente acción: Control de la contaminación de cursos y cuerpos de agua producto de la agricultura, la que se describe a continuación.

7.4.2.2.1 Acción 5.2.1 Control de la contaminación de cursos y cuerpos de agua producto de la agricultura

Esta medida requiere la implementación de Buenas Prácticas Agrícolas que permitan reducir la carga de agroquímicos empleados en la producción agropecuaria. Las empresas pueden optar a mejorar su desempeño en pos del cumplimiento de estándares como EurepGAP, entre otros, o bien en forma colectiva mediante la constitución de Acuerdos de Producción Limpia (APL). Según la Agencia Chilena de Sostenibilidad y Cambio Climático (ASCC), el objetivo de los APL es mejorar las condiciones productivas y ambientales en términos de higiene y seguridad laboral, eficiencia energética e hídrica, reducción de emisiones, valorización de residuos, buenas prácticas, fomento productivo y otras temáticas abordadas por el acuerdo, buscando generar sinergias y economías de escala así como el cumplimiento de las normas ambientales que propenden al aumento de la productividad y la competitividad de las empresas³⁴. Según reporta la ASCC en su portal, en la región del Maule se han suscrito los siguientes APL en el sector agropecuario:

- APL Producción de Frutillas en el Secano Costero de la Región del Maule (2016)
- APL Consorcio de Berries de Maule Sur (2015)
- APL Sector Hortícola de la Zona Central de Chile (2013)

Por lo tanto, se identifica un espacio de mejora significativo para la suscripción de a lo menos **03 acuerdos de producción limpia**, que cubran, por ejemplo, los rubros de producción de cereales, de frutales y viñas, rubros que se encuentran presentes en la cuenca.

La institución responsable es la Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático, y se estima que estas medidas deben ser implementadas en el corto plazo (05

³⁴ Según define la Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático (ASCC), en <https://www.ascc.cl/pagina/apl>

años). Se estimó un costo de \$100.000.000.- para el desarrollo de cada APL, por lo que el costo total de la iniciativa es de \$300.000.000.-

7.4.3 Eje Estratégico 6: Información y Control

El eje estratégico cuenta con dos objetivos para su implementación.

-5.1 Aumentar el conocimiento e información sobre los recursos hídricos y el uso que se realiza de ellos

- 5.2 Aumentar el control de uso del agua por parte de los actores privados.

Cada uno de estos objetivos y las acciones propuestas para su implementación se describen a continuación.

7.4.3.1 Objetivo 6.1 Aumentar el Conocimiento e Información sobre Recursos Hídricos

Como se ha señalado, la región cuenta con 305 sistemas de agua potable rural, 193 de los cuales dependen de la Dirección de Obras Hidráulicas. Tanto la cobertura espacial, como la sensibilidad del abastecimiento de agua para consumo humano, requieren de un sistema de información que sea capaz de registrar, analizar y estimar tendencias sobre los recursos hídricos que sustentan el consumo de las personas en la cuenca.

7.4.3.1.1 Acción 6.1.1 Implementar una red de información en línea que entregue los niveles estáticos y dinámicos de la totalidad de los sistemas de agua potable rural.

Se propone la implementación progresiva de telemetría para la medición de niveles estáticos y dinámicos de los pozos de la red de agua potable rural. Esta implementación debe cubrir la totalidad de los APR de la cuenca, y la información debe estar disponible en la Red Hidrométrica de la DGA. El propósito es, por un lado, contar con información en tiempo real de la red de APR, permitiendo de esta forma evaluar variaciones en la seguridad de abastecimiento actual y futura para el consumo humano. En complemento, esta red de monitoreo permitirá realizar un seguimiento en tiempo real de la gestión de aguas subterráneas propuesta.

La institución responsable es la Dirección de Obras Hidráulicas, y el costo de instalación de cada sistema de telemetría se estimó en \$10.000.000.- por sistema de APR, lo que arroja un costo total de \$294.000.000.- para la cuenca. Se estima que esta iniciativa se implementará en el largo plazo, con una progresión de 100 APR en el corto plazo (1 a 5 años), 100 en el mediano plazo (6 a 10 años), y 94 en el largo plazo (más de 10 años). Dentro de los costos de inversión no se considera los costos de operación y mantención de la telemetría implementada.

7.4.3.1.2 Acción 6.1.2 Implementar un sistema centralizado de recolección de información de calidad de agua, a partir de los análisis frecuentes que realizan los sistemas de agua potable rural.

Se propone la implementación de un sistema centralizado, en acuerdo con laboratorios de calidad de agua regionales, que permita la carga directa de los resultados de análisis de calidad de agua y que esté disponible para el resto de los estudios y análisis a realizar en la región.

La institución responsable es la Dirección de Obras Hidráulicas y se propone el desarrollo de este sistema en el corto plazo. Se estima que el costo de desarrollo de este sistema es de \$300.000.000.-, dentro del cual no se consideran los costos de operación y mantención del mismo.

7.4.3.1.3 Acción 6.1.3 Mejoramiento de la Red Hidrométrica de la DGA

La DGA dispone de una red hidrométrica nacional, y la red de la región es la que concentra un mayor número de puntos de medición a nivel nacional. Sin embargo, se identificó las siguientes brechas de información:

- Déficit de estaciones de monitoreo para el seguimiento de los niveles estáticos de aguas subterráneas
- Déficit de estaciones de seguimiento de aguas superficiales

Déficit de estaciones de monitoreo para el seguimiento de los niveles estáticos de aguas subterráneas

Actualmente la cuenca cuenta con solo dos estaciones de seguimiento de niveles de aguas subterráneas, para un total de 8 SHAC definidos. Existe un plan para implementar en 6 estaciones la red de monitoreo de la cuenca del Maule, llegando a 8. Las estaciones a incorporar se presentan en la Tabla 7-13.

Tabla 7-13. Estaciones de aguas subterráneas propuestas

NOMBRE	SHAC	UBICACIÓN			
		CIUDAD	COMUNA	COORDENADAS	
				ESTE	NORTE
Estación Belco	Estero Belco y El Arenal	Cauquenes	Cauquenes	753.503	6.031.869
Estación Cauquenes	Cauquenes	Cauquenes	Cauquenes	743.485	6.012.237
Estación Purapel	Purapel	San Javier	San Javier	768.367	6.058.869

NOMBRE	SHAC	UBICACIÓN			
		CIUDAD	COMUNA	COORDENADAS	
				ESTE	NORTE
Estación Maule Norte	Maule Norte	Palguilemo	Talca	265.673	6.082.113
Estación Maule Bajo	Maule Bajo	San Javier	San Javier	234.726	6.057.652
Estación Los Puercos	Los Puercos	Pencahue	Pencahue	242.275	6.081.711

Fuente: DGA regional

Sin embargo, se considera insuficiente el número de estaciones propuestas, toda vez que acuíferos como Maule Sur, el de mayor extensión y volumen de reservas, solo cuenta con una estación. Se propone, por lo tanto, llegar a un mínimo de dos estaciones por SHAC, con la excepción de Maule Norte.

Déficit de estaciones de seguimiento de aguas superficiales

El total de estaciones propuestas se resume en la Tabla 7-14. La institución responsable de su habilitación es la Dirección General de Aguas, y el plazo de implementación propuesto es de 5 años.

Tabla 7-14. Propuesta de nuevas estaciones para la Red Hidrométrica Nacional

Tipo de Estación	Maule	Loncomilla	Perquillauquén	Total
Meteorológica	1 Maule Alto, 1 Melado	0	0	2
Líneas de Nieve	2 Maule Alto, 2 Melado	0	0	4
Fluviométrica	1 Río Claro	0	0	1
Niveles de pozos	4	4	4	12
Total	11	4	4	19

Fuente: elaboración propia a partir de reuniones con la DGA regional

La institución responsable es la Dirección General de Aguas, y se estima que la mejora de las estaciones de la Red Hidrométrica debiera producirse en el costo plazo. Si se estima un costo de \$20.000.000.- por estación, el costo total de las 19 estaciones es de \$380.000.000.-

7.4.3.1.4 Acción 6.1.4 Mejoramiento de la Red de Calidad de Aguas de la DGA

La red de calidad de aguas cuenta con 22 estaciones de calidad de aguas, cuyo equipamiento (sondas) se encuentra deteriorado, y requiere reposición.

Se propone la reposición total de los sensores de las 22 estaciones, dentro de un plazo de 5 años. Si se estima el costo de reposición de sensores y elementos anexos (dataloggers, fuentes de energía, etc.), en \$10.000.000.- por estación, el costo total de la iniciativa es de \$220.000.000.-

7.4.3.1.5 Acción 6.1.5 Estudios específicos

La planificación de recursos hídricos requiere de una gran cantidad de antecedentes, de distinta naturaleza, y con niveles aceptables de confiabilidad. En particular, para la **calibración y uso de los modelos hidrológicos e hidrogeológicos** han surgido una serie de interrogantes que deben ser abordadas, y que se presentan en el Anexo J6. En atención a estas y otras consideraciones, se estima necesario realizar a lo menos los siguientes estudios para mejorar el conocimiento de los recursos hídricos y su gestión en la cuenca.

- **Información base para mejorar los modelos hidrológicos e hidrogeológicos**
 - (1) Estudio de la dinámica de la demanda de agua para consumo agrícola, consumo de agua y fuentes de agua según prioridad y oportunidad de uso.
 - (2) Mapeo de propiedades hidrogeológicas y geométricas de los acuíferos del Valle Central, Maule Medio Norte y Maule Medio Sur, que permitan mejorar los ajustes de los modelos en este sector.
 - (3) Modelación independiente de las cuencas del secano interior, Los Puercos, Purapel y Cauquenes.
- **Gestión de recursos hídricos**
 - (1) Evaluación de resultados de la recarga gestionada de acuíferos mediante la red de canales de riego.
 - (2) Evaluación de la eficiencia en uso del agua aportada por la automatización de compuertas.
 - (3) Identificación de las áreas de recarga de acuíferos a nivel de cuenca aportante y propuesta de conservación.
- **Abastecimiento de agua para consumo humano**
 - (1) Estudio de vulnerabilidad de los APR frente a variaciones del nivel de acuíferos e Identificación de fuentes alternativas para sistemas de agua potable rural vulnerables.
- **Conservación de Ecosistemas**
 - (1) Definición de Objetos de Conservación a nivel de cuenca, propósito (restauración o conservación), y actores relacionados en cada caso.

- (2) Estudio de la relación entre el aumento de la salinidad en el tramo final del río Maule, respecto de los caudales pasantes.
- (3) Estudio de la recuperación de la Laguna del Maule producto de los acuerdos de gestión alcanzados entre los usuarios.
- (4) Evaluación de la capacidad de acumulación de agua de los humedales altoandinos y su efecto en la regulación del ciclo hidrológico de la cuenca.

La institución responsable de estos estudios es la Dirección General de Aguas. En total, se estima que el número de estudios a realizar dobla, por lo menos, el número de estudios identificados. Por esta razón, si se considera un total de 16 estudios, a un monto individual de \$250.000.000.-, el costo total es de \$4.000.000.- de pesos, a desarrollar en el corto y mediano plazo.

7.4.3.2 Objetivo 6.2 Aumentar el Control de las Extracciones de agua

La Resolución Exenta N° 349, del 08 de julio de 2020, ordena a los titulares de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas cuyos puntos de captación se encuentran ubicados en los sectores hidrológicos de aprovechamiento común de la región del Maule: **Cauquenes**, Mataquito, **Maule medio norte**, Teno-Lontué, y **Maule medio sur**, instalar y mantener sistemas de medición y transmisión de extracciones efectivas. En la Tabla 7-15 se presenta el número de pozo afectos por categoría.

Tabla 7-15. Número de pozos afectos a la resolución N° 349

SHAC	Estándar caudales muy pequeños	Estándar menor	Estándar medio	Estándar mayor	Total
SHAC Cauquenes	118	137	53	43	351
SHAC Maule Medio Norte	316	138	63	31	548
SHAC Maule Medio Sur	932	430	240	70	1.672
Total	1.366	705	356	144	2.571

Fuente: elaboración propia a partir de antecedentes CPA

La Resolución N°349 establece por sí misma la obligación de informar, bajo distintos estándares, a los 2.571 derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas de los tres SHAC considerados en esta etapa. Para esta implementación se requiere las acciones de apoyo.

- Capacitación a los usuarios que cuentan con estándares muy pequeños (1.366), ya que deberán disponer de elementos de medición, registro e información.
- Ayuda económica (Ley de Riego), para los usuarios con estándar menor, medio y mayor.

Adicionalmente, se considera necesario el reforzamiento de las capacidades de fiscalización de la oficina regional de la DGA, para dar cuenta de los usuarios fiscalizados que incumplan ya sea con el deber de informar, o que no cumplan con los caudales otorgados. Las acciones se describen a continuación:

7.4.3.2.1 Acción 6.2.1 Capacitación a los usuarios afectos al control de extracciones que cuentan con estándares muy pequeños y menor

En total son 1.366 usuarios con estándar muy pequeño, y 705 usuarios con estándar menor, a ser fiscalizados. Se estima que estos usuarios requieren de una campaña de capacitación para la implementación del seguimiento. Se considera necesario realizar dos programas de capacitación para la cuenca, que comprenda los 3 SHAC contenidos en la resolución.

La institución idónea es la Comisión Nacional de Riego, y debe ejecutarse en el corto plazo, dados los tiempos establecidos para su implementación. Se estima que para esto se requiere 02 Programas de Transferencia de Capacidades, para lo cual se supone un costo de \$500.000.000.-

7.4.3.2.2 Acción 6.2.2 Co financiamiento para la instalación de sistemas de control de extracciones con estándar medio y mayor.

La inversión para instalar un sistema de medición con telemetría puede alcanzar los 5 millones de pesos por punto, dependiendo de las instalaciones del titular del derecho. El costo de implementación de estos sistemas ha sido financiado parcialmente mediante concursos de la Ley de Financiamiento a la Inversión Privada en Obras de Riego y Drenaje (Ley 18.450), particularmente en las cuencas de Copiapó, Ligua y Petorca.

Por esta razón se propone el financiamiento de esta inversión privada, para los 500 puntos de medición a instalar. La institución idónea es la Comisión Nacional de Riego, y debe ejecutarse en el corto plazo, dados los tiempos establecidos para su implementación. Se estima que el costo de instalación, por punto de control, es de \$3.000.000.-, por lo que el costo total de la iniciativa es de \$1.500.000.000.-

7.4.4 Eje Estratégico 7: Gobernanza del Plan

La brecha de gobernanza tiene dos niveles: el primero, a nivel de formalización de las organizaciones de usuarios de base, que dan sustento a la gobernanza; y el segundo, para la definición y puesta en marcha de una gobernanza a nivel de cuenca. Esto se refleja en los dos objetivos propuestos para este eje estratégico.

- 1.1 Fortalecer a los organismos participantes de la Gobernanza del Plan
- 1.2 Establecer una Gobernanza local para la implementación del Plan Estratégico

A continuación se identifican las acciones requeridas para implementar cada uno de estos objetivos.

7.4.4.1 Objetivo 7.1 Fortalecimiento de los organismos participantes de la gobernanza

Se consideran las siguientes acciones principales para el cumplimiento de este objetivo:

7.4.4.1.1 Acción 7.1.1 Formalización de la totalidad de las Juntas de Vigilancia de la cuenca, con el propósito de que participen de la futura gobernanza del Plan Estratégico.

Se requiere intervención para concluir los procesos de constitución e inscripción de las siguientes Juntas de Vigilancia:

- **Sector Maule**
 - (1) JV del Río Claro (pendiente DGA*)
 - En este caso, se debe revisar la intención del sector San Rafael (último tramo del Maule), para incorporarse a la JV del Río Claro
 - (2) JV del Río Lircay
 - Se debe revisar el número de acciones con las que participa el canal Pencahue
- **Sector Loncomilla**
 - (1) JV del Río Putagán (pendiente)
 - (2) JV del Río Achibueno 2ª sección (pendiente DGA)
 - (3) JV del Río Longaví 2ª sección (no organizada, no constituida)
- **Sector Perquillauquén**
 - (1) JV del Río Perquillauquén
 - En este caso, se debe alcanzar un acuerdo para la constitución de una sola JV que reúna las tres secciones (1ª, Digua y 3ª)

Las instituciones que están habilitadas para acompañar este proceso son la Dirección General de Aguas y la Comisión Nacional de Riego. Esta última ha iniciado un par de procesos en la región, pero no todos han resultado en la constitución de la Junta de Vigilancia respectiva. El plazo de implementación propuesto es de 10 años. Se propone un costo de formalización de \$250.000.000.- por organización, lo que resulta en un costo total de \$1.500.000.000.- millones para la iniciativa.

7.4.4.1.2 Acción 7.1.2 Constitución de Comunidades de Aguas Subterráneas

El Código de Aguas encomienda la gestión de los recursos hídricos subterráneos y los derechos de aprovechamiento de agua asociados a las Comunidades de Aguas Subterráneas (CAS). A la fecha, existen CAS (o CASUB) constituidas en los acuíferos del valle de Copiapó, y en los acuíferos de Ligua y Petorca.

El mismo Código de Aguas mandata la constitución de las CAS cuando un acuífero se encuentre restringido, como es el caso del SHAC de los Esteros del Belco y el Arenal, por lo que esta CAS está pendiente de constitución.

Complementariamente, se considera necesario y conveniente la creación de las CAS del resto de los SHAC de la cuenca, con el propósito de disponer de una organización que convoque y regule el uso de las aguas subterráneas. Las instituciones que están habilitadas para acompañar este proceso son la Dirección General de Aguas y la Comisión Nacional de Riego. Un aspecto que se debe considerar es el fortalecimiento, o acompañamiento en las etapas iniciales de las organizaciones constituidas.

El plazo de implementación propuesto es de 10 años. Se propone un costo de formalización de \$150.000.000.- por organización, lo que resulta en un costo total de \$1.200.000.000.- millones para la iniciativa.

7.4.4.1.3 Acción 7.1.3 Formalización de una organización regional de Comités de Agua Potable Rural

La región del Maule cuenta con el mayor número de Comités de Agua Potable Rural a nivel nacional, de los cuales 293 están dentro de la cobertura de la DOH, y cerca de 200 son municipales, privados o de otras dependencias.

Con el propósito de contar con información centralizada, completa y oportuna de los APR, así como la posibilidad de establecer estrategias comunes de eficiencia en el uso del agua, de mantención preventiva o planificación, **se requiere una organización que reúna a la totalidad de los APR de la región, con capítulos provinciales**. En la actualidad, casi la mitad los APR no son visibles desde el nivel central. La institución que está habilitada para impulsar la creación de esta organización es la Dirección de Obras Hidráulicas, que ya cuenta bajo su supervisión el 60% de los APR de la región.

El plazo de implementación propuesto es de 5 años. Se propone un costo de formalización de \$150.000.000.- para esta organización.

7.4.4.2 Objetivo 7.2 Implementación de una gobernanza para el Plan Estratégico

Como se ha mencionado dentro de este documento, a nivel nacional, y en la cuenca del Maule en particular, existe un modelo de gobernanza definido por el Código de Aguas, las

organizaciones de usuarios de aguas, actores privados, e instancias multilaterales y acuerdos constituidos hasta la fecha.

Sin embargo, la implementación del Plan Estratégico dentro del horizonte definido (30 años), requiere de una coordinación mayor que permita, sobre todo, establecer procesos de control y balance sobre las responsabilidades y facultades establecidas.

Por lo tanto, se proponen dos iniciativas para la implementación de una gobernanza para la implementación del Plan Estratégico, las que se describen a continuación.

7.4.4.2.1 Acción 7.2.1 Implementación de una Gobernanza para el Plan Estratégico

Una hoja de ruta define una agenda, un proceso, mediante el cual se espera lograr un consenso para la implementación del Plan Estratégico.

Según se mencionó en el marco conceptual del Plan, este contempla tres partes principales:

- (1) **Formulación**, donde se definen prioridades, restricciones o condiciones mínimas, objetivos y metas. En estas definiciones deben participar todos los actores de la cuenca reunidos en un proceso participativo normado y acordado entre las partes.
- (2) **Implementación**, que corresponde a la materialización de las acciones formuladas, ya sea desde el punto de vista operativo o gestión, desde el financiamiento, investigación, u otras aristas contempladas en el Plan. Debe ser implementado por cada uno de los actores con atribuciones para la gestión, con o sin la coordinación de un ente centralizado.
- (3) **Seguimiento y Evaluación**, que corresponde a la aplicación de controles y equilibrios al Plan, es decir, el seguimiento a la implementación, la medición de los impactos, y el control sobre las desviaciones experimentadas respecto del Plan original. A partir de estas desviaciones, se proporciona la información requerida para la reformulación del Plan. Puede ser implementado por los mismos actores que participan de la implementación, o por una tercera parte responsable del seguimiento.

Estos tres pasos, que pueden ser cuatro para coincidir con el ciclo clásico de planificación o rueda de Deming, deben ser definidos de común acuerdo en la cuenca, y las responsabilidades pueden evolucionar a medida que se desarrollan las capacidades en la cuenca. En este contexto, el presente Plan funciona como un punto de partida, un modelo de evaluación de alternativas y definición de prioridades que debe ser actualizado.

En concreto, se propone la siguiente hoja de ruta para la Gobernanza, como punto de partida para la Implementación del Plan Estratégico.

(1) Definición de roles y responsabilidades respecto de la formulación del Plan

- a. Se debe definir una organización preliminar que permita revisar la formulación del Plan, en la línea de un Consejo de cuenca participativo

-
- b. Este Consejo, que puede ser una continuación de las Mesas regionales del agua, debe definir un procedimiento para validar el Plan Estratégico:
 - i. Alcances territoriales de la planificación (unidades de gestión o subplanes)
 - ii. Alcance temporal de la planificación
 - iii. Alcance material, respecto de los aspectos que serán planificados: consumo humano, agricultura, generación eléctrica, industria, ecosistemas, etc.

(2) Definición de roles y responsabilidades para la implementación del Plan

- a. Existen distintos modelos para la implementación de las acciones del Plan.
 - i. Modelo centralizado en lo público, donde una instancia pública resuelve la implementación de las acciones y los usuarios privados pasan a ser operadores (Copiapó, DGA 2015)
 - ii. Modelo centralizado en lo privado, con una Administradora de Cuencas constituida a partir de las Juntas de Vigilancia (Maule, DGA 2017)
 - iii. Modelo mixto, con una Secretaría de cuenca responsable del control y balance de la implementación, y la responsabilidad queda radicada en cada actor facultado para ello (IICH, 2017).
- b. La definición del modelo puede evolucionar en el tiempo. Un modelo mixto parece ser más apropiado para las primeras etapas del plan.

(3) Definición de roles y responsabilidades para el seguimiento y evaluación del Plan

- a. Se debe definir una instancia que genere estándares de reportabilidad para la implementación y sobre todo, los impactos del Plan.
- b. La reportabilidad de los impactos debiera realizarse en Hm³ de agua, ya sea en disponibilidad, eficiencia, sostenibilidad, o bien de aguas superficiales o subterráneas. El propósito es mantener un balance actualizado de las acciones implementadas y su efectividad.
- c. La reportabilidad de la gestión se debe realizar en número de acciones implementadas y presupuesto ejecutado versus el comprometido.
- d. Estos reportes debieran generarse en forma anual, una vez finalizada la temporada de riego y en forma previa al inicio de la temporada siguiente.

Se propone que la formulación de esta hoja de ruta resulte de un trabajo conjunto de los usuarios del territorio, organizados en un Consejo de Cuenca u órgano equivalente, junto con una consultoría de 24 meses de duración. Se estima que el costo de esta consultoría es de \$300.000.000.- y como institución responsable a la Dirección General de Aguas. La iniciativa debe materializarse en el corto plazo.

Esta consultoría debiera dar paso a una asesoría permanente (secretaría ejecutiva), que se describe en la acción siguiente.

7.4.4.2.2 Acción 7.2.21 Secretaría Ejecutiva del Plan Estratégico

Se propone la instalación de una Secretaría Ejecutiva para el Plan Estratégico, que se constituya en un coordinador de las acciones que requiere el Plan en sus distintas etapas: formulación, implementación, evaluación y seguimiento.

Esta Secretaría debiera realizar una labor de coordinación de los distintos actores participantes del Plan, y responder ante el Consejo de Cuenca o entidad similar que se proponga para resolver las decisiones estratégicas del Plan.

Esta instancia de coordinación debiera ser permanente, contar con un equipo técnico adecuado, oficinas y recursos adecuados para el desarrollo de su función. Para esto, se propone un presupuesto base de \$180.000.000.- al año, lo que en 30 años resulta en \$5.400.000.000.-. Esta secretaría debiera estar financiada por el Gobierno Regional.

8 IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN

Las iniciativas del Plan corresponden a las acciones una vez que se han definido alcances, presupuesto, plazos y responsables.

8.1 INVERSIÓN REGIONAL

Se presenta la inversión promedio regional, con el propósito de dar un contexto económico al Plan Estratégico propuesto. La inversión regional en recursos hídricos puede ser de carácter público o privado. A continuación se describe cada una de ellas, con el propósito de cuantificar un nivel de referencia previo a la formulación del Plan Estratégico.

8.1.1 Inversión pública

La inversión pública en recursos hídricos continentales se concentra en los siguientes organismos: Dirección de Obras Hidráulicas, Dirección General de Aguas y Comisión Nacional de Riego. Además, la Corporación Nacional Forestal realiza una inversión permanente en programas de forestación y mantención del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas. Finalmente, se detalla el Fondo Nacional de Desarrollo regional, que para el período 2021 alcanza los 83 mil millones de pesos.

8.1.1.1 Dirección General de Aguas

La inversión de la Dirección General de Aguas se manifiesta en actividades de operación y mantenimiento de la red hidrométrica, administración de recursos hídricos, fiscalización, así como la realización de estudios de estudios centrados en la cuenca y en la región del Maule.

En el año 2020, el presupuesto regional destinado para la mantención de la red hidrométrica fue de **\$126,13 millones de pesos**³⁵. A este presupuesto se debe agregar, por ejemplo, los montos destinados para la realización de los actuales Planes Estratégicos en las cuencas de Maule, Mataquito, y cuencas costeras, que supera los **\$200 millones de pesos**.

8.1.1.2 Dirección de Obras Hidráulicas

La inversión de la Dirección de Obras Hidráulicas en la región se materializa en las siguientes áreas principales: agua potable, aguas lluvia, riego y obras fluviales. **La inversión nacional al año 2019 es de 243.874 millones de pesos**, la que se concentra en APR (114.692 millones de pesos); obras de riego (63.248 millones de pesos), manejo de cauces (35.877 millones de pesos), y aguas lluvias (30.058 millones de pesos)³⁶.

La **inversión en agua potable rural a nivel regional**, según información proporcionada por la DOH del Maule, **alcanza a 1.299 millones de pesos para el año 2021**. Esta inversión corresponde a diseño de sistemas de APR (920 millones de pesos), estudios hidrogeológicos (235 millones de pesos), y sondajes (144 millones de pesos).

El último embalse de relevancia construido en la región fue el Embalse Ancoa. La inversión aprobada fue de 47.000 millones de pesos en 2007, equivalentes a 70.581 millones de pesos del año 2020³⁷. La inversión proyectada según el Plan Nacional de Regulación y Embalses (PNRE) del año 2019, es de más de 6.084 millones de dólares (4.867.200 millones de pesos), y considera los siguientes embalses para la cuenca:

- Embalse Longaví (279 Hm³), inversión de USD 395 millones (316.000 millones de pesos)
- Embalse Ancoa Sitio Original (102 Hm³), inversión de USD 171 millones (136.800 millones de pesos)

Otros proyectos priorizados en la cuenca son el embalse Huedque (38 Hm³), en Cauquenes, y el sistema de riego del río Loncomilla.

³⁵ Información proporcionada por la DGA a nivel regional

³⁶ DOH: Infraestructura Hidráulica para el Desarrollo Productivo, Social y Preventivo. Junio 2019.

³⁷ Actualizado según Calculadora de IPC del INE.

8.1.1.3 Comisión Nacional de Riego

La inversión regional que realiza la CNR se materializa principalmente en la realización de proyectos de la Ley de Riego, y la realización de estudios y programas.

Ley de Financiamiento a la Inversión Privada en Obras de Riego y Drenaje (Ley 18.450).

Se realiza una inversión permanente en la región, cofinanciando obras de riego de distinta naturaleza. Solo en obras de tecnificación, el monto invertido en la cuenca en el período 2015-2019 es de 45.540 millones de pesos, con un total de 20.360 ha tecnificadas³⁸. El promedio de inversión es de 9.108 millones de pesos, para 4.072 ha beneficiadas por año (con un costo promedio de \$2.236.739.- por hectárea).

8.1.1.4 Fondo Nacional de Desarrollo Regional

El Fondo Nacional de Desarrollo Regional es un programa de inversiones públicas, con fines de compensación territorial, destinado al financiamiento de acciones en los distintos ámbitos de infraestructura social y económica de la región, con el objetivo de obtener un desarrollo territorial armónico y equitativo". Al mismo tiempo, debe procurar mantener un desarrollo compatible con la preservación y mejoramiento del medio ambiente, lo que obliga a los proyectos financiados a través del FNDR atenerse a la normativa ambiental. Su distribución opera considerando dos conjuntos de variables: las de orden socioeconómico y las territoriales. Se asigna el 90% de los recursos a comienzos del año presupuestario, y el 10% restante se destina en igual proporción, a cubrir situaciones de emergencia y estímulos a la eficiencia, en cada ejercicio presupuestario.

El FNDR - tradicional financia todo tipo de proyectos de infraestructura social y económica, estudios y/o programas, de cualquier sector de inversión pública, siempre y cuando no se infrinjan las restricciones establecidas en la Ley de Presupuestos del Sector Público de cada año y se enmarque dentro de la normativa del Sistema Nacional de Inversiones (S.N.I.).

Para el año 2021, el monto del FNDR asignado a la región del Maule es de 83.036 Millones de pesos (USD 103,8 millones).

8.1.2 Inversión privada

La inversión privada en la gestión de los recursos hídricos se realiza principalmente por parte de las empresas sanitarias, empresas hidroeléctricas, y organizaciones de usuarios de agua y regantes individuales.

³⁸ Según Minuta de entrevista al responsable regional de la Comisión Nacional de Riego, de fecha 21 de octubre de 2020.

8.1.2.1 Inversión en Agua Potable

La inversión en agua potable a nivel privado se concentra en la empresa concesionaria de la mayoría de los puntos de abastecimiento y tratamiento de agua en la región: Nuevo Sur S.A. **La inversión promedio en el período 2015-2019 es de 13.288 millones de pesos, y se concentra principalmente en obras de distribución.**

8.1.2.2 Inversión en Generación Hidroeléctricas

Según el Servicio de Evaluación Ambiental, en la década de 2010 a 2020, se aprobaron 19 proyectos hidroeléctricos en la región (de un total de 94 proyectos de energía, la mayoría fotovoltaicos, que enteran USD 1.790 millones), con una inversión agregada de USD 890,61 millones³⁹. El proyecto de mayor envergadura corresponde a la Central Hidroeléctrica Los Cóndores, de ENEL Generación, con una inversión de USD 400 millones, el cual se encuentra en construcción.

8.1.2.3 Inversión en Infraestructura de Riego

La inversión corresponde al financiamiento directo y cofinanciamiento de proyectos aprobados por la Ley de Riego. Tomando como referencia el monto otorgado por la CNR (9.108 millones al año), el monto privado debe corresponder a lo menos a un 25% de este total, llegando a \$2.277 millones al año. Sin embargo, esto solo refleja la inversión en tecnificación al alero de la ley, por lo que se estima que la inversión total es varias veces superior a este cálculo.

³⁹ Revisado en <https://seja.sea.gob.cl/>, con fecha octubre de 2020.

8.2 CARTERA DE INICIATIVAS

Una iniciativa es una acción que ha sido priorizada, para la cual se asigna un responsable, un presupuesto y un plazo de implementación.

8.2.1 Cartera de iniciativas existentes

8.2.1.1 Iniciativas públicas

Se realizó un catastro de las iniciativas de inversión que actualmente están programadas o en ejecución por parte de los distintos servicios públicos, las que se resumen en la Tabla 8-1.

Tabla 8-1. Catastro de iniciativas públicas

Institución	Iniciativa	Inversión Millones de \$
Ministerio de Obras Públicas	Mejoramiento 23 sistemas de APR	1.030
Ministerio de Obras Públicas	Plan Nacional de Embalses. Reparación y habilitación embalse Ancoa Sitio Original (102 Hm ³)	114.958
Ministerio de Obras Públicas	Plan Nacional de Embalses. Embalse Longaví (279 Hm ³)	265.546
Ministerio de Obras Públicas	BIP. Construcción y ampliación red de monitoreo piezómetros de la región del maule	235
Gobierno Regional del Maule (Institución Formuladora)	Bip. Transferencia Programa Integral de Riego Región del Maule. Año y Etapa y Financiar: 2020-Ejecucion	9.293
Gobierno Regional del Maule (Institución Formuladora)	Bip. Transferencia Programa Integral de Riego en la Pequeña Agricultura de la Región del Maule. Año y Etapa a Financiar: 2020-Ejecucion	1.418
Ministerio de Obras Públicas / DOH	Bip. Conservación y Mantenimiento Obras De Riego Fiscales 2019 - 2021, Región del Maule. Año Etapa a Financiar: 2020-Ejecucion	1.281
Ministerio de Obras Públicas / DOH	Bip. Conservación Sistema de Riego Las Mercedes, Río Claro, Maule. Año y Etapa a Financiar: 2020-Ejecucion	802
Comisión Nacional de Riego	Bip. Transferencia en Calidad de Aguas para Agricultores Del Río Teno y Putagán. Año y Etapa a Financiar: 2020-Ejecucion	188

Institución	Iniciativa	Inversión Millones de \$
Comisión Nacional de Riego	Transferencia Mejorar Gestión Del RH En Los Ríos Achibueno 2° Sección y Perquillauquén. Año y Etapa a Financiar: 2020-Ejecucion	231
Gobierno Regional del Maule (Institución Formuladora)	Bip. Transferencia Pronóstico de Caudales Estivales. Año y Etapa a Financiar: 2020-Ejecucion	79
Gobierno Regional del Maule	Diseño y reevaluación social de la elevación mecánica del sistema de riego Loncomilla de San Javier (monto estimado)	400
Gobierno Regional del Maule	Factibilidad avanzada Huedque de Cauquenes	400
Inversión Total (Millones de \$)		395.861

Fuente: elaboración propia.

Además de las iniciativas mencionadas, existen intervenciones permanentes por parte de instituciones relacionadas con la gestión de los recursos hídricos.

8.2.1.2 Iniciativas privadas

Se realizó una consulta a las empresas y organizaciones de usuarios de la cuenca, mediante la cual se catastró solo una iniciativa en curso de financiamiento privado (Tabla 8-2)

Tabla 8-2. Catastro de iniciativas privadas

Institución	Iniciativa	Inversión Millones de \$
ENEL	Central Hidroeléctrica Los Cóndores	528.000
Inversión Total (Millones de \$)		528.000

Fuente: elaboración propia.

8.2.2 Cartera de iniciativas propuestas

La Tabla 8-3 presenta resumen de las iniciativas de inversión propuestas por Unidad de Gestión, indicando el costo, la institución responsable y el plazo de implementación. El flujo de inversiones se presenta en la Figura 8-1. No se consideran los costos operacionales asociados a cada iniciativa. Según se indica en la Tabla 8-5 Tabla 8-3, **el costo de inversión total del Plan Estratégico es de \$881.584 millones de pesos,**

equivalentes a unos USD 1.102 millones⁴⁰. El detalle de las inversiones, responsable y fuente de financiamiento se presenta en la Tabla 8-3.

Tabla 8-3. Detalle de inversiones por responsable y fuente de financiamiento.

Objetivos	Iniciativas	Costo Total (Millones de \$)	%	Ejecución	Financiamiento
1.1 Nuevas fuentes de agua superficial	1.1.1 Embalses superficiales	443.644	50,3%	DOH	Sectorial / Regional
	1.1.2 Elevación de agua	4.345	0,5%	DOH	Sectorial / Regional
	1.1.3 Acuerdos entre usuarios	-	0,0%	USUARIOS	Privado
1.2 Nuevas fuentes de agua subterránea	1.2.1 Gestión de Aguas Subterráneas	45.032	5,1%	DOH	Sectorial / Regional
2.1 Tecnificación	2.1.1 Automatización y telemetría de compuertas de riego	1.187	0,1%	CNR	Sectorial / Regional
	2.2 Eficiencia	2.2.1 Tecnificación del riego	158.371	18,0%	CNR
	2.2.2 Embalses de Regulación corta	5.390	0,6%	CNR	Sectorial / Regional
	2.2.3 Revestimiento de canales	37.453	4,2%	CNR	Sectorial / Regional
	2.2.4 Capacitación de usuarios	5.012	0,6%	CNR	Sectorial / Regional
	3.1 Caudal ecológico	3.1.1 Acuerdos para caudal ecológico	-	0,0%	USUARIOS
3.2 Sustentabilidad de acuíferos	3.2.1 Recargas para mantener sustentabilidad de acuíferos	45.400	5,1%	CNR	Sectorial / Regional
	3.2.2 Recarga desde canales	28.329	3,2%	CNR	Sectorial / Regional
4.1 Seguridad de abastecimiento	4.1.1 Resolver brecha de camiones aljibe	62.357	7,1%	DOH	Sectorial / Regional
5.1 Protección cuenca	5.1.1 Nuevos sitios prioritarios	500	0,1%	MMA	Sectorial
	5.1.2 Definición de Objetos de Conservación	250	0,0%	MMA	Sectorial
	5.1.3 Restauración de la cuenca	25.514	2,9%	CONAF	Sectorial / Regional / Internacional

⁴⁰ Considerando un tipo de cambio de 1 USD = 800 CLP\$.

Objetivos	Iniciativas	Costo Total (Millones de \$)	%	Ejecución	Financiamiento
5.2 Calidad de Aguas	5.2.1 Acuerdos de Producción Limpia	300	0,0%	ASCC	Sectorial / Regional
6.1 Información	6.1.1 Información de niveles de pozos de APR	3.050	0,3%	DOH	Sectorial / Regional
	6.1.2 Información de calidad de aguas de APR	300	0,0%	DOH	Sectorial / Regional
	6.1.3 Mejora de la Red Hidrométrica	380	0,0%	DGA	Sectorial / Regional
	6.1.4 Mejora de la Red de Calidad de Aguas	220	0,0%	DGA	Sectorial / Regional
	6.1.5 Estudios específicos	4.000	0,5%	DGA	Sectorial / Regional
6.2 Control	6.2.1 Capacitación a usuarios estándar menor	500	0,1%	CNR	Sectorial / Regional
	6.2.2 Co Financiar control de extracciones subterráneo	1.500	0,2%	CNR	Sectorial / Regional
7.1 Fortalecimiento	7.1.1 Formalización de Juntas de Vigilancia	1.500	0,2%	DGA	Sectorial / Regional
	7.1.2 Constitución de CASUB	1.200	0,1%	DGA	Sectorial / Regional
	7.1.3 Organización de APR	150	0,0%	DOH	Sectorial / Regional
7.2 Implementación	7.2.1 Implementación de la Gobernanza del Plan Estratégico	300	0,0%	DGA	Sectorial / Regional
	7.2.2 Secretaría Ejecutiva del Plan Estratégico	5.400	0,6%	GORE	Sectorial / Regional
	Total	899.744	100,0%		

Fuente: elaboración propia

El detalle de las inversiones propuestas se presenta en el Anexo J de este documento.

Tabla 8-4. Resumen de inversiones propuestas para la Dirección General de Aguas.

Objetivos	Iniciativas	Costo Total (Millones de \$)	Financiamiento
6.1 Información	6.1.3 Mejora de la Red Hidrométrica	380	Sectorial / Regional
	6.1.4 Mejora de la Red de Calidad de Aguas	220	Sectorial / Regional
	6.1.5 Estudios específicos	4.000	Sectorial / Regional
7.1 Fortalecimiento	7.1.1 Formalización de Juntas de Vigilancia	1.500	Sectorial / Regional
	7.1.2 Constitución de CASUB	1.200	Sectorial / Regional
7.2 Implementación	7.2.1 Implementación de la Gobernanza del Plan Estratégico	300	Sectorial / Regional
	Total	7.600	

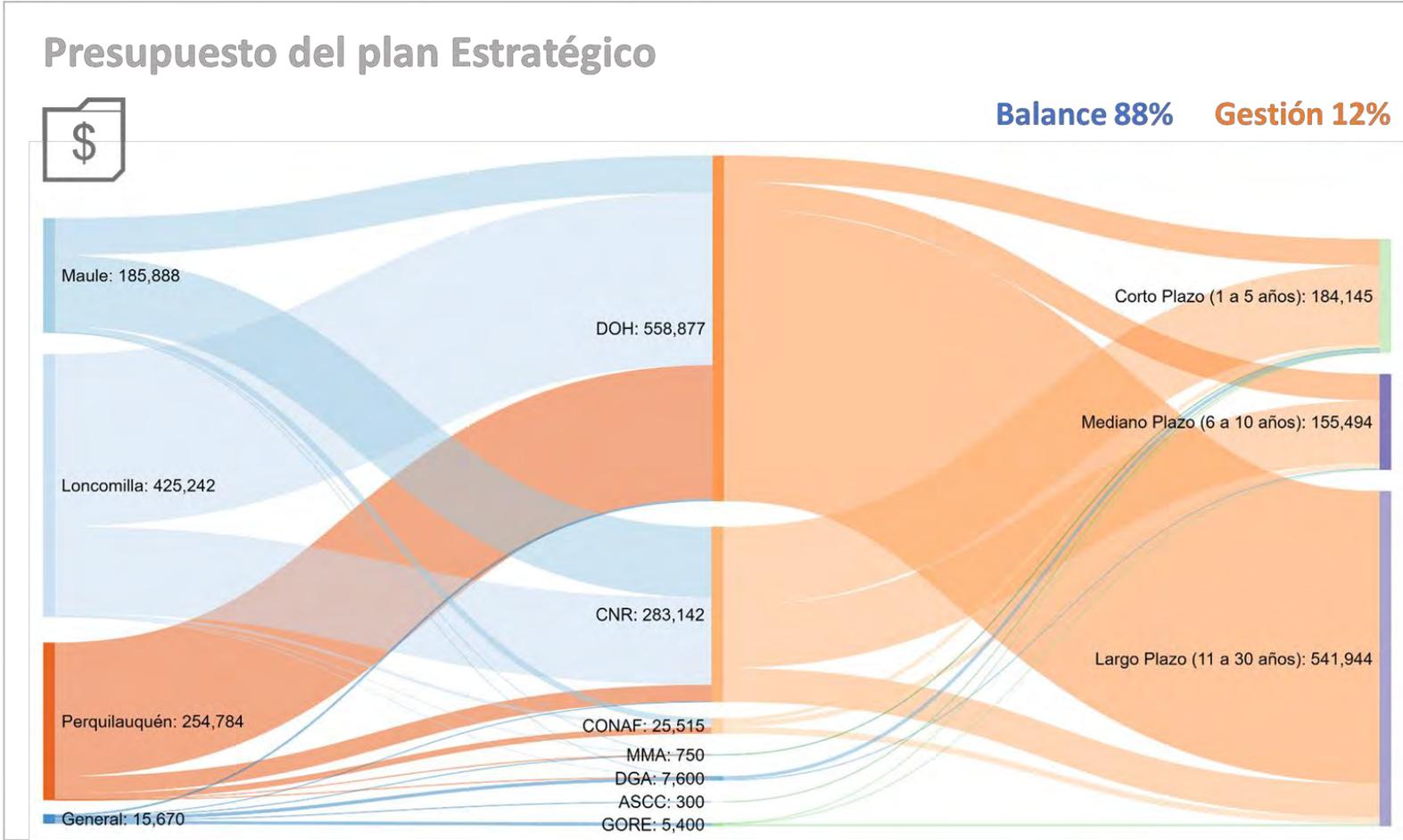
Fuente: elaboración propia

La Tabla 8-5 presenta la inversión por institución, Unidad de Gestión y plazo de ejecución, distinguiendo entre corto plazo (1 a 5 años), mediano plazo (6 a 10 años), y largo plazo (más de 10 años). La inversión total propuesta por la estrategia propuesta es estable en el tiempo, con un promedio de \$29.386 millones al año. Esta misma información se representa en un diagrama de Sankey, en la Figura 8-1.

Tabla 8-5. Resumen del Costo de Inversión del Plan Estratégico y los responsables para su implementación

Responsable	Costo Total del Plan		Costo por Unidad de Gestión (Millones de \$)				Costo por Plazo de Implementación (Millones de \$)		
	Millones de \$	Millones de USD	General	Maule	Loncomilla	Perqui lauquén	Corto	Mediano	Largo Plazo
Dirección General de Aguas	7.600,0	9,5	5.720,0	720,0	830,0	330,0	5.600,0	2.000,0	-
Dirección de Obras Hidráulicas	558.878,0	698,6	3.500,0	60.119,3	278.760,4	216.498,3	42.691,1	43.216,4	472.970,5
Comisión Nacional de Riego	283.141,6	353,9	500,0	114.642,9	140.448,8	27.550,0	127.780,8	100.702,8	54.658,1
Corporación Nacional Forestal	25.514,5	31,9	-	10.205,8	5.102,9	10.205,8	6.123,5	8.674,9	10.716,1
Ministerio de Medio Ambiente	750,0	0,9	250,0	200,0	100,0	200,0	750,0	-	-
Agencia Chilena de Sustentabilidad y Cambio Climático	300,0	0,4	300,0	-	-	-	300,0	-	-
Gobierno Regional	5.400,0	6,8	5.400,0	-	-	-	900,0	900,0	3.600,0
Usuarios*	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	881.584,1	1.102,0	15.670,0	185.888,0	425.242,1	254.784,0	184.145,4	155.494,1	541.944,6

Fuente: elaboración propia



Fuente: elaboración propia

Figura 8-1. Flujo de inversiones entre Instituciones y Unidades de Gestión

8.3 ESTRATEGIA DE IMPLEMENTACIÓN

8.3.1 Gobernanza del Plan Estratégico

El Plan Estratégico es parte de un proceso de mejoramiento continuo, definido en tres etapas: Formulación, Implementación, y Seguimiento y Evaluación. El modelo de Gobernanza propuesto se centra en las etapas del Plan Estratégico, y se resume en la Figura 8-2.

GOBERNANZA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN ESTRATÉGICO



Fuente: elaboración propia

Figura 8-2. Gobernanza para la Implementación del Plan Estratégico

Para la **Formulación del Plan** se requiere una instancia que permita la participación de los distintos actores relacionados con la gestión de los recursos hídricos, usuarios directos e indirectos. En este sentido, la MESA DEL AGUA podría evolucionar en su rol, y de esta forma adquirir una orgánica que le permita conducir en el tiempo los procesos estratégicos del Plan, en este caso, su formulación y actualización. En complemento, ser la instancia que dirima los vacíos o superposiciones que existen entre las funciones de los distintos servicios públicos y actores presentes en el territorio. Esta posibilidad requiere que las decisiones de la mesa sean vinculantes, al menos en alguna medida.

Para la **Implementación del Plan**, se requiere una instancia de coordinación, que no está presente hoy en la cuenca, y que facilite el trabajo conjunto de las distintas entidades responsables de llevar a cabo las iniciativas ya identificadas. Para el **Seguimiento y Evaluación** se requiere también una instancia de coordinación, que lleve un registro permanente de los indicadores, y facilite las revisiones periódicas del Plan formulado, permitiendo su actualización.

8.3.2 Cultura del agua

En forma paralela a la Gobernanza, se debe promover una cultura del agua que comprenda al ciclo hidrológico en su totalidad: con un ordenamiento territorial que favorezca la producción de agua por parte de los ecosistemas; un manejo productivo que permita conservar la calidad de las aguas en las distintas fuentes naturales; y un uso eficiente que permita una intervención responsable de este ciclo.

8.3.2.1 Ordenamiento territorial

La cuenca del Maule cuenta con una amplia diversidad de subcuencas que representan el aporte cordillerano directo (Maule Alto y Melado), precordillerano (Loncomilla y parte alta de Perquillauquén), y del secano interior (Cauquenes y Purapel). Esta diversidad territorial resulta en la necesidad de disponer estrategias de protección del territorio y sus ciclos ecosistémicos principales.

De manera similar a la protección in situ que se realiza mediante áreas silvestres protegidas, y la operacional realizada mediante corredores de la biodiversidad, se debe definir zonas prioritarias para el ciclo hidrológico, donde se promuevan acciones de protección y fomento de la recuperación del funcionamiento original del sistema.

8.3.2.2 Calidad de Aguas

La calidad de las aguas en sus fuentes naturales es uno de los activos de la cuenca del Maule. Sin embargo, es deficiente en las obras de riego aledañas a centros poblados, y se ve amenazada permanentemente por la actividad agrícola e industrial.

Se requiere de la implementación de Buenas Prácticas en agricultura y Agroindustria, al mismo tiempo que se trabaja en la implementación de planes de saneamiento de las aguas servidas, y se fomenta la cultura colectiva para la protección de la calidad de las aguas. Estas acciones, si bien deben ser fomentadas por la autoridad, deben permear a la totalidad de los actores públicos y privados del territorio, lo que requiere un cambio cultural.

8.3.2.3 Eficiencia en el uso del recurso

El Plan Estratégico considera una inversión significativa en aumentar la eficiencia en el uso del agua, principalmente en el sector agrícola. En complemento a la modernización tecnológica, se debe realizar un fuerte programa de capacitación a los usuarios, que disminuya la brecha entre la eficiencia real de los sistemas de riego, y la que realmente se

aplica en el campo, debido a falta de conocimiento, mantención inadecuada, problemas de gestión, etc. Complementariamente, se debe realizar una campaña de eficiencia en el uso del agua en los sistemas de Agua Potable Rural, con el propósito de permitir una mejor gestión de la distribución del agua en estas instalaciones. Al respecto, la constitución de una organización a nivel de cuenca o de región para los APR, representa un avance en la gestión de las aguas para consumo humano.

8.3.3 Normativa

La aplicación de normativas es un aspecto relevante y exclusivo de los organismos del Estado. La gestión de los recursos hídricos se rige, principalmente, por el Código de Aguas, el cual se encuentra en un proceso de revisión que estará sujeto en buena medida a los cambios que se puedan proponer en un eventual proceso constituyente. Se considera que esta materia escapa a los alcances del Plan, por lo que no se aborda dentro de sus contenidos.

En complemento, la implementación de restricciones al otorgamiento o uso de los derechos de aprovechamiento de aguas en la cuenca se aborda dentro de las soluciones basadas en la gestión, que pueden ser consideradas dentro de las estrategias de cada unidad de gestión y sector específicos, por lo que ya han sido consideradas dentro del plan.

El principal aspecto normativo que debe ser abordado es el uso integrado de las aguas superficiales y subterráneas. El Plan basa su propuesta en la sostenibilidad del uso de las aguas superficiales y subterráneas, estableciendo cuotas voluntarias para el aumento de los caudales ecológicos en los principales cursos de agua de la cuenca, y estableciendo una regla de recarga del 100% de las aguas subterráneas consumidas mediante pozos profundos. De esta forma se contrarresta el efecto del Plan sobre los acuíferos de la cuenca.

Sin embargo, se debe definir la modalidad de operación de estos pozos subterráneos, ya sea que se conceden derechos de aprovechamiento al Fisco para su distribución, de derechos provisionales a privados, dependientes del comportamiento de los acuíferos, o **bien de una suerte de derechos "condicionales", sujetos a la recarga efectiva comprobada** en el período anterior a la solicitud de estos derechos.

8.3.4 Fuentes de financiamiento

Las fuentes de financiamiento del Plan pueden ser sectoriales, regionales o internacionales. La fuente principal se considera sectorial, toda vez que buena parte de la inversión se ejecutará desde instituciones como la Dirección de Obras Hidráulicas y la Comisión Nacional de Riego. El detalle se encuentra en el numeral 8.2.2, Cartera de Iniciativas Propuestas.

Se entiende que la dinámica de inversión regional, definida principalmente por los FNDR, está orientada a impulsar aquellos sectores económicos o necesidades sociales cuyas urgencias no pueden ser atendidas en forma adecuada con el financiamiento sectorial. Desde este punto de vista, y dado que el 19,8% del PIB regional depende directamente de actividades relacionadas al ciclo hidrológico (actividades silvoagropecuarias y energéticas),

y otro porcentaje no menor forma parte de los encadenamientos productivos, se espera un apoyo relevante de parte del gobierno regional para la implementación de este Plan.

En particular, un aspecto relevante que puede ser financiado desde el gobierno regional es la implementación de la gobernanza del agua en la cuenca del Maule. No solo en lo que se refiere a los estudios o asesorías para su puesta en marcha, sino que al financiamiento de la estructura técnica que permita su operación, a lo menos en el corto plazo. Esta estructura, que puede tener forma de una secretaría técnica o similar, es altamente necesaria para mantener las acciones de control y balance de la implementación, seguimiento y evaluación del Plan Estratégico.

8.3.5 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, así como su comunicación al resto de los actores regionales con interés en la gestión de los recursos hídricos. La estrategia considera los siguientes elementos:

8.3.5.1 Público objetivo

El público objetivo se divide en aquellos actores participantes de la gobernanza, con responsabilidades en la implementación del Plan; y el resto de la sociedad civil con interés en la gestión de los recursos hídricos.

8.3.5.2 Contenidos a comunicar

En el caso de los actores de la gobernanza, se les debe traspasar el Plan en forma integral, con sus fundamentos, estrategias, acciones, plazos y presupuestos. En particular, se deben abordar desde el punto de vista de esta gobernanza propuesta para el Plan Estratégico, cual es la estructura, los roles, responsabilidades y atribuciones respecto del instrumento. En tanto actores responsables del Plan, dentro de sus facultades está la modificación del mismo, adecuación de sus alcances o acciones, dentro del marco operativo definido por la gobernanza.

Para los actores de la sociedad civil, se espera que estén informados de los contenidos generales del Plan, sus objetivos y externalidades sociales, ambientales y económicas, tales como la solución de los problemas de APR, el aumento del caudal ecológico, y la recarga de acuíferos. De manera similar, la mayor disponibilidad de agua se puede trasladar a mayor producción agrícola (en equivalencias en superficie bajo riego).

Desde este punto de vista, la sociedad civil actúa como un "Consejo consultivo" dentro de la estructura de gobernanza, aportando una mirada externa y amplia respecto de la gestión de los recursos hídricos.

8.3.5.3 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 consideren 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.

9 SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN

El Plan Estratégico es parte de un proceso mejoramiento continuo que permite una gestión adaptativa de los recursos hídricos, adecuándose al avance real en la implementación de las iniciativas propuestas, al resultado obtenido en relación al esperado, y a las condiciones cambiantes del entorno. En este sentido, la etapa de Seguimiento y Evaluación es clave para esta gestión adaptativa.

9.1 SEGUIMIENTO

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

Se proponen tres tipos de indicadores: de **impacto**, expresados en volúmenes de agua, orientados a describir el efecto sobre el balance de recursos hídricos; de **gestión**, expresados en unidades variables, orientados a describir el avance en la implementación de las iniciativas que no necesariamente afectan el balance de recursos hídricos, o cuyo resultado no es cuantificable en volumen de agua; y de **ejecución**, orientados a reflejar el avance en la ejecución presupuestaria comprometida para el Plan Estratégico.

9.1.1 Indicadores de Impacto

Corresponde a las variables de estado de los recursos hídricos y usos del agua en la unidad de gestión, y que dan cuenta del cumplimiento de los Ejes Estratégicos 1, 2 y 3 del Plan Estratégico. Se proponen los siguientes indicadores para un seguimiento anual del estado de los recursos hídricos.

- **Indicadores de Balance Hídrico**

- (1) **Aporte de agua por eje Estratégico y Acción (Hm³)**: estimación del aporte de cada iniciativa efectivamente implementada, expresado estrictamente en Hm³, y en el mismo formato propuesto por la Calculadora Hídrica. Este formato permite llevar una contabilidad directa de la efectividad

del Plan. De esta forma, cada entidad responsable de implementar una acción que contribuya al balance del Plan, debe informar necesariamente los Hm³ aportados por esta acción.

- **Indicadores de Estado**

- (1) **Volumen embalsado (Hm³):** volumen almacenado en forma superficial en forma previa a la temporada de riego.
- (2) **Volumen almacenado en acuíferos (Hm³):** volumen de agua almacenado en acuíferos en función de la recarga, extracciones del período y registro de niveles.
- (3) **Volumen turbinado (Hm³),** corresponde a la cantidad de agua turbinada o bien la energía generada mediante hidroelectricidad.
- (4) **Volumen de agua provisto por camiones aljibe (Hm³),** a ser reportado en forma complementaria al gasto o número de familias atendidas. Se debe comparar con la dotación de referencia para ese mismo número de familias (l/persona/día).

Los Indicadores de Impacto deben permitir, en su conjunto, dar cuenta del aporte del Plan al Balance Hídrico de la Cuenca.

Los Indicadores de Estado, por su parte, dan cuenta de la reducción de la brecha hídrica y el cumplimiento de los criterios de sostenibilidad del Plan.

9.1.2 Indicadores de Gestión

Los indicadores de gestión corresponden al seguimiento de la implementación de las medidas de gestión propuestas dentro del Plan (ejes 4, 5, 6 y 7). En este caso, se propone un reporte anual de cada una de las acciones implementadas, y la programación de las actividades a realizar en el período siguiente. Para cada acción / iniciativa propuesta, se debe identificar el responsable, resultados esperados, el presupuesto, la ejecución realizada en el año y la provisionada para el año siguiente.

9.1.3 Indicadores de Ejecución

Corresponden al seguimiento de las iniciativas de inversión, en financiamiento, ejecución, plazos y resultados.

- **Iniciativas públicas**

- (1) **Ejecución:** cumplimiento de la inversión programada en el período.
- (2) **Eficacia:** cumplimiento de los objetivos propuestos para el período.

- **Iniciativas privadas**

- (1) **Ejecución:** cumplimiento de la inversión programada en el período.
- (2) **Eficacia:** cumplimiento de los objetivos propuestos para el período.

Estos indicadores permiten llevar el control financiero del Plan, con el propósito de establecer las necesidades de financiamiento de corto, mediano y largo plazo.

9.1.4 Responsable del Seguimiento

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

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

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

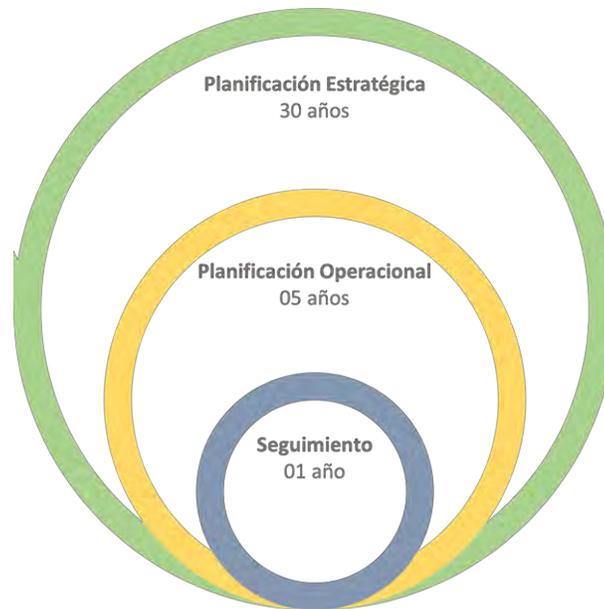
Complementariamente, para que el seguimiento sea efectivo, esta información debe ser pública, para ser sometida al escrutinio de la sociedad civil.

9.2 EVALUACIÓN

El instrumento propuesto es un Plan Estratégico, con un horizonte de planificación de 10 y 30 años. Si bien es imprescindible contar con una mirada de largo plazo, se debe contar también con Planes de Gestión de corto plazo, que permitan incorporar de manera permanente las mejoras que se requieran para el Plan general, producto del análisis de la ejecución del mismo, de sus resultados, y de los cambios de contexto.

Por lo tanto, se requiere un ejercicio permanente de evaluación y adaptación, que se traduce en Planes de Gestión quinquenales, donde se revise el cumplimiento dentro del período anterior, y se ajusten las iniciativas a las demandas del momento. El ciclo de planificación y revisión se presenta en la Figura 9-1.

Según la estructura de gobernanza propuesta para el Plan Estratégico, estos planes quinquenales deben ser coordinados por la Secretaría Ejecutiva, y validados por el Consejo de Cuenca.



Fuente: elaboración propia

Figura 9-1. Ciclo de Planificación y Evaluación

10 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

10.1 Discusión

Se presentan a modo de comentario algunos de los temas que han resultado del análisis precedente, con el propósito de profundizar en las consideraciones a tener en cuenta en la implementación del Plan Estratégico.

10.1.1 Modelos computacionales

Los modelos WEAP y MODFLOW ajustados representan una herramienta clave en la estimación de los efectos futuros del cambio climático, así como la efectividad general y local de las iniciativas propuestas. Sin embargo, la calidad del ajuste es variable espacialmente, con sectores hidrológicos de aprovechamiento común que no han podido ser descritos en forma adecuada, como Los Puercos, Cauquenes o Purapel, principalmente por la falta de datos de referencia para la calibración de los modelos. Por esta razón, se debe trabajar en forma continua sobre los modelos, con el propósito de incorporar nuevos antecedentes, mejoras en las relaciones descritas, ajustes locales. Para mantener estos **modelos "vivos"**, se deben distribuir no solo a los servicios públicos, sino que también a los actores privados. En el diseño propuesto para la Gobernanza, la Secretaría Ejecutiva debiera ser la responsable de la actualización de los modelos y simulaciones asociadas.

10.1.2 Efectos del cambio climático en la recarga de acuíferos

Si bien existen distintas proyecciones de cambio climático, todas coinciden en una disminución de las precipitaciones en la cuenca del Maule. Este menor aporte de agua resulta en menor escurrimiento superficial y menores recargas a los acuíferos, que hace que estos se encuentren al límite de la sustentabilidad para el año 2050.

En consecuencia, si bien se propone una Gestión de Aguas Subterráneas que se basa en la sustentabilidad de los acuíferos, respaldando las extracciones adicionales con una recarga equivalente, de todas maneras se experimentaría un deterioro en la disponibilidad de agua como resultado de las condiciones ambientales. Por esta razón, se debe evaluar una consideración adicional de **Superavit Estructural para la recarga de acuíferos**, en donde la recarga exceda a la extracción asociada, con el propósito de contrarrestar la menor recarga esperada a futuro.

10.1.3 Innovación en la red de distribución de agua de riego

La red de captación y conducción de las aguas en forma extrapredial, los canales de riego, constituyen una de las infraestructuras de mayor extensión y relevancia dentro de la cuenca. En el análisis realizado, se les asignan dos roles que podrían competir entre sí, ya que por un lado se propone el revestimiento de canales, para reducir las pérdidas asociadas a la conducción; y por el otro, emplear la misma red para la recarga de acuíferos.

Si bien esta dualidad puede ser resuelta con obras adicionales emplazadas a un costado de la red de distribución (piscinas de infiltración o similares), también queda la opción de innovar dentro de la infraestructura propiamente tal, que en la práctica no ha experimentado cambios en cientos de años (con la excepción de la automatización de las captaciones).

10.1.4 Aumento de la demanda agrícola

Uno de los efectos del Plan Estratégico es el aumento en la disponibilidad de agua por la implementación de nuevas fuentes, pero también el aumento de la seguridad producto de la reducción de la demanda. Si bien no se ha establecido ninguna estrategia para regular la demanda de agua (salvo el aumento de eficiencia), existe el riesgo de que ante la mayor disponibilidad de agua, el consumo -principalmente agrícola- se dispare, cope este aumento, y vuelva a enfrentar niveles de baja seguridad de abastecimiento.

No se dispone de mecanismos públicos ni privados para regular la demanda, ni el desarrollo agrícola, salvo el establecimiento de incentivos (como la Ley de Riego). En este sentido, se pueden establecer umbrales de uso, sobre los cuales cese la aplicación de estos incentivos.

Complementariamente, el desarrollo de un mercado de agua puede establecer tarifas o precios de transferencia diferenciados en función de la disponibilidad de agua, y de esta forma desincentivar el uso del agua a medida que se acerca a los límites del sistema. Sin embargo, esta es una medida teórica y de largo plazo.

10.1.5 Definición de un caudal ambiental

El análisis de brechas respecto del caudal ecológico se centró en los ecosistemas acuáticos, pero no incorporó otras consideraciones que también forman parte del concepto de caudal ambiental o caudal base. De esta forma, requerimientos de caudal para uso turístico, o bien para uso industrial (por ejemplo, caudales de dilución), deben ser incorporados dentro de futuros ajustes del Plan Estratégico.



Fuente: elaboración propia

Figura 10-1. Consideraciones sobre el Plan Estratégico

10.1.6 Participación ciudadana

El estudio fue planificado múltiples actividades donde de forma transversal existía un proceso de participación ciudadana. Este se consignaba diversas instancias que contemplaban reuniones y talleres en donde se pudiera realizar un diagnóstico participativo y se generaran instancias de colaboración. Estas actividades fueron propuestas de manera presencial, para poder cumplir con los objetivos y alcances del estudio.

Debido a la situación sanitaria en la que se ejecutó el proyecto en el año 2020, se generaron metodologías de trabajo y participación remota. Las herramientas que se utilizaron fueron plataformas de videoconferencia y se amplió el uso de la mensajería instantánea y correo electrónico para el intercambio de información.

Dado que estas metodologías no habían sido utilizadas con anterioridad por la gran mayoría de los participantes, en cada contacto se tuvo que reforzar la idea de que esta iba a ser la metodología de participación, poniendo a disposición diversos canales de comunicación. Como brecha de esta nueva metodología de participación se reflejó una escasa interacción con los participantes dentro de los talleres participativos, sin embargo los objetivos

propuestos fueron conseguidos con otras herramientas como encuestas interactivas o formularios online.

Además se detectó la baja participación de aquellos perfiles que generalmente usaban con menor frecuencia los medios de comunicación computacional. Para reducir dicha brecha se generaron encuestas vía telefónica tradicional, lo que ayudó para la difusión del plan y levantamiento de información.

Respecto al levantamiento de información y su accesibilidad se debe generar una instancia regional que permita agrupar y actualizar la información de los recursos hídricos, con el objetivo de tener una ventana única de información y llegar a una coordinación para los proyectos futuros.

Finalmente como conclusión, el modo remoto permitió una relación más activa con cada uno de los actores lo cual generó un flujo de información fructífero para hacer el levantamiento de información y los trabajos de planificación.

10.2 Conclusiones

La principal conclusión del Plan Estratégico es que es posible establecer una hoja de ruta que permita abordar los problemas hídricos de la cuenca, y que este camino técnicamente viable y económicamente realista en función de los presupuestos destinados a la fecha.

La cuenca del Maule es un sistema hidrológico complejo, con distintos subsistemas superficiales y subterráneos, que tradicionalmente ha sido intervenido para la generación hidroeléctrica, así como la producción agrícola y forestal. No obstante el alto grado de regulación de los flujos de agua, la cuenca es excedentaria y presenta oportunidades de gestión tanto de las aguas superficiales como subterráneas.

Para materializar estas oportunidades se debe recurrir a un **Sistema de Soluciones**, que considere no solo **Soluciones basadas en la Ingeniería** (aproximación tradicional), sino que también **Soluciones basadas en la Gestión** y **Soluciones basadas en la Naturaleza**. De esta forma se reducen los costos de implementación, los plazos requeridos para la solución de las brechas, y se aumenta la sostenibilidad de los recursos hídricos y los usos asociados.

La implementación de estas soluciones requiere de un **trabajo conjunto entre distintos tipos de actores**, públicos, usuarios de las aguas, y la academia y la sociedad civil, donde cada parte es responsable de aportar recursos, coordinar, y verificar que se cumplan los resultados del Plan Estratégico.

Para coordinar la participación de estos actores se requiere una **gobernanza**, que establezca atribuciones y responsabilidades de cada uno de ellos, y que estructure la colaboración, permita gestionar los financiamientos requeridos en el tiempo, sea responsable del seguimiento de los resultados del Plan Estratégico y de los ajustes que sean necesarios.

Finalmente, la gobernanza requiere una hoja de ruta o **Plan Estratégico** sobre el cual realizar una bajada, que se convierta en un Plan de Acción. Pero sobre todo, se requiere de un proceso de planificación permanente (formulación, implementación, seguimiento), que cuente con el apoyo de todos los actores de la cuenca.



Fuente: elaboración propia

Figura 10-2. Esquema general de las conclusiones