



ESCENARIOS  
HÍDRICOS  
**2030**  
C H I L E

# Transición Hídrica

*El futuro del agua en Chile*







**TRANSICIÓN HÍDRICA**  
**EL FUTURO DEL AGUA EN CHILE**  
 Chile, Junio 2019  
 ISBN: 978-956-8200-49-7  
 ISBN: 978-956-8200-50-3 (Volumen 1)

**Expertos que apoyaron el desarrollo de los diferentes componentes de la Transición Hídrica:**

- Javier Vitale, Universidad Nacional de Cuyo – Argentina
- Patricia Puebla, Universidad Nacional de Cuyo – Argentina
- Mauro Nalesso, Banco Interamericano de Desarrollo – Estados Unidos
- Jorge Ducci, Banco Interamericano de Desarrollo – Chile
- Pedro Coli, Banco Interamericano de Desarrollo – Estados Unidos
- Efraín Rueda, Consultor Banco Interamericano de Desarrollo - Estados Unidos
- Eduardo Bustos, Centro Cambio Global UC
- Alejandra Figueroa, Consultor experto en evaluación ambiental
- Simón Bruna, Consultor experto en evaluación ambiental
- Humberto Peña, Consultor experto en evaluación regulatoria e institucional
- Daniela Duhart, Consultor experto en evaluación regulatoria e institucional
- Lorena Herrera, Consultor experto en evaluación social
- Jacobo Homsí, Consultor experto en evaluación económica
- Eugenio Soto, Consultor experto en evaluación económica

**Profesionales que colaboraron:**

- Valentina Cárdenas, Ingeniero Ambiental
- Paola Díaz, Ingeniero Civil Industrial
- Camila Romero, Ingeniero Ambiental

**Equipo Edición de Contenidos:**

- Alejandro Jadresic, Fundación Chile
- Marcos Kulka, Fundación Chile
- Andrés Pesce, Fundación Chile
- Diego Luna, Fundación Futuro Latinoamericano
- Ulrike Broschek, Fundación Chile
- Claudia Galleguillos, Fundación Chile
- Paola Matus, Fundación Chile
- Débora Gomberoff, Fundación Chile
- Anahí Ocampo, Fundación Chile

- María José Gómez, Fundación Chile
- Martín Fuentes, Fundación Chile
- Adriana López, Fundación Chile
- Jorge Alarcón, Fundación Chile
- Gabriel Caldés, Consultor Fundación Chile

**Comunicaciones y Marketing:**

- Katherine Noack, Fundación Chile
- Macarena León, Fundación Chile
- Loreto Velázquez, Fundación Chile
- Catalina Besio, Fundación Chile
- Mauricio Becerra, Fundación Chile
- Paula Larraín, Fundación Chile
- Erika López, Fundación Chile

**Edición General:**

Consuelo Fernández

**Diseño y Diagramación**

Verónica Zurita V.

Micaela Moles

Mauricio Becerra

**Impresión:**

Imprenta Fyrma Gráfica Ltda.

EH2030 cuenta con el apoyo del AquaFund, principal fondo de financiamiento temático del BID para agua y saneamiento, creado en el 2008. El AquaFund es financiado con recursos propios del BID y de socios donantes como el Gobierno de Austria, la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID), la Fundación PepsiCo y la Cooperación Suiza a través de su Agencia para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE) y el Secretariado de Estado para Asuntos Económicos (SECO).

Publicación sin fines comerciales. Reservados todos los derechos. Queda autorizada su reproducción y distribución con previa autorización y citando fuente como: "Escenarios Hídricos 2030-EH2030, (2019). Transición Hídrica: El futuro del agua en Chile. Fundación Chile, Santiago, Chile".

**Consideraciones:**

Los contenidos de esta publicación son el resultado de un proceso de diálogo, construcción colectiva y acuerdos básicos con los participantes de Escenarios Hídricos 2030, iniciativa que tiene por propósito impulsar la seguridad hídrica y sustentabilidad del recurso en Chile. Sin embargo no se representa, ni se pretenden reflejar la opinión y/o visión individual de las instituciones participantes, sino presentar la información surgida desde el proceso. Tampoco se representa necesariamente la posición de las organizaciones que forman parte del Comité Ejecutivo. La sistematización de este proceso estuvo a cargo del equipo de edición de contenidos, conformado por Fundación Chile y Fundación Futuro Latinoamericano.

**Notas:**

1. La Confederación de Canalistas de Chile no suscribe el presente documento por no estar de acuerdo con la metodología utilizada en el proceso y sus resultados, particularmente en lo referido a los árboles de problemas en las cuencas y las soluciones propuestas.
2. La Sociedad Nacional de Agricultura participa de la iniciativa EH2030, pero no suscribe el presente documento.

## GOBERNANZA ESCENARIOS HÍDRICOS 2030 PARA EL DESARROLLO DE ESTA PUBLICACIÓN

Coordinación y facilitación



Comité Ejecutivo



- Ministerio de Obras Públicas
- Ministerio del Medio Ambiente
- Ministerio de Agricultura
- Dirección General de Aguas



Comité Técnico



- Instituto Nacional de Hidráulica
- Dirección de Obras Hidráulicas
- Dirección General de Aguas

Especialistas temáticos invitados



Grupo Construcción de Escenarios



- Ministerio de Obras Públicas
- Ministerio del Medio Ambiente
- Ministerio de Minería
- Ministerio de Energía
- Ministerio de Hacienda
- Ministerio del Interior y Seguridad Pública
- Ministerio de Agricultura
- Dirección General de Aguas
- Dirección de Obras Hidráulicas
- Instituto Nacional de Hidráulica
- Comisión Nacional de Riego
- Instituto de Desarrollo Agropecuario
- Comisión Chilena del Cobre
- Superintendencia de Servicios Sanitarios
- Servicio Nacional de Geología y Minería
- Corporación Nacional Forestal



Nota: Si bien la Sociedad Nacional de Agricultura (SNA) participó del proceso, en el Comité Ejecutivo, Grupo Construcción de Escenarios y mesas de trabajo de las cuencas de Aconcagua, Maipo y Maule, dicha institución no suscribe la presente publicación. Sin perjuicio de lo anterior, la SNA ha confirmado su permanencia en la iniciativa.

# ÍNDICE

	<b>PRÓLOGO</b>	<b>9</b>
<b>1</b>	<b>GÉNESIS DE UNA ESCASEZ</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>DESARROLLADORES DE SEQUÍA: UNA OPORTUNIDAD DE CAMBIO</b>	<b>18</b>
	2.1. RADIOGRAFÍA DE UN RIESGO	18
	2.2. CONSTRUYENDO JUNTOS EL FUTURO DEL AGUA EN CHILE	22
<b>3</b>	<b>CONSTRUYENDO PUENTES</b>	<b>26</b>
	3.1. LAS CUENCAS ESCOGIDAS	26
	3.2. DESEO VERSUS REALIDAD	28
	3.3. CAUSA-EFECTO DE LOS PROBLEMAS	29
	3.4. MEDIDAS, ACCIONES Y SOLUCIONES	32
<b>4</b>	<b>EL FUTURO NO SE PREDICE, SE CONSTRUYE</b>	<b>40</b>
	4.1. EXPLORANDO LOS PROBLEMAS EN LAS CUENCAS	40
	4.2. ESCENARIO FUTURO TENDENCIAL HORIZONTE 2030-2050	42
	4.3. ESCENARIO FUTURO SUSTENTABLE HORIZONTE 2030-2050	46
	<b>CUENCA RÍO COPIAPÓ</b>	<b>50</b>
	Situación actual y procesos críticos	51
	Construcción colectiva de la situación futura	56
	• Escenario Tendencial 2030-2050	56
	• Escenario Sustentable 2030-2050	60
	Árbol de problemas	64
	<b>CUENCA RÍO ACONCAGUA</b>	<b>70</b>
	Situación actual y procesos críticos	71
	Construcción colectiva de la situación futura	76
	• Escenario Tendencial 2030-2050	76
	• Escenario Sustentable 2030-2050	80
	Árbol de problemas	84
	<b>CUENCA RÍO MAIPO</b>	<b>92</b>
	Situación actual y procesos críticos	93
	Construcción colectiva de la situación futura	98
	• Escenario Tendencial 2030-2050	98
	• Escenario Sustentable 2030-2050	103
	Árbol de problemas	108

<b>CUENCA RÍO MAULE</b>	<b>114</b>
Situación actual y procesos críticos	115
Construcción colectiva de la situación futura	120
• Escenario Tendencial 2030-2050	120
• Escenario Sustentable 2030-2050	124
Árbol de problemas	128
<b>CUENCA RÍO LEBU</b>	<b>134</b>
Situación actual y procesos críticos	135
Construcción colectiva de la situación futura	140
• Escenario Tendencial 2030-2050	140
• Escenario Sustentable 2030-2050	144
Árbol de problemas	147
<b>CUENCA RÍO BAKER</b>	<b>152</b>
Situación actual y procesos críticos	153
Construcción colectiva de la situación futura	158
• Escenario Tendencial 2030-2050	158
• Escenario Sustentable 2030-2050	161
Árbol de problemas	164

<b>5 ACORTANDO LA BRECHA</b>	<b>172</b>
5.1. TRANSICIÓN HÍDRICA	172
5.2. EJE 1: GESTIÓN E INSTITUCIONALIDAD DEL AGUA	176
5.3. EJE 2: CONSERVACIÓN Y PROTECCIÓN DE NUESTROS ECOSISTEMAS HÍDRICOS	182
5.4.EJE 3: EFICIENCIA Y USO ESTRATÉGICO DEL RECURSO HÍDRICO	185
5.5.EJE 4: MIGRACIÓN E INCORPORACIÓN DE NUEVAS FUENTES DE AGUA	188
5.6. ANALISIS DE ALGUNAS MEDIDAS, ACCIONES Y SOLUCIONES PERTINENTES EN LAS CUENCAS SELECCIONADAS	191
5.7. UNA MIRADA AL TERRITORIO	197
5.8. LA NECESIDAD DE UNA POLÍTICA HÍDRICA DE ESTADO QUE MOVILICE LA TRANSICIÓN HÍDRICA	204

<b>6 REFLEXIONANDO EL FUTURO</b>	<b>208</b>
GLOSARIO DE TÉRMINOS	211
SIGLAS Y ABREVIATURAS	215
BIBLIOGRAFÍA	216
AGRADECIMIENTOS	224



# PRÓLOGO

***“Si buscas resultados distintos, no hagas siempre lo mismo”***

Albert Einstein

*“El agua es un factor vital de producción, por lo que la disminución de los suministros de ésta puede traducirse en un crecimiento más lento. Algunas regiones podrían ver sus tasas de crecimiento disminuidas en hasta un 6% del PIB al 2050, como resultado de los problemas relacionados con el agua” (BM, 2016).*

Escenarios Hídricos 2030 nace en el año 2016, articulando un espacio de diálogo y construcción colectiva con los diferentes actores y sectores claves para la elaboración de insumos, análisis y discusión, que contribuyan a alcanzar la seguridad hídrica al año 2050, en beneficio de los diferentes sectores productivos, las comunidades y el medio ambiente.

En la primera publicación de la iniciativa, denominada ***Radiografía del Agua: Brecha y Riesgo Hídrico en Chile*** (EH2030, 2018), se buscó entender ¿Qué territorios estaban siendo afectados por los efectos del Cambio Climático y qué tipo de problemas se daban con las intervenciones antrópicas en el territorio? A partir de la integración de la mejor información disponible, se analizaron los componentes: meteorológicos (precipitaciones y temperatura); tendencia de los caudales superficiales en el tiempo; tendencia en los niveles de acuíferos; retroceso de glaciares; captación, consumo y devolución de las aguas superficiales o subterráneas de los sectores productivos de agricultura, minería, agua potable y saneamiento, industria, energía y pecuario, así como las aguas lluvias que son consumidas por las plantaciones forestales y la agricultura de secano.

Los resultados obtenidos en la ***Radiografía del Agua*** y otros estudios nacionales e internacionales, dan cuenta del creciente riesgo que enfrenta el país en cuanto a seguridad hídrica, situación que se empieza a reflejar en el aumento de conflictos socioambientales, en diversos territorios a lo largo del país. Aspectos como: la situación de las aguas subterráneas, la actual ***Brecha Hídrica*** y la falta de información, muestran que el actual sistema de gestión del agua en Chile, presenta fallas. Si a esto sumamos los efectos

que ya está mostrando el Cambio Climático en Chile, podríamos llegar a un escenario futuro donde sea muy difícil garantizar el recurso para todos los usos. Necesitamos de manera urgente, revertir esta tendencia.

Chile está dentro de los 30 Estados del mundo con mayor estrés hídrico, donde se destaca como la única nación latinoamericana que pasará a un estrés hídrico extremadamente alto al año 2040. Es una de las naciones con mayor probabilidad de enfrentar una disminución en el suministro de agua, debido a los efectos combinados del alza de las temperaturas en regiones críticas y los cambios en los patrones de precipitación (WRI, 2015).

*“Las políticas relativas a los recursos hídricos deben reforzarse aún más para garantizar un desarrollo más sostenible, ya que está previsto que aumente la demanda con el alto grado de especialización de los sectores intensivos en agua. El actual sistema de uso de los recursos hídricos ha exacerbado la sobreexplotación de algunos acuíferos, lo que ha provocado escasez de agua potable en aldeas rurales y conflictos entre comunidades locales e indígenas, agricultores, empresas mineras e hidroeléctricas”* (OCDE, 2016; citado por OCDE, 2018).

**¿Cómo vamos a enfrentar la situación del agua en Chile?** Los diversos análisis indican la necesidad de cambiar el actual enfoque y generar nuevas formas de gestión del agua. Chile debe cambiar la tendencia e iniciar una Transición Hídrica, reconociendo los problemas y limitaciones que ponen en riesgo nuestro propio desarrollo. Es responsabilidad de todos crear puentes y abrir puertas a nuevas formas de hacer las cosas, recuperando las confianzas, uniendo voluntades, dialogando, impulsando políticas y soluciones colaborativas, que permitan construir juntos el futuro del agua al año 2050.

Esta publicación denominada **Transición Hídrica: El futuro del agua en Chile**, propone un cambio de enfoque, poniendo énfasis en 4 ejes estratégicos: **gestión e institucionalidad del agua**, como el engranaje fundamental que moviliza y habilita soluciones en el corto, mediano y largo plazo. En segundo lugar, las tendencias y recomendaciones a nivel mundial, sugieren que se deben tomar las medidas necesarias para **proteger y conservar nuestros ecosistemas hídricos**, dado que son la base fundamental para la vida y cualquier desarrollo posible. Generalmente, son acciones implementables en el corto plazo para obtener beneficios al mediano y largo plazo, siendo ésta la estrategia óptima para la adaptación a las nuevas condiciones climáticas que debemos enfrentar.

El tercer eje que plantea la Transición Hídrica es la **eficiencia y el uso estratégico del recurso**, donde se debe manejar la demanda de agua en forma responsable. Se estima que el uso eficiente y responsable del agua, por parte de los sectores productivos intensivos en su consumo, podría reducir considerablemente la brecha actual y futura del vital recurso. Asimismo, se invita a avanzar en la priorización y uso estratégico del recurso, donde se garantice el derecho humano al agua, la protección de sectores vulnerables y la diversificación productiva en los territorios.

El último eje es la **migración e incorporación de nuevas fuentes de agua**, donde los usuarios intensivos de agua se desacoplan de las fuentes de agua natural en la cuenca, dejándola disponible para otros usos vinculados a la conservación y mantención de procesos vitales. Se introduce nueva agua fresca para mantener los procesos productivos, generando sinergias en los territorios e impulsando proyectos multipropósito, con el fin de maximizar los beneficios y oportunidades para el desarrollo del entorno en su conjunto. Al mismo tiempo, se reducen los Riesgos Hídricos al mitigar y compensar los potenciales impactos ambientales y sociales negativos.

Esta publicación muestra los resultados de un proceso de diálogo multisectorial de poco más de dos años y medio, construido desde la mejor información disponible, el conocimiento, la experiencia, las necesidades y realidades de diversos actores, sectores y territorios. Adicionalmente, se pone sobre la mesa un portafolio con 212 Medidas, Acciones y Soluciones (MAS), como insumo para reducir Brecha Hídrica y abrir nuevas oportunidades de avanzar en diferentes niveles, nacional, sectorial o local.

Los invitamos a ser parte activa de esta Transición Hídrica, con una mirada puesta en soluciones colaborativas, relevando la urgencia que Chile cuente con una política hídrica con la necesaria validación social, política y técnica. Solo así se podrá enfrentar la escasez, la sobreexplotación del recurso, los efectos del Cambio Climático y habilitar el desarrollo de una economía circular, donde se desacople el crecimiento del uso del recurso, integrando el agua en la ecuación de desarrollo.

#### **EQUIPO DE COORDINACIÓN Y FACILITACIÓN**

Fundación Futuro Latinoamericano,  
Fundación AVINA y Fundación Chile  
Escenarios Hídricos 2030



© Ciénago de El Namo, Maule, 2015, Mónica Teñías

EN EL MUNDO SE HAN CONOCIDO MEDIDAS, ACCIONES Y SOLUCIONES PARA MITIGAR LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO. DEBEMOS AVANZAR CON SENTIDO DE URGENCIA HACIA LA ADAPTACIÓN DE LAS NUEVAS CONDICIONES CLIMÁTICAS.



© Ciénago de El Namo, Maule, 2019, Mónica Teñías

CHILE SERÁ EL ÚNICO PAÍS LATINOAMERICANO CON ESTRÉS HÍDRICO EXTREMADAMENTE ALTO AL AÑO 2040 (WRI, 2015).



# 1. GÉNESIS DE UNA **ESCASEZ**

Chile, por su ubicación geográfica y condiciones climáticas, es uno de los países que está siendo más afectado por el Cambio Climático. “El país cumple con siete de los nueve criterios de vulnerabilidad enunciadas por la Convención Marco de la Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) a saber: posee áreas costeras de baja altura; zonas áridas y semiáridas; zonas de bosques; territorio susceptible a desastres naturales; áreas propensas a sequía y desertificación; zonas urbanas con problemas de contaminación atmosférica y ecosistemas montañosos” (MMA, 2017a).

Los efectos del Cambio Climático y la sobreexplotación de las fuentes de agua<sup>1</sup> no solo causan la escasez hídrica que presentan algunas áreas del país, sino también están dañando nuestros ecosistemas hídricos que son importantes proveedores del recurso. *“El agua es un factor vital de producción, por lo que la disminución de los suministros de ésta puede traducirse en un crecimiento más lento. Algunas regiones podrían ver sus tasas de crecimiento disminuidas en hasta un seis por ciento del PIB al 2050 como resultado de los problemas relacionados con el agua”* (BM, 2016).

La problemática hídrica está instalada, dejando al país con una vulnerabilidad en lo ambiental, social y económico, aumentando la exposición a eventuales conflictos sociales, políticos y económicos.

Dentro de las principales causas de la falta de agua, se encuentra el Cambio Climático que provoca eventos extremos (sequías e inundaciones) y un incremento de la demanda de agua por parte de las actividades productivas, que deriva en la sobreexplotación del recurso en algunos territorios.

En este contexto, la iniciativa Escenarios Hídricos 2030 (EH2030) nace por la necesidad de abordar los problemas del agua en un entorno complejo, generando análisis e insumos como aporte para la implementación de soluciones que permitan enfrentar la adaptación a los nuevos escenarios, acortar las Brechas Hídricas y así alcanzar la seguridad en esta materia.

Ante la falta de acuerdos, visiones compartidas y procesos de diálogos formales para la construcción de políticas y planes hídricos de largo plazo, Escenarios Hídricos 2030 se conformó como un espacio de construcción colectiva con la institucionalidad pública, privados, investigadores, expertos, ONGs y una representatividad de usuarios del agua en las cuencas.

---

1. A enero de 2019 existen 41 comunas con decretos de escasez hídrica del MOP, entre la región de Coquimbo y la región del Maule ([http://www.dga.cl/DGADocumentos/Decretos\\_vigentes.jpeg](http://www.dga.cl/DGADocumentos/Decretos_vigentes.jpeg)).

Uno de los elementos de valor con que ha contribuido este proceso colaborativo es evidenciar que cuando se generan condiciones adecuadas y se dialoga en igualdad de circunstancias, es posible abordar los desafíos del agua con una mirada colectiva e integradora de largo plazo. De esta manera, y pese a la divergencia de posiciones, intereses e información en algunos aspectos, fue posible encontrar puntos en común entre los distintos actores y visualizar los consensos y disensos al momento de desarrollar una visión sustentable del recurso.

**Transición Hídrica: El futuro del agua en Chile**, es la segunda publicación de la iniciativa Escenarios Hídricos 2030 (EH2030), que continúa con el proceso iniciado a partir de **Radiografía del Agua: Brecha y Riesgo Hídrico en Chile** (EH2030, 2018), profundizando el análisis en seis cuencas hidrográficas a lo largo de todo el territorio nacional –Copiapó, Aconcagua, Maipo, Maule, Lebu y Baker–. En estas cuencas se levantaron y analizaron las distintas realidades de los territorios, identificando los factores clave que pueden poner en riesgo al recurso hídrico, las que fueron analizadas con las instituciones nacionales y locales que conocen las necesidades y realidades de sus sectores y territorios para construir escenarios hídricos futuros.

La invitación es a seguir trabajando por el futuro del agua en Chile, reconociendo los esfuerzos que han hecho los distintos sectores para mejorar la gestión de este recurso. En este camino se ha identificado un abanico de opciones para reducir **Brecha Hídrica**, las que se presentan en forma detallada en un portafolio de medidas, acciones y soluciones, denominado **MAS Seguridad Hídrica**. Con este aporte, se espera contribuir a la toma de decisiones para la gestión hídrica, sumando esfuerzos y acciones tanto a nivel país, como en las cuencas.

## GOBERNANZA EH2030

### Nivel nacional y territorial

Sectores productivos, ciudadanía, ONGs, academia y sector público.

+ 55 Instituciones participantes de EH2030

50 Sesiones formales de la gobernanza de EH2030

46 Sesiones de trabajo en cuencas seleccionadas

15 Sesiones de trabajo en territorio con actores locales

+ 30 Especialistas nacionales e internacionales



© Big\_Chile

EL DERECHO HUMANO AL AGUA Y SU DISTRIBUCIÓN EQUITATIVA ES UNA RESPONSABILIDAD COMPARTIDA DE TODOS.



© Pétorca, Gerardo Díaz.

92 MIL MILLONES DE PESOS GASTÓ EL ESTADO DE CHILE ENTRE 2010 Y 2016 PARA EL ARRIENDO DE CAMIONES ALJIBE QUE ABASTECIERON A 400.000 HABITANTES (CIPER, 2017).



## 2. DESARROLLADORES DE SEQUÍA: UNA OPORTUNIDAD DE CAMBIO

Hoy en día se estima que hay 3.600 millones de personas (casi la mitad de la población mundial) viviendo en áreas con riesgo de sufrir escasez de este elemento al menos un mes al año, y que esta cifra podría ascender entre 4.800 y 5.700 millones en el 2050 (WWAP/ONU-Agua, 2018).

Considerada esencial para la supervivencia y el bienestar de los seres vivos, el agua se reparte de forma desigual en el espacio y el tiempo, estando sometida a presión por su uso como consecuencia de las actividades humanas y los factores climáticos.

### 2.1 RADIOGRAFÍA DE UN RIESGO

#### *¿Cuál es la situación de Chile respecto al recurso hídrico?*

En los últimos años, el país ha evidenciado una creciente escasez de agua dulce a lo largo del territorio, causada por la disminución paulatina de las precipitaciones y el alza de las temperaturas, así como la sobreexplotación del recurso<sup>2</sup>, lo que comienza a limitar su uso vital, generando diversos efectos en las distintas zonas.

Lo anterior, ha sido reportado en numerosos estudios e informes –entre ellos– **Radiografía del Agua: Brecha y Riesgo Hídrico en Chile** (EH2030, 2018), que identificó como uno de los problemas más relevantes el progresivo aumento de la Brecha y Riesgo Hídrico<sup>3</sup>.

#### **Brecha y Riesgo Hídrico:**

Entre los años 2000 y 2014, el análisis del componente atmosférico del país evidenció una sequía meteorológica con un desbalance generalizado, donde las precipitaciones no alcanzaron a cubrir las necesidades hídricas de la cobertura vegetal actual. De igual manera, los eventos extremos de inundaciones y aluviones provocados por episodios de fuertes lluvias en corto tiempo, se han manifestado con mayor frecuencia en los últimos años, con pérdidas económicas, sociales y ambientales no evaluadas (EH2030, 2018).

Respecto a las aguas subterráneas, también se ha notado un descenso en la disponibilidad del recurso hídrico, donde 110 acuíferos del territorio nacional se encuentran actualmente con una demanda comprometida superior a su recarga (Ministerio del Interior, 2015).

---

2. A juicio de SONAMI “El recurso hídrico utilizado con fines productivos ha permitido el desarrollo económico del país, transformándolo en uno de los más prósperos de la región. En consecuencia, SONAMI no comparte algunas expresiones de connotación negativa en relación al uso del recurso en el pasado, en particular, las relacionadas a sobreexplotación. La escasez del recurso observada en la actualidad, a entender de SONAMI, se explica por la disminución de la oferta hídrica, por razones climáticas u otras, y a un sobre otorgamiento de derechos de agua en un escenario que cambió, posterior al otorgamiento de dichos derechos”.

3. La **Radiografía del Agua** (EH2030, 2018), define la **Brecha Hídrica** como un indicador que muestra la relación entre la demanda potencial de agua y la oferta hídrica referencial en las fuentes de abastecimiento. Nueve cuencas en Chile al año 2015, presentan Brecha Hídrica alta, usando más del 40% de la oferta hídrica. Seis cuencas tienen Brecha Hídrica media, donde se utiliza entre un 20 y 40% de la oferta hídrica referencial. Por otro lado, el **Riesgo Hídrico** es definido como la posibilidad de que ocurra un daño social, ambiental y/o económico en un territorio y período de tiempo determinado, derivado de la cantidad y calidad de agua disponible para su uso.



Nos encontramos en un punto de inflexión con respecto al futuro del agua en Chile y en el mundo. Mantener las actuales prácticas de gestión y uso del recurso hídrico nos llevarán a una crisis difícil de revertir. Sin embargo, aún estamos a tiempo de decidir qué camino seguir.

Esto se ratificó en la **Radiografía del Agua** donde de 203 pozos monitoreados por la DGA, ubicados entre la región de Arica y Parinacota y O´Higgins, 147 (72%) presentaron una tendencia negativa estadísticamente significativa, es decir, son aguas subterráneas que eventualmente se agotarán (EH2030, 2018).

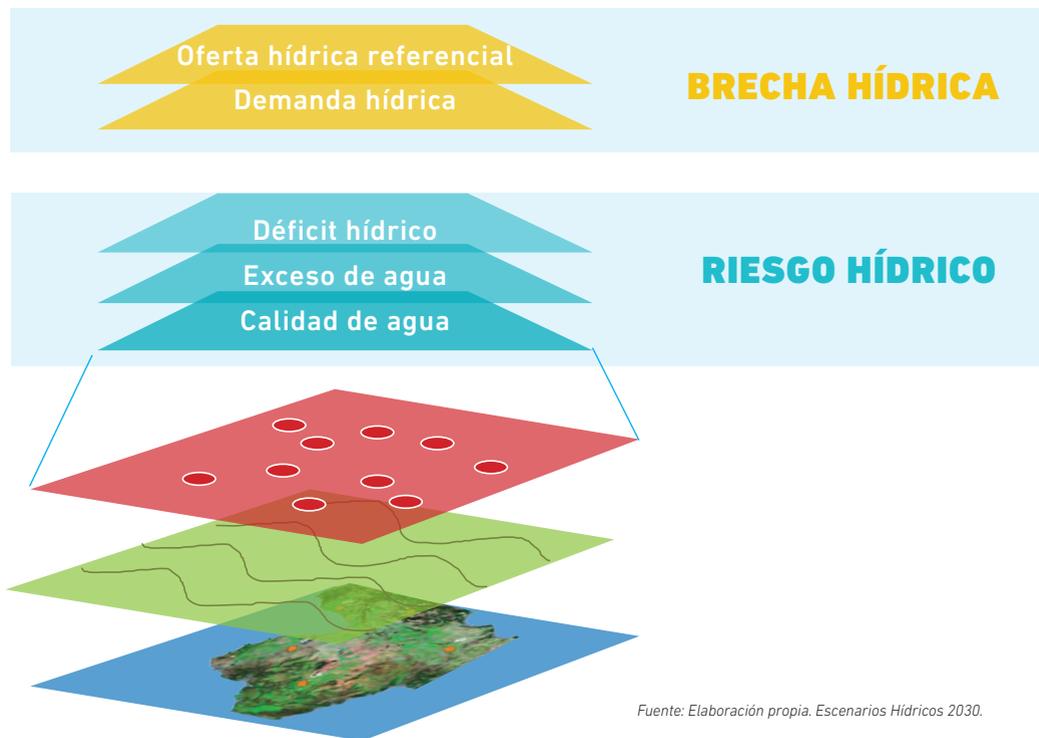
Por otra parte, en el mismo estudio se concluyó que la totalidad de los glaciares investigados a lo largo de todo el país registran retroceso areal y frontal o pérdida de masa a partir del año 2003, con una sola excepción en la Región Metropolitana (glaciar El Rincón).

En 2011 se estimó para Chile una Brecha Hídrica de 82,6 m<sup>3</sup>/s, que al año 2030 aumentará a 149 m<sup>3</sup>/s (Ministerio del Interior, 2015), si no se toman las medidas adecuadas y en el momento oportuno. El país se ubica entre los 30 Estados del mundo con mayor estrés hídrico, donde se destaca a Chile como la única nación latinoamericana que pasará a un estrés hídrico extremadamente alto al año 2040 (WRI, 2015)<sup>4</sup>.

4. *Ranking the World's Most Water-Stressed Countries in 2040. Cada país con estrés hídrico se ve afectado por una combinación diferente de factores. Chile, por ejemplo, proyecta pasar de un estrés hídrico medio en 2010 a un estrés extremadamente alto en 2040, siendo una de las naciones con mayor probabilidad de enfrentar una disminución en el suministro de agua, debido a los efectos combinados del alza de las temperaturas en regiones críticas y los cambios en los patrones de precipitación.*

## FIGURA 1. DEFINICIÓN CONCEPTUAL Y METODOLÓGICA

Los conceptos centrales en la **Radiografía del Agua** son: **Brecha Hídrica** y **Riesgo Hídrico**, los cuales han sido analizados en detalle y que contienen cada uno de los componentes que forman parte del ciclo del agua.



La **Radiografía del Agua** es el levantamiento de indicadores en el territorio, que dan cuenta de la tendencia histórica del recurso hídrico en Chile y la situación actual.

Otro factor relevante en la Brecha Hídrica es la sobreexplotación del recurso, producto del incremento en la demanda de agua, que se ve agravada debido al sobre otorgamiento de derechos de aprovechamiento de aguas ocurrido en las últimas décadas. En la **Radiografía del Agua** se estimó que los Derechos de Aprovechamiento de Agua (DAA) consuntivos y permanentes registrados en el Catastro Público de Aguas (CPA) de la Dirección General de Aguas (DGA) y actualizados a diciembre de 2017, superan más de seis veces la captación<sup>5</sup> de aguas a nivel nacional, donde se puede destacar las regiones sur-australes como aquellas con mayor diferencia.

Un 76% de la superficie de Chile afectada por desertificación, degradación de las tierras y sequía, donde el 72% aproximadamente de las tierras del país tiene algún grado de sequía en sus diferentes categorías (Sud-Austral Consulting SpA, 2016)<sup>6</sup>.

Otro elemento importante que influye en los impactos al recurso hídrico, dice relación con su gestión y la dificultad para establecer una política nacional. Ya en el año 2013, el Banco Mundial evidenciaba que Chile posee un marco institucional complejo, con participación de 43 actores institucionales, incluyendo organismos de gobierno, organizaciones de

usuarios de agua y organismos autónomos, recomendando diferentes soluciones como:

- **Medidas que se pueden realizar dentro del marco institucional** y legal vigente.
- **Medidas que requieren nuevos reglamentos**, modificaciones a los reglamentos existentes o modificaciones legales menores.
- **Medidas que involucran la creación de nuevas instituciones**, teniendo como consecuencia cambios administrativos, reglamentarios y legales de mayor profundidad.

---

5. **Captación:** volumen de agua dulce superficial y/o subterránea extraída de fuentes naturales para ser utilizada por diferentes usuarios.  
6. Esta publicación corresponde a un subproducto asociado a la Consultoría "Alineación de los contenidos del actual Programa de Acción Nacional contra la Desertificación, con la Estrategia Decenal de la Convención de Naciones Unidas de Lucha contra la desertificación (CNULD)", que realizó la Empresa Consultora Sud-Austral Consulting SpA por encargo de la Unidad de Cambio Climático y Servicios Ambientales (UCCSA) de la Gerencia de Desarrollo y Fomento Forestal (GEDEFF) de la Corporación Nacional Forestal (CONAF).

## 2.2. CONSTRUYENDO JUNTOS EL FUTURO DEL AGUA EN CHILE

A inicios de 2016, motivados por el positivo impacto generado en la política pública energética a partir de la iniciativa Escenarios Energéticos Chile 2030 y los valiosos aprendizajes de su proceso de diálogo; Fundación Chile, Fundación Avina y Fundación Futuro Latinoamericano se aventuraron a diseñar y articular un nuevo proceso colaborativo y multisectorial enfocado esta vez en el agua.

Motivados por la dinámica de sumar procesos hacia una política de Estado y frente a los múltiples síntomas de escasez hídrica en el país, Escenarios Hídricos 2030 propuso abordar el agua desde una perspectiva distinta, más allá de la discusión normativa en torno a la modificación del Código de Aguas, considerando los valiosos avances producidos a partir de diversas iniciativas.

En este contexto se puso como meta agregar valor a una discusión hídrica nacional, teniendo presente tres nuevas dimensiones:

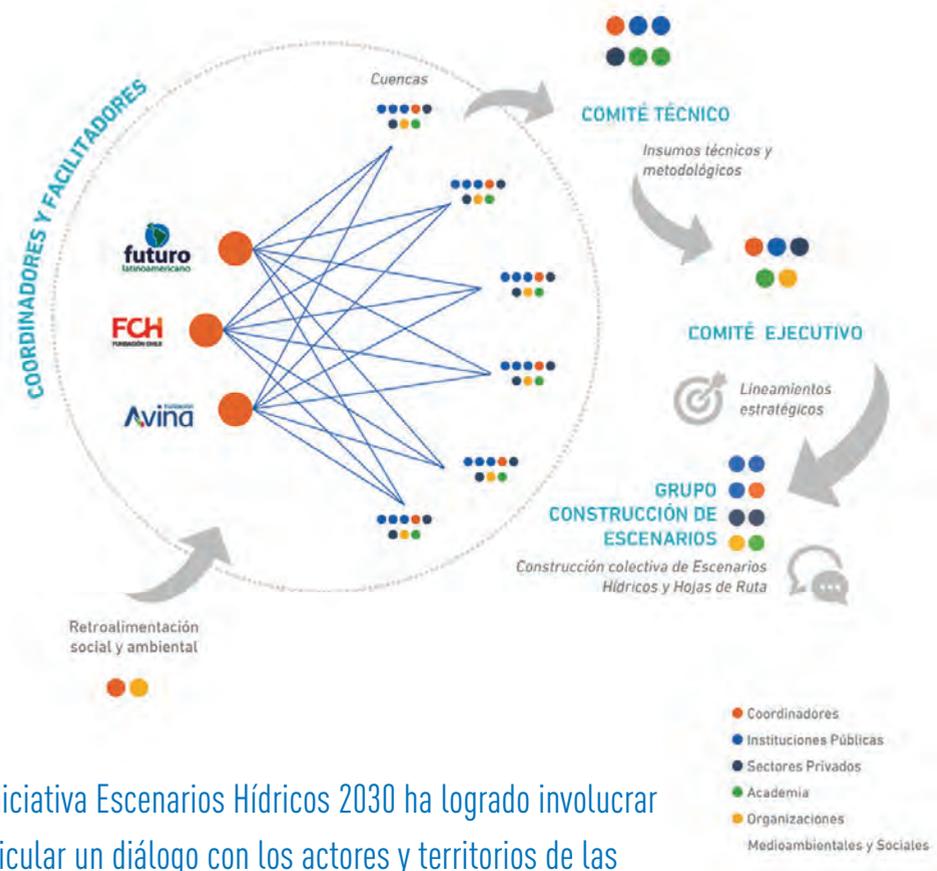
- 1. ¿Qué problemas específicos del territorio provocan la Brecha y el Riesgo Hídrico? ¿Cuáles son sus causas?*
- 2. ¿Cuáles son los posibles escenarios futuros de no enfrentar los problemas en las cuencas versus abordarlos?*
- 3. ¿Qué hacemos para enfrentar la Brecha y el Riesgo Hídrico?*

Con esta motivación, se avanzó en el diseño de la iniciativa contemplando en su gobernanza a representantes de distintos sectores y visiones, con una estructura basada en tres espacios de trabajo:

- 1) Comité Ejecutivo (CE)**
- 2) Comité Técnico (CT)**
- 3) Grupo Construcción de Escenarios (GCE)**

Posteriormente, se añadió un nuevo espacio de articulación denominado "Diálogo con ONGs", para reforzar la visión ambiental, de conservación y sustentabilidad del agua (Ver Figura 2).

FIGURA 2. ESQUEMA GOBERNANZA DE LA INICIATIVA EH2030

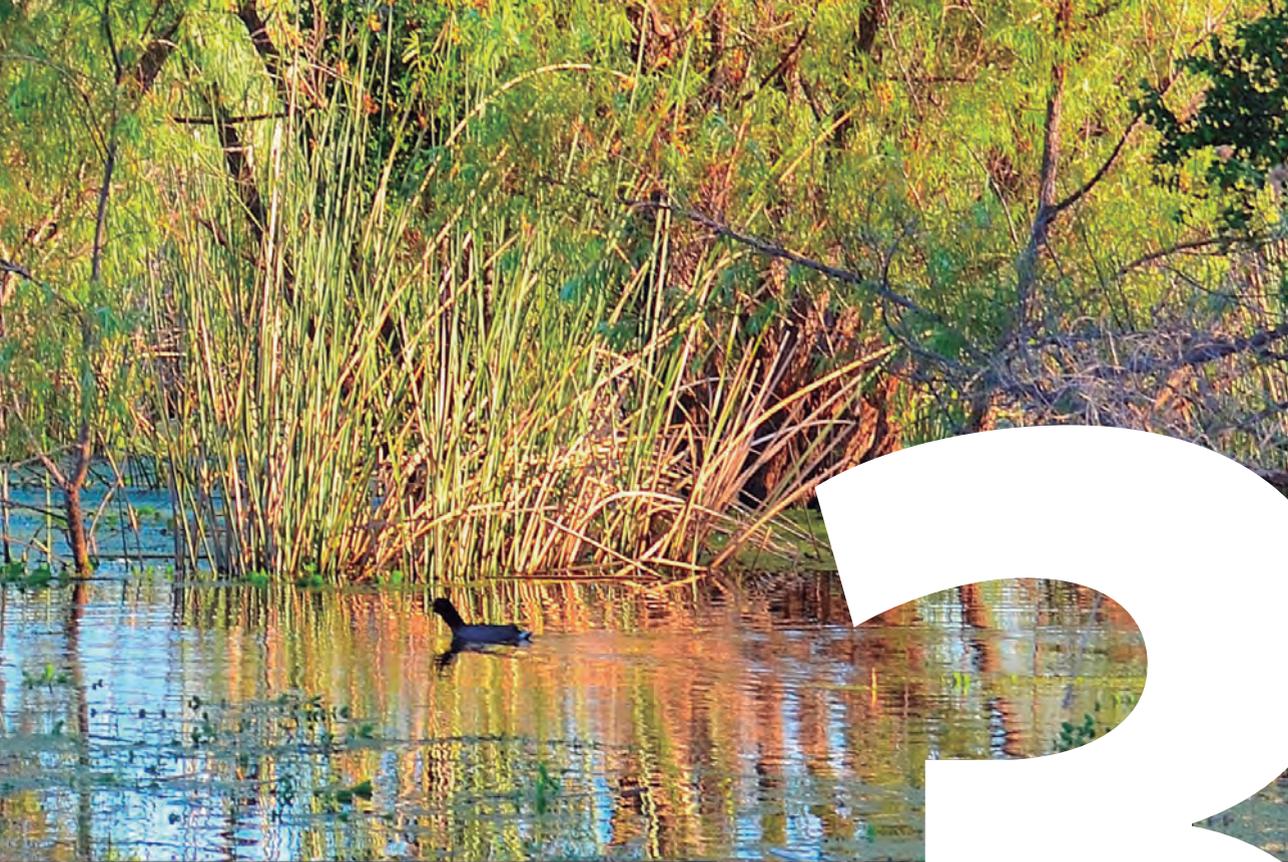


La iniciativa Escenarios Hídricos 2030 ha logrado involucrar y articular un diálogo con los actores y territorios de las cuencas trabajadas. Se han llevado a cabo 13 sesiones del Comité Ejecutivo, 23 del Comité Técnico, 12 del Grupo Construcción de Escenarios, 4 de Diálogo con ONGs y más de 60 reuniones para las distintas cuencas, donde participan más de 55 organismos.

Fuente: Elaboración propia. Escenarios Hídricos 2030.

EL USO SUSTENTABLE DE LOS ACUÍFEROS Y OTROS ECOSISTEMAS HÍDRICOS, PERMITIRÁ RESGUARDAR LA PROVISIÓN DE AGUA PARA EL DESARROLLO FUTURO DE CHILE.

110 ACUÍFEROS DE CHILE SE ENCUENTRAN ACTUALMENTE CON UNA DEMANDA COMPROMETIDA SUPERIOR A SU RECARGA (MINISTERIO DEL INTERIOR, 2015), EXISTIENDO UN SOBRE OTORGAMIENTO DE DERECHOS DE APROVECHAMIENTO DE AGUA QUE SUPERA MÁS DE SEIS VECES LA EXTRACCIÓN ACTUAL DEL RECURSO A NIVEL NACIONAL (EH2030, 2018).



3

## 3. CONSTRUYENDO PUENTES

Lograr un equilibrio entre las distintas visiones en una sociedad compleja, es un desafío permanente. Una de las principales apuestas -y a la vez un desafío de Escenarios Hídricos 2030- ha sido construir un "mínimo común compartido", integrando acuerdos y disensos, ponderando distintas miradas públicas, privadas, académicas y de la sociedad civil en igualdad de condiciones, haciendo el máximo esfuerzo por balancear y representar la diversidad de opiniones que se registran en el proceso.

El diálogo ha adoptado un enfoque de innovación social (con base en insumos técnicos/científicos, donde se privilegia la mejor información disponible), una colaboración radical y sinérgica, una apertura al aprendizaje colectivo sobre la base de un objetivo común que apunta al uso racional, compartido y sustentable del agua.

Los vacíos de información sobre el agua en Chile han llevado al proceso de diálogo a tener que establecer criterios para la inclusión de datos, los que se aplicaron en el siguiente orden:

1. Mejor información disponible según dato oficial
2. Fuentes fidedignas aceptadas por los actores
3. Visiones acordadas entre todos los actores
4. Disensos para casos en que no hay acuerdo
5. Señalar que la información no existe y debe ser desarrollada

### 3.1. LAS CUENCAS ESCOGIDAS

La discusión desarrollada en las distintas instancias de participación, llevó a la selección de seis cuencas hidrográficas para la construcción colectiva de escenarios hídricos futuros y propuestas de soluciones para abordar la Brecha Hídrica.

El Comité Ejecutivo estableció tres criterios para la selección de cuencas:

- Información de la **Radiografía del Agua: Brecha y Riesgo Hídrico en Chile.**
- Representatividad geográfica, teniendo presente las macrozonas en el país.
- Cuencas elegidas por los distintos sectores usuarios de este recurso.

Las seis cuencas fueron seleccionadas considerando la criticidad hídrica, la representatividad nacional y la selección por parte de los diferentes sectores participantes: Copiapó, Aconcagua, Maipo, Maule, Lebu y Baker.

# PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS HÍDRICOS FUTUROS

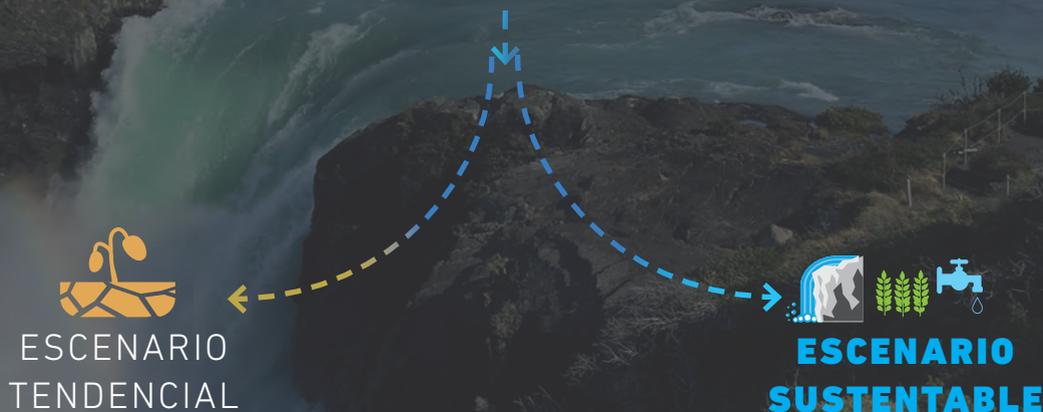


## SELECCIÓN DE CUENCAS



- 1 Cuenca Río Copiapó
- 2 Cuenca Río Aconcagua
- 3 Cuenca Río Maipo
- 4 Cuenca Río Maule
- 5 Cuenca Río Lebu
- 6 Cuenca Río Baker

## IDENTIFICACIÓN DE LOS PROBLEMAS DE BRECHA Y RIESGO HÍDRICO



Estas cuencas presentan diferentes realidades y desafíos en la gestión del recurso. Mientras Copiapó presenta un déficit hídrico estructural; Aconcagua y Maule proyectan un crecimiento productivo diverso con un recurso hídrico limitado; Maipo concentra la mayor población demográfica en Chile con una creciente frecuencia de eventos extremos; Lebu es una cuenca costera con alta sequía meteorológica; y Baker es una cuenca transfronteriza con un futuro desarrollo de múltiples sectores, siendo una de las cuencas estratégicas que sostiene las mayores reservas de agua del país.

### 3.2. DESEO VERSUS REALIDAD

Un escenario es una narración de la descripción de una situación futura (imagen/visión) y la trayectoria de eventos (acciones), que permiten pasar de una situación inicial a una deseada. El Grupo Construcción de Escenarios (GCE) lideró el desarrollo de Escenarios Hídricos, iniciando su labor en enero de 2017.

Para el desarrollo de esta iniciativa se trabajó con la metodología de prospectiva<sup>7</sup>, que considera una etapa de certidumbre al proceso (antecedentes y datos que permitan evaluar tendencia y modelar el futuro) y otra fase que aborda la incertidumbre a través de la participación, conocimiento y experiencia de los distintos sectores y actores.

La dinámica ha sido visibilizar contextos actuales y proyectar dos futuros posibles:

**a) Escenario Tendencial:** escenario futuro al 2030 y 2050 que considera un desenlace basado en la trayectoria y dinámica actual del recurso hídrico, sin una intervención adicional intencionada (conocido en inglés como escenario BAU- business as usual).

**b) Escenario Sustentable:** escenario futuro que permite alcanzar la seguridad hídrica al año 2050. Es el escenario futuro que estima un desenlace óptimo, producto de una intervención intencionada de los actores que logra dar seguridad hídrica para el desarrollo de todos los usuarios del agua, incluido el medio ambiente.

“La prospectiva es un proceso sistemático y participativo para recopilar conocimientos sobre el futuro y construir visiones a mediano y largo plazo, con el objeto de orientar las decisiones que han de tomarse en el presente, y movilizar las acciones conjuntas para construir ese futuro deseado” (Vitale y Puebla, 2017).

7. La metodología de prospectiva utilizada, fue guiada por los expertos argentinos Javier Vitale, del Instituto Nacional de Tecnología Agraria y Patricia Puebla, del Instituto Nacional del Agua y del Ambiente, ambos docentes de la Universidad de Cuyo, Mendoza, Argentina.

La **metodología prospectiva** contempla cinco etapas:



Para este trabajo se recopiló información que respaldan los diversos procesos críticos identificados, los que derivaron en documentos de apoyo al trabajo de prospectiva, denominados documento de 'evidencias' y 'resumen' de las cuencas. Las matrices morfológicas y escenarios hídricos construidos, fueron elaborados por los participantes del Grupo Construcción de Escenarios y, posteriormente, revisados y ajustados con actores locales de cada cuenca.

### 3.3. CAUSA-EFECTO DE LOS PROBLEMAS

En base al trabajo de prospectiva, se aplicó la **metodología de árbol de problemas**<sup>10</sup>, como herramienta participativa para identificar las causas y efectos de los problemas hídricos levantados en las cuencas, que permiten establecer metas a alcanzar. Cabe señalar que las causas y los problemas identificados en los árboles, están determinados por el análisis de prospectiva desarrollado y no sobre un diagnóstico completo del territorio.

Los árboles fueron analizados y complementados en las mesas de cada cuenca en relación a cómo estos problemas se generan, impactan e interactúan en cada una de las zonas estudiadas.

8. **Procesos críticos:** Son procesos de transformación que influyen afectan al objeto de estudio, impulsan al sistema y co-determinan los escenarios. En este caso, el objeto de estudio es lograr la seguridad y sustentabilidad del recurso hídrico.

9. **Proceso crítico invariable:** proceso determinado en los que se puede predecir su comportamiento futuro, basado en evidencia científica técnica. **Proceso crítico variable:** proceso transformador, cuyo comportamiento futuro podrá variar. Posee mayor incertidumbre y no se conoce cómo se comportará en el futuro.

10. El trabajo de construcción de árboles de problema fue liderado por el Centro de Cambio Global de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

# Principales hitos y pasos de la **metodología prospectiva**, que dieron como resultado las narrativas tendenciales y sustentables para las seis cuencas.

EL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SE ABORDA CON MEDIDAS DE ADAPTACIÓN, FORTALECIENDO LA CAPACIDAD DE RESILIENCIA FRENTE A EVENTOS EXTREMOS Y LOGRANDO LA PROTECCIÓN DE LAS FUENTES DE AGUA.

CUENCA ACONCAGUA



Narrativas ACONCAGUA



Escenarios Hídricos en Ecuador

EL DESARROLLO PONE ÉNFASIS EN LA CONSERVACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES, LO QUE PERMITE PLANTEAR LAS ACCIONES Y MEDIDAS DE MITIGACIÓN NECESARIAS PARA ALCANZAR LA SUSTENTABILIDAD.

CUENCA BAKER



Narrativas BAKER



BID en Cuenca de Maule

PARA ABORDAR LAS POSIBLES EXTERNALIDADES NEGATIVAS DE LAS MEDIDAS, ACCIONES Y SOLUCIONES, SE GESTIONA UN SISTEMA DE MITIGACIÓN Y COMPENSACIÓN DE AGUAS, QUE VA EN DIRECTO BENEFICIO DE TODOS LOS CONSUMIDORES.

CUENCA MAULE



Narrativas MAULE



Comité Ejecutivo



Narrativas COPIAPÓ



Reunión con Generadoras de Chile



Grupo Construcción de Escenarios



Narrativas LEBU

SE GENERAN NUEVOS MODELOS Y SINERGIAS DE INVERSIÓN PÚBLICO-PRIVADO, CON UNA ACTIVA PARTICIPACIÓN DE LA SOCIEDAD CIVIL, LO QUE PERMITE GESTIONAR SOLUCIONES MULTIPROPÓSITOS PARA EL CORRECTO USO DEL AGUA.

CUENCA LEBU



Grupo Construcción de Escenarios



Encuentros con ONG's



Grupo Construcción de Escenarios

DEBIDO A LA APLICACIÓN DE UN CONJUNTO DE MEDIDAS QUE ABORDAN EN FORMA SISTÉMICA EL TERRITORIO, SE REDUCE EN EL MEDIANO PLAZO LA TASA DE DISMINUCIÓN DEL ACUÍFERO CON OBJETO DE EXTENDER SU VIDA ÚTIL.

CUENCA COPIAPÓ



Narrativas MAIPO

LOS ACUÍFEROS SE UTILIZAN EN EQUILIBRIO, LOGRANDO ASEGURAR UN VOLUMEN DEL RECURSO HÍDRICO SUSTENTABLE PARA LOS DIFERENTES USUARIOS, SIN AFECTACIÓN Y MANTENIENDO LOS ECOSISTEMAS.

CUENCA MAIPO

### 3.4. MEDIDAS, ACCIONES Y SOLUCIONES

Otro componente del trabajo fue el levantamiento de un Portafolio de Medidas, Acciones y Soluciones, **MAS Seguridad Hídrica**, para abordar los problemas del agua. Este trabajo fue desarrollado con la participación de diversos expertos como: proveedores de soluciones hídricas, consultores, académicos, embajadas, especialistas internacionales y actores de los territorios. El portafolio **MAS Seguridad Hídrica** forma parte de la presente publicación y se puede descargar desde el sitio web [www.escenarioshidricos.cl](http://www.escenarioshidricos.cl)

El propósito del portafolio es dar a conocer el amplio espectro de alternativas existentes para acortar la Brecha Hídrica y mitigar el Riesgo Hídrico, abordándolos desde la gestión e institucionalidad del agua, conservación y protección de nuestros ecosistemas hídricos, eficiencia y uso estratégico del recurso hídrico y, finalmente, migración e incorporación de nuevas fuentes de agua. Presenta 212 medidas, acciones y soluciones caracterizadas en cuanto a sus beneficios, limitaciones, impactos sociales y medioambientales, costos de inversión referenciales y ejemplos de su aplicación. Estas medidas fueron analizadas a nivel general, debiendo ser posteriormente evaluadas en mayor detalle para su selección y dimensionamiento en un territorio específico.

Cabe señalar que el análisis de externalidades y condiciones habilitantes de las MAS, fue realizado por equipos de expertos, aplicando metodologías reconocidas a nivel internacional, las que se describen a continuación. Para mayor información respecto de las metodologías aplicadas y los resultados obtenidos, ver Informe de Expertos (disponible en <https://www.escenarioshidricos.cl/multimedia/>).



## **Análisis de impacto ambiental**

Se presenta una descripción general y un análisis cualitativo de los potenciales impactos positivos y negativos de la MAS en el medio ambiente, jerarquizados en bajo, medio o alto. El análisis fue desarrollado por expertos en la temática, donde la evaluación entregada es una estimación global en base a conocimiento especialista, documentos técnicos y científicos consultados, proyectos actuales y sus impactos, condición de los ecosistemas terrestres y acuáticos y datos sobre caudales históricos. No responde a una evaluación de impacto ambiental tal cual regulada en el SEIA (Figueroa, 2019). Dentro de los criterios utilizados para analizar el impacto de las MAS de conservación, eficiencia y nuevas fuentes, destacan:

### **a. Alteración de la biodiversidad:**

- Componente hídrico en cantidad y calidad
- Relación vegetación-suelo
- Fauna hidrobiológica y terrestre

### **b. Eficiencia en el uso del recurso hídrico**

Los criterios utilizados para analizar el impacto ambiental de las MAS en gestión y gobernanza, destacan:

- Favorece a la conservación de la biodiversidad
- Favorece la gestión del agua
- Mejora la eficiencia del recurso hídrico.

El impacto ambiental positivo se entiende como una incidencia que aporta al sistema, mientras que el impacto ambiental negativo es entendido como una degradación ambiental que debe mitigarse y compensarse al implementar la MAS en el territorio.

## **Análisis de impacto social**

El análisis se basa en la metodología utilizada a nivel internacional, la que, para este caso, permite identificar cualitativamente los beneficios, costos, externalidades y conflictos sociales, de cada MAS catastrada. El análisis fue desarrollado por una experta en la temática, quién para la realización de este trabajo usó los conceptos de evaluación social de proyectos, externalidades y conflicto social. Todo ello con el fin de poder emitir un pronunciamiento de lo que se denominó "impacto social". Los criterios usados para determinar el impacto social son:

**a. Evaluación social:** implica una mirada desde el punto de vista de la sociedad en su conjunto, a través de un proceso que permite identificar, medir y valorar los beneficios y costos que conlleva una iniciativa de inversión.

- **Beneficios:** Es la eventual liberación de un recurso escaso, lo que puede darse por la optimización del uso de agua potable (demanda), o bien, por el aumento en la disponibilidad del recurso agua (oferta).
- **Costos:** Se refiere a consumir los recursos disponibles en el mercado, principalmente son los costos de adquisición de las tecnologías o implementación de la medida.

**b. Externalidades:** son aquellos efectos positivos o negativos que puede traer una medida, acción o solución, y que si bien no es el objetivo de su implementación, genera un impacto en la función de

utilidad de un individuo o un territorio. Principalmente para este caso, se trató de externalidades medio ambientales.

- c. **Conflictos sociales:** son la falta de acuerdos, persistentes en el tiempo, y que afecta a un grupo grande de individuos o varios grupos sociales. En general, los conflictos sociales tienen relación con lo que podrían eventualmente percibir los habitantes en cuanto a sus derechos, beneficios y/o intereses, frente a la implementación de cada medida: cambios en su estilo de vida, en el paisaje, en la flora y/o fauna, etc. Se realiza una clasificación del impacto social en tres categorías:
- **Impacto social negativo bajo,** donde predominan los beneficios sociales y externalidades positivas, no presentando conflictos.
  - **Impacto social negativo neutro,** donde se identifican tantos beneficios y externalidades positivas como también, externalidades negativas y conflictos sociales, siendo todos ellos de similar peso.
  - **Impacto social negativo alto,** donde predominan las externalidades negativas y conflictos sociales.

### Costos referenciales

Se levantó información referencial de los costos de inversión y operación (CAPEX y OPEX) de las diferentes MAS, excepto en los casos donde su valoración económica no tenga factibilidad, siguiendo los siguiente criterios de prioridades en orden jerárquico:

- a) **Valoración de CAPEX y OPEX** de MAS probadas y con antecedentes ajustados a la realidad de Chile.
- b) **Búsqueda de CAPEX y OPEX en MAS** implementadas en otros países, utilizando este valor como referencial que debe ser ajustado a Chile.
- c) **Búsqueda de valores de mercado** de productos que se venden en Chile.
- d) **Valores referenciales** de mano de obra en construcción en Chile, los cuales deben ser ajustados a cada lugar donde posteriormente se busque su implementación.

Para este análisis, los costos no consideran las inversiones o costos de operación que puedan ser adicionales para la implementación de la MAS en un territorio determinado, por ejemplo, terrenos y/o servidumbres.

A objeto de poder obtener un costo medianamente representativo de los tamaños aplicables, en función de los requerimientos específicos de los distintos escenarios del estudio y permitir colateralmente un análisis comparativo entre las soluciones, se optó metodológicamente por definir tres escalas de valorización, de acuerdo con el siguiente detalle:

Individual	1 m <sup>3</sup> /d
Comunitario / Industrial	1.000 m <sup>3</sup> /d
Cuenca	100.000 m <sup>3</sup> /d

### Condiciones legales e institucionales

**(habilitadoras):** Son las condiciones del entorno que pueden facilitar o retardar la implementación de las MAS, entre las cuales se encuentran los mecanismos financieros, los temas legales, institucionales y de coordinación (gobernanza), así como los mecanismos para inducción de comportamiento (Peña, 2019. Para EH2030, 2019).

Para el análisis de las condiciones habilitadoras, es necesario distinguir los siguientes aspectos:

- *El entorno* que resulta pertinente considerar en el análisis de una determinada MAS (depende del tipo de actor).
- *La naturaleza* de la limitación o facilidades que la condición habilitadora introduce a la MAS.
- *El nivel de las condiciones habilitadoras*, según se trate de factores estructurales, que afectan a un conjunto amplio de MAS, o de condiciones habilitadoras específicas y propias de una MAS en particular.

Las condiciones habilitadoras se pueden clasificar según su naturaleza:

- **Condicionantes normativas y legales**
- **Institucionales**
- **Financieras**
- **De conocimiento/ culturales**

Además, se identifican **nueve condiciones habilitadoras fundamentales**, siendo las que condicionan directa o indirectamente, a través de su incidencia en otras condiciones habilitadoras, la aplicación de un gran número de MAS. Se trata de componentes del marco legal, institucional, de financiamiento o de conocimiento, que subyacen a muchos factores que limitan o facilitan la efectiva utilización de las MAS.

El portafolio **MAS Seguridad Hídrica**, contiene 212 posibles medidas, acciones y soluciones para reducir Brecha Hídrica, las que han sido evaluadas para su aplicación a nivel nacional.

FIGURA 3. PRINCIPALES ETAPAS PARA IDENTIFICAR DESDE EL PORTAFOLIO MAS, POTENCIALES SOLUCIONES POR CUENCA QUE ABORDEN LA BRECHA HÍDRICA PARA ALCANZAR EL ESCENARIO SUSTENTABLE AL 2050.



Fuente: Elaboración propia. Escenarios Hídricos 2030.

FIGURA 4. ESTRUCTURA DEL PORTAFOLIO DE MEDIDAS, ACCIONES Y SOLUCIONES



Se refiere a los mecanismos institucionales, legales, educacionales y financieros que permiten la gestión del agua, la colaboración y coordinación de las intervenciones sobre el recurso hídrico de parte de los usuarios, organismos públicos, instituciones privadas y fiscalizadoras del recurso. En esta sección también se incluye la recolección, análisis y difusión de información sobre el recurso hídrico y ecosistemas asociados, que permita mejorar su gestión. Esta sección se clasifica bajo los siguientes temas:

- **Fichas fundamentales**
- **Mecanismos legales**
- **Mecanismos institucionales**
- **Mecanismos financieros**
- **Educacional**
- **Plataformas de difusión**
- **Monitoreo y teledetección**



Son medidas para proteger los ecosistemas que son fuente de agua actual y futura, además de los ecosistemas asociados a ellos que permiten su funcionamiento. Esta sección se clasifica bajo los siguientes temas:

- **Restauración**
- **Conservación**
- **Recarga e infiltración de acuíferos**



Se presentan las medidas, acciones y soluciones que se pueden aplicar a la demanda de agua para tender a una mayor eficiencia y uso responsable, logrando un equilibrio con la oferta disponible. Estas medidas están enfocadas en reducir las pérdidas de agua una vez captadas y la reducción del uso del agua. Esta sección se clasifica bajo los siguientes temas:

- **Optimización de la conducción, almacenamiento y distribución**
- **Optimización del uso de agua**
- **Cambio de proceso**
- **Tecnificación y automatización**



Son medidas, acciones y soluciones para aumentar la oferta de agua disponible para las actividades económicas, productivas y humanas. Esta sección se clasifica bajo los siguientes temas:

- **Trasvase**
- **Captación o cosecha atmosférica**
- **Desalación**
- **Tratamiento y uso**

Fuente: Elaboración propia. Escenarios Hídricos 2030.

EL ESCENARIO FUTURO SUSTENTABLE PLANTEA LA VISIÓN FUTURA COMPARTIDA DE LOS ACTORES, PARA ALCANZAR LA SEGURIDAD Y SUSTENTABILIDAD HÍDRICA PARA TODOS LOS USUARIOS DE AGUA EN LA CUENCA.

EL ESCENARIO FUTURO TENDENCIAL AL 2030 Y 2050, CONSIDERA UN DESENLACE BASADO EN LA TRAYECTORIA Y DINÁMICA ACTUAL DEL RECURSO HÍDRICO, SIN UNA INTERVENCIÓN ADICIONAL INTENCIONADA.





## 4. EL FUTURO NO SE PREDICE, **SE CONSTRUYE**

Los resultados que se presentan en este capítulo surgen del trabajo colectivo con los actores de las seis cuencas seleccionadas: Copiapó, Aconcagua, Maipo, Maule, Lebu y Baker. Como se mencionó anteriormente, para cada territorio se identificaron los principales procesos críticos que pueden influir a futuro en la seguridad y sustentabilidad del recurso hídrico; se elaboraron Escenarios Hídricos futuros al 2030 y 2050 y, finalmente, se identificaron los problemas (causas y efectos) que actualmente están afectando el funcionamiento hídrico de las zonas estudiadas.

### **4.1. EXPLORANDO LOS PROBLEMAS EN LAS CUENCAS**

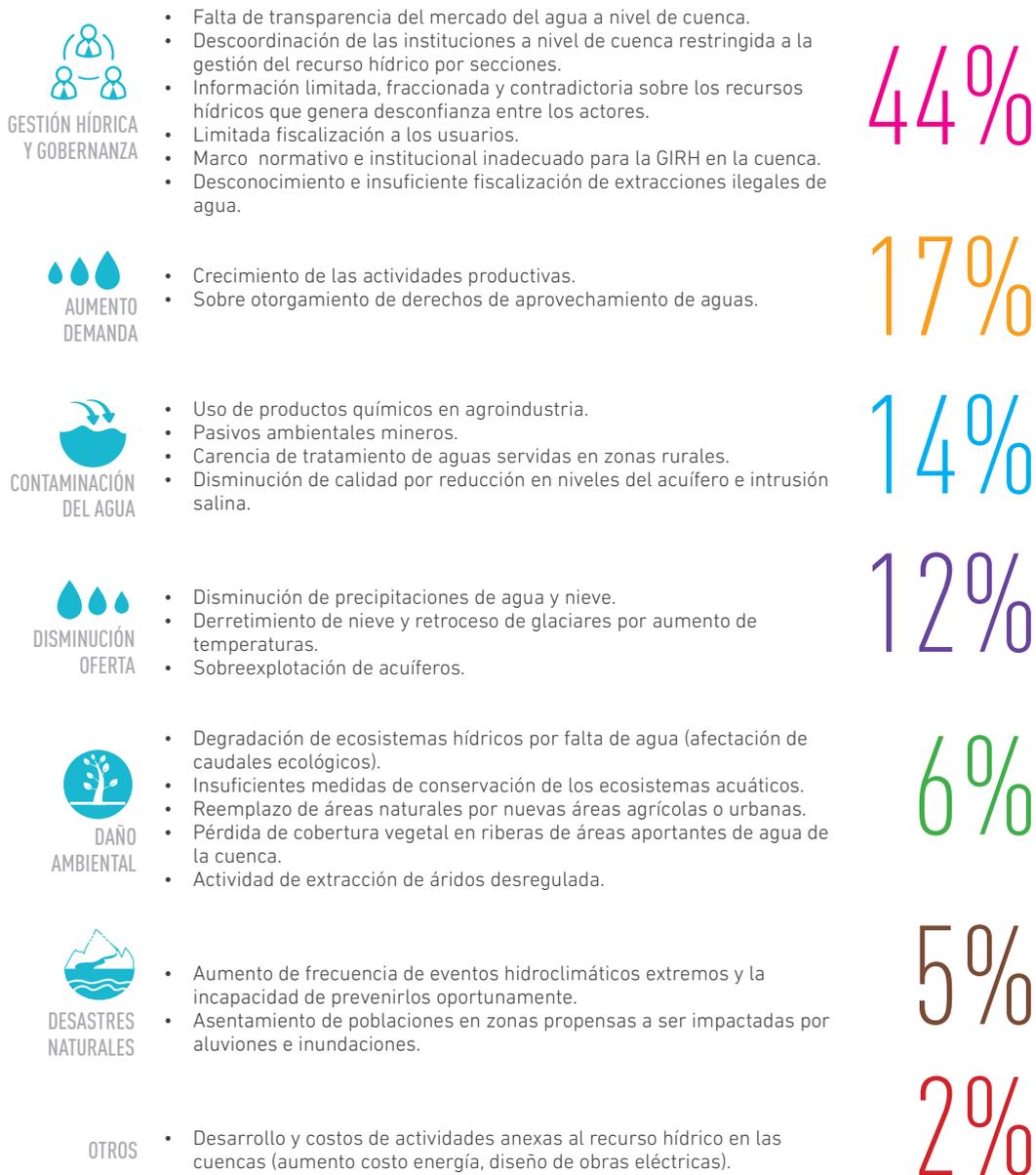
Utilizando como base los escenarios hídricos futuros tendenciales y aplicando la metodología de **Árbol de Problemas**, para cada una de las cuencas se pudo identificar los problemas hídricos y las causas que los originan.



Las causas más frecuentes de los problemas en las cuencas, se relacionan con la deficiente gestión hídrica y gobernanza (44%), tanto a nivel nacional como territorial, seguida por el aumento de demanda (17%), contaminación del agua (14%) y disminución de oferta (12%).

FIGURA 5. IDENTIFICACIÓN DE LAS CAUSAS A LOS PROBLEMAS DE BRECHA Y RIESGO HÍDRICO QUE SE REPITEN EN LA MAYORÍA DE LAS CUENCAS ANALIZADAS.

Copiapó, Aconcagua, Maipo, Maule, Lebu y Baker.



Fuente: Elaboración propia. Escenarios Hídricos 2030.

## 4.2. ESCENARIO FUTURO TENDENCIAL HORIZONTE 2030-2050

### ¿CÓMO SE DESARROLLA EL PROBLEMA A FUTURO CON LA TRAYECTORIA ACTUAL DE GESTIÓN DEL AGUA?

El Escenario Futuro Tendencial muestra la urgente necesidad de abordar los problemas de Brecha y Riesgo Hídrico en los distintos territorios de Chile. Abordar la Brecha Hídrica -equilibrio entre oferta y demanda de agua- y el Riesgo Hídrico en términos de afectaciones, responden directamente a los objetivos de la seguridad hídrica<sup>11</sup>.

---

11. Según el Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO, la **seguridad hídrica** se define como "La capacidad de una población para salvaguardar a nivel de cuenca el acceso al agua en cantidades adecuadas y con la calidad apropiada para sostener la salud de la gente y de los ecosistemas así como para asegurar la protección eficaz de vidas y bienes durante desastres hídricos -inundaciones, deslizamientos y hundimientos de terreno y sequías-" (Jiménez, 2015).





ESCENARIO  
**FUTURO  
TENDENCIAL**

HORIZONTE  
2030-2050



**CAMBIOS DE USO DE SUELO**  
Crecimiento urbano, uso agrícola y otros, se realizan sin planificación y reconocimiento del funcionamiento hidrico y vulnerabilidad de los acuíferos.

- Impacto negativo en el recurso hidrico, debido al aumento en la erosión e impermeabilización del suelo.  
- Riesgo para las personas por crecimiento urbano en zonas de inundaciones y aluviones.

**EXPANSIÓN MINERA**  
La industria avanza en la eficiencia hidrica con la incorporación de agua de mar y se mantienen desafíos de mejor coordinación para el abastecimiento de agua y búsqueda de soluciones colaborativas con la pequeña y mediana minería, que se vuelve vulnerable y no accede a soluciones de abastecimiento hidrico para sostenerse.

- Las cuencas del río Aconcagua, Maipo y Baker se ven como potenciales focos de desarrollo minero. El incremento de la actividad genera potencial impacto sobre la calidad del agua.

**DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD FORESTAL**  
Continúa su desarrollo con bosques productivos y especies adaptadas. El bosque nativo retrocede, ya que cuenta con pocos incentivos para su mantención.

- Riesgos de incendios. Las sequías y altas temperaturas hacen que la cobertura vegetal, tanto plantaciones, bosque nativo y matorrales sea cada vez más vulnerable a este tipo de desastres.

**ALZA EN LA DEMANDA ENERGÉTICA**  
Esto incrementa la demanda de agua para proyectos de generación hidroeléctrica.

- Caudales superficiales continúan bajando por efecto del Cambio Climático, afectando a los usuarios de agua en las cuencas.  
- En Baker se visualiza que el desarrollo hidroeléctrico es incompatible con otros sectores presentes.  
- En Maule las hidroeléctricas con embalses serán utilizadas como centrales de respaldo.

**AUMENTO DE PRESIÓN SOBRE LOS ECOSISTEMAS HÍDRICOS**  
Ríos, humedales, riberas, lagunas, glaciares, turberas y otros, estresados por falta de caudal ecológico.

- Los ecosistemas acuáticos son reemplazados y afectados, perdiendo su capacidad para almacenar y purificar naturalmente el agua, tendiendo a desaparecer.

**ESCALA INFORMACIÓN DISPONIBLE SOBRE EL RECURSO HÍDRICO**  
La información pública y privada está dispersa en diferentes instituciones, es insuficiente, de poco acceso público y a veces contradictoria.

- Esto impide la toma de decisiones, coordinación de intervenciones y un eficiente uso del recurso.

**LENTA IMPLEMENTACIÓN DE LOS PLANES DE INVERSIÓN HÍDRICA**  
La falta de proyectos multipropósito, sistemas de almacenamiento de agua y otros, pone a la población en una situación vulnerable.

- El acceso y conectividad en algunas cuencas, dificulta aún más la inversión.



**AUMENTA LA FRECUENCIA DE EVENTOS CRÍTICOS**  
Relacionados con el déficit y exceso hidrico principalmente, provocando efectos secundarios como incendios más recurrentes, repercusiones sobre la disponibilidad de agua potable urbana y rural, entre otros.

- Se incrementan los precios del agua potable en los territorios, producto del déficit hidrico y eventos críticos. En búsqueda de soluciones, el Estado debe invertir en sistemas de provisión de agua potable alternativos como la desalación y otros.  
- Las zonas rurales son más vulnerables, careciendo de infraestructura hidrica adecuada para enfrentar la variabilidad climática.

**DESCOORDINACIÓN ENTRE USUARIOS Y SECCIONES DE LA CUENCA**  
No existe un marco regulatorio habilitador, lo que impide alcanzar acuerdos, contar con una gestión integrada del recurso y la aplicación de estrategias sinérgicas en los territorios.

- Cada sector desarrolla proyectos independientes o usa acuerdos bilaterales, profundizando los problemas de gestión en las cuencas.  
- La institucionalidad del agua se perfecciona, pero a una velocidad reactiva y lenta frente a los problemas, siendo insuficiente para una adecuada gestión.  
- Se mantiene una baja prioridad de la temática hidrica a nivel nacional. No existe una política hidrica de Estado lo que impide asegurar el recurso hidrico futuro.  
- Aumentan los conflictos por agua entre los sectores debido a la escasez hidrica.

**USO INTENSIVO Y CRECIENTE DE ACUÍFEROS**  
Provoca la sobreexplotación y disminución de los niveles de pozos en diferentes zonas de las cuencas, afectando principalmente a pequeños productores y comunidades rurales, imposibilitando en algunos casos su uso como fuente de agua.

- En Copiapó el acuífero se agota en el corto plazo.

**CONTINUO DETERIORO EN LA CALIDAD DEL AGUA**  
Por descargas directas y contaminación difusa y, en algunos casos, influye también la disminución en la cantidad de agua disponible en los cuerpos de agua.

- Aumentan los costos de tratamiento de agua para los diferentes usuarios.  
- Escasa fiscalización, deficiente monitoreo y limitada regulación, no permite controlar adecuadamente la calidad de agua.

**AUMENTO DE DEMANDA DE AGUA EN LA AGRICULTURA**  
Se mantiene el uso intensivo del recurso hidrico con impacto sobre la calidad y disponibilidad de agua.

- La falta de coordinación, la reducida capacidad técnica e información acotada sobre la disponibilidad de agua local, genera dificultades del sector para adaptarse a la variabilidad climática y el incremento de las catástrofes naturales.  
- La baja en las precipitaciones obliga a la agricultura de secano a incorporar el riego para sostenerse.  
- Pequeños y medianos productores son más vulnerables, presentando limitaciones para sostenerse, desapareciendo finalmente en algunas cuencas.

CUENCA HIDROGRÁFICA REFERENCIAL  
Fuente: Elaboración propia. Escenarios Hídricos 2030



### **4.3. ESCENARIO FUTURO SUSTENTABLE HORIZONTE 2030- 2050**

#### **¿DÓNDE QUEREMOS LLEGAR?**

#### **LA SUSTENTABILIDAD Y SEGURIDAD HÍDRICA, EL ESCENARIO DESEADO**

*¿Cómo se visualiza el futuro si introducimos medidas concretas para resolver los problemas?*

A través del proceso de diálogo colectivo, la iniciativa de EH2030 construyó un Escenario Futuro Sustentable para los años 2030 y 2050, como una forma de identificar los factores claves y oportunidades para revertir la situación tendencial mostrada anteriormente. Este escenario plantea la visión futura compartida de los actores, para alcanzar la seguridad y sustentabilidad hídrica para todos los usuarios de agua en la cuenca: consumo humano, agricultura, minería, industria, pecuario, energía, forestal y medio ambiente, entre otros.





ESCENARIO  
**FUTURO  
SUSTENTABLE**

HORIZONTE  
2030-2050





**INTEGRACIÓN MÁS SUSTENTABLE DE ACTIVIDADES Y USOS DEL SUELO**

- Las políticas y planes de ordenamiento territorial priorizan los usos del suelo según su potencialidad y conservación de ecosistemas hídricos.
- Implementación de incentivos para mejor tecnología y restauración.

**DISMINUCIÓN DE CONSUMO DE AGUA DE LA CUENCA EN EL SECTOR MINERO**  
Se mantiene esta tendencia mejorando la eficiencia de procesos e incrementando el uso de agua de mar.

- Coordinación, asociatividad y economías de escala para la implementación de soluciones con diferentes sectores, incluyendo a la pequeña y mediana minería en un desarrollo más sustentable del sector.
- Monitoreo y mitigación de impacto en la calidad de las fuentes de agua.

**SECTOR FORESTAL SE DESARROLLA CON UNA MIRADA SUSTENTABLE**

- Incluye visión multisistémica de largo plazo, priorizando acciones relacionadas con la eficiencia en el uso, reparación y protección de los ecosistemas y recursos hídricos.

**DESARROLLO HIDROENERGÉTICO CONSIDERA PROTECCIÓN DEL RECURSO HÍDRICO**

- El sector de generación hidroeléctrica se desarrolla en coordinación con distintos actores para priorizar proyectos de baja escala, uso de nuevas tecnologías, integración de energías renovables no convencionales y la consolidación de la economía circular.



**ELIMINACIÓN DE IMPACTOS EN ECOSISTEMAS ACUÁTICOS**

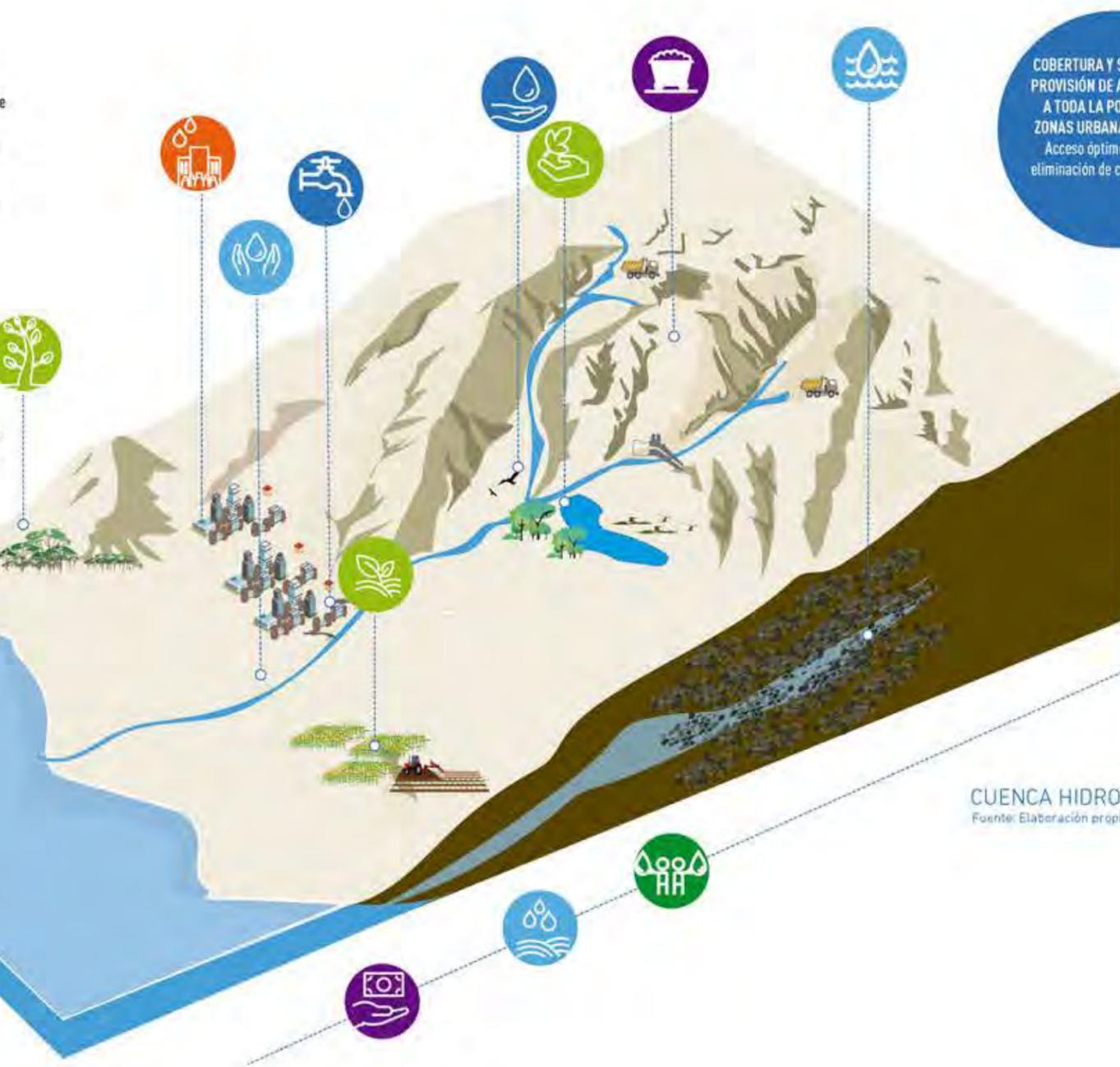
- Protección de cabeceras de cuenca y fuentes de agua, programas de rehabilitación hidrológica y ecológica de ecosistemas degradados, regulaciones e incentivos concretos de protección.
- Mejoramiento de la red de monitoreo, que entrega información sobre el estado de conservación de los ecosistemas.
- La ciudadanía informada, apoya en la protección y puesta en valor de los servicios ecosistémicos.

**SISTEMA INTEGRAL PÚBLICO DE INFORMACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO**  
Sistema robusto, con cobertura nacional y especificidad a nivel de cuenca. Posee una temporalidad y calidad adecuada de los datos.

- Información de acceso universal, gestionada centralizadamente a través de una plataforma digital público-privada, con acuerdo y participación de todos los actores, quienes velan por su acceso, calidad y actualización.
- La difusión y educación en el uso y cuidado del agua, permite mejorar la toma de decisiones y priorizar acciones.

**FACTIBILIDAD Y EFICACIA DE LAS INVERSIONES HÍDRICAS**

- Debido a la ejecución de soluciones de mediano a largo plazo desarrolladas en colaboración público-privada, con visión multipropósito y participación de los actores involucrados.



**COBERTURA Y SEGURIDAD DE PROVISIÓN DE AGUA POTABLE A TODA LA POBLACIÓN DE ZONAS URBANAS Y RURALES**  
Acceso óptimo para todos, eliminación de camiones aljibe.

- Sistemas de desalación complementan y respaldan otros sistemas alternativos de menor costo.
- Reformas para la eficiencia en la distribución y uso del agua potable, priorizando el consumo humano, implementando soluciones robustas y sustentables, cambios en los mecanismos de gestión y tarificación, fortalecimiento de organizaciones de agua potable rural y coordinación con una población más consciente.

**ASEGURAMIENTO CALIDAD DE LAS AGUAS**  
Esto es requerido para sostener los diversos usos, incluyendo el medio ambiente.

- Disminución de fuentes de contaminación actual y emergentes, a través de la generación de información, un monitoreo en línea con sistemas de alerta temprana, la implementación de normas secundarias de calidad ambiental, así como un saneamiento adecuado de las aguas residuales en zonas rurales.

**LOS ACUÍFEROS SE UTILIZAN EN EQUILIBRIO ENTRE LAS EXTRACCIONES Y LAS RECARGAS**  
Constituyéndose como los principales sistemas de abastecimiento y almacenamiento de aguas.

- Se asegura un volumen del recurso hídrico sustentable para los diferentes usuarios de la cuenca, sin afectación y manteniendo los ecosistemas.
- Se aplican medidas como: técnicas de infiltración, incentivos y subsidios para la recarga, modelos hidrogeológicos actualizados, mayor frecuencia en el monitoreo y fiscalización de pozos subterráneos.

**LA AGRICULTURA SE DESARROLLA Y AVANZA HACIA UNA MEJOR GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO**  
Tiene una mayor resiliencia frente a los cambios en coordinación con otras actividades productivas.

- Se cubre la demanda de agua del sector sin afectar la seguridad hídrica.
- Implementación de medidas como: incentivos para aplicación de tecnologías, conservación de fuentes de agua, eficiencia hídrica, regularización de derechos de agua, nuevas variedades de productos de mayor valor agregado, menor requerimiento hídrico y nuevas fuentes de agua.



**GOBERNANZA A NIVEL DE CUENCAS**  
Representada por todos los actores públicos, privados y comunidades del territorio.

- Entidad que encabeza y lidera la implementación de planes de gestión hídricos de largo plazo.
- Las organizaciones de usuarios y organismos públicos encargados de la gestión sustentable y sistémica de los recursos hídricos se fortalecen en capacidades y atribuciones.
- Los usuarios actúan apoyados por la ciencia, la innovación y la información.
- Se crean programas de concientización para la ciudadanía.
- Priorización y puesta en valor del recurso hídrico como tema a nivel nacional. Esto permite financiar e implementar planes que fomentan soluciones colaborativas entre sectores y en alianzas público/privadas. Además, el Estado establece condiciones para guiar e incentivar una mejor gestión del recurso hídrico.

**LOS ACUÍFEROS SE UTILIZAN EN EQUILIBRIO ENTRE LAS EXTRACCIONES Y LAS RECARGAS**  
Constituyéndose como los principales sistemas de abastecimiento y almacenamiento de aguas.

- Se asegura un volumen del recurso hídrico sustentable para los diferentes usuarios de la cuenca, sin afectación y manteniendo los ecosistemas.
- Se aplican medidas como: técnicas de infiltración, incentivos y subsidios para la recarga, modelos hidrogeológicos actualizados, mayor frecuencia en el monitoreo y fiscalización de pozos subterráneos.

**ASEGURAMIENTO CALIDAD DE LAS AGUAS**  
Esto es requerido para sostener los diversos usos, incluyendo el medio ambiente.

- Disminución de fuentes de contaminación actual y emergentes, a través de la generación de información, un monitoreo en línea con sistemas de alerta temprana, la implementación de normas secundarias de calidad ambiental, así como un saneamiento adecuado de las aguas residuales en zonas rurales.

**LA AGRICULTURA SE DESARROLLA Y AVANZA HACIA UNA MEJOR GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO**  
Tiene una mayor resiliencia frente a los cambios en coordinación con otras actividades productivas.

- Se cubre la demanda de agua del sector sin afectar la seguridad hídrica.
- Implementación de medidas como: incentivos para aplicación de tecnologías, conservación de fuentes de agua, eficiencia hídrica, regularización de derechos de agua, nuevas variedades de productos de mayor valor agregado, menor requerimiento hídrico y nuevas fuentes de agua.

CUENCA HIDROGRÁFICA REFERENCIAL  
Fuente: Elaboración propia. Escenarios Hídricos 2030



# CUENCA DEL RÍO COPIAPÓ

Región de Atacama



MAPA DE LA CUENCA DEL RÍO COPIAPÓ Y SUS PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS



- Terrenos Agrícolas
- Área Urbana
- Bosque
- Humedal
- Río
- Cuenca
- Línea de costa
- Límite Internacional
- Grandes Embalses
- Hidroeléctricas
- Glaciares
- Lagos
- Capital comunal
- Áreas Protegidas

DATUM WGS 1984, PROYECCIÓN UTM, HUSO 19 S  
Fuente: Elaboración propia. Escenarios Hídricos 2030



**Superficie:**  
18.703 km<sup>2</sup>



**Población aproximada en la cuenca:**  
185.618 personas



**Precipitación promedio anual:**  
28 mm



**Longitud del río:**  
162 km



**Gestión agua superficial:**  
Nueve distritos de riego y una junta de vigilancia constituida



**Gestión aguas subterráneas:**  
Seis sectores hidrogeológicos y cinco comunidades de aguas subterráneas (tres en proceso de conformación)

## SITUACIÓN ACTUAL Y PROCESOS CRÍTICOS

La cuenca del río Copiapó, localizada en la Región de Atacama, posee 18.703 km<sup>2</sup>, de los que el 43,6% corresponde a la comuna de Copiapó, el 55% a Tierra Amarilla y 1,4% a Caldera, en el sector de la desembocadura. En estas comunas hay una población de 185.618 personas y el 91% de ésta vive en el área urbana (INE, 2018).

El río Copiapó, de 162 km de longitud, se forma al juntarse los ríos Pulido y Jorquera en el sector de La Junta a 1.230 m.s.n.m., recibiendo aguas abajo, el caudal del río Manflas. A su vez, el río Copiapó recibe el aporte de quebradas laterales que normalmente se encuentran secas a excepción de cuando se producen precipitaciones importantes en el altiplano, siendo la principal de ellas la Quebrada de Paipote (DGA, 2010a). Los estudios más recientes de la cuenca indican que existe una oferta de agua superficial promedio de 1,62 m<sup>3</sup>/s para un 85% de excedencia y una oferta de agua subterránea promedio de 3,59 m<sup>3</sup>/s (INH, 2016).

Esta región está dentro de una zona de régimen hídrico, que va desde el xérico (12 meses secos o de precipitación anual menor a 0,05 mm) al árido (9-10 meses secos) (UNESCO, 2010). Las precipitaciones pluviales son escasas, de tipo frontal y concentradas en invierno.

La cuenca del río Copiapó recibe aporte nival en las cabeceras de las subcuencas del río Manflas y Pulido, mientras la subcuenca del río Jorquera es de origen nival y pluvial, con precipitaciones promedio anuales de 28 mm (INH, 2016). El aporte nival a la cuenca es menor a la zona central, ya que la línea de nieve en la Cordillera de Los Andes en este sector es aproximadamente a los 5.800 m.s.n.m. y, por lo tanto, no hay cobertura nival permanente (DGA, 2015). Aunque sí existen glaciares de menor tamaño (<1 km) y algunos de ellos son rocosos y difíciles de detectar, éstos son importantes dada la aridez del lugar y el poco aporte de las precipitaciones durante el verano (DGA, 2011a). Por ejemplo, en la zona alta de la cuenca, la fuente de agua son los glaciares El Potro y El Marancel.



**4,21 m<sup>3</sup>/s**

Es la captación estimada de agua de fuentes superficiales y subterráneas en la cuenca del río Copiapó



**3,23 m<sup>3</sup>/s**

Consumo de aguas superficiales y subterráneas en la cuenca (huella azul)



**0,05 m<sup>3</sup>/s**

Consumo de aguas lluvias en la cuenca (huella verde)

Fuente: Radiografía del Agua: Brecha y Riesgo Hídrico en Chile (EH2030, 2018).

**TABLA 1: TABLA RESUMEN CON CAPTACIÓN, RETORNO Y CONSUMO POR USO O SECTOR PRODUCTIVO EN LA CUENCA DEL RÍO COPIAPÓ**

USO	Captación <sup>1</sup> [m³/s]	Retorno <sup>2</sup> [m³/s]	Retorno <sup>3</sup> [%]	CONSUMO DE AGUA		HH Azul por uso respecto de la región <sup>6</sup> [%]
				HH Azul <sup>4</sup> [m³/s]	HH Verde <sup>5</sup> [m³/s]	
Agrícola (Riego)	3,02	0,59	19%	2,44	0,05	47%
Mínero	0,77	0,00	0%	0,77	-	15%
Agua potable y saneamiento	0,42	0,40	95%	0,02	-	0,39%
Industrial	-	-	-	-	-	-
Forestal	-	-	-	-	0,00	-
Generación Eléctrica	-	-	-	-	-	-
Pecuario	0,001	0,0009	73%	0,0003	-	0,01%

Fuente: Elaboración propia en base a Jaramillo y Acevedo (2017). Para Escenarios Hídricos 2030 (2018).

**NOTAS:**

1. Captación: volumen de agua dulce superficial y/o subterránea extraída de fuentes naturales para ser utilizada por diferentes usuarios.
2. Retorno: volumen de agua que después de ser utilizada por parte de los diferentes usuarios, es devuelta al sistema natural. Calculada como la diferencia entre captación y Huella Hídrica azul.
3. Retorno [%]: porcentaje de agua devuelta respecto del total de agua captada por sector.
4. Consumo Huella Hídrica Azul: volumen de agua fresca extraída de fuentes, superficiales y/o subterráneas, por parte de diferentes usuarios, que no retorna al ambiente de donde se extrajo. Puede ocurrir por: a) evaporación o evapotranspiración del agua, b) incorporación del agua en el producto, c) agua que no retorna a la misma cuenca de extracción o que se descarga al mar, o d) agua que retorna en un periodo de tiempo distinto al que se extrajo.
5. Consumo HH Verde: volumen de agua lluvia utilizada por parte de diferentes sectores, que queda temporalmente almacenada en la parte superficial del suelo o en la vegetación.
6. HH Azul por uso respecto de la región: porcentaje de agua consumida por Huella Hídrica Azul por cada sector en la cuenca, respecto de la Huella Hídrica Azul total de la región.

La cuenca del río Copiapó tiene una **Brecha Hídrica** alta de un 61,2% (consumo/oferta x 100), lo que significa que existe una fuerte presión sobre el recurso hídrico, lo que denota una urgencia máxima para el ordenamiento de la oferta y demanda. La escasez de agua es un factor limitador del desarrollo económico.

Los análisis de demandas para la Región de Atacama realizados en el marco de la **Radiografía del Agua** (Jaramillo y Acevedo, 2017. Para Escenarios Hídricos 2030, 2018) y en base a la metodología de Huella Hídrica (Hoekstra *et al.*, 2011), muestran que para la cuenca del río Copiapó existe una captación de aguas de fuentes superficiales y subterráneas de 4,21 m<sup>3</sup>/s. Para esta cuenca, el mayor consumo por Huella Hídrica Azul se realiza por parte del sector agrícola, con un consumo de 2,44 m<sup>3</sup>/s, seguido del sector minero con un consumo de 0,77 m<sup>3</sup>/s y del sector agua potable y saneamiento con un consumo de 0,02 m<sup>3</sup>/s. La tabla muestra un análisis más detallado de los resultados del estudio para cada sector productivo.

El proceso de construcción colectiva de escenarios hídricos en esta cuenca ha identificado procesos críticos invariables, principalmente vinculados a los efectos del Cambio Climático; además de procesos críticos variables.

Respecto de los procesos críticos invariables, se menciona el derretimiento de algunos glaciares en la zona, preocupante no sólo por su aporte de agua, sino también por ser fuente de riesgo aguas abajo como por ejemplo, el aluvión causado por el derretimiento del glaciar Tronquitos en 1985 (DGA, 2010a) que entre el año 1955 y 1984 tuvo una tasa de retroceso cercana a 14 metros por año, lo que aumentó

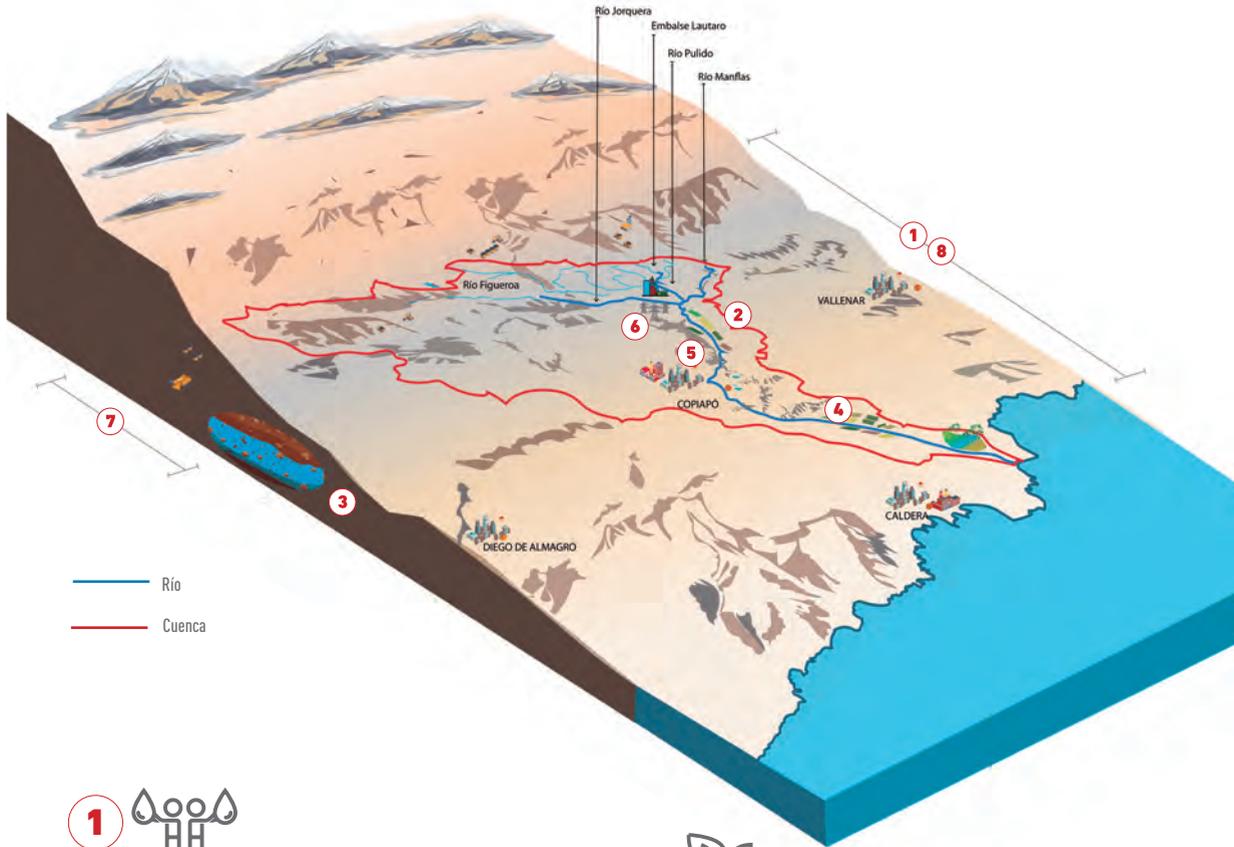
En la subcuenca del río Copiapó existen **seis sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común, 63 pozos de observación y más de 150 pozos de extracción de aguas subterráneas para agua potable, riego y minería.**

a 23 metros anuales en el período entre 1984 y 1996 (DGA, 2009). El estudio en el glaciar El Potro revela un retroceso de 128 metros durante el lapso 1976-2005, correspondiente a una tasa de 4 metros al año (Vivero, 2008). Igualmente surgen como críticos los procesos de variación climática relacionada con el descenso de precipitaciones (Subsecretaría de Agricultura, 2012) y lluvias intensas que provocan aluviones (SERNAGEOMIN, 2015).

En cuanto a los procesos críticos variables, se destacaron ocho procesos cuyo comportamiento actual e histórico, según la evidencia levantada de estudios de la cuenca, se resumen a continuación:

**FIGURA 6: REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LOS PROCESOS CRÍTICOS VARIABLES PARA LA CUENCA DEL RÍO COPIAPO**

Fuente: Elaboración propia. Escenarios Hídricos 2030.



**1** **Deficiente coordinación entre usuarios en la gestión de aguas en la cuenca.** La cuenca del río Copiapó está dividida en nueve distritos de riego, donde operan una Junta de Vigilancia (Junta de Vigilancia del río Copiapó) y tres comunidades de aguas subterráneas. El diagnóstico del Banco Mundial sobre el marco institucional para la gestión del agua en Chile, indica que actualmente la institucionalidad existente cuenta con una inadecuada delimitación y coordinación de funciones entre los organismos que intervienen en la gestión de las mismas, especialmente a nivel local y por la falta de una autoridad política superior que coordine las funciones e instituciones del Estado (BM, 2013).



**2** **Aumento de la superficie de cultivos en el sector agrícola.** En los últimos años la agricultura se ha expandido, especialmente, los cultivos frutales para exportaciones, las viñas y el cultivo de hortalizas. En la provincia de Copiapó se riegan 11 mil hectáreas principalmente con sistemas de riego por goteo, sobre todo frutales y uva de mesa de acuerdo al Censo del año 2007 (ODEPA, 2018a).

# 16 de 22 pozos subterráneos de la cuenca tienen una tendencia negativa significativa en los niveles de pozos medidos entre los años 1960 y 2016 (CAZALAC, 2017)



**3** **Uso intensivo y creciente de acuíferos.** En la subcuenca del río Copiapó existen seis sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común, 63 pozos de observación y más de 150 pozos de extracción de aguas subterráneas para agua potable, riego y minería (DGA, 2013a, Registro de Derechos de Aprovechamiento de Agua). De acuerdo a la información de agua potable aportada por ECONSSA, es que a partir del año 2011, Aguas Chañar traslada su extracción del sector 4 a los sectores administrativos 3 y 5 del acuífero de Copiapó, debido a la disminución de la producción de los pozos de sus plantas (DGA, 2013a). La investigación llevada a cabo por el Centro del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y el Caribe -CAZALAC- en 2017, estima que en 16 de 22 pozos subterráneos de la cuenca ha existido una tendencia negativa significativa en los niveles de pozos medidos entre los años 1960 y 2016 (CAZALAC, 2017). Para Escenarios Hídricos 2030, 2018).



**4** **Deterioro de la calidad del agua por efectos naturales, antrópicos y pasivos ambientales.** Con la escasez hídrica y la profundización de pozos, la concentración de minerales como sulfatos, cloruros y sólidos disueltos totales en el agua de la cuenca del río Copiapó ha aumentado, lo que se percibe como un mal sabor (Aguas Chañar, 2013), requiriéndose para la mejora de la calidad del agua potable, la implementación de una planta de Osmosis Inversa (SISS, 2014). Además, existe un riesgo de contaminación difusa desde los relaves mineros pasivos y abandonados expuestos a condiciones atmosféricas, los que representan en la comuna de Copiapó el 80% del total de

relaves existentes (SERNAGEOMIN, 2016). El índice de calidad de agua superficial (ICAS) desarrollado para la *Radiografía del Agua: Brecha y Riesgo Hídrico en Chile* -que incluye el análisis de diferentes parámetros- establece que entre 2011 y 2016, la cuenca mostró tres estaciones con calidad insuficiente<sup>12</sup> en verano y primavera, relacionada al contenido de arsénico en el río Copiapó (Girardi *et al.*, 2018). Para Escenarios Hídricos 2030, 2018).



**5** **Aumento sostenido de la demanda del recurso hídrico, principalmente desde la minería y sector sanitario.** Según cifras intercensales entre 2002-2012, la provincia de Copiapó presentó un incremento del 21,4% de la población residente (INE, 2012). Por otro lado, en el año 2017 el sector minero experimentó un aumento de un 13% en el consumo de agua continental en la Región de Atacama, respecto al año 2015, alcanzando 1,35 m<sup>3</sup>/s, como consecuencia de un mayor procesamiento de mineral (COCHILCO, 2018a). Este sector proyecta al año 2028 una leve alza del consumo de agua en la zona, que provendrá tanto de aguas continentales como de agua de mar (COCHILCO, 2018c).



**6** **Crecimiento de la demanda energética y diversificación de la matriz.** La profundización de pozos en varios sectores de la cuenca ha traído consigo un aumento en el costo de abastecimiento de aguas subterráneas, dado el alto consumo de energía necesario para bombear este recurso, especialmente para pequeños agricultores (DGA, 2015). Reportes de COCHILCO (2018b) indicaron un alza en el consumo eléctrico en la minería del cobre de la región entre los años 2013 y 2017.



**7** **Expansión minera aurífera.** La actividad minera se desarrolla en torno a empresas mineras productoras de cobre, hierro, oro y plata. La región de Atacama tiene presupuestado US\$10.977 millones en inversión minera entre 2017-2026. Algunos de los proyectos para la región son Lobo Marte (Kinross -2019), a 160 km de Copiapó, con explotación de oro. Cerro Casale (Barrick Gold - 2020), con explotación de oro y proyecto Caspiche (Exter Resource - 2017) sobre el cinturón de Maricunga con explotación de oro y cobre (COCHILCO, 2016a). La demanda hídrica actual del sector en el acuífero del río Copiapó es de 0,4 m<sup>3</sup>/s de un total de 3,05 m<sup>3</sup>/s otorgados en derechos subterráneos (DGA, 2010).



**8** **Falta de disponibilidad de la información existente sobre el recurso hídrico.** El análisis del Banco Mundial (2013) indica la falta de consolidación e integración de la información generada por las instituciones involucradas en la gestión del agua. El estudio realizado por CAZALAC en el marco de este proyecto, pudo evaluar solo 36 pozos subterráneos de los más de 124 que son monitoreados por la DGA, debido a que no contaban con un registro de datos consecutivo de 10 años (CAZALAC, 2018). Para Escenarios Hídricos 2030, 2018). En el caso de los glaciares, no fue posible estimar la contribución de su derretimiento en el río Copiapó, dada la falta de monitoreo y estudios (Ulloa *et al.*, 2015).

12. Calidad insuficiente: comprende las aguas no aptas para la conservación de ecosistemas acuáticos, ni para el aprovechamiento en usos prioritarios sin un tratamiento adecuado.

# CONSTRUCCIÓN COLECTIVA DE LA SITUACIÓN FUTURA

## ESCENARIO TENDENCIAL 2030-2050

La cuenca del río Copiapó es uno de los territorios que presenta mayor déficit hídrico en el país, producto de la gran brecha entre oferta de agua en la zona y su demanda, lo que ha generado el sobre otorgamiento de derechos de aprovechamiento de este recurso. Desde el año 1993, esta cuenca ha encabezado oficialmente las mayores declaraciones de prohibición de otorgamiento de nuevos derechos de aprovechamiento de aguas, concentrando cuatro de las seis declaraciones existentes en el país<sup>13</sup>. Lo anterior, debido a que tiene la disponibilidad del recurso totalmente comprometida (DGA, 2016a). Las zonas cinco y seis fueron en el año 2001, excluidas de esta prohibición y declaradas hasta hoy como zonas de restricción<sup>14</sup> (DGA, 2015a). Producto de la sobreexplotación del agua subterránea, la situación de déficit empeora culminando en el agotamiento del acuífero antes del año 2030 en algunos sectores de la cuenca. Frente a esta realidad, se implementan nuevos sistemas de desalación para provisión de agua para consumo humano, con un alto costo, que debe ser absorbido por los usuarios mediante un alza en las tarifas. Los efectos del Cambio Climático manifestados en los últimos años se suman,

aggravando el escenario con la disminución de la oferta hídrica, lo que ocurre como consecuencia del descenso de precipitaciones<sup>15</sup> (CEPAL, 2012; MMA, 2014), derretimiento de nieves acumuladas y retroceso y pérdida de glaciares<sup>16</sup> (MMA, 2009; DGA, 2011a) por el aumento de temperaturas. Por otra parte, se genera una variación en el régimen hídrico de la cuenca, lo que se evidencia en un incremento de los caudales en primavera y disminución en el verano y un incremento de frecuencia de eventos de precipitaciones extremas, donde se produce la infiltración de aguas al acuífero. Este cambio en el régimen hídrico no significa un alza en la oferta global de agua en la cuenca, manteniéndose la tendencia a la baja.

Adicionalmente se incrementa el deterioro de la calidad de las aguas subterráneas, en ausencia de infiltración como consecuencia de la reducción del nivel del acuífero y contaminación difusa, cuyo conocimiento es parcial. Se manifiesta una baja capacidad de gestión de las instituciones públicas y privadas relacionadas con la gestión de este recurso y escasa implementación de soluciones para prevenir y mitigar la pérdida de calidad

13. El DFL 1122. Art. 63. Entregó a la Dirección General de Aguas la facultad de declarar zonas de prohibición para nuevas explotaciones, mediante resolución fundada en la protección de acuífero.

14. DFL 1122. Art. 65. Serán áreas de restricción aquellos sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común en los que exista el riesgo de grave disminución de un determinado acuífero, con el consiguiente perjuicio de derechos de terceros ya establecidos en él.

15. En el estudio el escenario B2, que considera un futuro más moderado en cuanto a emisión de GEI, se estima un descenso de precipitación entre un 10% y un 20% (cambios porcentuales sobre base histórica) en la zona del norte chico (regiones de Atacama y Coquimbo) en período 2010 a 2040.

16. Entre 1955 y 1996 las tasas de retroceso del glaciar Tronquitos han sido entre 14 y 23 m a<sup>-1</sup>.

## Producto de la sobreexplotación del agua subterránea, la situación de déficit empeora culminando en el agotamiento del acuífero antes del año 2030.



Descenso en las precipitaciones.



Retroceso y pérdida de glaciares por aumento de temperaturas.



Incremento de caudales en primavera y disminución en el verano.



Aumento de frecuencia de eventos de precipitaciones extremas.



Deterioro de la calidad de las aguas subterráneas por disminución del nivel del acuífero y contaminación difusa.



Afectación de la estabilidad y funcionalidad ecológica de ecosistemas hídricos.



Falta de caudal ecológico en el río entre los sectores dos y seis.

de las aguas subterráneas, lo que afecta a cuerpos hídricos relevantes y acrecienta los costos para los usuarios del agua en la cuenca. Dado que el balance hídrico futuro tenderá a disminuir el agua de precipitaciones, caudales y escorrentía superficial, que son los principales sostenedores de los humedales de la zona, se afecta la estabilidad y funcionalidad ecológica de estos ecosistemas (CCG, CASEB y IEB, 2010). Entre los sectores dos y seis de la cuenca no se cuenta con un caudal ecológico en el río (CNR, 2016a).

Como consecuencia de la baja prioridad que se le da a esta temática a nivel país, y la carencia de una política hídrica de Estado con mirada estratégica de largo plazo, actualmente no existe en esta cuenca una gestión adecuada del agua, ni tampoco recursos financieros ni de coordinación entre entidades público-privadas que favorezcan su seguridad. Todo esto a raíz del excesivo centralismo que afecta las decisiones a nivel local y que conlleva una escasa participación

por parte del sector público, que se rige por la voluntad política del gobierno de turno, o conflictos de interés en las instituciones privadas, que terminan menoscabando la sustentabilidad de este recurso.

Así y pese a que se desarrollan distintos esfuerzos a lo largo de los años -por medio de la conformación de mesas para abordar esta temática, o se constituyen y fortalecen las capacidades de las organizaciones de usuarios para su explotación sustentable- la información generada contiene brechas importantes de cobertura espacial y temporal, pues se aborda de manera individual y dispersa. El sector privado -en tanto- mantiene sistemas de monitoreo y transmisión de información cuando es requerido por la autoridad<sup>17</sup>, pero no son de público acceso y falta sincerar los requerimientos de agua de los usuarios. Esta ineficiente gestión público-privada dificulta la toma de decisiones integrales y merma la seguridad hídrica.

17. Ley N°21.064, artículo 67, "Los titulares de los derechos de aprovechamiento, provisionales o definitivos, concedidos tanto en zonas declaradas de prohibición como en áreas de restricción, deberán instalar y mantener un sistema de medición de caudales y volúmenes extraídos, de control de niveles freáticos y un sistema de transmisión de la información que se obtenga al respecto. Esta información deberá ser siempre entregada a la Dirección General de Aguas cuando ésta la requiera".

El Estado materializó en 2017 el subsidio para el primer sistema que busca satisfacer la demanda de consumo humano mediante agua desalinizada. Sin embargo, frente a la necesidad de implementar nuevos sistemas para la provisión de agua potable, este organismo debe optar entre la desalación, que implica uso de diversos mecanismos para disminuir el impacto de importantes alzas de las tarifas para la comunidad y la expropiación de Derechos de Aprovechamiento de Aguas, mediante aplicación del artículo 27 del Código de Aguas<sup>18</sup>.

Dentro de las actividades productivas más relevantes en la cuenca se encuentran la agricultura y minería. La primera se conserva en el tiempo con los mecanismos existentes (normativas, políticas, etc.), pero con falta de coordinación y voluntad política, continuando la presión sobre el recurso hídrico. Por exigencias del mercado se produce un recambio de variedades de cultivo, por lo que el sector puede generar más, incrementando parcialmente el uso del suelo, pero conservando una demanda de agua que se estima en 4,3 m<sup>3</sup>/s (CNR, 2016), equivalente a los recursos existentes en la cuenca. Los pequeños productores tienden a cambiar de actividad, concentrándose ésta en menos productores de mayor tamaño, o vendiendo sus tierras para desarrollo urbano e industrial. El sector bajo de la cuenca ha debido

cambiar cultivos por problemas de rentabilidad. El incremento en el desarrollo del sector está condicionado a la seguridad de riego. El sector se ve afectado por las limitaciones en la disponibilidad del recurso hídrico, también por el alza en el costo de mano de obra e insumos, lo que obliga al desarrollo de cultivos alternativos más rentables para subsistir.

La minería baja su presión sobre los acuíferos, optando por proyectos de desalación y uso de agua de mar directa con un consumo total del sector de 988 L/s (COCHILCO, 2018c). El desarrollo de éstos es fluctuante y dependiente del precio del cobre. Hay una coordinación en el desarrollo de los proyectos de desalación, pero es puntual y precaria, acotándose a transacciones entre mineras y sanitarias. No existe una estrategia regional para el abastecimiento de agua del sector, por lo que la pequeña y mediana minería no accede a las soluciones. Se intensifica el uso eficiente del recurso, pero solo en la gran y mediana minería (recirculación, aprovechamiento de aguas residuales, cobertura de tranques, entre otras), sin embargo, los pequeños mineros tienen menor seguridad para sostenerse<sup>19</sup>.

---

18. DFL 1122. Art. 27- "Cuando sea necesario disponer la expropiación de derechos de aprovechamiento para satisfacer menesteres domésticos de una población por no existir otros medios para obtener el agua, deberá dejarse al expropiado la necesaria para iguales fines".

19. "SONAMI indica que la pequeña minería migra porque encuentra mejores vetas de exploración/explotación, no porque el agua sea una limitante para su desarrollo, ya que no utilizan el recurso."

## PRINCIPALES TEMAS ESCENARIO TENDENCIAL



Baja prioridad de la temática hídrica a nivel país y carencia de una política hídrica de Estado de largo plazo impiden asegurar el recurso hídrico futuro.



La débil institucionalidad existente se perfecciona, pero a una velocidad reactiva y lenta frente a los problemas, siendo insuficiente para una adecuada gestión del recurso hídrico en la cuenca.



Información sobre el recurso hídrico posee brechas importantes de cobertura espacial y temporal, no se comparte y se encuentra dispersa, dificultando la toma de decisiones integrales para lograr la seguridad hídrica.



Agotamiento del acuífero antes del año 2030 en algunos sectores, producto de la sobreexplotación del agua subterránea.



Implementación de nuevos sistemas de desalación para provisión de agua para consumo humano, aunque de alto costo. Estado debe optar entre desalación con alzas de tarifas importantes y expropiación de DAA.



La agricultura se mantiene en el tiempo condicionada a la seguridad de riego, concentrándose la actividad en menos productores de mayor tamaño. Pequeños agricultores cambian de actividad.



La minería reduce la presión sobre el acuífero, optando por agua de mar y eficiencia hídrica. Pequeña y mediana minería no accede a las soluciones por falta de una estrategia regional, teniendo menor seguridad hídrica.

## ESCENARIO SUSTENTABLE 2030-2050

Se desarrolla una institucionalidad coordinadora del sector público a nivel nacional, que genera políticas y planes hídricos que trascienden los períodos presidenciales e implementa soluciones para la mejora de la gestión del recurso.

Frente a la grave situación de déficit hídrico y sobreexplotación del agua en la cuenca de Copiapó, que se presenta debido al constante aumento de la diferencia entre oferta y demanda de este recurso, al año 2030 se ha implementado por parte de los organismos de esta zona un proceso con acciones que permite mejorar la gestión del recurso hídrico en los sectores donde hay mejor coordinación interna entre los diversos servicios del Estado y las entidades privadas a nivel territorial, además de existir una prioridad de la temática hídrica a nivel nacional. Para ello se promueve el desarrollo de una institucionalidad coordinadora del sector público a nivel nacional, que genera políticas y planes hídricos que trascienden los períodos presidenciales e implementan soluciones para la mejora en la gestión de este recurso. De esta manera, las organizaciones de usuarios de agua en conjunto con los organismos públicos encargados de la gestión de los recursos hídricos están fortalecidos y disponen de mayores capacidades y atribuciones para su gestión sustentable y sistémica.

Hacia el 2050 se ha constituido formalmente un Consejo Hídrico en la cuenca como entidad local descentralizada, conformada y representada

adecuadamente por todos los actores públicos y privados del territorio, la que encabeza la gestión de aguas en la cuenca, aúna, coordina y posee un órgano ejecutivo con atribuciones para garantizar la ejecución, coordinación sistémica, proactiva y rápida, con objetivos y prioridades comunes, tales como aseguramiento del consumo humano y la sustentabilidad, donde se establecen protocolos, reglamentos de gobernanza, una administración privada y participación relevante del sector público. De esta forma, se produce un cambio de mirada y voluntad en los usuarios, la comunidad y la ciudadanía en general, participando activamente de esta gobernanza. La ley se aplica de manera adecuada con los recursos necesarios e instrumentos que permiten el financiamiento. Hay una visión a largo plazo que apunta a conseguir la sustentabilidad de este recurso.

En el corto plazo, diferentes sectores se han integrado para robustecer y mejorar la calidad en cobertura, disponibilidad, acceso público y confiabilidad de la información. Existen plataformas como -por ejemplo- la actualización del modelo hidrogeológico para la cuenca del río Copiapó, que realiza una medición telemétrica de aguas superficiales y la red de gestión y monitoreo para el control

## En el mediano plazo se han introducido iniciativas por parte del Estado para la protección de cabeceras de cuenca y glaciares como aportantes de caudal.

de la extracción de aguas subterráneas. Al año 2050 se cuenta con un observatorio hídrico de información pública y privada a nivel regional y nacional, que involucra cantidad y calidad del recurso hídrico con una coordinación regional importante y compatibilidad de datos para su integración, además de educación y difusión para su uso. Esta plataforma permite cruzar información de distinto tipo (hídrica, ambiental, territorial, etc.). Se modela numéricamente y se analizan impactos de relación de variables. Esos modelos digitales con inteligencia tecnológica -permanentemente actualizados- posibilitan analizar causas y efectos de los procesos e intervenciones en la parte alta de la cuenca sobre las partes medias y bajas, funcionando como elemento esencial para la toma de decisiones y contribuyendo a dotar de mayor transparencia y agilidad al mercado de derechos de aprovechamiento de aguas u otros mecanismos vinculados con el uso del recurso.

Frente al aumento de demanda de agua para consumo humano, el modelo de gestión del sector de agua potable y saneamiento se ha mantenido buscando alternativas con menores subsidios y combinaciones con expropiaciones de derechos de agua para el uso sustentable del recurso. Existe una mejor coordinación y gestión y se generan reformas para la eficiencia y la priorización del consumo humano. Los sistemas de desalación complementan y respaldan otros sistemas alternativos de menor costo. Hacia el 2050 se cuenta con una estrategia para la implementación de soluciones óptimas y sustentables que incluyen tarifa, financiamiento del modelo, acceso, disponibilidad, gestión de la demanda y calidad.

En un proceso de mejora y evolución permanente, la agricultura se desarrolla y avanza hacia la mejor gestión del recurso conforme crece la disponibilidad de éste en el territorio y se desarrollan e implementan acciones en el sector como introducción de tecnología y nuevas variedades de mayor valor agregado, más eficientes en el consumo de agua y mano de obra, lo que permite la diversificación de productos y mercados. El sector logra sobre un 90% de riego tecnificado e inteligente, infraestructura extrapredial altamente eficiente y sin pérdidas en la conducción, distribución y acumulación de agua, proyectos de nuevas fuentes de agua y una regularización de todos los DAA. Se implementan iniciativas como, por ejemplo, telemetría para el monitoreo y gestión de extracciones y calidad de aguas subterráneas, proyectos de infiltración y recarga de acuíferos, embalses (como por ejemplo: Embalse Lautaro 2.0), nuevos productos agrícolas con menor requerimiento hídrico, producción bajo techo, gestión de residuos agrícolas, control de robo de agua, acompañamiento técnico estratégico permanente y transferencia tecnológica, capacitación en buenas prácticas agrícolas, vinculación público-privada para la gestión de desastres naturales y se adaptan bases de concursos a nivel regional y de fomento y actualización de sistemas de riego. Todo lo anterior posibilita el aprovechamiento eficiente de recursos en la zona.

La minería al año 2030 mantiene la tendencia a disminuir el consumo de agua en la cuenca, reemplazando ésta por agua de mar e incrementa la eficiencia en el uso del recurso en los procesos de

concentración e hidrometalurgia. Para lograr la seguridad hídrica y disminución de costos en el sector, se genera mayor asociatividad para la desalación de agua, aprovechando las economías de escala, con sistemas de conducción únicos y modelos diferenciados de tarifa. En el largo plazo, la asociatividad y coordinación son a nivel de cuenca. La gestión integral permite la identificación y desarrollo de proyectos de abastecimiento de costo óptimo, incluyendo a la mediana y pequeña minería. Se establece una entidad externa que implementa, optimiza costos y agrega demanda. Debido a la diversificación de la matriz energética, los precios son competitivos bajando barreras para el abastecimiento y conducción de aguas. El sector avanza en su visión de alcanzar una minería “virtuosa, incluyente y sostenible” (CNID, 2014)<sup>20</sup>.

En el mediano plazo las principales actividades productivas de la cuenca avanzan hacia una actividad más sustentable, gracias a una gestión ambiental con estándares y referencias basadas en las mejores prácticas, una gestión eficaz y sana convivencia con otros actores del territorio, promoviendo el respeto y cuidado por el ambiente, sus especies endémicas y también de sus culturas ancestrales (CNR, 2016).

En este mismo punto y, debido a la aplicación de un conjunto de medidas que abordan en forma sistémica el territorio, se reduce la tasa

de disminución del acuífero con objeto de extender su vida útil. Para conseguirlo, se llevan a cabo acciones como monitoreos, generación de conocimiento e información validada del acuífero, regularización y transparencia de extracciones, infiltración y recarga de aguas, conservación y desarrollo de infraestructura verde, desalación, swaps de agua, recambio de cultivos, procesos productivos eficientes en el consumo de este recurso, reutilización de aguas residuales, embalses, trasvases y fortalecimiento de capacidades, entre otras. Al año 2050, se recarga el acuífero para mantener su nivel en el tiempo a través de la regularización, monitoreo y ajuste de extracciones<sup>21</sup> (DGA, 2013a), captación de aguas lluvia y recarga artificial, la gestión de las aguas subterráneas junto con las aguas superficiales, por nombrar algunas medidas.

En el mediano plazo se han introducido iniciativas por parte del Estado para la protección de cabeceras de cuenca, glaciares como aportantes de caudal y de ecosistemas como lagunas, riberas y humedales de montaña como reguladores de flujo. La cuenca del río Pulido, llanuras de inundación y humedales de las zonas medias y bajas están protegidos, gracias a su aporte en la conservación de la biodiversidad, regulación y funcionalidades para asegurar flujos superficiales y evitar intrusión salina en desembocadura. En el largo plazo, existe el conocimiento necesario

20. Consejo Nacional de Innovación y Competitividad es el actual Consejo Nacional de Innovación para el Desarrollo (CNID).

21. Se estima una recarga histórica promedio de 4,5 m<sup>3</sup>/s por lo tanto, la extracción se ajusta a este caudal.

para gestionar, prevenir y mitigar el deterioro de la calidad de agua para cada factor que lo causa, por lo que se recupera la salud de los cuerpos de agua y se mantiene una calidad que permite su sustentabilidad.

El conjunto de medidas adoptadas por los distintos sectores permite, finalmente, la recuperación y conservación de las funcionalidades ecológicas de los ecosistemas hídricos, habilitando el desarrollo productivo en la cuenca, el que es altamente diversificado y sustentable en el año 2050.

## PRINCIPALES TEMAS ESCENARIO SUSTENTABLE



Implementación de un Consejo Hídrico que encabeza la gestión de aguas en la cuenca con objetivos y prioridades comunes.



Fortalecimiento de capacidades y atribuciones de las organizaciones de usuarios de agua en conjunto con los organismos públicos encargados de la gestión sustentable y sistémica de los recursos hídricos.



Implementación de un observatorio hídrico de información para la toma de decisiones.



Los sistemas de desalación complementan y respaldan otros sistemas alternativos de provisión de agua para consumo humano de menor costo.



Al año 2050, se recarga el acuífero para mantener su nivel en el tiempo.



La agricultura se desarrolla, introduciendo tecnología y nuevas variedades eficientes en el consumo de agua. Destaca el desarrollo de sistemas altamente eficientes de riego y proyectos de nuevas fuentes de agua.



La minería sigue disminuyendo el consumo de agua en la cuenca por el reemplazo por agua de mar y eficiencia hídrica. La mediana y pequeña minería se asocian y logran economías de escala, con sistemas de conducción únicos y modelos diferenciados de tarifa.

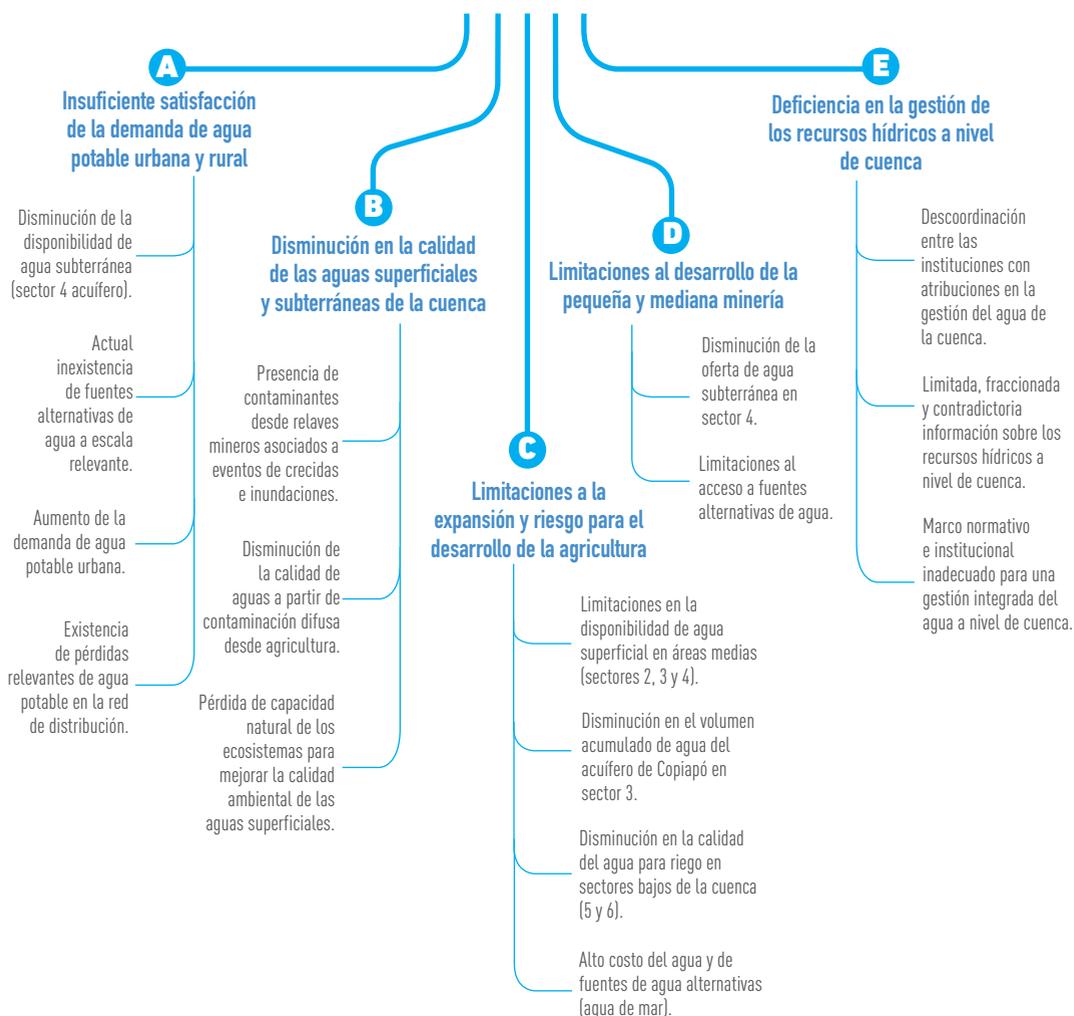


La cuenca del río Pulido, llanuras de inundación y humedales de las zonas medias y bajas están protegidos, debido a su aporte en la conservación de la biodiversidad, regulaciones y funcionalidades para asegurar flujos superficiales y evitar intrusión salina en la desembocadura.

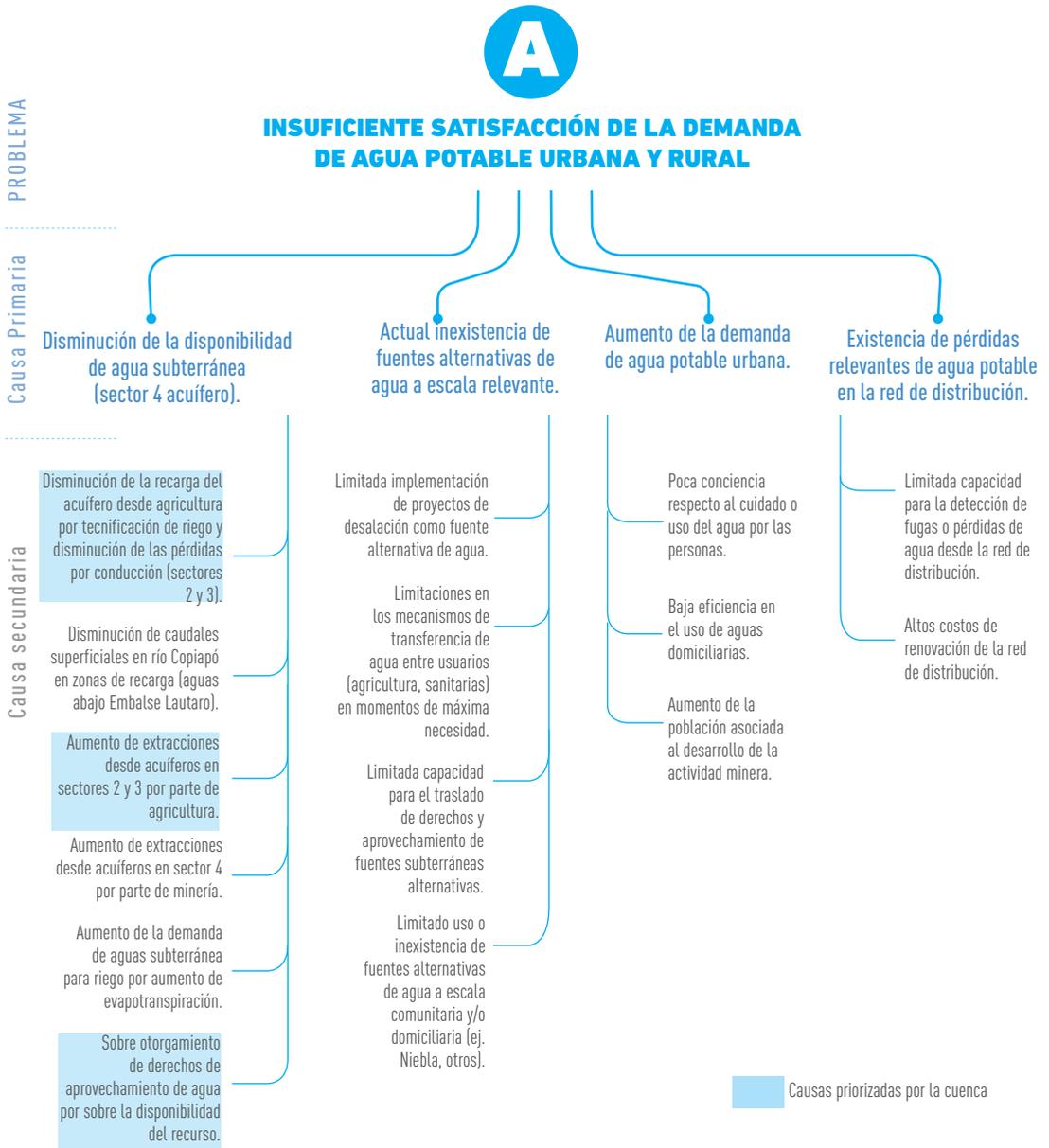
# ÁRBOL DE PROBLEMAS

Los procesos críticos variables de la cuenca del río Copiapó resultaron en la identificación de cinco problemas principales:

## CUENCA DEL RÍO COPIAPÓ



Estos problemas muestran 16 causas primarias y 43 causas secundarias.



**B**

**DISMINUCIÓN EN LA CALIDAD DE LAS AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS DE LA CUENCA**

PROBLEMA

Causa Primaria

Presencia de contaminantes desde relaves mineros asociados a eventos de crecidas e inundaciones.

Disminución de la calidad de aguas a partir de contaminación difusa desde agricultura.

Pérdida de capacidad natural de los ecosistemas para mejorar la calidad ambiental de las aguas superficiales.

Causa secundaria

Relaves mineros activos expuestos a eventos hidrolimáticos extremos en zona media de la cuenca.

Relaves mineros en desuso (pasivos ambientales) expuestos a eventos hidrolimáticos extremos en zona media de la cuenca.

Diseño de obras de relaves no consideran aumento en la frecuencia y/o intensidad de eventos hidrolimáticos extremos.

Aplicación poco eficiente de agroquímicos en la producción agrícola.

Caudal ambiental insuficiente para la mantención de humedales ribereños en zonas medias y altas de la cuenca.

Causas priorizadas por la cuenca



## LIMITACIONES A LA EXPANSIÓN Y RIESGO PARA EL DESARROLLO DE LA AGRICULTURA

PROBLEMA

Causa Primaria

Limitaciones en la disponibilidad de agua superficial en áreas medias (sectores 2, 3 y 4).

Disminución en el volumen acumulado de agua del acuífero de Copiapó en sector 3.

Disminución en la calidad del agua para riego en sectores bajos de la cuenca (5 y 6).

Alto costo del agua y de fuentes de agua alternativas (agua de mar).

Causa secundaria

Disminución de los aportes superficiales al embalse Lautaro por aumento de la demanda en sector 1.

Disminución de afloramientos desde el acuífero aguas arriba de Embalse Lautaro por tecnificación de riego y disminución de las pérdidas por conducción.

Disminución de capacidad de acumulación de Embalse Lautaro por colmatación de sedimentos.

Sobre otorgamiento de derechos de aprovechamiento de agua por sobre la disponibilidad del recurso.

Disminución de la recarga del acuífero desde agricultura por tecnificación de riego (sectores 2 y 3) y disminución de las pérdidas por conducción.

Aumento de extracciones desde acuíferos en sector 4 por parte de minería.

Intercepción de estratos salinos subterráneos.

Aportes subterráneos desde quebrada de Paipote con aguas de mala calidad.

Aumento en la concentración de sales por evaporación desde niveles freáticos superficiales.

Aumento del costo por energía para bombeo de agua subterránea.

Aumento de la demanda por derechos de agua.

Causas priorizadas por la cuenca

D

LIMITACIONES AL DESARROLLO DE LA PEQUEÑA Y MEDIANA MINERÍA

PROBLEMA

Causa Primaria

Disminución de la oferta de agua subterránea en sector 4.

Limitaciones al acceso a fuentes alternativas de agua.

Causa secundaria

Disminución de la recarga del acuífero desde agricultura por tecnificación de riego (sectores 2 y 3) y disminución de las pérdidas por conducción.

Aumento de extracciones desde acuíferos en sector 4 por parte de minería.

Alto costo del agua y de fuentes de agua alternativas (agua de mar).

Limitada capacidad para el traslado de derechos y/o aprovechamiento de fuentes subterráneas alternativas.

Causas priorizadas por la cuenca



**DEFICIENCIA EN LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS A NIVEL DE CUENCA**

PROBLEMA

Causa Primaria

Descoordinación entre las instituciones con atribuciones en la gestión del agua de la cuenca (Juntas de vigilancia, organizaciones de usuarios, organismos del Estado, etc.)

Limitada, fraccionada y contradictoria información sobre los recursos hídricos a nivel de cuenca.

Marco normativo e institucional inadecuado para una gestión integrada del agua a nivel de cuenca.

Causa secundaria

Alcance territorial institucional limitado a secciones y sectores hidro(geo)lógicos.

Poca transparencia en el mercado de aguas a nivel de cuenca.

Instituciones públicas relevantes desconectadas y descoordinadas en su accionar territorial.

Limitadas capacidades técnicas y financieras de organizaciones de usuarios de agua.

Información ambiental con importantes brechas en la cobertura espacial y temporal.

Desconocimiento e insuficiente fiscalización de extracciones ilegales de agua.

Desconfianza entre distintos actores generadores de información (públicos y privados).

Recursos financieros insuficientes para el diseño, construcción, y mantenimiento de un sistema integrado de información.

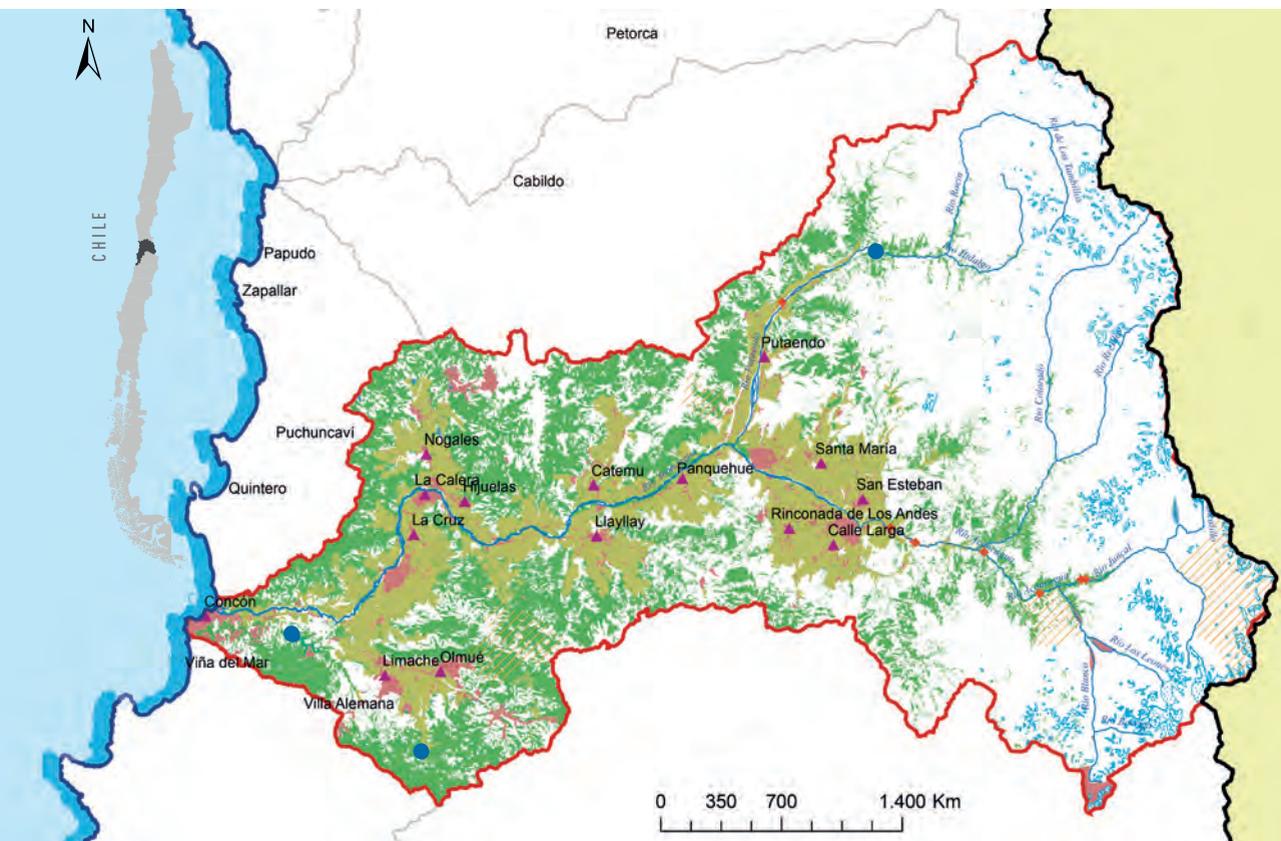
Causas priorizadas por la cuenca

# CUENCA DEL RÍO ACONCAGUA

Región de Valparaíso



MAPA DE LA CUENCA DEL RÍO ACONCAGUA Y SUS PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS.



- |                    |                      |                  |                  |
|--------------------|----------------------|------------------|------------------|
| Terrenos Agrícolas | Río                  | Grandes Embalses | Capital comunal  |
| Área Urbana        | Cuenca               | Hidroeléctricas  | Áreas Protegidas |
| Bosque             | Línea de costa       | Glaciares        |                  |
| Humedal            | Límite Internacional | Lagos            |                  |

DATUM WGS 1984, PROYECCIÓN UTM, HUSO 19 S  
Fuente: Elaboración propia. Escenarios Hídricos 2030



**Superficie:**  
7.334 km<sup>2</sup>



**Población aproximada en la cuenca:**  
732.000 personas



**Precipitación promedio anual:**  
350 – 390 mm



**Longitud del río:**  
161 km



**Gestión agua superficial:**  
Cuatro secciones de riego y cuatro juntas de vigilancia constituidas



**Gestión aguas subterráneas:**  
Nueve sectores hidrogeológicos, no cuenta con OUAs

## SITUACIÓN ACTUAL Y PROCESOS CRÍTICOS

La cuenca del río Aconcagua localizada en la Región de Valparaíso, abarca 20 comunas en las provincias de Valparaíso, Marga Marga, Quillota, San Felipe y Los Andes. El 91% de la población de esta región vive en el área urbana (INE, 2018), concentrándose en Quillota, Los Andes, San Felipe, Villa Alemana y Concón.

Su régimen hidrológico es de alimentación mixta, o nivo-pluvial. En su zona alta y media, el río Aconcagua es de régimen marcadamente nival, presentando un gran aumento de caudal en los meses de primavera producto de los deshielos cordilleranos. En la zona baja, el río Aconcagua posee un régimen pluvial, por lo cual presenta crecidas asociadas directamente con las precipitaciones (CNR, 2016b).

La confluencia de los ríos Juncal y Blanco conforman el río Aconcagua, con una longitud aproximada de 161 kilómetros y desembocadura en el municipio de Concón. Aguas arriba de la localidad de Los Andes, el río Aconcagua recibe también los aportes del río Colorado y aguas abajo de la localidad de San Felipe confluye con el río Putaendo. Además, el río Aconcagua recibe la contribución de una serie de esteros de menor caudal como Pocuro, Romeral, Limache y otros (MOP, 2012a). Los estudios más recientes de la cuenca indican que hay una oferta de

agua superficial promedio de 25 m<sup>3</sup>/s para un 85% de excedencia (INH, 2016). En base a modelos de simulación de los acuíferos se estima la oferta de agua subterránea promedio en 15,1 m<sup>3</sup>/s (DGA, 2015b).

En cuanto a las actividades más importantes en la cuenca, el 57,7% de la Región de Valparaíso está ocupada por praderas, matorrales y bosques que incluyen plantaciones forestales, mientras que los terrenos agrícolas ocupan el 11,15% de la superficie total. Los frutales son el cultivo más relevante, abarcando el 45,3% de la superficie agrícola (vid de mesa con un 33,8% y el palto con un 29%). Otros usuarios productivos del agua en la cuenca son la industria y -en menor medida- la actividad minera y la generación de energía hidroeléctrica (CIREN, 2014).



**29,32 m<sup>3</sup>/s**

Es la captación de agua de fuentes superficiales y subterráneas en la cuenca de Aconcagua



**15,33 m<sup>3</sup>/s**

Consumo de aguas superficiales y subterráneas en la cuenca (huella azul)



**1,71 m<sup>3</sup>/s**

Consumo de aguas (lluvias en la cuenca (huella verde)

Fuente: Radiografía del Agua: Brecha y Riesgo Hídrico en Chile (EH2030, 2018).

**TABLA 2. TABLA RESUMEN CON LA CAPTACIÓN, RETORNO Y CONSUMO POR CADA USO O SECTOR PRODUCTIVO EN LA CUENCA DEL RÍO ACONCAGUA**

USO	Captación <sup>1</sup> [m <sup>3</sup> /s]	Retorno <sup>2</sup> [m <sup>3</sup> /s]	Retorno <sup>3</sup> [%]	CONSUMO DE AGUA		HH Azul por uso respecto de la región <sup>6</sup> [%]
				HH Azul <sup>4</sup> [m <sup>3</sup> /s]	HH Verde <sup>5</sup> [m <sup>3</sup> /s]	
Agrícola (Riego)	26,05	12,29	47%	13,76	1,47	53%
Minero	1,02	0	0%	1,02	-	4%
Agua potable y saneamiento	2,08	1,78	85%	0,31	-	1%
Industrial	0,15	0,14	90%	0,01	-	0,06%
Forestal	-	-	-	-	0,24	-
Generación Eléctrica	-	-	-	0,22	-	0,83%
Pecuario	0,02	0,02	74%	0,01	-	0,02%

Fuente: Elaboración propia en base a Jaramillo y Acevedo (2017). Para Escenarios Hídricos 2030 (2018).

**NOTAS:**

1. Captación: volumen de agua dulce superficial y/o subterránea extraída de fuentes naturales para ser utilizada por diferentes usuarios.
2. Retorno: volumen de agua que después de ser utilizada por parte de los diferentes usuarios, es devuelta al sistema natural. Calculada como la diferencia entre captación y Huella Hídrica azul.
3. Retorno [%]: porcentaje de agua devuelta respecto del total de agua captada por sector.
4. Consumo Huella Hídrica Azul: volumen de agua fresca extraída de fuentes, superficiales y/o subterráneas, por parte de diferentes usuarios, que no retorna al ambiente de donde se extrajo. Puede ocurrir por: a) evaporación o evapotranspiración del agua, b) incorporación del agua en el producto, c) agua que no retorna a la misma cuenca de extracción o que se descarga al mar, o d) agua que retorna en un periodo de tiempo distinto al que se extrajo.
5. Consumo HH Verde: volumen de agua lluvia utilizada por parte de diferentes sectores, que queda temporalmente almacenada en la parte superficial del suelo o en la vegetación.
6. HH Azul por uso respecto de la región: porcentaje de agua consumida por Huella Hídrica Azul por cada sector en la cuenca, respecto de la Huella Hídrica Azul total de la región.

Los análisis de demandas para la Región de Valparaíso realizados en el marco de la **Radiografía del Agua: Brecha y Riesgo Hídrico en Chile** (Jaramillo y Acevedo, 2017. Para Escenarios Hídricos 2030, 2018) y en base a la metodología de Huella Hídrica (Hoekstra *et al.*, 2011), muestran que para la cuenca del río Aconcagua existe una captación de aguas de fuentes superficiales y subterráneas de 29,33 m<sup>3</sup>/s. Para esta

cuenca, el mayor consumo por huella hídrica azul se efectúa por parte del sector agrícola, con un uso de 13,76 m<sup>3</sup>/s, seguido del sector minero con un empleo de 1,02 m<sup>3</sup>/s y el sector de agua potable y saneamiento con un consumo de 0,31 m<sup>3</sup>/s. Por otro lado, el consumo de huella hídrica verde ocurre en primer lugar por parte del sector agrícola con 1,47 m<sup>3</sup>/s, seguido del sector forestal con 0,24 m<sup>3</sup>/s. La siguiente tabla muestra

un análisis más detallado de los resultados del estudio para cada sector productivo.

La comparación entre oferta referencial y demandas realizadas durante este estudio (Escenarios Hídricos 2030, 2018) evidencian que la cuenca del río Aconcagua tiene una Brecha Hídrica del 38% (consumo/oferta x 100), lo que significa que se usa el 38% de la oferta, que corresponde a una presión sobre el recurso hídrico de nivel moderado, revelando que la disponibilidad del mismo se está convirtiendo en un limitador del desarrollo (escala basada en Rivera *et al.*, 2004).

En la cuenca, el proceso de construcción colectiva de escenarios hídricos ha identificado **procesos críticos invariables** que afectan el recurso hídrico y que están vinculados a los efectos del Cambio Climático, actividad productiva y crecimiento de la población. Éstos son:

- Impacto en caudales por afectación de glaciares y nieves en zonas altas de la cuenca.
- Aumento de eventos críticos relacionados con variables climáticas (déficit/inundaciones).
- Crecimiento de la población urbana.
- Expansión minera hacia la zona central.

En Chile central ya se ha visto un descenso en el caudal (Pelliciotti *et al.*, 2007. Citado por DGA, 2011a), lo que podría obedecer a una contribución menos efectiva de los glaciares en respuesta al ascenso de la isoterma de 0°C (Carrasco *et al.*, 2005. Citado por DGA, 2011a) o bien por la disminución de la precipitación sólida, que también tiene un rol clave en la escorrentía superficial (Masiokas *et al.*, 2009. Citado por DGA, 2011a). La disminución de caudales puede ser producida principalmente por la

disminución de los deshielos y las variaciones de temperatura en la cordillera (DGA, 2011a). En relación a esto, la elevación de las líneas de las nieves en unos 500 metros entre el río Aconcagua y el Biobío, representa una pérdida de 400 a 450 millones de metros cúbicos de agua que ahora caerían en forma líquida y no sólida (Santibañez, 2016). Se comprueba una tendencia generalizada de retroceso frontal y reducción de áreas glaciares, que está vinculada en gran medida a los cambios de temperaturas y precipitaciones que afectan Chile (DGA, 2011a). Esta variable climática también provoca sequías más prolongadas y eventos extremos.

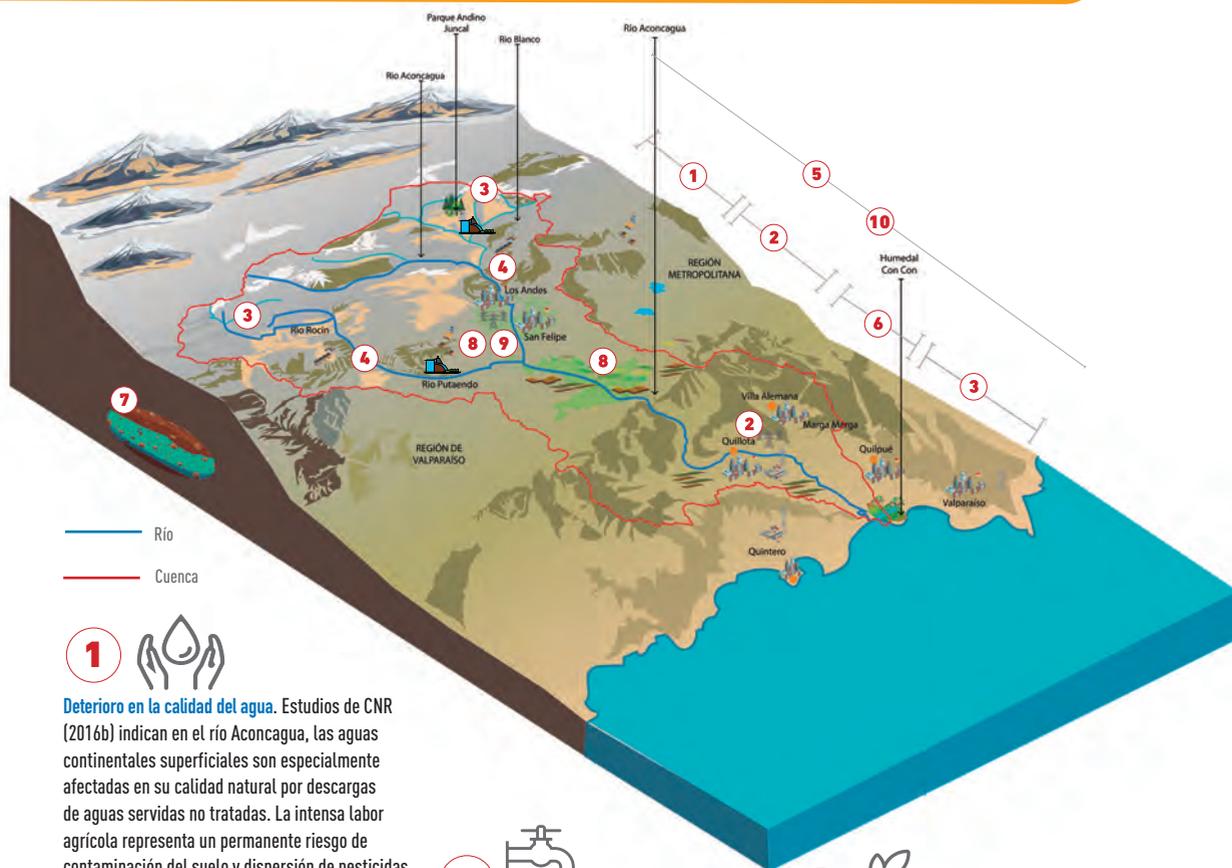
El análisis de imágenes satelitales MODIS y CHIRPS (Galleguillos *et al.*, 2017. Para Escenarios Hídricos 2030, 2018), establece que entre los años 2000-2014 la evapotranspiración se ha mantenido estable, mientras la precipitación ha disminuido, provocando un déficit hídrico meteorológico moderado (escala del índice SPEI, Galleguillos *et al.*, 2017; basada en Agnew, 2000).

En relación a la expansión minera en la zona, entre la región de Coquimbo y O'Higgins, se encuentran actualmente el 50% de los recursos de cobre del país (SONAMI, 2014).

Además, se reconocieron **procesos críticos variables**, los que pueden ser manejados si se implementan las soluciones adecuadas para ello. Respecto a los procesos críticos variables se destacaron diez procesos cuyo comportamiento actual e histórico, según la evidencia levantada de estudios de la cuenca, se resumen a continuación:

## FIGURA 7: REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LOS PROCESOS CRÍTICOS VARIABLES PARA LA CUENCA DEL RÍO ACONCAGUA

Fuente: Elaboración propia. Escenarios Hídricos 2030.



**1** **Deterioro en la calidad del agua.** Estudios de CNR (2016b) indican en el río Aconcagua, las aguas continentales superficiales son especialmente afectadas en su calidad natural por descargas de aguas servidas no tratadas. La intensa labor agrícola representa un permanente riesgo de contaminación del suelo y dispersión de pesticidas hacia los recursos hídricos. Uno de los principales problemas en los acuíferos se refiere a la intrusión salina en el sector de su desembocadura (CNR, 2016b). En el marco de la *Radiografía del agua* se desarrolló y aplicó un índice de Calidad de Agua Superficial (Girardi et al., 2018). Para Escenarios Hídricos 2030 (2018), mostró que en verano 2011-2016 la calidad es insuficiente, incrementándose en 10 estaciones producto del alto contenido de arsénico concentrado en el río Aconcagua.



**2** **Necesidad de mejorar la calidad de servicio y acceso a agua potable.** La larga sequía, que golpeó con particular fuerza a la región entre los años 2008 y 2015, causó graves daños en el abastecimiento de agua para la población y la actividad productiva. Las zonas urbanas del gran Valparaíso estuvieron en peligro de quedar sin agua, mientras miles de habitantes de zonas rurales vieron secarse sus fuentes de agua potable (GORE Valparaíso, 2018).



**3** **Deterioro de los humedales costeros y altoandinos.** CONAF (2010) identifica que existen presiones humanas, como la extracción de aguas embalsadas para fines domésticos, incendios forestales provocados tanto en áreas silvestres protegidas como en cuencas asociadas, contaminación por basura, proyectos inmobiliarios en zonas aledañas y deficiente regulación en cuanto al ordenamiento territorial del borde costero.

# La sequía (2008-2015) puso en peligro el abastecimiento de agua potable en zonas urbanas y las zonas rurales vieron secar sus fuentes de agua (GORE Valparaíso, 2018).



**4** **Crecimiento de la demanda energética se traduce en una mayor demanda de agua para proyectos de generación eléctrica.** En esta región hay al menos ocho proyectos hidroeléctricos (Blanco, Hornitos, Juncal, Los Quilos, etc.), además de iniciativas solares y eólicas en planificación (Min. Energía, 2015).



**5** **Falta de disponibilidad de la información existente sobre el recurso hídrico.** Según el informe "Análisis crítico de las redes hidrométricas, regiones V a VII y Metropolitana 2013" la cantidad de estaciones existentes y vigentes no son capaces de proporcionar información suficiente para caracterizar la cuenca y representar la variabilidad espacial del régimen de caudales (CNR, 2016b).



**6** **Lenta implementación de planes de infraestructura hídrica e insuficientes sistemas de almacenamiento multipropósitos de agua.** La CNR (2016b) identifica 1.230 canales, con 470 km de longitud, 51 embalses menores y tres embalses mayores, con 12.292 usuarios de aguas regando una superficie de 22.703 ha, incluyendo la subcuenca del río Putaendo. Sin embargo, la Región de Valparaíso posee una serie de infraestructuras en proyecto para solucionar problemas de riego, red primaria aguas lluvia y red de agua potable, las que deberán implementarse hasta el año 2021 (MOP 2012a).



**7** **Creciente presión de aguas subterráneas.** El Ministerio de Obras Públicas (DGA, 2015b) recomendó establecer zonas de restricción, dado el riesgo de disminución de acuíferos en la cuenca del Aconcagua<sup>22</sup>. CAZALAC (2017) estimó que en los únicos dos pozos subterráneos de los 89 monitoreados por la Dirección General de Aguas, ha habido una tendencia a la disminución de los caudales desde el año 2000<sup>23</sup>.



**8** **Impacto del desarrollo agrícola sobre el recurso hídrico:** La región de Valparaíso con el aporte al PIB silvoagropecuario de 10,4%, aportando a la demanda hortícola de la región y el país (ODEPA, 2018b). Hay un riesgo en la agricultura de riego a la menor pluviometría que se prevé a futuro, lo que generará mayor presión sobre los recursos hídricos, mayor competencia entre sectores y mayor vulnerabilidad del sector debido a la excesiva subdivisión de la tierra, la debilidad de las organizaciones de usuarios, y los ya existentes problemas de contaminación en las fuentes (CNR, 2016b).



**9** **Impacto de la actividad minera al desarrollo agrícola:** en la cuenca del río Aconcagua y las cuencas costeras, se llevan a cabo diferentes actividades de minería en la cordillera, como es la División Andina de CODELCO-Chile en el río Blanco y en las cabeceras de algunos tributarios como el estero Catemu. Entre la región de Coquimbo y O'Higgins se encuentran actualmente el 50% de los recursos de cobre

del país (SONAMI, 2014). Como resultado de talleres realizados por la CNR (2016b), se identifica la necesidad de fiscalizar y asegurar la repartición de las aguas con respecto a la minería versus la agricultura, además de la necesidad de una mayor presencia o interacción entre la minería y usuarios de riego para evitar severos daños por contaminación (CNR, 2016b).



**10** **Deficiente coordinación en la gestión de aguas en la cuenca:** el informe del Ministerio de Obras Públicas (2012a) para la región menciona la necesidad de aplicar políticas que apunten a lograr una mayor participación de las organizaciones de usuarios en el desarrollo de nuevos proyectos y en la discusión de políticas hídricas en Chile. Igualmente, el estudio de la situación ambiental en Chile (OCDE, 2016), menciona la duplicidad de funciones de los distintos organismos y el hecho de que, pese a que el 2008 se firmó la Estrategia Nacional de Gestión Integrada de Cuenas Hidrográficas, el país no ha avanzado mayormente en la adopción de una gestión integrada de estos recursos. En 2018, se firmó un acuerdo entre los regantes de sus cuatro secciones para determinar un reparto adecuado del agua.

22. La DGA declara áreas de restricción los sectores 5 Llay Llay, 6 Nogales-Hijuelas, 7 Quillota, 8 Aconcagua desembocadura y 9 Limache, no existiendo entonces disponibilidad de recurso hídrico subterráneos para otorgar nuevos derechos de aprovechamiento en calidad de definitivos, por estimar que existe riesgo de grave disminución de dichos acuíferos.

23. Tendencia negativa significativa con probabilidad de error <0.01.

# CONSTRUCCIÓN COLECTIVA DE LA SITUACIÓN FUTURA

## ESCENARIO TENDENCIAL 2030-2050

La cuenca del río Aconcagua acoge diversos usos y actividades que deben compartir el recurso hídrico, como son: agricultura, minería, generación eléctrica, industrial y consumo humano, entre otras. Estas actividades se desarrollan desde la parte alta de la cuenca hasta la desembocadura, generando presión sobre los recursos hídricos y ecosistemas acuáticos.

Se mantiene la progresiva reducción de los caudales anuales en algunas estaciones del río Aconcagua, producida principalmente por la disminución de los deshielos y las variaciones de temperatura en la cordillera (DGA, 2011a). Decrece la capacidad de almacenamiento de nieve por el alza de la isoterma 0 °C y el retroceso frontal y reducción de áreas glaciares, que altera los patrones temporales en que los caudales medios y extremos se manifiestan en las cuencas, especialmente aquellas de influencia nival. Hay instrumentos que de manera indirecta tienen competencia sobre los glaciares, pero ninguno permite su protección directa. Además, no se han realizado estudios que cuantifiquen el aporte hídrico de éstos a la cuenca, ni tampoco suficientes estaciones que permitan caracterizarla.

La Región de Valparaíso es afectada por el Cambio Climático en 2050, con un aumento en las temperaturas, una baja de las precipitaciones respecto del promedio anual, y la amenaza de subida del nivel del mar.

Además, durante este período se acrecientan los eventos extremos como marejadas grandes, con un impacto significativo en el borde costero.

En una tendencia que se mantiene desde hace varias décadas en la región, se produce una concentración de la población en centros urbanos, profundizando el efecto de la intervención antrópica como la impermeabilización del terreno provocada por el desarrollo habitacional, la presencia de pasos bajo nivel sin drenajes adecuados y la ausencia de un sistema para recolectar las aguas lluvia en algunas localidades; factores que han contribuido a incrementar la magnitud y recurrencia de eventos de inundación.

Continúa el deterioro de los humedales costeros y altoandinos, que siguen recibiendo estrés y perdiendo la capacidad de recuperarse. Esto, debido a la presión por la extracción de agua para diversos usos, incendios forestales y contaminación por basura y turismo, entre otros. En el caso de los humedales costeros, si bien existe regulación en cuanto al ordenamiento territorial del borde costero, se mantiene una deficiente gestión de las zonas que involucran humedales y riberas del río, lo que impide su protección efectiva.

La reducción de agua superficial disponible generada por los efectos del Cambio Climático, la ausencia de comunidades de aguas subterráneas y la deficiente medición y control

## Continúa el deterioro de los humedales costeros y altoandinos, que siguen recibiendo estrés y perdiendo la capacidad de recuperarse.



Reducción de la capacidad de almacenamiento de nieve por el alza de la isoterma 0 °C.



Disminución de los deshielos por variaciones de temperatura en la cordillera.



Alteración de los patrones temporales en los caudales medios y extremos.



Alza de temperaturas y disminución de las precipitaciones.



Se incrementan los eventos extremos como marejadas grandes, impactando al borde costero.

de las extracciones de aguas, incrementa la presión sobre las aguas subterráneas por las distintas actividades. Esto contribuye al descenso de los niveles de pozos en algunas partes de la cuenca, donde se ha establecido además que la demanda comprometida supera el volumen sustentable (DGA, 2016b)<sup>24</sup> y se mantiene la restricción de otorgamiento de nuevos derechos de aprovechamiento de aguas de acuerdo al D.S. N° 203/2013 del MOP<sup>25,26</sup>.

Sumado a lo anterior, sigue el deterioro en la calidad del agua como consecuencia de los efectos antrópicos, derivados de la poca frecuencia y falta de puntos de medición de la calidad, ausencia de medición de ciertos parámetros, cambios a los límites de detección, o la imposibilidad en algunos casos de establecer responsables

y el aporte concreto de la contaminación difusa, lo que impide una mejor gestión de la calidad del recurso, provocando que la actual normativa no acompañe la realidad territorial y los sectores actúen con estándares distintos a lo largo de la cuenca.

Dividida en cuatro secciones administrativas y con distintas instituciones públicas con competencia en el tema, se dificulta la gestión del recurso en esta cuenca. El acuerdo existente entre los usuarios de las cuatro secciones con el Ministerio de Obras Públicas ha mejorado esta situación solo en aquellos casos en que se ha mantenido una voluntad de todos los actores.

Se visualiza que no hay prioridad en la agenda pública con respecto al agua y los planes de inversión para cubrir la necesidad

24. En este estudio se consigna que la demanda comprometida supera el volumen sustentable. Por lo tanto y en base al D.S. N°203, se define que en ellos no existe disponibilidad para el otorgamiento de derechos de aprovechamiento definitivos sobre aguas subterráneas y, del mismo modo, se estima que en todos ellos existe riesgo de grave disminución del acuífero con el consiguiente perjuicio de derechos de terceros ya establecidos en él, procediendo de acuerdo a los artículos 65 del Código de Aguas. Dado lo anterior, se establece la declaración de área de restricción para cada uno de ellos. Atendida la demanda comprometida actual en cada sector, es posible otorgar derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en carácter de provisionales hasta ciertos volúmenes.

25. Sobre este punto, la Confederación Nacional de Canalistas de Chile manifiesta que bajo el actual criterio de recargas naturales se restringe el empleo de aguas subterráneas y no se hace uso de los acuíferos como reservorio natural de agua.

26. D.S. N° 203/2013. Aprueba reglamento sobre normas de exploración y explotación de aguas subterráneas. (<https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=1099092>)

hídrica se implementan con lentitud y dificultad por parte del sector público y con resultados poco eficientes. Cada sector desarrolla su proyecto de forma independiente o en coordinación a través de acuerdos bilaterales, lo que profundiza los problemas de gestión a nivel de cuenca. Además, no se han aprovechado las oportunidades que presentan soluciones multipropósito y tampoco las políticas apuntan a eso.

En este contexto, continúa la desconfianza entre los actores de la cuenca, no hay nuevos estudios respecto a la misma y la gestión de la información resulta dispersa y de difícil acceso. Se mantienen las incoherencias entre la información disponible, lo que provoca dificultades para la toma de decisiones, duplicidad de esfuerzos y un gasto de recursos innecesario.

La dificultad de proyectar la cantidad de proyectos energéticos que podrían desarrollarse en la cuenca y el desconocimiento sobre la diversificación de la matriz energética, hacen que la demanda de agua se vaya definiendo sin una planificación específica. Esto, sumado a los actuales impactos sobre el recurso que se visualizan en la generación termoeléctrica, genera mayor presión sobre el recurso hídrico.

El sector minero ha avanzado sustancialmente en mejorar su eficiencia hídrica, pero el mayor crecimiento económico del país y, en particular de esta actividad en la zona

central, se materializa con sospechas de un impacto probable en la calidad del agua. Esto provoca desconfianza y problemas de convivencia entre las distintas actividades productivas de la cuenca. Se profundizan las relaciones bilaterales entre los usuarios, en desmedro de las colectivas, para lograr acuerdos de uso del recurso en función de las necesidades de cada uno de ellos.

De igual forma, la actividad agrícola crece sin la información necesaria para tomar mejores decisiones y solo se consideran los factores claves de disponibilidad local del recurso y las capacidades particulares para conseguir mayor eficiencia. Esto provoca impactos negativos tanto en la calidad como en la disponibilidad del agua, ya que se hace un uso intensivo del recurso hídrico y con una regulación ambiental distinta al de otras actividades.

Las soluciones para cubrir el servicio de provisión de agua potable en áreas no concesionadas son de corto plazo y los sistemas implementados resultan vulnerables a la variabilidad climática. Además, los instrumentos de planificación territorial no tienen en cuenta la oferta y demanda hídrica, poniendo en riesgo la provisión del servicio. La gestión de los APR es deficiente, manteniendo su funcionamiento acorde a los recursos técnicos y financieros que poseen.

## PRINCIPALES TEMAS ESCENARIO TENDENCIAL



Concentración de la población en centros urbanos, profundizando el efecto de la intervención antrópica como la impermeabilización del terreno.



Se mantiene el deterioro de los humedales costeros y altoandinos, que siguen recibiendo estrés y perdiendo la capacidad de recuperarse.



Incrementa la presión sobre las aguas subterráneas por las distintas actividades. Esto contribuye a la disminución de los niveles de pozos en algunas partes de la cuenca.



Continúa el deterioro en la calidad del agua debido a efectos antrópicos. La normativa no acompaña la realidad territorial y los sectores actúan con estándares distintos a lo largo de la cuenca.



El acuerdo existente entre los usuarios de las cuatro secciones con el Ministerio de Obras Públicas ha mejorado esta situación solo en aquellos casos en que se ha mantenido la voluntad de todos los actores.



Cada sector desarrolla su proyecto de forma independiente o en coordinación a través de acuerdos bilaterales, lo que profundiza los problemas de gestión a nivel de cuenca.



Incoherencias entre la información disponible, lo que provoca dificultades para la toma de decisiones, una duplicidad de esfuerzos y un gasto de recursos ineficiente.



El sector minero ha avanzado sustancialmente en mejorar su eficiencia hídrica, pero su mayor crecimiento en la zona central, se materializa con sospechas de un impacto probable en la calidad del agua.



La actividad agrícola crece sin la información necesaria para tomar mejores decisiones, generando impactos negativos tanto en la calidad como en la disponibilidad del recurso.



Las soluciones para cubrir el servicio de provisión de agua potable en áreas no concesionadas son de corto plazo y los sistemas implementados resultan vulnerables a la variabilidad climática.

## ESCENARIO SUSTENTABLE 2030-2050

Un trabajo planificado, sistemático y concreto permite diseñar al 2030 una gobernanza para la gestión del recurso hídrico, que recoge lo positivo de las anteriores formas de administración, pero de manera más robusta y coherente con el territorio.

La región logra establecer la adecuada gestión para planificar y equilibrar la oferta y demanda de agua en el mediano y largo plazo, fortaleciendo así el desarrollo territorial, bajando la presión sobre el recurso hídrico, asignando prioridades para su uso, conservando los ecosistemas acuáticos y mejorando su eficiencia. Consecuencia de lo anterior, al año 2050 se consigue reducir la Brecha Hídrica de la cuenca desde una categoría media a baja<sup>27</sup>, empleando para ello nuevas fuentes de agua.

El impacto del Cambio Climático sobre este recurso se aborda con medidas de adaptación que son diseñadas e implementadas en el mediano y largo plazo, fortaleciendo la capacidad de resiliencia frente a eventos extremos como inundaciones y períodos de sequía y logrando la protección de las fuentes de agua.

La creciente tendencia de concentración de la población en áreas urbanas se realiza con un ordenamiento territorial, que incorpora las medidas necesarias para hacer sustentable el recurso y salvaguardar los ecosistemas.

Un trabajo planificado, sistemático y concreto permite diseñar al año 2030 una gobernanza para la gestión del recurso hídrico que recoge lo positivo de las anteriores formas de administración, pero de manera más robusta y coherente con el territorio. En el 2050, existe una regulación que ordena la gestión por cuenca y una cultura que apunta a la organización y coordinación de todos los usos, por medio del fortalecimiento de las organizaciones de usuarios de agua y otras vinculadas al recurso hídrico, permitiendo un funcionamiento ordenado, inclusivo, democrático y sostenible sobre el mismo que permite cubrir sus distintos usos (incluido el ambiental).

La priorización y puesta en valor del recurso hídrico como tema en la agenda pública, da la posibilidad de financiar e implementar planes que fomenten soluciones colaborativas entre los sectores y en alianzas público/privadas al 2050, ejecutando planes de inversión hídrica con recursos humanos, económicos y técnicos adecuados, y con modelos de negocio que producen consenso entre los actores. Esto se obtiene gracias a un trabajo previo que incluye

27. El concepto de **Brecha Hídrica** utilizado en este texto corresponde a la relación entre la demanda potencial de agua y la oferta hídrica disponible en las fuentes abastecedoras, que ha sido abordada y desarrollada a nivel internacional, conociéndose como índice de escasez hídrica. Para más detalle del concepto consultar: <http://escenarioshidricos.cl/wp-content/uploads/2018/07/radiografia-del-agua.pdf>

## Al 2030, se han implementado soluciones para la provisión de agua potable con mirada de largo plazo, con soluciones robustas y sustentables.

estudios de factibilidad para el desarrollo de soluciones, obras y acciones, las que se evalúan teniendo presente su funcionamiento conjunto y efectos a nivel de cuenca. Entre los elementos considerados se incluye el análisis de oportunidad de obras multipropósito, que apunta a reducir costos, maximizar efectos positivos y crear sinergias entre los distintos sectores.

En el mediano plazo, se generan e implementan instancias de trabajo colectivo que crean confianza entre los diversos usuarios del agua. Con esta base, al año 2050 se cuenta con un sistema completo de información del recurso hídrico a nivel de cuenca, de acceso universal, gestionado a través de un mecanismo de gobernanza y con acuerdo de todos los actores -quienes velan por su acceso, calidad y actualización- permitiendo una optimización del recurso y una informada toma de decisiones. Además, las inversiones en energía permiten cubrir la demanda energética, las que se materializan por medio de una coordinación entre actores y usuarios. Esto contribuye a mejorar la sustentabilidad energética e hídrica.

En el largo plazo, se cumplen las metas nacionales y las recomendaciones internacionales relacionadas a la diversificación de la matriz energética, con foco en ERNC, sin afectar al recurso hídrico.

La minería y la agricultura se desarrollan con mecanismos de convivencia adecuados entre sí y con otras actividades productivas, lo que se consigue por medio de un sistema de gobernanza coordinado y armónico, con mirada de mediano y largo plazo, y con un fuerte

enfoque en la sustentabilidad. Dado lo anterior, al 2050 cada sector implementa mecanismos e invierte en tecnología e innovación para mejorar la gestión hídrica en sus procesos productivos. La estrategia hídrica de la región, que orienta las actividades económicas, está centrada en una matriz productiva coherente con la vocación agrícola del territorio, sector que cuenta con toda la información y los mecanismos necesarios para tomar las mejores decisiones para su desarrollo, con un fuerte enfoque en la eficiencia hídrica de la cuenca. Los procesos de transformación no solo están dados por la disponibilidad y el precio, sino también se orientan al desarrollo tecnológico y decisiones estratégicas con una mirada a largo plazo y en coordinación y articulación con los otros usuarios del territorio.

Al 2030, se han implementado soluciones para la provisión de agua potable con mirada de largo plazo y con soluciones robustas y sustentables. Lo anterior es acompañado de una conciencia y cultura de eficiencia en todos los sectores, así como de mayor capacitación y fortalecimiento de las organizaciones de agua potable rural (APR). Esto provoca que en 2050 se mejore la calidad de servicio y acceso a agua potable, pues existe un instrumento de planificación territorial, que considera la oferta y demanda hídrica en su diseño y que es concordante con la realidad, lo que asegura la provisión del servicio en forma continua a la población actual y futura.

Luego de revisar los criterios y metodologías de recarga de los acuíferos en el mediano plazo, se implementa una política de largo plazo

que gestiona la oferta y demanda del agua subterránea en conjunto con el agua superficial, empleando sistemas de almacenamiento.

Hacia el año 2030, se impulsa el diseño de planes de ordenamiento territorial que reconocen los usos actuales y controlan los futuros, los que se implementan y materializan en 2050. Esto incluye regulaciones específicas que protegen los ecosistemas acuáticos, entre las que se consideran normas secundarias de calidad ambiental. Ese mismo año el territorio minimiza los impactos a los humedales, habiendo desarrollado en los últimos 20 años acciones de adaptación al Cambio Climático, estudios de caracterización para su cuidado y recuperación, y campañas educativas que generan una ciudadanía consciente y sectores

productivos que se desarrollan en equilibrio con la protección de estos ecosistemas.

Finalmente, para el año 2030, se diseñan e implementan programas de control y medición que se llevan a cabo en conjunto por los distintos actores de la cuenca (minería, agrícola, APR, sanitarias, juntas de vigilancia, industria). Esto genera que en el año 2050 se establezca un mecanismo nacional interoperable, que entiende los mecanismos regionales y se retroalimenta para conocer las fuentes contaminantes, monitorear y controlar en forma constante la calidad y cantidad del recurso. Este trabajo coordinado implementa soluciones que permiten mantener la calidad en niveles adecuados para los diferentes usos.

## PRINCIPALES TEMAS ESCENARIO SUSTENTABLE



La creciente tendencia de concentración de la población en áreas urbanas se realiza con un ordenamiento territorial.



Al 2050 cada sector implementa mecanismos e invierte en tecnología e innovación para mejorar la gestión hídrica en sus procesos productivos.



Se diseña al 2030 una gobernanza para la gestión del recurso hídrico que recoge lo positivo de las anteriores formas de administración, pero de manera más robusta y coherente con el territorio.



Los procesos de transformación no solo están dados por la disponibilidad y el precio, sino también se orientan al desarrollo tecnológico y decisiones estratégicas con una mirada a largo plazo.



Existe una priorización y puesta en valor del recurso hídrico como tema en la agenda pública, lo que permite financiar e implementar los planes que fomentan soluciones colaborativas entre los sectores y en alianzas público/privadas.



Al 2030, se han implementado soluciones para la provisión de agua potable con mirada de largo plazo y con soluciones robustas y sustentables. Lo anterior es acompañado de una conciencia y cultura de eficiencia en todos los sectores.



Al 2050 se cuenta con un sistema completo de información del recurso hídrico a nivel de cuenca, de acceso universal, gestionado a través de un mecanismo de gobernanza y con acuerdo de todos los actores.



Al 2050 se incluyen regulaciones específicas que protegen los ecosistemas acuáticos, entre las que destacan normas secundarias de calidad ambiental, logrando además minimizar los impactos a los humedales, habiendo desarrollado en los últimos 20 años acciones de adaptación al Cambio Climático.

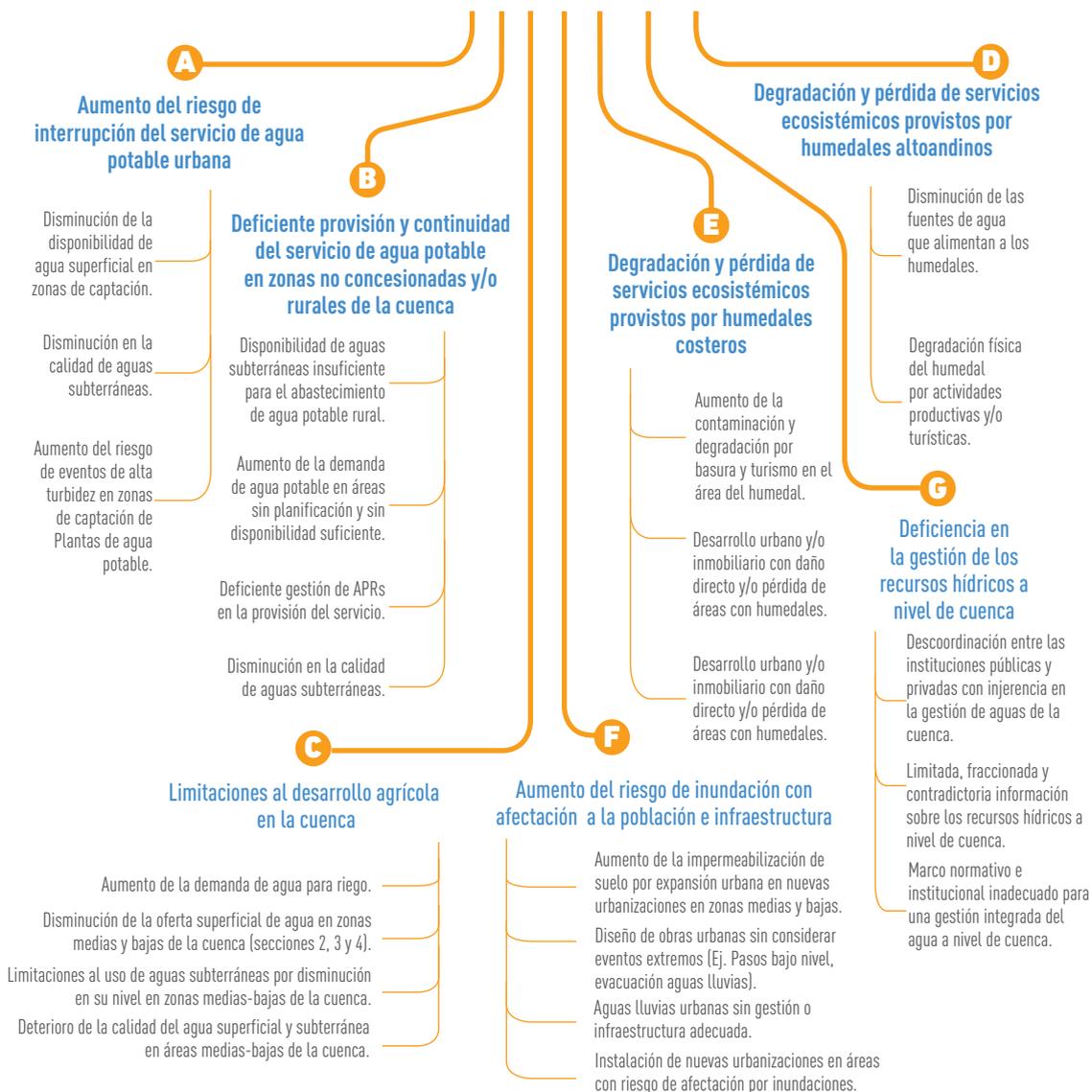


La minería y la agricultura se desarrollan con mecanismos de convivencia adecuados entre sí y con otras actividades productivas.

# ÁRBOL DE PROBLEMAS

Los procesos críticos variables de la cuenca del río Aconcagua resultaron en la identificación de siete problemas principales:

## CUENCA DEL RÍO ACONCAGUA



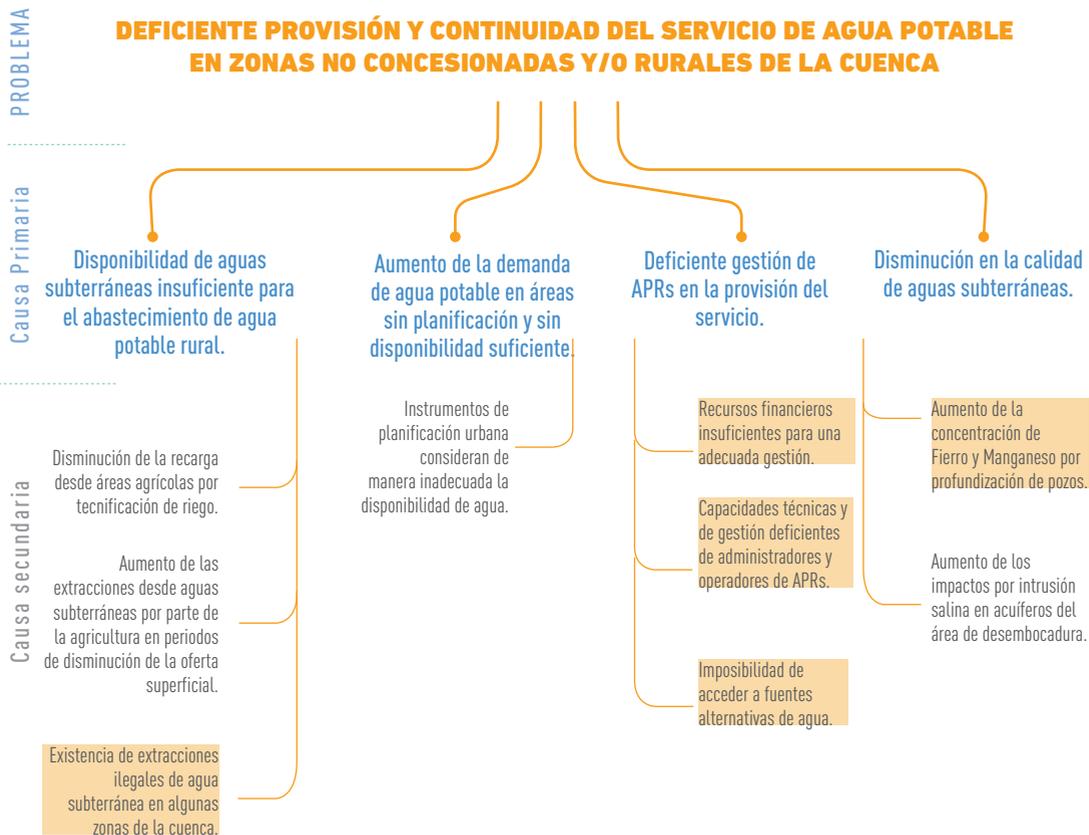
Estos problemas muestran 23 causas primarias y 52 causas secundarias.



Causas priorizadas por la cuenca

**B**

**DEFICIENTE PROVISIÓN Y CONTINUIDAD DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE EN ZONAS NO CONCESIONADAS Y/O RURALES DE LA CUENCA**



Causas priorizadas por la cuenca



**LIMITACIONES AL DESARROLLO AGRÍCOLA EN LA CUENCA**

PROBLEMA

Causa Primaria

Causa secundaria

**Aumento de la demanda de agua para riego.**

Aumento de las necesidades de riego por hectárea consecuencia de la evapotranspiración y disminución de precipitaciones.

Aumento de la superficie agrícola bajo riego en zonas de secano.

**Disminución de la oferta superficial de agua en zonas medias y bajas de la cuenca (secciones 2, 3 y 4).**

Aumento del uso de agua en zonas altas de la cuenca (recambio agricultura-industria-minería y/o aumento de superficie plantada).

Disminución de los retornos desde zonas de riego aguas arriba por tecnificación y/o impermeabilización de canales.

Dificultades en la captación por alteraciones morfológicas producto de extracción de áridos.

Dificultad para la implementación de obras de regulación de caudales.

Sobre otorgamiento de derechos de aprovechamiento de aguas por sobre la disponibilidad física del recurso.

**Limitaciones al uso de aguas subterráneas por disminución en su nivel en zonas medias-bajas de la cuenca.**

Aumento del uso de aguas subterráneas por sobre la capacidad de recarga del acuífero.

Aumento de las extracciones ilegales de agua.

Aumento de los costos por conceptos de energía asociada al bombeo de aguas subterráneas.

**Deterioro de la calidad del agua superficiales y subterráneas en áreas medias-bajas de la cuenca.**

Incapacidad de caracterizar y localizar de fuentes de contaminación difusa de aguas subterráneas.

Aumento de la concentración de contaminantes en aguas superficiales por descargas desde actividad agroindustrial.

Aumento de contaminación por descargas de aguas servidas desde localidades rurales de la cuenca.

Aumento de la carga de sedimentos y/o concentración de nutrientes desde actividad agrícola en laderas de cerros.

Deficiente monitoreo de parámetros relevantes de calidad de agua.

Marco normativo y regulatorio para la calidad de agua poco efectivo y coherente con las necesidades y características de los usuarios de la cuenca.

Causas priorizadas por la cuenca

D

**DEGRADACIÓN Y PÉRDIDA DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS PROVISTOS POR HUMEDALES ALTO-ANDINOS**

PROBLEMA

Causa Primaria

Causa secundaria

Disminución de las fuentes de agua que alimentan a los humedales.

Degradación física del humedal por actividades productivas y/o turísticas.

Pérdida de masa glaciar en cuencas aportantes a humedales (ríos Blanco y Colorado).

Aumento de las extracciones de agua, aguas arriba de los humedales.

Poca conciencia sobre las características, rol e importancia de los humedales altoandinos por parte de visitantes.  
Deficiente gestión territorial y/o protección de áreas con presencia de humedales.

Causas priorizadas por la cuenca

**E**

**DEGRADACIÓN Y PÉRDIDA DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS PROVISTOS POR HUMEDALES COSTEROS**

PROBLEMA

Causa Primaria

Aumento de la contaminación y degradación por basura y turismo en el área del humedal.

Desarrollo urbano y/o inmobiliario con daño directo y/o pérdida de áreas con humedales.

Deterioro de la calidad del agua superficial en áreas bajas de la cuenca.

Causa secundaria

Pérdida de masa glaciaria en cuencas aportantes a humedales (Río Blanco, Río Colorado).

Actividad turística en el humedal con infraestructura deficiente.

Poca conciencia sobre las características, rol e importancia de los humedales costeros para los visitantes y la comunidad aledaña.

Deficiente gestión territorial en áreas con presencia de humedales.

Incapacidad de caracterizar y localizar fuentes de contaminación difusa de aguas superficiales.

Aumento de la concentración de contaminantes en aguas superficiales por descargas desde actividad Agroindustrial.

Aumento de contaminación por descargas de aguas servidas desde localidades rurales de la cuenca.

Deficiente monitoreo de parámetros relevantes de calidad de agua.

Marco normativo y regulatorio para la calidad de agua poco efectivo y coherente con las necesidades y características de los usuarios de la cuenca.

Causas priorizadas por la cuenca



### AUMENTO DEL RIESGO DE INUNDACIÓN CON AFECTACIÓN A LA POBLACIÓN E INFRAESTRUCTURA

PROBLEMA

Causa Primaria

Aumento de la impermeabilización de suelo por expansión urbana en nuevas urbanizaciones en zonas medias y bajas.

Diseño de obras urbanas sin considerar eventos extremos (Ej. pasos bajo nivel, evacuación de aguas lluvias).

Aguas lluvias urbanas sin gestión o infraestructura adecuada.

Instalación de nuevas urbanizaciones en áreas con riesgo de afectación por inundaciones.

Causa secundaria

Causas priorizadas por la cuenca



## DEFICIENCIA EN LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS A NIVEL DE CUENCA

PROBLEMA

Causa Primaria

Descordinación entre las instituciones con atribuciones en la gestión del agua de la cuenca (Juntas de vigilancia, organizaciones de usuarios, organismos del Estado, etc.)

Limitada, fraccionada y contradictoria información sobre los recursos hídricos a nivel de cuenca.

Marco normativo e institucional inadecuado para una gestión integrada del agua a nivel de cuenca.

Causa secundaria

Alcance territorial institucional limitado a seccionales y sectores hidro(geo)lógicos.

Poca transparencia en el mercado de aguas a nivel de cuenca.

Instituciones públicas relevantes desconectadas y descoordinadas en su accionar territorial.

Dispares capacidades técnicas y financieras entre organizaciones de usuarios de agua.

Información ambiental con importantes brechas en la cobertura espacial y temporal.

Desconocimiento e insuficiente fiscalización de extracciones ilegales de agua.

Desconfianza entre distintos actores generadores de información (públicos y privados).

Recursos financieros insuficientes para el diseño, construcción y mantención de un sistema integrado de información.

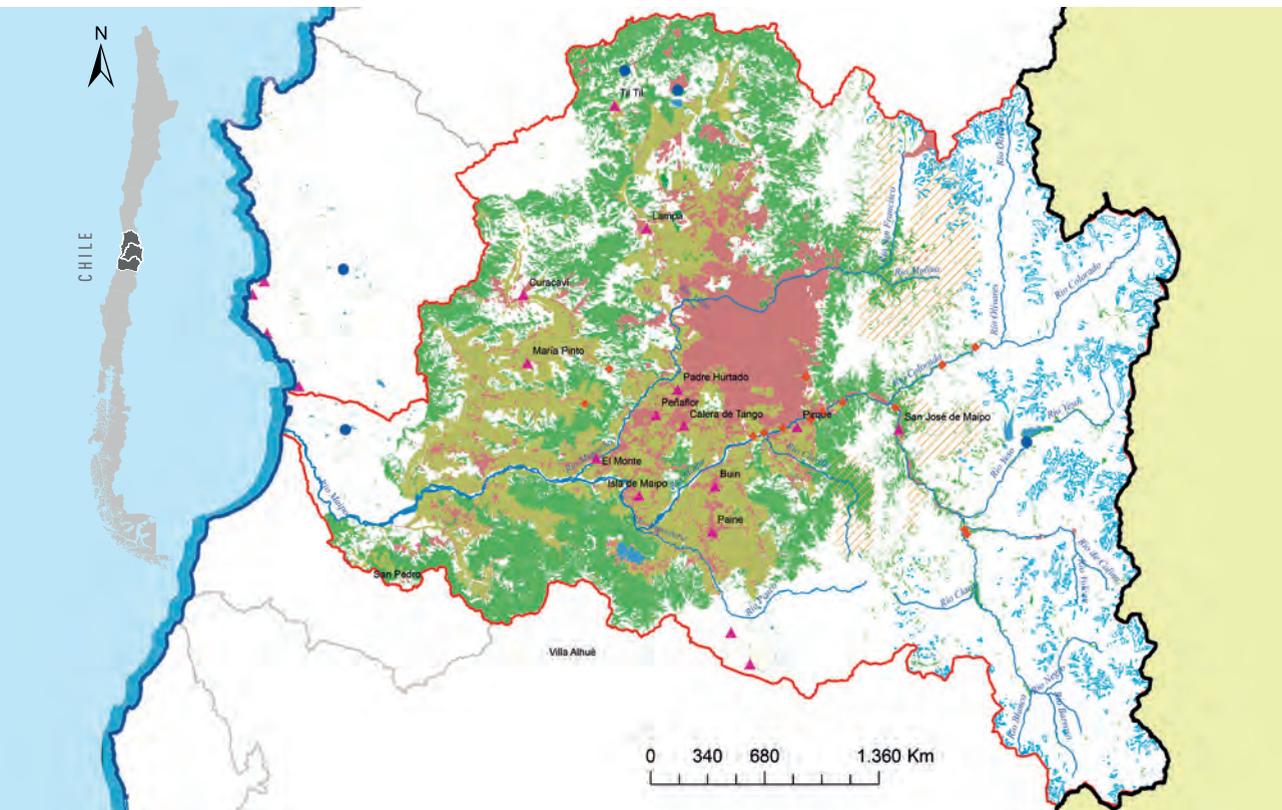
Causas priorizadas por la cuenca

# CUENCA DEL RÍO MAIPO

Región Metropolitana, Valparaíso y O'Higgins



MAPA DE LA CUENCA DEL RÍO MAIPO Y SUS PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS.



- |                    |                  |                  |                 |
|--------------------|------------------|------------------|-----------------|
| Terrenos Agrícolas | Río              | Grandes Embalses | Capital comunal |
| Área Urbana        | Cuenca           | Hidroeléctricas  |                 |
| Bosque             | Áreas Protegidas | Glaciares        |                 |
| Humedal            |                  | Lagos            |                 |

DATUM WGS 1984, PROYECCIÓN UTM, HUSO 19 S  
Fuente: Elaboración propia. Escenarios Hídricos 2030



Superficie:  
15.274 km<sup>2</sup>



Población aproximada  
en la cuenca:  
7.112.808 personas



Precipitación  
promedio anual:  
300 mm



Longitud del río:  
250 km



Gestión agua  
superficial:  
Tres secciones de riego y  
tres juntas de vigilancia  
constituidas



Gestión aguas  
subterráneas:  
26 sectores  
hidrogeológicos,  
no cuenta con OUAs.

## SITUACIÓN ACTUAL Y PROCESOS CRÍTICOS

La cuenca del río Maipo de 15.274 km<sup>2</sup>, abarca la totalidad de la **Región Metropolitana y parte de las regiones de Valparaíso y O'Higgins**. En la Región Metropolitana (RM) hay una población de 7.112.808 habitantes; un 96,3% reside en el área urbana (INE, 2018), siendo además la más habitada de Chile, con el 40,33% de la población total.

El río Maipo desemboca en la Región de Valparaíso, en uno de los humedales más importante de Chile central, dado que presenta una de las mayores diversidades de especies de aves, el que fue declarado Parque de la Naturaleza por la comuna de Santo Domingo el año 2002 (CODEFF, 2018). Este río en su último tramo antes de llegar al mar, sostiene una gran biodiversidad y abastece de agua potable al litoral sur de la región de Valparaíso.

Con una longitud aproximada de 250 km y desembocadura en el municipio de San Antonio, el río Maipo nace en las laderas del volcán del mismo nombre, que luego recibe los aportes de los ríos Volcán y Yeso en las cercanías de San Gabriel y del río Colorado en las zonas aledañas a la localidad de San José del Maipo. De la unión de los ríos San Francisco y Molina se forma el río Mapocho, que atraviesa la ciudad de Santiago y se une al Maipo en su recorrido medio. Los principales

tributarios del río Maipo son los ríos Volcán, Yeso Colorado, Mapocho y Clarillo, además de los esteros Angostura y Puangue. Respecto a los cuerpos de agua, destacan las lagunas Aculeo, Batuco, Carén y Negra (INH, 2016).

Esta cuenca presenta un régimen mixto de precipitaciones nivales y pluviales. En la zona de alta montaña, generalmente superior a los 2000 m.s.n.m., existe un régimen nival con un caudal que aumenta en primavera producto del deshielo. A medida que desciende, la cuenca va recibiendo más aportes pluviales que nivales (INH, 2016). La precipitación media anual en el sector costero de esta zona es de 404 milímetros al año (mm/año); en el sector centro de la cuenca (estación Quinta Normal) es de 300 mm/año; y en los sectores



**89,39 m<sup>3</sup>/s**

Es la captación de agua de fuentes superficiales y subterráneas en la cuenca de Maipo



**32,23 m<sup>3</sup>/s**

Consumo de aguas superficiales y subterráneas en la cuenca (huella azul)



**3,42 m<sup>3</sup>/s**

Consumo de aguas (lluvias en la cuenca (huella verde)

Fuente: Radiografía del Agua: Brecha y Riesgo Hídrico en Chile (EH2030, 2018).

**TABLA 3. TABLA RESUMEN CON LA CAPTACIÓN, RETORNO Y CONSUMO POR CADA USO O SECTOR PRODUCTIVO EN LA CUENCA DEL RÍO MAIPO**

USO	Captación <sup>1</sup> [m <sup>3</sup> /s]	Retorno <sup>2</sup> [m <sup>3</sup> /s]	Retorno <sup>3</sup> [%]	CONSUMO DE AGUA		HH Azul por uso respecto de la región <sup>6</sup> [%]
				HH Azul <sup>4</sup> [m <sup>3</sup> /s]	HH Verde <sup>5</sup> [m <sup>3</sup> /s]	
Agrícola (Riego)	68,28	36,37	53%	31,91	3,08	80,42%
Minero	1,03	0	0%	1,03	0	2,61%
Agua potable y saneamiento	27,73	25,52	92%	2,21	0	5,56%
Industrial	0,94	0,79	84%	0,15	0	0,17%
Forestal	0	0	0%	0	0,67	0%
Generación Eléctrica	0	0	0%	0,07	0	0,17%
Pecuario	0,25	0,20	81%	0,05	0	0,12%

Fuente: Elaboración propia en base a Jaramillo y Acevedo (2017). Para Escenarios Hídricos 2030 (2018).

**NOTAS:**

1. Captación: volumen de agua dulce superficial y/o subterránea extraída de fuentes naturales para ser utilizada por diferentes usuarios.

2. Retorno: volumen de agua que después de ser utilizada por parte de los diferentes usuarios, es devuelta al sistema natural. Calculada como la diferencia entre captación y Huella Hídrica azul.

3. Retorno [%]: porcentaje de agua devuelta respecto del total de agua captada por sector.

4. Consumo Huella Hídrica Azul: volumen de agua fresca extraída de fuentes, superficiales y/o subterráneas, por parte de diferentes usuarios, que no retorna al ambiente de donde se extrajo. Puede ocurrir por: a) evaporación o evapotranspiración del agua, b) incorporación del agua en el producto, c) agua que no retorna a la misma cuenca de extracción o que se descarga al mar, o d) agua que retorna en un periodo de tiempo distinto al que se extrajo.

5. Consumo HH Verde: volumen de agua lluvia utilizada por parte de diferentes sectores, que queda temporalmente almacenada en la parte superficial del suelo o en la vegetación.

6. HH Azul por uso respecto de la región: porcentaje de agua consumida por Huella Hídrica Azul por cada sector en la cuenca, respecto de la Huella Hídrica Azul total de la región. Para la cuenca del río Maipo, se considera que sólo un 91% de esta se encuentra dentro de la Región Metropolitana.

La comparación entre oferta referencial y demandas realizadas durante este estudio (Escenarios Hídricos 2030, 2018) muestran que la cuenca del río Maipo tiene una **Brecha Hídrica del 17%** (consumo/oferta x 100), lo que significa que se usa el 17% de la oferta y corresponde a una presión sobre el recurso hídrico de nivel moderado, revelando que la disponibilidad de este recurso se está convirtiendo en un limitador del desarrollo (escala basada en Rivera *et al.*, 2004).

más elevados puede llegar a valores medios anuales de 536 mm (DGA, 2004a). Los estudios más recientes de la cuenca indican que hay una oferta de agua superficial promedio de 145,67 m<sup>3</sup>/s (INH, 2016). Otras investigaciones (DGA, 2008) señalan que la oferta superficial promedio tienen un 87% de origen pluvio-nivales y 13% de aportes pluviales. Los caudales varían considerablemente acorde a la estación de monitoreo y mes del año, además de la variación en áreas de drenaje, por ejemplo, el caudal medio anual en el Manzano -a 850 m.s.n.m. y un área de drenaje de 4.968 km<sup>2</sup>- es de 36,05 m<sup>3</sup>/s en julio y 108,98 m<sup>3</sup>/s en enero (85% de excedencia), mientras que en la estación río Olivares -a 890 m.s.n.m., con un área de drenaje de 1.713 km<sup>2</sup>- los monitoreos realizados por la Dirección General de Aguas (2004) registran un caudal medio anual de entre 9,91 m<sup>3</sup>/s en julio a 41,85 m<sup>3</sup>/s en enero (85% de excedencia).

Los análisis de demandas para la Región Metropolitana realizados en el marco de la **Radiografía del Agua** (Jaramillo y Acevedo, 2017. Para EH2030, 2018) y en base a la metodología de Huella Hídrica (Hoekstra *et al.*, 2011), muestran que para la cuenca del río Maipo existe una captación de aguas de fuentes superficiales y subterráneas de 98,24 m<sup>3</sup>/s. Para esta cuenca el mayor consumo por huella hídrica azul es por parte del sector agrícola, con un consumo de 31,91 m<sup>3</sup>/s, seguido del sector agua potable y saneamiento con un uso de 2,21 m<sup>3</sup>/s, y del sector minero con un consumo de 1,03 m<sup>3</sup>/s. Por otro lado, el consumo de huella hídrica verde ocurre en primer lugar por parte del sector agrícola con 3,08 m<sup>3</sup>/s y luego del sector

forestal con 0,67 m<sup>3</sup>/s. La tabla siguiente muestra un análisis más detallado de los resultados del estudio para cada sector productivo.

En la cuenca, el proceso de construcción colectiva de escenarios hídricos ha identificado procesos críticos invariables, principalmente vinculados a los efectos del cambio climático y su repercusión en la temperatura, derretimiento de glaciares, frecuencia e intensidad de precipitaciones y caudales superficiales.

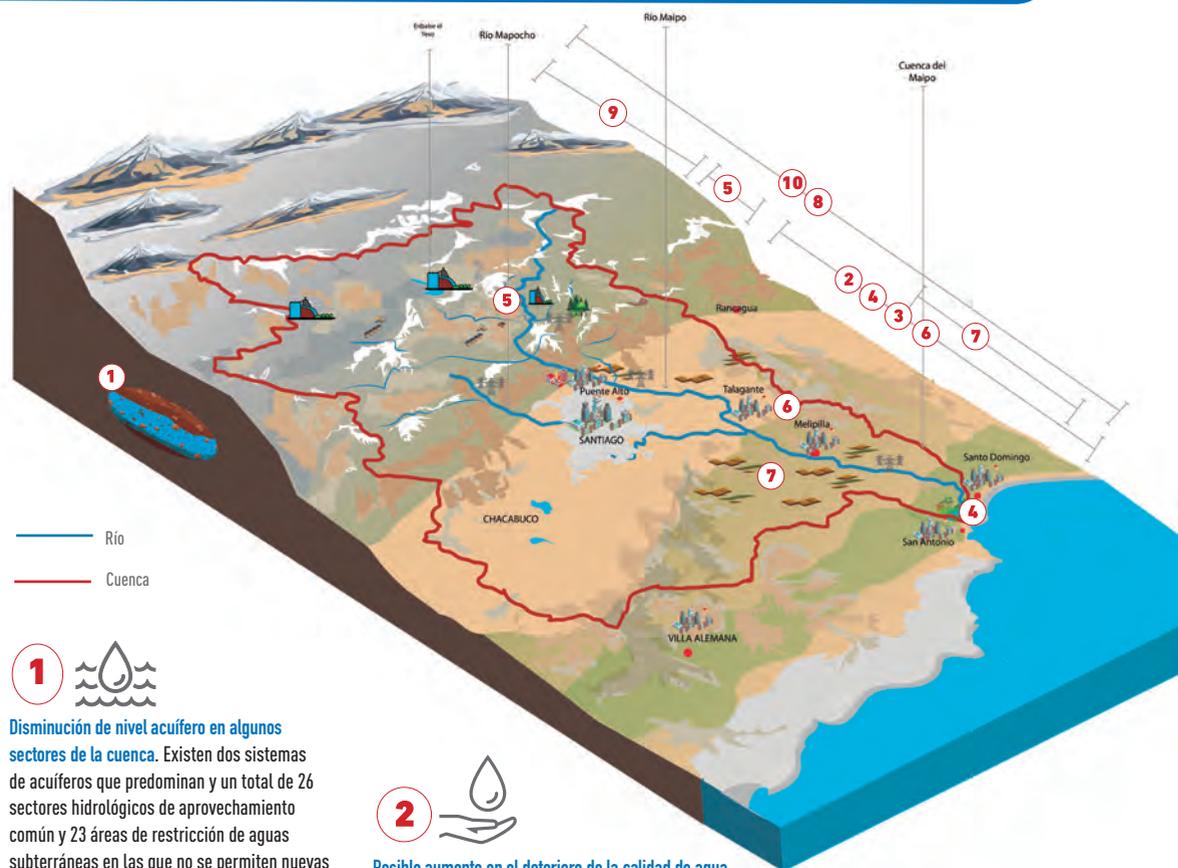
La parte alta de la cuenca del río Maipo cuenta con 768 glaciares que cubren un área de 371,24 km<sup>2</sup>, de los cuales un 70% corresponde a glaciares rocosos (DGA, 2011b). Los glaciares en la zona central que suministran un gran porcentaje del agua superficial de la cuenca, han sufrido reducciones considerables en su volumen (DGA, 2011a). El Glaciar Juncal Sur es un ejemplo de las mayores tasas de retroceso cercanas a los 50 metros al año para el período 1955-1997 (Rivera *et al.*, 2000. Citado por DGA, 2011a).

Fenómenos relacionados al cambio climático, son la mayor frecuencia de inundaciones y aluviones. Un análisis de información periodística y bases de datos sobre desastres naturales en Chile (ERIDANUS, 2018. Para EH2030, 2018) encontró que el número de inundaciones y aluviones en la Región Metropolitana en 18 años del siglo XXI equivale al 25% de todo lo recogido durante el siglo anterior.

Respecto a los procesos críticos variables en esta cuenca, se identificaron 10 procesos que se resumen a continuación:

## FIGURA 8: REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LOS PROCESOS CRÍTICOS VARIABLES PARA LA CUENCA DEL RÍO MAIPO

Fuente: Elaboración propia. Escenarios Hídricos 2030.



**1** **Disminución de nivel acuifero en algunos sectores de la cuenca.** Existen dos sistemas de acuíferos que predominan y un total de 26 sectores hidrológicos de aprovechamiento común y 23 áreas de restricción de aguas subterráneas en las que no se permiten nuevas extracciones (DGA, 2008). Sin embargo, el sobrogamiento de derechos de agua sobre los acuíferos, o la demanda comprometida que supera la recarga natural son un problema presente en la cuenca del río Maipo, así como en otras cuencas de Chile (OCDE, 2016). CAZALAC (2017) estimó que en 19 de 23 pozos subterráneos de la cuenca del río Maipo, ha habido una tendencia a la disminución de los caudales (tendencia negativa significativa con probabilidad de error <0.01).



### **2** **Posible aumento en el deterioro de la calidad de agua.**

La DGA (2015c) menciona que dentro de las causas antrópicas que afectan la calidad del agua, destacan: la contaminación difusa por ganadería y la explotación de yeso que favorece la presencia de sulfatos en la parte alta de la cuenca; la contaminación puntual por la descarga de RILES del rubro agroindustrial, papelería, metalmecánica, industrias lácteas y confites; la contaminación difusa por aguas servidas, extracción de agua por canales de regadío, aporte de plaguicidas y extracción de agua potable, actividades productivas en plantales porcinos y agrícolas, así como la lixiviación de tortas de material de descarte minero en la cuenca media-baja. Algunos estudios muestran parámetros por sobre la norma, por causas naturales y antrópicas como el uso de plaguicidas, arrastre de borras de la industria vitivinícola y vertimiento de desechos de fosas o pozos negros en las acequias (CNR, 2016c). Asimismo se detectó que cinco de 27 estaciones de monitoreo tuvieron una calidad regular entre 2011-2016, excepto en verano donde tres estaciones registraron una calidad insuficiente, sobre todo por el contenido de arsénico (Girardi *et al.*, 2018. Para EH2030, 2018).

## 16% del territorio modificó su uso de suelo entre 2001-2012, cambiando la vegetación natural a suelo desnudo 36,3% (Henríquez-Dole *et al.*, 2018).



**Cambio cobertura de suelo.** Se observa que para el periodo 2002 y 2012 se producen fuertes cambios en los principales usos de suelos de la Región Metropolitana, donde aumentó el área urbana de un 4,9% a un 13,9%, reduciendo así la superficie destinada a la agricultura de un 15,2% a un 8,1% (GORE Metropolitano, 2012). Estudios recientes indican que 16% del territorio modificó su uso de suelo entre 2001-2012, siendo el más importante el cambio de vegetación natural a suelo desnudo (36,3%), mientras que los suelos agrícolas no se han incrementado, sino que solo mudado de ubicación (Henríquez-Dole *et al.*, 2018).



**Aumento de la presión sobre los ecosistemas acuáticos.** En la cuenca existen algunas áreas protegidas y otras que aún no cuentan con suficiente salvaguardo y son vulnerables a las presiones de los Cambios Climáticos y antrópicos (CNR, 2016c). En la zona estuarina del río Maipo, es un sitio altamente amenazado por los efectos del Cambio Climático y por estar próximo a una gran área urbana e industrial. Además es afectado por la presencia de perros asilvestrados, la caza, el turismo no regulado, el desarrollo inmobiliario y portuario (CODEFF, 2018).



**Instalación de nuevos proyectos hidroeléctricos.** esta cuenca cuenta con 10 centrales hidroeléctricas en operación, la mayor de ellas es Atafal con 178 MW. Además, hasta el 2015, 10 plantas hidroeléctricas estaban en construcción o en espera de resolución de calificación ambiental, la mayoría concentrada en el río Colorado (Ministerio de Energía, 2015).



**Aumento de la demanda de agua por incremento de la población.** La región posee más de siete millones de habitantes, alcanzando al 40,47% del total del país (INE, 2018), con capacidad de producción de agua potable de 26.857 L/s, de los cuales un 25% proviene de fuentes subterráneas y un 75% de fuentes superficiales (SISS, 2016). La demanda de agua potable está directamente asociada al aumento de la población en zonas periurbanas y sectores rurales, proyectando un aumento del caudal de 23,4 m<sup>3</sup>/s a 24,8 m<sup>3</sup>/s, desde el año 2015 al 2025 (MOP, 2012c).



**Cambio en la demanda de agua de la agricultura.** Estudios recientes muestran que los suelos agrícolas no se han incrementado, sino que solo se han mudado de ubicación (Henríquez-Dole *et al.*, 2018). También se evidencia un cambio a riego tecnificado y un potencial fomento a la eficiencia en el uso del agua. Al analizar la situación por tipo de riego, el riego tecnificado o microrriego aumenta en un 274% (GORE Metropolitano, 2012). El sector es el principal consumidor de agua en la cuenca con un 80% de huella hídrica azul (ver tabla 3).



**Ineficiente gestión de la información existente sobre el recurso hídrico.** las características de la cuenca y la dificultad de acceso a muchos lugares hacen que se cuente con poca información histórica continua de datos meteorológicos y fluviales (CETAQUA, 2018). A su vez, un análisis del Banco Mundial (2013) indica la falta de consolidación e integración de la información generada por las instituciones involucradas en la gestión del recurso.



**Expansión minera.** De acuerdo a diferentes proyecciones, la zona central de Chile es la que alberga las mayores reservas de cobre del país. Particularmente, en el distrito Río Blanco-Los Bronces existen en torno a 200 millones en recursos identificados (Toro *et al.*, 2012; citado por Valor Minero, 2017), convirtiendo la zona en el mayor potencial minero de cobre de Chile y el mundo. También es importante mencionar la extracción de áridos y los potenciales impactos en la morfología del río y sus consecuencias para la infraestructura que ya han sido observados en algunos estudios (Arróspide, Mao y Escauriaza, 2018).



**Deficiente coordinación entre usuarios para la gestión de aguas en la cuenca.** Actualmente, la institucionalidad existente para la gestión del agua en Chile presenta problemáticas importantes que han sido identificadas de manera general por diversos estudios. Entre las principales deficiencias de la institucionalidad, se encuentran la inadecuada delimitación y coordinación de funciones entre los organismos que intervienen en la gestión de las aguas y la falta de coordinación de los actores responsables de la gestión del agua a nivel local, en una misma unidad geográfica (Banco Mundial, 2013).

# CONSTRUCCIÓN COLECTIVA DE LA SITUACIÓN FUTURA

## ESCENARIO TENDENCIAL 2030-2050

La cuenca del río Maipo es la más importante de la Región Metropolitana. Su territorio cuenta con múltiples actividades económicas, un alto valor ecológico y es hogar de más de siete millones de habitantes (40,47% del total de habitantes del país, Censo 2017). Una proyección estimada de acuerdo a la tasa intercensal de crecimiento indicada por el Instituto Nacional de Estadísticas, concluye que para el año 2050, la población de la región podría ser de 9.273.433 habitantes aproximadamente<sup>28</sup>.

Entre los diversos usuarios del agua, de acuerdo al Atlas del Agua (DGA, 2016a), la demanda promedio para la Región Metropolitana es de 68% del sector agropecuario, 22,6% del sector agua potable, un 8,6% para el sector industrial y un 0,7% para la minería. También existen otros usuarios como centrales hidroeléctricas de pasada, actividades recreativas y de esparcimiento y medio ambiente<sup>29</sup>.

Los efectos esperados del Cambio Climático sobre la disponibilidad de agua en la región provocan modificaciones en los volúmenes y temporalidad de los caudales superficiales, lo que dificulta conservar los niveles de cobertura de demanda de agua para los diversos usos. La tendencia a la disminución de precipitaciones se mantiene, además de su variación temporal,

lo que incide en el nivel de los caudales de distinta forma a lo largo de la cuenca. A partir del alza de las temperaturas en la cordillera, se observa una menor acumulación de nieve con un mayor escurrimiento líquido en época de lluvia y un adelantamiento en la ocurrencia de los caudales máximos. Se empieza a observar una reducción de los caudales medios anuales y se mantiene la tendencia de retroceso y disminución del volumen de glaciares presentes en la cuenca, con efectos en la temporalidad de los caudales en períodos de deshielo.

Existen instrumentos que de manera indirecta tienen competencia sobre los glaciares, pero ninguno de ellos los protege directamente. Tampoco existen estudios que entreguen antecedentes respecto a la importancia relativa que tienen para los ecosistemas hídricos.

La incidencia de los efectos por el Cambio Climático en factores como temperatura, precipitación y elevación de la isoterma cero, se refleja también en el incremento de eventos extremos como inundaciones, aluviones y períodos de sequía extrema, que ponen presión al recurso hídrico y en peligro las actividades productivas y la población en general que vive en zonas de riesgo. Todo esto muestra la vulnerabilidad actual y futura de la cuenca

28. Esto significa un aumento de la población cercana al 23% entre los años 2017 y 2050.

29. Entre los diversos usuarios del agua, la demanda comparativa de los años 2015 y 2025 para la Región Metropolitana es de 80,4 (m<sup>3</sup>/s) del sector agropecuario, que no varía de un año a otro; 23,3 (m<sup>3</sup>/s) a 24,7 (m<sup>3</sup>/s) del sector agua potable; 15,3 (m<sup>3</sup>/s) a 27,6 (m<sup>3</sup>/s) para el sector industrial y 1,3 (m<sup>3</sup>/s) a 1,9 (m<sup>3</sup>/s) para la minería (MOP, 2012).

## La calidad de las aguas superficiales sigue siendo afectada a lo largo de la cuenca por distintas actividades productivas.



Tendencia a la disminución de precipitaciones, además de su variación temporal.



Alza de temperaturas en cordillera.



Cambios en los volúmenes y temporalidad de los caudales superficiales.



Retroceso y disminución del volumen de glaciares.



Menor acumulación de nieve en cordillera.

del río Maipo y la necesidad de adaptación de las actividades humanas en este lugar.

Como consecuencia de la disminución de agua superficial disponible, se incrementa la presión de extracción desde el acuífero por las distintas actividades. La mayor extracción acrecienta la baja de los niveles de pozos en algunas partes de la cuenca, principalmente en el sector norte. La menor precipitación que se observa, unido a un mayor riego tecnificado, tiene efectos de disminución en la recarga. Se mantiene el déficit de proyectos de recarga de acuíferos, debido a la inexistencia de incentivo económico y a la falta de normativa clara.

La calidad de las aguas superficiales sigue siendo afectada a lo largo de la cuenca por distintas actividades productivas. La calidad de las aguas superficiales se continúa monitoreando y midiendo por medio de los instrumentos disponibles actualmente, esto es la norma secundaria de calidad ambiental y las RCA de las distintas actividades

productivas. En algunos sectores, donde bajan los niveles de los pozos, se puede prever un deterioro de la calidad de agua subterránea, aumentando los costos de producción de agua potable e industria de alimentos, entre otros<sup>30</sup>. La información existente sobre calidad no está integrada ni sistematizada, lo que dificulta analizar la situación real.

Las dinámicas de cambio en la cobertura de suelos impactan negativamente al recurso hídrico, principalmente por el crecimiento urbano sin una planificación territorial flexible a las necesidades de la población y el medio ambiente, y sin reconocer el funcionamiento hídrico de la cuenca ni la vulnerabilidad de los acuíferos. A pesar de que existen tecnologías constructivas para aumentar la superficie de infiltración, no se usan por falta de información y porque no se aplican ágilmente incentivos adecuados.

La creciente urbanización presiona al sector agrícola y éste se desplaza, reemplazando

30. Según el Ministerio de Fomento del Gobierno de España, La sobreexplotación de un acuífero se produce cuando la extracción de agua del subsuelo se realiza a un ritmo superior al de la infiltración o recarga natural. Esta situación implica el consumo progresivo del agua que se encontraba almacenada en el terreno, y acarrea numerosas consecuencias negativas, como por ejemplo: un gradual encarecimiento de la producción, problemas en los cursos de agua o entre usuarios y, frecuentemente, una degradación de la calidad del agua. [https://www.ign.es/espmmap/mapas\\_conta\\_bach/pdf/Contam%20mapa\\_03\\_texto.pdf](https://www.ign.es/espmmap/mapas_conta_bach/pdf/Contam%20mapa_03_texto.pdf)



© Fundación Tierra Viva. Laguna Aculeo 2018.

la cobertura natural. Sumado a lo anterior, no se consideran nuevas áreas protegidas y no hay cumplimiento ni coordinación entre los distintos instrumentos de planificación territorial, aumentando la presión sobre el recurso (en calidad y cantidad) y el funcionamiento de la cuenca.

También se acrecienta la presión sobre los ecosistemas acuáticos (vegas, humedales, estuarios, ríos de la cuenca) y los sistemas terrestres adyacentes que han sido urbanizados o perdido cobertura vegetal y su capacidad de almacenamiento y purificación natural de las aguas. No existen mecanismos de protección efectiva de estas zonas ni una cultura de valoración de los servicios que entregan. Esto lleva a su degradación con

costos económicos asociados a producción de agua potable y otras actividades relacionadas, aumenta el riesgo de desastres, la carga de sedimentos y la extracción de aguas en épocas de escasez. No existe un caudal ecológico sobre las extracciones con derechos previa modificación del Código de Agua en D.S. N°14/2012, en tanto el caudal ecológico para las actividades y proyectos nuevos continúa en base a estadística hidrológica y no acorde a las necesidades de los ecosistemas.

También se mantiene una deficiente coordinación entre secciones para la gestión de aguas en la cuenca, donde no hay un sistema de gobernanza para alcanzar acuerdos entre ellas. Los actores económicos e institucionales críticos no participan de igual forma en todas

las secciones, por lo que los acuerdos no son obligatorios al no existir un marco regulatorio habilitador. Se materializan algunas acciones concretas con acuerdos bilaterales, lo que afecta el uso del recurso con una mirada integradora. La coordinación interregional de otras cuencas aportantes es limitada, lo que no permite la gestión eficiente sobre el recurso.

La ineficiente gestión de la información existente sobre el recurso hídrico en la cuenca dificulta la toma de decisiones integrales. A pesar de haber mucha información, no está disponible, sistematizada y tampoco es posible acceder fácilmente a ella. No hay una validación en conjunto, lo que provoca un uso ineficiente de recursos y acciones descoordinadas y con foco en el corto plazo, poniendo en riesgo la sustentabilidad del recurso. El nivel de inversión en investigación es una limitante en el mejor conocimiento y gestión del recurso hídrico y sus sistemas asociados.

Aunque no se visualizan un desarrollo significativo de proyectos adicionales a Alto Maipo, se aprovecha el potencial para sumar nuevas alternativas hidroeléctricas acorde a las condiciones del mercado, sin coordinación entre los diversos actores y con tecnologías que no consiguen reducir los impactos como escurrimiento de sedimentos, cambios en el lecho del río y disminución de disponibilidad de agua, especialmente en el tramo entre el río El Volcán y el río Colorado con la puesta en marcha de la central Alto Maipo, lo que afecta a los usuarios aguas abajo.

El sector sanitario puede cubrir la demanda con los proyectos considerados en sus planes de desarrollo presentados a la autoridad. Dada la incertidumbre a futuro respecto a la mantención o aumento de eventos de alta turbiedad, permanece el riesgo de corte en el suministro de agua potable, como consecuencia del desfase de tiempo que transcurre entre el instante en que se detecta la necesidad de nueva infraestructura para aumentar las horas de autosuficiencia, y el momento de la entrada en operación de ésta.

La demanda de agua para la agricultura sufre modificaciones en su temporalidad, debido a factores agroclimáticos. El uso de tecnologías ha crecido, pero los incentivos para reducir las tasas de uso del recurso son insuficientes para el crecimiento de las exportaciones que se duplican cada década sin lograr adaptarse para reducir la presión en la demanda de agua. La falta de medición aporta al descontrol en el uso del recurso.

En la cuenca de Maipo existen faenas mineras de carbonatos de calcio, yeso, oro, pumicita y cobre. Las regiones Metropolitana y de Valparaíso albergan los mayores recursos mineros de cobre del país, con un importante potencial de desarrollo respecto a las explotaciones actuales. La extracción comercial de áridos en el cauce del río Maipo ha afectado su morfología y debilitado la estabilidad de las infraestructuras a lo largo de éste.

### PRINCIPALES TEMAS ESCENARIO TENDENCIAL



Se incrementa la presión de extracción desde el acuífero y disminuyen los niveles de pozos en algunas partes de la cuenca.



La calidad de las aguas superficiales sigue siendo afectada por distintas actividades productivas y domésticas.



Las dinámicas de cambio en la cobertura de suelos impactan negativamente el recurso hídrico principalmente por falta de planificación territorial flexible y sin reconocer el funcionamiento hídrico de la cuenca ni la vulnerabilidad de los acuíferos.



Aumenta la presión sobre los ecosistemas acuáticos y los sistemas terrestres adyacentes que han sido urbanizados o perdido cobertura vegetal y su capacidad de almacenamiento y purificación natural de las aguas.



Deficiente coordinación entre secciones para la gestión de aguas en la cuenca, donde no existe un sistema de gobernanza para alcanzar acuerdos entre ellas.



Ineficiente gestión de la información existente sobre el recurso hídrico en la cuenca dificulta la toma de decisiones integrales.



Potencial para sumar nuevos proyectos hidroeléctricos de acuerdo a las condiciones del mercado, sin coordinación entre los diversos actores y con tecnologías que no logran reducir los impactos.



Con el Cambio Climático, permanece el riesgo de ocurrencia de eventos extremos y turbidez que afectan la distribución de agua potable.



La demanda de agua para la agricultura sufre cambios, como consecuencia de que los factores agroclimáticos provocan modificaciones en la temporalidad agrícola.



La Región Central alberga los mayores recursos mineros de cobre del país, con un importante potencial de desarrollo respecto a las explotaciones actuales.

## ESCENARIO SUSTENTABLE 2030-2050

La coordinación de la gestión mejora en 2030, puesto que se avanza en acuerdos entre distintos actores para consensuar los mecanismos más eficientes para conseguir la gobernanza entre los usuarios de esta cuenca.

Los efectos esperados del Cambio Climático sobre la disponibilidad de agua en la región, estudiados el año 2020 con un horizonte 2030- 2050, permiten prever medidas de adaptación que facilitan enfrentar los efectos provocados por los cambios en los volúmenes y temporalidad de los caudales superficiales. Al 2030, se evalúan dichos análisis para tener al año 2050 medidas adecuadas e implementadas que permitan controlar los efectos negativos de eventos extremos como inundaciones, aluviones y de períodos de sequía extrema que provocan menor disponibilidad, logrando reducir la presión sobre el recurso hídrico y permitiendo el desarrollo de las actividades productivas.

La coordinación de la gestión mejora en 2030, ya que se avanza en acuerdos entre distintos actores para consensuar los mecanismos más adecuados para lograr la gobernanza entre los usuarios de la cuenca. Esto permite a largo plazo implementar una institucionalidad con competencias suficientes para administrar los mismos, existiendo espacios de articulación y colaboración público-privada y entre las diferentes secciones de la cuenca.

En 2030 se cuenta con un sistema de información centralizado y público, que cuenta

con la validación de todos los actores y con un mecanismo de control y financiamiento que asegura su sustentabilidad en el tiempo.

En el mediano plazo se avanza en la coordinación entre los diversos sectores para que todo proyecto nuevo de generación eléctrica que se desarrolle en la cuenca posea las medidas de mitigación necesarias, para no afectar a los demás actores, incluido el medio ambiente. Para el año 2050, se aprovecha la capacidad de potencia energética con iniciativas que se ejecutan considerando la protección del recurso hídrico.

Al 2030, se delinear políticas públicas que aborden de manera integral la prevención de situaciones que afectan al sector sanitario, que paralelamente ha desarrollado planes para minimizar y enfrentar aquellas contingencias que puedan resultar en problemas para dar el servicio. A través de acciones multisectoriales y mecanismos de coordinación para enfrentar contingencias, en 2050 y con la incorporación de diversas soluciones institucionales, como el derecho humano al agua, la gestión integrada del recurso hídrico, infraestructura, tecnología y una mayor eficiencia en todos los usos, no existe riesgo en el abastecimiento humano. El

precio del agua potable puede ser absorbido por la comunidad sin impacto social.

Los cambios en la disponibilidad y demanda de agua en el sector agrícola consideran estudiar en profundidad al 2030 dicha actividad de la cuenca, aportándole una mirada integradora a las nuevas condiciones agroclimáticas, para hacer de esta forma proyecciones y definir un camino que propicie el crecimiento del sector con un uso eficiente del recurso.

Al 2030, y como consecuencia de estas investigaciones, se generan instrumentos que incentivan el desarrollo tecnológico con menor impacto y se elaboran estudios de balance para conocer la demanda del sector y propiciar la adecuada toma de decisiones. Las mejoras en tecnificación y gestión permiten el 2050 cubrir los niveles de demanda de producción agrícola sin afectar la seguridad hídrica, puesto que el sector agrícola conoce las necesidades reales y logra gestionar de manera eficiente el agua.

En el año 2030, la minería, además de perfeccionar los mecanismos de gestión sustentable del recurso hídrico, monitorea y mide el impacto a la calidad de las fuentes. Se exigen altos estándares de operación a los nuevos proyectos mineros, incluyendo la extracción de áridos. Esto conlleva a que en el año 2050 la expansión minera se realice con una adecuada gestión del recurso hídrico, minimizando los riesgos ambientales.

Al 2030 se ha desarrollado un sistema de monitoreo y control de aguas subterráneas. Al año 2050, los acuíferos se utilizan en equilibrio entre las extracciones y las recargas, logrando asegurar un volumen del recurso hídrico sustentable para los diferentes usuarios de la cuenca, sin afectación y manteniendo los ecosistemas. Se cuenta con un modelo hidrogeológico actualizado y disponible para gestionar los acuíferos por parte de todos los usuarios. Esto se consigue, debido a que previamente se ha logrado acotar y mejorar la información disponible, haciendo más eficiente la frecuencia de monitoreo para realizar un seguimiento al comportamiento del acuífero. Al 2030, se saben las causas que impactan la recarga de acuíferos y se han identificado los puntos relevantes para asignar una mayor cantidad de recursos técnicos y financieros y aumentar la fiscalización, desarrollando modelos de mayor precisión.

Al 2030 existe un monitoreo en línea para garantizar la calidad superficial y subterránea del agua. Se logra estandarizar el conocimiento para la toma de decisiones de los sectores público, privado y ciudadanía y se implementa un protocolo de acción conjunta entre los actores, con el propósito de disminuir las fuentes de contaminación como descargas industriales, basurales ilegales y escorrentía desde zonas urbanas y agrícolas. En el mediano plazo, se llevan a cabo estudios para identificar las fuentes de contaminación difusa que impactan el recurso hídrico y se

establecen los nuevos contaminantes para agregarlos a nuevos instrumentos de control. Aumentan los compromisos voluntarios y su cumplimiento en el marco de las RCA de los sectores con mayor incidencia en la calidad de las aguas. Esto provoca que al 2050 mejore la calidad del recurso hasta un nivel aceptable para los distintos sectores (consumo humano, biodiversidad), incluyendo un biomonitoreo constante del estado ecológico de la cuenca.

El cambio de cobertura de suelos se enfrenta al 2030, realizando investigaciones tendientes a identificar los cultivos que mejor se adaptan a las condiciones de la cuenca y los balances que definan una distribución para todos los sectores. Se generan instrumentos de planificación territorial coherentes con la vocación agrícola de la zona, e incentivos para utilizar tecnologías de uso eficiente del recurso hídrico. Al 2050, todos estos mecanismos están implementados correctamente, con límites de uso que aseguran la sustentabilidad del recurso hídrico, integrando los factores agroclimáticos, lo que facilita la toma de decisiones en equilibrio entre la actividad agrícola y los servicios ecosistémicos de la cuenca.

En 2030 ya se han hecho los estudios tendientes a catastrar, caracterizar y diagnosticar el estado de los humedales de la cuenca. Con esta información, se definen planes de acción para proteger y recuperar los ecosistemas acuáticos y terrestres que son parte del funcionamiento de ésta.

Los efectos esperados del Cambio Climático sobre la disponibilidad de agua en la región son estudiados. Esto permite al 2050 medidas adecuadas e implementadas para controlar los efectos negativos de estos eventos extremos, logrando disminuir la presión sobre el recurso hídrico y permitiendo el desarrollo de las actividades productivas.

Al 2030 hay programas educativos que fomentan el conocimiento sobre estos ecosistemas y la importancia del uso eficiente del agua, lo que propicia la generación de una cultura de cuidado y respeto a este recurso. Esto se materializa en 2050, con la aplicación de políticas públicas para la protección y gestión de los ecosistemas acuáticos con incentivos concretos a su protección y con una ciudadanía que entiende y valora los servicios ecosistémicos de los humedales. Todo esto genera un funcionamiento sustentable que mantiene en equilibrio el ciclo hidrológico de la cuenca.

El conjunto de medidas adoptadas permite la recuperación y conservación de las funcionalidades ecológicas de los ecosistemas hídricos habilitando el desarrollo productivo altamente diversificado y sustentable en la cuenca al 2050.



© Verónica Zurita y Caleta Quintay.

Al año 2030 se cuenta con una Ley de Cambio Climático en plena aplicación, que establece un sistema de gobernanza climática para hacer frente adecuadamente a los desafíos que imponen los efectos de este fenómeno. La reducción de gases de efecto invernadero será uno de los objetivos de dicha normativa, lo que implica haber desarrollado un sistema de monitoreo y control adecuado para cumplir con la reducción fijada.

Con la creación del Ministerio de la Ciencia se ha aumentado la inversión en investigación y desarrollo tecnológico, permitiendo hacer más eficiente el uso del recurso y realizar una mejor gestión.

También desde esa misma fecha, y a partir de la existencia de un marco regulatorio que establece instrumentos para la protección de glaciares, se ha incrementado tanto la red de estaciones de monitoreo como la investigación del aporte de los glaciares, superficiales y cubiertos, a la esorrentía de la cuenca.

## PRINCIPALES TEMAS ESCENARIO SUSTENTABLE



La coordinación de la gestión mejora, ya que se avanza en acuerdos entre distintos actores para consensuar los mecanismos más adecuados para lograr la gobernanza entre los usuarios de la cuenca.



La minería, además de perfeccionar los mecanismos de gestión sustentable del recurso hídrico, monitorea el impacto a la calidad de las fuentes con altos estándares de operación a los nuevos proyectos mineros.



Se cuenta con un sistema de información público y centralizado con la validación de todos los actores y con un mecanismo de control y financiamiento que asegura su sustentabilidad en el tiempo.



Los acuíferos se utilizan en equilibrio entre las extracciones y las recargas, logrando asegurar un volumen del recurso hídrico sustentable para los diferentes usuarios de la cuenca y manteniendo los ecosistemas.



Se avanza en la coordinación entre los distintos sectores para que los nuevos proyectos hidroeléctricos que se desarrollen en la cuenca no afecten a los otros sectores, incluido el medio ambiente.



Existe un monitoreo en línea para garantizar la calidad superficial y subterránea del agua con un protocolo de acción conjunta para disminuir las fuentes de contaminación.



Sector sanitario ha desarrollado planes para enfrentar contingencias que puedan resultar en problemas para dar el servicio.



Se generan instrumentos de planificación territorial coherentes con la vocación agrícola del territorio, e incentivos para utilizar tecnologías de uso eficiente del recurso hídrico.



Las mejoras en tecnificación y gestión permiten el 2050 cubrir los niveles de demanda de producción agrícola sin afectar la seguridad hídrica.

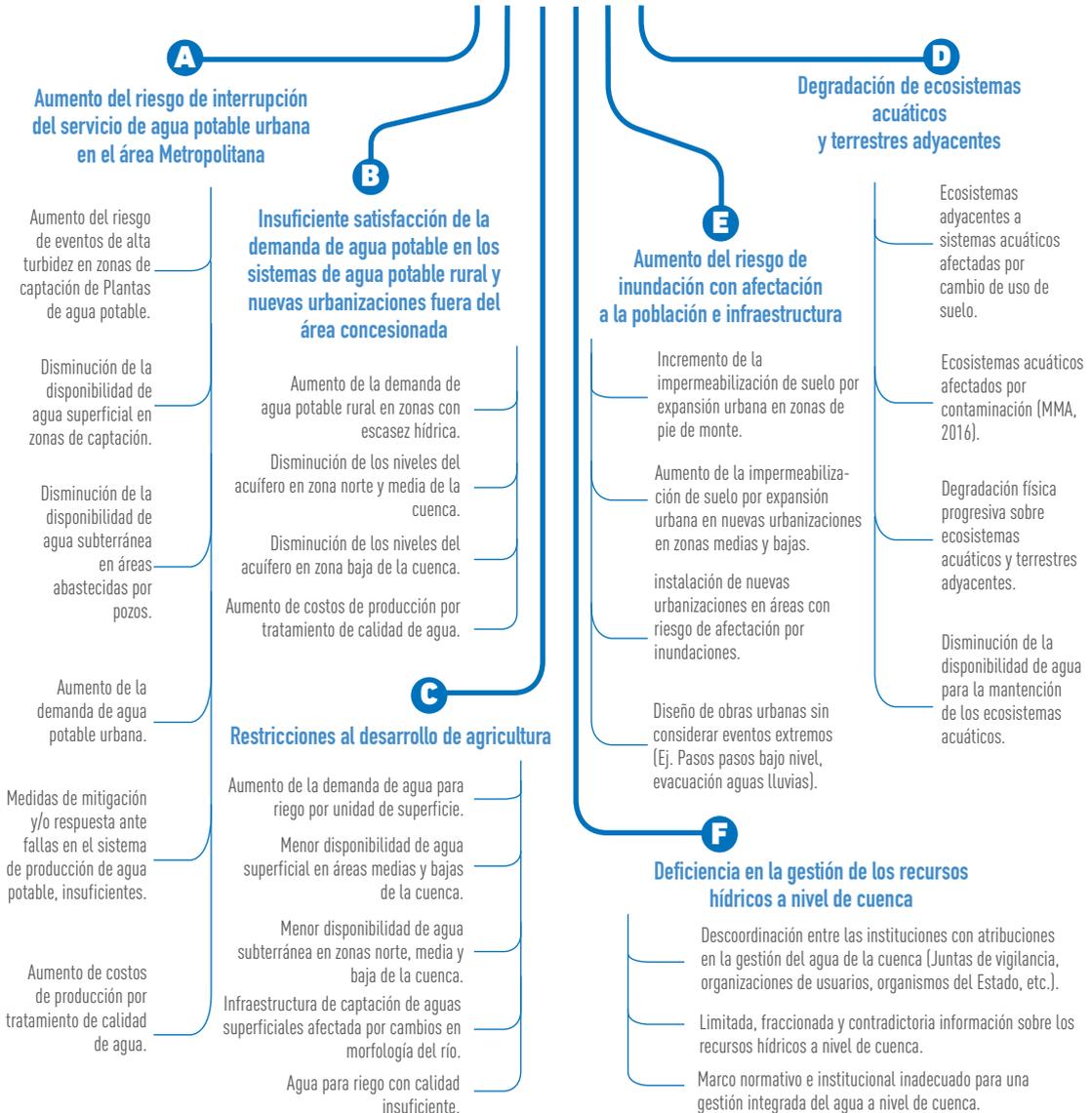


Se aplican políticas públicas para la protección y gestión de los ecosistemas acuáticos con incentivos concretos a su protección y con una ciudadanía que entiende y valora los servicios ecosistémicos de los humedales.

# ÁRBOL DE PROBLEMAS

Los procesos críticos variables de la cuenca del río Maipo resultaron en la identificación de seis problemas principales:

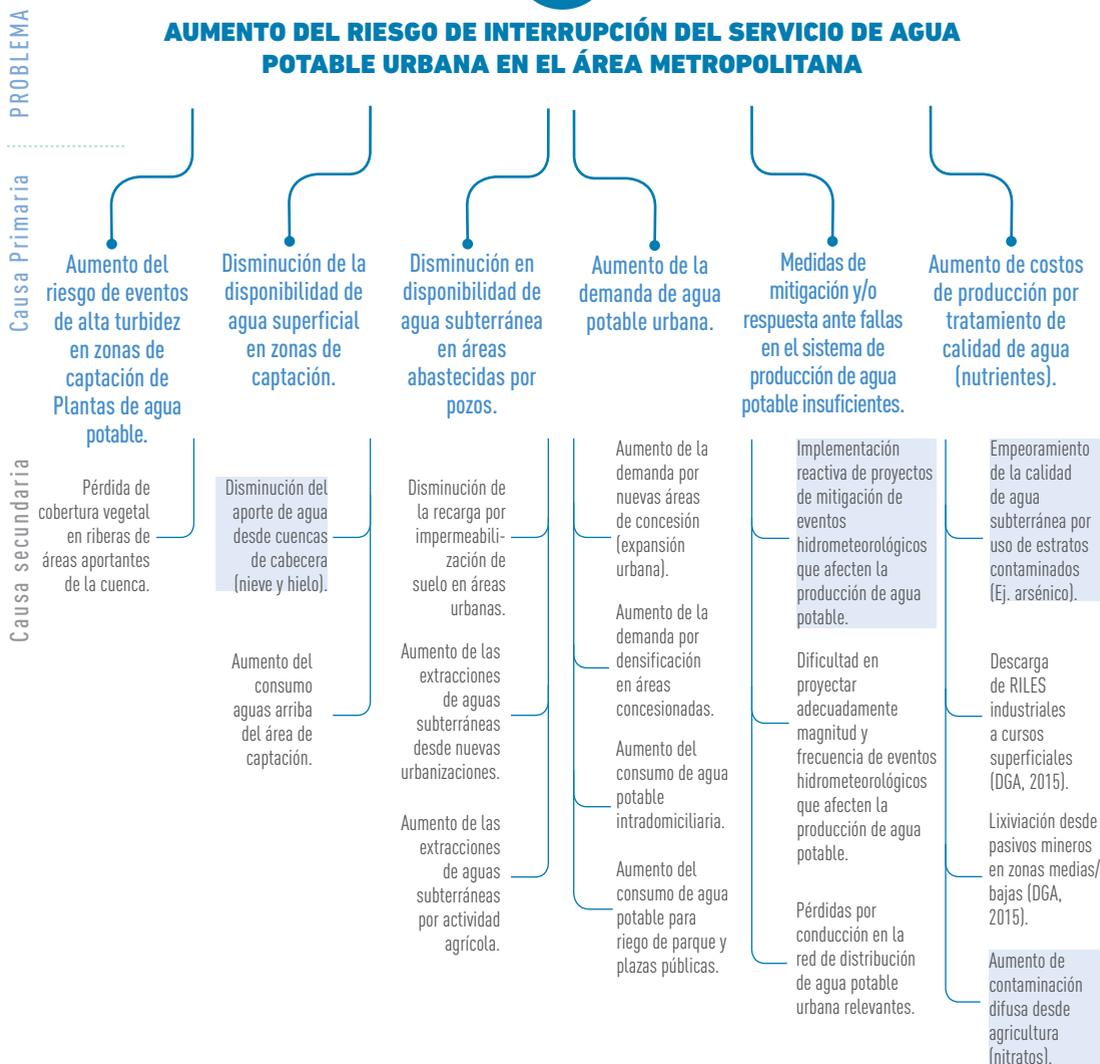
## CUENCA DEL RÍO MAIPO



Estos problemas muestran 26 causas primarias y 62 secundarias.



## AUMENTO DEL RIESGO DE INTERRUPCIÓN DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE URBANA EN EL ÁREA METROPOLITANA



**B**

**INSUFICIENTE SATISFACCIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA POTABLE EN LOS SISTEMAS DE AGUA POTABLE RURAL Y NUEVAS URBANIZACIONES FUERA DEL ÁREA CONCESIONADA**

PROBLEMA

Causa Primaria

Causa secundaria

Aumento de la demanda de AP rural en zonas con escasez hídrica.

Desarrollo de nuevas urbanizaciones en zonas con escasez.

Aumento del consumo de agua potable para riego de jardines y llenado de piscinas.

Disminución de los niveles del acuífero en zona norte y media de la cuenca.

Reducción de la recarga desde áreas agrícolas por tecnificación de riego.

Disminución de la recarga por impermeabilización de suelo por nuevas urbanizaciones.

Aumento de las extracciones de aguas subterráneas desde nuevas urbanizaciones.

Aumento de las extracciones por parte de la agricultura en periodos de disminución de la oferta superficial.

Disminución de los niveles del acuífero en zona baja de la cuenca.

Aumento de la demanda de agua subterránea por agricultura y agroindustria.

Disminución de la recarga desde áreas agrícolas por tecnificación de riego.

Aumento de costos de producción por tratamiento de calidad de agua (nutrientes).

Empeoramiento de la calidad de agua subterránea por uso de estratos contaminados (ej. Arsénico).

Descarga de RILes industriales a cursos superficiales (DGA, 2015).

Lixiviación desde pasivos mineros en zonas medias/bajas (DGA, 2015).

Aumento de contaminación difusa desde agricultura (nitratos).

Causas priorizadas por la cuenca



## RESTRICCIONES AL DESARROLLO DE AGRICULTURA

PROBLEMA

Causa Primaria

Aumento de la demanda de agua para riego por unidad de superficie.

Menor disponibilidad de agua superficial en áreas medias y bajas de la cuenca.

Menor disponibilidad de agua subterránea en zonas norte, media y baja de la cuenca.

Infraestructura de captación de aguas superficiales afectada por cambios en morfología del río.

Agua para riego con calidad insuficiente.

Causa secundaria

Aumento de las necesidades de riego por hectárea por aumento en la evapotranspiración y disminución de precipitaciones.

Disminución de los retornos o "derrames" al final de las zonas de riego por aumento en eficiencia y aumento en superficie agrícola.

Disminución de la escorrentía de origen pluvial en áreas medias y bajas por reemplazo de cobertura natural por agricultura.

Aumento de la tecnificación del riego en zonas medias-altas de la cuenca.

Aumento de la demanda de agua subterránea por agricultura y agroindustria.

Disminución de la recarga de aguas subterráneas por reemplazo de cobertura natural por agricultura.

Aumento de las extracciones de aguas subterráneas desde nuevas urbanizaciones.

Actividad de extracción de áridos desregulada.

Desconocimiento respecto a las dinámicas de sedimentos en ríos de montaña.

Disminución de la carga de sedimentos por operación de centrales de pasada.

Empeoramiento de la calidad de agua subterránea por profundización de pozos.

Descarga de RILES industriales a cursos superficiales (DGA, 2015).

Lixiviación desde pasivos mineros en zonas medias/bajas (DGA, 2015).

Causas priorizadas por la cuenca

**D**

**DEGRADACIÓN DE ECOSISTEMAS ACUÁTICOS Y TERRESTRES ADYACENTES**

PROBLEMA

Causa Primaria

Causa secundaria

Ecosistemas adyacentes a sistemas acuáticos afectados por cambio de uso de suelo.

Reemplazo de áreas naturales por nuevas urbanizaciones.

Reemplazo de áreas naturales por nuevas áreas agrícolas.

Ecosistemas acuáticos desprotegidos y/o con fiscalización deficiente.

Ecosistemas acuáticos afectados por contaminación.

Descarga de RILes industriales a cursos superficiales (DGA, 2015).

Aumento de contaminación difusa desde actividad agrícola (CNR, 2016c).

Aumento de contaminación por contaminación difusa desde el área urbana.

Aumento de contaminación por desechos urbanos ilegales.

Aumento de contaminación por descargas de aguas servidas desde localidades rurales en zona baja de la cuenca (CENMA, 2016; CNR, 2016c).

Degradación física progresiva sobre ecosistemas acuáticos y terrestres adyacentes.

Aumento del daño por comunidades residentes y/o turismo.

Aumento del daño por ganadería tradicional de arriero.

Disminución de la disponibilidad de agua para la mantención de los ecosistemas acuáticos.

Disminución del aporte de agua desde cuencas de cabecera (nieve y hielo).

Disminución del caudal del río en áreas de interés de conservación por operación de proyectos hidroeléctricos de pasada.

Causas priorizadas por la cuenca

**E**

**AUMENTO DEL RIESGO DE INUNDACIÓN CON AFECTACIÓN A LA POBLACIÓN E INFRAESTRUCTURA**

PROBLEMA

Causa Primaria

Aumento de la impermeabilización de suelo por expansión urbana en zonas de pie de monte.

Aumento de la impermeabilización de suelo por expansión urbana en nuevas urbanizaciones en zonas medias y bajas.

Instalación de nuevas urbanizaciones en áreas con riesgo de afectación por inundaciones.

Diseño de obras urbanas sin considerar eventos extremos (Ej. Pasos bajo nivel, evacuación aguas lluvias).

**F**

**DEFICIENCIA EN LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS A NIVEL DE CUENCA**

PROBLEMA

Causa Primaria

Descoordinación entre las instituciones con atribuciones en la gestión del agua de la cuenca (Juntas de vigilancia, organizaciones de usuarios, organismos del Estado, etc.).

Limitada, fraccionada y contradictoria información sobre los recursos hídricos a nivel de cuenca.

Marco normativo e institucional inadecuado para una gestión integrada del agua a nivel de cuenca.

Causas priorizadas por la cuenca

Causa secundaria

Alcance territorial institucional limitado a secciones y sectores hidro(geo)lógicos.

Poca transparencia en el Mercado de Aguas a nivel de cuenca.

Instituciones públicas relevantes desconectadas y descoordinadas en su accionar territorial.

Limitadas capacidades técnicas y financieras de Organizaciones de Usuarios de agua.

Información ambiental con importantes brechas en la cobertura espacial y temporal.

Desconocimiento e insuficiente fiscalización de extracciones ilegales de agua.

Desconfianza entre distintos actores generadores de información (públicos y privados).

Recursos financieros insuficientes para el diseño, construcción, y mantención de una sistema integrado de información.

# CUENCA DEL RÍO MAULE

Regiones del Maule y Biobío



MAPA DE LA CUENCA DEL RÍO MAULE Y SUS PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS.



- |                    |                  |                  |                 |
|--------------------|------------------|------------------|-----------------|
| Terrenos Agrícolas | Río              | Grandes Embalses | Capital comunal |
| Área Urbana        | Cuenca           | Hidroeléctricas  |                 |
| Bosque             | Áreas Protegidas | Glaciares        |                 |
| Humedal            |                  | Lagos            |                 |

DATUM WGS 1984, PROYECCIÓN UTM, HUSO 19 S  
Fuente: Elaboración propia. Escenarios Hídricos 2030



Superficie:  
21.052 km<sup>2</sup>



Población aproximada  
en la cuenca:  
628.960 personas



Precipitación  
promedio anual:  
735 mm



Longitud del río:  
240 km



Gestión agua  
superficial:  
Seis secciones de riego y  
seis juntas de vigilancia  
constituidas.



Gestión aguas  
subterráneas:  
Cuatro sectores  
hidrogeológicos,  
no cuenta con OUAs.

## SITUACIÓN ACTUAL Y PROCESOS CRÍTICOS

La cuenca del río Maule nace en la cordillera de los Andes y desemboca en el mar, con una extensión de 21.052 km<sup>2</sup>. 94% de su superficie corresponde a la **Región del Maule** y 6% a la **Región del Biobío**. La población urbana se concentra en la comuna de Talca con 220.357 habitantes, seguido de Linares con 93.602 habitantes (INE, 2018).

El río Maule nace en el extremo norponiente de la laguna del Maule, a partir de la unión de los ríos Puelche y el Melado. Los ríos generados en la cordillera de los Andes van paralelos al río Maule y son captados por el río Loncomilla, que drena toda la cuenca sur (ríos Achibueno, Longaví y Perquilauquén) y por el Claro, que colecta las aguas del sector norte (estero Pangue y el río Lircay). A 90 km de su origen, el Maule ingresa a la llanura aluvial central hasta la cordillera de la Costa, donde se une al río Claro, que a su vez recoge las aguas del estero Pangue y el río Lircay y luego se mezcla con el Loncomilla cerca de San Javier. A 10 kilómetros de la desembocadura, el río Maule se ensancha en un estuario de casi 900 metros de ancho hasta terminar en la ciudad de Constitución (DGA, 2005).

El río Maule es de régimen marcadamente nival en su zona alta y media, presentando un gran aumento de caudal en los meses de primavera, consecuencia de los deshielos cordilleranos. En

la zona baja, posee un régimen pluvial, por lo que presenta crecidas asociadas directamente con las precipitaciones (DGA, 2005). La precipitación anual tiene una alta variabilidad, habiendo años secos y húmedos con una precipitación equivalente al 25% y 180% del promedio anual (INH, 2016). La oferta hídrica referencial en la cuenca del río Maule, considerando un 85% de probabilidad de excedencia, corresponde a 243,4 m<sup>3</sup>/s en aguas superficiales y 58 m<sup>3</sup>/s en aguas subterráneas (INH, 2016), sumando un total de 301,40 m<sup>3</sup>/s.

A pesar de las dificultades geográficas y climáticas para las actividades agropecuarias y forestales, en amplias zonas del país existen explotaciones agrícolas en todos los sectores geográficos, encontrándose el 54% de éstas en las regiones de La Araucanía, del Biobío y del Maule. Esta última región se caracteriza por ser



**513,83** m<sup>3</sup>/s

Es la captación estimada de agua de fuentes superficiales y subterráneas en la cuenca del río Maule



**38,13** m<sup>3</sup>/s

Consumo de aguas superficiales y subterráneas en la cuenca (huella azul)



**40,97** m<sup>3</sup>/s

Consumo de aguas (lluvias en la cuenca (huella verde)

Fuente: Radiografía del Agua: Brecha y Riesgo Hídrico en Chile (EH2030, 2018).

TABLA 4.  
TABLA RESUMEN CON CAPTACIÓN, RETORNO Y CONSUMO POR USO O SECTOR PRODUCTIVO EN LA CUENCA DEL RÍO MAULE

USO	Captación <sup>1</sup> [m <sup>3</sup> /s]	Retorno <sup>2</sup> [m <sup>3</sup> /s]	Retorno <sup>3</sup> [%]	CONSUMO DE AGUA		HH Azul por uso respecto de la región <sup>6</sup> [%]
				HH Azul <sup>4</sup> [m <sup>3</sup> /s]	HH Verde <sup>5</sup> [m <sup>3</sup> /s]	
Agrícola (Riego)	96,51	58,47	61%	38,04	8,15	68,54%
Minero	0	0	0%	0	0	0%
Agua potable y saneamiento	1,75	1,62	93%	0,13	0	0,23%
Industrial	1,21	1,11	92%	0,10	0	0,18%
Forestal	0	0	0%	0	35,44	0%
Generación Eléctrica	447,01	444,91	100%	2,10	0	4,03%
Pecuario	0,14	0,09	65%	0,05	0	0,09%

Fuente: Elaboración propia en base a Jaramillo y Acevedo (2017). Para Escenarios Hídricos 2030 (2018).

**NOTAS:**

1. Captación: volumen de agua dulce superficial y/o subterránea extraída de fuentes naturales para ser utilizada por diferentes usuarios.

2. Retorno: volumen de agua que después de ser utilizada por parte de los diferentes usuarios, es devuelta al sistema natural. Calculada como la diferencia entre captación y Huella Hídrica azul.

3. Retorno [%]: porcentaje de agua devuelta respecto del total de agua captada por sector.

4. Consumo Huella Hídrica Azul: volumen de agua fresca extraída de fuentes, superficiales y/o subterráneas, por parte de diferentes usuarios, que no retorna al ambiente de donde se extrajo. Puede ocurrir por: a) evaporación o evapotranspiración del agua, b) incorporación del agua en el producto, c) agua que no retorna a la misma cuenca de extracción o que se descarga al mar, o d) agua que retorna en un periodo de tiempo distinto al que se extrajo.

5. Consumo HH Verde: volumen de agua lluvia utilizada por parte de diferentes sectores, que queda temporalmente almacenada en la parte superficial del suelo o en la vegetación.

6. HH Azul por uso respecto de la región: porcentaje de agua consumida por Huella Hídrica Azul por cada sector en la cuenca, respecto de la Huella Hídrica Azul total de la región. Para la cuenca del río Maule, se considera que sólo un 94% de esta se encuentra dentro de la Región del Maule.

preferentemente agrícola, generando el 28,3% del empleo regional, seguida por la Región de O'Higgins con un 25,6%<sup>31</sup> (ODEPA, 2017a). Según el último informe regional del Ministerio de Agricultura (ODEPA, 2018c) en esta región se concentra el 17,2% de la superficie nacional de uso silvoagropecuario, donde los cultivos principales son plantaciones forestales, seguidas por cereales, frutales, plantas forrajeras y viñas y parronales. El 74% de las explotaciones presentan un tamaño inferior a 20 ha, aunque

solo ocupan el 5,88% del total de la superficie explotada. El 88% de la superficie forestal está ocupada con *Pinus radiata*, seguida de *Eucaliptus globulus*, ambas para la explotación industrial. En cambio, las explotaciones de más de 100 ha, representan únicamente el 6,7% del total, pero ocupa el 81,69% de la superficie explotada.

Los análisis de demandas para la Región del Maule realizados en el marco de la **Radiografía del Agua** (Jaramillo y Acevedo, 2017). Para

31. Datos del trimestre diciembre 2015 - febrero 2016, donde la actividad agrícola representó un 9,6% del total del empleo generado a nivel nacional.

EH2030, 2018) y en base a la metodología de Huella Hídrica (Hoekstra *et al.*, 2011), muestran que para la cuenca del río Maule existe una captación de aguas de fuentes superficiales y subterráneas de 546,62 m<sup>3</sup>/s. Para esta cuenca el mayor consumo por huella hídrica azul se efectúa por parte del sector agrícola, con un volumen de 38,04 m<sup>3</sup>/s, seguido del sector generación eléctrica con 2,1 m<sup>3</sup>/s de agua consumida, el sector agua potable y saneamiento con un consumo de 0,13 m<sup>3</sup>/s y del sector industrial con 0,1 m<sup>3</sup>/s. Por otro lado, el consumo de huella hídrica verde ocurre -en primer lugar- por parte del sector forestal con 35,44 m<sup>3</sup>/s y después del sector agrícola con 8,15 m<sup>3</sup>/s.

La comparación entre oferta referencial y demandas (Escenarios Hídricos 2030, 2018) muestran que la cuenca del Río Maule tiene una brecha hídrica del 13% (consumo/oferta x 100), lo que significa que se consume el 13% de la oferta, implicando una presión sobre el recurso hídrico de nivel moderado, ya que la disponibilidad del recurso se está convirtiendo en un factor limitador del desarrollo (escala basada en Rivera *et al.*, 2004).

En la cuenca, el proceso de construcción colectiva de Escenarios Hídricos ha identificado procesos críticos invariables, principalmente vinculados a los efectos del Cambio Climático, a los que esta zona deberá adaptarse y procesos críticos variables, que pueden ser manejados si se implementan las soluciones adecuadas.

Respecto a los procesos críticos invariables, en los últimos años ha habido una tendencia a la baja en las precipitaciones, la que continuará acentuándose en los próximos años (Galleguillos *et al.*, 2017. Para EH2030, 2018). Por otro lado, también se manifiesta una tendencia al

alza de las temperaturas, lo que afectará los caudales superficiales disponibles en un 10% al 40% en el futuro (Carrasco *et al.*, 2011). La tendencia de precipitaciones estudiadas desde el año 1963 al 2008, ratifica que el 90% de las estaciones analizadas presentaron proporciones de variación negativas (Cornejo, 2011), las que desencadenarán otros fenómenos.

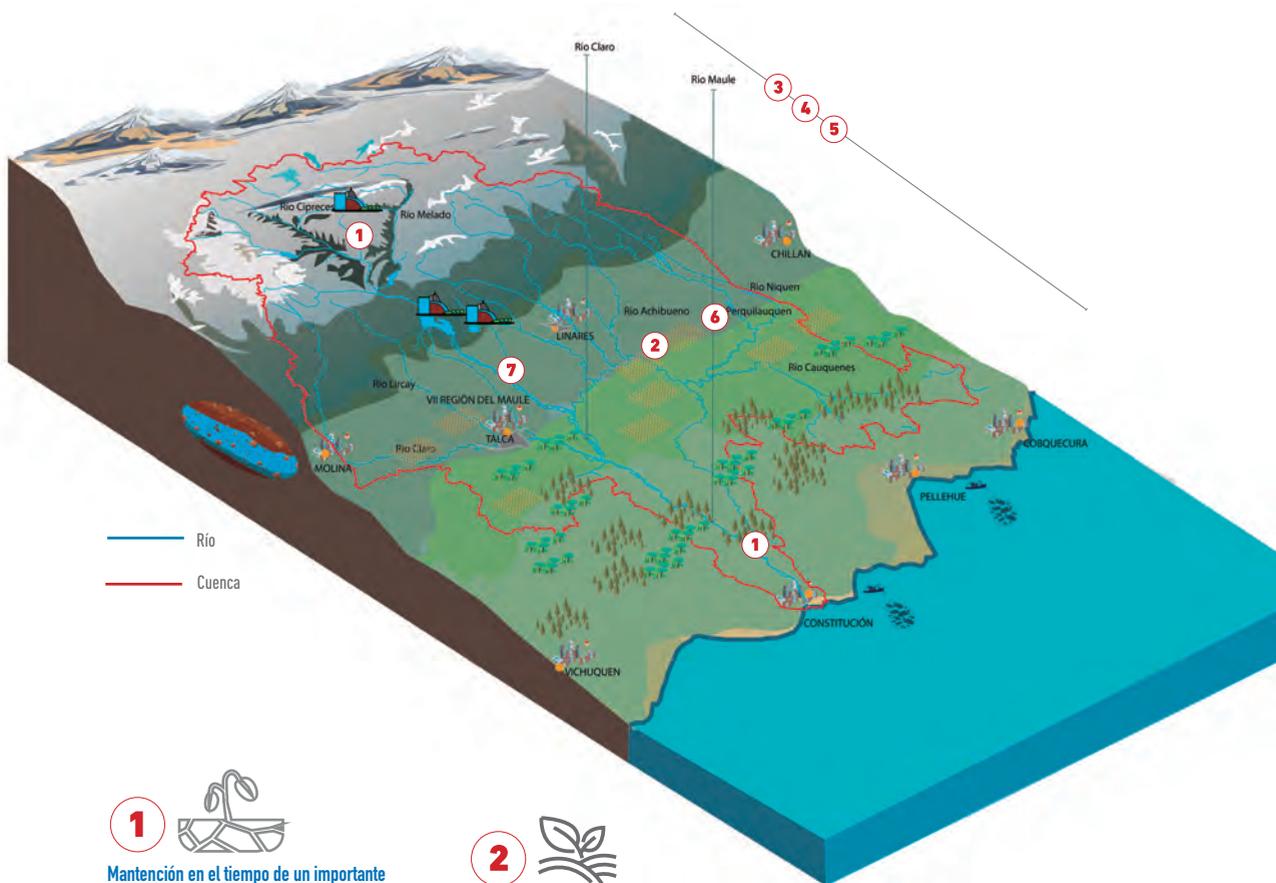
El desplazamiento de la isoterma cero ha sido evidenciado (Carrasco *et al.*, 2009 y 2011), estableciendo que donde antes caía nieve que se acumulaba en las zonas más altas de la cordillera, ahora desciende agua en forma líquida (precipitaciones), por lo que la mayor disponibilidad de este recurso estará en invierno y no en verano. Esta nueva condición distorsiona las estadísticas hidrológicas históricas de la cuenca y en las que se basa el actual diseño de obras hidráulicas y civiles.

La evidencia reciente muestra una tendencia al retroceso en la mayoría de los glaciares del país. Los glaciares andinos y la acumulación de nieve sostienen en forma importante los caudales de agua en la cuenca del Maule, donde **el deshielo de primavera constituye el principal aporte de agua al caudal anual**. El complejo de glaciares Peteroa-Planchón-Azufre en la Región del Maule se ha reducido en 42% desde 1985, con tasas mucho más altas en los glaciares del Peteroa, que ha perdido el 75% de su área entre 1985 y 2011 (DGA, 2011a). En el caso de la cuenca del río Maule, se agrega como peligro posible la reactivación del volcán Pellado, donde existen glaciares.

Respecto a los procesos críticos variables, se identificaron siete procesos cuyo comportamiento actual e histórico, según la evidencia levantada en estudios de la cuenca, se resumen a continuación:

## FIGURA 9: REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LOS PROCESOS CRÍTICOS VARIABLES PARA LA CUENCA DEL RÍO MAULE

Fuente: Elaboración propia. Escenarios Hídricos 2030.



**1** **Mantenimiento en el tiempo de un importante grado de erosión del suelo.** Estudios realizados por CIREN (2010) hacen presente que los suelos de esta región tienen riesgo de erosión que va de moderado a severo<sup>32</sup>.



**2** **Cambio en el uso de suelo por expansión agrícola.** Más del 76% de esta zona está dedicada a la actividad silvoagropecuaria (MOP, 2012b), llevando más de una década en un proceso de reconversión agrícola de cultivos de secano hacia cultivos de más alto mercado de exportación como arándano, kiwi o frambuesa y de potencial industrial como la remolacha (CNR, 2005; ODEPA, 2018c). Esta actividad es la más vulnerable a los efectos del Cambio Climático, poniendo en riesgo la producción agroindustrial de exportación y la provisión de alimentos.

32. Según CIREN (2010) la erosión severa corresponde a un suelo que presenta ocasionalmente surcos y cárcavas. La unidad presenta entre un 30 a 60% de la superficie con el subsuelo visible, con pedestales o pavimentos. La pérdida de suelo es del orden del 60 a 80%. Hay presencia de zanjas con un distanciamiento medio de 10 a 20 metros.



**Aumento en la demanda de agua consecuencia del crecimiento industrial, agua potable, agricultura e hidroelectricidad.** Esta región se caracteriza por su rápido crecimiento y desarrollo, especialmente por el potencial agrícola, forestal e hidroeléctrico que inevitablemente genera presiones al recurso hídrico y conflictos entre demandas (CNR, 2017a). El Censo del año 2017 (INE, 2018) menciona que la Región del Maule está dentro de las tres zonas que han recibido mayor cantidad de población en los últimos cinco años: Coquimbo (7,8 por mil), Valparaíso (5,2 por mil) y el Maule (3,7 por mil) (INE, 2018).



**Falta de planificación a largo plazo y lenta implementación de los planes de inversión para entregar seguridad hídrica.** En el informe Plan Regional de Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico al 2021, Región del Maule (MOP, 2012b), se mencionó la necesidad de invertir en infraestructura para asegurar el 85% de seguridad en las zonas con riego deficitario, la instalación y/o mejoramiento de servicio de APR y el mejoramiento de una red hidrométrica en ríos, acuíferos y nieve.



**Deficiente coordinación en la gestión de aguas en la cuenca a largo plazo.** En la cuenca descrita existen 388 comunidades de agua, cinco juntas de vigilancia y 19 asociaciones de canalistas. Actualmente hay distintos conflictos entre usos en la cuenca, ya sea entre regantes e hidroeléctrica, regantes cuenca arriba versus cuenca abajo o entre regantes y forestales (CNR, 2017a). El análisis del desempeño ambiental mencionó la falta de una gestión integral de los recursos hídricos y el sistema de asignación de derechos, como partes del problema de sobreexplotación de algunos acuíferos y exacerbación de los conflictos locales en Chile (OCDE, 2016).



**Aumento en el uso intensivo de agua, particularmente en acuíferos.** En el Maule hay cuatro acuíferos, cada uno con un sector hidrológico de aprovechamiento común (DGA, 2004b). La demanda por derechos de agua subterránea es esencial en esta cuenca para riego y uso domiciliario; los sectores de mayor sensibilidad a este fenómeno se encuentran al poniente de la cuenca del Loncomilla (ríos Purapel y Cauquenes), donde la alimentación de los ríos es pluvial y, por lo tanto, más vulnerable a los períodos de sequía (MOP, 2012b). En el año 2017 se analizaron las 12 estaciones DGA que miden los niveles de pozos, las que no cumplían con criterios mínimos para análisis de tendencia robusto, por la escasa frecuencia de datos por año (CAZALAC, 2017. Para EH2030, 2018), lo que dificulta conocer la situación y tendencia en los niveles de las aguas subterráneas de esta cuenca.



**Potencial cambio en la calidad de agua.** En esta zona existen 33 estaciones de monitoreo de calidad, de las cuales tres corresponden a aguas subterráneas. Investigaciones llevadas a cabo en la cuenca evidencian algunos sectores con contaminación de tipo orgánico, proveniente del manejo de residuos de predios ganaderos y las descargas domiciliarias (Eastman, 2011). Además, y acorde al Índice de Calidad de Aguas Superficiales- ICAS- (Girardi *et al.*, 2018. Para EH2030, 2018), las estaciones DGA ubicadas en La Quiriquina y en longitudinal sobre el río Longaví (2011- 2016) presentan una calidad insuficiente por concentración de arsénico.

# CONSTRUCCIÓN COLECTIVA DE LA SITUACIÓN FUTURA

## ESCENARIO TENDENCIAL 2030-2050

En una tendencia que se mantiene hace algunos años en la región, la sequía hidrológica asociada a los eventos de El Niño y La Niña continúan manifestándose, derivando con mayor frecuencia en una escasez hídrica generalizada, reduciendo relativamente el caudal medio anual. También, se produce un incremento de los eventos de lluvias de mayor intensidad en un tiempo corto y la ocurrencia de tormentas cálidas, generando aluviones. El alza de temperaturas es un factor que contribuye a acentuar el fenómeno, además de la elevación de la isoterma cero e incremento en la frecuencia de lluvias convectivas, que generan un mayor aporte volumétrico de aguas que escurren cuenca abajo, acrecentando la frecuencia de los caudales extremos y las probabilidades de inundación en las zonas de mayor vulnerabilidad, principalmente en la época invernal. Esto afecta los patrones normales de acumulación y derretimiento de nieve en las partes más altas de la cuenca, influyendo en el retroceso de los glaciares pertenecientes a ese ecosistema. Los cambios en la disponibilidad de agua y en la temporalidad de los caudales influenciarán al resto de los sectores y sistemas (MMA, 2016a).

La relevancia del recurso hídrico está enfocada al desarrollo agrícola, hidroeléctrico y forestal, principalmente. Este recurso también es utilizado para satisfacer las demandas de agua potable de una región con una gran concentración de habitantes y un fuerte desarrollo industrial en la parte alta de la cuenca, e importantes

generadoras hidroeléctricas alimentadas con aguas del río Maule. La cuenca ha experimentado un crecimiento de agroindustrias y aserraderos, dadas las nuevas condiciones climáticas que se han manifestado en los últimos años, llegando a superar las 4.500 ha plantadas de frutales en solo tres años, donde destaca la incorporación de nuevas especies como avellanos y nogales (CIREN, 2016)<sup>33</sup>.

Las condiciones climáticas impulsan adaptaciones en los sectores productivos, sobre todo en la agricultura, silvicultura y energía, lo cual podría afectar a otros sectores que dependen de la producción primaria, como las industrias de alimentos, productos forestales y exportaciones, entre otros. Comienza a reducirse paulatinamente el empleo vinculado a la agricultura por la necesidad de sustituir la mano de obra por tecnología y mecanización, sumado a la migración de jóvenes hacia las ciudades y la reducción en la productividad por efecto del Cambio Climático.

Los cultivos tradicionales extensivos bajan su rentabilidad por la fuerte competencia, condición que motiva a un recambio de cultivos hacia el sector frutícola, que en algunos casos no pagan aranceles en los mercados de destino. Esta estrategia es adoptada por otras naciones competidoras, lo que hace necesario desarrollar otro tipo de ventajas para Chile, como agilizar las autorizaciones sanitarias de importación en los países de destino y un sólido sistema de sanidad e inocuidad que

33. Estudio determina incremento de 7,5% en la superficie plantada entre los años 2013 al 2015.

## La Ley de Bosque Nativo no funciona en la práctica, porque los incentivos para su manejo son bajos y poco rentables.



**Aumento de eventos extremos: déficit hídrico e inundaciones.**



**Descenso en las precipitaciones producen efectos en la disponibilidad de agua dulce en la cuenca.**



**Alza de las temperaturas producen un incremento en el consumo hídrico por evapotranspiración o evaporación.**



**Aumento en isoterma cero genera riesgos de aluviones y cambios en la estacionalidad del agua disponible.**



**Disminuye la acumulación de nieve, afectando a los caudales disponibles.**



**Retroceso y pérdida de glaciares, que son reservas de agua dulce.**

asegure los mercados de exportación. Existe gran cantidad de productos con potencial exportador cuya autorización está pendiente en grandes mercados, lo que podría mantener las tasas de crecimiento en las exportaciones de productos alimenticios similares a las de décadas anteriores (ODEPA, 2017b).

El aumento de la variabilidad climática y de las catástrofes naturales, como pueden ser sequías, incendios y aludes, afecta a los sistemas productivos de la cuenca, principalmente a la agricultura. El actual sistema de uso de los recursos hídricos ha exacerbado la sobreexplotación de algunos acuíferos, lo que provoca escasez de agua potable en aldeas rurales y conflictos entre comunidades locales e indígenas, agricultores, empresas mineras e hidroeléctricas (OCDE, 2018).

Por otro lado, se podría dar una condición muy desfavorable para la generación hidroeléctrica con alzas de temperatura promedio entre 2,8 y 4°C y reducciones en precipitación promedio entre 20 y 35% (Ministerio de Energía, 2016), lo que afecta al régimen hídrico de los ríos, reduciendo

hasta en 25% la capacidad de generación de energía de las centrales hidroeléctricas e imponiendo un factor de incertidumbre en la gestión y planificación de este sector.

La situación impulsa la búsqueda de nuevas fuentes de energía, con una oportunidad de crecimiento para aquellas renovables no convencionales, mientras que las hidroeléctricas con embalses son utilizadas como centrales de respaldo.

Respecto al sector forestal, aunque hay consenso entre los principales actores del sector para impulsar una política de subsidio a la forestación, todavía no se logra un acuerdo político global en este aspecto. La Ley de Bosque Nativo no funciona en la práctica, porque los incentivos para su manejo son bajos y poco rentables. Continúa la forestación con bosques productivos y comienza a crecer la de otras especies (arbóreas/arbustivas) resistentes a las nuevas condiciones climáticas, como los avellanos, nogales y olivos, las cuales ayudan a mitigar la erosión del suelo, pese a que la falta de una mirada estratégica de su uso, hace que continúe la siembra de cultivos menores en zonas donde pueden provocarse deslizamientos de tierra.

En algunos pueblos rurales, el Estado invierte en profundización de pozos para mejorar la seguridad de abastecimiento de agua potable, complementando a los camiones aljibes y buscando nuevas alternativas de solución.

En ciertas épocas del año se manifiesta la competencia por el uso del agua de los distintos usuarios de la cuenca, sobre todo por el incremento de la demanda de los sectores agrícola e industrial y por consumo humano, cuya principal fuente son los acuíferos. La hidroelectricidad pretende ampliar y sostener su producción con caudales superficiales que van disminuyendo y genera mayor competencia con la agricultura, la que no consigue mantener el ritmo de crecimiento e inversión esperado por la variabilidad de caudales, lo que obliga a cambios en las operaciones de las centrales hidroeléctricas. La extracción de agua subterránea se intensifica y profundiza, siendo los pequeños agricultores los más afectados por desconocer los incentivos del Estado, que permiten acceder a créditos bancarios para usar los subsidios que otorga la Ley N°18.450. Los que poseen mayores recursos, consiguen implementar algunas medidas adicionales, migrando a cultivos más rentables. Continúa existiendo una cultura asistencialista por parte del Estado hacia algunos sectores usuarios de agua en la cuenca, lo que incrementa el gasto en acciones de emergencias que se tornan permanentes en el tiempo.

Dentro de las implementaciones llevadas a cabo, destacan los procesos de revestimiento de canales y tecnificación del riego, lo que provoca una reducción en el tiempo de la recarga de acuíferos y su balance.

Si bien los usuarios de agua cuentan con información para gestionar los recursos hídricos en sus territorios, no hay un sistema sinérgico que permita compartir estos datos y mejorar la coordinación entre los diversos usuarios a lo largo de la cuenca y con las autoridades competentes. Carencia que dificulta la toma de decisiones para el diseño de instrumentos que permitan el equilibrio y resguardo del agua, así como su adecuado ordenamiento territorial, que sumado a la limitación de recursos estatales para proveer y gestionar información y, por ende, promover el desarrollo de infraestructura adecuada, entorpecen el avance hacia la seguridad hídrica.

La cuenca sigue sin contar con una norma secundaria de calidad ambiental que regule la calidad del agua, por lo que empieza a deteriorarse como consecuencia de su disminución en fuentes superficiales y subterráneas, encareciendo los sistemas de tratamiento para el consumo de agua potable (aumento de tarifas) y para las industrias productoras de alimentos, principalmente. Por ende, la calidad del agua se transforma en una limitante para los distintos usos de este recurso en la cuenca o un encarecimiento de éste, pudiendo afectar incluso a los ecosistemas que sostienen los servicios ambientales.

La baja inversión en innovación y desarrollo comienza a limitar el crecimiento de la productividad sectorial y la simple exportación de recursos naturales no permite mantener las altas tasas de crecimiento deseado (UAB, 2017).

## PRINCIPALES TEMAS ESCENARIO TENDENCIAL



Expansión urbana aumenta la demanda de agua potable y el riesgo de contaminación por descargas de aguas servidas en zonas no urbanizadas.



La calidad del agua comienza a transformarse en una limitante para los diferentes usos, dado que aumentan los costos para su tratamiento.



Cambios en la disponibilidad y temporalidad del recurso impacta principalmente a la actividad agrícola, afectando a las industrias que dependen de estos insumos para su producción y poniendo en riesgo la provisión de alimentos.



Deterioro de los servicios ecosistémicos, producto de la escasez hídrica y la presencia de tramos secos en el río por extracciones de agua y trasvases.



Aumento en extracción de aguas subterráneas por disminución en caudales superficiales, genera una mayor presión en las reservas de agua en la cuenca.



Aumento paulatino en la erosión del suelo por carencia en mirada estratégica de las intervenciones en la cuenca.



Incremento de conflictos por causa de diferentes usuarios del agua (forestales- APR; energía y agricultura), debido a la escasez hídrica.

## ESCENARIO SUSTENTABLE 2030-2050

### Hacia el 2030 se implementa un sistema integrado (público-privado) para el monitoreo hídrico en la cuenca, con protocolos establecidos para validar los datos generados.

Se avanza paulatinamente hacia la seguridad hídrica en el contexto del Cambio Climático esperado, donde las medidas, acciones y soluciones implementadas son imprescindibles para alcanzar la meta.

Hacia el 2030 se implementa un sistema integrado (público-privado) para el monitoreo hídrico en la cuenca, con protocolos establecidos para validar los datos generados. Esta información basada en la confianza es esencial para acordar soluciones. El sistema lleva el registro de los derechos de propiedad de aguas subterráneas como superficiales, donde las OUA, SAG, DGA y otros usuarios comparten estos antecedentes, produciéndose los mayores incentivos para la regularización de los derechos de agua y los sistemas de gestión. Esto permite que los diferentes usuarios del recurso construyan y acuerden una política hídrica que considera las singularidades ambientales, sociales y territoriales y donde el agua forma parte de la ecuación del desarrollo sustentable de esta cuenca. Se crean fondos financieros mixtos que fomentan la innovación e investigación aplicada (I+D+i), lo que facilita la implementación de medidas, acciones y soluciones para alcanzar la seguridad hídrica de todos los usuarios de la cuenca, incluyendo al medio ambiente.

Se generan las condiciones y bases para ajustar los instrumentos de gestión, que facilitan la regularización de derechos de agua por parte de los usuarios; creándose incentivos y subsidios para implementar la recarga de acuíferos y mejorar los sistemas de riego en dueños y arrendatarios de terrenos aptos para la agricultura. Para abordar las posibles externalidades negativas de las medidas, acciones y soluciones (ejemplo, que la eficiencia disminuye la recarga de acuíferos), se gestiona un sistema de mitigación y compensación de aguas, que va en directo beneficio de todos los consumidores.

Los recursos naturales son cada vez más escasos y valorados, lo que incentiva la ágil implementación y diversificación de nuevas fuentes de agua, sistemas de eficiencia hídrica, medidas estructurales, tecnológicas y de gestión, que permiten el abastecimiento de este recurso a los distintos sectores para su desarrollo sustentable, considerando como base la estructura y función de los ecosistemas. Esto disminuye eventuales conflictos entre los distintos usuarios en la cuenca. Se aplican sistemas de respaldo del recurso (almacenamiento, distribución, monitoreo y nuevas fuentes de agua, entre otros), favoreciendo la sustentabilidad y un balance adecuado de los sistemas hídricos.

## Existen las capacidades técnicas instaladas y la información necesaria para hacer modelaciones, considerando a esta cuenca como un sistema interrelacionado y coordinado.

El conjunto de actuaciones técnicas, políticas, sociales, económicas y ambientales deriva en una óptima gestión integrada del recurso hídrico, implementándose para ello un sistema que reconoce las particularidades locales y los diversos sectores usuarios del recurso, quienes se coordinan y regulan para impulsar los cambios necesarios y desarrollar sistemas confiables de participación mixta (usuarios/Estado/privados), que obedezcan los lineamientos establecidos por el Estado para salvaguardar la sustentabilidad del territorio.

El sector exportador tiene presente los atributos tangibles e intangibles de sus productos para adaptarse a los cambios de los mercados mundiales, donde se implementan las medidas para asegurar la producción de calidad, inocuidad para la salud, la sustentabilidad económica, ambiental y social.

Existen las capacidades técnicas instaladas y la información necesaria para hacer modelaciones, considerando a esta cuenca como un sistema interrelacionado y coordinado. Esto permite una mejor comprensión respecto del funcionamiento del sistema hídrico en la cuenca del Maule y las relaciones sinérgicas que se producen con las diversas intervenciones que ocurren en ella. Se ejecutan programas de capacitación y transferencia tecnológica para el uso más eficiente y efectivo del recurso, creando un ambiente facilitador para el desarrollo de políticas educativas y de cultura referidas al agua, donde los actores de la cuenca conocen a cabalidad su territorio y funcionamiento. Los usuarios de agua actúan apoyados por la ciencia, la investigación aplicada, la innovación, la información y el Estado, ente que establece el marco de acción y sus condiciones.

El empleo del suelo también es integrado a la ecuación del desarrollo en la cuenca, instalando una estructura sustentable de producción que ordena territorialmente los diversos usos que interactúan en el mismo territorio. Se incentiva la implementación de mejores tecnologías que permiten mejorar la producción y desarrollo, haciendo eficiente el uso del suelo y del agua. Existe una política de revegetación que posee un enfoque de ordenamiento territorial con énfasis en el desarrollo sustentable, la que está diseñada con una mirada preventiva para minimizar incendios forestales, prevenir la erosión y valorar el servicio ambiental que prestan los bosques nativos y productivos a la restauración hidrológica de las cuencas. Los mecanismos de incentivo a la revegetación se enfocan en especies que reducen la erosión del suelo, restauran ecosistemas, recargan acuíferos y disminuyen el consumo de agua, incorporando el empleo de sistemas de biotecnias (biológica) e hidrotecnias (obras en agua).

El agua subterránea pasa a ser una importante fuente de abastecimiento para las diversas actividades productivas, siendo los acuíferos los principales sistemas de almacenamiento. En el mediano plazo, se crea un protocolo estandarizado para la adecuada medición y control de los acuíferos a nivel nacional con aplicación en la cuenca. Se implementan medidas, acciones y soluciones para la óptima recarga de acuíferos, las que van desde la conservación y recuperación de zonas de recarga natural hasta sistemas de recarga artificial. Se llevan a cabo obras y medidas de gestión que permiten la infiltración más eficiente de las aguas lluvias producidas principalmente

en invierno, apoyando la mitigación de posibles inundaciones y/o aluviones.

Hay programas de cuencas que permiten gestionar eficientemente la demanda de agua, donde se fomenta el uso adecuado de este recurso, su consumo sustentable, mantención o recuperación del caudal ecológico, recambio de cultivos y diversificación de los sistemas de almacenamiento, entre otros. Se aplican medidas, acciones y soluciones definitivas para el abastecimiento de agua potable rural, eliminando el uso de camiones aljibes. Ahora el acceso al agua potable es un derecho de todos.

La diversificación de las fuentes de energía impulsa la generación de nuevas tecnologías, haciendo factible la implementación de sistemas eficientes para la distribución de agua en los distintos niveles y la consolidación de la economía circular. Entre las destacan la energía solar, eólica, marina y uso de biomasa, entre otras.

Al 2030 la cuenca cuenta con una Norma Secundaria de Calidad Ambiental, que regula la calidad de agua requerida para sostener sus diversos usos, incluyendo el medio ambiente, estableciéndose un sistema de control de la calidad del recurso y alerta temprana, que permite detectar las zonas que pueden presentar problemas o riesgos para la salud de las personas, principalmente. Se implementan sistemas de riego altamente eficientes y buenas prácticas para producir menos

contaminantes en la aplicación de fertilizantes y plaguicidas en cultivos agrícolas, evitando la contaminación difusa en las aguas superficiales y subterráneas. Se conservan y recuperan las riberas de los ríos que actúan como biofiltros para evitar el traslado de sedimentos hacia los cursos de agua superficial y sirven de hábitat para especies nativas. Las empresas utilizan sus aguas tratadas para reusarlas en sus procesos productivos o para apoyar la gestión integrada de recursos hídricos.

La calidad del recurso permite una utilización segura para la recreación, turismo y los diversos usos productivos, los cuales cumplen con los estándares internacionales requeridos para los productos de exportación. Los costos de tratamiento del agua potable son estables y con tarifas adecuadas y las zonas rurales también cuentan con efectivos sistemas de tratamiento de aguas domiciliarias, lo que posibilita su reutilización para el desarrollo local a través de encadenamientos productivos.

Los sistemas implementados son dinámicos y están en constante proceso de retroalimentación para perfeccionarse y mantener la mirada al largo plazo.

## PRINCIPALES TEMAS ESCENARIO SUSTENTABLE



Aumentan las fuentes de energía renovables no convencionales, las que son accesibles para las comunidades más vulnerables.



Se generan instrumentos que permiten contar con un sistema integrado (público-privado) para el monitoreo e información hídrica, fondos financieros mixtos que fomentan la innovación e investigación aplicada, incentivos y subsidios para implementar la recarga de acuíferos y mejorar los sistemas de riego, sistema de mitigación y compensación de aguas que beneficien a todos los usuarios del agua, promoviendo una cultura del recurso.



Los usuarios de agua actúan apoyados por la ciencia, la investigación aplicada, la innovación y la información, siendo el Estado el que establece el marco de acción y condiciones.



Los posibles conflictos entre los usuarios de la cuenca, son controlados a través de diversas herramientas aplicadas, logrando acuerdos de colaboración entre los diferentes usuarios.



La cuenca cuenta con un sistema de gestión integrada del recurso hídrico, que reconoce las particularidades locales con participación mixta.



Existe una estructura sustentable de producción, que ordena territorialmente los diversos usos que interactúan en el mismo territorio, haciendo eficiente el uso del suelo y el agua (producir más con menos).



Se impulsa la recuperación hidrológica y ecológica de las cuencas (servicios ecosistémicos), para dar sustentabilidad al desarrollo de la misma.



El agua subterránea pasa a ser una importante fuente de abastecimiento para las diversas actividades productivas en la cuenca, siendo los acuíferos los principales sistemas de almacenamiento. Para ello, se implementan sistemas de infiltración y recarga en diferentes escalas.



Se realizan obras y medidas de gestión, que permiten la infiltración más eficiente de las aguas lluvias producidas principalmente en invierno, apoyando la mitigación de posibles inundaciones y/o aluviones.



El acceso al agua potable es para todos en forma óptima, eliminando el uso de camiones aljibes.

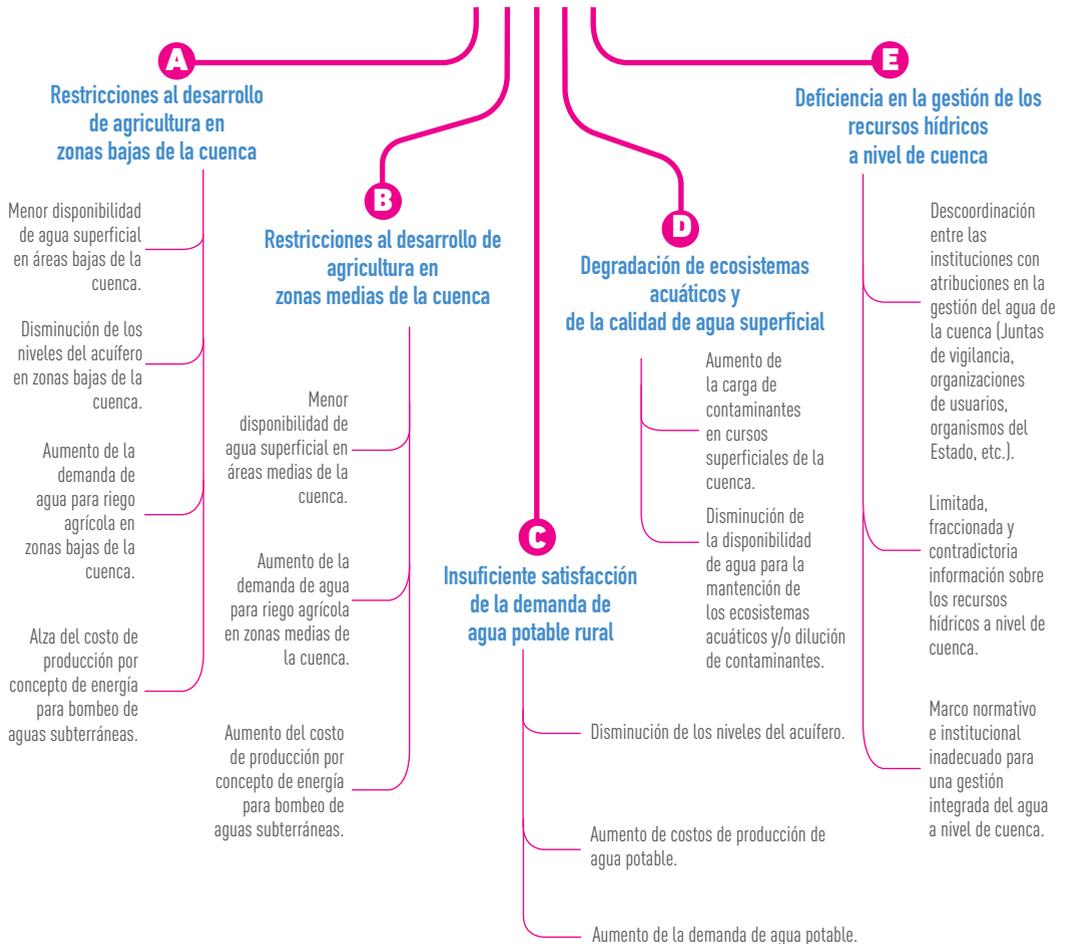


La cuenca cuenta con una Norma Secundaria de Calidad Ambiental, que regula la calidad de agua requerida para sostener los diversos usos del recurso, incluyendo el medio ambiente.

# ÁRBOL DE PROBLEMAS

Los procesos críticos variables de la cuenca del río Maule resultaron en la identificación de cinco problemas principales:

## CUENCA DEL RÍO MAULE



Causas priorizadas por la cuenca

Estos problemas surgen de la conjunción de 15 causas primarias y 43 secundarias.



## RESTRICCIONES AL DESARROLLO DE AGRICULTURA EN ZONAS BAJAS DE LA CUENCA

PROBLEMA

Causa Primaria

Menor disponibilidad de agua superficial en áreas bajas de la cuenca.

Disminución de los niveles del acuífero en zonas bajas de la cuenca.

Aumento de la demanda de agua para riego agrícola en zonas bajas de la cuenca.

Alza del costo de producción por concepto de energía para bombeo de aguas subterráneas.

Causa secundaria

Disminución de los retornos o "derrames" al final de las zonas de riego por aumento en eficiencia de riego y aumento en superficie agrícola.

Disminución de los caudales superficiales por aumento en la eficiencia en el uso de agua industrial (disminución de retornos).

Disminución de la recarga desde áreas agrícolas aguas arriba por tecnificación de riego.

Disminución de la recarga natural del acuífero por aumento del consumo de agua por cobertura vegetal.

Aumento de la demanda de agua para riego agrícola en zonas bajas de la cuenca.

Aumento de las extracciones desde acuífero para suplir demanda para agua potable.

Aumento de las extracciones desde acuífero para suplir demanda de agua para industrias.

Aumento de las tasas de consumo de agua por los cultivos (evapotranspiración).

Expansión del área agrícola bajo riego en zonas bajas.

Alto uso de sistemas de riego poco eficientes, asociado a sistema de arriendo de tierra agrícola.

Alta proporción de cultivos con uso intensivo de agua.

Dificultades para acceder a subsidios agrícolas con implicancias en eficiencia de riego/mejoras tecnológicas.

Causas priorizadas por la cuenca

**B**

**RESTRICCIONES AL DESARROLLO DE AGRICULTURA EN ZONAS MEDIAS DE LA CUENCA**

PROBLEMA

Causa Primaria

Menor disponibilidad de agua superficial en áreas medias de la cuenca.

Aumento de la demanda de agua para riego agrícola en zonas medias de la cuenca.

Aumento del costo de producción por concepto de energía para bombeo de aguas subterráneas.

Causa secundaria

Gestión y uso de las aguas de la Laguna del Maule para generación hidroeléctrica poco compatible con las necesidades de los regantes.

Aumento del consumo de agua por parte de la cobertura vegetal en zonas medias de la cuenca.

Aumento de las necesidades de riego por hectárea por aumento en la evapotranspiración y disminución de precipitaciones.

Expansión del área agrícola bajo riego en zonas medias.

Alto uso de sistemas de riego poco eficientes.

Alta proporción de cultivos con uso intensivo de agua.

Causas priorizadas por la cuenca



**INSUFICIENTE SATISFACCIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA POTABLE RURAL**

PROBLEMA

Causa Primaria

Disminución de los niveles del acuífero.

Aumento de costos de producción de agua potable.

Aumento de la demanda de agua potable.

Causa secundaria

Disminución de la recarga desde áreas agrícolas por tecnificación de riego.

Disminución de la recarga por impermeabilización de canales de riego.

Disminución de la recarga por impermeabilización y urbanización.

Aumento de las extracciones por parte de la agricultura.

Aumento del consumo de agua por parte de cobertura vegetal en zonas bajas de la cuenca (CNR, 2017a).

Aumento de las extracciones desde acuífero para suplir demanda para agua potable.

Aumento de las extracciones desde acuífero para suplir demanda de agua para industrias.

Aumento de costos de producción por tratamiento de calidad de agua subterránea.

Alza de costos de producción por concepto de energía para bombeo desde aguas subterráneas.

APRs con capacidades técnicas y financieras insuficientes.

Generación de nuevos centros de demanda en áreas periurbanas abastecidas por APRs con limitada disponibilidad de recursos.

Causas priorizadas por la cuenca

D

DEGRADACIÓN DE ECOSISTEMAS ACUÁTICOS Y DE LA CALIDAD DE AGUA SUPERFICIAL

PROBLEMA

Causa Primaria

Aumento de la carga de contaminantes en cursos superficiales de la cuenca.

Disminución de la disponibilidad de agua para la mantención de los ecosistemas acuáticos y/o dilución de contaminantes.

Causa secundaria

Aplicación ineficiente y/o excesiva de agroquímicos en la agricultura.

Manejo inadecuado de residuos líquidos/sólidos desde explotaciones ganaderas.

Manejo inadecuado de residuos líquidos desde instalaciones agroindustriales.

Aumento de contaminación por descargas de aguas servidas desde localidades rurales en zona baja de la cuenca.

Disminución de los retornos o "derrames" al final de las zonas de riego por aumento en eficiencia de riego y aumento en superficie agrícola.

Cambios en la cantidad y temporalidad del caudal del río en áreas de interés de conservación por operación de proyectos hidroeléctricos de pasada y/o embalse.

Causas priorizadas por la cuenca



## DEFICIENCIA EN LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS A NIVEL DE CUENCA

PROBLEMA

Causa Primaria

Descoordinación entre las instituciones con atribuciones en la gestión del agua de la cuenca (Juntas de vigilancia, organizaciones de usuarios, organismos del Estado, etc.).

Limitada, fraccionada y contradictoria información sobre los recursos hídricos a nivel de cuenca.

Marco normativo e institucional inadecuado para una gestión integrada del agua a nivel de cuenca.

Causa secundaria

Alcance territorial institucional limitado a secciones y sectores hidro(geo)lógicos.

Poca transparencia en el mercado de aguas a nivel de cuenca.

Instituciones públicas relevantes desconectadas y descoordinadas en su accionar territorial.

Limitadas capacidades técnicas y financieras de organizaciones de usuarios de agua.

Información ambiental con importantes brechas en la cobertura espacial y temporal.

Desconocimiento e insuficiente fiscalización de extracciones ilegales de agua.

Desconfianza entre distintos actores generadores de información (públicos y privados).

Recursos financieros insuficientes para el diseño, construcción, y mantención de un sistema integrado de información.

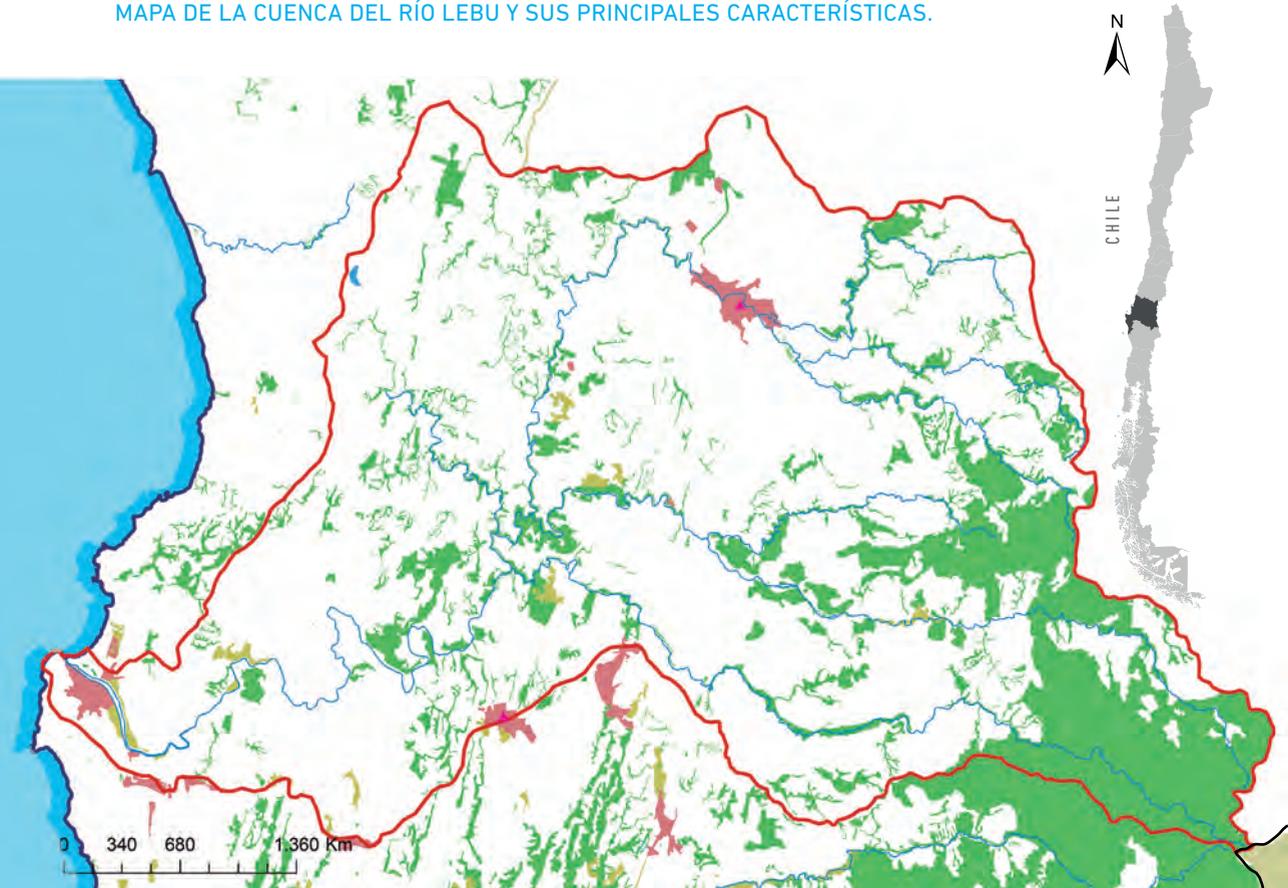
Causas priorizadas por la cuenca

# CUENCA DEL RÍO LEBU

Región de Biobío



MAPA DE LA CUENCA DEL RÍO LEBU Y SUS PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS.



DATUM WGS 1984, PROYECCIÓN UTM, HUSO 19 S

Fuente: Elaboración propia. Escenarios Hídricos 2030



Superficie:  
857,8 km<sup>2</sup>



Población aproximada  
en la cuenca:  
78.845 personas



Precipitación  
promedio anual:  
1.850 mm



Longitud del río:  
39 km



Gestión agua  
superficial:  
No existen juntas de  
vigilancia constituidas.



Gestión aguas  
subterráneas:  
No existen organizaciones  
de usuarios

## SITUACIÓN ACTUAL Y PROCESOS CRÍTICOS

La cuenca del río Lebu se localiza en la **Región del Biobío**. Es una cuenca costera que nace en la cordillera de Nahuelbuta y desemboca en el Océano Pacífico, con una superficie de 857,8 km<sup>2</sup>. Las comunas ubicadas en esta cuenca son Curanilahue con 32.288 habitantes, Los Álamos con 21.035 habitantes y Lebu con 25.522 habitantes (INE, 2018).

Los principales afluentes del río Lebu son el Curanilahue, Trongol y Pilpilco, que son alimentados por esteros tributarios y que se juntan en la zona media de la cuenca para formar el cauce del río Lebu que desemboca en el mar. El río Curanilahue surge de la unión de los ríos Negro y Descabezado provenientes de la cordillera de Nahuelbuta. A su paso por la ciudad de Curanilahue se junta por su ribera derecha al río Ranas, que viene del oriente y por la ribera izquierda, al estero Plegarias que proviene del sur.

El caudal de agua en los ríos depende en un 100% de las precipitaciones que recibe esta cuenca costera, por lo tanto, el agua lluvia constituye parte importante del sistema. Los meses con mayor disponibilidad de caudal son de abril a agosto, coincidiendo con el incremento de las precipitaciones en la zona. El aporte pluvial promedio en un año es de 1.850 mm, medido en la estación meteorológica de Curanilahue a 146 m.s.n.m., con una serie de tiempo entre 1997 a 2017.

La información sobre la oferta hídrica del río Lebu es muy limitada. El Balance Hídrico Nacional (DGA, 1987) estima una oferta hídrica superficial de 33.4 m<sup>3</sup>/s. Por otro lado, la CNR (2003) proyecta la oferta hídrica superficial en 28,63 m<sup>3</sup>/s, para una probabilidad de excedencia de 85% y de 40,86 m<sup>3</sup>/s para una probabilidad de excedencia de 50%, teniendo presente los caudales medios mensuales en la estación ubicada en los Álamos.

Respecto a las aguas subterráneas, hay muy pocos estudios sobre los acuíferos y su comportamiento. Según DGA (2013b), no se dispone de datos de sondajes y pozos que permitan valorar la distribución de espesores de la formación acuífera con mayor detalle.

La comuna de Lebu fue minera hasta principios de los años 90, pero tras la crisis



**0,085 m<sup>3</sup>/s**

Es la captación estimada de agua de fuentes superficiales y subterráneas en la cuenca del río Lebu



**0,009 m<sup>3</sup>/s**

Consumo de aguas superficiales y subterráneas en la cuenca (huella azul)



**7,1 m<sup>3</sup>/s**

Consumo de aguas lluvias en la cuenca (huella verde)

Fuente: Radiografía del Agua: Brecha y Riesgo Hídrico en Chile (EH2030, 2018).

**TABLA 5. TABLA RESUMEN CON CAPTACIÓN, RETORNO Y CONSUMO POR USO O SECTOR PRODUCTIVO EN LA CUENCA DEL RÍO LEBU**

USO	Captación <sup>1</sup> [m <sup>3</sup> /s]	Retorno <sup>2</sup> [m <sup>3</sup> /s]	Retorno <sup>3</sup> [%]	CONSUMO DE AGUA		HH Azul por uso respecto de la región <sup>6</sup> [%]
				HH Azul <sup>4</sup> [m <sup>3</sup> /s]	HH Verde <sup>5</sup> [m <sup>3</sup> /s]	
Agrícola (Riego)	0,01	0,001	26%	0,004	0,03	0,03%
Minero	0,001	0	0%	0,001	-	0,01%
Agua potable y saneamiento	0,07	0,07	95%	0,003	-	0,03%
Industrial	-	-	-	-	-	-
Forestal	-	-	-	-	7,07	-
Generación Eléctrica	-	-	-	-	-	-
Pecuario	0,004	0,002	66%	0,001	-	0,01%

Fuente: Elaboración propia en base a Jaramillo y Acevedo (2017). Para Escenarios Hídricos 2030 (2018).

**NOTAS:**

1. Captación: volumen de agua dulce superficial y/o subterránea extraída de fuentes naturales para ser utilizada por diferentes usuarios.

2. Retorno: volumen de agua que después de ser utilizada por parte de los diferentes usuarios, es devuelta al sistema natural. Calculada como la diferencia entre captación y Huella Hídrica azul.

3. Retorno [%]: porcentaje de agua devuelta respecto del total de agua captada por sector.

4. Consumo Huella Hídrica Azul: volumen de agua fresca extraída de fuentes, superficiales y/o subterráneas, por parte de diferentes usuarios, que no retorna al ambiente de donde se extrajo. Puede ocurrir por: a) evaporación o evapotranspiración del agua, b) incorporación del agua en el producto, c) agua que no retorna a la misma cuenca de extracción o que se descarga al mar, o d) agua que retorna en un periodo de tiempo distinto al que se extrajo.

5. Consumo HH Verde: volumen de agua lluvia utilizada por parte de diferentes sectores, que queda temporalmente almacenada en la parte superficial del suelo o en la vegetación.

6. HH Azul por uso respecto de la región: porcentaje de agua consumida por Huella Hídrica Azul por cada sector en la cuenca, respecto de la Huella Hídrica Azul total de la región.

carbonífera, la pesca artesanal pasó a ser su principal actividad económica (PNUD, 2011). Hoy en día en esta zona sobresalen dos actividades principales: la forestal y la pesquera. La primera se desarrolla en la parte alta y media de la cuenca, mientras que la segunda se produce en la parte baja sobre la comuna de Lebu y el borde costero.

La agricultura y la ganadería ocupan una posición secundaria, con cultivos tradicionales y de subsistencia, mientras el turismo emerge de a poco en el área costera.

Los análisis de demandas teóricas en la cuenca de Lebu, realizados en el marco de la **Radiografía del Agua** (Jaramillo y Acevedo, 2017. Para EH2030, 2018) y en base a la metodología de huella hídrica (Hoekstra *et al.*, 2011), muestran

que para la cuenca del río Lebu existe una captación de aguas de fuentes superficiales y subterráneas de 0,085 m<sup>3</sup>/s. **Para esta cuenca el mayor consumo por huella hídrica azul se produce por parte del sector agrícola, con un consumo de 0,004 m<sup>3</sup>/s, seguido del sector agua potable y saneamiento con un uso de 0,003 m<sup>3</sup>/s.** Por otro lado, el consumo de huella hídrica verde (aguas lluvias) ocurre -en primer lugar- por parte del sector forestal con 7,074 m<sup>3</sup>/s, seguido por la agricultura de subsistencia con 0,03 m<sup>3</sup>/s. El consumo de agua lluvia por parte del sector forestal, representa el 6% del total regional. La tabla detalla los resultados del estudio para cada sector productivo.

En la cuenca el proceso de construcción colectiva de Escenarios Hídricos ha identificado **procesos críticos invariables**, principalmente vinculados a los efectos del Cambio Climático, a los que ésta deberá adaptarse; y **procesos críticos variables**, que pueden ser manejados si se implementan las soluciones adecuadas.

Respecto a los **procesos críticos invariables**, en los últimos años se ha manifestado una tendencia a la **baja en las precipitaciones**, la que continuará acentuándose en los próximos años (Galleguillos *et al.*, 2017. Para EH2030, 2018). Se proyectan variaciones de la precipitación normal anual de -14,7% al año 2050 con respecto a la línea base 1980-2010 (MMA, 2016b). Por otro lado, también se manifiesta una tendencia al **alza de las temperaturas** y se esperan incrementos promedios de 1,7°C al año 2050 con respecto de la línea base 1980-2010 (MMA, 2016b), lo cual podría afectar los caudales superficiales disponibles en un 10% al 40% en el futuro (Carrasco *et al.*, 2011).

La evolución del índice SPEI para la cuenca costera entre Lebu y Tirúa evidencia valores de sequía moderada en los períodos 2007-2008, 2009 y 2011-2014 y se destaca el nivel extremo de sequía en los años 2013-2014, manifestando **un aumento en los períodos de déficit hídrico** (Galleguillos *et al.*, 2017. Para EH2030, 2018).

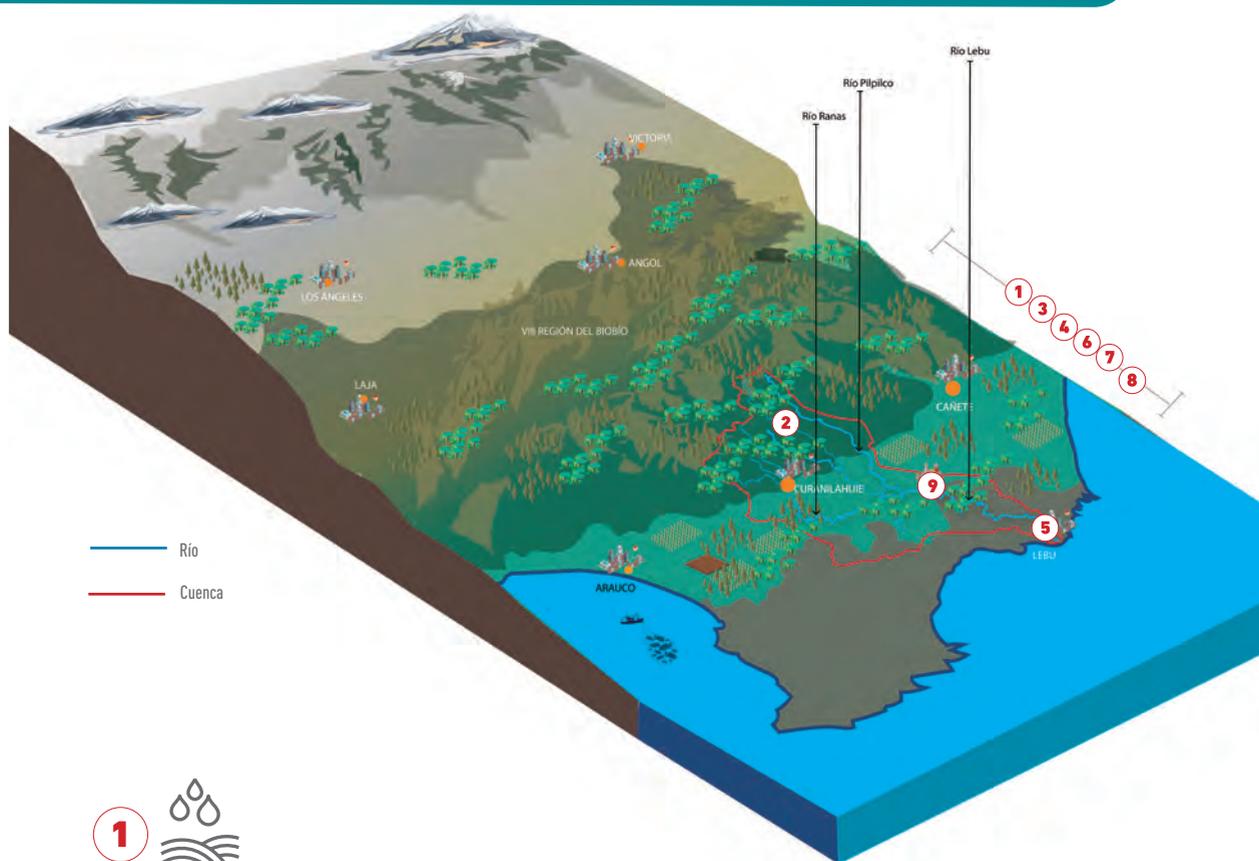
Respecto al “exceso de agua” en la cuenca de Lebu, se considera probable que aumente la frecuencia de inundaciones por efecto de lluvias convectivas (precipitaciones de alta intensidad en poco tiempo), incrementándose también los riesgos de aluviones y de exponer a su población, infraestructuras y sistemas a sufrir de importantes pérdidas, tanto en términos de vidas humanas como económicas, medioambientales y sociales. Los sectores más afectados por estas catástrofes están en las comunas de Lebu, Curanilahue y Los Álamos (GORE Biobío, 2014).

La zona también presenta riesgos naturales de deslizamiento de tierras y remoción en masa, como consecuencia de las altas pendientes de las laderas del valle fluvial del río Lebu y quebradas, así como de riesgos antrópicos, debido a extracciones mineras y presencia de pirquenes históricos en terrenos de la ex Mina Colico Sur, en las Minas Plegarias, en el Pique Caupolicán y en el Cerro Bulnes (GORE Biobío, 2014).

Respecto a los **procesos críticos variables**, se identificaron nueve procesos cuyo comportamiento actual e histórico, según la evidencia levantada en estudios de la cuenca, se resumen a continuación:

**FIGURA 10:**  
REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LOS PROCESOS CRÍTICOS VARIABLES  
PARA LA CUENCA DEL RÍO LEBU

Fuente: Elaboración propia. Escenarios Hídricos 2030.



— Río  
— Cuenca



**1** **Baja disponibilidad de información para la gestión de los recursos hídricos.** Existen pocas estaciones de monitoreo para medir variables como precipitaciones, niveles de pozos, parámetros de calidad del agua y caudales, lo que no permite una adecuada gestión de los recursos hídricos (CNR, 2017b). Las únicas estaciones de monitoreo se concentran principalmente en la comuna de Curanilahue y no se distribuyen adecuadamente a lo largo de la cuenca. Además, los datos de estas estaciones no son constantes y hay periodos sin registro, lo que dificulta el análisis hidrológico de la cuenca.



**2** **Incremento de la demanda hídrica para generación eléctrica.** La cuenca del río Lebu tiene una capacidad instalable de MW 33,32, siendo 10 las potenciales centrales hidroeléctricas. Además, se evidencia un aumento en la solicitud de derechos de agua en la parte alta de la cuenca para pequeñas centrales de generación eléctrica, pero se desconoce si a futuro habrá caudal suficiente para el óptimo funcionamiento de este tipo de energía.

# El 85,5% del territorio en la cuenca tiene cobertura vegetal, donde las plantaciones forestales cubren un 64% de la cuenca.



**Escasez de inversión público-privado entorno al recurso hídrico.** Las comunas de la zona cuentan con altos niveles de pobreza y décadas de emigración forzada. Algunas comunas, por ejemplo, Los Álamos posee un 18,2% de agua potable o servicio higiénico deficitario, porcentaje correspondiente al doble del promedio regional (9,2% según la Municipalidad Los Álamos, 2016).



**Falta de coordinación entre los usuarios para mejorar los sistemas de abastecimiento de agua potable.** Gran parte de los APRs dependen de los camiones aljibes, que representan un alto costo. Asimismo, los sistemas de tratamiento de agua potable son costosos para las poblaciones que habitan las zonas de rezago.



**Cambios en la calidad del agua en la desembocadura del río Lebu.** La calidad del agua en la desembocadura de la cuenca se ve afectada como consecuencia de descargas de aguas servidas sin tratamiento (PNUD, 2011), junto con efluentes de minas<sup>34</sup> e industrias (EULA, 2014), y de la extracción sostenida de áridos en la parte alta de la cuenca.



**Bajos índices de formación educativa y transferencia de tecnología.** La Provincia de Arauco posee la tasa más baja en escolaridad, un promedio de 9 años, mientras que la región en promedio tiene 10 años y el país, 10,5 años (GORE Biobío, 2015). Su ausencia es un factor clave en el proceso de transferencia tecnológica y conocimiento de los fenómenos que ocurren en el territorio.



**Gran parte del territorio es destinado a la actividad forestal.** El 85,5% del territorio en la cuenca tiene cobertura vegetal, donde las plantaciones forestales cubren un 64% de la cuenca, destacando la presencia de pino y eucalipto que consumen una significativa parte del agua proveniente de las precipitaciones; un 19,6% es ocupado por el bosque nativo y sólo un 2% es cubierto por el bosque mixto (CONAF, 2017<sup>35</sup>).



**Carencia de sistemas de almacenamiento de agua.** No existen en la cuenca sistemas de almacenamiento de aguas, un factor relevante, ya que la zona depende 100% de las aguas lluvias.



**Expansión urbana no regulada de zonas rurales.** En el sector los Álamos-Tres Pinos -como Antihuala, Temuco Chico y La Araucana- se menciona como un tema de interés, dado el potencial impacto al desarrollo y el comercio local.

34. En la cuenca del río Lebu se encuentra principalmente la presencia de minería de carbón.

35. Del catastro vegetacional de CONAF, se utiliza el anexo de SIG para determinar las coberturas vegetales en la cuenca de Lebu.

# CONSTRUCCIÓN COLECTIVA DE LA SITUACIÓN FUTURA

## ESCENARIO TENDENCIAL 2030-2050

La cuenca costera del río Lebu se ubica en la Región del Biobío al sur de Chile, siendo los principales usuarios del recurso hídrico de esta zona las actividades forestal, pesquera, minería del carbón y extracción de áridos, seguidas de un sector doméstico en aumento y un turismo emergente.

La actividad agrícola y ganadera es reducida, pero de gran relevancia para las comunidades rurales de subsistencia. La principal complejidad para analizar el componente hídrico en la cuenca radica en la falta de información y coordinación, lo que se complejiza en una zona de rezago, pues limita la inversión pública y dificulta la gestión del recurso hídrico.

Los efectos del Cambio Climático se hacen sentir al año 2050, presentando alzas de temperaturas en promedio de 1,7°C y bajas en las precipitaciones de hasta un 15%. Esto podría provocar disminuciones de entre un 10% a 40% en los caudales superficiales disponibles, incrementando así la presión de extracción de agua desde los acuíferos. Por otro lado, el Cambio Climático produce eventos de inundaciones en las zonas aledañas a ríos y esteros, afectando a todas las comunas situadas en la cuenca

de Lebu. La zona urbana es amenazada principalmente por el riesgo de tsunami.

Esta cuenca costera que nace en la cordillera de Nahuelbuta, no posee glaciares y sus recursos hídricos dependen 100% de las precipitaciones, las que no se consiguen guardar para períodos de escasez, por la falta de sistemas de almacenamiento de agua.

El alza de las temperaturas genera efectos directos sobre la vegetación en la cuenca, incrementando el consumo del recurso hídrico y su evapotranspiración. Se eleva también la evaporación desde las aguas superficiales y el aumento demográfico acrecienta la demanda de agua para consumo humano en algunos sectores, generando una mayor presión en la disponibilidad de las aguas superficiales y subterráneas. Por otro lado, comienzan a hacerse más regulares los períodos de escasez hídrica, mientras que las lluvias convectivas<sup>36</sup> se hacen más frecuentes e intensas, incrementando el riesgo por inundaciones y aluviones en la cuenca<sup>37</sup>.

La baja disponibilidad de aguas superficiales y la disminución en los niveles de acuíferos, producen una afectación directa sobre el

36. Las lluvias de convección, a diferencia de las lluvias orográficas, suelen producirse en zonas llanas o con pequeñas irregularidades topográficas, donde pueden presentarse un ascenso de aire húmedo y cálido, dando origen a nubes del tipo de cumulonimbos con lluvias intensas. Fuente: <http://www.nwcsaf.org/> - copyright (2018) EUMETSAT.

37. La precipitación corresponde al primer mecanismo para producir inundaciones, sean éstas de origen convectivo, orográfico y/o frontal (Rojas et al., 2014).

Esta cuenca costera que nace en la cordillera de Nahuelbuta, no posee glaciares y sus recursos hídricos dependen 100% de las precipitaciones.



**Aumento de eventos extremos: déficit hídrico e inundaciones.**



**Descenso de las precipitaciones afecta la disponibilidad hídrica en la cuenca y a la actividad forestal que depende de la lluvia.**



**Alza de las temperaturas aumentan el consumo hídrico por parte de la vegetación y aumentan las probabilidades de lluvias torrenciales.**

medio ambiente y la geografía presente, acrecentando el riesgo de subsidencia en la cuenca<sup>38</sup> y de intrusión salina<sup>39</sup> en la desembocadura del río Lebu.

El deterioro en la calidad del agua se acrecienta el año 2050, debido a la disminución de los caudales superficiales, producto de los efectos del Cambio Climático y las presiones antrópicas, tales como: el constante vertimiento de aguas servidas sin tratamiento directamente al río; los residuos y químicos utilizados en la industria forestal<sup>40</sup>; las desregularizadas extracciones de áridos en la parte alta de la cuenca (principalmente en la zona de Trongol bajo) y al crecimiento poblacional.

Se incrementa la concentración poblacional en la cuenca, principalmente en el sector

Los Álamos – Tres Pinos, aumentando con ello la presión sobre el recurso hídrico. Esto presenta grandes desafíos sanitarios para no afectar la calidad del agua en el río.

Existen características propias de una zona de rezago, como la escasa inversión del sector público-privado, la deficiente gestión administrativa y de políticas públicas que, junto a los bajos índices de formación educativa y profesional, así como a una exigua transferencia de tecnología limita la manera de manejar e intervenir el entorno ambiental del territorio y el desarrollo local. La información continúa siendo insuficiente para la gestión adecuada de los recursos hídricos, encontrándose disgregada sectorialmente y parcializada, entorpeciendo con ello la posibilidad de generar planes o estrategias

38. Las subsidencias son comúnmente provocadas en la tierra por: a) descensos del nivel subterráneo del agua los cuales son causados por bombeo o por la desviación de la escorrentía superficial, b) por el flujo de agua subterránea a través de rocas susceptibles de disolución tales como roca caliza y yeso (Heidari et al., 2011); c) el colapso de galerías subterráneas de las cuales se ha extraído mineral. El colapso de la superficie terrestre, por lo tanto, pueden ser inducidos a través de causas naturales o por el hombre (Langer, 2001). Murcia en España se hunde 100 mm/año, con un costo de 50 millones de euros para la reparación del hundimiento de la tierra. En California, la ciudad de Corcoran se ha hundido 33 centímetros en ocho meses y parte del Acueducto de California se hundió 20 centímetros en tan sólo cuatro meses (Farr, Jones y Liu, 2015, estudio de la NASA).

39. La intrusión salina es el fenómeno durante el cual una masa de agua salada penetra en el interior de una masa de agua dulce, ya se trate de aguas superficiales o de aguas subterráneas. Fuente: <http://www.glossaire.eaufrance.fr/es/concept/intrusi%C3%B3n-salina>

40. El uso de plaguicidas y pesticidas que son aplicados al inicio de la rotación forestal podría eventualmente afectar la calidad de las aguas, junto con el uso de herbicidas utilizados para el control de malezas pre y post establecimiento de la forestación.



integradas en la cuenca. Se mantiene una cultura reactiva frente a las emergencias, buscando soluciones de corto plazo que no son necesariamente sostenibles en el tiempo. Paralelamente, existe una falta de coordinación entre los distintos usuarios del agua en la cuenca, como consecuencia de la falta de organizaciones de usuarios del agua y una inadecuada gestión de los APRs en las distintas comunidades, quienes consideran como principal fuente de abastecimiento los camiones aljibes. La escasez hídrica empieza a sentirse en los APRs, intensificando los conflictos con el sector forestal y la extracción de áridos.

La disminución de las precipitaciones en la cuenca provoca efectos sobre los distintos usuarios de agua, principalmente los que dependen 100% del agua lluvia como el sector

forestal, lo que puede afectar su producción e incrementar el riesgo de incendios forestales como consecuencia de la sequedad del suelo y la vegetación. La agricultura de secano comienza a adaptarse a la disminución de aguas lluvias, introduciendo cultivos que requieren de riego para su producción, acrecentando la extracción de agua dulce en la cuenca, sobre todo desde los acuíferos. Por otro lado, dado que el agua dulce de los ríos que llega al mar es esencial para la reproducción de diversas especies de peces comerciales, empieza a bajar las poblaciones de éstos para la pesca artesanal en la zona costera. La escasez de precipitaciones, disminuye el potencial de generación hidroeléctrica en la cuenca, con efectos directos sobre los nuevos pequeños proyectos hidroeléctricos en la parte alta.

## PRINCIPALES TEMAS ESCENARIO TENDENCIAL



Insuficientes estaciones de monitoreo del sistema hídrico en la cuenca, tanto superficiales como subterráneas, lo que dificulta obtener información clara para la adecuada toma de decisiones.



Escasa inversión pública/privada. La inversión pública es limitada al ser una zona de rezago y no existen mecanismos que incentiven la inversión privada para el desarrollo.



El Cambio Climático comienza a afectar la disponibilidad de aguas en los ríos, por lo tanto, se incrementa la extracción de aguas subterráneas para los diferentes usos.



La coordinación entre las instituciones públicas, privadas y comunidades en la cuenca es deficiente, impidiendo desarrollar una adecuada gestión para sostener el desarrollo. Al ser una cuenca costera pequeña y rezagada, los tomadores de decisiones desconocen su particular realidad.



Aumento de conflictos por diferentes usuarios del agua, debido a la escasez hídrica. Los principales afectados son los APRs y la agricultura de subsistencia.



La disminución en las precipitaciones produce vulnerabilidad en las plantaciones forestales, siendo susceptibles a incendios forestales que podrían afectar a comunidades vulnerables.



Disminución paulatina en la capacidad de generación hidroeléctrica, debido a la reducción paulatina de caudales superficiales.



La calidad del agua comienza a transformarse en una limitante para los diferentes usos. El crecimiento urbano no regulado, comienza a afectar la calidad del agua superficial y subterránea, debido a las descargas de aguas servidas sin tratamiento.



La reducción de caudales superficiales y la extracción de áridos cuenca arriba, afecta la reproducción de peces en la zona estuarina, disminuyendo la productividad de la pesca artesanal.



Carencia de sistemas de almacenamiento de agua, lo que no permite guardar el agua de las lluvias torrenciales (exceso) para paliar la escasez hídrica.

# ESCENARIO SUSTENTABLE 2030-2050

Hacia el 2050 se genera una colaboración público-privado que logra desarrollar y sostener a las comunidades más vulnerables, potenciando los servicios ecosistémicos.

El Cambio Climático tiene efectos sobre la disponibilidad de agua en la cuenca al año 2030, debiendo comenzar a implementar medidas de adaptación en el corto plazo. Con esto se avanza paulatinamente en disminuir la presión sobre el recurso hídrico, permitiendo el desarrollo de las actividades productivas y las comunidades.

La disponibilidad de información mejora para el año 2030, como consecuencia del desarrollo de algunos mecanismos en las **zonas de oportunidades**<sup>41</sup>, lo que permite hacer más eficiente la distribución espacial de las estaciones de monitoreo y la frecuencia en la toma de datos en aguas superficiales y subterráneas. Se avanza hacia el año 2050 con un mecanismo de información público-privado, de acceso universal, que perfecciona los sistemas de gestión y monitoreo, así como la planificación y toma de decisiones en el territorio.

Al contar con más información en el año 2030, es posible planificar la cuenca de forma integral y sustentable al año 2050, facilitando la inversión y la correcta implementación de soluciones en torno al recurso hídrico por parte del sector privado, potenciando además el

desarrollo económico y la conservación de los servicios ecosistémicos. Se generan nuevos modelos y sinergias de inversión público-privado, con una activa participación de la sociedad civil, lo que permite gestionar soluciones multipropósitos para el correcto uso del agua.

La creación de redes de colaboración con organismos nacionales, internacionales y privados permite en el corto plazo la materialización de programas innovadores de educación, aumentando su cobertura y calidad en todos sus niveles y abriendo nuevas oportunidades para desarrollo de procesos de transferencia tecnológica que benefician a la cuenca. Al año 2050 un alto porcentaje de la población de esta zona cuenta con altos niveles educacionales ligados a la información, enfrentando de manera adecuada los nuevos desafíos y transfiriendo las habilidades adquiridas a las futuras generaciones.

Se desarrollan algunos mecanismos en el corto plazo que permiten coordinar a los diferentes APRs y municipalidades, con el fin de buscar la forma adecuada de reducir el uso de camiones aljibes en la cuenca,

41. El Programa de Gestión Territorial para Zonas de Oportunidades, llamado anteriormente como Zonas Rezagadas, permite generar condiciones de desarrollo socio-económico y reducir brechas de carácter territorial mediante una política de intervención intersectorial, con foco en el desarrollo productivo, en la transferencia de competencias y en la generación de capital social y humano (SUBDERE).

## Los mecanismos de incentivos y modelos de negocios circulares permiten impulsar el reúso de aguas en los APR.

implementándose a través de la innovación y tecnología nuevas fuentes de agua para las comunidades. Al año 2050 se consigue eliminar en un 100% este tipo de abastecimiento, gracias al desarrollo de mecanismos de gestión adecuados para la generación de nuevas fuentes de agua en toda la cuenca.

Para el año 2030 existe una mirada estratégica del territorio, plasmada en un plan de recursos hídricos elaborado con participación y coordinación de las municipalidades, organismos públicos, privados y sociedad civil, donde se identifican las zonas con riesgos de aluviones, aquellas para recarga de acuíferos, de inundación, las áreas disponibles para realizar obras de almacenamiento de agua fuera del curso del río (plazas públicas, caminos y sitios eriazos, otros); las zonas de protección y conservación, así como los lugares para realizar una expansión urbana controlada y segura, lo que permite al año 2050 contar con la totalidad de la población de la cuenca localizada en las zonas seguras, con sistemas de agua potable y tratamiento apropiado de aguas residuales. A partir de esta identificación, se plantean proyectos para implementar sistemas de almacenamiento de agua lluvia multipropósitos, sistemas para recarga de acuíferos, protección y conservación de áreas de recarga natural, protección o recuperación de áreas para abastecimiento de agua potable, obras para mitigar los aluviones e inundaciones, rehabilitación de sectores cercanos al río y quebradas con bosque nativo; recuperación de laderas de los ríos, biofiltros naturales, áreas de protección contra incendios forestales, sistemas simples para potabilizar el agua en zonas aisladas, sistemas costo-eficiente

para el tratamiento y reutilización de aguas residuales, entre otros. Los mecanismos de incentivos y modelos de negocios circulares permiten impulsar el reúso de aguas en los APR, evitando la descarga de las aguas servidas al río y potenciando los sistemas productivos de subsistencia, así como los caudales ecológicos, con énfasis en el tramo final de la zona estuarina, contribuyendo con ello a la conservación de ecosistemas costeros y pesquerías artesanales.

Se generan mecanismos de financiamiento e implementación público-privado, materializando gran parte de las soluciones al año 2050. Al llevar a cabo un sistema integrado de aguas, se encuentran otros usos productivos que permiten mejorar la inversión del Estado y el desarrollo local.

Al año 2030, la extracción de áridos en la cuenca no se puede realizar en las zonas de restricción y conservación determinadas en el Plan de Recursos Hídricos de la Cuenca, quedando reducida a lugares específicos. Al año 2050, Las empresas dedicadas a este rubro quedan sujetas a modelos de compensación, que consisten en acciones de recuperación de riberas, sistemas de biofiltros y tratamiento de agua, entre otros.

El sector forestal participa activamente en el plan de recursos hídricos de la cuenca, aportando acciones para la mitigación y prevención de incendios por esta causa; prestando apoyo al desarrollo de las comunidades locales, a la restauración o recuperación de laderas en ríos con especies nativas, la protección de fuentes de agua potable; la recuperación y protección de zonas

## CUENCA DEL RÍO LEBU

para recarga natural de acuíferos y sistemas de biofiltros naturales, con el propósito de evitar la llegada de contaminantes a los ríos, entre otros. Al año 2050, el sector forestal es aliado estratégico para el desarrollo y sustentabilidad de la cuenca<sup>42</sup>.

Al año 2030 la disminución de caudales superficiales no permite el desarrollo óptimo de la hidroenergía, obligando a diversificar la matriz energética de la cuenca. Al año 2050, ésta última se sostiene por diversas formas de energía que son compatibles con las nuevas condiciones de Cambio Climático<sup>43</sup>.

### PRINCIPALES TEMAS ESCENARIO SUSTENTABLE



Se cuenta con un sistema de información y monitoreo público-privado, de aguas superficiales y subterráneas, de acceso universal, que permite planificar la cuenca de forma integral y mejorar la toma de decisiones.



Se implementan nuevas y diversas fuentes de agua (gestión de oferta) que permiten el abastecimiento continuo y seguro del agua potable y sostener la agricultura de subsistencia.



Se diversifica la matriz energética de la cuenca, permitiendo contar con sistemas adecuados y accesibles para las comunidades.



Los mecanismos de incentivos y modelos de negocios circulares permiten impulsar el reuso de aguas en los APR, evitando la descarga de las aguas servidas al río y potenciando los sistemas productivos de subsistencia, así como los caudales ecológicos.



Se implementan diversos sistemas de almacenamiento multipropósito, que no interfieren con el caudal natural del río, lo que permite guardar agua y evitar inundaciones cuando hay lluvias torrenciales.



Se generan nuevos modelos y sinergias de inversión público-privado, con una activa participación de la sociedad civil, lo que permite gestionar soluciones multipropósitos para el correcto uso del agua.



La información y educación de calidad mejora las capacidades locales, facilitando la inversión y la correcta implementación de soluciones en torno al recurso hídrico por parte del sector privado, potenciando además el desarrollo económico y la conservación de los servicios ecosistémicos.



El sector forestal realiza acciones de mitigación y prevención de incendios forestales; prestando apoyo al desarrollo de las comunidades locales más vulnerables y a la restauración o recuperación de los ecosistemas hídricos.

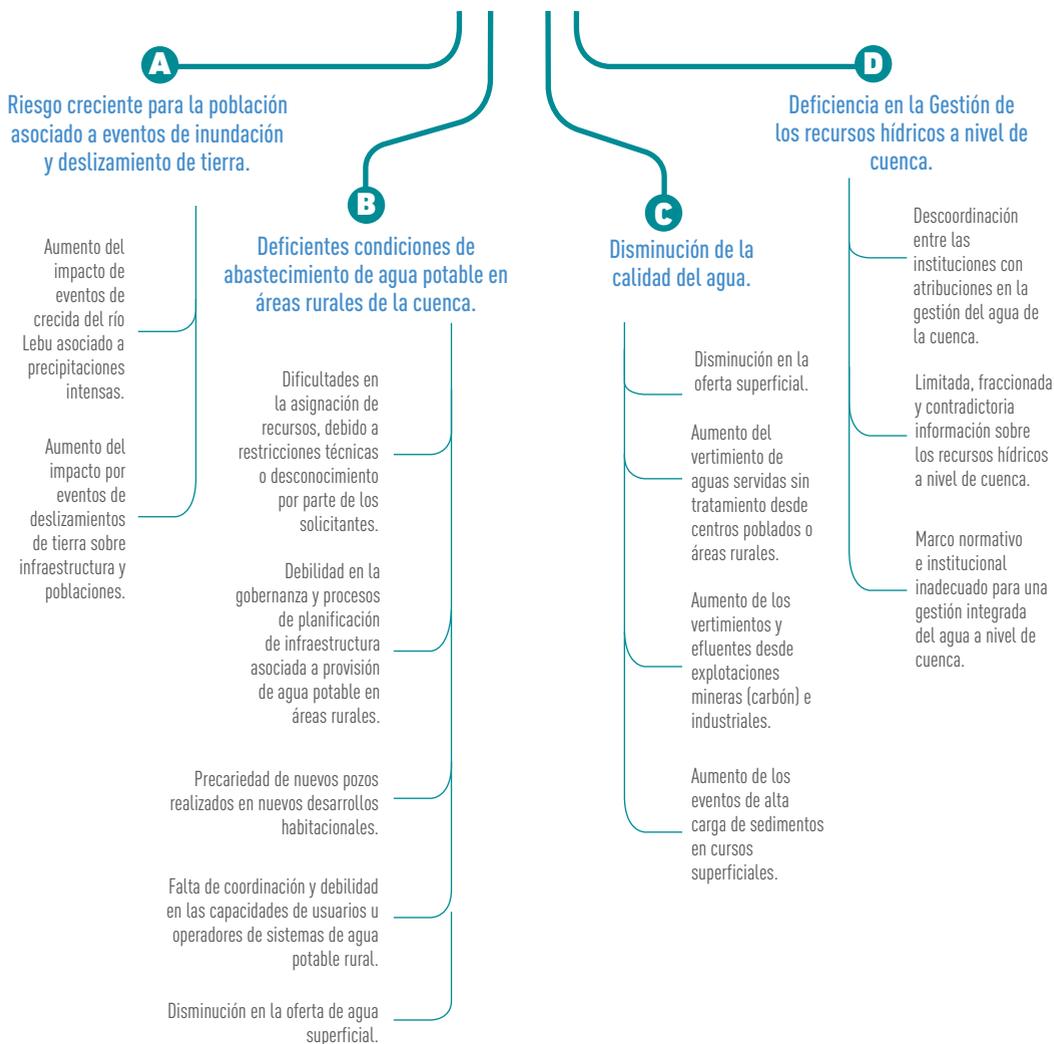
42. Al igual que en la cuenca del Maule, el sector forestal plantea una política nacional de revegetación que posee un enfoque de ordenamiento territorial, con énfasis en el desarrollo sustentable hacia el año 2050.

43. Dentro de las nuevas energías renovables que podrían potenciarse en la cuenca, destacan la generación en base a biomasa, proyectos eólicos, solares, entre otros.

# ÁRBOL DE PROBLEMAS

La cuenca del río Lebu identificó cuatro problemas principales a partir de los procesos críticos variables:

## CUENCA DEL RÍO LEBU



Estos problemas muestran 14 causas primarias y 42 secundarias.



## RIESGO CRECIENTE PARA LA POBLACIÓN ASOCIADO A EVENTOS DE INUNDACIÓN Y DESLIZAMIENTO DE TIERRA

PROBLEMA

Causa Primaria

Aumento del impacto de eventos de crecida del río Lebu asociado a precipitaciones intensas.

Aumento del impacto por eventos de deslizamientos de tierra sobre infraestructura y poblaciones.

Causa secundaria

Insuficiente protección de la población ubicada en áreas ribereñas ante crecidas.

Desconocimiento de la respuesta fluvial a cambios en los patrones de precipitaciones  
- Intensificación de las precipitaciones máximas diarias (Rojas, 2015).

Aumento de la exposición de la población a eventos de crecidas del río en asentamientos existentes.

Incremento de la exposición de la población a eventos de crecidas del río en nuevos asentamientos.

Desconocimiento del riesgo de inundación y rol de la infraestructura de contención por parte de la población en zonas ribereñas.

Deficiencia en la aplicación de instrumentos de ordenamiento territorial y fiscalización por parte de la autoridad competente.

Insuficiente protección de la población ante deslizamientos de tierra.

Desconocimiento de la respuesta hidráulica a cambios en los patrones de precipitaciones.  
- Intensificación de las precipitaciones máximas diarias (Rojas, 2015).

Aumento de la exposición de la población a eventos de deslizamientos de tierra en asentamientos existentes.

Deficiencia en la aplicación de instrumentos de ordenamiento territorial y fiscalización por parte de la autoridad competente.

Aumento de la exposición de la población a eventos de deslizamientos de tierra en nuevos asentamientos.

Causas priorizadas por la cuenca

**B**

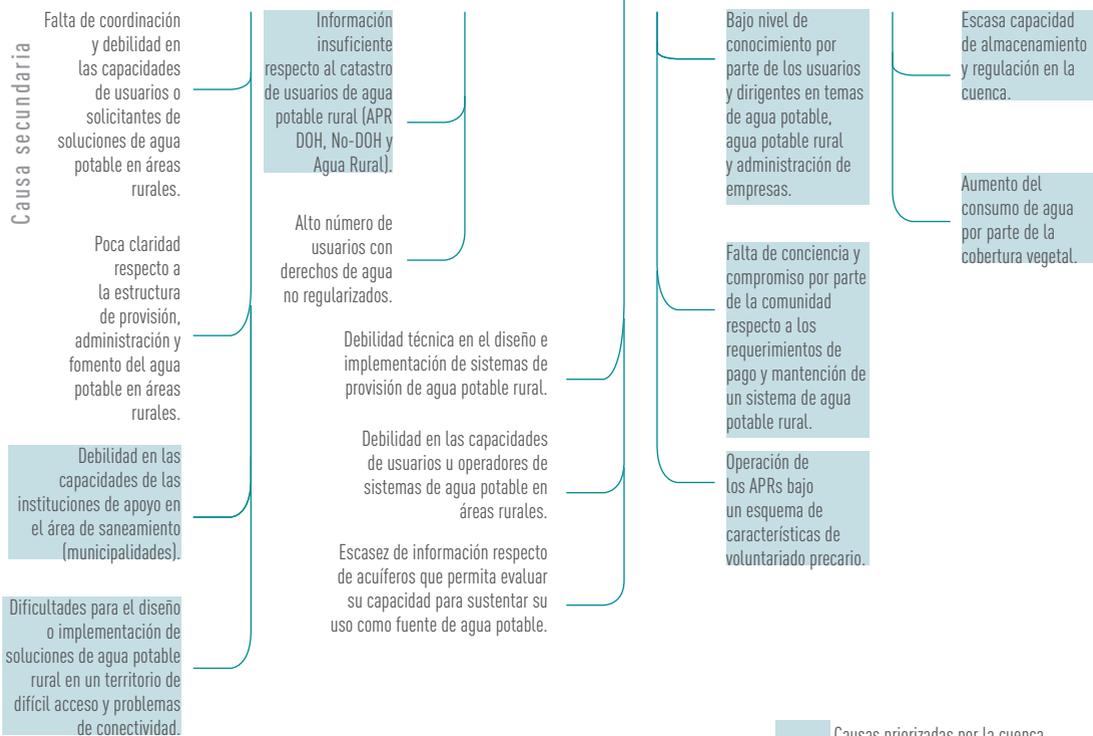
**DEFICIENTES CONDICIONES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN ÁREAS RURALES DE LA CUENCA**

PROBLEMA

Causa Primaria



Causa secundaria



Causas priorizadas por la cuenca



## DISMINUCIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA

PROBLEMA

Causa Primaria

Aumento del vertimiento de aguas servidas sin tratamiento desde centros poblados o áreas rurales.

Aumento de los vertimientos y efluentes desde explotaciones mineras (carbón) e industriales.

Aumento de los eventos de alta carga de sedimentos en cursos superficiales.

Disminución en la oferta de agua superficial.

Causa secundaria

Expansión del área rural de la cuenca sin plantas de tratamiento de aguas servidas asociada.

Limitaciones en el proceso de diseño, implementación u operación de plantas de tratamiento de aguas servidas.

Limitadas capacidades de fiscalización de los servicios competentes.

Limitadas capacidades de fiscalización de los servicios competentes.

Aumento del arrastre de sedimentos y otros elementos contaminantes desde el proceso de producción y cosecha forestal.

Actividades de extracción de áridos activas o abandonadas, con generación de contaminación en cursos superficiales.

Limitadas capacidades de fiscalización de los servicios competentes.

Escasa capacidad de almacenamiento y regulación en la cuenca.

Aumento del consumo de agua por parte de la cobertura vegetal.

Causas priorizadas por la cuenca

**D**

**DEFICIENCIA EN LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS A NIVEL DE CUENCA**

PROBLEMA

Causa Primaria

Descoordinación entre las instituciones con atribuciones en la gestión del agua de la cuenca (Juntas de vigilancia, organizaciones de usuarios, organismos del Estado, etc.).

Limitada, fraccionada y contradictoria información sobre los recursos hídricos a nivel de cuenca.

Marco normativo e institucional inadecuado para una gestión integrada del agua a nivel de cuenca.

Causa secundaria

Alcance territorial institucional limitado a secciones y sectores hidro(geo)lógicos.

Poca transparencia en el mercado de aguas a nivel de cuenca.

Instituciones públicas relevantes desconectadas y descoordinadas en su accionar territorial.

Limitadas capacidades técnicas y financieras de organizaciones de usuarios de agua.

Información ambiental con importantes brechas en la cobertura espacial y temporal.

Desconocimiento e insuficiente fiscalización de extracciones ilegales de agua.

Desconfianza entre distintos actores generadores de información (públicos y privados).

Recursos financieros insuficientes para el diseño, construcción, y mantenimiento de un sistema integrado de información.

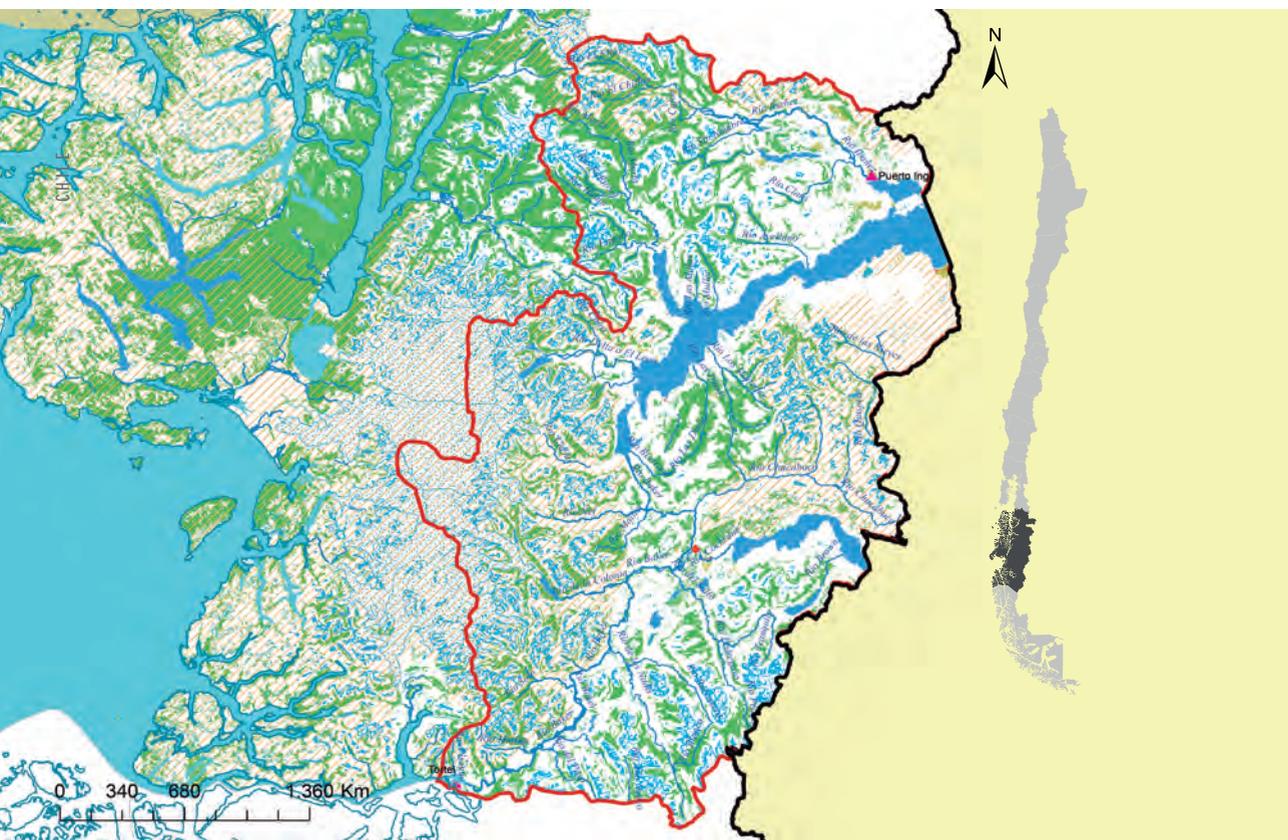
Causas priorizadas por la cuenca

# CUENCA DEL RÍO BAKER

Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo



MAPA DE LA CUENCA DEL RÍO BAKER Y SUS PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS.



DATUM WGS 1984, PROYECCIÓN UTM, HUSO 19 S  
Fuente: Elaboración propia. Escenarios Hídricos 2030



Superficie:  
26.726 km<sup>2</sup>



Población aproximada  
en la cuenca:  
11.021 personas



Precipitación  
promedio anual:  
284 – 2.500 mm



Longitud del río:  
175 km



Gestión agua  
superficial:  
Cuatro comunidades de  
agua constituidas y tres en  
proceso (hasta 2017)



Gestión aguas  
subterráneas:  
No existen OJAs

## SITUACIÓN ACTUAL Y PROCESOS CRÍTICOS

La cuenca del río Baker localizada en la **Región de Aysén** del General Carlos Ibáñez del Campo, posee una superficie de 26.726 km<sup>2</sup>, de los que un 27% se encuentra en la Patagonia argentina, siendo considerada como una cuenca de recursos internacionalmente compartidos. Por su extensión, es la segunda más grande de Chile, abarcando casi la totalidad de las comunas de Cochrane, Río Ibáñez y Chile Chico, así como parte de las comunas de Coyhaique, O'Higgins, Tortel y Aysén. Según los resultados del censo (INE, 2018) la comuna de Cochrane registra 3.490 habitantes, seguido por la comuna de Río Ibáñez con 2.666 habitantes y Chile Chico con 4.865 habitantes. El mayor porcentaje de la población se concentra en la ciudad de Coyhaique con 57.818 habitantes, pero solo el 0,4% del territorio comunal está dentro de los límites definidos de la cuenca del río Baker (Barria, 2010).

El río Baker posee un caudal medio anual de 903,3 (m<sup>3</sup>/s) y oferta de agua superficial promedio de 1.133 m<sup>3</sup>/s (DGA, 1987; DGA, 2016a). Sus altos caudales son considerados como los más altos de Chile, por lo que se reconoce como una de las cuencas más importantes del país. El río Baker nace en el extremo sur del lago Bertrand, el que a su vez es la prolongación en esa dirección del extremo poniente del lago General Carrera, un lago glacial a 350 msnm sindicado por su extensión como el segundo lago más grande de

Sudamérica después del Titicaca. En la cuenca del río Baker confluyen los ríos Chacabuco, Cochrane, Del Salto, Colonia, Los Ñadis, Ventisquero y Vargas. En los últimos 40 km, el valle del Baker lleva un ancho de 2 a 3 km, desembocando en el mar en una especie de delta de tres brazos. El aporte de las precipitaciones pluviales es del orden de los 284 mm en Chile Chico y 2.500 mm en Caleta Tortel al Oeste (Escenarios Hídricos 2030, 2018).

El régimen hidrológico del río es nivo-pluvial (glacial), presentándose los máximos caudales en el período de deshielo. Una de las características principales de esta zona es la importancia en la generación de escorrentía de las precipitaciones en primavera y verano.



**0,34 m<sup>3</sup>/s**

Es la captación estimada de agua de fuentes superficiales y subterráneas en la cuenca del río Baker



**0,11 m<sup>3</sup>/s**

Consumo de aguas superficiales y subterráneas en la cuenca (huella azul)



**0,07 m<sup>3</sup>/s**

Consumo de aguas lluvias en la cuenca (huella verde)

Fuente: Radiografía del Agua: Brecha y Riesgo Hídrico en Chile (EH2030, 2018).

**TABLA 6. TABLA RESUMEN CON CAPTACIÓN, RETORNO Y CONSUMO POR USO O SECTOR PRODUCTIVO EN LA CUENCA DEL RÍO BAKER**

USO	Captación <sup>1</sup> [m³/s]	Retorno <sup>2</sup> [m³/s]	Retorno <sup>3</sup> [%]	CONSUMO DE AGUA		HH Azul por uso respecto de la región <sup>6</sup> [%]
				HH Azul <sup>4</sup> [m³/s]	HH Verde <sup>5</sup> [m³/s]	
Agrícola (Riego)	0,33	0,21	65%	0,11	0,05	74%
Minero	-	-	-	-	-	-
Agua potable y saneamiento	0,01	0,01	94%	0,0005	-	0,35%
Industrial	0,00004	0,00002	62%	0,00001	-	0,01%
Forestal	-	-	-	-	0,02	-
Generación Eléctrica	-	-	-	-	-	-
Pecuario	0,00004	0,00002	62%	0,00001	-	0,01%

Fuente: Elaboración propia en base a Jaramillo y Acevedo (2017). Para Escenarios Hídricos 2030 (2018).

**NOTAS:**

1. Captación: volumen de agua dulce superficial y/o subterránea extraída de fuentes naturales para ser utilizada por diferentes usuarios.
2. Retorno: volumen de agua que después de ser utilizada por parte de los diferentes usuarios, es devuelta al sistema natural. Calculada como la diferencia entre captación y Huella Hídrica azul.
3. Retorno [%]: porcentaje de agua devuelta respecto del total de agua captada por sector.
4. Consumo Huella Hídrica Azul: volumen de agua fresca extraída de fuentes, superficiales y/o subterráneas, por parte de diferentes usuarios, que no retorna al ambiente de donde se extrajo. Puede ocurrir por: a) evaporación o evapotranspiración del agua, b) incorporación del agua en el producto, c) agua que no retorna a la misma cuenca de extracción o que se descarga al mar, o d) agua que retorna en un periodo de tiempo distinto al que se extrajo.
5. Consumo HH Verde: volumen de agua lluvia utilizada por parte de diferentes sectores, que queda temporalmente almacenada en la parte superficial del suelo o en la vegetación.
6. HH Azul por uso respecto de la región: porcentaje de agua consumida por Huella Hídrica Azul por cada sector en la cuenca, respecto de la Huella Hídrica Azul total de la región.

Para esta cuenca el mayor consumo por huella hídrica azul se efectúa por parte del sector agrícola, con un volumen de 0,11 m³/s. Por otro lado, el consumo de Huella Hídrica Verde también ocurre en primer lugar por parte del sector agrícola con 0,05 m³/s, seguido del sector forestal con 0,02 m³/s.

Los análisis de demandas para la Región de Aysén realizados en el marco de la **Radiografía del Agua** (Jaramillo y Acevedo, 2017. Para EH2030, 2018) y en base a la metodología de Huella Hídrica (Hoekstra *et al.*, 2011), muestran que para la cuenca del río Baker existe una captación de aguas de fuentes superficiales y subterráneas de 0,34 m<sup>3</sup>/s. Para esta cuenca el mayor consumo por huella hídrica azul se efectúa por parte del sector agrícola, con un volumen de 0,11 m<sup>3</sup>/s. Por otro lado, el consumo de Huella Hídrica Verde también ocurre en primer lugar por parte del sector agrícola con 0,05 m<sup>3</sup>/s, seguido del sector forestal con 0,02 m<sup>3</sup>/s. La tabla 6 muestra en detalle los resultados del estudio para cada sector productivo.

En la cuenca de Baker el proceso de construcción colectiva de Escenarios Hídricos 2030 identificó **procesos críticos invariables** vinculados a los efectos del Cambio Climático en la ocurrencia de eventos extremos y la disponibilidad de agua. Igualmente se mencionó como difícil de proyectar el crecimiento poblacional, dado su fuerte dependencia con la oferta laboral en cada localidad y las incertidumbres futuras respecto al desarrollo económico en la región.

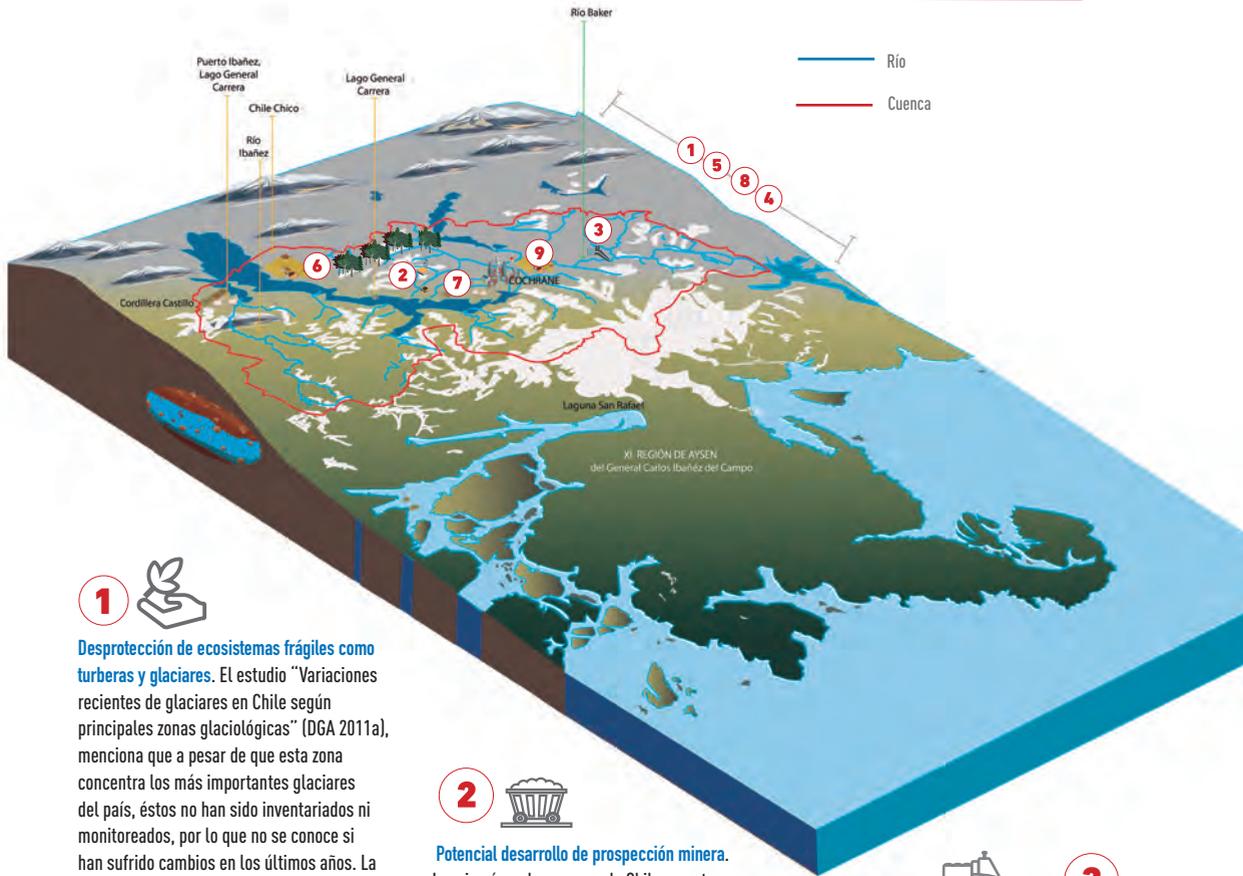
En cuanto a los **procesos críticos variables**, se identificaron nueve procesos cuyo comportamiento actual e histórico, según la evidencia levantada de estudios de la cuenca, se resumen a continuación:



© Región de Aysén. Belén Muñoz s.

**FIGURA 11: REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LOS PROCESOS CRÍTICOS VARIABLES PARA LA CUENCA DEL RÍO BAKER**

Fuente: Elaboración propia. Escenarios Hídricos 2030.



**1** **Desprotección de ecosistemas frágiles como turberas y glaciares.** El estudio "Variaciones recientes de glaciares en Chile según principales zonas glaciológicas" (DGA 2011a), menciona que a pesar de que esta zona concentra los más importantes glaciares del país, éstos no han sido inventariados ni monitoreados, por lo que no se conoce si han sufrido cambios en los últimos años. La turba de material orgánico con alto contenido de carbono que se genera en humedales llamados turberas, y el musgo Spagnum que allí se produce, se extrae en la caleta Tortel, el cual luego es vendido para distintos usos como construcción, agricultura y otros. Su regulación está considerada dentro del Código de Minería al ser un elemento fósil o en "primera etapa de transformación de un vegetal a un mineral", por sobre otras normativas de conservación (COCHILCO, 2017).



**2** **Potencial desarrollo de prospección minera.** La minería en la zona sur de Chile muestra el interés de potenciar la actividad, a través del desarrollo de una institucionalidad minera regional y de mayor generación de información geológica (COCHILCO, 2016b). Esta misma investigación alude a un aumento significativo en las concesiones de propiedad minera especialmente en Magallanes (15% entre el 2005-2015), lo que evidencia el interés en explorar la potencial riqueza de la zona. Igualmente, la turba es considerada un potencial no metálico relevante en el territorio por su potencial como combustible y sustrato agrícola (COCHILCO, 2017).



**3** **Potencial instalación de infraestructura hidráulica por proyectos energéticos en la cuenca.** Dado el crecimiento poblacional y las dificultades con los combustibles fósiles, los recursos hídricos de la Región de Aysén son estratégicos para Chile por presentar caudales abundantes y de baja variación durante todo el año. En la zona existen importantes áreas identificadas por la estrategia regional de biodiversidad, las que tienen prioridad de conservación I y II, comprendidos por zonas de humedales, extensos sistemas de lagunas dulceacuícolas y estepa patagónica (MMA, 2018).

# La mayor parte de los suelos agrícolas se encuentran en el sector de Chile Chico, el cual ostenta la categoría de «Interés agrícola prioritario»



**Potencial requerimiento del recurso hídrico, para el desarrollo de los sectores, agrícola, energía y turismo.** Los derechos de aprovechamiento en la cuenca del río Baker son mayoritariamente de agua superficial, con solo 12 solicitudes de agua subterránea en las tres principales comunas (de más de 900 solicitudes de derechos de aprovechamiento). La información disponible sobre derechos de agua otorgados en la cuenca, indica que un 97% es no consuntivo (permanente y eventual) para generación hidroeléctrica (DGA, 2018). Estudios al respecto estiman que entre ENDESA, se concentran el 87,8% de los derechos no consuntivos en el río Baker (Álvarez Hernández, 2015). Los registros de derechos concedidos para riego y silvopastoril en las comunas de Cochrane, Chile Chico y Río Ibáñez son de un caudal promedio anual de 2,48 m<sup>3</sup>/s. Como consecuencia del atractivo de lugares con interés turístico como el Monte San Lorenzo y los glaciares Steffen y Montt, el turismo es también una importante fuente de demanda de agua, especialmente a las APR en época de mayor población visitante (GORE Aysén, 2013).



**Deficiente coordinación en la gestión de aguas en la cuenca.** Las comunidades de agua, juntas de vigilancia y asociaciones de canalistas no han sido parte de la gestión hídrica en esta región, hasta recientemente que se formaron siete comunidades de agua, cuatro de ellas constituidas oficialmente y tres, en proceso de registro (CNR, 2017c). Dos de las registradas, Chile Chico y Estero Tamanguito, así como una de las no oficiales (Canal Levicán y Río Ibáñez), pertenecen a la cuenca del río Baker (CNR, 2017c). Algunos comités de agua se han formado en cuencas aledañas para postular a proyectos productivos y mejoras de sus sistemas de regadío extrapredial e intrapredial.



**Insuficiente desarrollo de sistemas de distribución de aguas y respaldo de seguridad de las fuentes.** El suministro de agua potable es realizado principalmente por la empresa Aguas de Patagonia, además de la presencia de 40 asociaciones de Agua Potable Rural (APR) con una población abastecida de 91.279 y de 26.956, respectivamente (SISS, 2016). La cuenca hidrográfica del río Baker posee un total de 38 subsubcuencas, con una población total de 11.700 habitantes, de los cuales solo el 31,62% se abastece de agua potable rural. El resto de la población aproximada de 7.985 personas utiliza otras fuentes, por ejemplo, abastos, ríos, vertientes y esteros (UdeC, 2016). Ya en el 2009 el Ministerio de Obras Públicas planteaba la necesidad de realizar estudios para la optimización de los sistemas de riego de la cuenca del lago General Carrera y mejorar la conducción en los canales (MOP, 2009). Asimismo, este informe se refería a la incidencia de la profesionalización de los usuarios, además de la inversión en infraestructura y tecnologías de riego.



**Potencial cambio en la calidad del agua.** Distintas actividades en la cuenca como la agricultura, ganadería y minería presentan potencial riesgo de contaminación difusa a las fuentes de agua de la cuenca (Salas, 2004). El Índice de Calidad de Agua Superficial (Girardi et al., 2018) realizado en el marco de la iniciativa EH2030, incluyó análisis de los datos DGA en oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, DQO, pH y seis parámetros considerados críticos (cadmio, molibdeno, mercurio, cromo VI, cobalto y níquel), los que resultaron con calidad de agua buena a excepcional para el período 2011-2016 en toda la Región de Aysén. El río Baker contaba con solo un registro de calidad regular asociados al pH en el período 2006-2011, y ninguno en el ciclo siguiente.



**Falta de disponibilidad de información respecto del recurso hídrico en aguas superficiales y subterráneas.** Las regiones australes carecen de informes actualizados sobre la oferta, siendo la data estimada de 1987, la única fuente en estas zonas. Caso similar ocurre en las regiones XV, I, XIV y X donde si bien existen estudios de sus cuencas principales, no se realizan balances hídricos completos en estas (Vargas, 2017. Para EH2030, 2018). Dada la importancia de los recursos hídricos superficiales en la cuenca, no se han realizado muchos estudios de la situación de los acuíferos. Los datos de derechos concedidos para la Región indican un caudal de 0,5 m<sup>3</sup>/s promedio anual en fuentes subterráneas, las cuales la mitad son nuevas solicitudes de aguas subterráneas en Comités de Agua Potable Rural (APR) con obras anteriores al 31 de diciembre del 2004.



**Cambio en el uso de suelos por sector forestal y agropecuario.** Las principales actividades productivas en la zona de Baker son la ganadería ovina de subsistencia, pesca artesanal, agricultura y extracción de postes de ciprés. La mayor parte de los suelos agrícolas se encuentran en el sector de Chile Chico, el cual ostenta la categoría de "Interés agrícola prioritario", mientras Cochrane y Río Ibáñez están identificados como "Zona de interés agropecuario" (Álvarez Hernández, 2015). Estudios recientes hablan de la oportunidad de introducir un nuevo rubro frutícola en los valles microclimáticos bajo riego de la provincia de General Carrera, especialmente uva de las variedades Sauvignon Blanc y Pinot Noir (INIA, 2017). En la Región de Aysén predominan las explotaciones con tamaño superior a 100 ha (58,2% del total de explotaciones), lo que equivale al 99,48% en términos de superficie (ODEPA, 2018d). Las plantaciones forestales abarcan el 68,2%, seguido por plantas forrajeras (9,9%) y hortalizas.

# CONSTRUCCIÓN COLECTIVA DE LA SITUACIÓN FUTURA

## ESCENARIO TENDENCIAL 2030-2050

La cuenca del río Baker en la Región de Aysén, cuenta con una superficie de 26.726 km<sup>2</sup>, siendo considerada la segunda cuenca más grande a nivel nacional. Presenta recursos hídricos compartidos, perteneciendo aproximadamente el 22% de su territorio a la Patagonia Argentina, y compartiendo el segundo lago más extenso de todo Sudamérica, el lago General Carrera. La cuenca concentra gran parte de la superficie glaciar de Chile y posee un régimen de alimentación mixto, con un gran aporte nival en el mes de enero.

Se hace más frecuente cada año el aumento de eventos críticos relacionados con variables climáticas, principalmente, relacionadas con déficit hídrico e inundaciones. La latente vulnerabilidad de la zona a un evento eruptivo del volcán Hudson deja en mayor fragilidad a las fuentes de agua superficial. La desprotección de ecosistemas frágiles en la cuenca, como turberas y glaciares, genera considerables pérdidas ecosistémicas, afectando los aportes glaciares que no son suficientes para satisfacer el caudal ecológico del río, ni la demanda estimada por el sector energético. La población permanente es muy variable, asociada a los cambios en el desarrollo económico y las posibilidades de trabajo en cada localidad, presentándose un mayor crecimiento en la zona de Chile Chico. Además, existe un comportamiento inestable en la actividad minera de la región, pero con potencial desarrollo en cuanto a prospección.

Se presenta una deficiente coordinación y fiscalización de la gestión del agua en la cuenca por parte de los distintos usuarios y los organismos del Estado, no considerándose el ordenamiento del territorio ni la conservación de los recursos naturales. No se generan estrategias integrales de gestión de agua en la cuenca, en gran parte, debido a la falta de una base sólida de información sobre el recurso existente, tanto a nivel superficial como subterráneo.

El desarrollo de actividades productivas como son los sectores agrícolas y mineros, en conjunto con el creciente desarrollo del turismo en la zona, especialmente en época estival, colapsa los sistemas de abastecimiento de agua potable urbana y rural, así como el tratamiento de las mismas para su descarga. Esto también provoca efectos sobre la calidad del recurso hídrico, presentándose problemas de contaminación que no son regulados dada una falta de control fitosanitario riguroso. Se desconocen los controles de calidad de aguas llevados a cabo a lo largo de la cuenca, principalmente en aquellos sectores donde se desarrollan las actividades económicas. No se cuentan con suficientes sistemas de distribución de agua potable, ni respaldo para sostener los APR, que se ven afectados por la variabilidad del recurso, como consecuencia del déficit en las precipitaciones, la falta de fuentes de respaldo y el crecimiento de la población flotante a raíz del turismo.

No se cuentan con suficientes sistemas de distribución de agua potable, ni respaldo para sostener los APR que se ven afectados por la variabilidad del recurso.



Desprotección de ecosistemas frágiles.



Impacto en caudales por afección de glaciares y nieve.



Aumentan los eventos extremos: déficit hídrico e inundaciones.



Estabilidad poblacional en el tiempo.

Hay cambios en el uso del suelo, aumentando el consumo de agua por parte de los sectores agrícolas y forestales, priorizándose la inversión por sobre la eficiencia en el uso del recurso, lo que no es abordado de manera idónea debido a la carencia de personal especializado en la zona.

Existe un constante interés en el desarrollo de proyectos hidroeléctricos en la cuenca, que presentan incompatibilidad con otros usos, dado el aumento de la demanda de agua que éstos generan, provocando una considerable disminución en los caudales superficiales en la cuenca, provocando que las centrales hidroeléctricas no sean capaces de producir a su máxima capacidad, debiendo abastecer con diésel la producción de energía en la cuenca.



### PRINCIPALES TEMAS ESCENARIO TENDENCIAL



Aumento de eventos críticos relacionados con variables climáticas, principalmente déficit hídrico e inundaciones.



Desprotección de ecosistemas frágiles en la cuenca, como turberas y glaciares, los que representan grandes reservas de agua para la cuenca y son parte importante del sistema hídrico en la zona.



Los caudales superficiales son insuficientes para satisfacer el caudal ecológico del río y la demanda del sector energético.



Variable densidad poblacional, asociada a cambios en el desarrollo económico, presentándose un mayor crecimiento en la localidad de Chile Chico por expansión agrícola principalmente.



Desarrollo futuro potencial de actividad minera en la región.



Falta de información sobre el recurso hídrico, tanto a nivel superficial como subterráneo.



Deficiente coordinación en la gestión del agua en la cuenca por parte de los distintos usuarios, no considerándose el ordenamiento del territorio ni la conservación de los recursos naturales.



Insuficientes sistemas de distribución de agua potable, ni respaldo para los APR, que se ven afectados por la variabilidad del recurso, como consecuencia del déficit de lluvia existente y al aumento del turismo.



Hay cambios en el uso del suelo, aumentando el consumo de agua por parte de los sectores agrícolas y forestales, priorizándose la inversión por sobre la eficiencia en el uso del recurso, lo que no es abordado de manera idónea debido a la carencia de personal especializado en la zona.



Incremento en el desarrollo de proyectos hidroeléctricos en la cuenca, que presenta una incompatibilidad con los otros usos existentes.

## ESCENARIO SUSTENTABLE 2030-2050

Al año 2030, se dispone de la información y conocimiento necesario para saber cómo funciona el sistema hídrico de la cuenca, aumentando las inversiones en tecnologías y soluciones que apunten a alcanzar la seguridad hídrica.

Debido a que cada año se hace más frecuente el aumento de eventos críticos relacionados con variables climáticas, principalmente relacionadas con el Cambio Climático (déficit hídrico e inundaciones), éste se aborda con medidas de adaptación que son diseñadas e implementadas en el mediano y largo plazo, fortaleciendo la capacidad de resiliencia a los eventos extremos como inundaciones y períodos de sequía, logrando a través de diversas acciones y medidas la protección de los ecosistemas frágiles en la cuenca, como turberas y glaciares.

Hay un aumento en las densidades poblacionales en algunos sectores de la cuenca, presentándose un mayor crecimiento en la localidad de Chile Chico, Río Ibáñez y Bahía Jara, como consecuencia de las modificaciones en el desarrollo económico y posibilidades de trabajo en cada zona.

Se crean programas de educación y concientización para la ciudadanía, además de coordinaciones entre los distintos usuarios de la cuenca, tanto públicos como privados, lo que provoca un incremento parcial en la generación de información del recurso hídrico, a nivel superficial, subterráneo y de su interacción, movilizado en gran parte

por el desarrollo de procesos productivos en el lugar. Todo esto permite el comienzo del camino para obtener una integración y gobernanza acordes a las necesidades de la cuenca, que al año 2050 permite tener un sistema integrado de generación de información (bases de datos robustas, mapas e información del recurso hídrico superficial y subterráneo) con colaboración tanto pública como privada, el que es de acceso público para la planificación y toma de decisiones, permitiendo un conocimiento más acabado de la zona respecto a la disponibilidad hídrica existente.

Al año 2030, se dispone de la información y conocimiento suficiente para saber cómo funciona el sistema hídrico de la cuenca, aumentando las inversiones en tecnologías y soluciones que apunten a alcanzar la seguridad hídrica. Al 2050 se crea una gobernanza a nivel de cuenca para coordinar de mejor manera a los distintos actores y sus diversas visiones respecto al desarrollo, realizando un manejo integrado del recurso hídrico, implementando planes de inversión para la evolución sustentable de la cuenca y de los diferentes sectores productivos. El desarrollo de la zona pone especial énfasis en la conservación de los recursos naturales, teniendo presente la estructura y

función de los ecosistemas, lo que permite plantear las acciones y medidas de mitigación necesarias para alcanzar la sustentabilidad.

El crecimiento de los sectores agrícolas, mineros y forestales al año 2030, se realiza con proyectos de inversión que se evalúan desde una mirada sustentable a largo plazo, con el objetivo de que no impacten en el recurso, incentivando la integración de personal calificado, y de medidas de eficiencia hídrica por parte de los sectores emergentes, incluyendo una mirada multisistémica y de protección del recurso hídrico.

Existe un incremento en el desarrollo de proyectos hidroeléctricos de baja escala para el abastecimiento energético. Al año 2050, el desarrollo de este tipo de hidroeléctricas se compatibiliza con los otros usos de la cuenca, lo que permite abastecer la demanda nacional, presentándose una matriz energética libre de combustibles fósiles y en equilibrio con otras energías renovables no convencionales.

El desarrollo de actividades productivas en los sectores agrícolas y minero, además del creciente rubro turístico, hace que al año 2030 se desarrolle la creación conjunta de sistemas de control de calidad de agua y programas de manejos de residuos, comenzando también con iniciativas de incentivo para asegurar el buen funcionamiento de las plantas de tratamiento de aguas servidas en las zonas rurales. Todo esto permite que el año 2050

se logre un adecuado control de la calidad de las aguas en la cuenca, efectuándose monitoreos continuos, implementando sistemas eficientes y de buenas prácticas para el óptimo manejo de residuos y contaminantes de las diversas actividades económicas, y sistemas adecuados de tratamiento de aguas domiciliarias en zonas rurales, con el propósito de que la calidad del agua mantenga un rango seguro para todo tipo de uso en la cuenca.

Se implementa en el corto plazo, en todas las APR del territorio en estudio, una segunda fuente de abastecimiento, que sirva de respaldo para las situaciones de colapso del sistema, como consecuencia de la alta demanda del recurso, que al año 2050 permite implementar sistemas de abastecimiento de mayor envergadura, capaces de abastecer la demanda de agua en épocas estivales. Adicionalmente, crece la inversión en infraestructura para asegurar el abastecimiento de agua potable en toda la cuenca.

Al 2030 la cuenca de Baker sigue destacándose a nivel nacional por su gran interés turístico en la protección y conservación de su gran patrimonio ambiental, posicionándola además como una de las más sustentables de Chile.

## PRINCIPALES TEMAS ESCENARIO SUSTENTABLE



Se fortalece la capacidad de resiliencia a los eventos extremos, a través de la protección de los ecosistemas frágiles en la cuenca, como turberas y glaciares.



El desarrollo de hidroeléctricas de baja escala compatibiliza con los otros usos de la cuenca, lo que permite abastecer la demanda energética nacional.



Sistema integrado de generación de información público-privado, de acceso público permite conocer el sistema hídrico de la cuenca para la adecuada planificación y toma de decisiones, aumentando las inversiones.



La calidad del agua se mantiene en un rango seguro para todo tipo de usos en la cuenca, implementando sistemas de monitoreos continuos, tratamiento de las aguas domiciliarias en zonas rurales, buenas prácticas para el adecuado manejo de residuos y contaminantes de las diversas actividades económicas.



Se crea una gobernanza a nivel de cuenca para coordinar de mejor manera a los distintos actores e integrar diferentes visiones y sus diversas visiones respecto al desarrollo, realizando un manejo integrado del recurso hídrico.



Se implementan sistemas de abastecimiento de agua potable rural (APR) de mayor envergadura, capaces de abastecer la demanda en épocas estivales.



El crecimiento de los sectores agrícolas y forestales, incorporan en su desarrollo una mirada sustentable a largo plazo, considerando variables multisistémicas que pueden afectar el recurso hídrico, promoviendo medidas de protección, conservación y eficiencia hídrica.

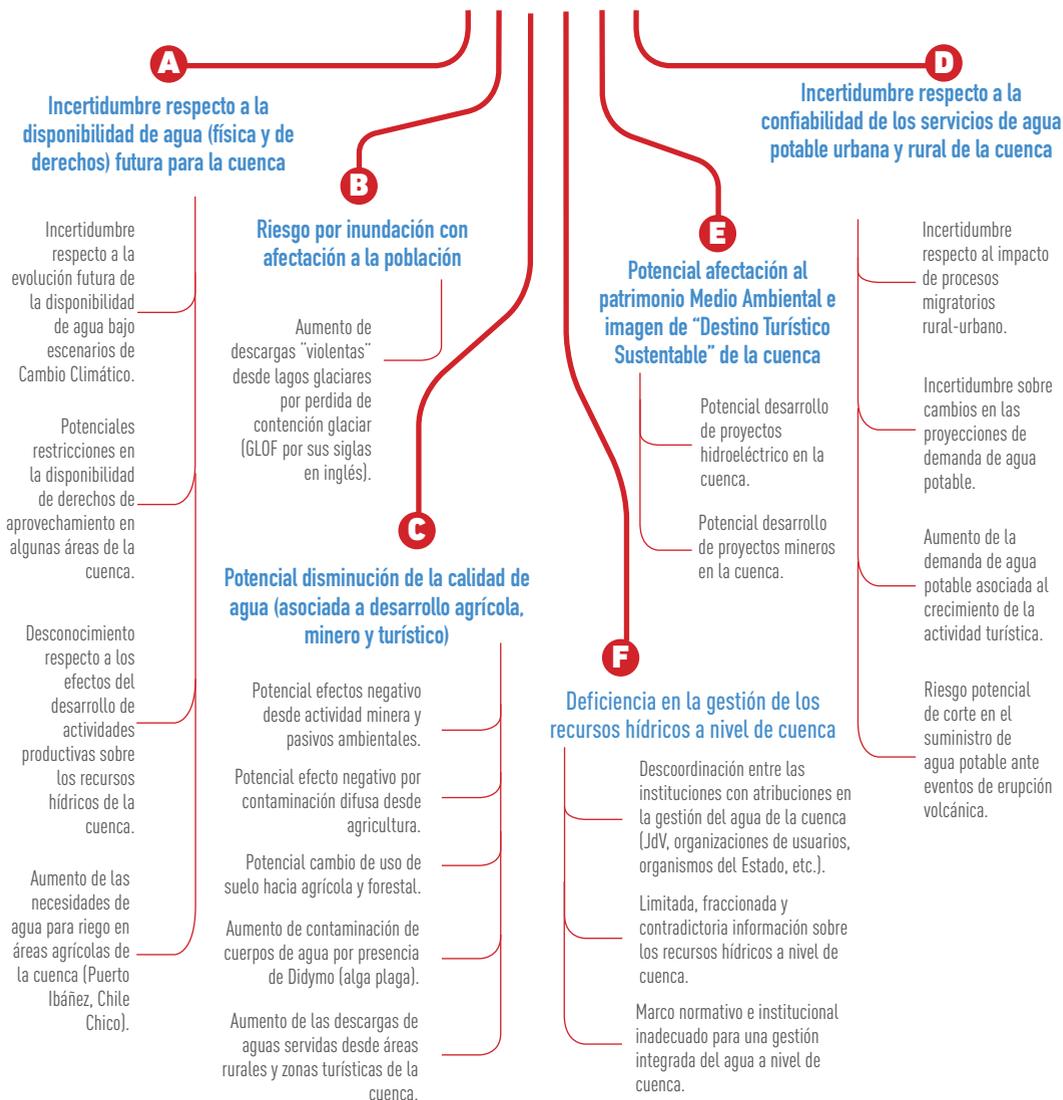


La cuenca de Baker sigue destacándose a nivel nacional por su gran interés turístico en la protección y conservación del patrimonio ambiental, posicionándola además como una de las más sustentables en Chile.

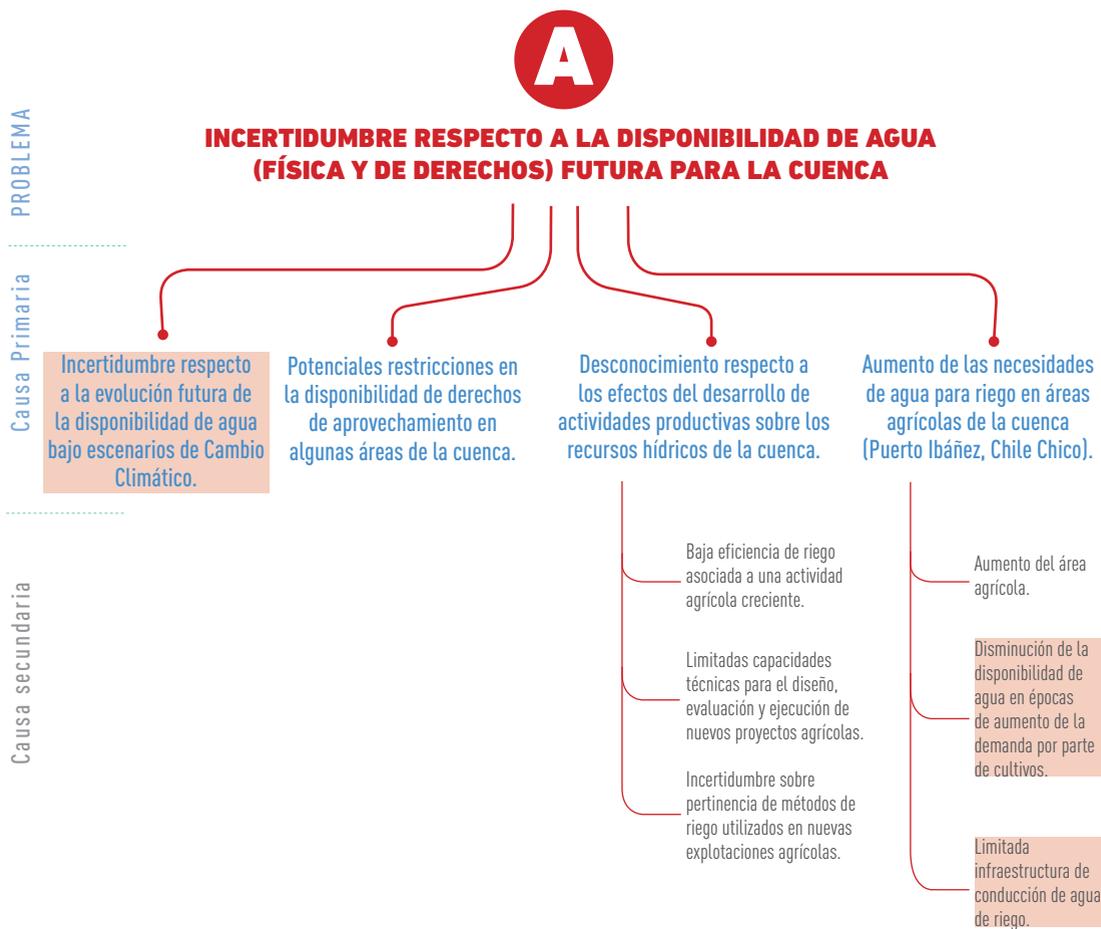
# ÁRBOL DE PROBLEMAS

La cuenca del río Baker identificó seis problemas principales a partir de los procesos críticos variables:

## CUENCA DEL RÍO BAKER



Estos problemas muestran 19 causas primarias y 25 secundarias.



Causas priorizadas por la cuenca

**B**

**RIESGO POR INUNDACIÓN CON AFECTACIÓN A LA POBLACIÓN**

PROBLEMA

Causa Primaria

Causa secundaria

Aumento de descargas “violentas” desde lagos glaciares por pérdida de contención glaciar (GLOF<sup>44</sup>).

Alta exposición de la población en zonas ribereñas.

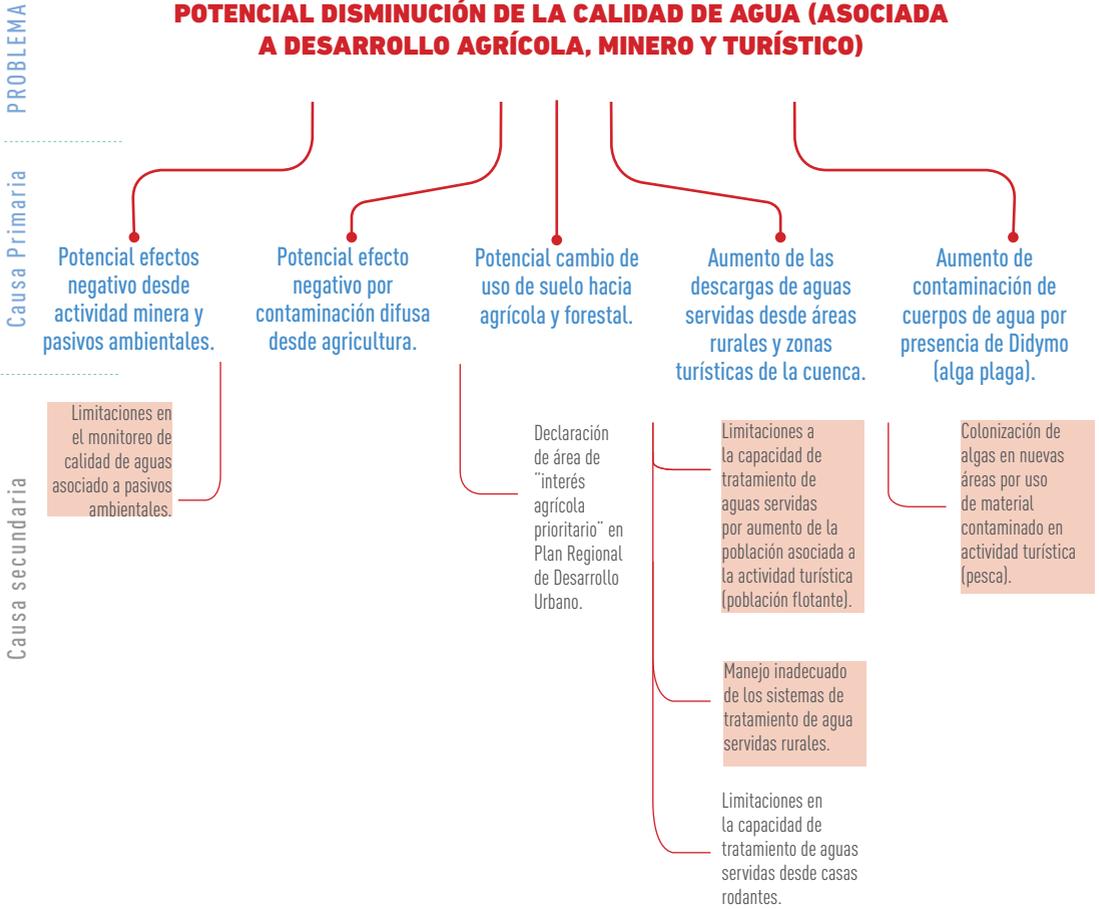
Causas priorizadas por la cuenca

44. GLOF por sus siglas en inglés (Glacial Lake Outburst flood) es un tipo de inundación violenta que se produce cuando los elementos de contención (hielo glaciar o morrena terminal) de un lago fallan.

Fuente: <http://www.antarcticglaciers.org/glacier-processes/glacial-lakes/glacial-lake-outburst-floods/>



**POTENCIAL DISMINUCIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA (ASOCIADA A DESARROLLO AGRÍCOLA, MINERO Y TURÍSTICO)**



Causas priorizadas por la cuenca

**D**

**INCERTIDUMBRE RESPECTO A LA CONFIABILIDAD DE LOS SERVICIOS DE AGUA POTABLE URBANA Y RURAL DE LA CUENCA**

PROBLEMA

Causa Primaria

Causa secundaria

Incertidumbre respecto al impacto de procesos migratorios rural-urbano.

Incertidumbre sobre cambios en las proyecciones de demanda de agua potable.

Aumento de la demanda de agua potable asociada al crecimiento de la actividad turística.

Riesgo potencial de corte en el suministro de agua potable ante eventos de erupción volcánica.

Potencial afectación de la calidad del agua superficial por erupción de volcán (Hudson).

Vulnerabilidad de los sistemas de producción de agua potable ante eventos de contaminación.

**E**

**POTENCIAL AFECTACIÓN AL PATRIMONIO MEDIO AMBIENTAL E IMAGEN DE “DESTINO TURÍSTICO SUSTENTABLE” DE LA CUENCA**

PROBLEMA

Causa Primaria

Causa secundaria

Potencial desarrollo de proyectos hidroeléctrico en la cuenca.

Potencial desarrollo de proyectos mineros en la cuenca.

Limitaciones en instrumentos de planificación u ordenamiento territorial para la preservación del patrimonio ambiental de la cuenca.

Limitaciones en instrumentos de planificación u ordenamiento territorial para la preservación del patrimonio ambiental de la cuenca.

Causas priorizadas por la cuenca



**DEFICIENCIA EN LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS A NIVEL DE CUENCA**

PROBLEMA

Causa Primaria

Descoordinación entre las instituciones con atribuciones en la gestión del agua de la cuenca (Juntas de vigilancia, organizaciones de usuarios, organismos del Estado, etc.).

Limitada, fraccionada y contradictoria información sobre los recursos hídricos a nivel de cuenca.

Marco normativo e institucional inadecuado para una gestión integrada del agua a nivel de cuenca.

Causa secundaria

Alcance territorial institucional limitado a secciones y sectores hidro(geo)lógicos.

Poca transparencia en el mercado de aguas a nivel de cuenca.

Instituciones públicas relevantes desconectadas y descoordinadas en su accionar territorial.

Limitadas capacidades técnicas y financieras de organizaciones de usuarios de agua.

Información ambiental con importantes brechas en la cobertura espacial y temporal.

Desconocimiento e insuficiente fiscalización de extracciones ilegales de agua.

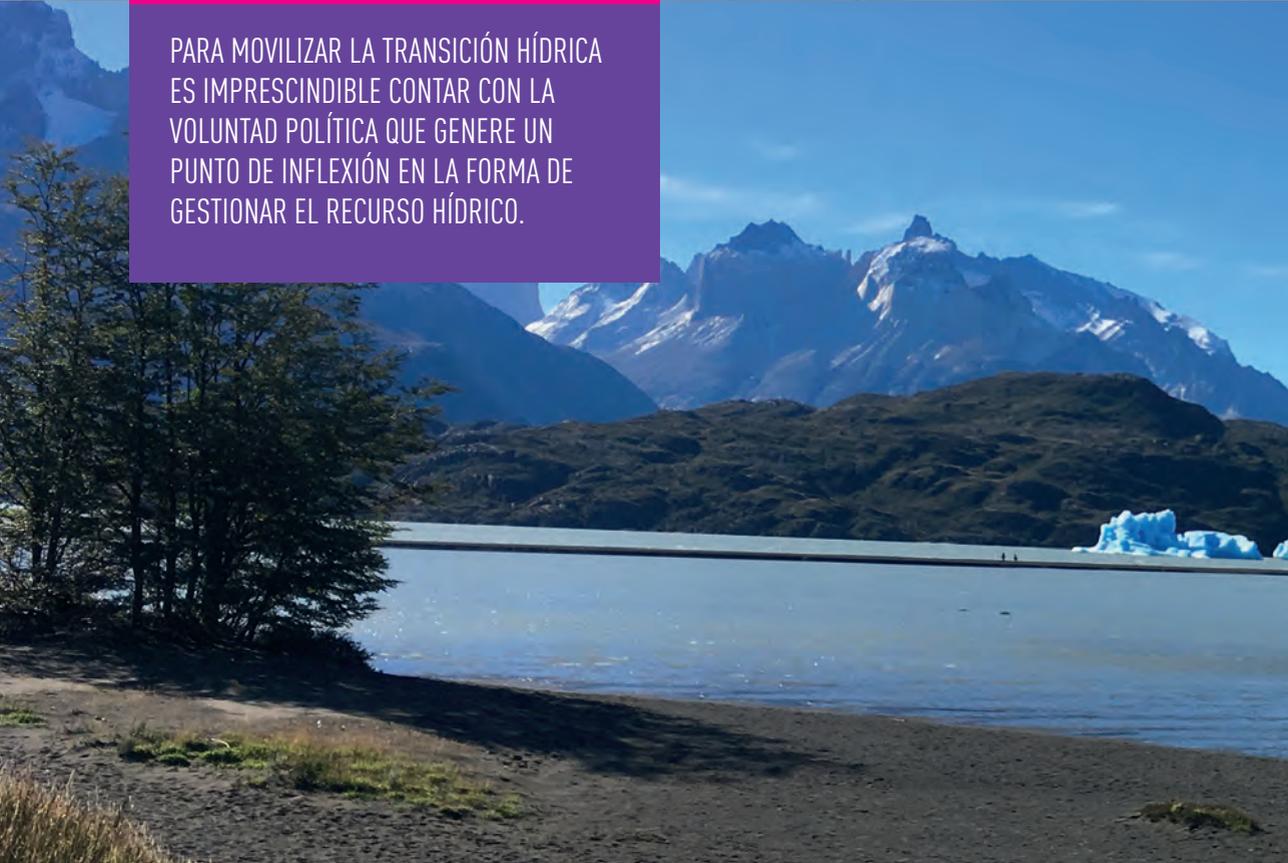
Desconfianza entre distintos actores generadores de información (públicos y privados).

Recursos financieros insuficientes para el diseño, construcción, y mantenimiento de un sistema integrado de información.

Causas priorizadas por la cuenca



LA TRANSICIÓN HÍDRICA PERMITIRÁ PASAR DEL ESTADO ACTUAL, A UNA CONDICIÓN QUE POSIBILITE ALCANZAR LA SEGURIDAD Y SUSTENTABILIDAD HÍDRICA AL AÑO 2050.

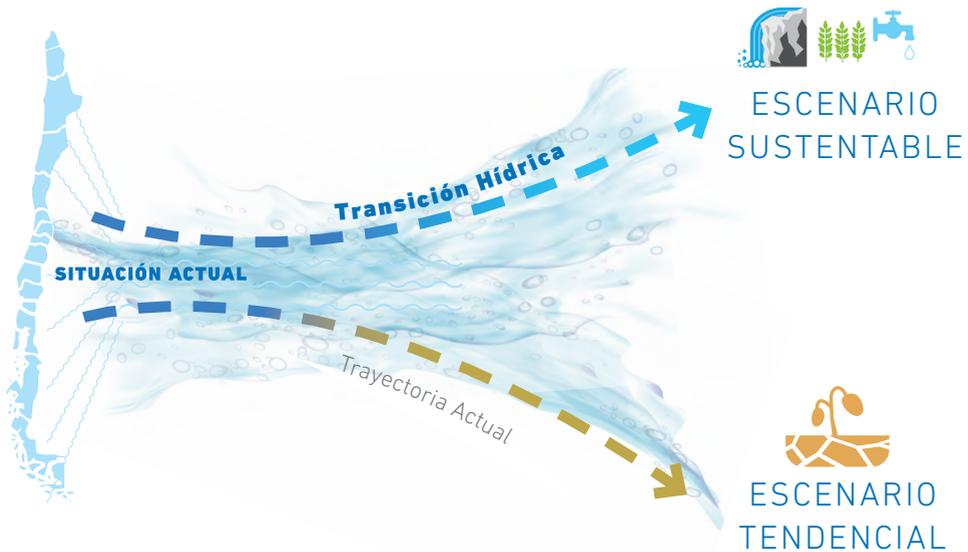


PARA MOVILIZAR LA TRANSICIÓN HÍDRICA ES IMPRESCINDIBLE CONTAR CON LA VOLUNTAD POLÍTICA QUE GENERE UN PUNTO DE INFLEXIÓN EN LA FORMA DE GESTIONAR EL RECURSO HÍDRICO.



# 5. ACORTANDO LA BRECHA

## 5.1. TRANSICIÓN HÍDRICA UNA PROPUESTA PARA REDUCIR LA BRECHA Y EL RIESGO HÍDRICO



Frente a la creciente escasez hídrica y la necesidad de seguir un desarrollo país, EH2030 considera necesaria una Transición Hídrica que permita pasar del estado actual de insostenibilidad hídrica expuesto anteriormente, a una condición que posibilite alcanzar la seguridad y sustentabilidad al año 2050 a través de MAS, que habiliten un desarrollo ambiental, social y económico sostenible, basado en recursos hídricos suficientes en calidad y cantidad, incorporando diversas fuentes del recurso como: agua dulce, agua de mar y aguas reutilizadas, junto a una gobernanza creada para la gestión hídrica.

A partir de las diferentes visiones del conjunto de actores levantadas a lo largo del proceso de trabajo multisectorial de EH2030, y que constituye una mirada sistémica en el territorio, considerando y valorando a todos los usuarios del agua en un desarrollo armónico y virtuoso, se propone construir el camino hacia la Transición Hídrica. Ésta incluye cuatro ejes críticos de acción paralela compuestos por: **1) gestión e institucionalidad del agua;** **2) conservación y protección de nuestros ecosistemas hídricos;** **3) eficiencia y uso estratégico del recurso hídrico;** **4) migración e incorporación de nuevas fuentes de agua.**

A continuación, se describe cada uno de los ejes:

**FIGURA 12:** EJES DE LA TRANSICIÓN HÍDRICA



Fuente: Elaboración propia. Escenarios Hídricos 2030.

**FIGURA 13:** EJES DE LA TRANSICIÓN HÍDRICA



## 1. GESTIÓN E INSTITUCIONALIDAD DEL AGUA

- Eje fundamental para articular la Transición Hídrica, porque entrega las condiciones habilitadoras para alcanzar la seguridad hídrica. Plantea el reconocimiento y la priorización del agua como un eje estratégico para el desarrollo del país, donde se defina una Política Hídrica Nacional de largo plazo, construida por el conjunto de los usuarios del agua, la que considere planes de acción, con directrices, indicadores y metas claras, que guíen las intervenciones en los territorios. Se constituye además una institucionalidad que lidera la implementación y seguimiento del plan de acción a nivel nacional, así como entidades locales descentralizadas, conformadas y representadas adecuadamente por todos los actores públicos, privados y comunidades de las cuencas. La entidad local es la que lidera la implementación del plan y la gestión integrada del recurso hídrico. Para lo anterior, es necesario contar con un marco normativo que reconozca, entre otros, la cuenca como principal unidad de gestión, las múltiples funciones económicas, sociales y ambientales del recurso hídrico, así como el derecho humano al agua y la conservación de los ecosistemas.



## 3. EFICIENCIA Y USO ESTRATÉGICO DEL RECURSO HÍDRICO

- Se estima que este eje podría ser clave para abordar las Brechas Hídricas en las cuencas. Plantea el uso eficiente y responsable del agua, la reducción de las extracciones por parte de los usuarios intensivos en consumo de agua, cuidando la calidad de las mismas. El recurso se usa estratégicamente, asegurando los caudales ecológicos, el consumo humano a nivel urbano y rural, así como el uso del recurso por parte de pequeños productores, quienes son más vulnerables a la escasez de agua y mantienen un desarrollo productivo diversificado, con múltiples externalidades positivas, sociales y económicas.



## 2. CONSERVACIÓN Y PROTECCIÓN DE NUESTROS ECOSISTEMAS HÍDRICOS

- Los ecosistemas hídricos son la base para la sustentabilidad y el desarrollo futuro. Contempla como base de la gestión del agua el desarrollo de políticas, programas y planes que garanticen la protección, recuperación y conservación de ecosistemas hídricos, como: cabeceras de cuenca, glaciares, acuíferos, lagunas, riberas, humedales, turberas, ríos y otros cuerpos de agua relevantes, que son aportantes naturales de agua, reguladores de flujo, depuradores de la calidad del agua, otorgando resiliencia al territorio ante los efectos del Cambio Climático y por su aporte en la conservación de biodiversidad. Es importante mantener la estructura y función de los sistemas hídricos, para sostener los múltiples servicios ecosistémicos.



## 4. MIGRACIÓN E INCORPORACIÓN DE NUEVAS FUENTES DE AGUA

- Se refiere a la planificación, diseño y habilitación de sistemas multipropósito que permiten la incorporación de agua para abordar la Brecha Hídrica en los territorios, permitiendo un desacople entre el desarrollo de los sectores productivos y el uso del agua dulce en la cuenca. Las nuevas fuentes de agua posibilitarían un desarrollo y encadenamiento productivo, donde un uso compartido del nuevo recurso, permitiría el acceso a pequeños y medianos productores, mejorando la calidad de vida en los territorios abastecidos.

## ESTOS CUATRO EJES CONSIDERAN LA INTEGRACIÓN DE LOS DIFERENTES SECTORES DEL AGUA DE MANERA DE ALCANZAR LA SEGURIDAD Y SUSTENTABILIDAD HÍDRICA PARA TODOS LOS USOS.

Los sectores públicos y privados poseen un rol fundamental en la búsqueda de acuerdos en temáticas estratégicas, de planificación, regulatorias, normativas, financieras, entre otras, que permitan crear las condiciones para que la Transición Hídrica se materialice.

Existen diferentes alternativas de MAS que pueden desarrollarse en los ejes de la Transición Hídrica. Estas han sido recopiladas y descritas en el portafolio **MAS Seguridad Hídrica** que acompaña a esta publicación y contiene un amplio espectro de alternativas para abordar Brecha y Riesgo Hídrico.

A continuación, se dan a conocer algunos ejemplos del portafolio que fueron consideradas pertinentes para su aplicación en las cuencas, como potenciales soluciones para los problemas hídricos identificados. Se describen algunos beneficios y externalidades<sup>45</sup> que generan estas medidas, donde se consideró la regulación existente, sus potenciales impactos sociales y ambientales, costos referenciales de inversión y potencial volumen de agua que podrían aportar a la cuenca para reducir Brecha Hídrica. Cabe señalar que estas evaluaciones se hicieron en base a las características técnicas de cada una

de ellas, independiente del territorio donde posteriormente sean implementadas. Para su debido análisis, deben ser dimensionadas adecuadamente según el contexto territorial.

Los análisis sociales, ambientales y regulatorios realizados, permiten generar alertas de restricciones y externalidades que no han sido visualizadas claramente, sin embargo, existe evidencia y análisis científico que los respalda. Esto permitirá dar directrices para seleccionar las mejores medidas de gestión, mitigación y compensación.

---

45. **Beneficios de las MAS:** Ventajas comparativas de la MAS, asociada con aspectos técnicos como: costos, volúmenes de agua generados, captados o ahorrados, insumos necesarios, residuos generados, entre otros.

**Externalidades de las MAS:** análisis de condiciones habilitadoras que podrían facilitar o restringir la implementación de una MAS; Impacto ambiental y social, que potencialmente podrían afectar, en forma positiva o negativa, el bienestar humano y de los ecosistemas.



## 5.2. EJE 1: GESTIÓN E INSTITUCIONALIDAD DEL AGUA

La evidencia revisada durante el desarrollo de la iniciativa Escenarios Hídricos 2030, junto a la visión de sus actores participantes, señalan una tendencia hacia un futuro climático e hídrico del país más seco y cálido. Esto, junto a una sociedad compleja y cada vez más exigente e interconectada, obligará a buscar MAS innovadoras y efectivas, que tengan la capacidad para adaptarse a los efectos del Cambio Climático y sus consecuencias en el recurso hídrico.

Uno de los principales aspectos que facilitará esta adaptación, será lograr una gestión hídrica y una gobernanza adecuada, que abarque la totalidad de la cuenca y el ciclo completo del agua, desde los ecosistemas que generan la oferta, pasando por la demanda hídrica de los usuarios, hasta el tratamiento de las aguas residuales que permita reinsertarlas nuevamente al ciclo hídrico, complementándolo con el levantamiento de información y la fiscalización del cumplimiento de las normas.

Durante la construcción de los escenarios hídricos, el análisis de los árboles de problema y la discusión de cómo enfrentar la Brecha Hídrica en las cuencas trabajadas,

fue tema recurrente el fortalecimiento de las Organizaciones de Usuarios de Aguas (OUAs)<sup>46</sup>, así como la necesidad que las instituciones públicas vinculadas al recurso hídrico se adapten a los nuevos escenarios. Otros temas recurrentes fueron la falta de información y la escasa visión integral de las cuencas. El problema de la gestión del agua en Chile fue reconocido por la mayoría de los actores participantes de EH2030, incluso en aquellos territorios del sur y extremo sur del país, como son Lebu y Baker, donde se reconoce como un medio adecuado para proteger, mantener y recuperar ecosistemas acuáticos.

La gestión del agua en Chile fue reconocido como un ámbito crítico de resolver por la mayoría de los participantes de EH2030, incluso en aquellos territorios del sur y extremo sur del país, proponiendo, entre otros, el desarrollo de una Política Hídrica de Estado y una entidad local para encabezar la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) en las cuencas. Esto ha sido afirmado por UN Environment (2018) en el marco de los ODS, donde Chile aparece clasificado con un bajo nivel de implementación de GIRH.

Al realizar un análisis del portafolio de las MAS, se identificaron nueve condiciones habilitadoras<sup>47</sup>, que son fundamentales para

46. Fortalecer las organizaciones de agua, comunidades de agua, asociación de regantes. Estos son lo que mejor conocen su territorio y se vinculan cooperativamente en la administración de las aguas de riego, buscando soluciones adaptativas tanto a escenarios de escasez como a problemáticas de gobernanza. En ellos reside el capital social necesario para la solucionar problemas entre usuarios.

47. **Condiciones Habilitadoras:** Son las condiciones del entorno que pueden facilitar o retardar la implementación de las MAS, entre las cuales se encuentran los mecanismos financieros, los temas legales, institucionales y de coordinación (gobernanza), así como los mecanismos para inducción de comportamiento (Peña, 2019. Para EH2030, 2019).

## LA GESTIÓN DEL AGUA EN CHILE FUE RECONOCIDO COMO UN ÁMBITO CRÍTICO DE RESOLVER POR LA MAYORÍA DE LOS PARTICIPANTES DE EH2030, INCLUSO EN AQUELLOS TERRITORIOS DEL SUR Y EXTREMO SUR DEL PAÍS, PROPONIENDO, ENTRE OTROS, EL DESARROLLO DE UNA POLÍTICA HÍDRICA DE ESTADO Y UNA ENTIDAD LOCAL PARA ENCABEZAR LA GIRH EN LAS CUENCAS.

llevar a cabo una Transición Hídrica exitosa (Peña, 2019. Para EH2030, 2019). Se trata de componentes del marco legal, institucional, de financiamiento o de conocimiento, que subyacen a muchos factores que limitan o facilitan la efectiva utilización de las MAS.

### **1. Plan nacional de recursos hídricos y estructura para su aplicación efectiva.**

Es concebido como un instrumento de planificación estratégica que oriente y coordine la acción del Estado con una visión de mediano y largo plazo, con el objetivo de alcanzar en el país una adecuada seguridad hídrica en el desarrollo de sus actividades. El diseño e implementación del plan, requiere el acondicionamiento de una estructura organizativa con niveles políticos, técnicos y operativos, capaz de formularlo y darle un seguimiento efectivo.

### **2. Planes de gestión integrada de recursos hídricos a nivel de cuenca y organismos de cuenca.**

Desarrollar un instrumento de planificación que analice y evalúe en términos técnicos, sociales, económicos y ambientales las iniciativas propuestas, las priorice e identifique los instrumentos para hacerlas efectivas y genere un plan de acción (“Plan Director”). Por otra parte, es necesario crear un

organismo de participación, de carácter formal y composición pública-privada, con instrumentos y capacidades para formular y hacer efectivo el plan aprobado.

### **3. Educación, cultura e información sobre el agua.**

Resalta la necesidad de tomar iniciativas para mejorar el comportamiento de las personas, mediante la educación formal e informal, y el acceso a información sobre los desafíos que presenta el tema del agua y el papel que corresponde a los ciudadanos en su solución. Esto supone la participación y coordinación de numerosos actores del ámbito público y privado.

### **4. Sistema nacional de monitoreo, información e investigación hídrica.**

Se requiere impulsar un plan integrado que mejore el sistema de gestión de información y conocimiento. Esto significa realizar un importante esfuerzo de integración y coordinación de las actividades que realizan los distintos actores, creando instancias para ello, donde se apliquen los instrumentos disponibles para hacer efectivo el aporte de los particulares a la generación de información.

### **5. Ordenamiento territorial para una mejor gestión hídrica.**

Con ello se busca una mayor descentralización del país

y dar una participación efectiva a las comunidades locales en la gestión del territorio y sus recursos. En este contexto será necesario realizar un diagnóstico detallado de la relación entre la gestión del agua y el ordenamiento territorial, incluyendo una evaluación de las implicancias de la situación actual en los problemas hídricos existentes.

**6. Marco regulatorio de las empresas sanitarias e inserción en la cuenca.** Las actividades relacionadas con el manejo de la cuenca dirigidas a mejorar la oferta hídrica, en cantidad o calidad, así como las posibles iniciativas de reúso quedan fuera de la definición de la “empresa modelo” y, en consecuencia, de las necesidades de financiamiento y de los planes de desarrollo de las empresas sanitarias. En este contexto, las empresas sanitarias tienen limitados incentivos para desempeñar un papel más amplio en la gestión de los recursos hídricos de la cuenca y contribuir a soluciones que no aportan, al menos en el corto plazo, a la prestación de los servicios. En particular, interesa analizar la forma como se aborda la relación entre las actividades de prestación de los servicios y el sistema de recursos hídricos a nivel de la cuenca e incorporar las modalidades más adecuadas para que los efectos actuales o potenciales, no incluidos en la legislación de aguas ni ambiental, sean parte de la toma de decisiones y su fiscalización.

**7. Fomento al riego en un marco de gestión integrada de los recursos hídricos.** La aplicación de subsidio a las actividades de riego por parte del Estado, hace aconsejable revisar las normativas y procedimientos vigentes acerca del tema. En particular, resulta de interés la revisión de las disposiciones de la Ley de Fomento al Riego y Drenaje, y la que Establece Normas sobre Ejecución de Obras de Riego por el Estado. En dichos cuerpos legales sería de interés estudiar las normativas y procedimientos que permitan incorporar los daños y beneficios sobre terceros y el medio ambiente a la toma de decisiones. De este modo, pudiera favorecerse la implementación de algunas MAS, en la medida que contribuyen a la adecuada gestión del agua en el marco general de la cuenca.

**8. Mejora y complementación de la normativa ambiental.** Involucra una revisión, actualización y dictación de normas de emisión y calidad en aguas, así como avanzar en normativas que regulen la contaminación difusa de las aguas subterráneas y el reúso de las aguas servidas tratadas de las ciudades. Además, se encuentra pendiente la creación del Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas, que debiera desempeñar un papel relevante en las políticas de conservación de la biodiversidad y, en consecuencia, en las MAS relacionadas con el cumplimiento de dicho objetivo en los sistemas hídricos.

**9. Desarrollo de un papel municipal activo en el tema hídrico.** Los municipios pueden cumplir un papel significativo en la gestión hídrica, en áreas tales como fomento del uso eficiente del agua por la población, optimización del manejo del agua en los bienes nacionales de uso público y fiscales que le corresponde administrar, aplicación de normativas de responsabilidad municipal, incorporación de la temática hídrica en las instancias educativas, representación de los intereses comunales en temas estratégicos relacionados con el abastecimiento de la población, la protección ambiental y la defensa contra inundaciones. Es fundamental fomentar la generación de unidades municipales orientadas a la adecuada gestión de los recursos hídricos, así como el desarrollo de planes de capacitación especializados, con documentación y apoyos, que permitan ampliar el ámbito de atención de los municipios en el tema.

***El recurso hídrico requiere un liderazgo institucional con mirada de Estado al largo plazo, con capacidad técnica y política.***

Se debe tener una gran capacidad de gestión para coordinar a los diversos usuarios del agua y las diferentes instituciones públicas que poseen actualmente atribuciones para propiciar los cambios institucionales, normativos y de procesos que permitan avanzar hacia la sustentabilidad hídrica del país.

La institucionalidad va acompañada de una política hídrica de Estado, que entregue los contenidos y orientaciones para focalizar los

esfuerzos y recursos en pos de la disponibilidad del agua para el desarrollo de Chile.

La información confiable, oportuna y accesible sobre el recurso hídrico, es la base para una mejor toma de decisiones. Para ello, es necesario potenciar los sistemas de información de colaboración público-privados y de acceso universal. Además, dentro del proceso de toma de decisiones, debieran considerarse el comportamiento de los ecosistemas y las variables que impactan al recurso hídrico, con el fin de proponer las medidas de mitigación y compensación para su sustentabilidad en el tiempo.

La educación, cultura y difusión de información sobre el manejo y buen uso del agua, promueve en la sociedad una nueva forma de relacionarse con el recurso.

Finalmente, es necesario destacar que existe una importante diversidad de opciones para mejorar la gestión del agua y que, aprovechando la experiencia generada hasta ahora por los organismos y entidades con competencia en la materia, se puede fortalecer con una mirada innovadora y acorde a las necesidades de los distintos territorios.

**5.2.1. Las MAS en la gestión e institucionalidad del agua**

A continuación, se presentan ejemplos de Medidas, Acciones y Soluciones encontradas en el portafolio, para la gestión e institucionalidad del agua, describiendo sus beneficios y externalidades.



Medidas, Acciones y Soluciones	Beneficios	Externalidades
<p>Gestión integrada de recursos hídricos</p>	<p>La GIRH apoya la gestión de intervenciones de múltiples actores que interactúan en un sistema hídrico compartido, con el fin de lograr más beneficios que costos sociales, ambientales y económicos, en el corto y largo plazo. Este modelo entrega soporte a la gestión, permitiendo tener una visión de la cuenca, conocer el comportamiento de los ecosistemas hídricos y su entorno socioeconómico, concientizando que las intervenciones aguas arriba tienen efectos deseados o indeseados aguas abajo. Permite contar con información de base pública, tomar mejores decisiones respecto al uso del agua superficial y subterránea, fortaleciendo la planificación y coordinación de los usuarios del agua. Aporta a inducir el comportamiento de los usuarios de agua, para que no se afecten entre sí, ni al medio ambiente. Asimismo, organiza la gestión, asignando y delimitando roles y territorios, para ejecutar y aplicar los instrumentos de gestión, los que actúan coordinadamente, implementando soluciones multipropósito y colaborativas. Por último, permite avanzar en la ejecución e intervención directa para la implementación de soluciones mitigando potenciales efectos no deseados.</p>	<p>A pesar que gran parte de los países mencionan la GIRH como estrategia a implementar, en la práctica se hace más compleja, ya que debe lograr la integración de diversos sectores y usuarios con distintos objetivos, visiones, intereses, presentando barreras institucionales y económicas. Considerando que la gestión hídrica en Chile está basada en Derechos de Aprovechamiento de Agua (DAA) y gestión sectorial, varios son los retos legales e institucionales que han sido identificados (más allá de los económicos) para implementar una GIRH sin modificar el actual sistema. Los desafíos legales fueron descritos por el Banco Mundial (2011) como: Garantizar la protección de los derechos de aguas de grupos vulnerables como indígenas y pequeños agricultores que no cuentan con acciones de agua. Posee un impacto ambiental positivo.</p>
<p>Sistema nacional integrado de información del agua</p>	<p>Algunos de los beneficios de un mejoramiento del Sistema Nacional Integrado de Información del Agua (SNIA) son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Poder contar con la información necesaria para planificar y controlar una gestión eficiente y sustentable del recurso, ejerciendo en forma óptima las funciones que la ley le ha encomendado al órgano público rector de las aguas (DGA), así como a otras entidades públicas y privadas que inciden en su gestión.</li> <li>- Permite adaptar la gestión eficiente y sustentable del recurso y su conservación frente a los cambios de disponibilidad real, de manera de satisfacer las necesidades de los distintos usuarios, en equilibrio con las funciones ambientales.</li> </ul>	<p>Entre las condiciones que se debiesen considerar para lograr un mejoramiento del SNIA son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Las funciones de monitoreo, obtención y difusión de información que siguen dispersas y superpuestas en múltiples organismos. Por esto, se requiere que, mediante una modificación legal al Art. 299 del Código de Aguas, se establezca expresamente el deber de coordinación y sistematización de la información en la DGA, como único organismo encargado y facultado especialmente para ello, con las atribuciones suficientes.</li> <li>- Promover una modificación legal que establezca la obligación de generar, compartir y entregar datos levantados e información relevante obtenida y vinculada a los recursos hídricos, en las condiciones y oportunidad determinadas por la DGA, que sean necesarias para incorporar al SNIA, y así facilitar la cooperación interinstitucional. Esto aplicaría a otros servicios y organismos públicos, Organizaciones de Usuarios de Agua (OUA) y titulares de Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA).</li> </ul>
<p>Fortalecimiento de la función de fiscalización y control de las aguas</p>	<p>Entre los beneficios de fortalecer la función de fiscalización y control de las aguas, destacan:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Contar con una institucionalidad que permita liderar y coordinar el actuar coherente de organismos que detentan competencias relacionadas con la fiscalización y control de las aguas, de manera de asegurar que ésta se realice en forma óptima y efectiva.</li> <li>- Potenciar la función fiscalizadora de la DGA, para brindar la debida protección a las fuentes naturales de agua.</li> <li>- Contribuir a garantizar la explotación sustentable de las aguas, velando por la calidad de las mismas y evitando el agotamiento de las fuentes naturales.</li> <li>- Asegurar el cumplimiento de la legislación de las aguas en forma más efectiva.</li> </ul>	<p>Algunas de las condiciones que se debiesen considerar para lograr el fortalecimiento de la función de fiscalización y control de las aguas son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Definir e incorporar los objetivos priorizados, metas y lineamientos claros en materia de fiscalización de las aguas, dentro de la Estrategia Nacional 2012-2025 del MOP y en una actualización de la Política Nacional de Recursos Hídricos.</li> <li>- Reforzar el ejercicio de las funciones y atribuciones de fiscalización que detenta actualmente la DGA, de manera que emprenda las acciones correspondientes para ejercer su labor, con los mecanismos disponibles en la regulación vigente, y en concordancia con los objetivos de la Política Nacional de Recursos Hídricos.</li> <li>- Fortalecer el monitoreo de calidad, control de contaminación y estado de las fuentes, a través de la cooperación y coordinación entre la SMA y la DGA, definiendo sus roles e instancias de colaboración.</li> </ul>

## Gestión e institucionalidad del agua

Medidas, Acciones y Soluciones	Beneficios	Externalidades
<p><b>Coordinación y fortalecimiento de Organizaciones de Usuarios de Aguas</b></p>	<p>Algunos de los beneficios de fortalecer las OUAs son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Mejorar la gobernanza de las aguas a nivel local; mejorar la gestión y eficiencia de los recursos hídricos.</li> <li>-Mejorar la coordinación de intervenciones y facilitar la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) a nivel de cuencas en instancias legitimadas.</li> <li>-Contar con metas claras y orientaciones en temas que requieren manejo consensuado y que deben ser abordados en forma sistémica a nivel de cuenca, como balance oferta/demanda, calidad, ciclo hidrológico y aspectos vinculados con medio ambiente y biodiversidad, conservar las fuentes y acuíferos, prevenir inundaciones y sequías, adaptación al Cambio Climático, etc.</li> <li>-Facilitar y optimizar la comunicación entre las OUAs y entre OUAs y servicios públicos como DGA, así como transmitir información sobre distintos aspectos de los recursos hídricos y las cuencas.</li> </ul>	<p>Algunas de las condiciones que se debiesen considerar para lograr el fortalecimiento de las OUAs, son las siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Continuar y reforzar programas de apoyo para el desarrollo de capacidades técnicas de las OUAs, para que puedan constituirse y cumplir sus deberes.</li> <li>-Incorporar a la legislación incentivos para que las OUAs ejerzan plenamente sus atribuciones, así como fomenten la participación efectiva de sus miembros (ej. financieros a través de priorización en asignación de fondos concursables; administrativos, como requisito para la evaluación ambiental).</li> <li>-Se requiere revisar el marco normativo-institucional que rige a las OUAs en el mediano plazo, sistematizar sus deberes y atribuciones, evaluar las responsabilidades asignadas para adecuarlas a los desafíos actuales (preservación de la naturaleza, contaminación, Cambio Climático, riesgos naturales, etc.). Todo debe estar en coherencia con el fortalecimiento del rol de la DGA, simplificando su procedimiento de constitución, entre otros aspectos.</li> </ul>
<p><b>Reservas y áreas de protección del recurso hídrico</b></p>	<p>Algunos de los beneficios de las reservas de agua son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Permitir asegurar el agua necesaria para la naturaleza y respectivas funciones ambientales, así como para el consumo humano y comunidades vulnerables.</li> <li>-Establecer límites sostenibles de oferta de agua, fomentando la disminución de consumo del recurso.</li> <li>-Contribuir a la conservación de los ecosistemas y continuidad de servicios ambientales para la gestión del agua y la sociedad (almacenamiento, conducción, abastecimiento, mejora calidad agua, protección contra eventos extremos como inundaciones, etc.).</li> <li>-Mantener el ciclo hidrológico natural, contribuyendo así a generar resiliencia de ecosistemas y población ante situaciones de escasez, sirviendo como medida de adaptación y mitigación frente al Cambio Climático.</li> </ul>	<p>Algunas de las condiciones que se debiesen considerar para lograr reservas y áreas de protección son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-El proyecto de ley que crea el Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas (SBAP) al alero del MMA (Boletín N° 9404-12), actualmente en discusión legislativa, busca la unificación y coordinación de la gestión de las áreas protegidas, sin embargo, hasta el momento no incorpora instrumentos de protección y gestión especial, como las reservas o áreas de protección del recurso hídrico.</li> <li>-Explicitar en el Código de Aguas la incorporación de caudales de reserva y áreas de protección, según lo establecido por el Artículo 42 de la Ley N°19.300, cuya responsabilidad es del MMA y DGA. Regular un proceso participativo para su dictamen (que contemple informe técnico previo, etapa de consulta, integre OUA, etc.), así como determinar el servicio encargado de la posterior administración del área comprendida.</li> </ul>
<p><b>Incentivos al ahorro y eficiencia en sectores productivos</b></p>	<p>Dentro de los beneficios que se obtienen al disminuir el consumo, aumentar la eficiencia y gestionar de manera sustentable las aguas en los procesos productivos, se encuentran:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Contribuir a la protección y conservación de las fuentes naturales y ecosistemas hídricos.</li> <li>-Aumentar la disponibilidad del recurso y optimizarlo para todos los usos, incluyendo funciones ecosistémicas.</li> <li>-Prevenir o reducir conflictos entre usuarios en competencia.</li> <li>-Disminuir o postergar la necesidad de satisfacer la demanda de agua, a través de fuentes alternativas de suministro, con potenciales impactos negativos en el medioambiente.</li> <li>-Contribuir en materia de mitigación y adaptación a los impactos del Cambio Climático y aumentar su resiliencia.</li> <li>-Aumentar la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales y reducir emisiones.</li> </ul>	<p>Algunas de las condiciones que se debiesen visualizar para lograr los incentivos en el ahorro y la eficiencia son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Descuentos en tarifa: el incentivo de descuento por reducción del consumo, debe ser contemplado en la nueva regulación, donde se establezca la metodología de cálculo que determina el cargo a pagar por concepto de extracción.</li> <li>-Beneficios tributarios especiales para impulsar la inversión en tecnología y sistemas de reúso de aguas residuales, captación de aguas lluvias y recarga artificial: se requiere modificar la normativa vigente a través de una ley que los establezca y regule.</li> <li>-Establecimiento de requisitos de eficiencia hídrica, disminución de consumo y manejo sustentable de las aguas, en la evaluación ambiental de proyectos que utilicen recursos hídricos.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia. Escenarios Hídricos 2030, basado en Duhart, 2019.



### **5.3. EJE 2: CONSERVACIÓN Y PROTECCIÓN DE NUESTROS ECOSISTEMAS HÍDRICOS**

La evidencia revisada durante el desarrollo de la iniciativa Escenarios Hídricos 2030, junto a la visión de sus actores participantes, identifican a la sociedad y el medio ambiente con un rol fundamental para alcanzar la seguridad hídrica y la sostenibilidad del desarrollo en Chile, siendo una de las primeras medidas adoptadas en el mundo para facilitar la adaptación a la variabilidad climática con eventos hídricos extremos (sequías e inundaciones).

Los principales impactos del Cambio Climático en los humanos están mediados a través del agua (ONU-Agua, 2010) y ocurren principalmente a través de cambios relacionados con el vital elemento en los ecosistemas (IPCC, 2014).

Las recomendaciones apuntan a replicar los servicios que brinda la naturaleza, por medio de la conservación, protección y/o recuperación de ecosistemas naturales, incluso la creación o réplica de sistemas modificados o artificiales. En el caso de los recursos hídricos, la degradación de los ecosistemas generados por la intervención humana, repercute directamente en el recurso hídrico, por lo que la búsqueda de soluciones basadas en la naturaleza es una forma de evitar el daño o de revertirlos (WWAP/ONU-Agua, 2018).

En general, la restauración o recuperación de ecosistemas además de tener costos referenciales bajos comparados con otras MAS, tienen ventajas respecto a los beneficios y externalidades sociales y ambientales, además de ser medidas que ayudan a la adaptación al Cambio Climático y pueden implementarse continuamente en el tiempo.

#### **5.3.1. Las MAS en conservación y protección de nuestros ecosistemas hídricos**

A continuación se presentan ejemplos de algunas MAS de conservación y protección de nuestros ecosistemas hídricos extraídas del portafolio, así como un resumen de los análisis de beneficios y externalidades realizados.

Cabe señalar que los ejemplos de MAS aquí descritos, fueron seleccionados por algunas de las seis cuencas analizadas para abordar su Brecha y Riesgo Hídrico.

“EL AHORRO DE AGUA DE LAS SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA PODRÍA REPRESENTAR MÁS QUE LA DEMANDA PROYECTADA DE AGUA PARA EL 2050, RESOLVIENDO SIMULTÁNEAMENTE (A NIVEL GLOBAL) NO SOLO LA SEGURIDAD HÍDRICA PARA EL DESAFÍO DE LA SEGURIDAD ALIMENTARIA, SINO TAMBIÉN LIBERANDO SUMINISTROS DE AGUA PARA OTROS USOS Y, POTENCIALMENTE REDUCIENDO LA DEMANDA GLOBAL DE AGUA”

(WWAP/ONU-AGUA, 2018).



# 2

EJEMPLOS DE MEDIDAS, ACCIONES Y SOLUCIONES ENCONTRADAS EN EL PORTAFOLIO PARA

## Conservación y protección de nuestros ecosistemas hídricos



Medidas, Acciones y Soluciones	Beneficios	Externalidades
<p>Sistemas de infiltración urbana (pavimentos, jardines y plazas de agua)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Sistemas que disminuyen la escorrentía, evitando inundaciones y reduciendo la carga de contaminantes.</li> <li>-Facilitan la infiltración de agua, mejorando la recarga de agua subterránea, promoviendo el drenaje urbano e impidiendo el colapso de las alcantarillas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-No se identifican limitaciones en el uso de estas técnicas, ya que su empleo está en el ámbito de atribuciones de los municipios y servicios públicos responsables, por lo tanto, son soluciones de implementación inmediata.</li> <li>-No se aprecian conflictos sociales.</li> <li>-Las externalidades ambientales son positivas.</li> </ul>
<p>Infiltración artificial por presión y por gravedad en lecho de río</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Permiten almacenar el agua superficial excedente en acuíferos, evitando pérdidas por evaporación y aumentando el volumen de agua disponible.</li> <li>-Permiten recuperar acuíferos sobreexplotados, aumentando su calidad y reduciendo el impacto medioambiental por déficit de agua.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-La complejidad técnica de la normativa y otras variables, indicarían que la implementación podría realizarse en un mediano a largo plazo.</li> <li>-Las externalidades ambientales son positivas.</li> <li>-No se aprecian conflictos sociales.</li> </ul>
<p>Sistema de amunas y bordos superficiales para recarga superficial de acuíferos</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Facilitan la recarga superficial de acuíferos. En el caso de las amunas, recogen el agua lluvia a través de canales, en un complejo sistema de irrigación; los bordos lo hacen por medio de terrazas.</li> <li>-Permiten contener el escurrimiento del agua de lluvia, evitando la erosión del suelo y promoviendo su infiltración.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-No existen limitaciones para la utilización de estas técnicas, por lo tanto, son soluciones de implementación inmediata.</li> <li>-Las externalidades ambientales son positivas.</li> <li>-Poseen posibles conflictos con las comunidades potencialmente afectadas por el encausamiento de las aguas.</li> </ul>
<p>Recuperación y conservación de ríos, riberas, humedales, bofedales, estuarios y turberas</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-La recuperación y conservación de ríos, riberas, humedales, estuarios, turberas y bofedales posibilita el disfrute de los servicios ecosistémicos, pudiendo proporcionar un apoyo o incluso reemplazar a los sistemas tradicionales de tratamiento de agua.</li> <li>-Permiten regular los ciclos hidrológicos, manteniendo la calidad del agua dulce y reservas de agua para abastecimiento en temporadas secas.</li> <li>-También permiten amortiguar potenciales desastres por grandes crecidas de agua en zonas inundables o de paso natural de agua.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Son iniciativas que podrían requerir de una Resolución de Calificación Ambiental (RCA), otorgada por el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), en especial si corresponden a áreas con algún tipo de protección ambiental, realizando estas autorizaciones se podrían implementar en el corto plazo.</li> <li>-Las externalidades ambientales son positivas.</li> <li>-Se puede observar un conflicto menor con las comunidades, por la llegada de fauna no preexistente.</li> </ul>
<p>Reforestación y forestación de cuencas para disminución de riesgo de desastres</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Actividades de reforestación y forestación de cuencas, así como bosques existentes, pueden ayudar a reducir la ocurrencia e intensidad de inundaciones, ya que permiten retener agua y estabilizar pendientes, disminuyendo así los riesgos y desastres causados por tormentas, como deslizamientos de tierra, flujos de lodo y avalanchas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-No existen limitaciones para la utilización de estas técnicas, sin embargo, usualmente en el caso de pequeños propietarios y comunidades indígenas se podría requerir de apoyo de programas estatales. Pese a ello son soluciones de implementación inmediata.</li> <li>-Las externalidades ambientales son positivas y tienen un bajo conflicto social. Solo se aprecian posibles conflictos por intereses económicos por la explotación del suelo.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia. Escenarios Hídricos 2030, basado en Peña (2019), Figueroa (2019), Figueroa y Bruna (2019) y Herrera (2019).



## 5.4. EJE 3: EFICIENCIA Y USO ESTRATÉGICO DEL RECURSO HÍDRICO

La eficiencia y uso estratégico del agua están enfocados al manejo de su demanda, factor clave que conviene tener presente al momento de encontrar territorios que poseen problemas de sobreconsumo del recurso hídrico y buscan su sostenibilidad productiva.

Dentro del uso estratégico del agua, la tendencia mundial evidencia que los sectores prioritarios frente a la escasez del agua y los efectos del Cambio Climático, son el derecho humano al agua, los ecosistemas como base del desarrollo y los sectores vulnerables. Al respecto, se menciona como una buena práctica, destinar el agua de mejor calidad y bajo costo al consumo humano (Moel, Verberk y van Dijk, 2006).

El sector agrícola en Chile consume cerca del 87% del recurso hídrico extraído de las fuentes superficiales y subterráneas (EH2030, 2018), por lo tanto, avanzar en la eficiencia y uso estratégico del agua por parte de este sector, es un gran desafío que podría aportar a reducir la Brecha Hídrica en forma significativa, especialmente en cuencas donde gran parte de su territorio está cultivado.

Dentro de las medidas de eficiencia hídrica que fueron analizadas a modo de ejemplo, las técnicas de riego, recambio de cultivos de menor requerimiento

hídrico y embalses superficiales son las que poseen menor costo de inversión.

Los embalses superficiales tienen, por otro lado, un impacto ambiental negativo por los efectos que generan aguas abajo a los ecosistemas terrestres y acuáticos, relacionados con los cambios y/o reducción de caudales; y un impacto social negativo que puede impedir la implementación de estos sistemas debido a los conflictos con comunidades por la inundación de zonas habitadas.

Las técnicas de riego eficiente presentan el beneficio de evitar la contaminación difusa al emplear una cantidad adecuada de fertilizantes y plaguicidas, debido a la disminución de la escorrentía. Uno de los efectos negativos es la disminución de la infiltración de agua a los acuíferos. Para estos casos, en países como Israel se aplican medidas de compensación que contemplan por ejemplo, sistemas de recarga o infiltración complementarios.

LAS TÉCNICAS DE RIEGO EFICIENTE PERMITEN DISMINUIR LA CONTAMINACIÓN DIFUSA AL EMPLEAR UNA CANTIDAD ADECUADA DE FERTILIZANTES Y PLAGUICIDAS. UNO DE LOS EFECTOS NEGATIVOS ES LA DISMINUCIÓN DE LA INFILTRACIÓN DE AGUA A LOS ACUÍFEROS. EN PAÍSES COMO ISRAEL SE APLICAN MEDIDAS DE COMPENSACIÓN QUE INTEGRAN SISTEMAS DE INFILTRACIÓN COMPLEMENTARIOS.

Los cobertores de cultivos poseen un costo de inversión mayor a las diferentes tecnologías de desalación para un mismo volumen de agua, pero son altamente eficientes para prevenir pérdidas agrícolas por externalidades climáticas. Asimismo, permiten reducir significativamente el consumo de agua que es utilizada para evitar que las heladas dañen los cultivos. De las medidas encontradas, los estanques modulares son los que poseen un mayor costo de inversión relativo, pero tienen la ventaja que sirven para almacenar agua en diferentes lugares aislados o por predios, similares a los microembalses, evitando la evaporación del agua. Incluso en algunos modelos pueden ser transportables.

#### **5.4.1. Las MAS en eficiencia responsable y uso estratégico del recurso hídrico**

A continuación se presentan ejemplos de algunas MAS en eficiencia y uso estratégico del recurso hídrico, extraídas del portafolio.

# 3 EJEMPLOS DE MEDIDAS, ACCIONES Y SOLUCIONES ENCONTRADAS EN EL PORTAFOLIO PARA Eficiencia y uso estratégico del recurso hídrico



Medidas, Acciones y Soluciones	Beneficios	Externalidades
<b>Sistemas y técnicas de riego optimizado</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Las nuevas prácticas de riego y agrícolas, disminuyen los volúmenes de agua utilizados para el cultivo, al reducir las pérdidas en la conducción y al suministrar el agua a la planta.</li> <li>-Mejoran la calidad del recurso disponible para otros usos, por ejemplo, al emplear fertilizantes y plaguicidas inorgánicos y orgánicos en la cantidad adecuada, o al reducir la escorrentía.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Actividades que se pueden desarrollar por los propietarios sin limitaciones.</li> <li>-Existe la posibilidad de utilizar subsidios y apoyo técnico del Estado.</li> <li>-Son iniciativas que se pueden implementar en el corto plazo.</li> <li>-La tecnología no presenta externalidades ambientales negativas, siempre y cuando no signifiquen ampliación de superficie de riego, dada la eficiencia lograda en el riego.</li> <li>-Poseen bajo conflicto social, solo se visualiza un menor conflicto en la desconfianza de los agricultores a estos sistemas.</li> </ul>
<b>Cobertores e invernaderos para reducción de consumo de agua en cultivos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Estos sistemas protegen a los cultivos de las heladas, provocando un ahorro importante de agua utilizada para mitigar estos efectos de temperatura.</li> <li>-Las aguas tienen la posibilidad de ser reutilizadas.</li> <li>-Permite cultivar plantas muy delicadas para las variaciones climáticas, lo que en algunos casos se podría traducir en la obtención de dos ciclos productivos en vez de uno.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estos sistemas se pueden desarrollar por los propietarios sin limitaciones.</li> <li>-Existe la posibilidad de utilizar subsidios y apoyo técnico del Estado.</li> <li>-Son iniciativas que se pueden implementar en el corto plazo.</li> <li>-No hay externalidades ambientales negativas si se preservan las condiciones del terreno, calidad del suelo y se manejan buenas prácticas agrícolas.</li> <li>-No se aprecian conflictos sociales.</li> </ul>
<b>Recambio cultivos de menor requerimiento hídrico</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Estas prácticas estimulan la adopción de especies y variedades que se adaptan mejor al uso de menores cantidades de agua, considerado la rentabilidad de sus productos.</li> <li>-Existen variedades mejoradas que suelen tener mejor productividad y un requerimiento hídrico menor, lo que permite reducir los usos de agua por superficie de predio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Actividades se pueden desarrollar por los propietarios sin limitaciones.</li> <li>-Existe la posibilidad de utilizar subsidios y apoyo técnico del Estado.</li> <li>-Son iniciativas que se pueden implementar en el corto plazo.</li> <li>-Presenta externalidades ambientales positivas bajas, debido a que los cultivos extensivos e intensivos pueden tener externalidades negativas sobre vegetación y suelo por despeje para cultivos.</li> <li>-Poseen conflicto social medio, debido a que se presentan conflictos con alguna eventual oposición de agricultores a un cambio en los cultivos tradicionales.</li> </ul>
<b>Estanques y celdas modulares para almacenamiento de aguas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Sistemas de almacenamiento de fácil desplazamiento, sustentables y reciclables, controlan la evaporación y la aparición de algas e insectos.</li> <li>-Producen ahorro del recurso hídrico, ya que el agua retenida puede ser utilizada con diferentes fines, además algunos al ser modulares son de fácil manejo, transporte e instalación, adaptándose a diferentes necesidades de tamaño y forma en espacios limitados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Actividades se pueden desarrollar por los propietarios sin limitaciones.</li> <li>-Existe la posibilidad de utilizar subsidios y apoyo técnico del Estado.</li> <li>-Iniciativas que se pueden implementar en el corto plazo.</li> <li>-Presenta externalidades ambientales positivas, pues son sistemas de acumulación de agua menos invasivos.</li> <li>-Tienen un conflicto social medio, pudiendo presentarse algunos conflictos debido al rechazo a nuevos sistemas de almacenamiento.</li> </ul>
<b>Embalses para acumulación de aguas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-En cuanto a los beneficios para la agricultura, la construcción de un embalse entrega seguridad de riego durante todo el año, disminuyendo así la escasez hídrica en época estival, por lo que es posible realizar una programación de los cultivos.</li> <li>-Permite control de las crecidas, lo que es indispensable para el desarrollo sostenido de las áreas pobladas evitando así inundaciones.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Iniciativas que, en general, están reguladas en el Código de Aguas y en la normativa ambiental, requiriendo de autorización de la DGA y de una RCA. Con estas limitaciones, se pueden implementar en el largo plazo.</li> <li>-Presentan externalidades ambientales negativas medias, debido a los cambios y/o reducción de caudales aguas abajo del embalse, que reduce el aporte de nutrientes y sedimentos a la cuenca, altera hábitats y modifica los servicios ecosistémicos que provee la cuenca (pesca, navegación, turismo, educación, entre otros).</li> <li>-Externalidades ambientales pueden aumentar dependiendo del tamaño y magnitud de obras temporales y permanentes.</li> <li>-Conflicto social medio, como consecuencia de conflictos y oposición ciudadana por la inviabilidad de seguir habitando áreas que serán inundadas.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia. Escenarios Hídricos 2030, basado en Peña (2019), Figueroa (2019), Figueroa y Bruna (2019) y Herrera (2019).



## 5.5. EJE 4: MIGRACIÓN E INCORPORACIÓN DE NUEVAS FUENTES DE AGUA

La incorporación de las nuevas fuentes de agua es parte importante de la gestión de la oferta, dado que brinda un aporte adicional de recurso hídrico a los territorios para sostener sus usos en el tiempo. En general, son soluciones con un alto costo de inversión, pero implican un mayor volumen del recurso para satisfacer las demandas.

Dentro de las soluciones analizadas en este eje, los sistemas de trasvase son los de mayor inversión<sup>48</sup>, pero a la vez, los que aportan más agua al sistema junto con la desalación de agua de mar. En la evaluación el trasvase por mar tiene un impacto ambiental menor que el trasvase por tierra. En ambos casos se identifican posibles impactos en los ecosistemas terrestres y acuáticos y la biodiversidad que sostiene cada una de ellas. Estos sistemas transportan altos volúmenes de agua desde los ríos del sur hacia el centro norte de Chile modificando los ciclos hidrológicos en ambas zonas.

ES NECESARIO SEÑALAR LA IMPORTANCIA DE UNA PLANIFICACIÓN FUTURA ADECUADA DE LOS PROYECTOS DE TRASVASE, DEBIDO A LA DEPENDENCIA QUE GENERA EL RECURSO HÍDRICO EN LAS ZONAS DE ENTREGA. ADEMÁS, EXISTE INCERTIDUMBRE DE LA FUTURA DISPONIBILIDAD DEL CAUDAL SUPERFICIAL EN LA FUENTE DE EXTRACCIÓN DE AGUA, DEBIDO A LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO Y EL POTENCIAL DESARROLLO DE LA ZONA.

La desalación tiene un costo de inversión menor que los trasvases, con la capacidad de producir grandes volúmenes de agua de excelente calidad proveniente del mar. A mayor producción de agua, aumenta el impacto ambiental y social que deben ser adecuadamente mitigados y compensados. Las descargas al mar con mayor temperatura y concentración de sales inciden en la abundancia de grupos más sensibles, como; equinodermos, plantas acuáticas, poliquetos,

---

48. En este análisis se consideraron los dos proyectos de trasvase presentados a nivel nacional. Carretera Hídrica de la Corporación Reguemos Chile y Proyecto Aquatacamá de Vía Marina.

crustáceos, existiendo abundante literatura que respalda dichos impactos (Lattermann *et al.*, 2005) y otras que minimizan o descartan impactos, como la Australian Government National Water Commission. También produce rechazo por parte de la comunidad al deteriorar el medio ambiente, pero al mismo tiempo aumenta la disponibilidad del recurso hídrico para el consumo humano. El sector minero y sanitario serán quienes enfrentarán el desafío de mitigar adecuadamente los impactos de las desaladoras, pudiendo evaluar la implementación de sistemas integrados, sinérgicos y colaborativos (aporte de agua a sectores más vulnerables), que logren reducir el caudal de rechazo de la salmuera y transformarlo en un subproducto que alimente a otros sectores.

Los sistemas de tratamiento de agua y reúso son los de menor inversión en este eje. Los humedales artificiales y lombrifiltros tienen un costo de inversión similar a un lodo activado, pero su costo de operación y mantención es más bajo, siendo ideales para las zonas rurales. En el caso de los humedales artificiales son definidos como sistemas pasivos debido a su bajo requerimiento de operación y adición de insumos.

#### **5.5.1. Las MAS en la migración e incorporación de nuevas fuentes de agua**

A continuación se presentan ejemplos de algunas MAS en migración e incorporación de nuevas fuentes de agua, extraídas del portafolio.

**LAS NUEVAS FUENTES DE AGUA PERMITEN DESACOPLAR EL DESARROLLO PRODUCTIVO DEL USO DE AGUA EN LA CUENCA. A MAYOR PRODUCCIÓN DE AGUA, AUMENTA EL IMPACTO AMBIENTAL Y SOCIAL QUE DEBEN SER MITIGADOS Y COMPENSADOS ADECUADAMENTE.**

## 4

EJEMPLOS DE MEDIDAS, ACCIONES Y SOLUCIONES ENCONTRADAS EN EL PORTAFOLIO PARA

## Migración e incorporación de nuevas fuentes de agua



Medidas, Acciones y Soluciones	Beneficios	Externalidades
<p><b>Sistemas pasivos de tratamiento de aguas (humedales artificiales y lombrifiltros)</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Permite mejorar la calidad de los efluentes, posee una alta reducción de DBO<sup>5</sup> y sólidos suspendidos.</li> <li>-El agua tratada puede ser reutilizada en riego u otros fines.</li> <li>-Operación simple en comparación con otros sistemas de tratamiento de aguas residuales.</li> <li>-En el caso de los humedales, además, restaura zonas húmedas aptas para potenciar la biodiversidad y el valor paisajístico del lugar.</li> <li>-Recomendado para comunidades pequeñas y aisladas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Son soluciones que suponen la aprobación de los organismos con competencia ambiental, por lo tanto, su implementación es en el mediano plazo, con demoras que corresponden a los tiempos de obtención de los respectivos permisos.</li> <li>-Poseen externalidades ambientales positivas.</li> <li>-Pueden generar potencial conflicto con la comunidad a raíz de los malos olores, si la operación y mantención no son las adecuadas.</li> </ul>
<p><b>Tratamientos de aguas servidas</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Sistemas que funcionan en forma continua y de alta eficiencia, de fácil control y operación.</li> <li>-Poseen un buen comportamiento frente a tóxicos, buena resistencia ante sobrecargas puntuales y un bajo requerimiento de espacio para su implementación.</li> <li>-Aplicación de pequeña y gran escala.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Son soluciones que suponen la aprobación de los organismos con competencia ambiental, por lo tanto, su implementación es en el mediano plazo, con demoras que corresponden a los tiempos de obtención de los respectivos permisos.</li> <li>-Poseen externalidades ambientales positivas.</li> <li>-Pueden generar un conflicto social negativo, debido a que no todos los tratamientos de aguas servidas presentan beneficios directos para la comunidad.</li> </ul>
<p><b>Reúso de aguas residuales en Emisarios Submarinos</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-El reúso de aguas residuales tratadas descargadas a través de emisarios submarinos permite generar una nueva fuente de agua, abarcando aproximadamente el 10% de la actual Brecha Hídrica nacional.</li> <li>-Permite reducir impacto ambiental por la eliminación de las descargas de aguas servidas al mar.</li> <li>-Permite un uso eficiente del recurso.</li> <li>-Genera una fuente hídrica segura y permanente dando mayor seguridad hídrica a los sectores productivos que la aprovechan.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-No existen criterios generales para la consideración del reúso en los procesos tarifarios, a nivel urbano, ni incentivos financieros para la utilización de las aguas servidas tratadas, por lo tanto, se visualiza que su implementación es a largo plazo.</li> <li>-Poseen externalidades ambientales positivas reduciendo el ingreso de cargas contaminantes a los cuerpos de agua.</li> <li>-No se aprecian conflictos sociales.</li> </ul>
<p><b>Desalación mediante ósmosis inversa con y sin energías renovables</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Tecnología madura considerada como el grado más avanzado de filtración en procesos de desmineralización del recurso hídrico.</li> <li>-Permite ser una fuente ilimitada de agua, que reemplaza y/o complementa a las fuentes de agua dulce naturales.</li> <li>-Al utilizarlo con energías renovables, permite modularidad y una reducción de costos y consumo de energía.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Se trata de soluciones de mediano plazo, con demoras que corresponden a los tiempos de obtención de los respectivos permisos.</li> <li>-Poseen externalidades ambientales negativas asociadas a la construcción y operación de los sistemas de succión de aguas y disposición de concentrados. La disposición de salmueras puede generar externalidades sobre las comunidades bentónicas, si la descarga es pobremente diluida.</li> <li>-Algunas publicaciones indican que las externalidades ambientales pueden ser minimizadas con diseños y emplazamientos apropiados.</li> <li>-Conflicto social alto debido al descontento de la comunidad local por impacto sobre la fauna marina.</li> </ul>
<p><b>Trasvase de agua por tierra y por mar</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Permite disponer de grandes volúmenes de agua para usos productivos y otros, como por ejemplo: riego en zonas que presentan sequía o baja disponibilidad del recurso.</li> <li>-Permite combatir la sequía, brindando agua para la población a nivel industrial, generando empleos nuevos e inversiones en plantaciones agrícolas y logística productiva con impacto en las exportaciones agroalimentarias.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Son megaproyectos que requieren numerosas autorizaciones para dar cumplimiento a la legislación de agua, ambiental y uso del borde costero, por lo que son iniciativas a implementar en un largo plazo.</li> <li>-Dependiendo de la cuenca y el tipo de intervención, pueden presentar externalidades en los ecosistemas terrestres, acuáticos y la biodiversidad que sostiene cada una de éstos, además de suelos y paisajes.</li> <li>-El traslado de aguas desde el sur hasta el norte de Chile implica un cambio en el ciclo hidrológico local de ambas zonas.</li> <li>-Requiere desarrollo de infraestructura gris para conducir el agua con externalidades que deben ser evaluadas. Ante riesgos e incertidumbres climáticas la intervención a gran escala puede dejar externalidades no deseadas.</li> <li>-Conflicto social medio debido a la oposición por parte de la comunidad desde donde se extrae el recurso hídrico para ser trasladado.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia. Escenarios Hídricos 2030, basado en Peña (2019), Figueroa (2019), Figueroa y Bruna (2019) y Herrera (2019).

## 5.6. ANALISIS DE ALGUNAS MEDIDAS, ACCIONES Y SOLUCIONES PERTINENTES EN LAS CUENCAS SELECCIONADAS.

Los siguientes cuadros, tienen como propósito mostrar de forma estimada y cualitativa, los aportes de cada una de las medidas, acciones y soluciones consideradas pertinentes para resolver los problemas hídricos de las cuencas estudiadas. Se analiza el conjunto de soluciones desde diferentes perspectivas,

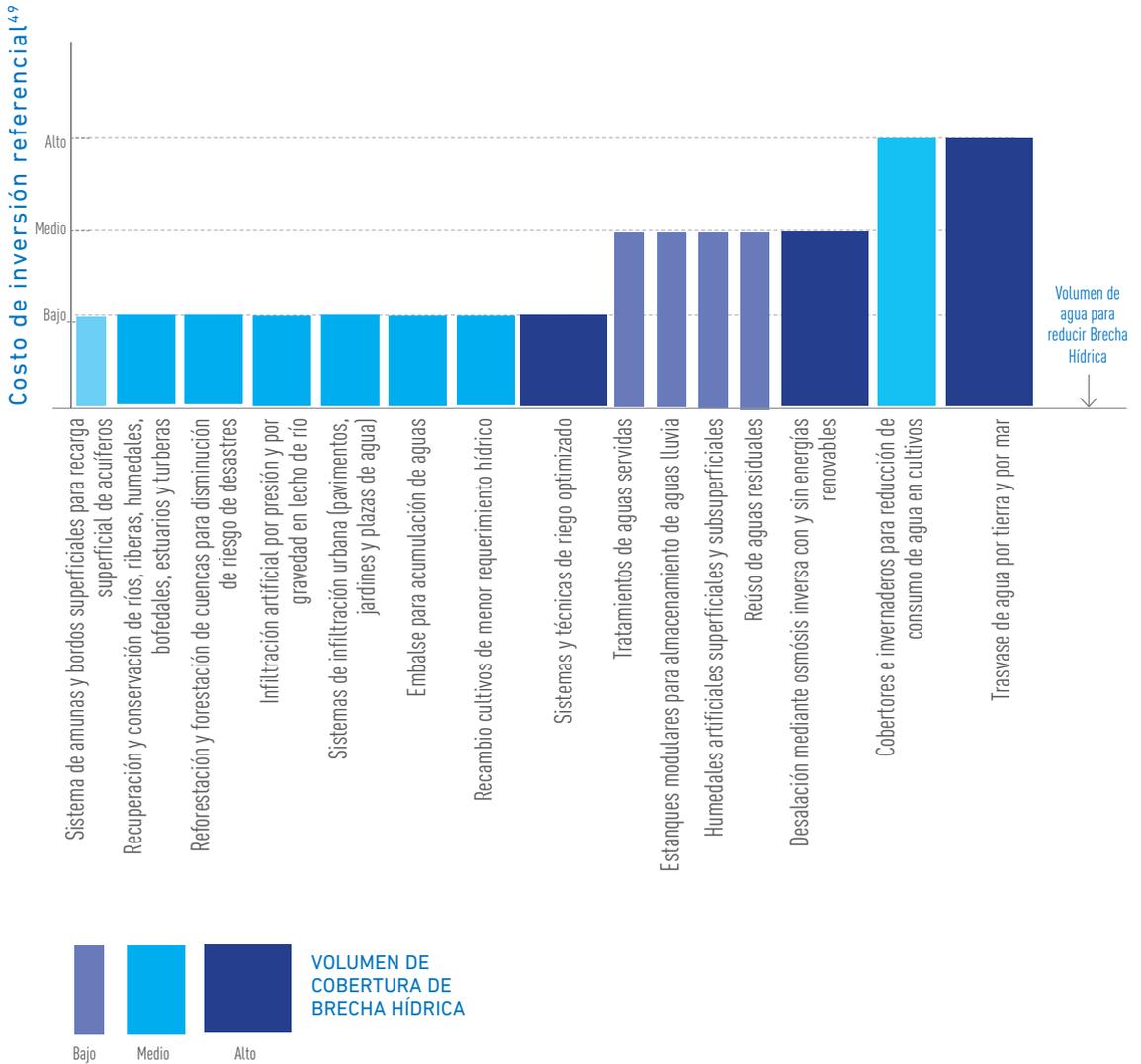
que incluyen el nivel de costos de inversión, los volúmenes de agua que pueden aportar a las cuencas para reducir la Brecha Hídrica, su evaluación de impacto ambiental y social, así como los aspectos regulatorios e institucionales que posibilitan su implementación.

### Consideraciones:

- Cabe señalar que estas evaluaciones se hicieron en base a las características técnicas -con base científica- de cada una de las soluciones, independiente de la cuenca donde sean implementadas. Para su adecuado análisis, deberán ser posteriormente dimensionadas según el contexto territorial.
- Estos análisis NO consideran las posibles medidas de mitigación y compensación que se pueden realizar para minimizar los potenciales riesgos e impactos, así como las externalidades negativas que generan, aspectos que deberán ser considerados una vez que sean emplazadas y dimensionadas en los territorios y contextos específicos.
- Estos cuadros presentan un análisis comparativo cualitativo de algunas alternativas identificadas en el portafolio MAS, como aporte a la planificación y toma de decisiones. Para reducir la Brecha Hídrica en las cuencas, es necesario considerar un conjunto amplio de soluciones complementarias y NO seleccionar o descartar "a priori" ninguna de ellas.
- Las MAS han sido analizadas también desde el punto de vista de su posible habilitación (corto, mediano y largo plazo), lo que considera su eventual ingreso al SEIA o regulación sectorial respectiva. Sin embargo, el análisis realizado a cada MAS, responde a criterios científicos/ técnicos, nacionales e internacionales, que no en todos los casos se enmarcan en la legislación vigente y, por lo tanto, requieren de ajustes legales o administrativos que han sido indicados en las fichas del portafolio correspondientes.

LOS ANÁLISIS REGULATORIOS, SOCIALES, AMBIENTALES Y COSTOS DE INVERSIÓN REFERENCIALES, FUERON EVALUADOS POR EXPERTOS EN CADA ÁREA, CUYOS INFORMES PUEDEN ENCONTRARSE EN EL ANEXO "INFORMES DE EXPERTOS".

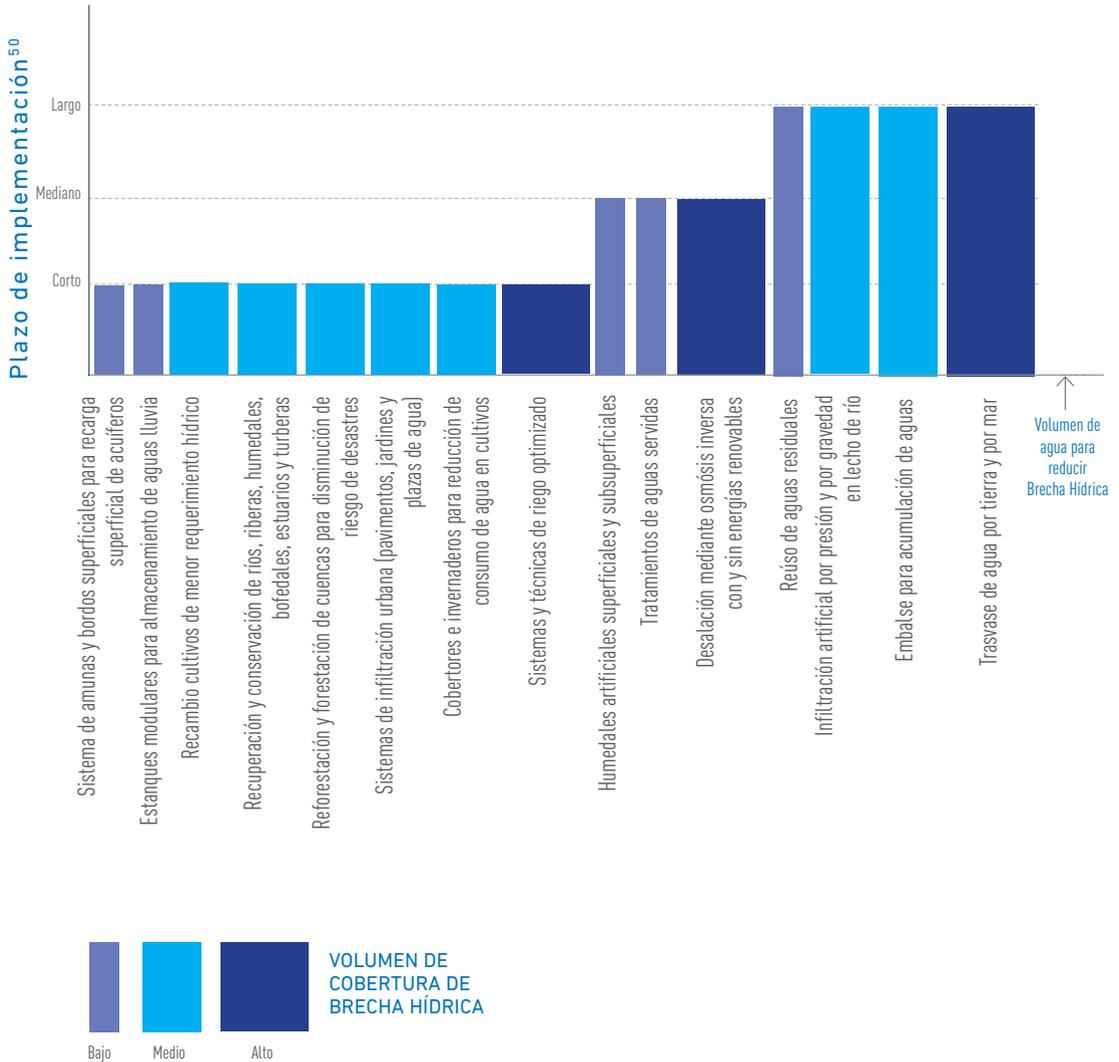
**FIGURA 14: ANÁLISIS DE COSTOS DE INVERSIÓN REFERENCIAL<sup>49</sup>**  
**DE ALGUNAS MEDIDAS, ACCIONES Y SOLUCIONES QUE APORTAN**  
**A DISMINUIR LA BRECHA HÍDRICA**



49. Para determinar el costo de inversión referencial, se ha considerado una misma base de cálculo normalizada que contempla la producción, ahorro o recuperación de 1m<sup>3</sup>/s de agua.

Fuente: Elaboración propia. Basado en antecedentes referenciales de información generada por Homsy y Soto (2019), estudio elaborado para EH2030.

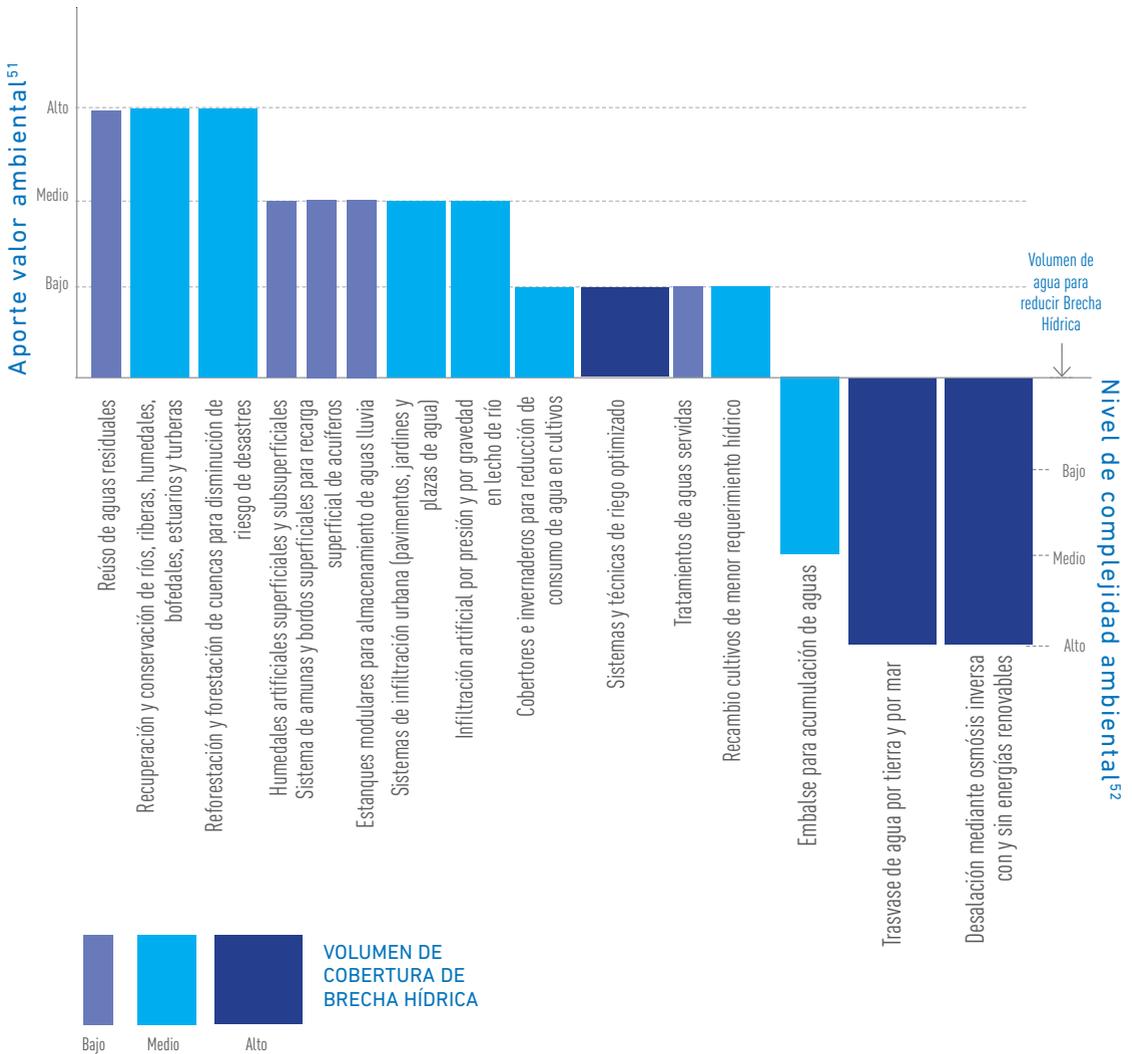
**FIGURA 15: ANÁLISIS REGULATORIO E INSTITUCIONAL<sup>50</sup>**  
**DE ALGUNAS MEDIDAS, ACCIONES Y SOLUCIONES QUE APORTAN A DISMINUIR LA BRECHA HÍDRICA**



50. Se consideran soluciones de corto plazo aquellas que dependen solo de la decisión del interesado; de mediano plazo las que están sujetas a permisos o decisiones de terceros para implementarse; y de largo plazo aquellos proyectos mayores que requieren de la preparación de estudios complejos (plazos previstos de más de 2 años), suponen acuerdos con numerosos actores o dependen del cambio de políticas públicas, con plazos previstos de más de 5 años (Peña, 2019, estudio realizado para EH2030).

Fuente: Elaboración propia. Basado en información extraída de Peña (2019), estudio elaborado para EH2030.

**FIGURA 16: ANÁLISIS AMBIENTAL DE ALGUNAS MEDIDAS, ACCIONES Y SOLUCIONES QUE APORTAN A DISMINUIR LA BRECHA HÍDRICA**



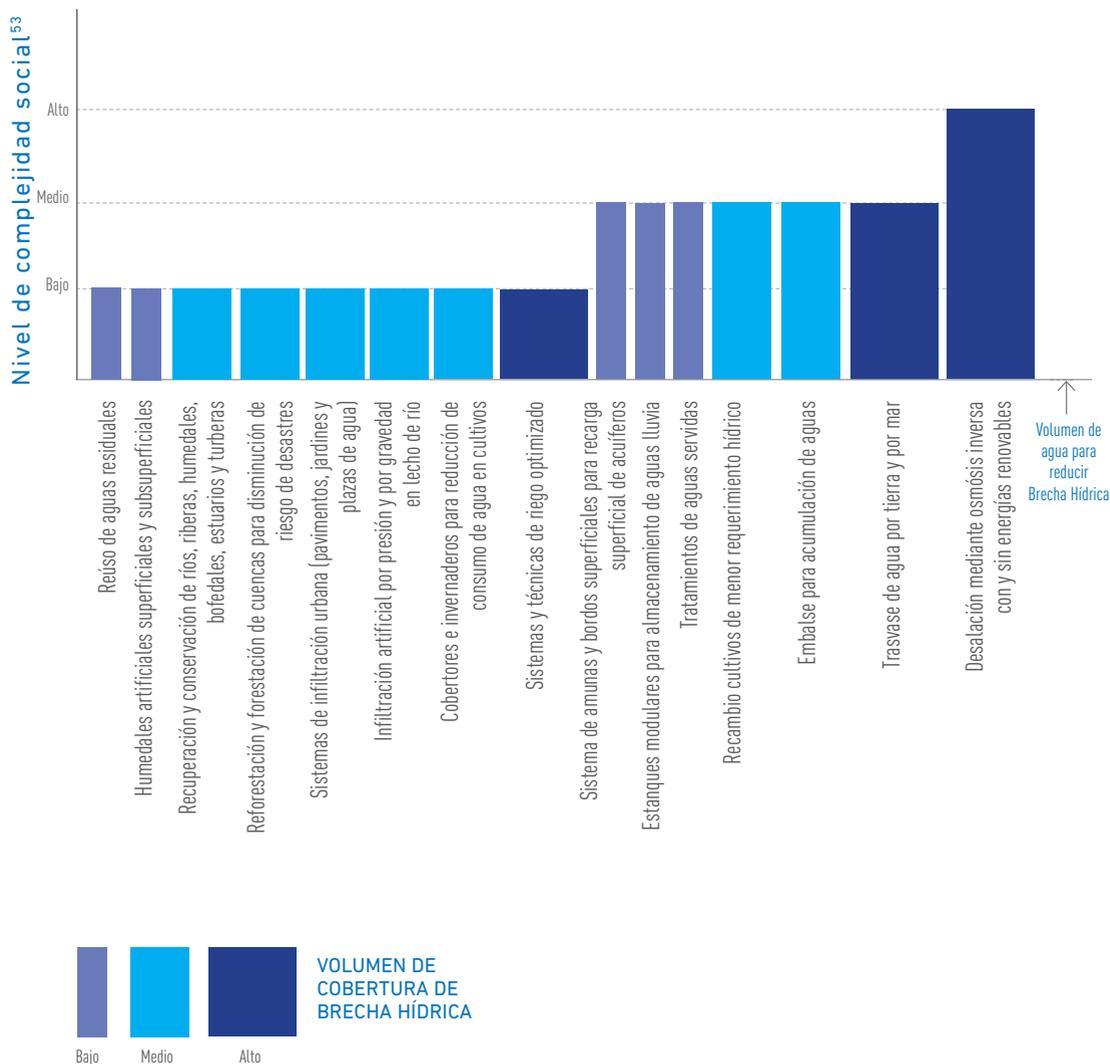
*Nota: La Sociedad Nacional de Minería no comparte el contenido de este cuadro, pues (a su juicio) la evaluación ambiental debe ser hecha para cada proyecto en particular, y vinculado al territorio donde se desarrolla. Según SONAMI, un análisis generalizado como el mostrado aquí, puede llevar a conclusiones erradas respecto a sus beneficios y costos.*

51. Dado por la contribución en la recuperación de vegetación y resiliencia, hábitat, especies endémicas, procesos hidrológicos, mejora de calidad de aguas y conservación del recurso.

52. Se entiende como las complejidades, derivadas a impactos negativos en los componentes aire, suelo y agua, que debieran mitigarse y compensarse al momento de ser implementadas.

Fuente: Elaboración propia. Basado en información extraída de Figueroa y Bruna (2019), estudio elaborado para EH2030.

**FIGURA 17: ANÁLISIS SOCIAL DE ALGUNAS MEDIDAS, ACCIONES Y SOLUCIONES QUE APORTAN A DISMINUIR LA BRECHA HÍDRICA**



53. Se entiende como las complejidades, derivadas a impactos negativos, conflictos sociales, rechazo por parte de las comunidades y beneficios limitados.

Fuente: Elaboración propia. Basado en información extraída de Herrera (2019), estudio elaborado para EH2030.

## LOS IMPACTOS ESPECÍFICOS Y COMBINACIÓN ÓPTIMA DE LAS MAS, DEBEN SER EVALUADOS Y AJUSTADOS EN CADA UNO DE LOS TERRITORIOS DONDE SE VAYAN A IMPLEMENTAR.

### DEL ANÁLISIS REALIZADO EMERGEN ALGUNOS MENSAJES RELEVANTES A DESTACAR

- **Existe un grupo importante de medidas, acciones y soluciones relacionadas con conservación y protección de ecosistemas hídricos,**

así como uso eficiente y estratégico del recurso hídrico, que tienen costos de inversión bajos, aportan volúmenes medios de agua, pueden ser desarrolladas en un corto plazo, tienen un impacto social bajo o inexistente y generan un impacto positivo en el medio ambiente. Se han identificado oportunidades para incentivar estas medidas, las que han sido desarrolladas en el portafolio **MAS Seguridad Hídrica** que consideran por ejemplo: fondos de agua, recarga e infiltración de acuíferos, incentivos para la eficiencia hídrica, mejoramiento del caudal ecológico, entre otras.

- **Un grupo menor de medidas relacionadas con nuevas fuentes de agua, específicamente desalinización y trasvase de agua por tierra y mar,**

permiten incorporar agua para reducir Brecha Hídrica, sin embargo, presentan mayor complejidad ambiental y social. En cuanto a tiempos de implementación y costos referenciales de inversión, la desalación se implementa en el mediano plazo con un costo medio y el trasvase en el largo plazo con costos altos de inversión.

- **El conjunto de medidas que presentan mayores complejidades ambientales y sociales, deben considerar medidas de mitigación y compensación** para su adecuada implementación<sup>54</sup>.

Finalmente, los cuadros destacan la necesidad de evaluar las opciones a implementar, no solo desde el punto de vista técnico y económico, sino que considerando con la misma importancia las variables ambientales y sociales, debido a la urgencia de adaptación al Cambio Climático y la complejidad hídrica que enfrenta el país.

---

54. En Chile de acuerdo a la legislación vigente los proyectos deben, según sus características, ingresar al SEIA o ser evaluados por la regulación sectorial respectiva. Estos instrumentos definen, según la evaluación de impactos realizada, los tipos de medidas de mitigación y compensación requerida.

## 5.7. UNA MIRADA AL TERRITORIO

De acuerdo a lo planteado en el apartado anterior, los grandes objetivos que surgen para las problemáticas de las cuencas están relacionados con: búsqueda de mecanismos institucionales, legales y financieros para lograr a una mejor gestión, colaboración y coordinación entre usuarios (gestión de cuencas); alternativas para aumentar la oferta de agua en las actividades económicas, productivas y humanas (incrementar oferta hídrica) y reducción del consumo de agua para producir la misma cantidad de producto o conseguir igual objetivo (optimización de la demanda).

La variedad de MAS que a continuación se presentan, corresponden a una propuesta generada por los diversos actores participantes del proceso de EH2030, tanto a nivel central como en territorio, permitiendo obtener una primera mirada de los diversos instrumentos que son de interés y pertinentes de aplicar en las cuencas para disminuir la Brecha Hídrica existente. Esto no corresponde a soluciones implementadas y/o diseñadas en cada territorio, puesto que para determinar qué instrumentos son los adecuados, hace falta dimensionarlos y situarlos en cada zona estudiada.

Dentro de las diversas herramientas para gestionar la oferta hídrica, el reúso de aguas residuales tratadas, tanto a nivel urbano como rural, se consideró pertinente para las cuencas de Copiapó, Aconcagua, Maipo y Maule, así como también la utilización de "desalación

mediante osmosis inversa con energía renovable". La "recuperación y conservación de ríos" fue seleccionada también por estas cuatro cuencas como mecanismos de recarga de acuíferos, mientras que la "restauración de riberas de ríos para mejorar servicios ecosistémicos", se escogió como opción para la conservación de las fuentes de agua en Lebu.

Las cuencas de los ríos Copiapó, Aconcagua y Maipo presentan una mayor similitud en la variedad de instrumentos considerados pertinentes para ellas. La "nanofiltración para pre-tratamiento en purificación de agua de mar" fue seleccionada para las tres cuencas mencionadas, así como también las distintas alternativas disponibles de trasvase de aguas, tanto por tierra y mar, junto a la "matriz única de distribución de agua", que se plantea a nivel de cuenca o región. Dentro de las opciones de conservación, se tomaron en cuenta para las tres cuencas "barreras de contención para retardar derretimiento de glaciares", "conservación y recuperación de humedales naturales y de bofedales".

Por otro lado, las cuencas del río Maule, Maipo y Aconcagua relevaron variados instrumentos para la recarga de acuíferos, dentro de los que se destacan "infiltración para recarga de acuíferos por gravedad y en lecho de río" y "reforestación y forestación de cuencas para disminución de riesgo de desastres".

Diversas herramientas de gestión hídrica y gobernanza fueron identificadas en las cuatro

cuencas. Dentro de los instrumentos legales e Institucionales destaca principalmente la "Gestión Integrada de Recursos Hídricos", la creación de un "Sistema nacional integrado de información de agua", el "fortalecimiento, fiscalización y gestión del recurso hídrico", "coordinación de organizaciones de usuarios de agua" e "incentivos para áreas de protección", entre otras.

Dentro de los instrumentos financieros sobresalen el "intercambio de volúmenes de agua entre usuarios (SWAPS)" e "incentivos al ahorro y eficiencia en sectores productivos".

Además de lo anterior, solo las cuencas de los ríos Maule, Maipo y Aconcagua destacaron instrumentos educacionales, siendo el "monitoreo y modelización participativa" el común denominador en todas ellas.

La cuenca de Lebu, en particular, relevó las acciones de conservación para recuperar los servicios ecosistémicos y, por otro lado, los sistemas simples para tratamiento de agua potable y aguas servidas como nuevas fuentes de agua.

A continuación, se muestran las MAS preseleccionadas por los actores de las cuencas trabajadas, las que en una segunda fase deberán ser analizadas con mayor detalle para evaluar su factibilidad y beneficios de su implementación.



**TABLA 7: GESTIÓN E INSTITUCIONALIDAD DEL AGUA**

Nombre MAS	PERTINENCIAS					
	Copiapó	Aconcagua	Maipo	Maule	Lebu	Baker
Ordenamiento territorial para una mejor gestión hídrica						
Fomento al riego en un marco de gestión integrada de los recursos hídricos						
Mejora y complementación de la normativa ambiental						
Desarrollo de un papel municipal activo en el tema hídrico						
Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH)						
Derecho Humano al agua						
Reservas y áreas de protección de recursos hídricos						
Incentivos para la recarga e infiltración de acuíferos						
Mejoramiento del caudal ecológico como instrumento de gestión						
Incentivos para eficiencia y uso sustentable del agua en los sectores productivos						
Estándar Internacional para la Gestión Sostenible del agua						
Responsabilidad Social Empresarial (RSE)						
Acuerdo Voluntario de Gestión de Cuencas (AVGC)						
Sistema nacional integrado de información del agua						
Coordinación y fortalecimiento de Organizaciones de Usuarios de Aguas (OUAs)						
Economía circular del agua						
SWAP de fuentes de abastecimiento de agua						
Fondos de agua						
Competencias de innovación en el tema hídrico						
Pago por servicios ecosistémicos y Acuerdos recíprocos de Agua						
Financiamiento comunitario a soluciones hídricas o crowdfunding						
Contratos de opción de volúmenes de agua						
Campañas educativas en el uso eficiente del agua						
Monitoreo y modelización participativa						
Fiscalización ciudadana o guardianes del medio ambiente						
Sistema nacional de monitoreo, información e investigación hídricas						

Fuente: Elaboración propia EH2030.



**TABLA 8: CONSERVACIÓN Y PROTECCIÓN DE NUESTROS ECOSISTEMAS HÍDRICOS**

Nombre MAS	PERTINENCIAS					
	Copiapó	Aconcagua	Maipo	Maule	Lebu	Baker
Recuperación y conservación de humedales naturales						
Recuperación y conservación de estuarios						
Recuperación de riberas de ríos para mejorar servicios ecosistémicos						
Recuperación y conservación de ríos						
Reforestación y forestación de cuencas para disminución de riesgo de desastres						
Recuperación y conservación de bofedales						
Recuperación y conservación de turberas						
Tecnosoles para recuperación de humedales						
Infiltración para recarga de acuíferos por gravedad y en lecho de río						
Infiltración para recarga de acuíferos por presión						
Pavimentos permeables						
Plazas de agua para recolección de agua lluvia						
Sistema tradicional de captación y almacenamiento de aguas lluvias (Cochas/O'ochas/Tipishcas/Jagüeyes)						
Bordos superficiales para disminuir la escorrentía (Jollas)						
Jardines de lluvia para recolección de agua de escorrentía						

Fuente: Elaboración propia EH2030.



**TABLA 9: EFICIENCIA Y USO ESTRATÉGICO DEL RECURSO HÍDRICO**

Nombre MAS	PERTINENCIAS					
	Copiapó	Aconcagua	Maipo	Maule	Lebu	Baker
Conducción cerrada de agua						
Sistema de conducción de agua con energías renovables						
Mejoramiento y reconstrucción de canales de riego para evitar pérdidas por infiltración						
Embalse para acumulación de aguas						
Esferas para evitar evaporación de estanques expuestos						
Bomba presurizadora de agua para mantener la presión en redes de agua						
Detección de fugas de aguas por sistema electroacústico (Geófono)						
Uso de imágenes satelitales para la detección de fugas de agua						
Sistemas de riego para la optimización del consumo de agua en la agricultura						
Agricultura de precisión con técnicas de riego deficitario controlado						
Automatización del riego en agricultura						
Riego Subterráneo						
Cobertura de techos para retener humedad en cultivos						
Invernaderos convencionales						
Labranza de conservación mínima o cero						
Cultivo de contorno para reducir evaporación de humedad del suelo						
Hidrogel en raíces para reducir el uso de agua en el riego						
Agricultura vertical en invernaderos						
Cambio a vegetación nativa de menor requerimiento hídrico en áreas verdes urbanas						
Mulch para retener humedad en el suelo						
Sistemas de ahorro en griferías y mangueras						
Monitoreo de presión al interior de las redes para controlar pérdidas y consumo (WES®)						

Fuente: Elaboración propia EH2030.



**TABLA 10: MIGRACIÓN E INCORPORACIÓN DE NUEVAS FUENTES DE AGUA**

Nombre MAS	PERTINENCIAS					
	Copiapó	Aconcagua	Maipo	Maule	Lebu	Baker
Trasvase de largas distancias tipo "carretera hídrica"						
Trasvase por mar o "proyecto Aquatagama"						
Siembra de nubes						
Desalación mediante osmosis inversa producida con energía renovables						
Microfiltración (MF)						
Reúso de aguas residuales urbanas en emisarios submarinos						
Reutilización agua residual rural						
Humedal artificial superficial						
Humedal artificial subsuperficial						
Biorreactor de lecho móvil (MBBR) para tratamiento de aguas residuales						
Lombrifiltro para tratamiento aguas servidas						
Tratamiento con lodos activados para su aplicación en aguas servidas						
Reactor anaerobio para tratamiento de aguas residuales						
Biodiscos (CBR) para tratamiento de aguas servidas						
Tratamientos biológicos de compuestos con nitrógeno						
Trampa de aceites y grasas con adición de insumos biológicos como pre-tratamiento para aguas residuales						
Purificación de agua con tecnología de plasma						

Fuente: Elaboración propia EH2030.

**TABLA 11: MAS QUE SE REPITEN EN LAS CUENCAS SELECCIONADAS**

Nombre MAS	Cuencas
<p><b>GESTIÓN E INSTITUCIONALIDAD</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gestión Integrada de Recursos Hídricos</li> <li>- Coordinación y fortalecimiento de Organizaciones de Usuarios de Aguas</li> <li>- Sistema nacional integrado de información del agua</li> <li>- Sistema nacional de monitoreo, información e investigación hídricas</li> </ul> <p><b>MIGRACIÓN E INCORPORACIÓN DE NUEVAS FUENTES DE AGUA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reúso de aguas residuales rurales</li> </ul>	<p><b>Seleccionadas por las seis cuencas</b></p>
<p><b>GESTIÓN E INSTITUCIONALIDAD</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reservas y áreas de protección de recursos hídricos</li> </ul> <p><b>CONSERVACIÓN Y PROTECCIÓN DE NUESTROS ECOSISTEMAS HÍDRICOS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Recuperación y conservación de ríos</li> <li>- Recuperación de riberas de ríos para mejorar servicios ecosistémicos</li> <li>- Recuperación y conservación de humedales naturales</li> <li>- Reforestación y forestación de cuencas para disminución de riesgo de desastres</li> </ul> <p><b>MIGRACIÓN E INCORPORACIÓN DE NUEVAS FUENTES DE AGUA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reúso de aguas residuales urbanas en emisarios submarinos</li> </ul>	<p><b>Seleccionadas por cinco cuencas</b></p>
<p><b>GESTIÓN E INSTITUCIONALIDAD</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Derecho humano al agua</li> <li>- Mejoramiento del caudal ecológico como instrumento de gestión</li> <li>- SWAP de fuentes de abastecimiento de agua</li> <li>- Pago por servicios ecosistémicos y acuerdos recíprocos de agua</li> <li>- Incentivos para eficiencia y uso sustentable del agua en los sectores productivos</li> <li>- Monitoreo y modelización participativa</li> </ul> <p><b>CONSERVACIÓN Y PROTECCIÓN DE NUESTROS ECOSISTEMAS HÍDRICOS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Infiltración para recarga de acuíferos por gravedad y en lecho de río</li> </ul> <p><b>EFICIENCIA Y USO ESTRATEGICO DEL RECURSO</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cambio a vegetación nativa de menor requerimiento hídrico en áreas verdes urbanas</li> </ul> <p><b>MIGRACIÓN E INCORPORACIÓN DE NUEVAS FUENTES DE AGUA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Lombrifiltro para tratamiento de aguas servidas</li> <li>- Desalación mediante osmosis inversa producida con energía renovable</li> </ul>	<p><b>Seleccionadas por cuatro cuencas</b></p>

Fuente: Elaboración propia EH2030.

## 5.8. LA NECESIDAD DE UNA POLÍTICA HÍDRICA DE ESTADO QUE MOVILICE LA TRANSICIÓN HÍDRICA

Es posible señalar que Chile ha tenido avances en materia hídrica, sin embargo, el nuevo contexto de desarrollo y Cambio Climático exige una mayor celeridad en el proceso de adaptación a estos nuevos escenarios.

El país no cuenta hasta el momento con una política hídrica de largo plazo, construida de manera colectiva, a través de un proceso de diálogo y en base a acuerdos mínimos entre los actores claves e interesados directos en el agua. Una política que cuente con la necesaria validación social, política y técnica, que además aborde los desafíos actuales como los vacíos legales e institucionales, la sobreexplotación del recurso y los efectos del Cambio Climático.

Mientras no haya voluntad política para el desarrollo de este instrumento y el debate se restrinja a la modificación del Código de Aguas, no se podrá iniciar una Transición Hídrica

eficaz y con la urgencia que se requiere para asegurar el desarrollo país. En Chile se conocen experiencias exitosas de desarrollo de políticas públicas, como es el caso de la energía que, con la participación de los distintos actores y el liderazgo del Estado, fue capaz de desarrollar una política estatal que cambió un entorno energético incierto y contaminante, por un futuro innovador, no contaminante y diverso. Se ha logrado un liderazgo internacional en esta materia, donde la diversificación de la matriz energética, precios más competitivos, reducción de emisiones, desarrollo de proyectos de generación y disminución de conflictos en los territorios, no son resultados del azar, sino producto de un esfuerzo de la política pública que trasciende a los gobiernos y períodos presidenciales. Como insumo para el debate público y, en base a los ejes de la Transición Hídrica, Escenarios Hídricos 2030 plantea una serie de preguntas abiertas que debieran ser respondidas, abordadas e incluidas en los lineamientos, objetivos, acciones y metas de una política hídrica de Estado, considerando un conjunto de leyes, normas, regulaciones e incentivos que permitan su habilitación.

ESCENARIOS HÍDRICOS 2030 PLANTEA UNA SERIE DE PREGUNTAS ABIERTAS QUE DEBIERAN SER RESPONDIDAS, ABORDADAS E INCLUIDAS EN UNA POLÍTICA HÍDRICA DE ESTADO.



## 1. GESTIÓN E INSTITUCIONALIDAD DEL AGUA

- ¿Cómo la política pública le asignará la prioridad al agua para sostener el desarrollo país?
- ¿Cuáles serán los lineamientos estructurantes de la Política Hídrica Nacional y cómo se procurará el seguimiento de su implementación y la continuidad frente a cambios de gobiernos o coaliciones políticas?
- Actualmente existe una gobernanza dispersa con 43 instituciones involucradas en la gestión del agua, ¿cuál es el modelo de institucionalidad de agua que Chile adoptará para encabezar la gestión del recurso a nivel nacional?
- ¿Cuál será el rol de los sectores productivos, las comunidades, la academia y el sector público en la gestión del recurso hídrico a nivel nacional y en las cuencas?

### Gestión del Recurso Hídrico en el territorio:

- ¿Bajo qué modelo se desarrollará la gestión del agua a nivel de cuenca?
- ¿Cuál será el rol, objetivos y metas que tendrá la gestión integrada de recursos hídricos por cuenca? ¿Cómo se medirán sus avances y mejoras?



## 2. CONSERVACIÓN Y PROTECCIÓN DE NUESTROS ECOSISTEMAS HÍDRICOS

- ¿Qué medidas prioritarias se tomarán para conservar los ecosistemas hídricos, como ríos, riberas, acuíferos, humedales, bofedales, turberas, entre otros y los servicios ambientales que éstos prestan? ¿Cuáles son las figuras de protección que son posibles de implementar?
- ¿Cuáles son las instituciones y actores que deben liderar los procesos de protección, conservación y restauración de estos ecosistemas hídricos a nivel nacional y de cuenca?
- ¿Qué tipo de mecanismos, incentivos y desincentivos se deben desarrollar para abordar este tema?
- ¿Cómo se compatibilizan el desarrollo e inversiones con las medidas de conservación y protección de los ecosistemas hídricos?



## 3. EFICIENCIA Y USO ESTRATÉGICO DEL RECURSO HÍDRICO

- ¿Cómo se deben priorizar los usos del agua dulce y cómo se materializa en términos de política, regulación y normativa?
- ¿Qué tipo de medidas e incentivos son necesarios para lograr un uso eficiente y estratégico del agua, donde exista un desarrollo diversificado y se alcance la sustentabilidad hídrica, asegurando los caudales ecológicos, el consumo humano a nivel urbano y rural, así como el uso por parte de pequeños productores vulnerables?
- ¿Cómo se resolverá la sobreexplotación de las fuentes de agua existente y el sobre otorgamiento de derechos de agua que produce el estrés hídrico?

## 4. MIGRACIÓN E INCORPORACIÓN DE NUEVAS FUENTES DE AGUA

- ¿Cuáles son las medidas a implementar para incorporar nuevas fuentes de agua que permitan el desarrollo productivo?
- ¿Bajo qué mecanismos y financiamiento se implementarán las diferentes medidas?
- ¿Cómo se incentiva que los usuarios intensivos en consumo de agua, migren hacia nuevas fuentes de agua, reduciendo su extracción desde la cuenca (regulaciones, incentivos, recursos financieros, otros)?
- ¿Cómo se mitigarán y compensarán los efectos e impactos que producen las diferentes medidas a implementar (impactos sociales, ambientales, etc)?
- ¿Qué rol tiene la innovación, la I+D+i y emprendimiento en el desarrollo de tecnologías y medidas que aborden la Brecha y Riesgo Hídrico?
- ¿Cómo se incentivará que las grandes obras se realicen en forma sinérgica, multipropósito y colaborativa en los territorios, que son compartidos por múltiples usuarios?





EN ESTE PROCESO TAMBIÉN SE HAN VALORADO Y RECOGIDO LOS DISEÑOS COMO UNA PARTE FUNDAMENTAL PARA LOGRAR LA SUSTENTABILIDAD HÍDRICA QUE CHILE NECESITA.



DEBEMOS REDOBLAR ESFUERZOS PARA GENERAR CONFIANZAS Y LLEGAR A ACUERDOS SOBRE SOLUCIONES COLABORATIVAS EN BENEFICIO DEL PAÍS.



## 6. REFLEXIONANDO **EL FUTURO**

El proceso de diálogo de Escenarios Hídricos 2030 ha sido fructífero hasta el momento, con varios acuerdos sobre la problemática en las cuencas y oportunidades para avanzar, siendo la participación activa de los actores en el territorio un elemento clave. Aun así, el camino ha sido complejo y con diferencias. En este proceso también se ha valorado y recogido los disensos como una parte fundamental para lograr la sustentabilidad hídrica que Chile necesita. Algunas organizaciones participantes no comparten necesariamente la totalidad de las metodologías o resultados obtenidos en esta publicación. Lo anterior, refleja los debates de agua a nivel nacional que han impedido el avance en esta materia. Esto es una de las principales razones por lo que se valora la invitación de la iniciativa a dialogar desde los disensos para aumentar los acuerdos y poder avanzar en una hoja de ruta compartida.

Estamos en el momento de cambiar nuestro propio destino e iniciar un camino desde una nueva ética, enfocado en una economía circular, donde se desacople el desarrollo

económico del uso de los recursos naturales que son limitados, asegurando así nuestra estabilidad, crecimiento y desarrollo, presente y futuro. Iniciar una Transición Hídrica para alcanzar la seguridad es urgente. Debemos redoblar esfuerzos para generar confianzas y llegar a acuerdos sobre soluciones colaborativas en beneficio del país.

La experiencia y evidencia internacional nos está mostrando que, los Estados que están tomando conciencia y reconociendo la actual emergencia climática y los Riesgos Hídricos que esto conlleva, están llegando a la convicción necesaria para impulsar aquellas reformas necesarias para la gestión del agua en este crítico nuevo escenario.

En el caso de Chile, el escenario sustentable de las cuencas estudiadas, indica la necesidad de impulsar cambios entre los cuales se destacan:

**LA EXPERIENCIA Y EVIDENCIA INTERNACIONAL NOS ESTÁ MOSTRANDO QUE, LOS ESTADOS QUE ESTÁN TOMANDO CONCIENCIA Y RECONOCIENDO LA ACTUAL EMERGENCIA CLIMÁTICA Y LOS RIESGOS HÍDRICOS QUE ESTO CONLLEVA, ESTÁN LLEGANDO A LA CONVICCIÓN NECESARIA PARA IMPULSAR AQUELLAS REFORMAS NECESARIAS PARA LA GESTIÓN DEL AGUA EN ESTE CRÍTICO NUEVO ESCENARIO.**

## DEBEMOS REDOBLAR ESFUERZOS PARA GENERAR CONFIANZAS Y LLEGAR A ACUERDOS SOBRE SOLUCIONES COLABORATIVAS EN BENEFICIO DEL PAÍS.

- 1) **Definir una institucionalidad** y normativa adecuada, junto con una coordinación funcional entre las instituciones.
- 2) Modificar la forma de **gestionar y disponibilizar** la información.
- 3) **Contar con una gobernanza** a nivel de cuencas, representada por los diferentes usuarios del agua para encabezar la GIRH.
- 4) **Eficiencia** en el consumo de agua por parte de todos los usuarios, utilizando el recurso en forma estratégica y sustentable en las cuencas.
- 5) **Mayor colaboración** público privada y **visión multipropósito** para la implementación de soluciones hídricas de largo plazo.
- 6) **Conservación**, restauración y reparación de los ecosistemas hídricos como principales aportantes de agua.
- 7) **Acceso óptimo** al agua potable para todos y de calidad.

Concluida esta primera fase, Escenarios Hídricos 2030 continuará trabajando en movilizar, de manera colaborativa, la implementación de medidas, acciones y soluciones multipropósito, sinérgicas y contextualizadas a las necesidades de las cuencas, destacando el sentido de urgencia por avanzar y sostener el desarrollo económico, la producción de alimentos, la equidad social y el medio ambiente.

Se trabajará en un modelo de cuenca replicable, que permitirá abrir nuevos nichos de mercado para la innovación y participación de diversos actores en todos los niveles; habilitar oportunidades para el planteamiento de soluciones; apoyar el avance hacia la seguridad hídrica en todas las cadenas productivas que utilizan el agua como su motor de desarrollo, integrando a los sectores vulnerables; disminución de la Brecha Hídrica para reducir las externalidades negativas (sociales, ambientales y económicas), aumentar la resiliencia y habilitar el desarrollo diversificado del país, en un escenario de Cambio Climático.

***Te invitamos a ser parte de la Transición Hídrica para asegurar el futuro del agua en Chile.***



© Big Chile

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

**Acuífero:** Formación geológica permeable susceptible de almacenar agua en su interior y ceder parte de ella (DGA, 2016c).

**Beneficios:** Descripción de las principales ventajas de la medida para solucionar el problema. Incluir aquí las externalidades o resultados indirectos de la medida que sean positivos.

**Brecha Hídrica:** Indicador que muestra la relación entre la demanda potencial de agua y la oferta hídrica disponible en las fuentes de abastecimiento.

**Calidad insuficiente:** Comprende las aguas no adecuadas para la conservación de las comunidades acuáticas o su aprovechamiento para los usos prioritarios sin el tratamiento adecuado (Girardi *et al.*, 2018).

**Cambio Climático:** Se entiende un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables (Ley 19.300 de Bases Generales del Medio Ambiente, Chile).

**Captar:** Volumen de agua dulce superficial y/o subterránea extraída de fuentes naturales para ser utilizada por diferentes usuarios. En algunos casos, también se considera el agua atmosférica.

**Condiciones habilitadoras:** Son las condiciones del entorno que pueden facilitar o retardar la implementación de las MAS, entre las cuales se encuentran

los mecanismos financieros, los temas legales, institucionales y de coordinación (gobernanza), así como los mecanismos para inducción de comportamiento (Peña, 2019. Para EH2030, 2019). Estos factores se traducen en tiempos de implementación de corto, mediano y largo plazo.

### Conservación del Patrimonio Ambiental:

El uso y aprovechamiento racional o la reparación, en su caso, de los componentes del medio ambiente, especialmente aquellos propios del país que sean únicos, escasos o representativos, con el objeto de asegurar su permanencia y su capacidad de regeneración (Ley 19.300 de Bases Generales del Medio Ambiente, Chile).

### Consumo Huella Hídrica Azul:

Volumen de agua fresca extraída de fuentes, superficiales y/o subterráneas, por parte de diferentes usuarios, que no retorna al ambiente de donde se extrajo. Puede ocurrir por: a) evaporación o evapotranspiración del agua; b) incorporación del agua en el producto; c) agua que no retorna a la misma cuenca de extracción o que se descarga al mar; d) agua que retorna en un periodo de tiempo distinto al que se extrajo.

### Consumo Huella Hídrica Verde:

Volumen de agua lluvia utilizada por parte de diferentes sectores, que queda temporalmente almacenada en la parte superficial del suelo o en la vegetación.

**Contaminación:** La presencia en el ambiente de sustancias, elementos, energía o combinación de ellos, en concentraciones o concentraciones y permanencia superiores o

inferiores, según corresponda, a las establecidas en la legislación vigente (Ley 19.300 de Bases Generales del Medio Ambiente, Chile).

**Corto Plazo:** Se consideran soluciones de corto plazo aquellas que dependen solo de la decisión del interesado (Peña, 2019, estudio realizado para EH2030).

**Costos referenciales:** La sección costos corresponde a una estimación aproximada del CAPEX (gastos de capital) y OPEX (gastos operativos) de la medida a una escala y dimensión establecida para efectos del cálculo con información de costos reales de las mismas medidas implementadas en territorio chileno. Las medidas que no cuentan con implementación en Chile no fueron evaluadas dado la dificultad de estimar sus costos.

**Daño Ambiental:** Toda pérdida, disminución, detrimento o menoscabo significativo inferido al medio ambiente o a uno o más de sus componentes (Ley 19.300 de Bases Generales del Medio Ambiente, Chile).

**Desarrollo Sustentable:** El proceso de mejoramiento sostenido y equitativo de la calidad de vida de las personas, fundado en medidas apropiadas de conservación y protección del medio ambiente, de manera de no comprometer las expectativas de las generaciones futuras (Ley 19.300 de Bases Generales del Medio Ambiente, Chile).

**Retorno:** Volumen de agua que después de ser utilizada por parte de los diferentes usuarios,

es devuelta al sistema natural. Calculada como la diferencia entre captación y Huella Hídrica azul.

#### **Disponibilidad del recurso hídrico subterráneo o volumen sustentable:**

Es aquel volumen que permite un equilibrio de largo plazo del sistema, otorgando respaldo físico a los derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas constituidos, no generando afección a derechos de terceros, tanto superficiales como subterráneos, no produciendo impactos no deseados a la fuente y al medio ambiente (DGA, 2017).

#### **Documento de evidencia:**

Recopilación de antecedentes científicos/técnicos disponibles, que respaldan los procesos críticos que se analizan en cada una de las cuencas seleccionadas.

**Ecosistema degradado:** Sistema ecológico que ha perdido su estructura y/o función, los que determinan su funcionamiento continuo en el tiempo y prestación de servicios ecosistémicos.

**Efecto Sinérgico:** Aquel que se produce cuando el efecto conjunto de la presencia simultánea de varios agentes supone una incidencia ambiental mayor que el efecto suma de las incidencias individuales contempladas aisladamente (Ley 19.300 de Bases Generales del Medio Ambiente, Chile).

**Escenario Sustentable:** Escenario futuro que permite alcanzar la seguridad hídrica al año 2050. Es el escenario futuro que estima un desenlace óptimo, producto de una intervención intencionada de los actores que logra dar seguridad hídrica para el desarrollo de todos los usuarios del agua, incluido el medio ambiente.

**Escenario Tendencial:** Escenario futuro al 2030 y 2050 que considera un desenlace basado en la trayectoria y dinámica

actual del recurso hídrico, sin una intervención adicional intencionada (conocida en inglés como escenario BAU- business as usual).

**Externalidades:** Son decisiones que, no siendo tomadas por los afectados, afectan la función de utilidad de un individuo, un conjunto de ellos y/o un territorio (Herrera, 2019). Para Escenarios Hídricos 2030).

**Foco de incertidumbre:** Lo que no sabemos del futuro. Se identifican los puntos críticos que desconocemos, cómo se están comportando o cómo se comportarán en el futuro. Son claves para poder hacer buenas preguntas estratégicas.

**Gestionar:** Se refiere a los mecanismos e instrumentos normativos, institucionales y financieros para una mejor gestión de intervenciones y coordinación entre usuarios, instituciones públicas y privadas, así como los fiscalizadores del recurso hídrico.

**Impactos ambientales:** Descripción y evaluación cualitativa de los potenciales impactos positivos y negativos de las medidas, acciones y soluciones en el ecosistema hídrico en bajo, medio o alto.

**Impactos sociales:** Descripción cualitativa y evaluación de los potenciales impactos negativos de las medidas, acciones y soluciones sobre el ecosistema socioeconómico en bajo, neutro o alto.

**Infiltración de acuíferos:** Flujo de agua que penetra a través del suelo por acción de la fuerza de gravedad (DGA, 2016c).

**Interrogantes estratégicas:** El futuro se construye con buenas preguntas. Son las preguntas que nos hacemos para reducir los focos de incertidumbre. Su abordaje nos permite crear escenarios posibles, con el conocimiento y experiencia de expertos en diversas áreas.

**Largo plazo:** aquellos proyectos mayores que requieren de la preparación de estudios complejos (plazos previstos de más de 2 años), suponen acuerdos con numerosos actores o dependen del cambio de políticas públicas con plazos previstos de más de 5 años (Peña, 2019, estudio realizado para EH2030).

#### **MAS para Gestión e institucionalidad del agua:**

Se refiere a los mecanismos institucionales, legales, educacionales y financieros para lograr a una mejor gestión, colaboración y coordinación entre usuarios, instituciones públicas, y privadas y a fiscalizadoras del recurso hídrico. Este componente también incluye la recolección, análisis y difusión de información sobre el recurso y ecosistemas asociados, que me permita mejorar la gestión.

#### **MAS para Conservación y protección de nuestros ecosistemas hídricos:**

Medidas para proteger los ecosistemas que son fuente de agua actual y futura, además de los ecosistemas asociados a ellos que permiten su funcionamiento.

#### **MAS para Eficiencia responsable y uso estratégico del recurso hídrico:**

Se presentan las medidas, acciones o soluciones que se pueden aplicar a la demanda de agua para tender a una mayor eficiencia y lograr un equilibrio con la oferta disponible. Estas medidas están enfocadas en reducir las pérdidas de agua una vez captadas y la reducción del uso del agua para optimizar los procesos para el mejorar el consumo y uso del agua.

#### **MAS para Migración e incorporación de nuevas fuentes de agua:**

Medidas, acciones o soluciones para aumentar la oferta de agua disponible para las actividades económicas, productivas y humanas.

**Mediano plazo:** Son las que están sujetas a permisos o decisiones de terceros para implementarse (Peña, 2019, estudio realizado para EH2030).

**Medio Ambiente:** El sistema global constituido por elementos naturales y artificiales de naturaleza física, química o biológica, socioculturales y sus interacciones, en permanente modificación por la acción humana o natural y que rige y condiciona la existencia y desarrollo de la vida en sus múltiples manifestaciones (Ley 19.300 de Bases Generales del Medio Ambiente, Chile).

#### **Norma Secundaria de Calidad Ambiental:**

Aquella que establece los valores de las concentraciones y períodos, máximos o mínimos permisibles de sustancias, elementos, energía o combinación de ellos, cuya presencia o carencia en el ambiente pueda constituir un riesgo para la protección o la conservación del medio ambiente, o la preservación de la naturaleza.

#### **Portafolio MAS Seguridad Hídrica:**

Contiene fichas de medidas, acciones y soluciones que permite contar con un panorama amplio de opciones para reducir la Brecha Hídrica y mitigar el Riesgo Hídrico en los territorios. El portafolio puede ser aplicado en distintas escalas, sectores y usuarios del recurso.

**Predicción:** Mirada del presente al futuro con modelos predictivos y antecedentes científicos existentes. Se utilizan datos medibles para construir modelos matemáticos que permiten proyectar las tendencias hacia el futuro, principalmente del punto de vista climático. Este modelo arrojará lo que podría suceder a futuro.

#### **Preservación de la naturaleza:**

El conjunto de políticas, planes, programas, normas y acciones, destinadas a asegurar la mantención de las condiciones que hacen posible la evolución y el desarrollo de las especies y de los ecosistemas del país (Ley 19.300 de Bases Generales del Medio Ambiente, Chile).

**Procesos críticos:** Son procesos de transformación que influyen y afectan al objeto de estudio, propulsan al sistema y co-determinan los escenarios. En este caso, el objeto de estudio es lograr la seguridad y sustentabilidad del recurso hídrico.

#### **Proceso crítico invariable:**

Proceso determinado en los que se puede predecir su comportamiento futuro, basado en evidencia científica técnica.

#### **Proceso crítico variable:**

Proceso transformador, cuyo comportamiento futuro podrá variar. Posee mayor incertidumbre y no se conoce cómo se comportará en el futuro.

**Prospectiva:** Es una mirada del presente al futuro, basada en datos de tendencia y predicción que entregan certidumbre al proceso. La incertidumbre se aborda a través de un proceso de construcción colectiva que reúne a expertos y diversas visiones de los sectores usuarios del agua. Es un proceso sistemático y participativo para recopilar conocimientos sobre el futuro y construir visiones a mediano y largo plazo, con el objetivo de orientar las decisiones que han de tomarse en el presente y movilizar acciones conjuntas para construir el futuro deseado.

#### **Protección del medio ambiente:**

El conjunto de políticas, planes, programas, normas y acciones destinados a mejorar el medio ambiente y a prevenir y controlar su deterioro (Ley 19.300 de Bases Generales del Medio Ambiente, Chile).

#### **Recarga artificial de acuíferos:**

Es el procedimiento por el que se añade agua a un acuífero desde la superficie para incrementar intencionadamente la disponibilidad de los recursos hídricos subterráneos o para mejorar la calidad de estos. Puede realizarse por distintos métodos, ya sea favoreciendo la infiltración o por medio de la inyección (DGA, 2016c). Los objetivos de la recarga pueden ser el de recuperar los reservorios o los ecosistemas asociados, pero también pueden tener el objetivo de usar el acuífero como un sitio de almacenamiento temporal para protección o para utilizar el agua cuenca abajo en algún futuro cercano.

#### **Recarga natural de acuíferos:**

Se refiere a la recarga natural y corresponde al flujo o caudal de agua que alimenta un acuífero, proveniente de precipitaciones, embalsamientos y escurrimientos superficiales y subterráneos (DGA, 2016c). Los objetivos de la recarga pueden ser el de recuperar los reservorios o los ecosistemas asociados, pero también pueden tener el objetivo de usar el acuífero como un sitio de almacenamiento temporal para protección o para utilizar el agua cuenca abajo en algún futuro cercano.

**Recursos naturales:** Los componentes del medio ambiente susceptibles de ser utilizados por el ser humano para la satisfacción de sus necesidades o intereses espirituales, culturales, sociales y económicos (Ley 19.300 de Bases Generales del Medio Ambiente, Chile).

**Reparación:** En caso que la restauración de ecosistemas no sea posible, se establece la acción de reponer el medio ambiente o uno o más de sus componentes, a una calidad similar a la que tenían con anterioridad al daño causado o, en caso de no ser ello posible, restablecer sus propiedades básicas (Ley 19.300 de Bases Generales del Medio Ambiente, Chile). Es el conjunto de medidas para la mejora parcial de un sistema dañado.

**Restauración de ecosistemas:** Medidas tomadas para regresar un sitio a su condición inicial (EPA). El proceso de establecer un hábitat autosostenible, que se asemeja mucho a uno en condición natural en términos de estructura y función (NOAA). La restauración ambiental o ecológica es un proceso encaminado a la recuperación de la estructura y el funcionamiento de un sistema natural degradado, con objeto de mejorar su integridad ecológica (Centro Ibérico de Restauración Fluvial).

**Riesgo Hídrico:** La posibilidad de que ocurra un daño social, ambiental y/o económico en un territorio y período de tiempo determinado, derivado de la cantidad y calidad de agua disponible para su uso.

**Tendencia:** Mirada desde el pasado hacia el presente, usando datos técnicos/científicos. Se utilizan datos medibles que permiten construir indicadores numéricos. Con esto se obtiene una situación base sobre la cual se plantean metas y desafíos, así como medir avances e impactos en el tiempo. Se debe considerar que la información tendencial es dinámica, multidimensional y explicativa.

**Trasvasar:** Obras hidráulicas que permiten trasladar agua de una zona geográfica a otra mediante sistemas de conducción.

## SIGLAS Y ABREVIATURAS

APR: Agua Potable Rural	INE: Instituto Nacional de Estadística
BID: Banco Interamericano de Desarrollo	INH: Instituto Nacional de Hidráulica
BM: Banco Mundial	INIA: Instituto de Investigaciones Agropecuarias
CA: Código de Aguas de 1981	IPCC: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
CASEB: Centro para Estudios Avanzados en Ecología y Biodiversidad	LBGMA: Ley de Bases Generales sobre el Medio Ambiente
CAZALAC: Centro del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y el Caribe, Universidad de La Serena	LGUC: Ley General de Urbanismo y Construcciones
CCG: Centro de Cambio Global, Pontificia Universidad Católica de Chile	MAS: Medidas, Acciones y Soluciones
CE: Comité Ejecutivo	MMA: Ministerio de Medio Ambiente
CEPAL: Comisión Económica para América Latina y el Caribe	MINSAL: Ministerio de Salud
CH: Condiciones Habilitadoras	MINVU: Ministerio de Vivienda y Urbanismo
CHF: Condiciones Habilitadoras Fundamentales	MOP: Ministerio de Obras Públicas
CIREN: Centro de Información de Recursos Naturales	OCDE: Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico
CMNUCC: Convención Marco de la Naciones Unidas sobre el Cambio Climático	ODEPA: Oficina de Estudios y Políticas Agrarias
CNID: Consejo Nacional de Innovación para el Desarrollo	ONG: Organización no Gubernamental
CNR: Comisión Nacional de Riego	OUA: Organización de Usuarios de Agua
COCHILCO: Comisión Chilena del Cobre	PNUD: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
CODELCO: Corporación Nacional del Cobre	RCA: Resolución de Calificación Ambiental
CONADI: Corporación Nacional de Desarrollo Indígena	RIL: Residuo Industrial Líquido
CONAF: Corporación Nacional Forestal	RM: Región Metropolitana
CPA: Catastro Público de Aguas	SAG: Servicio Agrícola Ganadero
CR2: Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia, Universidad de Chile	SBAP: Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas
CT: Comité Técnico	SEA: Servicio de Evaluación Ambiental
DAA: Derechos de Aprovechamiento de Agua	SEIA: Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental
DGA: Dirección General de Aguas	SERNAGEOMIN: Servicio Nacional de Geología y Minería
DIA: Declaración de Impacto Ambiental	SISS: Superintendencia de Servicios Sanitarios
DIRECTEMAR: Dirección Nacional de Territorio Marítimo y Marina Mercante	SMA: Superintendencia de Medio Ambiente
DOH: Dirección de Obras Hidráulicas	SNIA: Sistema Nacional Integrado de Información del Agua
EH2030: Escenarios Hídricos 2030	SONAMI: Sociedad Nacional de Minería
EULA: Centro de Ciencias Ambientales, Universidad de Concepción	SUBDERE: Subsecretaría de Desarrollo Regional
GCE: Grupo Construcción de Escenarios	UAB: Universidad Andrés Bello
GLOF: Glacier lake outburst flood	UdeC: Universidad de Concepción
IEB: Instituto de Ecología y Biodiversidad	UNESCO: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
IICH: Instituto de Ingenieros de Chile	WRI: World Resources Institute
INDAP: Instituto de Desarrollo Agropecuario	WWAP/ONU-Agua: Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos

## BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez Hernández, D.V. (2015). Concentración de la propiedad sobre derechos de aprovechamiento de aguas en cuencas de los Ríos Baker y Pascua. Tesis de Pregrado. Universidad de Chile. Disponible en URL: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/138604>
- Agnew, C. T. (2000). Using the SPI to Identify Drought. Drought Network News (1994-2001). Disponible en URL: <https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1000&context=droughtnetnews>
- Aguas Chañar. (2013). Comunicado Público de Aguas Chañar, Copiapó, Chile. Disponible en URL: <https://media.biobiochile.cl/wp-content/uploads/2013/03/Comunicado-p%C3%BAblico-Aguas-Cha%C3%B1ar-CALIDAD-AGUA1.pdf>
- Arróspide, F., Mao, L. y Escauriza, C. (2018). Morphological evolution of the Maipo River in central Chile: Influence of instream gravel mining. *Geomorphology*, 306, 182-197. Disponible en DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.01.019>
- Banco Mundial- BM. (2016). High and dry, climate change, wáter and the economy. *Water Global Practice*. Disponible en URL: <http://documents.worldbank.org/curated/en/862571468196731247/pdf/105130-REVISED-K8517.pdf>
- Banco Mundial- BM. (2013). CHILE: Estudio para el mejoramiento del marco institucional para la gestión del agua. Unidad de Ambiente y Aguas, Departamento de Desarrollo Sostenible, Región para América Latina y el Caribe. Disponible en URL: <http://reformacodigodeaguas.carey.cl/wp-content/uploads/2014/09/Informe-Banco-Mundial-Estudio-para-el-mejoramiento-del-marco-institucional.pdf>
- Banco Mundial. (2011). Diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos en Chile. Departamento de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible Región para América Latina y el Caribe. Disponible en URL: [http://www.dga.cl/eventos/Diagnostico%20gestion%20de%20recursos%20hidricos%20en%20Chile\\_Banco%20Mundial.pdf](http://www.dga.cl/eventos/Diagnostico%20gestion%20de%20recursos%20hidricos%20en%20Chile_Banco%20Mundial.pdf)
- Barría, P. (2010). Pronóstico de caudales medios mensuales en las cuencas de los ríos Baker y Pascua. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. Disponible en URL: [http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2010/cf-barría\\_ps/pdfAmont/cf-barría\\_ps.pdf](http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2010/cf-barría_ps/pdfAmont/cf-barría_ps.pdf)
- Carrasco, J., Casassa, G., Pizarro, R. y Saravia, M. (2011). Impactos del Cambio Climático, Adaptación y Desarrollo en las Regiones Montañosas de América Latina. DOI: 10.13140/RG.2.1.2926.6804. Disponible en URL: [http://www.fao.org/fileadmin/templates/mountain\\_partnership/doc/Background\\_paper.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/mountain_partnership/doc/Background_paper.pdf)
- Carrasco, J., Casassa, G., y Quintana, J. (2009). Changes of the 0°C isotherm and the equilibrium line altitude in central Chile during the last quarter of the 20th century. Disponible en URL: <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1623/hysj.2005.50.6.933?needAccess=true>
- Carrasco, J.C., Quintana, J. y Casassa, G. (2005). Changes of the 0°C isotherm and the equilibrium line altitude in central Chile during the last quarter of the 20th century. *Hydrological Sciences Journal*, 50(6), 933-948.
- Centro de Cambio Global- CCG; Centro para Estudios Avanzados en Ecología y Biodiversidad -CASEB e Instituto de Ecología y Biodiversidad- IEB. (2010). Estudio de vulnerabilidad de la biodiversidad terrestre en la eco-región mediterránea, a nivel de ecosistemas y especies, y medidas de adaptación frente a escenarios de Cambio Climático. Santiago, Chile. Disponible en URL: [http://www.sinia.cl/1292/articles-50188\\_recurso\\_4.pdf](http://www.sinia.cl/1292/articles-50188_recurso_4.pdf)
- Centro de Ciencias Ambientales- EULA. (2014). Proyecto Análisis de Riesgos de Desastres y Zonificación Costera, Región del Biobío. Disponible en URL: [http://www.eula.cl/bordecosterobiobio/doc/Lebu\\_Final\\_Octubre\\_2014.pdf](http://www.eula.cl/bordecosterobiobio/doc/Lebu_Final_Octubre_2014.pdf)
- Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia - CR2. (2018). Plataforma de Simulaciones Climáticas, futuro cercano, intermedio y lejano (2020-2065) en norte chico. Disponible en URL: <http://simulaciones.cr2.cl/>
- Centro de Información de Recursos Naturales- CIREN. (2016). Catastro frutícola, principales resultados. Región del Maule. Disponible en URL: <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2016/08/Catastro-Fruticola-VII-Maule-2016.pdf>
- Centro de Información de Recursos Naturales-CIREN. (2014). Uso actual de suelos en la Región de Valparaíso. Disponible en URL: <http://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/123456789/12043>
- Centro de Información sobre Recursos Naturales- CIREN. (2010). Determinación de la erosión actual y potencial de los suelos de Chile. Informe técnico final INNOVA-CHILE. Disponible en URL: [http://repositoriodigital.corfo.cl/bitstream/handle/11373/3214/06CN12IAM-12\\_IF.pdf?sequence=14](http://repositoriodigital.corfo.cl/bitstream/handle/11373/3214/06CN12IAM-12_IF.pdf?sequence=14)
- Centro del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y el Caribe- CAZALAC. (2017). Indicador de déficit hídrico en aguas subterráneas de Chile. Informe Técnico elaborado para Escenarios Hídricos 2030. Disponible en URL: [www.escenarioshidricos.cl/multimedia](http://www.escenarioshidricos.cl/multimedia)

- Centro Nacional del Medio Ambiente- CENMA. (2016). Red norma secundaria calidad ambiental río Maipo. Ministerio de Medio Ambiente, Santiago, Chile. Disponible en URL: [http://metadatos.mma.gob.cl/servicios/metadatos/recursos/downloadRecurso/324048/2015\\_MAIPO\\_Final.pdf](http://metadatos.mma.gob.cl/servicios/metadatos/recursos/downloadRecurso/324048/2015_MAIPO_Final.pdf)
- Comisión Chilena del Cobre - COCHILCO. (2018a). Consumo de agua en la minería del cobre al 2017. Chile. Disponible en URL: <https://www.cochilco.cl/Listado%20Temtico/Consumo%20de%20agua%20en%20la%20minería%20del%20cobre%20al%202017.pdf>
- Comisión Chilena del Cobre - COCHILCO. (2018b). Proyección del consumo de energía eléctrica en la minería del cobre 2017-2028. Disponible en URL: <https://www.cochilco.cl/Mercado%20de%20Metales/Proyecci%C3%B3n%20Consumo%20EE%202017-2028%20v2.pdf>
- Comisión Chilena del Cobre - COCHILCO. (2018c). Proyección de consumo de agua en la minería del cobre 2017-2028. Chile. Disponible en URL: <https://www.cochilco.cl/Listado%20Temtico/Proyeccion%20de%20consumo%20de%20agua%20en%20la%20minería%20del%20cobre%202017-2028%20V4.pdf>
- Comisión Chilena del Cobre- COCHILCO. (2017). Potencial de la turba en la minería no metálica en Chile. Disponible en URL: <https://www.cochilco.cl/Listado%20Temtico/Informe%20Turba%20VF.pdf>
- Comisión Chilena del Cobre - COCHILCO. (2016a). Inversión en la minería chilena - Cartera de proyectos 2017 -2026. Chile. Disponible en URL: <https://www.cochilco.cl/Listado%20Temtico/2017%2008%2010%20Cartera%20de%20proyectos%202017%20-%202026%20vf.pdf>
- Comisión Chilena del Cobre-COCHILCO. (2016b). Estado de la actividad minera al sur del país. Disponible en URL: [https://www.cochilco.cl/Listado%20Temtico/Estado\\_mineria\\_en\\_el\\_sur\\_de\\_Chile.pdf](https://www.cochilco.cl/Listado%20Temtico/Estado_mineria_en_el_sur_de_Chile.pdf)
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe- CEPAL. (2012). La economía del Cambio Climático en Chile. Santiago, Chile. Disponible en URL: [http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/35372/1/S2012058\\_es.pdf](http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/35372/1/S2012058_es.pdf)
- Comisión Nacional de Riego- CNR. (2017a). Diagnóstico para desarrollar plan de riego en la Cuenca del Maule. Santiago, Chile.
- Comisión Nacional de Riego -CNR. (2017b). Infraestructura y ecología S.A. Estudio Básico: Diagnóstico para desarrollar plan de riego en cuenca del Biobío. Informe Final elaborado por EVERIS. Disponible en URL: [http://www.cnr.gob.cl/DivisionDeEstudios/Documents/18\\_IF%20PGR%20Cuenca%20Biob%C3%ADo.pdf](http://www.cnr.gob.cl/DivisionDeEstudios/Documents/18_IF%20PGR%20Cuenca%20Biob%C3%ADo.pdf)
- Comisión Nacional de Riego-CNR. (2017c). Estudio básico diagnóstico para desarrollar plan de riego en la Región de Aysén. Disponible en URL: [http://www.cnr.gob.cl/DivisionDeEstudios/Documents/22\\_IF%20PGR%20Regio%CC%81n%20Ayse%CC%81n.pdf](http://www.cnr.gob.cl/DivisionDeEstudios/Documents/22_IF%20PGR%20Regio%CC%81n%20Ayse%CC%81n.pdf)
- Comisión Nacional de Riego- CNR. (2016a). Diagnóstico para desarrollar plan de riego en cuenca de Copiapó. Universidad de Chile. Santiago, Chile. En base a Ayala, Cabrera y Asociado LTDA. (2007).
- Comisión Nacional de Riego-CNR. (2016b). Diagnóstico para desarrollar plan de riego en cuenca de Aconcagua. Disponible en URL: [http://portal2014-2018.cnr.gob.cl/DivisionDeEstudios/Documents/10\\_IF%20PGR%20Cuenca%20Aconcagua.pdf](http://portal2014-2018.cnr.gob.cl/DivisionDeEstudios/Documents/10_IF%20PGR%20Cuenca%20Aconcagua.pdf)
- Comisión Nacional de Riego- CNR. (2016c). Estudio Básico "Diagnóstico para desarrollar plan de riego en cuenca del Maipo", Informe Final. Disponible en URL: <https://biblioteca.digital.gob.cl/handle/123456789/2283>
- Comisión Nacional de Riego- CNR. (2005). Programa de transferencia de conocimientos y habilidades para el manejo y desarrollo de cuencas hidrográficas. Disponible en URL: <http://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/123456789/9357?show=full>
- Comisión Nacional del Riego- CNR. (2003). Diagnóstico del riego y drenaje en la VIII Región. Disponible en URL: [file:///C:/Users/cgalleguillos/Downloads/CNR-0053\\_1%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/cgalleguillos/Downloads/CNR-0053_1%20(1).pdf)
- Comité Nacional Pro Defensa de la Flora y Fauna- CODEFF. (2018). Plan de acción de Cambio Climático, aves y biodiversidad para Chile. Santiago, Chile. Disponible en URL: <https://www.codeff.cl/wp-content/uploads/2018/11/descargar-en-este-enlace.pdf>
- Consejo Nacional de Innovación y Competitividad- CNID. (2014). Minería: Una Plataforma de Futuro para Chile. Santiago, Chile. Disponible en URL: [http://valorminero.cl/site/docs/2017/Agenda\\_Estrategica.pdf](http://valorminero.cl/site/docs/2017/Agenda_Estrategica.pdf)
- Cornejo, C. G. (2011). Análisis de la distribución temporal de las precipitaciones en la Región del Maule. Tesis Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Talca. Talca, Chile. Disponible en URL: [http://ctha.otalca.cl/Docs/pdf/Publicaciones/tesis\\_de\\_grado/MEMORIA%20CARMEN%20GLORIA%20CORNEJO20SALDIAS.pdf](http://ctha.otalca.cl/Docs/pdf/Publicaciones/tesis_de_grado/MEMORIA%20CARMEN%20GLORIA%20CORNEJO20SALDIAS.pdf)
- Corporación Nacional Forestal - CONAF. (2017). Sistema de Información Geográfica del catastro vegetacional. Chile. Disponible en URL: <https://sit.conaf.cl/>
- Corporación Nacional Forestal - CONAF. (2010). Programa Nacional para la conservación de humedales insertos en el sistema nacional de áreas silvestres protegidas del Estado. Disponible en URL: [http://www.conaf.cl/wp-content/files\\_mf/1369258173CEIHUMEDALES.pdf](http://www.conaf.cl/wp-content/files_mf/1369258173CEIHUMEDALES.pdf)
- Dirección General de Aguas-DGA. (2018). Derechos de aprovechamiento de aguas registrados en DGA. Disponible en URL: [http://www.dga.cl/productosyservicios/derechos\\_historicos/Paginas/default.aspx](http://www.dga.cl/productosyservicios/derechos_historicos/Paginas/default.aspx)
- Dirección General de Aguas- DGA. (2017). Estimación de la recarga de aguas subterránea y determinación de los sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común en las cuencas altas de la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins. Informe Técnico N° 18; DARH SDT N° 395. Recuperado de <http://documentos.dga.cl/SUB5686.pdf>

- Dirección General de Aguas- DGA. (2016a). Atlas del agua en Chile. Santiago, Chile. Disponible en URL: <http://www.dga.cl/atlasdelagua/Paginas/default.aspx>
- Dirección General de Aguas- DGA. (2016b). Disponibilidad de recursos hídricos para el otorgamiento de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en el valle del Aconcagua: sectores hidrogeológicos de San Felipe, Putaendo, Panquehue, Catemu y Llay Llay. SDT N° 387, Informe técnico DARH N° 333. Disponible en URL: <http://documentos.dga.cl/ADM5650.pdf>
- Dirección General de Aguas- DGA. (2016c). Guía metodológica para presentación de proyectos de recarga artificial. Disponible en URL: [http://www.dga.cl/orientacionalpublico/guias/Guias%20para%20presentacion%20de%20solicitudes/Guia\\_Metodologica\\_para\\_presentacion\\_Proyectos\\_de\\_Recarga\\_Artificial\\_2016.pdf](http://www.dga.cl/orientacionalpublico/guias/Guias%20para%20presentacion%20de%20solicitudes/Guia_Metodologica_para_presentacion_Proyectos_de_Recarga_Artificial_2016.pdf)
- Dirección General de Aguas- DGA. (2015a). Plan de Gestión Integrada para la Cuenca de Copiapó, Fase 1. Fundación CSIRO Chile Research, Santiago, Chile. Disponible en URL: [http://www.dga.cl/estudiospublicaciones/Series%20documentales/Informe\\_Final\\_para\\_Empaste\\_01\\_10\\_2015.pdf](http://www.dga.cl/estudiospublicaciones/Series%20documentales/Informe_Final_para_Empaste_01_10_2015.pdf)
- Dirección General de Aguas- DGA. (2015b). Determinación de la Disponibilidad de Aguas Subterráneas en el Valle del Río Aconcagua. IT DARH N° 163, SDT N° 372. Disponible en URL: [http://www.dga.cl/estudiospublicaciones/Series%20documentales/InformeFinal\\_Aconcagua\\_SDT372.pdf](http://www.dga.cl/estudiospublicaciones/Series%20documentales/InformeFinal_Aconcagua_SDT372.pdf)
- Dirección General de Aguas-DGA. (2015c). Diagnóstico plan maestro de recursos hídricos Región Metropolitana de Santiago. S.I.T. N° 371. Realizado por Arrau Ingeniería E.I.R.L. Santiago, Chile. Disponible en URL: <http://documentos.dga.cl/1.%20DGA%20PM%20RH%20RM%20Resumen%20Ejecutivo.pdf>
- Dirección General de Aguas – DGA. (2013a). Actualización de la modelación integrada y subterránea del acuífero de la cuenca del río Copiapó. Informe final Hidromas Cef Ltda. S.I.T. N°332. Disponible en URL: <http://documentos.dga.cl/SUB5460v1.pdf>
- Dirección General de Aguas- DGA. (2013b). Levantamiento hidrogeológico en cuencas pluviales costeras en la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins y Región del Biobío. Disponible en URL: <https://research.csiro.au/gestionrapel/wpcontent/uploads/sites/79/2016/11/Levantamiento-hidrogeol%C3%B3gico-en-cuencas-pluviales-costeras-en-la-regi%C3%B3n-OHiggins-y-B%C3%ADo-B%C3%ADo-2013.pdf>
- Dirección General de Aguas – DGA. (2012a). Servicios generales de estudio y análisis de caudales y apoyo en la redistribución de las aguas a la Dirección General De Aguas, en la segunda sección del Río Aconcagua. Informe S.I.T. N° 289, realizado por Hidrometría Ltda. Disponible en URL: <http://documentos.dga.cl/ADM5387.pdf>
- Dirección General de Aguas- DGA. (2011a). Variaciones recientes de glaciares en Chile, según principales zonas glaciológicas. Santiago, Chile. Disponible en URL: <http://documentos.dga.cl/GLA5360.pdf>
- Dirección General de Aguas- DGA. (2011b). Catastro, Exploración y Estudio de Glaciares en Chile Central. Disponible en URL: <http://documentos.dga.cl/GLA5370v1.pdf>
- Dirección General de Aguas - DGA. (2010). Análisis integrado de gestión en la cuenca del río Copiapó. Informe Final. Tomo 1. Santiago, Chile. Disponible en URL: <http://documentos.dga.cl/ADM5220v2.pdf>
- Dirección General de Aguas- DGA. (2009). Estrategia nacional de glaciares. Santiago, Chile. Disponible en URL: <http://documentos.dga.cl/GLA5194v1.pdf>
- Dirección General de Aguas-DGA. (2008). Resumen ejecutivo plan director para la gestión de los recursos hídricos cuenca del río Maipo, fase II actualización del modelo de operación del sistema y formulación del plan. Disponible en URL: <http://documentos.dga.cl/REH4856v5.pdf>
- Dirección General de Aguas- DGA. (2005). Evaluación de los recursos hídricos superficiales de la cuenca del río Maule. Disponible en URL: <http://documentos.dga.cl/SUP4377.pdf>
- Dirección General de Aguas-DGA. (2004a). Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad: Cuenca del Maipo. Disponible en URL: <http://portal.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/12/Maipo.pdf>
- Dirección General de Aguas- DGA. (2004b). Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad: Cuenca de Maule. Disponible en URL: <http://portal.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/12/Maule.pdf>
- Dirección General de Aguas- DGA. (1987). Balance hídrico nacional. Santiago de Chile. Disponible en URL: <http://documentos.dga.cl/SUP1540.pdf>
- Duhart, D. (2019). Levantamiento de información y complemento de condiciones habilitantes de tipo legal- institucional. Estudio elaborado para Escenarios Hídricos 2030. Santiago, Chile. Disponibles en URL: [www.escenarioshidricos.cl/multimedia](http://www.escenarioshidricos.cl/multimedia)
- Eastman, C. (2011). Capacitación de los usuarios del agua de riego para la gestión de la calidad del recurso hídrico en la cuenca del río Maule. Memoria de título, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. Disponible en URL: <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/112807/MEMORIA%20TITULO%20CATALINA%20EASTMAN%20MENDOZA.pdf?sequence>
- Eridanus. (2018). Recopilación histórica y representación espacial de eventos asociados a problemas de exceso hídrico: inundaciones, aluviones y tsunamis. Informe Técnico elaborado para Escenarios Hídricos 2030. Disponible en URL: <https://www.escenarioshidricos.cl/wp-content/uploads/2018/12/Exceso-H%C3%ADrico.pdf>
- Escenarios Hídricos 2030- EH2030. (2018). *Radiografía del Agua: Brecha y Riesgo Hídrico en Chile*. Fundación Chile, Santiago. Disponible en URL: [www.escenarioshidricos.cl/multimedia](http://www.escenarioshidricos.cl/multimedia)

- Farr, T., Jones, C. y Liu Z. (2015). Progress report: subsidence in the Central Valley, California (internet). Sacramento (CA): California Institute of Technology, Department of Water Resource. NASA Report. Disponible en URL: [https://water.ca.gov/LegacyFiles/groundwater/docs/NASA\\_REPORT.pdf](https://water.ca.gov/LegacyFiles/groundwater/docs/NASA_REPORT.pdf)
- Feuker, P., Páez, D. (2012). Reconocimiento Hidrogeológico en Ciudades y Centros Poblados de la Región de Aysén, Chile. En XIII Congreso Geológico Chileno, Antofagasta, Chile, 795-797. Disponible en URL: [http://biblioteca.sernageomin.cl/opac/DataFiles/14127\\_pp\\_795\\_797.pdf](http://biblioteca.sernageomin.cl/opac/DataFiles/14127_pp_795_797.pdf)
- Figuerola, A. (2019). Evaluación cualitativa de impactos ambientales de las medidas, acciones y soluciones (MAS). Estudio elaborado para Escenarios Hídricos 2030. Santiago, Chile. Disponible en URL: [www.escenarioshidricos.cl/multimedia](http://www.escenarioshidricos.cl/multimedia)
- Figuerola, A. y Bruna, S. (2019). Evaluación cualitativa de impactos ambientales de las Medidas, Acciones y Soluciones (MAS): Calificación ambiental de las soluciones contenidas en las fichas MAS. Estudio elaborado para Escenarios Hídricos 2030. Santiago, Chile. Disponible en URL: [www.escenarioshidricos.cl/multimedia](http://www.escenarioshidricos.cl/multimedia)
- Galleguillos, M., Zambrano, M., Puelma, C. y Jopia, A. (2017). Evaluación espacio-temporal del déficit hídrico para las cuencas de Chile a partir de información satelital. Santiago, Chile. Iniciativa Escenarios Hídricos 2030. Disponible en URL: <http://escenarioshidricos.cl/multimedia/>
- Girardi, C., González, F., Jara, S., Chartre, R., Elorrieta, M., Sanchis, E. y Castillo, I. (2018). Metodología de construcción de índice de calidad para aguas superficiales. Informe Técnico elaborado para Escenarios Hídricos 2030. Disponible en URL: [www.escenarioshidricos.cl/multimedia](http://www.escenarioshidricos.cl/multimedia)
- Gobierno Regional de Aysén- GORE Aysén. (2013). Actualización del plan regional de ordenamiento territorial de Aysén. Disponible en URL: [https://www.goreaysen.cl/controls/neochannels/neo\\_ch95/appinstances/media204/Plan\\_RegionalRegional\\_de\\_Ordenamiento\\_Territorial\\_de\\_AysenAysen.pdf](https://www.goreaysen.cl/controls/neochannels/neo_ch95/appinstances/media204/Plan_RegionalRegional_de_Ordenamiento_Territorial_de_AysenAysen.pdf)
- Gobierno Regional de Biobío- GORE Biobío. (2015). Plan de Iniciativas 2016-2018. Desarrollo Territorio Arauco. Comunas de Arauco, Curanilahue, Lebu, Los Álamos, Cañete, Contulmo y Tirúa. Programa Especial de Gestión Territorial para Zonas Rezagadas. Disponible en URL: <http://www.zonasrezagadas.subdere.gov.cl/files/Plan%20de%20Desarrollo%20Territorio%20Arauco%202016-2018.pdf>
- Gobierno Regional de Biobío- GORE Biobío. (2014). Proyecto análisis de riesgos de desastres y zonificación costera, Región del Biobío. Código Bip 30098326. Disponible en URL: <http://docplayer.es/94485165-Proyecto-analisis-de-riesgos-de-desastres-y-zonificacion-costera-region-del-biobio.html>
- Gobierno Regional Metropolitano de Santiago- GORE Metropolitana. (2012). Estrategia regional de desarrollo, Región Metropolitana 2012- 2021. Santiago, Chile. Disponible en URL: [https://www.gobiernosantiago.cl/wp-content/uploads/2014/doc/estrategia/Estrategia\\_Regional\\_de\\_Desarrollo\\_Region\\_Metropolitana\\_2012-2021.pdf](https://www.gobiernosantiago.cl/wp-content/uploads/2014/doc/estrategia/Estrategia_Regional_de_Desarrollo_Region_Metropolitana_2012-2021.pdf)
- Gobierno Regional de Valparaíso- GORE Valparaíso. (2018). Lineamientos estratégicos de política pública e iniciativas para el desarrollo y sostenibilidad hídrica de la Región de Valparaíso. Valparaíso, Chile. Disponible en URL: [http://www.gorevalparaiso.cl/archivos/archivoDocumento/2018/otros/Libro\\_Hidrica.pdf](http://www.gorevalparaiso.cl/archivos/archivoDocumento/2018/otros/Libro_Hidrica.pdf)
- Gobierno Regional de Valparaíso- GORE Valparaíso. (2012). Estrategia regional de desarrollo, Región de Valparaíso 2020. Valparaíso, Chile. Disponible en URL: <http://bosques.ciren.cl/bitstream/handle/123456789/26408/estrategia-regional2012.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático- IPCC. (2014). Cambio Climático 2014: Impacto, adaptación y vulnerabilidad. Parte A: Aspectos sectoriales y globales. Contribución del grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. [Field, C. B., V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir, M. Chatterjee, K. L. Ebi, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. N. Levy, S. MacCracken, P. R. Mastrandrea, y L. L. White (eds)]. Cambridge/Nueva York, UK/USA, Cambridge University Press, 1132 pp.
- Heidari, M., Mosavinik, S. y Golpayegani, A. (2011). Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) effect on physiological parameters and mineral uptake in basil (*Ocimum basilicum* L.) under water stress. *ARPN Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 6: 6-11.
- Henríquez-Dole, L., Usón, T., Vicuña, S., Henríquez, C., Gironás, J., Meza, FF. (2018). Integrating strategic land use planning in the construction of future land use scenarios and its performance: The Maipo River Basin, Chile. *Land Use Policy* 78: 353-366. Disponible en URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264837717311122>
- Herrera, L. (2019). Escenarios Hídricos 2030: Evaluación cualitativa de impactos sociales de las MAS. Estudio elaborado para Escenarios Hídricos 2030. Santiago, Chile.
- Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M. y Mekonnen, M. M. (2011). The water footprint assessment manual: Setting the global standard. Earthscan, London, UK.
- Homsí, H. y Soto, E. (2019). Valorización Referencial de las Medidas, Acción y Soluciones (MAS) para la disminución de la Brecha Hídrica. Estudio elaborado para Escenarios Hídricos 2030. Santiago, Chile. Disponible en URL: [www.escenarioshidricos.cl/multimedia](http://www.escenarioshidricos.cl/multimedia)
- Instituto de Investigaciones Agropecuarias- INIA. (2017). INIA elabora el vino más Austral de Chile. Especial Revista Agrícola, 23. Disponible en URL: [http://www.inia.cl/wp-content/uploads/2017/06/RevistaAgricola\\_junio2017.pdf](http://www.inia.cl/wp-content/uploads/2017/06/RevistaAgricola_junio2017.pdf)

- Instituto Nacional de Estadística- INE. (2018). Síntesis de resultados Censo 2017, Chile. Disponible en URL: <https://www.censo2017.cl/descargas/home/sintesis-de-resultados-censo2017.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística - INE. (2012). Anuario Estadístico de la Región de Atacama 2012. Chile. Disponible en URL: <http://www.ineatacama.cl/archivos/files/pdf/Anuarios/Anuario%20Estad%20C3%ADstico%20Regi%20C3%B3n%20de%20Atacama%20A%20C3%B1o%202012.pdf>
- Instituto Nacional de Hidráulica- INH. (2016). Análisis de requerimientos de largo plazo en infraestructura hídrica. Santiago, Chile.
- Jaramillo, C. y Acevedo, R. (2017). Contabilidad de huella hídrica utilizada en la estimación de la huella hídrica de cinco sectores económicos a nivel nacional. Informe elaborado para Escenarios Hídricos 2030. Santiago, Chile. Disponible en URL: [www.escenarioshidricos.cl/multimedia](http://www.escenarioshidricos.cl/multimedia)
- Jiménez, B. (2015). Seguridad Hídrica: retos y respuestas, la Fase VIII del Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO (2014-2021). Aqua-LAC, 7(1), 21-22. Disponible en URL: <http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Montevideo/pdf/03SeguridadHidrica-retosypropuestas.pdf>
- Langer, W. (2001). Potential environmental impacts of quarrying stone in karst — a literature review. U.S. Geological Survey Open-File Report 0 F-01-0484. Disponible en URL: <https://pubs.usgs.gov/of/2001/ofr-01-0484/ofr-01-0484textonly.pdf>
- Lattermann, C., Shenker, R. y Thordardottir, E. (2005). Progression of Language Complexity During Treatment With the Lidcombe Program for Early Stuttering Intervention. American Journal of Speech-Language Pathology, 14, 242-253. Disponible en URL: [http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/rehabilitacion/logo/programa\\_de\\_tratamiento\\_en\\_la\\_tartamudez.pdf](http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/rehabilitacion/logo/programa_de_tratamiento_en_la_tartamudez.pdf)
- Masiokas, M., Rivera, A., Espíza, L., Villalba, R., Delgado, S. y Aravena, J. (2009). Glacier fluctuations in extratropical South America during the past 1000 years. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 281, 242-268.
- Meza, M. y Castro, CP. (2013). Susceptibilidad erosiva asociada al proceso de reconversión agrícola productiva, cuenca semiárida de Quillota. V Región de Valparaíso, Chile. IDESIA (Chile), 31(4), 43-52. Disponible en URL: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/idesia/v31n4/art06.pdf>
- Ministerio de Energía. (2016). Análisis de las condicionantes para el desarrollo hidroeléctrico en las cuencas del Maule, Biobío, Toltén, Valdivia, Bueno, Yelcho y Puelo, desde el potencial de generación a las dinámicas socioambientales. Santiago, Chile. Disponible en URL: [https://cambioglobal.uc.cl/images/proyectos/Documento\\_42\\_Estudio\\_de\\_cuencas\\_2.pdf](https://cambioglobal.uc.cl/images/proyectos/Documento_42_Estudio_de_cuencas_2.pdf)
- Ministerio de Energía. (2015). Compendio Cartográfico Regionalizado Proyectos de Energías Renovables en Chile. Disponible en URL: [http://www.minenergia.cl/archivos\\_bajar/2016/01/CompendioEnergiasRenovables2015.pdf](http://www.minenergia.cl/archivos_bajar/2016/01/CompendioEnergiasRenovables2015.pdf)
- Ministerio del Interior y Seguridad Pública de Chile. (2015). Política nacional para los recursos hídricos 2015. Disponible en URL: [http://www.interior.gob.cl/media/2015/04/recursos\\_hidricos.pdf](http://www.interior.gob.cl/media/2015/04/recursos_hidricos.pdf)
- Ministerio de Medio Ambiente- MMA. (2018). Estrategia Regional de Biodiversidad, región de Aysén: 2015 – 2030. Secretaría Regional del Ministerio de Medio Ambiente de Aysén, proyecto FNDR Código BIP 30356182-0, Chile. Disponible en URL: <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/03/Estrategia-Regional-de-Biodiversidad.pdf>
- Ministerio de Medio Ambiente- MMA. (2017a). Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2017-2022. Disponible en URL: [https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/07/plan\\_nacional\\_climatico\\_2017\\_2.pdf](https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/07/plan_nacional_climatico_2017_2.pdf)
- Ministerio de Medio Ambiente- MMA. (2017b). Análisis general de impacto económico y social del anteproyecto de la norma secundaria de calidad ambiental de la cuenca del río Aconcagua. Santiago, Chile. Disponible en URL: [http://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2017/proyectos/2cb\\_AGIES\\_AP\\_NSCA\\_Aconcagua\\_2017.pdf](http://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2017/proyectos/2cb_AGIES_AP_NSCA_Aconcagua_2017.pdf)
- Ministerio del Medio Ambiente- MMA. (2016a). Tercera comunicación nacional de Chile ante la convención marco de las naciones unidas sobre Cambio Climático. Maval Spa, Santiago, Chile. Disponible en URL: <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/12/TCN-2016b1.pdf>
- Ministerio del Medio Ambiente- MMA. (2016b). Datos línea base y proyección al 2050 por comunas Disponible en URL: <http://basedigitaldelclima.mma.gob.cl/study/one>
- Ministerio de Medio Ambiente- MMA. (2014). Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático. Santiago, Chile: Oficina de Cambio Climático. Santiago, Chile. Disponible en URL: <http://portal.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2016/02/Plan-Nacional-Adaptacion-Cambio-Climatico-version-final.pdf>
- Ministerio de Obras Públicas- MOP. (2012a). Plan regional de infraestructura y gestión del recurso hídrico al 2021, Región de Valparaíso. Chile. Disponible en URL: [http://www.senado.cl/site/presupuesto/2013/cumplimiento/Glosas%202013/quinta\\_subcomision/12%20Obras%20P%20C3%BAblicas%202013/15%20Planes%20Regionales%20Recursos%20H%20C3%ADdricos%20al%202021/Plan%20Valparaiso/Plan%20Regional%20MOP\\_Valpara%20C3%ADso\\_2012.pdf](http://www.senado.cl/site/presupuesto/2013/cumplimiento/Glosas%202013/quinta_subcomision/12%20Obras%20P%20C3%BAblicas%202013/15%20Planes%20Regionales%20Recursos%20H%20C3%ADdricos%20al%202021/Plan%20Valparaiso/Plan%20Regional%20MOP_Valpara%20C3%ADso_2012.pdf)
- Ministerio de Obras Públicas- MOP. (2012b). Plan Regional de Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico al 2021, Región del Maule. Chile. Disponible en URL: [http://www.senado.cl/site/presupuesto/2013/cumplimiento/Glosas%202013/quinta\\_subcomision/12%20Obras%20P%20C3%BAblicas%202013/15%20Planes%20Regionales%20Recursos%20H%20C3%ADdricos%20al%202021/Plan%20Maule/Plan%20Regional%20MOP\\_Maule\\_2012.pdf](http://www.senado.cl/site/presupuesto/2013/cumplimiento/Glosas%202013/quinta_subcomision/12%20Obras%20P%20C3%BAblicas%202013/15%20Planes%20Regionales%20Recursos%20H%20C3%ADdricos%20al%202021/Plan%20Maule/Plan%20Regional%20MOP_Maule_2012.pdf)
- Ministerio de Obras Públicas- MOP. (2012c). Plan regional de infraestructura y gestión del recurso hídrico al 2021, Región Metropolitana. Chile. Disponible en URL: [http://www.dirplan.cl/planes/regional/download/PRIGRH\\_Region\\_Metropolitana.pdf](http://www.dirplan.cl/planes/regional/download/PRIGRH_Region_Metropolitana.pdf)

- Ministerio de Obras Públicas- MOP. (2009). Obras Públicas para el desarrollo 2020, Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo. Chile. Disponible en URL: <http://www.dirplan.cl/planes/regionales/Documents/XI/MOP%20SEPARATA%20AYSEN%2018-12.pdf>
- Moel, P., Verberk, J. y van Dijk, J.C. (2006). Drinking water: Principles and practices. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. Singapore. DOI: 10.1142/6135. Disponible en URL: [http://www.nedwater.eu/documents/00\\_contents.pdf](http://www.nedwater.eu/documents/00_contents.pdf)
- Municipalidad de Los Álamos. (2016). Plan de Desarrollo Comunal 2016-2020. Elaborado por Proyectiva Capacitación y Gestión. Disponible en URL: [http://www.munilosalamos.cl/web/wp-content/uploads/2018/04/PLADECO\\_2016\\_2020.pdf](http://www.munilosalamos.cl/web/wp-content/uploads/2018/04/PLADECO_2016_2020.pdf)
- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias- ODEPA. (2018a). Información Regional de la Región de Atacama 2014. Región de Atacama, Chile. Disponible en URL: <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2018/02/Atacama.pdf>
- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias- ODEPA. (2018b). Región de Valparaíso: Información regional 2018. Disponible en URL: <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2018/03/Valparaiso.pdf>
- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias- ODEPA. (2018c). Región del Maule: Información regional 2018. Disponible en URL: <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2018/03/Maule.pdf>
- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias- ODEPA. (2018d). Información Regional de la Región de Aysén 2014. Disponible en URL: <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2018/03/Aysen.pdf>
- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias- ODEPA. (2017a). Panorama de la agricultura chilena. Disponible en URL: <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2017/12/panoramaFinal20102017Web.pdf>
- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias- ODEPA. (2017b). Agricultura Chilena: reflexiones y desafíos al 2030. Disponible en URL: [https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2018/01/ReflexDesaf\\_2030-1.pdf](https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2018/01/ReflexDesaf_2030-1.pdf)
- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias - ODEPA. (2010). Estimación del impacto socioeconómico del Cambio Climático en el sector silvoagropecuario de Chile. Santiago, Chile. Disponible en URL: [http://www.superacionpobreza.cl/wp-content/uploads/2014/01/impacto\\_socioeconomico\\_cambio\\_climatico\\_sector\\_silvoagropecuario.pdf](http://www.superacionpobreza.cl/wp-content/uploads/2014/01/impacto_socioeconomico_cambio_climatico_sector_silvoagropecuario.pdf)
- Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico- OCDE. (2018). Estudios económicos de la OCDE- Chile: Visión General. Disponible en URL: <https://www.oecd.org/eco/surveys/Chile-2018-OECD-economic-survey-Spanish.pdf>
- Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico- OCDE. (2016). Evaluaciones del desempeño Ambiental Chile 2016. Santiago, Chile. 275 p. Disponible en URL: <http://repositorio.cepal.org/handle/11362/40308>
- Pellicciotti, F., Burlando, P. y Van Vliet, K. (2005). Recent trends in precipitation and streamflow in the Aconcagua River Basin, central Chile. IAHS Red Book Series 318, 17- 38.
- Peña, H. (2019). Escenarios hídricos 2030: Análisis de las condiciones habilitadoras de las medidas, acciones y soluciones (MAS). Estudio elaborado para Escenarios Hídricos 2030. Santiago, Chile. Disponible en URL: [www.escenarioshidricos.cl/multimedia](http://www.escenarioshidricos.cl/multimedia)
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo- PNUD. (2011). Plan de Recuperación Post Desastre con Enfoque de Gestión de Riesgo y Participación Ciudadana. Comuna de Lebu Región del Biobío – Chile. Consultado el 27 de junio 2017. Disponible en URL: [http://www.undp.org/content/dam/chile/docs/Prevencion\\_recup\\_crisis/undp\\_cl\\_prevyrecuperacioncrisis\\_portada\\_plan\\_recuperacion\\_Lebu.pdf](http://www.undp.org/content/dam/chile/docs/Prevencion_recup_crisis/undp_cl_prevyrecuperacioncrisis_portada_plan_recuperacion_Lebu.pdf)
- Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos- WWAP/ONU-Agua. (2018). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2018: Soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua. París, UNESCO. Disponible en URL: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000261494>
- Rivera, A., Casassa, G., Acuña, C. y Lange, H. (2000). Variaciones recientes de glaciares en Chile. Investigaciones geográficas, 34, 29-60. Disponible en URL: <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/118025/Variaciones-recientes-de-glaciares-en-Chile.pdf?sequence=1>
- Rivera, H., Domínguez, E., Marín, R. y Venegas, R. (2004). Metodología para el cálculo del índice de escasez de agua superficial. Elaborado por IDEAM para el proyecto Sistema de Información del Medio Ambiente (SIMA), Lima, Perú. Disponible en URL: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021143/metodologia-calculo.pdf>
- Rojas, O. (2015). Cambios ambientales y dinámicas de inundaciones fluviales en una cuenca costera del centro sur de Chile. Tesis Doctoral, Universidad de Concepción, Chile. Disponible en URL: [http://repositorio.udec.cl/bitstream/handle/11594/1773/Tesis\\_Cambios\\_Ambientales\\_y\\_Dinamica\\_Image.Marked.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.udec.cl/bitstream/handle/11594/1773/Tesis_Cambios_Ambientales_y_Dinamica_Image.Marked.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Rojas, O., Mardones, M., Arumí, J.L. y Aguayo, M. (2014). Una revisión de inundaciones fluviales en Chile, período 1574-2012: causas, recurrencia y efectos geográficos. Revista de Geografía Norte Grande, (57), 177-192. Versión On-line ISSN 0718-3402. Disponible en URL: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022014000100012>
- Salas, J. F. (2004). Diagnóstico y clasificación de la calidad de agua en la cuenca del río Baker, según objetivos de calidad. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile. Disponible en URL: <http://documentos.dga.cl/CQA4296.pdf>

- Santibáñez, F. (2016). El Cambio Climático y los recursos hídricos en Chile. Agricultura Chilena: reflexiones y desafíos al 2030. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias- ODEPA. Disponible en URL: [https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2018/01/ReflexDesaf\\_2030-1.pdf](https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2018/01/ReflexDesaf_2030-1.pdf)
- Servicio Nacional de Geología y Minería - SERNAGEOMIN. (2016). Catastro de Depósitos de Relaves en Chile 2016. Disponible en URL: <http://sitiohistorico.sernageomin.cl/mineria-relaves.php>.
- Servicio Nacional de Geología y Minería - SERNAGEOMIN. (2015). Servicio Nacional de Geología y Minería. Mapa. Zonas Afectadas por inundaciones y aluviones asociadas al evento meteorológico del 24 -26 de marzo 2015. Chile. Disponible en URL: [http://sitiohistorico.sernageomin.cl/pdf/mapa-geo/Zonas-afectadas-aluviones-en-NorteChico-marzo-julio2015\\_1.pdf](http://sitiohistorico.sernageomin.cl/pdf/mapa-geo/Zonas-afectadas-aluviones-en-NorteChico-marzo-julio2015_1.pdf)
- Sociedad Nacional de Minería-SONAMI. (2014). Una minería sostenible en la zona central de Chile: Escenarios al 2035. Disponible en URL: <http://www.sonami.cl/site/wp-content/uploads/2016/07/01.-Iniciativa-Scenario-Planning.pdf>
- Subsecretaría de Agricultura. (2012). Programa mejoramiento de emergencia. Obras de riego en la provincia de Copiapó. Atacama, Chile. Disponible en URL:[https://www.goreatacama.cl/sysdataweb/res\\_fndr/julio/CORE%20N%C2%B040.pdf](https://www.goreatacama.cl/sysdataweb/res_fndr/julio/CORE%20N%C2%B040.pdf)
- Sud-Austral Consulting SpA. (2016). Actualización de cifras y mapas de desertificación; degradación de la tierra y sequía en Chile a nivel de comunas. Santiago, Chile. Disponible en URL: [https://www.researchgate.net/profile/Patricio\\_Emanuelli/publication/311910528\\_ACTUALIZACION\\_DE\\_CIFRAS\\_Y\\_MAPAS\\_DE\\_DESERTIFICACION\\_DEGRADACION\\_DE\\_LA\\_TIERRA\\_Y\\_SEQUIA\\_EN\\_CHILE\\_A\\_NIVEL\\_DE\\_COMUNAS/links/5861a55508ae329d61ff3577/ACTUALIZACIONDE-CIFRAS-Y-MAPAS-DE-DESERTIFICACIONDEGRADACION-DE-LA-TIERRA-Y-SEQUIA-EN-CHILE-ANIVEL-DE-COMUNAS.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Patricio_Emanuelli/publication/311910528_ACTUALIZACION_DE_CIFRAS_Y_MAPAS_DE_DESERTIFICACION_DEGRADACION_DE_LA_TIERRA_Y_SEQUIA_EN_CHILE_A_NIVEL_DE_COMUNAS/links/5861a55508ae329d61ff3577/ACTUALIZACIONDE-CIFRAS-Y-MAPAS-DE-DESERTIFICACIONDEGRADACION-DE-LA-TIERRA-Y-SEQUIA-EN-CHILE-ANIVEL-DE-COMUNAS.pdf)
- Superintendencia de Servicios Sanitarios - SISS. (2016). Informe de Gestión del Sector Sanitario 2016. Disponible en URL: <http://www.siss.gob.cl/586/w3-article-16848.html>
- Superintendencia de Servicios Sanitarios - SISS. (2014). Informe de Gestión del Sector Sanitario 2014. Disponible en URL: [http://www.siss.gob.cl/586/articles-11831\\_recurso\\_1.pdf](http://www.siss.gob.cl/586/articles-11831_recurso_1.pdf)
- Toro, JC., Ortúzar, J., Zamorano, J., Cuadra, P., Hermosilla, J., Spohnle, C. (2012). Protracted Magmatic-Hydrothermal History of the Río Blanco-Los Bronces District, Central Chile: Development of World's Greatest Known Concentration of Copper. Geology and Genesis of Major Copper Deposits and Districts of the World: A Tribute to Richard H. Sillitoe, Jeffrey W. Hedenquist, Michael Harris, Francisco Camus. Disponible en DOI: <https://doi.org/10.5382/SP.16.05>
- Ulloa, C., García, A., Amigo, G. y Milana, J. (2015). Línea base de la Criósfera para la cuenca del río Copiapó. Chile. Disponible en URL: [http://biblioteca.sernageomin.cl/opac/DataFiles/14905\\_v2\\_pp\\_643\\_646.pdf](http://biblioteca.sernageomin.cl/opac/DataFiles/14905_v2_pp_643_646.pdf)
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization - UNESCO. (2010). Atlas de zonas áridas de América Latina y el Caribe. CAZALAC. Documentos Técnicos del PHI-LAC, N°25. Chile. Disponible en URL: <http://unesdoc.unesco.org/images/0021/002163/216333s.pdf>
- United Nations Environment Programme- UN environment. (2018). Progres on integrated wáter resources management. Global baseline for SDG 6 indicator 6.5.1. Degree of IWRM implementation. Disponible en URL:[https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/27509/IWRM\\_EN.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/27509/IWRM_EN.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Universidad Andrés Bello- UAB. (2017). Estrategia Chile 2030 Aporte de ideas para una reflexión nacional. Disponible en URL: [http://www.prospectivayestrategia.cl/pdf/estrategia\\_chile\\_2030.pdf](http://www.prospectivayestrategia.cl/pdf/estrategia_chile_2030.pdf)
- Universidad de Concepción- UdeC. (2016). Análisis de las condicionantes para el desarrollo hidroeléctrico en las cuencas de los ríos Palena, Cisnes, Aysén, Baker y Pascua, desde el potencial de generación a las dinámicas socio-ambientales. Estudio para el Ministerio de Energía, Informe final ID: 584105-40-LP15. Disponible en URL:<http://www.hidroelectricidadsustentable.gob.cl/docs>
- Valor Minero. (2017). Los desafíos para el desarrollo futuro de la minería en la zona central. Santiago, Chile. Disponible en URL: <http://valorminero.cl/DesafiosZonaCentral.pdf>
- Vitale, J. y Puebla, P. (2017). Aplicación de la prospectiva estratégica a la gestión integrada del recurso hídrico. En Fundación Chile. (Ed.), Desafíos del agua para la región Latinoamericana, pp. 80-93. Santiago, Chile. Disponible en URL: [www.escenarioshidricos.cl/multimedia](http://www.escenarioshidricos.cl/multimedia)
- Vivero, S. (2008). Inventario de glaciares descubiertos de la cuenca del río Copiapó y variaciones recientes en sus frentes. Informe final de práctica profesional, Dirección General de Aguas y Universidad de Chile. Disponible en URL: <https://research.csiro.au/gestion-copiapu/wp-content/uploads/sites/216/2018/01/065-2008-Inventario-de-glaciares-descubiertos-del-rio-Copiapu-y-variaciones-en-sus-frentes.pdf>
- World Resources Institute- WRI. (2015). Ranking the world's most water-stressed countries in 2040. Disponible en URL: <http://www.wri.org/blog/2015/08/ranking-world%E2%80%99s-most-water-stressed-countries-2040>

## AGRADECIMIENTOS

Concretar la publicación **TRANSICIÓN HÍDRICA: EL FUTURO DEL AGUA EN CHILE** fue posible gracias al gran compromiso y contribución de representantes de diversas instituciones público-privadas y organizaciones ciudadanas que participaron del proceso Escenarios Hídricos 2030.

La iniciativa Escenarios Hídricos 2030 reconoce y agradece el aporte de cada una de las personas e instituciones que trabajaron activamente y que colaboraron en la construcción de esta publicación.

EH2030 agradece especialmente a las entidades financieras de la iniciativa, Banco Interamericano de Desarrollo y ZOMA LAB, apoyo que ha sido fundamental para concretar el proceso y trabajo expuesto, tanto en la *Radiografía del Agua: Brecha y Riesgo Hídrico en Chile* como en la presente publicación.

### MIEMBROS PARTICIPANTES DE ESCENARIOS HÍDRICOS 2030

Jorge Ducci (Banco Interamericano de Desarrollo), Oscar Cristi (Dirección General de Aguas), Juan José Donoso (Ministerio de Medio Ambiente), Alejandro Jadresic (Fundación Chile), Marcos Kulka (Fundación Chile), Diego Luna (Fundación Futuro Latinoamericano), Hernán Blanco (Fundación AVINA), Mónica Ríos (Ministerio de Obras Públicas), Ricardo Ariztía (Sociedad Nacional de Agricultura), Jessica López (Asociación Nacional de Empresas de Servicios Sanitarios A.G.), Felipe Celedón (Sociedad Nacional de Minería), Claudio Seebach (Generadoras de Chile), Andrés Meneses (Ministerio de Agricultura), Javiera Hernández (Ministerio de Agricultura), Nicolás Ureta (Dirección General de Aguas), María Cristina Betancour (Sociedad Nacional de Minería), Carlos Gajardo (Sociedad Nacional de Minería), Francisco Donoso (Asociación Nacional de Empresas de Servicios Sanitarios A.G.), Juan Pablo Matte (Sociedad Nacional de Agricultura), Jaime Espíndola (Generadoras de Chile), Sebastián Miller (Banco Interamericano de Desarrollo), Fernando Brito (Banco Interamericano de Desarrollo), Sebastián Bonelli (The Nature Conservancy), Francisca Bardi (The Nature Conservancy), Roque Sáenz (Tambo Roca), Claudia Farías (Tambo Roca), Carolina Bustamante (Fundación AMULEN), Rocío Espinoza (Fundación AMULEN), Andrea Osses (Dirección General de Aguas), María de la Luz Vásquez (Ministerio de Minería), Mario Pérez (Instituto de Desarrollo Agropecuario), José M. Urrutia (Instituto de Desarrollo Agropecuario),

Karla González (Instituto Nacional de Hidráulica), Rodrigo Herrera (Instituto Nacional de Hidráulica), Enrique Galecio (Instituto Nacional de Hidráulica), Camila Montes (Comisión Chilena del Cobre), Cristian Cifuentes (Comisión Chilena del Cobre), Wilfredo Alfaro (Corporación Nacional Forestal), Pilar Cruz (Asociación de Municipalidades de Chile), Gabriel Zamorano (Superintendencia de Servicios Sanitarios), Rodrigo Farías (Superintendencia de Servicios Sanitarios), Gonzalo Aracena (Superintendencia de Servicios Sanitarios), Paula Díaz Palma (Ministerio de Medio Ambiente), Ivalú Astete (Ministerio de Medio Ambiente), Verónica Droppelmann (Ministerio de Medio Ambiente), Carolina Espinoza (Servicio Nacional de Geología y Minería), Luis López (Servicio Nacional de Geología y Minería), Jaime Yáñez (Servicio Nacional de Geología y Minería), Jaime Yáñez (Comisión Nacional de Riego), Mónica Rodríguez (Comisión Nacional de Riego), Rodrigo Pérez (Instituto de Desarrollo Agropecuario), Esteban Tohá (Ministerio de Energía), Carlos Olivares (Ministerio de Energía), Jorge Gómez (Generadoras de Chile), Orlando Acosta (Generadoras de Chile), Carlos Barría (Asociación Gremial de Pequeños y Medianos Generadores de Energía), Rafael Loyola (Asociación de Pequeñas y Medianas Centrales Hidroeléctricas), Gloria Alvarado (Federación Nacional de Agua Potable Rural), José Orellana (Federación Nacional de Agua Potable Rural), José Rivera (Federación Nacional de Agua Potable Rural), Guillermo Saavedra (Federación Nacional de Cooperativas de Servicios Sanitarios Ltda.), Carlos Berroeta (Asociación Nacional de Empresas de Servicios Sanitarios A.G.), Daniela Álvarez (Asociación Gremial de Productores de Cerdos de Chile), Renzo Boccanegra (Asociación Gremial de Productores de Cerdos de Chile), Francisco Albornoz (Fundación para el Desarrollo Frutícola), Benjamín Gramsch (Sociedad de Fomento Fabril), Francisco Gana (Sociedad Nacional de Agricultura), Juan Guillermo Jeldes (Sociedad Nacional de Agricultura), Fernando Peralta (Confederación de Canalistas de Chile), María de los Ángeles Villanueva (Confederación de Canalistas de Chile), Luis Jorquera (Confederación de Canalistas de Chile), María Teresa Arana (Corporación Chilena de la Madera), Pía Silva (Corporación Chilena de la Madera), Carlos Descourvières (Chilealimentos), Carlos Ciappa (ILC Abogados), Eduardo Bustos (Centro de Cambio Global Universidad Católica), Gladys Vidal (Universidad de Concepción), Georg Welzel (Consultor), Carlos Cruz (Consejo de Políticas de Infraestructura), Gonzalo Pérez (Consejo de Políticas de Infraestructura), Rodrigo Oyanedel (Walton Family Foundation), Javier Hurtado (Cámara Chilena de la Construcción), Alex Thiermann (Cámara Chilena de Comercio, Servicios y Turismo), Katherine Rojas (Cámara Chilena de Comercio, Servicios y Turismo), Alejandro Salinas

(Asociación Chilena de Municipalidades), Gabriel Caldés (Consultor), Andrés Pesce (Fundación Chile), Ulrike Broschek (Fundación Chile), Claudia Galleguillos (Fundación Chile), Paola Matus (Fundación Chile), Débora Gomberoff (Fundación Chile), María José Gómez (Fundación Chile), Anahí Ocampo (Fundación Chile), Gerardo Díaz (Fundación Chile), Martín Fuentes (Fundación Chile), Adriana López (Fundación Chile), Jorge Alarcón (Fundación Chile).

### **ESPACIO DE DIÁLOGO AMBIENTAL Y SOCIAL**

Sara Larraín (Chile Sustentable), Juan Pablo Orrego (Ecosistemas) Bernardo Reyes (Ética en los Bosques), Óscar Fernández (Comité Nacional Pro Defensa de la Flora y Fauna - CODEFF), Alessandro Lodi (Casa de la Paz), Diego Urrejola (Fundación Cosmos), Sebastián Bonelli (The Nature Conservancy), Francisca Bardi (The Nature Conservancy), Paloma Caro (World Wildlife Fund - WWF).

### **ACTORES QUE PARTICIPARON DEL PROCESO Y CONTRIBUYERON EN LOS TERRITORIOS**

#### **CUENCA DE RÍO COPIAPÓ:**

Patricia Olivares (Seremi Agricultura), Paulino Donoso (Comisión Nacional de Riego), Hernán Kong (Corporación de Fomento de la Producción), Francisco San Martín (Superintendencia de Servicios Sanitarios), Michele Cathalifaund (Dirección de Obras Hidráulicas), Rodrigo Alegría (Dirección General de Aguas), César Araya (Ministerio de Medio Ambiente), Miguel Vargas (Ministerio del Interior), Emilio Díaz Aguilera (Mesa del sector público), Alejandro Escudero (Corporación de Fomento de la Producción), Alejandra Narváez (Asociación de Productores y Exportadores Agrícolas del Valle de Copiapó), Juan Carlos González (Junta de Vigilancia Río Copiapó), Angélica Osorio (Comunidad de Aguas Subterráneas I,II y III), Carlos Araya (Comunidad de Aguas Subterráneas V y VI), Leonardo Troncoso (Corporación para el Desarrollo de la Región de Atacama), Pablo Romero (Aguas Chañar), Cristián González (Junta de Vigilancia río Copiapó), Fernanda Prohens (Comunidad de Aguas Subterráneas I,II y III), Carolina Veroitza (Comunidad de Aguas Subterráneas IV), Nibaldo Rojas (Corporación de Fomento de la Producción), Natalia Penroz (Ministerio de Medio Ambiente), Álvaro Parra (Ministerio de Medio Ambiente), Claudio Henríquez (Ministerio de Agricultura), Erwin Kehr (Superintendencia de Servicios Sanitarios), Hugo Rodríguez (Gobierno Regional), Jorge Espinoza (Dirección General de Aguas), Rodrigo Sáez (Dirección General de Aguas), Leonardo Gros (Instituto de Desarrollo Agropecuario), Francisco Astudillo (Universidad de Atacama), José Leiva (Unión Comunal de Juntas de Vecinos Copiapó), Mirna Cortés (Consejo Nacional del Pueblo Colla).

#### **CUENCA DEL RÍO ACONCAGUA**

Katherine Ferrada (Anglo American), Ursula Weber (Anglo American), Javier Vargas (ESVAL), Cristián Vergara (ESVAL), Marcelo Aceituno (ESVAL), Rodrigo Correa (Corporación Nacional del Cobre), Francisco Riestra (Corporación Nacional del Cobre), Álvaro Hernández (Corporación Nacional del Cobre), Luis Rojas (Anglo American), Carlos Salazar (Corporación Nacional del Cobre), Arnaldo Chibbaro (Asesor Intendencia), Moisés Hervías (Comisión Nacional de Riego), Juan Alfredo Cabrera (Comisión Nacional de Riego), María Loreto Kort (Instituto de Desarrollo Agropecuario), Ricardo Astorga (Seremi Agricultura), Juan Valle ( Subsecretaría Interior), Adolfo Sandoval (Encargado Regional de Riego), Irene Salazar (Asociación de Agricultores Quillota y Marga Marga), Santiago Matta (III sección cuenca Aconcagua), Enrique Jullian (IV sección cuenca Aconcagua), Rodrigo Riveros (I sección cuenca Aconcagua), Bernardo Salas (Canales Catemu).

#### **CUENCA DE RÍO MAIPO:**

David Le May (Canal de Pirque), Rafael León, (Asociación Canales de Maipo), José Manuel Córdova (Asociación canales de Pirque), Rodrigo Vargas (Corporación Nacional Forestal), José Luis Fuentes (Sociedad del Canal del Maipo), Daniel Gallagher (Aguas Andinas/Massachusetts Institute of Technology), Janett Salinas (Ministerio de Medio Ambiente), Jorge Reyes (Aguas Andinas), Bárbara Eguiguren (Ministerio de Energía), Roberto Fuentes (Comisión Nacional de Riego), Mónica Marín (Servicio Nacional de Geología y Minería), Juan Carlos Salgado (Dirección General de Aguas).

#### **CUENCA DE RÍO MAULE:**

Claudia Sangüesa (Centro Tecnológico de Hidrología Ambiental - Universidad de Talca), Roberto Pizarro Tapia (Universidad de Talca), Mario Hanna (Gobierno Regional), Leonardo Sandoval (Comisión Nacional de Riego), Manuel Gei (Seremi Ministerio de Obras Públicas), Vicente Maturana (Ministerio de Obras Públicas), Olaya Martínez (Gobierno Regional), Samuel Sáez (Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo), Sara Pereira (Superintendencia de Servicios Sanitarios), Enrique Osorio Alarcón (Dirección General de Aguas), Carolina Muñoz (Ministerio de Hacienda), Marcelo González (Instituto de Desarrollo Agropecuario), Guillermo Vargas Molina (Ministerio del Interior y Seguridad Pública - Intendencia Región del Maule), Carlos Diez Jugovic (Junta de Vigilancia Río Maule), Alvaro Seguel (Consultor Comisión Nacional de Riego), Yohana González (San Clemente Foods S.A.), Jean Bustamante (San Clemente Foods S.A.), Paulo Gil

(Sugal Group), Jorge Arnes (Sugal Group), Francisco Oyarce (Forestal Arauco), Juan Pablo Arroyo (Celulosa Arauco y Constitución), Juan Carlos Sepúlveda (Forestal Arauco), Rodrigo Herrera (Celulosa Arauco y Constitución), René Gallardo (Enel Generación), Ana María Cisternas (Aguas Nuevo Sur), Valentina Bobadilla (Forestal Arauco), Juan Muñoz Lara (Corporación Nacional Forestal), Felipe Álvarez Donoso (La Ponderosa SA), Wilfredo Arriagada (Municipalidad de Hidráulicas), Claudio Ramírez (Dirección General de Aguas), Carlos Pérez (Inversiones Leice), Pablo Castiglione (Enel Generación).

#### **CUENCA DE RÍO LEBU:**

Víctor Romero (Dirección General de Aguas), Pedro Beltrán (Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo), Víctor Coloma (Superintendencia de Servicios Sanitarios), Javiera Contreras (Dirección de Obras Hidráulicas), José Pino (Dirección de Obras Hidráulicas), Javiera Quilodrán (Asociación de Municipalidades Región del Bio Bio), Felipe Vargas (Asociación de Municipalidades Región del Bio Bio), Ana Hinojosa (Asociación de Municipalidades Región del Bio Bio), Mauricio Nova (Asociación de Municipalidades Región del Bio Bio), Luis Cuevas (Gobierno Regional), Cristian Fuentes (Gobierno Regional), Francisco Oyarce (Forestal Arauco), Víctor Vargas (Instituto Forestal), Rodolfo Fierro (Forestal Arauco), Jocelyn Gallegos (Forestal Arauco), Marcela Vásquez (Gobernación Provincial de Arauco), Luis Ceballos (Gobernación Provincial de Arauco), Jorge Lincopi (Gobernación Provincial de Arauco), Leonardo Cuevas (Dirigente vecinal), David Villegas (Dirigente vecinal), Nazareno Rocha (Organización Social Turística), Juan Rocha (Organización Social Turística), Pedro Lagos (Dirigente Vecinal), Lucía Millano (Dirigente Vecinal), Juan Antipil (Dirigente Vecinal), Leandro Fernández (Dirigente Vecinal), María Angélica Cuevas (Dirigente Vecinal), Sebastián Enríquez (Forestal Arauco), Víctor Bahamondes (Dirección de Obras Hidráulicas), Andrés Fernández (Forestal Arauco), Boris Fica (Forestal Arauco), Luis Díaz (Dirección General de Aguas), Francisco Rífo (Seremi de Salud), Pablo San Martín (Gobierno Regional), Jaime Lira (Gobierno Regional), Carlos Vega (Intendencia), Ariel Durán (Subsecretaría del Interior), Pablo Ureta (Seremi de Salud), Hugo Quiero (Gobernación Provincial de Arauco).

#### **CUENCA DE RÍO BAKER:**

Alejandra Espina (Dirección General de Aguas), Jorge O'kuinghtons Villena (Dirección General de Aguas), Alfredo Mayorga (Corporación Nacional Forestal), Ronald Valenzuela (Corporación Nacional Forestal), Ángela Hernández (Centro de Investigación en

Ecosistemas de la Patagonia), Carlos Ureta (Oficina Nacional de Emergencias), Enrique Vásquez (Oficina Nacional de Emergencias), Sidi Bravo (Oficina Nacional de Emergencias), Juan Luis Amenabar (Seremi Energía), Pablo Hernández (Comisión Nacional de Riego), Nicolás Bitsch (Seremi Agricultura), Carlos Gonzales (Servicio de Evaluación Ambiental), Rosita Rodríguez (Servicio de Evaluación Ambiental), Lorena Castro (Servicio de Evaluación Ambiental), Giovanni Queirolo (Superintendencia de Servicios Sanitarios), Cristian Aguilar (Dirección de Obras Hidráulicas), Jimena Silva (Seremi Medio Ambiente), Fernando Ojeda (Servicio Nacional de Turismo), Leonardo Yañez (Corporación Nacional Forestal), Manuel Henríquez (Corporación Nacional Forestal), Hernán Pérez (Ministerio de Agricultura), Carla González (Servicio de Evaluación Ambiental), Hernaldo Saldívia (Servicio Agrícola y Ganadero), María José García (Ministerio de Energía), Cristian Alarcón (Servicio Nacional de Turismo), Giovanna Gómez (Dirección General de Aguas).

#### **OTRAS PERSONAS QUE PARTICIPARON DEL PROCESO DESDE SU INICIO**

Carlos Estévez (Dirección General de Aguas), Marcelo Mena (Ministerio de Medio Ambiente), Patricio Meller (Fundación Chile), Magaly Espinosa (Ministerio de Obras Públicas), Patricio Crespo (Sociedad Nacional de Agricultura), Víctor Galilea (Asociación Nacional de Empresas de Servicios Sanitarios A.G), Simón Bruna (Ministerio de Medio Ambiente), Francisca Rivero (Fundación AVINA), Adrián Lillo (Dirección General de Aguas), Daniela Cabezas (The Nature Conservancy), Ricardo Bosshard (World Wildlife Fund - WWF), Koen Verbist (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura - UNESCO), Felipe Zavala (Ministerio de Minería), Cristián Sobarzo (Dirección de Obras Hidráulicas), Claudio Fiabane (Ministerio del Interior), Sofía Aroca (Ministerio de Hacienda), María José Ramírez (Consultor Fundación Chile), Fernando González (Fundación Chile), Rodrigo Cordero (Fundación Chile).

#### **PROFESIONALES Y ESPECIALISTAS QUE CONTRIBUYERON AL ANÁLISIS Y DESARROLLO DE LA TRANSICIÓN HÍDRICA**

Eduardo Bustos (Centro de Cambio Global Universidad Católica), Alejandra Figueroa (Consultor), Simón Bruna (Consultor), Daniela Duhart (Consultor), Lorena Herrera (Consultor), Jacobo Homsí (KRISOL), Eugenio Soto (Consultor), Humberto Peña (Consultor), Mauro Nalesso (Banco Interamericano de Desarrollo), Pedro Coli (Banco Interamericano de Desarrollo), Efraín Rueda (Asesor Banco Interamericano de Desarrollo), Valentina Cárdenas (Consultor), Paola Díaz (Consultor), Camila Romero (Consultor).





Publicaciones de Escenarios Hídricos 2030

Descarga versiones completas en:

[www.escenarioshidricos.cl](http://www.escenarioshidricos.cl)



