



PLAN DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

RECURSOS HÍDRICOS

**CARACTERIZACIÓN DEL SECTOR, VULNERABILIDAD Y EVALUACIÓN
DE EFECTOS ADVERSOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO Y RIESGOS**

MAYO 2024

REV. 0



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



GREEN
CLIMATE
FUND

Descargo de responsabilidad de género: En el presente informe se incluye lenguaje inclusivo; en los casos en que se use una palabra en forma genérica sin desagregarla para hombres y mujeres es solo para facilitar su lectura.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	CONTEXTO	1
1.2	DEFINICIÓN DE SEGURIDAD HÍDRICA	3
1.3	OBJETIVOS DEL PACC-RH	3
1.3.1	Objetivo General	3
1.3.2	Objetivos Específicos	3
1.4	RELACIÓN ENTRE NDC, ECLP, ODS 6 Y PACC-RH	3
CAPÍTULO 2	CARACTERIZACIÓN DEL SECTOR DE LOS RECURSOS HÍDRICOS	4
2.1	DESCRIPCIÓN DEL PAÍS EN MATERIA HÍDRICA	4
2.2	FUENTES Y OFERTA DE AGUA	6
2.2.1	Aguas superficiales	7
2.2.2	Aguas subterráneas	7
2.2.3	Nieves y glaciares	7
2.2.4	Balance hídrico	8
2.3	USOS Y DEMANDA DE AGUA	8
2.3.1	Uso para agua potable	9
2.3.2	Uso para protección ambiental	10
2.3.3	Uso silvoagropecuario	12
2.3.4	Uso minero e industrial	13
2.3.5	Uso para generación eléctrica	14
2.3.6	Uso acuícola	15
2.3.7	Uso turístico	16
2.4	CALIDAD DE LAS AGUAS	17
2.4.1	Aguas superficiales	17
2.4.2	Aguas subterráneas	19
2.5	INFRAESTRUCTURA HÍDRICA	20
2.5.1	Agua potable y saneamiento	20
2.5.2	Embalses, canales y pozos	23
2.5.3	Plantas desalinizadoras	24
2.5.4	Reúso de aguas servidas	24
2.5.5	Recarga acuífera, captura de aguas lluvia y sistemas atrapanieblas	24
2.5.6	Servicio Hidrométrico Nacional DGA	25
2.6	GESTIÓN DEL AGUA	26
2.6.1	Código de Aguas y oportunidades de la reforma del año 2022	26
2.6.2	Derechos de Aprovechamiento de Aguas	27
2.6.3	Institucionalidad pública en materia hídrica	28
2.6.4	Instrumentos de gestión y/o protección del recurso hídrico	29

CAPÍTULO 3	EL CLIMA Y SUS PROYECCIONES	32
3.1	CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA	32
3.2	TENDENCIAS HISTÓRICAS Y PROYECCIONES	34
3.2.1	Precipitación	34
3.2.2	Temperatura	35
3.2.3	Evapotranspiración	36
3.2.4	Escorrentía	37
3.3	EVENTOS EXTREMOS	37
3.3.1	Inundaciones y aluviones	38
3.3.2	Sequías	40
3.3.3	Temperaturas extremas	45
CAPÍTULO 4	VULNERABILIDAD Y RIESGOS DEL SECTOR DE LOS RECURSOS HÍDRICOS POR EL CAMBIO CLIMÁTICO	49
4.1	INTRODUCCIÓN	49
4.2	RIESGOS EN LA DIMENSIÓN SOCIAL	50
4.2.1	Riesgos sobre el consumo humano, subsistencia y saneamiento	50
4.2.2	Riesgos en asentamientos humanos y ordenamiento territorial	53
4.2.3	Riesgos sobre los usos culturales	54
4.3	RIESGOS EN LA DIMENSIÓN AMBIENTAL	55
4.3.1	Riesgos sobre caudales superficiales y humedales	55
4.3.2	Riesgos sobre cuerpos de agua subterráneos	57
4.3.3	Riesgos sobre glaciares y nieves	58
4.3.4	Riesgos sobre zonas latentes y saturadas	60
4.3.5	Otros riesgos sobre el ciclo del agua	61
4.4	RIESGOS EN LA DIMENSIÓN ECONÓMICA	62
4.4.1	Riesgos sobre el sector silvoagropecuario	63
4.4.2	Riesgos sobre el sector minero	63
4.4.3	Riesgos sobre el sector industrial	64
4.4.4	Riesgos sobre el sector energía	65
4.4.5	Riesgos sobre el sector acuícola	65
4.4.6	Riesgos sobre el sector turístico	66
CAPÍTULO 5	INTERRELACIÓN DE LAS DIMENSIONES SOCIAL, AMBIENTAL Y ECONÓMICA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS	68
5.1	EFFECTOS ADVERSOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE GRUPOS VULNERABLES	68
5.1.1	Mujeres	68
5.1.2	Pueblos Indígenas	72
5.2	EFFECTOS ADVERSOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA CONFLICTIVIDAD HÍDRICA	76
5.2.1	Conflicto hídrico y cambio climático	76
5.2.2	Conflictos por el agua en Chile	77
5.3	BRECHAS Y OPORTUNIDADES DE AVANCE EN SEGURIDAD HÍDRICA	80

CAPÍTULO 6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	89
6.1	SEGURIDAD HÍDRICA PARA CONSUMO HUMANO, DE SUBSISTENCIA Y SANEAMIENTO	89
6.2	SEGURIDAD HÍDRICA PARA CONSERVACIÓN Y PRESERVACIÓN ECOSISTÉMICA	90
6.3	SEGURIDAD HÍDRICA PARA DESARROLLO PRODUCTIVO	92
6.4	AMENAZAS ASOCIADAS AL CICLO DEL AGUA DERIVADAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO COMO EVENTOS EXTREMOS (SEQUÍAS, INUNDACIONES)	94
6.5	RECOMENDACIONES PARA LAS MEDIDAS DEL SECTOR	95
CAPÍTULO 7	BIBLIOGRAFÍA.....	97

ANEXOS

ANEXO A	RELACIÓN ENTRE NDC, ECLP, ODS 6 Y PACC-RH
ANEXO B	CARACTERIZACIÓN DEL SECTOR DE LOS RECURSOS HÍDRICOS POR MACROZONA
ANEXO C	RECOPIACIÓN DE TABLAS Y FIGURAS DE LA CARACTERIZACIÓN DEL SECTOR DE LOS RECURSOS HÍDRICOS
ANEXO D	INSTITUCIONALIDAD E INSTRUMENTOS DE GESTIÓN Y/O PROTECCIÓN HÍDRICA
ANEXO E	EL CLIMA Y SUS PROYECCIONES POR MACROZONA
ANEXO F	ANÁLISIS DE CADENAS DE IMPACTO (CDI) PRESENTES EN LA PLATAFORMA ARCLIM
ANEXO G	ANÁLISIS DE CADENAS DE IMPACTO (CDI) DE ARCLIM VINCULADAS CON LOS RECURSOS HÍDRICOS
ANEXO H	ÍNDICES DE RIESGO DE CADENAS DE IMPACTO (CDI) DE ARCLIM VINCULADAS CON LOS RECURSOS HÍDRICOS A ESCALA NACIONAL
ANEXO I	VULNERABILIDAD DE LOS PUEBLOS INDÍGENAS ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO
ANEXO J	CONFLICTOS POR EL AGUA EN UN CONTEXTO DE CAMBIO CLIMÁTICO

TABLAS

Tabla 2.1-1	Características principales de Chile, por macrozona	6
Tabla 2.3-1	Demanda consuntiva para agua potable urbana (APU) y rural (APR), año 2015, por macrozona	9
Tabla 2.3-2	Demanda in situ de caudales para protección ambiental, año 2015, por macrozona	11
Tabla 2.3-3	Demanda evapotranspirativa de bosques nativos y otras coberturas vegetales, año 2015, por macrozona	11
Tabla 2.3-4	Demanda consuntiva para uso en riego agrícola y uso pecuario, año 2015, por macrozona	12
Tabla 2.3-5	Demanda evapotranspirativa para uso agrícola de secano y forestal año 2015, por macrozona	12
Tabla 2.3-6	Estimación de superficie agrícola bajo riego, por macrozona.....	13
Tabla 2.3-7	Demanda consuntiva para uso minero e industrial, año 2015, por macrozona	14
Tabla 2.3-8	Extracción de agua en minería según fuente de extracción, a nivel nacional	14
Tabla 2.3-9	Demanda no consuntiva y consuntiva para generación eléctrica año 2015, por macrozona	15
Tabla 2.3-10	Capacidad instalada para generación hidroeléctrica, año 2023, por macrozona	15
Tabla 2.3-11	Demanda no consuntiva para uso acuícola año 2015, por macrozona ...	16
Tabla 2.3-12	Demanda in situ para uso turístico, año 2015, por macrozona	16
Tabla 2.5-1	Agua no facturada, año 2022, por macrozona	21
Tabla 2.5-2	Acceso a agua potable en sectores urbanos y rurales, año 2022, a nivel nacional.....	21
Tabla 2.5-3	Acceso a agua potable en sectores urbanos y rurales, año 2022, por macrozona	22
Tabla 2.5-4	Acceso a saneamiento, año 2022, por macrozona	22
Tabla 2.5-5	Distribución de DAA subterráneos, por macrozona	24
Tabla 2.5-6	Red hidrométrica DGA a nivel nacional	26
Tabla 3.2-1	Precipitación acumulada anual, promedio nacional	35
Tabla 3.2-2	Temperatura media anual, promedio nacional	36
Tabla 3.2-3	Evapotranspiración potencial media anual, promedio nacional	37
Tabla 3.3-1	Tendencia de la altura de la isoterma 0°C, por macrozona	48
Tabla 4.2-1	Población urbana y rural abastecida por sistemas de agua potable, por macrozona	51
Tabla 4.2-2	CDI de ARClím vinculadas con riesgos sobre consumo humano, subsistencia y saneamiento.....	52
Tabla 4.2-3	CDI de ARClím vinculadas con riesgos sobre asentamientos humanos y ordenamiento territorial.....	53

Tabla 4.3-1	CDI de ARClím vinculadas con riesgos sobre caudales superficiales y humedales.....	57
Tabla 4.3-2	CDI de ARClím vinculadas con riesgos sobre nieves y glaciares.....	59
Tabla 4.3-3	CDI de ARClím vinculadas con otros riesgos sobre el ciclo del agua	62
Tabla 4.4-1	CDI de ARClím vinculadas riesgos sobre el sector silvoagropecuario	63
Tabla 4.4-2	CDI de ARClím vinculadas con riesgos sobre el sector minero	64
Tabla 4.4-3	CDI de ARClím vinculadas con riesgos sobre el sector energía	65
Tabla 4.4-4	CDI de ARClím vinculadas con riesgos sobre el sector acuícola	66
Tabla 4.4-5	CDI de ARClím vinculadas con riesgos sobre el sector turístico	67
Tabla 5.1-1	Principales amenazas y riesgos frente al cambio climático asociados a los Pueblos Indígenas en el ámbito hídrico	74
Tabla 5.2-1	Tipos y ejemplos de conflictos por el agua y acentuados en Chile por el cambio climático.....	78

FIGURAS

Figura 2.1-1	Macrozonas hídricas de Chile.....	5
Figura 2.3-1	Evolución del consumo de agua potable urbana por cliente, a nivel nacional	10
Figura 2.4-1	Evolución del indicador ODS 6.3.2 a nivel nacional, periodo 2015-2020	18
Figura 3.1-1	Distribución de los tipos bioclimáticos de Chile según la clasificación climática de Köppen-Geiger.....	32
Figura 3.3-1	Niveles históricos de pozos para las cuencas del río Elqui (Macrozona Norte), Aconcagua y Maipo (Macrozona Centro).....	43
Figura 3.3-2	Comportamiento del IPE-12 meses, periodo 1982-2022, para el territorio nacional.....	44
Figura 3.3-3	Distribución de la severidad de la sequía a nivel nacional, medida por el Índice Combinado, diferentes periodos a diciembre 2022	45
Figura 3.3-4	Evolución del promedio de la temperatura media mínima (izq. arriba) y máxima (dcha. arriba) y de anomalías mínimas (izq. abajo) y máximas (der. abajo) con respecto al promedio 1961/90	46
Figura 3.3-5	Mapas de tendencia de temperaturas máximas (izquierda) y mínimas (derecha) e índices asociados.....	47
Figura 4.1-1	Riesgo según IPCC: AR5 (izquierda), AR6 y direcciones futuras (derecha).	49

SIGLAS Y ACRÓNIMOS

APU	Agua Potable Urbana
ARClím	Atlas de Riesgos Climáticos
AST	Aguas Servidas Tratadas
BHN	Balance Hídrico Nacional
CASEN	Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional
CdA	Código de Aguas
CDI	Cadena De Impacto
CITHJ	Comité Interministerial de Transición Hídrica Justa
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CNDT	Consejo Nacional de Desarrollo Territorial
CNR	Comisión Nacional de Riego
CPA	Catastro Público de Aguas
CpA	Conflictos por el Agua
DAA	Derecho de Aprovechamiento de Aguas
DGA	Dirección General de Aguas
DMC	Dirección Meteorológica de Chile
DOH	Dirección de Obras Hidráulicas
EAE	Evaluación Ambiental Estratégica
ECLP	Estrategia Climática de Largo Plazo
ENSO	El Niño Oscilación del Sur (siglas en inglés)
ET	Evapotranspiración
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (siglas en inglés)
FVC	Fondo Verde del Clima
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GIRH	Gestión Integrada de Recursos Hídricos
GRD	Gestión de Riesgo de Desastres
ICA	Índice de Calidad Ambiental
INDAP	Instituto de Desarrollo Agropecuario
INE	Instituto Nacional de Estadísticas
IPCC	Panel Intergubernamental del Cambio Climático (siglas en inglés)
IPE	Índice de Precipitación Estandarizado
IPG	Inventario Público de Glaciares
IPT	Instrumentos de Planificación Territorial
LMCC	Ley Marco de Cambio Climático
MERHC	Mesas Estratégicas de Recursos Hídricos en Cuencas
MCG	Modelo de Circulación General
MJO	Oscilación de Madden-Julian (siglas en inglés)
MMA	Ministerio del Medio Ambiente
MOP	Ministerio de Obras Públicas
NCh	Norma Chilena

NDC	Contribución Determinada a Nivel Nacional (siglas en inglés)
NSCA	Normas Secundarias de Calidad del Agua
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas
OIT	Organización Internacional del Trabajo
ONU	Organización de las Naciones Unidas
OU	Organización de Usuarios
PACC-RH	Plan de Adaptación al Cambio Climático para el sector de los Recursos Hídricos
PANCC	Plan de Acción Nacional de Cambio Climático
PDO	Oscilación Decadal del Pacífico (siglas en inglés)
PEGH	Plan Estratégico de Gestión Hídrica
PERHC	Plan Estratégico de Recursos Hídricos en Cuencas
PIB	Producto Interno Bruto
PNACC	Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático
PNOT	Política Nacional de Ordenamiento Territorial
PNRRD	Política Nacional de Reducción de Riesgo de Desastres
PNU	Patente por No Uso
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
PTAS	Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas
RCP	Trayectoria de Concentración Representativa (siglas en inglés)
RETC	Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes
SAM	Modo Anular del Sur (siglas en inglés)
SbN	Soluciones basadas en la Naturaleza
SCALL	Sistemas de Captación de Aguas Lluvia
SENAPRED	Servicio Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres
SHAC	Sector Hidrogeológico de Aprovechamiento Común
SISS	Superintendencia de Servicios Sanitarios
SNASPE	Sistema Nacional de Áreas Protegidas por el Estado
SPH	Alta del Pacífico Sur (siglas en inglés)
SSR	Servicios Sanitarios Rurales
ZOIT	Zonas de Interés Turístico

GLOSARIO

Acuífero: Formación geológica que contiene o ha contenido agua bajo la superficie de la tierra y posee la capacidad de almacenar y transmitir agua¹

Adaptación al cambio climático: Acción, medida o proceso de ajuste al clima actual o proyectado o a sus efectos en sistemas humanos o naturales, con el fin de moderar o evitar los daños, reducir la vulnerabilidad, aumentar la resiliencia o aprovechar las oportunidades beneficiosas².

Aluvión: Flujo muy rápido a extremadamente rápido con una notoria e inusualmente alta descarga máxima (frente de flujo), lo que se traduce en una mayor energía de impacto y en un alto poder destructivo. Esta es una característica que distingue los aluviones de otros flujos saturados como las inundaciones; técnicamente, un aluvión puede ser clasificado como flujos de lodo o barro, crecidas de detritos (flujos hiperconcentrados) y flujos de detritos. Estos, además, pueden incluir material antrópico (basura, escombros, etc.) y vegetación (troncos de árboles), entre otros (ONEMI, 2021)

Amenaza: Potencial ocurrencia de un evento o tendencia física, ya sea de origen natural o antropogénico, que podría resultar en la pérdida de vidas, lesiones u otros efectos adversos para la salud, además de daños o pérdidas en propiedades, infraestructuras, medios de subsistencia, servicios de provisión, ecosistemas y recursos ambientales (IPCC, 2022).

Atlas de Riesgos Climáticos [ARClím]: Mapas de riesgo climático de un conjunto de cadenas de impacto organizadas en aquellos sectores priorizados en atención a su vulnerabilidad a los efectos adversos del cambio climático. Para cada cadena se despliegan mapas de la amenaza climático, exposición y sensibilidad del sistema afectado (como la producción de maíz). Los mapas tienen cobertura nacional y resolución comunal (o puntual en ciertas cadenas). Las amenazas climáticas, exposición y sensibilidad se combinan para determinar el riesgo debido al cambio climático sobre el sistema en cuestión (Guía SEIA, 2023).

Cadenas De Impacto: Conjunto de mapas, con colores o símbolos que representan la variabilidad de los componentes del riesgo (amenaza, exposición, vulnerabilidad y riesgo propiamente tal) en los lugares de interés (MMA, 2020a).

¹ DFL N° 1122/ 1981, Ministerio de Justicia, que fija el texto Código de Aguas. Sitio web Biblioteca del Congreso Nacional. Consultado el 24 de mayo de 2024. Disponible en: <https://bcn.cl/2f8tw>

² LEY N° 21455/2022, MMA, que establece la Ley Marco de Cambio Climático. Sitio web Biblioteca del Congreso Nacional. Consultado el 24 de mayo de 2024. Disponible en: <https://bcn.cl/3211s>

Cambio Climático: 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 comparables³.

Capacidad de adaptación: Capacidad de los sistemas, las instituciones, los seres humanos y otros organismos para adaptarse ante posibles daños, aprovechar oportunidades o afrontar a las consecuencias (IPCC, 2015).

Cuenca: Territorio delimitado por una línea divisoria de aguas, donde se interrelacionan dimensiones físico-ambientales, sociales, económicas, culturales, entre otras y que considera las interdependencias entre los elementos que la componen. La cuenca es la unidad básica de gestión de las aguas y se considera indivisible. La DGA determinará mediante resolución fundada la denominación y límites de cada cuenca (DS58/ 2023, MOP).

Efectos adversos del cambio climático: Cambios en el medio ambiente, provocados por el cambio climático, que tienen consecuencias nocivas en la composición, la capacidad de recuperación o la productividad de los ecosistemas, en la salud y el bienestar humano, o en los sistemas socioeconómicos⁴.

Escasez hídrica: Situación en donde el agua disponible es menor que la demandada para usos sociales y ambientales, como el consumo humano y de animales, mantención de ecosistemas, agricultura, minería, industria y otros (Álvarez-Garretón et al., 2023).

Escenario climático: Representación plausible y en ocasiones simplificada del clima futuro, basada en un conjunto de relaciones climatológicas internamente coherente, definido explícitamente para investigar las posibles consecuencias del cambio climático antropógeno, y que puede introducirse como datos entrantes en los modelos de impacto. Las proyecciones climáticas suelen utilizarse como punto de partida para definir escenarios climáticos, aunque estos requieren habitualmente información adicional, por ejemplo, sobre el clima actual observado. Un escenario de cambio climático es la diferencia entre un escenario climático y el clima actual (IPCC, 2013).

Evapotranspiración: Procesos combinados a través de los cuales el agua se transfiere a la atmósfera desde las superficies de agua y hielo, el suelo desnudo y la vegetación que forman la superficie de la Tierra (IPCC, 2022).

Evento climático extremo: Ocurrencia de un valor de una variable meteorológica o climática por encima (o por debajo) de un valor umbral cerca de los extremos superior (o inferior) del rango de valores observados de la variable. Por definición, las características de lo que se llama clima extremo pueden variar de un lugar a otro. Cuando un patrón de clima extremo persiste durante algún tiempo, como una estación, puede clasificarse como un evento climático extremo, especialmente si produce un promedio o total que es en sí

³ LEY N° 21455/2022, MMA, que establece la Ley Marco de Cambio Climático. Sitio web Biblioteca del Congreso Nacional. Consultado el 24 de mayo de 2024. Disponible en: <https://bcn.cl/32l1s>

⁴ LEY N° 21455/2022, MMA, que establece la Ley Marco de Cambio Climático. Sitio web Biblioteca del Congreso Nacional. Consultado el 24 de mayo de 2024. Disponible en: <https://bcn.cl/32l1s>

mismo extremo (por ejemplo, temperatura alta, sequía o lluvias intensas durante un período de tiempo) (IPCC, 2022).

Exposición: Presencia de personas, sistemas de vida, especies o ecosistemas, funciones ambientales, servicios y recursos, infraestructura, o activos económicos, sociales o culturales en lugares y ambientes que se pueden ver afectados de manera adversa (IPCC, 2022).

Grupos vulnerables: segmentos de la población con un alto riesgo asociado a los impactos adversos del cambio climático, por tratarse de grupos ya marginados o en condiciones previas de vulnerabilidad⁵.

Inundación: Desbordamiento de los límites normales de un arroyo u otro cuerpo de agua, o acumulación de agua sobre áreas que normalmente no están sumergidas. Las inundaciones pueden ser causadas por lluvias inusualmente intensas, por ejemplo, durante tormentas y ciclones. Las inundaciones incluyen inundaciones fluviales, inundaciones repentinas, inundaciones urbanas, inundaciones pluviales, inundaciones de alcantarillado, inundaciones costeras e inundaciones repentinas de lagos glaciales (IPCC, 2022).

Isoterma cero: Línea imaginaria donde la temperatura del aire alcanza los 0°, y que, bajo esta temperatura, la precipitación cambia de fase líquida a sólida. Este indicador es de gran importancia producto de que el cambio climático ha generado un aumento en la temperatura del aire en las últimas décadas, lo que ha provocado que el nivel de la isoterma cero, alcance mayor altura, generando una reducción de la superficie andina que recibe nieve, por lo que la disponibilidad de agua disminuye intensificando la sequía, sobre todo en el periodo estival. Por otro lado, ante eventos de precipitación importante con altura de isoterma 0°C elevada, podría influir en la ocurrencia de remociones en masa o aumento de caudales (DMC, 2022).

Maladaptación: Acciones que pueden conducir a un mayor riesgo de resultados adversos relacionados con el clima, incluso a través de mayores emisiones de GEI, mayor o desplazada vulnerabilidad al cambio climático, resultados más inequitativos o disminución del bienestar, ahora o en el futuro. En la mayoría de los casos, la mala adaptación es una consecuencia no deseada (IPCC, 2022)

Megasequía: Sequía muy prolongada y generalizada, que dura mucho más de lo normal, generalmente una década o más (IPCC, 2022)

Modelo de Circulación General: Representación numérica del sistema atmósfera-oceano-hielo marino basada en las propiedades físicas, químicas y biológicas de sus componentes, sus interacciones y procesos de retroalimentación. Los MCG se utilizan para

⁵ LEY N° 21455/2022, MMA, que establece la Ley Marco de Cambio Climático. Sitio web Biblioteca del Congreso Nacional. Consultado el 24 de mayo de 2024. Disponible en: <https://bcn.cl/32l1s>

pronósticos meteorológicos, predicciones estacionales a decenales y proyecciones climáticas (IPCC, 2022).

Nivel freático: Profundidad a la que se encuentra el agua subterránea en un acuífero. Corresponde al nivel alcanzado por el agua subterránea en pozos de observación. También se le denomina tabla de agua, capa freática, napa freática, napa subterránea y freático (Álvarez-Garretón et al., 2023).

Ordenamiento Territorial: proceso técnico-político que orienta la toma de decisiones para la organización y expresión espacial de una visión de desarrollo del país, permitiendo: la definición y orientación de la ocupación del territorio con su organización temporal y espacial; y la definición de un conjunto de reglas y orientaciones para compatibilizar la relación entre desarrollo económico, social y ambiental; junto con propiciar la articulación entre políticas, planes y programas⁶.

Resiliencia climática: Capacidad de un sistema o sus componentes para anticipar, absorber, adaptarse o recuperarse de los efectos adversos del cambio climático, manteniendo su función esencial, conservando al mismo tiempo la capacidad de adaptación, aprendizaje y transformación⁷.

Respuesta: Forma en que se reacciona -o no- a los impactos del cambio climático; puede incluir acción o inacción llevada a cabo por diferentes actores y puede ser conducente a promover la resiliencia y la adaptación o, por el contrario, a impedirla, dificultarla o generar maladaptación (IPCC, 2022).

Riesgos vinculados al cambio climático: Consecuencias potencialmente adversas para sistemas humanos o ecológicos, reconociendo la diversidad de valores y objetivos asociados con tales sistemas. En el contexto del cambio climático, pueden surgir riesgos de los impactos potenciales del cambio climático, así como de las respuestas humanas al mismo⁸.

Seguridad hídrica: Posibilidad de acceso al agua en cantidad y calidad adecuadas para su sustento y aprovechamiento en el tiempo, considerando las particularidades naturales de cada cuenca, para consumo humano, la salud, subsistencia, desarrollo socioeconómico, conservación y preservación de los ecosistemas, promoviendo la resiliencia frente a amenazas asociadas por ejemplo a sequías e inundaciones⁹.

Sequía: Período excepcional de escasez de agua para los ecosistemas existentes y la población humana (debido a escasas precipitaciones, altas temperaturas y/o viento); se

⁶ DS N°469/ 2021, Ministerio del Interior y Seguridad Pública, que aprueba la Política Nacional de Ordenamiento Territorial. Sitio web Biblioteca del Congreso Nacional. Consultado el 24 de mayo de 2024. Disponible en: <https://bcn.cl/2ud0m>.

⁷ LEY N° 21455/2022, MMA que cre. Sitio web Biblioteca del Congreso Nacional. Consultado el 24 de mayo de 2024. Disponible en: <https://bcn.cl/32l1s>

⁸ LEY N° 21455/2022, MMA, que establece la Ley Marco de Cambio Climático. Sitio web Biblioteca del Congreso Nacional. Consultado el 24 de mayo de 2024. Disponible en: <https://bcn.cl/32l1s>

⁹ LEY N° 21455/2022, MMA, que establece la Ley Marco de Cambio Climático. Sitio web Biblioteca del Congreso Nacional. Consultado el 24 de mayo de 2024. Disponible en: <https://bcn.cl/32l1s>

distinguen diferentes tipos (Crausbay et al., 2017; Wilhite et al., 2014; y Mishra & Singh, 2010):

- **Sequía meteorológica¹⁰:** Déficit de agua proveniente de la atmósfera en forma de precipitaciones, en comparación con una cantidad normal o valor de referencia, por un periodo extendido. Da origen a los restantes tipos de sequía y normalmente suele afectar a zonas de gran extensión (Valiente, 2001).
- **Sequía hidrológica¹¹:** Periodo con gran déficit de escurrimiento, donde los recursos superficiales y/o subterráneos son insuficientes para los usos establecidos del agua de un determinado sistema de manejo de los recursos hídricos (cuenca, subcuenca) (Valiente, 2001).
- **Sequía agrícola:** También llamada hidro-edáfica, período con una disminución o reducción de la humedad del suelo, y la consiguiente pérdida de (rendimiento) cultivos. La disminución de la humedad del suelo depende de varios factores, que afectan tanto a las sequías meteorológicas e hidrológicas y la relación entre la evapotranspiración real y potencial (Valiente, 2001).
- **Sequía socioeconómica¹²:** Periodo con fallas de los sistemas de recursos hídricos para cubrir las demandas por recursos hídricos. Si bien es cierto que este tipo de sequía se asocia a las sequías meteorológica, hidrológica y agrícola, se diferencia de éstas porque su ocurrencia depende de los procesos temporales y espaciales de oferta y demanda para identificar o clasificar las sequías (Valiente, 2001).
- **Sequía ecológica:** Déficit prolongado y generalizado de los suministros de agua naturalmente disponibles (incluyendo cambios en la hidrología natural y gestionada) impactando los ecosistemas y servicios ecosistémicos, con el desencadenamiento sobre los sistemas naturales y/o humanos. La sequía ecológica puede ser inducida por fenómenos naturales, como la falta de precipitaciones o el aumento de las temperaturas, o por las múltiples demandas competitivas sobre los limitados suministros de agua existentes (Crausbay et al., 2017).

10 Definiciones de Tipos de Sequía. Consultado el 10 de mayo de 2024. Publicado en: https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/observatorio-nacional-de-la-sequia/que-es-la-sequia/observatorio_nacional_sequia_1_1_tipos_sequia.html.

11 Definiciones de Tipos de Sequía. Consultado el 10 de mayo de 2024. Publicado en: https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/observatorio-nacional-de-la-sequia/que-es-la-sequia/observatorio_nacional_sequia_1_1_tipos_sequia.html.

12 Definiciones de Tipos de Sequía. Consultado el 10 de mayo de 2024. Publicado en: https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/observatorio-nacional-de-la-sequia/que-es-la-sequia/observatorio_nacional_sequia_1_1_tipos_sequia.html.

Uso consuntivo: El DAA consuntivo es aquel que faculta a su titular para consumir totalmente las aguas en cualquier actividad¹³.

Uso no consuntivo: El DAA no consuntivo es aquel que permite emplear el agua sin consumirla y obliga a restituirla en la forma que lo determine el acto de adquisición o de constitución del derecho. La extracción o restitución de las aguas se hará siempre en forma que no perjudique los derechos de terceros constituidos sobre las mismas aguas, en cuanto a su cantidad, calidad, substancia, oportunidad de uso y demás particularidades¹⁴ (CdA, 1981).

Vulnerabilidad al cambio climático: Propensión o predisposición a ser afectado negativamente por los efectos adversos del cambio climático. La vulnerabilidad comprende una variedad de conceptos que incluyen la sensibilidad o susceptibilidad al daño y la falta de capacidad de respuesta y adaptación de los ecosistemas, comunidades, territorios o sectores¹⁵.

¹³ DFL N° 1122/ 1981, Ministerio de Justicia, que fija el texto Código de Aguas. Sitio web Biblioteca del Congreso Nacional. Consultado el 24 de mayo de 2024. Disponible en: <https://bcn.cl/2f8tw>

¹⁴ DFL N° 1122/ 1981, Ministerio de Justicia, que fija el texto Código de Aguas. Sitio web Biblioteca del Congreso Nacional. Consultado el 24 de mayo de 2024. Disponible en: <https://bcn.cl/2f8tw>.

¹⁵ LEY N° 21455/2022, MMA, que establece la Ley Marco de Cambio Climático. Sitio web Biblioteca del Congreso Nacional. Consultado el 24 de mayo de 2024. Disponible en: <https://bcn.cl/3211s>.

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

1.1 CONTEXTO

Según criterios de la CMNUCC, Chile cumple con siete de los nueve criterios de vulnerabilidad al cambio climático (MMA, 2017). Esta vulnerabilidad está caracterizada por aspectos tales como el poseer territorios insulares; áreas costeras de baja altura; zonas áridas y semiáridas; zonas de bosques; susceptibilidad a desastres naturales; áreas propensas a la sequía y desertificación; zonas urbanas con problemas de contaminación atmosférica; ecosistemas montañosos; y una economía altamente dependiente del clima, en particular, de los recursos hídricos (CEPAL, 2016).

En el sector de los recursos hídricos, la crisis climática se traslapa con la crisis hídrica que ha mantenido bajo un estado de megasequía a gran parte del territorio nacional durante más de 10 años (CR2, 2015). Esto está asociado a una disminución sostenida de las precipitaciones en relación con el promedio histórico observado y la alteración en el patrón de las precipitaciones, el aumento de la altura de la isoterma cero, la disminución de los volúmenes de glaciares y acuíferos, entre otros (Stehr et al., 2019; DGA, 2022b; DGAC, 2022). De hecho, el sector de los recursos hídricos ya es mencionado como crítico en el PANCC 2008-2012 y, posteriormente, en su actualización mediante el PNACC del año 2014 (MMA, 2014). A este contexto, se añaden los desafíos producto de la gestión humana de los recursos hídricos del país, la cual evidencia competencia por el recurso, alta dispersión institucional en la gestión y escasez hídrica, entre otras situaciones que plantean obstáculos adicionales para la adaptación del sector (CEPAL, 2020).

La institucionalidad chilena ha buscado diversos mecanismos para reducir estas brechas, adoptando compromisos internacionales al respecto. En el año 1994, Chile ratificó la CMNUCC (1992) y su Protocolo de Kioto¹⁶ en el año 2002. Asimismo, el año 2017 ratificó el Acuerdo de París, instrumento vinculante que insta a los países Partes a limitar el calentamiento global, entre otros instrumentos. En dicho marco, la Ley N°21.455 Ley Marco de Cambio Climático (LMCC), promulgada el 30 de mayo y publicada el 13 de junio de 2022, ha establecido y consolidado una serie de instrumentos que permitirán al país planificar, de manera organizada la acción climática. Entre ellos se encuentra el **Plan de Adaptación al Cambio Climático para los Recursos Hídricos**, instrumento de carácter nacional y sectorial, alineado al cumplimiento de los compromisos nacionales e internacionales asumidos por Chile, tales como la ECLP del año 2021 y la NDC del año 2020, respectivamente.

En particular, la LMCC establece, en su Artículo 9°, que los Planes Sectoriales de Adaptación al Cambio Climático “establecerán el conjunto de acciones y medidas para lograr adaptar

¹⁶ DS N° 349/ 2005, MINREL, promulga el Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y sus anexos A y B. Sitio web Biblioteca del Congreso Nacional. Consultado el 24 de mayo de 2024. Disponible en: <https://bcn.cl/2l6bj>

al cambio climático aquellos sectores con mayor vulnerabilidad y aumentar su resiliencia climática, de conformidad con los objetivos y las metas de adaptación definidas en la Estrategia Climática de Largo Plazo”. En la letra b) de dicho artículo se indica, al respecto del PACC-RH –cuya elaboración corresponderá al MOP–, que: “su objetivo principal será establecer instrumentos e incentivos para promover la resiliencia ante los efectos adversos del cambio climático sobre los recursos hídricos, tales como la sequía, inundación y pérdida de calidad de las aguas, velando por la prioridad del consumo humano, de subsistencia y saneamiento, la preservación ecosistémica, la disponibilidad de las aguas y la sustentabilidad acuífera”. A los desafíos de la gestión hídrica y el cumplimiento de la normativa sobre cambio climático, se suman las recientes disposiciones del Código de Aguas (CdA) en que se establece que: “el acceso al agua potable y el saneamiento es un derecho humano esencial e irrenunciable que debe ser garantizado por el Estado”, en virtud de las modificaciones incorporadas por la Ley N°21.435 Reforma el Código de Aguas del año 2023, lo que resulta esencial en un contexto de crisis climática.

De la misma manera, el PACC-RH tendrá el desafío de integrar otras disposiciones, proyectos e innovaciones que puedan generar sinergias para la adaptación y la resiliencia del sector hídrico en Chile, en el marco de las capacidades disponibles, factibilidad y prioridades de una implementación en un periodo de 5 años. Entre ellos, cabe resaltar tanto el PNACC, cuya actualización al año 2024 está en proceso, como otros planes sectoriales de adaptación vinculados en materia hídrica. Ejemplos de los instrumentos con responsabilidad a cargo del MOP que se encuentran vinculados con la LMCC son la actualización del Plan de Mitigación y Adaptación de los Servicios de Infraestructura al Cambio Climático y los PERHC; estos últimos, mandados por el CdA, corresponden a una actualización de sus precedentes, los PEGH. Asimismo, el CITHJ estableció, mediante reglamento, los Grupos Promotores para los Consejos de Cuenca Piloto, los cuales comenzaron el proceso de instancias participativas, que luego se constituyen como MERHC, reconociendo la labor de las instancias anteriores.

Frente a todo lo anterior, la DGA del MOP, con el apoyo técnico de la FAO como agencia implementadora y el financiamiento del FVC, asume el desafío de elaborar el primer Plan de Adaptación al Cambio Climático para el sector de los Recursos Hídricos de Chile, el que contará con una caracterización de la situación de los recursos hídricos del país, su vulnerabilidad al cambio climático y una batería de medidas de adaptación, entre otros aspectos clave para asegurar el éxito de la implementación del plan durante su periodo de vigencia.

El presente informe tiene como principal objetivo proporcionar la caracterización del sector de los recursos hídricos a escala nacional y, de forma adicional, a escala macrozonal, donde se analice su vulnerabilidad y la evaluación de efectos adversos del cambio climático y riesgos actuales y proyectados a las zonas latentes declaradas, dando cumplimiento al contenido establecido en el Artículo 9, inciso 2, letras a) y b) de la LMCC.

1.2 DEFINICIÓN DE SEGURIDAD HÍDRICA

Si bien existen diversos instrumentos en la literatura nacional e internacional que incorporan el concepto de **seguridad hídrica**, el PACC-RH toma como referencia aquella dispuesta en la letra s) del Artículo 3° de la LMCC, definida como la “posibilidad de acceso al agua en cantidad y calidad adecuadas para su sustento y aprovechamiento en el tiempo, considerando las particularidades naturales de cada cuenca, para consumo humano, la salud, subsistencia, desarrollo socioeconómico, conservación y preservación de los ecosistemas, promoviendo la resiliencia frente a amenazas asociadas por ejemplo a sequías e inundaciones”.

1.3 OBJETIVOS DEL PACC-RH

1.3.1 Objetivo General

El objetivo general del PACC-RH consiste en promover la resiliencia del sector de los recursos hídricos a nivel nacional ante los efectos adversos del cambio climático, considerando la disponibilidad de las aguas, la sustentabilidad acuífera y los eventos extremos, con un enfoque de territorialidad.

1.3.2 Objetivos Específicos

Los objetivos específicos se identifican y definen a continuación.

- **OE 1:** Establecer medidas, instrumentos y/o incentivos a fin de incrementar la seguridad hídrica para consumo humano, de subsistencia y saneamiento.
- **OE 2:** Establecer medidas, instrumentos y/o incentivos para fomentar la seguridad hídrica para la conservación y la preservación ecosistémica.
- **OE 3:** Establecer medidas, instrumentos y/o incentivos para propiciar la seguridad hídrica en el desarrollo de actividades productivas.
- **OE 4:** Establecer medidas, instrumentos y/o incentivos que promuevan la prevención, la preparación, la capacidad de respuesta y la recuperación con resiliencia de los territorios frente a amenazas asociadas al ciclo del agua derivadas del cambio climático, tales como sequías, inundaciones y pérdida de calidad de las aguas.

1.4 RELACIÓN ENTRE NDC, ECLP, ODS 6 Y PACC-RH

La LMCC señala un conjunto de instrumentos de gestión tanto para la mitigación como para la adaptación del cambio climático, entre los cuales se encuentra la NDC del año 2020 y la ECLP del año 2021, reconocida por el Acuerdo de París. En estos documentos se definen los lineamientos generales de largo plazo que seguirá el país considerando un horizonte de 30 años (Artículo 5, LMCC). A su vez, el PACC-RH se vincula estrechamente con el ODS 6 “Agua limpia y saneamiento”, que busca garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todas y todos. En este sentido, en el **ANEXO A** se revisa la relación entre dichos instrumentos a nivel nacional con el PACC-RH, identificando objetivos y metas comprometidas con la seguridad hídrica que abordará el plan.

CAPÍTULO 2 CARACTERIZACIÓN DEL SECTOR DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

2.1 DESCRIPCIÓN DEL PAÍS EN MATERIA HÍDRICA

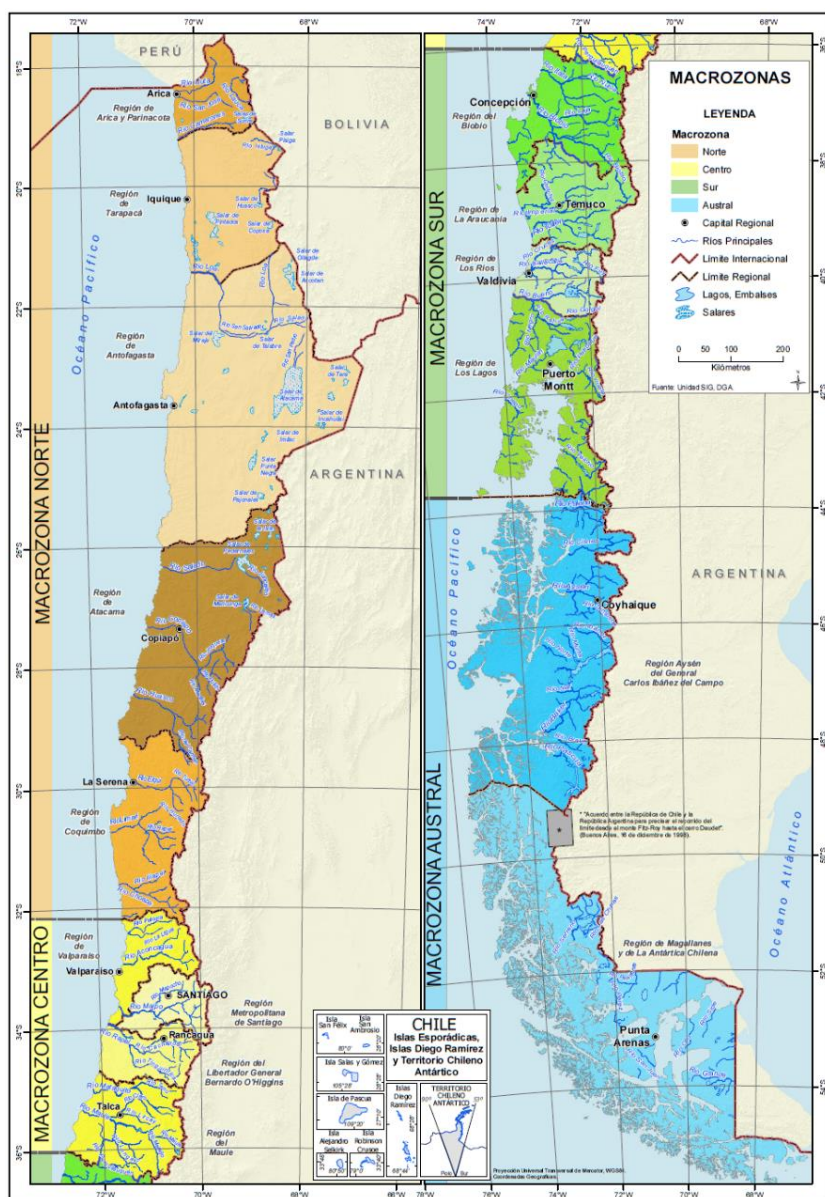
Ubicado en el suroeste de América del Sur, entre los paralelos 17° 29' y 55° 58', Chile es un país con una extensión de 4.300 km de norte a sur, y un ancho promedio de 180 km, abarcando una superficie de 756.102 km² (excluyendo el territorio antártico) (DGA, 2016; Donoso, 2018). El país, el cual se divide en territorio de Chile Continental, Insular y Antártico, posee una división político-administrativa conformada por 16 regiones, 56 provincias y 346 comunas¹⁷.

Chile tiene una variación en altitud que va desde los 0 hasta casi los 7.000 metros sobre el nivel del mar, donde su geografía presenta costas, la Cordillera de la Costa, valles y la Cordillera de los Andes, de oeste a este (DGA, 2016). Demográficamente, la mayor parte de la población vive entre los 30° y 42°¹⁸, concentrando más del 70% en el valle central (Barría et al., 2019; Donoso, 2021). Las cordilleras tienen un papel importante en la conducción del relieve, la vegetación natural, los suelos y las diferentes manifestaciones de los recursos hídricos. Además, la ubicación, latitud y geografía determinan uno de los escenarios climáticos más variables del mundo (Varas y Varas, 2021). Debido a estas características, el país cuenta con una diversidad de climas, incluyendo desértico, estepárico, mediterráneo, selva templada y tundra; esta heterogeneidad climática se refleja en un sistema hídrico diverso. Dentro de este contexto, Chile, en su conjunto, es considerado un país privilegiado en materia de recursos hídricos (Barría et al., 2021; DGA, 2016). La escorrentía media total, es decir, el volumen de agua procedente de las precipitaciones que escurren por los cauces superficiales y subterráneos equivale a un promedio nacional per cápita de 51.218 m³/persona/año. Este valor es más alto que la media mundial de 6.600 m³/persona/año y muy superior al valor de 2.000 m³/persona/año considerado internacionalmente como el umbral para el desarrollo sostenible (Banco Mundial, 2011). Sin embargo, cuando se analiza regionalmente dicho valor promedio, se hace evidente la heterogeneidad hídrica del país; entre la región de Arica y Parinacota y la región Metropolitana prevalecen condiciones de escasez, donde la escorrentía per cápita promedio está por debajo de los 500 m³/persona/año, mientras que entre la región de O'Higgins hasta la región de Magallanes superan los 7.000 m³/persona/año, llegando a un valor de 2.950.168 m³/persona/año en la región de Aysén (DGA, 2016).

Desde el punto de vista hidrometeorológico, la DGA (2016), dividió al país en cuatro macrozonas, Norte, Centro, Sur y Austral, las cuales se presentan en la Figura 2.1-1.

17 Sitio web Biblioteca del Congreso Nacional. Consultado el 10 de mayo de 2024. Disponible en: https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/nuestropais/div_pol-adm.htm

18 Territorio comprendido entre la región de Coquimbo y la región de Los Lagos.



Fuente: Reproducido de Atlas del Agua Chile DGA, 2016.

Figura 2.1-1 Macrozonas hídricas de Chile

En términos de uso del recurso hídrico, la geografía nacional alberga un gran número de actividades económicas que lo requieren, localizándose mayormente en la zona centro-sur del país, de igual forma que los asentamientos humanos. Del total de agua demandada en el territorio nacional, se estima que el 82% es utilizado por el sector agropecuario, un 7% por el área industrial, un 3% en minería y un 8% es utilizado para los servicios de agua potable y saneamiento (MMA, 2023). En la Tabla 2.1-1 se señala una síntesis territorial de sus principales características por macrozona.

Tabla 2.1-1 Características principales de Chile, por macrozona

Característica	Macrozona Norte	Macrozona Centro	Macrozona Sur	Macrozona Austral
Regiones	Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta y Coquimbo	Valparaíso, Metropolitana, O'Higgins y Maule	Ñuble, Biobío, La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos	Aysén y Magallanes y Antártica Chilena
Área [km ²]	301.458	79.614	133.304	375.350
Cuencas BNA [Número]	39	16	26	20
Precipitación media [mm/año]	87	943	2.420	2.963
Escurrimiento [m ³ /s]	36,9	1.116	7.834	20.258
Población [habitantes (%)]	2.540.829 (12,8%)	12.469.117 (62,9%)	4.529.427 (22,8%)	289.190 (1,5%)
Escurrimiento per cápita [m ³ /persona/año]	510	3.169	56.799	2.340.227
Demanda estimada por uso [m ³ /s]				
- Agua potable	6,09	38,17	9,91	0,67
- Agropecuario	51,45	389,25	84,26	1,76
- Minero	10,41	4,04	2,71	2,83
- Industrial	3,74	20,23	13,89	5,99
Total	71,69	451,69	110,77	11,25
Otra información relevante	La zona presenta bofedales y vegas (turberas almohadilladas o esteros andinos), y salares.	Se considera la zona del país con los suelos más fértiles. Contiene una porción importante del <i>hotspot</i> de biodiversidad de Chile.	Contiene una porción importante del <i>hotspot</i> de biodiversidad de Chile.	Esta macrozona tiene la superficie de hielo más grande de Sudamérica, con 3.463 km ³ de glaciares.

Fuente: Atlas del Agua. Chile (DGA, 2016)

Seguidamente se entrega mayor detalle con relación a las fuentes y oferta de agua, los usos y demanda de agua, la calidad de las aguas, la infraestructura hídrica y la gestión de los recursos hídricos en Chile. En el **ANEXO B** se amplía la caracterización del sector a escala macrozonal, mientras que en el **ANEXO C** se recopilan los datos que respaldan dicha caracterización.

2.2 FUENTES Y OFERTA DE AGUA

La localización de Chile y su extensión latitudinal determinan uno de los entornos climáticos más extremadamente variables del mundo, determinando una heterogeneidad climática reflejada en un sistema hídrico diverso (McPhee, 2018). Según el Balance Hídrico Nacional,

se encuentra compuesto por 101 cuencas administrativas, 1.251 ríos, 12.784 cuerpos de agua (368 lagos y 12.416 lagunas), 26.169 glaciares y 212 acuíferos (DGA, 2016, 2017c).

2.2.1 Aguas superficiales

A nivel de cuencas hidrográficas, de las 101 cuencas identificadas para el país, 39 (39%) están localizadas en la Macrozona Norte, 16 cuencas pertenecen al territorio de la Macrozona Centro (16%), 26 cuencas (26%) se encuentran en la Macrozona Sur y 20 (20%) en la Macrozona Austral (DGA, 2016).

Los recursos hídricos superficiales varían significativamente debido a las diferencias del clima, la vegetación, la topografía y otros factores que influyen en el flujo de precipitaciones (Varas y Varas, 2021). Las precipitaciones anuales son casi nulas en el extremo norte y pueden alcanzar más de 7.000 mm/año en el extremo sur. Así, en algunas ocasiones los caudales de los ríos se deben principalmente a las precipitaciones, y en otros casos tienen un régimen mixto debido al deshielo y precipitaciones en altitudes más bajas. Los ríos en la Macrozona Norte tienen caudales efímeros durante el año y otros no llegan al océano, mientras que en el sur (Macrozona Sur y Macrozona Austral), éstos tienen caudales perennes considerables que desembocan hacia el océano (Varas y Varas, 2021).

En términos de humedales, la última actualización llevada a cabo por el MMA muestra la existencia de 5,59 millones de hectáreas distribuidas heterogéneamente a lo largo del país, donde la Macrozona Austral concentra el 71,7% del total, seguida por las Macrozonas Norte (13,1%), Sur (12,1%) y Centro (3,1%). Del total, 5,50 millones de hectáreas (98,4%) corresponden a humedales del tipo continental, donde se destacan principalmente las turberas con 2,79 millones de hectáreas (49,8%) (MMA, 2023a).

2.2.2 Aguas subterráneas

En relación con los recursos subterráneos, de acuerdo con el Inventario Nacional de Acuíferos, existen a nivel nacional 86 acuíferos, los que contienen 715 Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común (SHACs); de éstos, 26% se encuentran en la Macrozona Norte, 27% en la Macrozona Centro, 22% en la Macrozona Sur y 25% en la Macrozona Austral (DGA, 2023d).

2.2.3 Nieves y glaciares

La última actualización del Inventario Público de Glaciares muestra que, al año 2022, hubo un incremento del número de glaciares en un 8,5% con respecto a 2014¹⁹ (DGA, 2023d). Esto equivale al 2,8% del territorio nacional (excluyendo la Antártica Chilena), con un volumen de hielo estimado de 2.710,7 km³ y su equivalente en agua en 2.301,5 km³; sin embargo, el volumen representa una disminución cercana al 11,1% respecto a 2014 (DGA, 2023d).

¹⁹ De acuerdo con DGA, se explica debido a la fragmentación de glaciares en cuerpos de hielo más pequeños. Ver: <https://www.glaciareschilenos.org/reportajes/glaciares-chilenos-en-evolucion-analisis-del-inventario-publico-de-glaciares-2022/>

2.2.4 Balance hídrico

El Balance Hídrico de 2017 (DGA, 2017a) ha permitido tener una visión actualizada de la hidrología nacional. En términos comparativos con el balance hídrico del año 1987²⁰, en relación con las temperaturas medias anuales, los resultados son consistentes para todo el territorio comprendido entre las Macrozonas Centro y Austral, con alzas en temperaturas medias. Sin embargo, la Macrozona Norte presenta resultados heterogéneos, con alzas de la temperatura media en su extremo norte (región de Arica y Parinacota y región de Tarapacá), y disminuciones hacia el sur. Por otro lado, en las precipitaciones medias anuales, los resultados son mixtos (con alzas y decrementos) en la Macrozona Norte y Centro, mientras que la Macrozona Sur y Austral presentan reducciones sostenidas en todo su territorio (DGA, 2022).

2.3 USOS Y DEMANDA DE AGUA

En términos generales, el uso consuntivo y no consuntivo de agua, al año 2015, representó un 7% y 93%, respectivamente (DGA, 2017b). La demanda de agua potable es el segundo sector demandante de recurso hídricos a nivel consuntivo, con un consumo de agua potable urbana del 11% sobre el total, mientras que en sectores rurales el consumo representa únicamente el 1%; entre ambos, esta demanda asciende al 12%, según la estimación al año 2015 (DGA, 2017b). En materia de uso de agua para fines ambientales, se estimó un caudal para protección ambiental de 4.624 m³/s (DGA, 2017b). En el ámbito económico, en uso consuntivo, el 72% es demandado por el sector agrícola para riego, el cual, sumado al sector pecuario (1%), asciende a una demanda desde el sector agropecuario del 73% (DGA, 2017b). Es menester señalar que esta estimación de uso/extracción es levemente mayor que el promedio mundial, que bordea el 70% de las extracciones totales (Siebert et al., 2010), aunque inferior al estimado por el balance hídrico para el año 2017, que señala un uso en agricultura del 82% (Meza et al., 2020)²¹. Los otros sectores productivos con uso consuntivo del recurso hídrico presentan porcentajes menores: industrial (7%), generación eléctrica (4%) y minero (3%) (DGA, 2017b). Con respecto a la demanda no consuntiva, a nivel país al año 2015, los sectores acuícolas y de generación hidroeléctrica representaron un uso del 58% y 42%, respectivamente (DGA, 2017b). Respecto del uso turístico, se estimó un caudal turístico de 2.517 m³/s (DGA, 2017b). Finalmente, entre las demandas hídricas a nivel país deben considerarse aquellas de tipo evapotranspirativo, las cuales están asociadas a cultivos bajo riego y en secano, a plantaciones forestales y a otras coberturas vegetales (bosque nativo y vegetación asociada a humedales).

Según las proyecciones de demanda al año 2030, en la mayoría de los sectores existirían variaciones porcentuales (algunas en aumento, otras en disminución), pero sin cambios

²⁰ Es importante señalar que ambas estimaciones de balance hídrico (2022 y 1987) consideran metodologías de cálculos y bases de datos muy distintas, la comparación debe realizarse con precaución, pues ambos productos no son directamente comparables (DGA, 2022).

²¹ En este marco, Donoso (2021) reporta que el sector agrícola aumentó su consumo de agua en un 31% entre 1997 y 2007.

relevantes. En términos cuantitativos, se proyecta un incremento del 4,5% en recurso hídrico tanto en los usos de tipo consuntivos como no consuntivos (DGA, 2017b).

2.3.1 Uso para agua potable

El uso de agua para consumo humano se divide en el consumo de agua potable urbano (APU) y agua potable rural (APR). En términos de demandas al año 2015 para consumo humano a nivel urbano y rural, la Tabla 2.3-1 muestra que, a nivel nacional, existe una demanda anual de agua potable urbana (APU) donde el mayor uso se registra en la Macrozona Centro con el 72%, seguida por la Macrozona Sur con el 16%; en relación con la demanda de agua potable rural (APR) las Macrozonas Centro y Sur son los mayores polos demandantes de agua para consumo humano, con un 61% y 30% respectivamente (DGA, 2017b).

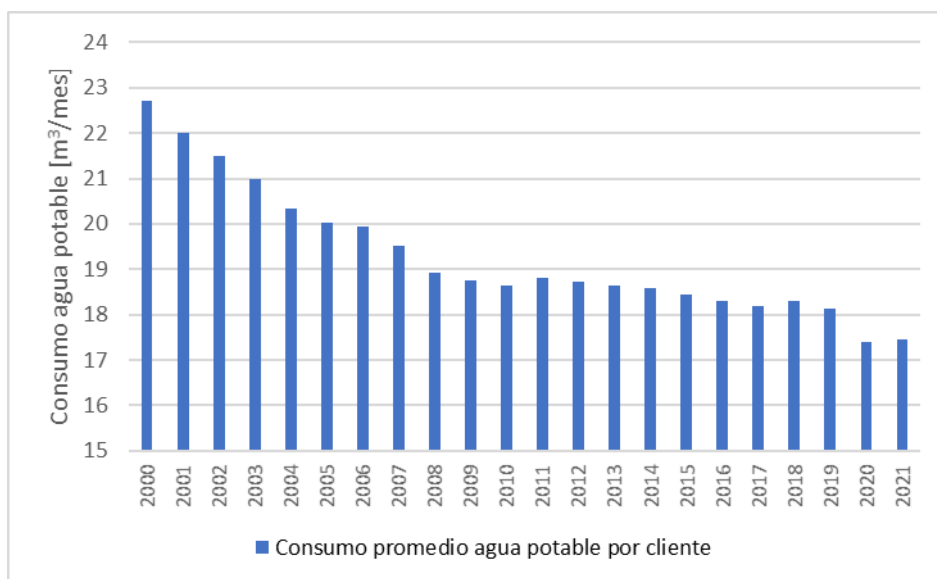
Tabla 2.3-1 Demanda consuntiva para agua potable urbana (APU) y rural (APR), año 2015, por macrozona

Macrozona	Uso APU [hm ³ /año]	Uso APU [%]	Uso APR [hm ³ /año]	Uso APR [%]
Norte	129,8	11,0%	8,3	7,5%
Centro	846,8	71,8%	68,2	61,1%
Sur	186,4	15,8%	33,6	30,1%
Austral	16,1	1,4%	1,5	1,4%
Total	1.179,2	100,0%	111,7	100,0%

Fuente: Elaboración propia en base a DGA, 2017b.

En relación con el consumo de agua en el sector urbano, la Figura 2.3-1 muestra la evolución del consumo promedio por cliente²² para el periodo 2000-2021 a nivel país, donde se observa una tendencia a la baja, reduciéndose de 22,7 a 17,5 m³/cliente/mes al año 2021. En términos de consumo per cápita al año 2021 año, este corresponde a 161,3 l/persona/día; cabe señalar que este consumo no es uniforme en todo el país, pues oscila, según la empresa sanitaria, entre 129,1 l/persona/día en la región de Aysén (Macrozona Austral) y 599,6 l/persona/día en la región Metropolitana (Macrozona Centro) (SISS, 2023a).

²² De acuerdo al Artículo 53 letra j del DFL MOP N°382/88 Ley General de Servicios Sanitarios, el concepto de cliente corresponde a la persona natural o jurídica que habita y/o reside en el inmueble que recibe el servicio público de distribución de agua potable o de recolección de aguas servidas.



Fuente: Elaboración propia en base a SISS, 2023a.

Figura 2.3-1 Evolución del consumo de agua potable urbana por cliente, a nivel nacional

2.3.2 Uso para protección ambiental

La estimación de caudal para uso ambiental presentada en DGA (2017b) tiene involucrado el denominado caudal ecológico mínimo²³, donde su forma de cálculo está establecida en el Decreto 71 de 2014 del MMA (MMA, 2014), y el de reserva por interés nacional, correspondiendo al tramo comprendido entre el caudal ecológico y el 20% de probabilidad de excedencia²⁴. Este cálculo se aplicó a las zonas de protección (SNASPE y Sitios Prioritarios para la Conservación de la Diversidad Biológica y Sitios Ramsar)²⁵ existentes, identificando y asociado a una estación fluviométrica de referencia de la red hidrométrica de la DGA en cada caso, con los caudales medios mensuales actualizados, y aplicando la relación anterior, se determinan los caudales correspondientes. Considerando esto, a nivel nacional se estimó una demanda de caudales destinados para la protección ambiental del orden de los 4.624 m³/s (Tabla 2.3-2); y a nivel macrozonal, la Macrozona Austral (44%) y Sur (41%) son aquellas que presentan cuantitativamente los mayores caudales para protección.

²³ El Artículo 129 bis1 del CdA establece que "El caudal ecológico mínimo no podrá ser superior al 20 por ciento del caudal medio anual de la respectiva fuente superficial". También habilita que "En casos calificados, y previo informe favorable del Ministerio del Medio Ambiente, el Presidente de la República podrá fijar caudales ecológicos mínimos diferentes, mediante decreto fundado, sin atenerse a la limitación establecida en el inciso anterior. El caudal ecológico que se fije en virtud de lo dispuesto en el presente inciso no podrá ser superior al 40 % del caudal medio anual de la respectiva fuente superficial".

²⁴ La fórmula para la estimación del caudal para protección ambiental corresponde a: $Q_{\text{ambiental}} = Q_{\text{prob.de excedencia 20\%}} - Q_{\text{ecológico}}$

²⁵ Para una actualización de las estimaciones debieran incorporarse las zonas de protección declaradas entre 2017 y 2023.

Tabla 2.3-2 Demanda in situ de caudales para protección ambiental, año 2015, por macrozona

Macrozona	Uso ambiental [m ³ /s]	Uso ambiental [%]
Norte	71,4	1,5%
Centro	605,5	13,1%
Sur	1.899,9	41,1%
Austral	2.047,2	44,3%
Total	4.624,0	100,0%

Fuente: Elaboración propia en base a DGA, 2017b.

Sin embargo, es menester señalar que dicha estimación corresponde a un punto de partida referencial adicional al caudal ecológico, que dista de ser una estimación de caudales para preservación ambiental o ecosistémica (flujos medioambientales), los cuales, de acuerdo con Riestra et al. (2021), son aquellos que describen “la cantidad, el momento y la calidad de los flujos de agua necesarios para sostener los ecosistemas de agua dulce y estuarinos y los medios de vida y el bienestar humanos que dependen de estos ecosistemas”²⁶. Estos corresponden a una restricción al ejercicio de los DAA, o a un compromiso voluntario, ambos asociados a un determinado proyecto; el cumplimiento de la normativa es responsabilidad de la SMA.

A su vez, el bosque nativo constituye un componente fundamental de la biodiversidad autóctona dentro de los ecosistemas nacionales, con alrededor de un 19% de superficie cubierta del país al año 2017 (CONAF, 2017). La demanda del recurso hídrico del bosque nativo y otras coberturas vegetales está dada por la cantidad de agua que un determinado ecosistema necesita para conservarse y asegurar su estado en el tiempo sin que sus características inherentes sean degradadas, siendo la precipitación un elemento clave en el balance hídrico y el análisis de las necesidades de agua asociadas a este uso (DGA, 2017b). En la Tabla 2.3-5 se presenta la demanda evapotranspirativa asociada a bosques nativos, matorrales y humedales a lo largo del país, donde se observa que el 94% de la misma está concentrada en las Macrozonas Sur y Austral.

Tabla 2.3-3 Demanda evapotranspirativa de bosques nativos y otras coberturas vegetales, año 2015, por macrozona

Macrozona	Uso Forestal No Productivo [hm ³ /año]	Uso Forestal No Productivo [%]
Norte	999,2	1,0%
Centro	5.223,5	5,3%
Sur	45.012,5	46,0%
Austral	46.534,3	47,6%
Total	97.769,5	100,0%

Fuente: Elaboración propia en base a DGA, 2017b.

²⁶ Esta definición se incorpora en la Guía Metodológica para la determinar el Caudal Ambiental para Centrales Hidroeléctricas en el SEIA (SEA, 2016).

2.3.3 Uso silvoagropecuario

En términos de demanda de recursos hídricos desde el sector silvoagropecuario, la demanda consuntiva de riego y de consumo pecuario estimada se presenta en la Tabla 2.3-4. A su vez, en la Tabla 2.3-5 se presenta la estimación de la demanda evapotranspirativa de los cultivos en secano y de las plantaciones forestales; en ambos casos, las cifras se refieren al año 2015 (DGA, 2017b), desglosadas a nivel macrozonal.

Tabla 2.3-4 Demanda consuntiva para uso en riego agrícola y uso pecuario, año 2015, por macrozona

Macrozona	Uso Riego Agrícola [hm³/año]	Uso Riego Agrícola [%]	Uso Pecuario [hm³/año]	Uso Pecuario [%]	Total [hm³/año]	Total [%]
Norte	738,6	9,4%	2,2	3,0%	740,9	9,3%
Centro	6.488,2	82,3%	43,4	57,8%	6.531,6	82,0%
Sur	656,5	8,3%	25,0	33,2%	681,5	8,6%
Austral	2,8	0,0%	4,5	6,0%	7,3	0,1%
Total	7.886,2	100,0%	75,1	100,0%	7.961,3	100,0%

Fuente: Elaboración propia en base a DGA, 2017.

Tabla 2.3-5 Demanda evapotranspirativa para uso agrícola de secano y forestal año 2015, por macrozona

Macrozona	Uso Secano Agrícola [hm³/año]	Uso Secano Agrícola [%]	Uso Forestal [hm³/año]	Uso Forestal [%]
Norte	36.102,4	40,8%	33,0	0,1%
Centro	15.248,5	17,2%	5.506,5	19,6%
Sur	17.569,2	19,9%	22.191,6	79,0%
Austral	19.514,4	22,1%	351,5	1,3%
Total	88.434,5	100,0%	28.082,7	100,0%

Fuente: Elaboración propia en base a DGA, 2017.

En relación con los usos consuntivos, la Macrozona Centro es la mayor demandante de agua tanto en riego como en el rubro pecuario, alcanzando un 82% entre ambos; esta situación se da por la concentración de la mayor superficie de suelos cultivables junto con sus características climáticas favorables y una disponibilidad de agua relativamente abundante. La demanda evapotranspirativa relativa a cultivos de secano es de mayor relevancia en la Macrozona Norte (41%), donde el resto de las macrozonas presentan un peso en torno al 17-22% en cada una. Por su parte, la demanda evapotranspirativa asociada a plantaciones forestales está concentrada en la Macrozona Sur, alcanzando un 79%, acorde a la concentración de este tipo de explotaciones en dicho territorio.

De acuerdo con el VIII Censo Agropecuario y Forestal (INE, 2022)²⁷, se estima que, en Chile, al año 2021, existen cerca de 1,8 millones de hectáreas bajo cultivo; de éstas, el 93% se concentran en las Macrozonas Centro y Sur. De estas, 900.396 ha están bajo riego, las que equivalen al 49% de la superficie total, donde las Macrozonas Centro y Sur concentran el 92% de la superficie (Tabla 2.3-6). La superficie bajo riego a nivel país resulta similar a la estimada en el año 2015; ahora bien, podrían presentarse cambios en las demandas hídricas por configuraciones en el patrón de cultivos, incremento de la tecnificación del riego y/o aumento de la evapotranspiración de cultivo como efecto del cambio climático.

Tabla 2.3-6 Estimación de superficie agrícola bajo riego, por macrozona

Macrozona	Año 2015		Año 2021	
	Superficie Riego [ha]	Superficie Riego [%]	Superficie Riego [ha]	Superficie Riego [%]
Norte	78.758	8,7%	64.926	7,2%
Centro	657.216	72,5%	584.000	64,9%
Sur	169.045	18,7%	244.949	27,2%
Austral	1.206	0,1%	6.521	0,7%
Total	906.225	100,0%	900.396	100,0%

Fuente: Elaboración propia en base a (DGA, 2017b; INE, 2022).

2.3.4 Uso minero e industrial

En 2022, el sector minero representó aproximadamente el 14,2% del PIB del país (Banco Central, 2023), con la mayoría de las operaciones mineras localizadas en las Macrozonas Norte y Centro del país, las cuales presentan problemas recurrentes de escasez de agua (Duhalde et al., 2021). Particularmente, regiones como las de Tarapacá, Antofagasta, Atacama y Coquimbo en la Macrozona Norte, y la región de O'Higgins en la Macrozona Centro, es donde se concentra el mayor impacto de esta actividad, donde la minería constituye sobre el 25% de su PIB regional al año 2021 (COCHILCO, 2022b).

En términos de consumo de agua para uso industrial, la industria manufacturera requiere del recurso hídrico para diversas operaciones, como enfriamiento, lavado y como insumo de producción entre otras (Duhalde et al., 2021). El uso industrial representa el 9,7% del PIB nacional (Banco Central, 2023) y, en términos de localización, se encuentra mayormente en la región Metropolitana (Macrozona Centro) y la región del Biobío en la Macrozona Sur (Duhalde et al., 2021).

En la Tabla 2.3-7 se presentan las estimaciones de demanda de agua para el rubro minero e industrial por macrozona, al año 2015; las demandas del sector minero se estimaron en base a las faenas mineras existentes y aquellas del sector industrial a partir de los registros de la SISS y la SMA. Con respecto a la demanda minera, las regiones de

²⁷ A pesar de que el VIII Censo Agropecuario y Forestal presentó problemas de logro de cobertura de superficie censal en algunas regiones del país, éste entrega información valiosa respecto a la estructura productiva del sector silvoagropecuario, además de ser los resultados más actualizados. Dado ello, la información reportada en este informe debe considerarse de referencia, sin pretender un análisis conclusivo sobre algún tópico en particular.

Antofagasta (Macrozona Norte) y O'Higgins (Macrozona Centro) son las mayores demandantes (gran minería del cobre) (DGA, 2017b). Para el caso de la demanda de agua por el sector industrial, esta se concentra en la Macrozona Sur (81%), específicamente en las regiones de Biobío y Los Lagos, alcanzando entre ambas el 65% de la demanda nacional. En total, para ambos usos, 51% de la demanda proviene de la Macrozona Sur, 28% de la Macrozona Norte, 21% de la Macrozona Centro y solo 0,4% de la Macrozona Austral.

Tabla 2.3-7 Demanda consuntiva para uso minero e industrial, año 2015, por macrozona

Macrozona	Uso Minero [hm ³ /año]	Uso Minero [%]	Uso Industrial [hm ³ /año]	Uso Industrial [%]	Total [hm ³ /año]	Total [%]
Norte	285,1	66,3%	38,9	5,3%	324,0	27,9%
Centro	141,7	32,9%	100,6	13,8%	242,3	20,9%
Sur	0,0	0,0%	589,7	80,7%	589,8	50,8%
Austral	3,4	0,8%	1,6	0,2%	5,1	0,4%
Total	430,3	100,0%	730,9	100,0%	1.161,1	100,0%

Fuente: Elaboración propia en base a DGA, 2017.

En relación con el sector minero, de acuerdo con COCHILCO (2022a), al año 2021, del total de las extracciones de agua, un 67% provinieron de aguas continentales, mientras que el uso de agua de mar ascendió a un 33%; es menester señalar que el uso de agua continental disminuyó un 13% respecto al año 2016, mientras que el uso del agua de mar creció 2,3 veces (Tabla 2.3-8). Dentro del uso de agua de mar, esta se distribuye en un 62% (3.566 l/s) provienen de agua desalada y un 38% (2.166 l/s) proviene de agua salobre (agua de mar de uso directo).

Tabla 2.3-8 Extracción de agua en minería según fuente de extracción, a nivel nacional

Tipo de recurso	Extracción, año 2016		Extracción, año 2021	
	[l/s]	[%]	[l/s]	[%]
Aguas superficiales	6.206	38,6%	4.603	26,2%
Aguas subterráneas	6.332	39,4%	5.742	32,7%
Aguas adquiridas a terceros	1.077	6,7%	1.499	8,5%
Agua de mar	2.446	15,2%	5.732	32,6%
Total	16.061	100,0%	17.576	100,0%

Fuente: Elaboración propia en base a COCHILCO, 2022a.

2.3.5 Uso para generación eléctrica

En relación con la demanda de agua asociada al uso para generación eléctrica, cabe distinguir tanto aquella no consuntiva, relativa a generación hidroeléctrica, como demanda consuntiva, relativa a usos en otras tipologías de centrales; esta última categoría es de menor entidad que la cantidad demandada para uso no consuntivo. En la Tabla 2.3-9 se presenta un resumen, por macrozona, de las estimaciones de demanda

para uso en generación eléctrica. De acuerdo con DGA (2017b), la demanda de agua consuntiva y no consuntiva se concentra en las Macrozonas Centro y Sur, con un 99% del total en cada caso.

Tabla 2.3-9 Demanda no consuntiva y consuntiva para generación eléctrica año 2015, por macrozona

Macrozona	Uso Generación eléctrica, no consuntivo [hm ³ /año]	Uso Generación eléctrica, no consuntivo [%]	Uso Generación eléctrica, consuntivo [hm ³ /año]	Uso Generación eléctrica, consuntivo [%]
Norte	339,1	0,5%	0,0	0,0%
Centro	35.232,3	53,6%	266,3	53,8%
Sur	30.030,3	45,7%	225,0	45,4%
Austral	145,8	0,2%	4,1	0,8%
Total	65.747,5	100,0%	495,4	100,0%

Fuente: Elaboración propia en base a DGA, 2017.

Al año 2023, la capacidad instalada para generación hidroeléctrica en Chile alcanza 7.474 MW, correspondiendo al 23% de la generación de energía del país, la cual se compone de centrales hidráulicas de embalse (47%), hidráulicas de pasada (46%) y minihidro (8%) (Energía Abierta, 2023)²⁸. En términos macrozonales, la capacidad instalada se encuentra en un 99% entre las Macrozonas Centro (52%) y Sur (47%) (Tabla 2.3-10).

Tabla 2.3-10 Capacidad instalada para generación hidroeléctrica, año 2023, por macrozona

Macrozona	Hidráulica Embalse [MW]	Hidráulica Pasada [MW]	Minihidráulica Pasada [MW]	Total [MW]	Total [%]
Norte	0,0	10,8	39,4	50,2	0,7%
Centro	1.615,3	2.049,9	218,2	3.883,4	52,0%
Sur	1.859,6	1.358,9	297,6	3.516,1	47,0%
Austral	0,0	24,5	0,0	24,5	0,3%
Total	3.474,9	3.444,2	555,2	7.474,3	100,0%

Fuente: Elaboración propia en base a Energía Abierta, 2023.

2.3.6 Uso acuícola

A nivel global, Chile es el séptimo país del mundo en producción acuícola y el primero en el continente americano (FAO, 2022), constituyendo una de las principales actividades económicas del país. Así, la acuicultura se concentra en cultivos marinos costeros; sin embargo, dado el objetivo del presente estudio, se analiza únicamente la demanda hídrica asociada a los centros en tierra que desarrollan sus cultivos en agua dulce (DGA, 2017c). El sector piscícola presenta altas demandas de agua en concordancia a sus elevados volúmenes productivos; estas corresponden al uso de

²⁸ A octubre del año 2023, según Energía Abierta, 2023, las estimaciones se realizaron para la capacidad instalada neta (MW).

recursos superficiales, a través del ejercicio de DAA, mayoritariamente de tipo no consuntivo (DGA, 2017b).

La demanda para uso acuícola no consuntiva se concentra casi exclusivamente (96%) en la Macrozona Sur (Tabla 2.3-11). Esta estimación se basó en los datos asociados a los centros acuícolas "en tierra" del Registro Nacional de Acuicultura (RNA) de SERNAPESCA, seleccionando aquellos en que la fuente hídrica utilizada no proviene de agua de mar, siendo considerados los que utilizan agua proveniente de río, estero, arroyo, pozo, vertiente, lago, laguna o canal (DGA, 2017b).

Tabla 2.3-11 Demanda no consuntiva para uso acuícola año 2015, por macrozona

Macrozona	Uso Acuícola [hm ³ /año]	Uso Acuícola [%]
Norte	0,2	0,0%
Centro	455,3	0,5%
Sur	85.607,4	96,2%
Austral	2.952,7	3,3%
Total	89.015,5	100,0%

Fuente: Elaboración propia en base a DGA, 2017.

2.3.7 Uso turístico

DGA (2017) generó la estimación de caudales turísticos, los cuales tienen el fin de asegurar el desarrollo de actividades recreativas que pueden ser realizadas en un río, así como mantener valores paisajísticos que constituyen el atractivo de un territorio. Particularmente, las estimaciones se basaron en las ZOIT que involucran ríos dentro de sus dominios territoriales²⁹. A nivel nacional, se identificaron al año 2015 un total de 16 ZOIT³⁰. estimando una demanda por uso turístico del orden de 2.517 m³/s, donde un 51% de esta se produce en la Macrozona Sur, seguida por la Macrozona Austral con un 34% (Tabla 2.3-12).

Tabla 2.3-12 Demanda in situ para uso turístico, año 2015, por macrozona

Macrozona	ZOIT analizadas	Uso turístico [m ³ /s]	Uso turístico [%]
Norte	5	11,8	0,5%
Centro	2	387,0	15,4%
Sur	8	1.272,0	50,5%
Austral	1	846,0	33,6%
Total	16	2.516,8	100,0%

Fuente: Elaboración propia en base a DGA, 2017.

²⁹ El uso de esta aproximación implica que algunas regiones no presenten estimación de demanda para uso turístico.

³⁰ Cabe mencionar que, a 2023, existen 42 ZOIT declaradas por el Ministerio de Economía, Fomento y Turismo. Sin embargo, de estas 26 ZOIT no contempladas en el estudio de referencia se requiere un análisis metodológico para evaluar la pertinencia de su inclusión como foco de demanda turística de agua.

2.4 CALIDAD DE LAS AGUAS

En Chile, la DGA es mandatada por el CdA, en su Artículo 299, para implementar y operar una red de monitoreo de calidad de aguas (DFL 1122, 1981). Así, esta institución mantiene y opera una red de monitoreo de la calidad del agua desde la década del 60', monitoreando tanto agua superficial como subterránea, con el objetivo de generar información pública y sistemática que caracterice la calidad de los recursos hídricos para su conservación y protección (DGA, 2020).

A la fecha, la red se compone de 2.043 estaciones de monitoreo de acuerdo con la última actualización disponible de la red hidrométrica de la DGA (Red Hidrométrica DGA, 2023), distribuidas a lo largo del país³¹, la cual incluye estaciones de medición en cursos superficiales, aguas subterráneas y otros cuerpos de agua. A la fecha, del total de 101 cuencas identificadas para el país, 69 poseen alguna estación de monitoreo de calidad de aguas (Red Hidrométrica DGA, 2023).

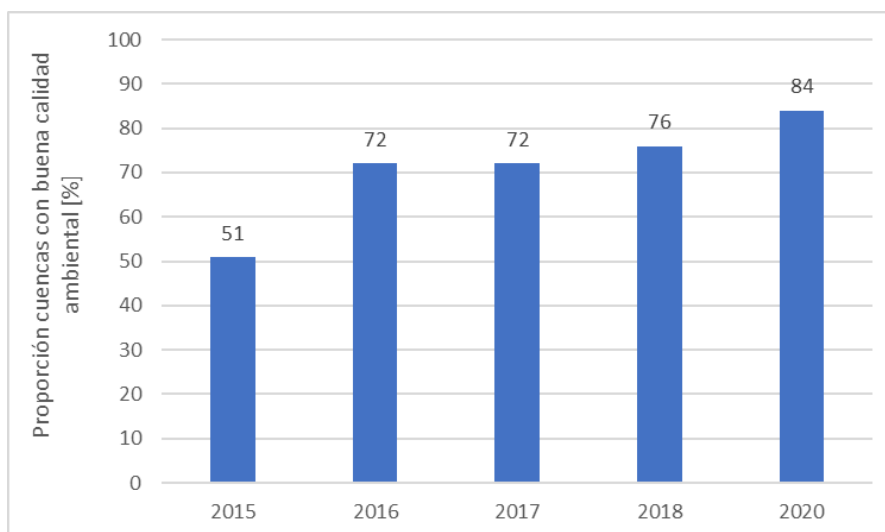
2.4.1 Aguas superficiales

El Informe del Estado del Medio Ambiente del año 2020 entrega información sobre el índice de Calidad Ambiental (ICA)³² en 50 cuencas a nivel país, monitoreado y calculado por la DGA a 2018 (MMA, 2020b). Del total, 38 cuencas (76%) contaban con una calidad ambiental calificada como "Buena", mientras que las restantes 12 (24%) presentaron calidad "No Buena", de las cuales 5 (42%) pertenecen a la Macrozona Norte, 5 a la Macrozona Sur (42%), y 2 a la Macrozona Centro (16%). El ICA es la base de cálculo del indicador ODS 6.3.2. "Proporción de masas de agua de buena calidad ambiental". Desde 2015, el país reporta a la ONU el estado de este indicador, estableciéndose la línea base en el "Informe de Diagnóstico e Implementación de la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible en Chile" (Gobierno de Chile, 2017). La evolución a nivel nacional de los resultados de calidad del ODS 6.3.2 se presenta en la Figura 2.4-1, donde se observa un crecimiento sobre el 30%, pasando de 25 a 42 (84%) cuencas con buena calidad ambiental³³.

³¹ En el acápite de infraestructura hídrica se muestra la distribución macrozonal de las estaciones de monitoreo de calidad de aguas.

³² El ICA considera una buena calidad ambiental cuando este indicador posee un porcentaje de cumplimiento igual o superior al 80%, el cual se obtiene mediante el cociente entre el total de valores monitoreados que cumplen con valores de referencia (objetivos), respecto del total de valores monitoreados para un parámetro específico (pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, ortofosfato y nitrógeno oxidado total (nitrito más nitrato)). El ICA considera una buena calidad ambiental cuando este indicador posee un porcentaje de cumplimiento igual o superior al 80%, el cual se obtiene mediante el cociente entre el total de valores monitoreados que cumplen con valores de referencia (objetivos), respecto del total de valores monitoreados para un parámetro específico. Para un punto de monitoreo dentro de una cuenca, el valor del ICA se obtiene como el promedio aritmético de los niveles de cumplimiento para los parámetros monitoreados. Mayor detalle sobre el cálculo del ICA en CEDEUS-DGA, 2020.

³³ El reporte de Diagnóstico de 2017 estableció una línea base preliminar de 67%. Sin embargo, este valor corresponde a 6 cuerpos de agua, compuesto por el Lago Villarrica (estación litoral Sur); Lago Llanquihue (estación Puerto Octay); Río Maipo (estación Maipo en Cabimbao); Río Biobío (estación desembocadura Norte); Acuífero del Cachapoal (SHAC Pelequén-Malloa-San Vicente de Tagua Tagua) y Acuífero del Tinguiririca (SHAC Tinguiririca Superior).



Fuente: Elaboración propia a partir de CEDEUS-DGA, 2020 y UN Water, 2024³⁴.

Figura 2.4-1 Evolución del indicador ODS 6.3.2 a nivel nacional, periodo 2015-2020

La evaluación cuantitativa del estado trófico y el grado de contaminación de los sistemas lacustres es de gran trascendencia en gestión ambiental territorial, ya que permite establecer restricciones de usos de estos recursos. Con el objetivo de caracterizar la calidad de los cuerpos de agua, la DGA cuenta con una red de control para establecer la condición trófica de algunos lagos a lo largo del país (DGA, 2016); en términos de extensión territorial, esta red posee una menor cobertura que la sobre cuerpos superficiales [y corrientes] (Pastén et al., 2021). En el año 2018, se realizó una evaluación de la condición trófica de cuerpos lacustres, presentando resultados para 30 cuerpos lacustres, distribuidos en la Macrozona Norte (1), Centro (5) y Sur (24) (DGA, 2018b), evaluando la concentración de nutrientes (nitrógeno, fósforo y clorofila a) y estableciendo una serie de rangos de acuerdo con el grado de concentración de cada uno de ellos, determinando 4 categorías de clasificación de lagos (DGA, 2016)³⁵: lago oligotrófico, mesotrófico, eutrófico e hipertrófico. De acuerdo con DGA (2018b), a nivel

³⁴ Información disponible en <https://sdg6data.org/>.

³⁵ Lago oligotrófico es un medio de agua con baja productividad primaria, como resultado de contenidos bajos de nutrientes (nitrógeno y fósforo); estos lagos tienen poca producción de algas, y consecuentemente, poseen aguas sumamente claras, con alta calidad para uso como agua potable, presentando típicamente mucho oxígeno por lo que soportan una mayor biodiversidad en sus ambientes. Lago mesotrófico es un cuerpo de agua con un nivel intermedio de productividad, mayor que el de un lago oligotrófico, pero menor que el de un lago eutrófico; estos lagos tienen comúnmente aguas claras, mantienen lechos de plantas acuáticas sumergidas con niveles medios de nutrientes y con menores niveles de oxígeno en sus aguas. Lago eutrófico es aquel hábitat o ambiente caracterizado por una mayor abundancia de nutrientes (nitrógeno y fosforo) que un lago mesotrófico, pero aun con menores niveles que un lago hipertrófico; presentan menores niveles de oxígeno y biodiversidad en su ambiente que los mesotróficos. Lago hipertrófico son cuerpos de agua la producción de algas alcanza un máximo, lo que provoca un enturbiamiento que impide que la luz penetre hasta el fondo del ecosistema, como consecuencia, se dificulta la fotosíntesis y la producción de oxígeno, aumentando la actividad metabólica consumidora de oxígeno (respiración aeróbica); de esta manera, el fondo del lago entra en una condición anóxica, es decir, sin presencia de oxígeno, provocando una disminución en la biodiversidad en este ambiente.

nacional, 9 cuerpos lacustres se encontraban en condición oligotrófica (30%), 9 en una condición oligo-mesotrófica (30%), 3 en condición meso-eutrófica (10%), 2 en estado eutrófico (7%), 5 en calidad eu-hipertrófica (17%) y 2 en condición de hipereutrofia (7%).

Por otra parte, el MMA es responsable de una red de monitoreo de humedales, dentro y fuera de áreas protegidas para conocer su estado (MMA, 2020b). En este contexto, ha realizado campañas de diagnóstico ambiental, entre los años 2011 y 2019, monitoreando la calidad de las aguas en tres tipos de humedales: estuarios, sistemas lénticos (cuerpos de agua cerrados y que no fluyen) y ecosistemas dulceacuícolas lóticos (que fluyen siguiendo un curso), totalizando 21 sistemas bajo monitoreo (MMA, 2020b). De estos, 4 se ubican en la Macrozona Norte, 12 en la Macrozona Centro, y 5 en la Macrozona Sur; la Macrozona Austral no tiene humedales bajo monitoreo de calidad de aguas. De acuerdo con la información proporcionada por MMA (2020b), solo un (1) humedal se encontraba en condición oligotrófica (5%), 11 presentaban un estado mesotrófico (52%), 5 condición eutrófica (24%) y 4 en condiciones hipertróficas (19%).

En términos de contaminantes registrados por el RETC³⁶ a 2020, el 99,5% de éstos fue emitido sobre aguas superficiales y marinas (RETC, 2021); del total registrado, los cloruros y los sulfatos comprenden el 82% de las emisiones contaminantes, con un 53% y 28%, respectivamente. El principal rubro económico emisor de contaminantes corresponde al rubro “Termoeléctricas”, con el 72% del total, seguido por rubro “Pesca y acuicultura” con el 9%. A nivel de distribución territorial por macrozona, las emisiones se encuentran distribuidas entre la Macrozona Norte (32%), Centro (31%) y Sur (34%); la Macrozona Austral contribuye con 4%.

2.4.2 Aguas subterráneas

La DGA ha realizado diagnósticos de calidad del agua subterránea en diferentes territorios del país, utilizando para ello los pozos de agua potable rural de los SSR³⁷. Con esta información levantada a nivel individual, se estima un índice de calidad de aguas subterráneas en dichos pozos, definiendo además el ICA correspondiente al indicador ODS 6.3.2. “Proporción de masas de agua de buena calidad ambiental”, el cual es reportado a la ONU. En este contexto, en 2021, la DGA calculó dicho indicador para

³⁶ El concepto de emisión al agua de contaminantes asociados a la descarga de residuos líquidos a aguas continentales se enmarca en la definición establecida en la letra c) del Artículo 3 del Reglamento del Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC), donde se establece que la emisión considera toda introducción de contaminantes o sustancias en el medio ambiente, regulados o no, producto de cualquier actividad humana. Estas emisiones se encuentran reguladas por distintos cuerpos normativos, donde las emisiones a cuerpos de agua superficiales están reglamentadas por el Decreto Supremo N°90/2000 de la Secretaría General de la Presidencia (SEGPRES) (MMA, 2020b; 2022).

³⁷ Los pozos de los SSR: 1) cuentan con infraestructura para extraer agua fácilmente (todos poseen bomba); 2) se encuentran en constante funcionamiento, por lo que el agua estudiada es representativa del acuífero; 3) cuentan con facilidad de acceso; y 4) los resultados obtenidos son reportados a los comités de APR dando un valor social a los resultados (DGA, 2020).

pozos, escalando a nivel de acuífero, en la Macrozona Norte (Coquimbo), Centro (Valparaíso, Metropolitana, O'Higgins, Maule) y Sur (Ñuble, Biobío y Los Ríos), utilizando una adaptación de la metodología propuesta por el PNUMA, y para acuíferos reconocidos a 2018, con información entre los años 2014 y 2019. De 129 pozos muestreados, el año 2019, el 81% mostró un ICA "Bueno"; a nivel de acuífero, de los 48 acuíferos de la muestra, 7 de ellos (14,5%) obtuvieron un ICA como "No bueno" (DGA, 2021).

En términos de contaminantes registrados por el RETC³⁸ a 2020, las descargas sobre aguas subterráneas representan el 0,05% (RETC, 2021); del total registrado, los sulfatos representan el 94% del total; el segundo elemento en descargas corresponde a cloruros, con un 4% (RETC, 2021). El principal rubro económico emisor de contaminantes sobre agua subterráneas corresponde al rubro "Otras industrias manufactureras", con el 43% del total, seguido por el rubro "Producción agropecuaria" (38%) e "Industria de la madera y silvicultura" (14%), representando estos el 81% del total. A nivel de distribución territorial por macrozona, la Macrozona Centro concentra el 98% de la totalidad de emisiones a aguas subterráneas.

2.5 INFRAESTRUCTURA HÍDRICA

2.5.1 Agua potable y saneamiento

En Chile, cerca del 88% de la población habita en zonas urbanas, donde los servicios de agua potable son provistos por empresas concesionarias; de acuerdo con la SISS (2022) existen 49 empresas sanitarias en operación, atendiendo un total de 5.937.766 clientes, equivalente aproximadamente a 16 millones de personas. A diciembre de 2022, la cobertura de agua potable, respecto del total de la población urbana que reside en el territorio operacional de las empresas concesionarias, es del 99,94% (SISS, 2022).

Con respecto al agua no facturada al año 2022, ésta corresponde a un 33,2% a nivel nacional (SISS, 2022), considerando empresas sanitarias pequeñas, medianas y grandes. La Tabla 2.5-1 recoge los rangos de agua no facturada a nivel macrozonal en medianas y grandes empresas sanitarias³⁹.

³⁸ El concepto de emisión al agua de contaminantes asociados a la descarga de residuos líquidos a aguas continentales se enmarca en la definición establecida en la letra c) del Artículo 3 del Reglamento del Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC), donde se establece que la emisión considera toda introducción de contaminantes o sustancias en el medio ambiente, regulados o no, producto de cualquier actividad humana. Estas emisiones se encuentran reguladas por distintos cuerpos normativos, donde las emisiones a aguas subterráneas están reglamentadas por el Decreto Supremo N°46/2002 de la Secretaría General de la Presidencia (SEGPRES) (MMA, 2020b; 2022).

³⁹ Para el resumen de agua no facturada se han considerado solamente empresas sanitarias que definidas en un rango de producción entre 13.288 miles de m³ y 669.665 miles de m³, con excepción de las empresas de la Macrozona Austral que debido a la relación con la población se han estimado valores de producción bajo los mencionados.

Tabla 2.5-1 Agua no facturada, año 2022, por macrozona

Macrozona	Rango agua no facturada [%]
Norte	26,8% - 32,0%
Centro	20,1% - 35,2%
Sur	20,8% - 40,3%
Austral	15,0% - 25,8%

Fuente: Elaboración en base a (SISS, 2022).

En relación con la provisión de agua para la población rural, ésta es abastecida por 2.368 SSR, tanto en localidades concentradas como semiconcentradas, alcanzando una población de 2 millones de personas (DOH, 2023). La provisión de los SRR abarca, a diciembre de 2020, 1,73 millones personas en localidades concentradas (86,7%), 191.618 personas en localidades semiconcentradas (9,6%) y 2.047 personas (0,1%) en localidades dispersas⁴⁰. De la revisión de diversos estudios, se considera que el porcentaje de agua no facturada en SSR es de un 30% (DGA & DOH, 2019).

Por otro lado, según la encuesta CASEN (2022) (Tabla 2.5-2), a nivel país, el 6,2% de la población accede a agua potable desde medios distintos a la red pública. Ahora bien, particularmente para sectores rurales, el año 2022, el 42,9% de este segmento de población (0,97 millones) posee acceso al agua por otras vías distintas a la red pública, mediante pozos o norias (24%), extracción desde ríos/vertientes (8,8%) y camiones aljibe (8,4%). Otras fuentes estiman que existirían más de 100 mil viviendas rurales (300 mil personas) sin acceso a algún sistema o servicio de provisión de agua potable (Banco Mundial, 2021).

Tabla 2.5-2 Acceso a agua potable en sectores urbanos y rurales, año 2022, a nivel nacional

Sector	Red pública [%]	Pozo / Noria [%]	Río, vertiente, u otro ⁴¹ [%]	Camión aljibe [%]	Otro [%]
Urbano	98,5	0,5	0,1	0,7	0,2
Rural	57,1	24,0	8,8	8,4	1,7
Total	93,8	3,2	1,1	1,5	0,3

Fuente: Elaboración propia en base a encuesta (CASEN, 2022)

A nivel macrozonal, tal como se muestra en la Tabla 2.5-3, la Macrozona Sur es la que posee el mayor porcentaje de modos de acceso diferente a la red pública, donde el 58,4% accede mediante otras vías, donde los pozos/norias aparecen como la fuente principal (31,9%), seguido por ríos/vertientes (17,4%) (CASEN, 2022).

⁴⁰ La base de datos de Servicios Sanitarios Rurales incluye 266 servicios denominados básicos y básicos progresivos, representando a 71.623 personas beneficiarias, los cuales fueron excluidos del análisis al no contar con el tipo de localidad.

⁴¹ Incluye río, vertiente, lago, estero o aguas lluvia.

Tabla 2.5-3 Acceso a agua potable en sectores urbanos y rurales, año 2022, por macrozona

Macrozona	Sector	Red pública [%]	Pozo / Noria [%]	Río, vertiente, u otro ⁴² [%]	Camión aljibe [%]	Otro [%]
Norte	Urbano	97,2	0,1	0,0	2,5	0,2
	Rural	58,5	12,6	2,1	25,1	1,8
	Total	93,5	1,3	0,2	4,6	0,3
Centro	Urbano	98,9	0,4	0,0	0,4	0,2
	Rural	71,5	19,8	1,8	5,5	1,5
	Total	96,7	2,0	0,2	0,8	0,3
Sur	Urbano	98,1	0,9	0,5	0,3	0,2
	Rural	41,6	31,9	17,4	7,3	1,9
	Total	86,1	7,5	4,1	1,8	0,5
Austral	Urbano	99,7	0,2	0,1	0,0	0,0
	Rural	58,3	10,2	24,5	5,0	2,1
	Total	94,9	1,3	2,9	0,6	0,3

Fuente: Elaboración propia en base a encuesta (CASEN, 2022).

En relación con el acceso a saneamiento, entendida como conexión a red de alcantarillado, la encuesta CASEN (2022) señala que, a nivel nacional, existe una cobertura aproximada del 87,9% (17,3 millones de personas); este porcentaje asciende al 96,7% en sectores urbanos y a solo el 14,8% en sectores rurales. A nivel rural, esto corresponde a un descenso del 2,2% con respecto a 2017, donde los hogares rurales conectados a redes públicas de alcantarillado alcanzaban a los 383.842 hogares (CASEN, 2022). A escala macrozonal, a nivel urbano, la Macrozona Austral posee la mayor población con acceso a saneamiento (98,2%), seguida de la Macrozona Centro (97,2%); en sectores rurales, los mayores índices de saneamiento corresponden a las Macrozonas Austral (40,4%) y Norte (23,7%) (CASEN, 2022) (Tabla 2.5-4).

Tabla 2.5-4 Acceso a saneamiento, año 2022, por macrozona

Macrozona	Población urbana [n° hab.]	Población urbana [%]	Población rural [n° hab.]	Población rural [%]	Población total [n° hab.]	Población total [%]
Norte	2.194.885	96,7	58.097	23,7	2.252.982	90,5
Centro	11.113.825	97,2	160.538	15,8	11.274.363	90,8
Sur	3.366.368	95	100.163	10,4	3.466.531	77,9
Austral	250.555	98,2	13.630	40,4	264.185	92,0

Fuente: Elaboración propia en base a encuesta (CASEN, 2022).

Con respecto a las PTAS, a diciembre del año 2022, operaban 302 plantas en el sector concesionado sanitario urbano en el país (SISS, 2022). La cobertura de alcantarillado es de 97,48% y la de tratamiento de aguas servidas en el sector urbano es de un 99,98%.

⁴² Incluye río, vertiente, lago, estero o aguas lluvia.

El volumen de aguas servidas tratadas el año 2022 fue de 1.225 millones de metros cúbicos, de los cuales el 73% se descargó en cuerpos de aguas superficial continental, el 21% se descargó en el mar y un 6% de las aguas tratadas tuvo un reúso directo. Esto último significa que hay AST que se entregaron a terceros en forma directa desde las PTAS, sin ser dispuestas en los cuerpos de aguas continentales (SISS, 2023a).

2.5.2 Embalses, canales y pozos

En Chile se monitorean cerca de 35 grandes obras de infraestructura de acumulación de agua, tanto para consumo humano, hidrogenación y riego, la que cumple con una capacidad de almacenamiento aproximada de 13.173 hm³, distribuida en embalses para agua potable (3), riego (27), hidrogenación (3) y mixtos (2) (DGA, 2023b, 2023a)⁴³. Se estima que, de la capacidad total a nivel país, la capacidad actual para riego es cercana a 9.700 hm³, la cual está mayormente concentrada en las Macrozonas Norte y Centro (DGA, 2023b). A esta se adicionan los embalses de reciente puesta en funcionamiento, como el embalse Chacrillas con 27 hm³ (región de Valparaíso, Macrozona Centro) y el embalse Chironta con 17 hm³ (región de Arica y Parinacota, Macrozona Norte). Si bien la capacidad de acumulación de recursos hídricos para riego ha tenido un lento crecimiento posterior al año 1970, situación señalada en el informe "Diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos" (Banco Mundial, 2011), actualmente, para el sector riego, DOH tiene una cartera de 31 embalses en distintas etapas de evaluación del ciclo de vida de proyectos: 11 para la Macrozona Norte, 16 en la Macrozona Centro y 4 en la Macrozona Sur (CNR, 2023b).

Chile cuenta con una extensa red de canales, distribuida mayoritariamente entre la Macrozona Norte y la Macrozona Sur (hasta la región de La Araucanía), construida principalmente desde la segunda mitad de siglo XIX (Sandoval, 2003). De acuerdo con el Catastro de Canales (CNR, 2023b; 2023c), existen más de 39.000 km de canales construidos, donde el 55% se encuentran en la Macrozona Centro, 27% en la Macrozona Sur y el 18% en la Macrozona Norte. Sin embargo, no existen estudios que revelen la condición de la red de canales a nivel nacional, la cual ha sufrido deterioro de sus estructuras y en algunos casos obsolescencia de su diseño original (DOH, 2020).

Por otro lado, no existe un registro oficial de pozos a nivel país que permita hacer una cuantificación y una descripción sobre este tipo de infraestructura hídrica y su distribución a lo largo del país. Ahora bien, como aproximación, se puede inferir un número de pozos en base a los DAA subterráneos concedidos por la DGA⁴⁴. Así, a nivel nacional se registran más de 65.000 DAA subterráneos concedidos, donde su distribución macrozonal se muestra en la Tabla 2.5-5, observando que la mayor parte de los DAA

⁴³ Para el caso de este informe, la capacidad de acumulación se estimó a partir de la base de datos del Catastro de Embalses Construidos, que entera 31 embalses, más aquellos que son monitoreados por la DGA en su informe Boletín Mensual de Información Hidrométrica (DGA, 2023a), pero que no aparecen en el registro del Catastro, como los embalses Peñuelas, Rapel, Colbún y Ralco.

⁴⁴ Asumiendo como hipótesis que un (1) DAA subterráneo concedido corresponde a una (1) captación subterránea (pozo).

subterráneos (51%) están asignados en la Macrozona Centro, seguida por la Macrozona Sur (31%).

Tabla 2.5-5 Distribución de DAA subterráneos, por macrozona

Macrozona	DAA subterráneos [n°]	DAA subterráneos [%]
Norte	10.868	17%
Centro	33.220	51%
Sur	20.293	31%
Austral	875	1%

Fuente: Elaboración propia en base a DGA, 2023b.

2.5.3 Plantas desalinizadoras

Frente al problema de escasez hídrica forzada por el cambio climático en Chile, se han instalado plantas desalinizadoras de diversa magnitud, convirtiéndose en una alternativa que permite asegurar el suministro tanto para el consumo humano como para actividades productivas. A nivel nacional, existen 38 plantas operativas, con una capacidad instalada de 8.558 l/s a 2021 (Vicuña et al., 2022). Esta infraestructura es generada mayormente por la limitada oferta hidrológica y la demanda principalmente para minería y consumo humano, la cual se encuentra concentrada en la Macrozona Norte, con un 98,7% de la capacidad actual, donde la región de Antofagasta aparece con la mayor capacidad instalada con 25 plantas operativas, equivalentes a 6.603 l/s (77% de la capacidad instalada nacional). Las Macrozonas Centro, Sur y Austral poseen una capacidad actual combinada estimada de 110 l/s.

2.5.4 Reúso de aguas servidas

El volumen de AST el año 2022 fue de 1.225 millones de m³, donde el 6% tuvo un reúso directo, correspondiendo a 72 millones de m³ (SISS, 2022). Existe reúso de AST en las Macrozonas Norte, Centro y Sur (desde Arica y Parinacota hasta la región de Biobío), donde la región Metropolitana en la Macrozona Centro es la que posee el mayor volumen de aguas reusadas en forma directa, alcanzando un 11% respecto del total de AST. La región del Biobío, en la Macrozona Sur, es la segunda región con mayor porcentaje de reúso, alcanzando un 5% respecto del total de AST (SISS, 2022). En relación con la clasificación del reúso directo de las AST, el 62% es utilizada en el sector agrícola, el 20% es de uso interno en las propias instalaciones de las sanitarias, y el 18% corresponde a reúso en minería. Con respecto al uso indirecto de las AST, la SISS señala que, con la información actual disponible, no es posible estimar los caudales ni el porcentaje de aguas servidas tratadas que se descargan a cuerpos de agua superficial continentales que están siendo reutilizadas indirectamente aguas abajo de las descargas, principalmente en uso agrícola (SISS, 2022).

2.5.5 Recarga acuífera, captura de aguas lluvia y sistemas atrapanieblas

La infraestructura asociada a sistemas de recarga de acuíferos no posee información sistematizada que permita un análisis detallado, siendo incipiente su desarrollo en el país. No obstante, se han identificado 4 experiencias de recarga acuífera operativas,

como pilotos o proyectos, en la Macrozona Norte (río Copiapó, río Elqui y Pan de Azúcar) y Macrozona Centro (río Aconcagua, río Maipo) (CNR, 2020).

Si bien la captura de agua lluvia ha existido históricamente, implementándose en diversas latitudes (nordeste de Brasil, México, Australia, entre otros), la introducción e implementación de sistemas de captación y acumulación de aguas lluvias⁴⁵ en Chile es relativamente reciente (PNUD, 2016). Los SCALL surgen⁴⁶ como una herramienta para abordar la problemática de la sequía en sectores semiáridos, del secano interior de la Macrozona Norte y Macrozona Centro, y últimamente, en sectores aislados de la Macrozona Sur y Austral, los que han presentado déficit de precipitaciones en época estival.

Chile fue precursor de la niebla como recurso hídrico, donde se diseñaron y masificaron los primeros sistemas de captura de agua niebla (camanchaca), principalmente a lo largo de las costas de las Macrozonas Norte y Centro del país (Cereceda et al., 2014). Geográficamente en estos territorios es abundante presencia de niebla que se convierte en una potencial fuente de agua complementaria (Larraín et al., 2002). Existen sitios que reúnen una serie de condiciones geográficas que presentan mayor potencial para esta captación, dependiendo de diversos factores como: altitud, orientación de las laderas, cercanía a la línea de costa, morfología del suelo, velocidad y orientación del viento, humedad relativa, temperatura, contenido de agua y ciclo de la nube, entre otros (Cereceda et al., 2014). Dentro de las mediciones disponibles para el país se cuenta con una alta variabilidad; ejemplos en la Macrozona Norte son el sitio Alto Patache (Tarapacá), registrando capturas de 7 l/s/día, y el Tofo-Chungungo (Coquimbo), con producción de 3 l/s/día.

2.5.6 Servicio Hidrométrico Nacional DGA

El Servicio Hidrométrico Nacional de la DGA⁴⁷ es una red de control de cantidad, nivel y calidad de las aguas tanto superficiales como subterráneas en diversas cuencas hidrográficas, que genera información pública y de libre acceso respecto a los datos levantados, y constituye una de las labores fundamentales de esta institución mandatada por el CdA. La Macrozona Centro es la que cuenta con el mayor número de estaciones, (33% de la red), a pesar de que posee solo el 16% de las cuencas del país (Pastén et al., 2021). Por otro lado, la Macrozona Austral es la que tiene la red más reducida, con el 12% del total.

⁴⁵ A estos sistemas también se les denomina cosechadores de aguas lluvia.

⁴⁶ Este tipo de sistemas ha sido financiado por diferentes instituciones, como los Gobiernos Regionales (GORE), municipalidades, CNR, INDAP y CONADI.

⁴⁷ Sitio web DGA. Consultado el 10 de mayo de 2024. Disponible en: [https://dga.mop.gob.cl/Paginas/hidrolineasatel.aspx#:~:text=El%20Servicio%20Hidrom%C3%A9trico%20Nacional%20cuenta,%2C%20calidad%20de%20agua%20\(pH%2C](https://dga.mop.gob.cl/Paginas/hidrolineasatel.aspx#:~:text=El%20Servicio%20Hidrom%C3%A9trico%20Nacional%20cuenta,%2C%20calidad%20de%20agua%20(pH%2C)

Tabla 2.5-6 Red hidrométrica DGA a nivel nacional

Tipo estación/medición	Nacional	Macrozona			
		Norte	Centro	Sur	Austral
Calidad de aguas	1.737	370	598	623	146
Fluviométrica	611	135	153	209	114
Meteorológica	943	280	238	272	153
Nivel de pozo	628	228	317	71	12
Sedimentométrica	76	16	23	23	14
Nivel de lagos y embalses	98	13	23	38	24
Glaciológica	68	13	23	5	27
Ruta de nieve	11	4	5	2	0
Total	4.172	1.059	1.380	1.243	490

Fuente: Elaboración propia a partir de información de Mapoteca (DGA, 2023d)⁴⁸

El servicio hidrométrico entrega información en tiempo real (online, con entrega de datos cada 1 hora), con un total de 1.330 estaciones que transmiten datos en línea a través del sistema satelital, midiendo parámetros fluviométricos (caudal, nivel y temperatura del agua), de nivel de agua subterránea (nivel de pozos), meteorológicos (precipitación, temperatura y humedad relativa del aire), calidad de agua (pH, oxígeno disuelto, turbiedad, entre otros), nivométricos (altura de nieve y nieve equivalente en agua), como así también, los niveles y volúmenes de embalses y lagos⁴⁹.

2.6 GESTIÓN DEL AGUA

2.6.1 Código de Aguas y oportunidades de la reforma del año 2022

Desde su implementación en 1981, el CdA ha desempeñado un papel fundamental en la normativa y regulación del acceso a los recursos hídricos del país. Este código incorpora criterios de mercado en los procesos de asignación de agua, en sintonía con el Principio N° 4 de la Declaración de Dublín (1992), al tiempo que ha limitado la intervención del Estado en asuntos relacionados con la participación del sector privado en la gestión del agua. A lo largo de su historia, el CdA ha demostrado su capacidad para fomentar inversiones en infraestructuras hidráulicas y mejorar la eficiencia en el uso del agua. Sin embargo, estos logros no han estado exentos de desafíos, lo que ha llevado a su revisión y modificación en varias ocasiones, particularmente el año 2005 y más recientemente el año 2022. Esta evolución refleja la adaptación continua a las necesidades cambiantes del país en cuanto a la gestión de sus recursos hídricos.

⁴⁸ Complementado con información actualizada de la Red Hidrometeorológica Nacional a la fecha entregada por el Departamento de Hidrología de la Dirección General de Aguas

⁴⁹La información puede ser revisada en: <https://dga.mop.gob.cl/Paginas/hidrolineasatel.aspx>

La reforma del año 2022 al CdA (Ley N° 21.435) se refiere sobre ciertos aspectos de la gestión del agua y la forma para preservar, transar y usar este recurso. En este sentido, según el Artículo 5 bis del CdA, "las aguas cumplen diversas funciones, principalmente las de subsistencia, que incluyen el uso para el consumo humano, el saneamiento y el uso doméstico de subsistencia; las de preservación ecosistémica, y las productivas. Siempre prevalecerá el uso para el consumo humano, el uso doméstico de subsistencia y el saneamiento, tanto en el otorgamiento como en la limitación al ejercicio de los DAA". Así, entre las principales reformas realizadas el año 2022, se identifican⁵⁰: (i) Derecho humano al agua y saneamiento; (ii) Reserva de aguas para función de subsistencia y preservación ecosistémica; (iii) Función ecosistémica y sustentabilidad; (iv) Producción sostenible y eficiencia hídrica; (v) Gobernanza y gestión territorial.

En resumen, la legislación chilena ha fortalecido la protección del derecho humano al agua y saneamiento, promoviendo la sustentabilidad de los recursos hídricos, la gestión eficiente y la transparencia en el uso del agua, priorizando el consumo humano, el saneamiento y la preservación ecosistémica. Lo anterior está en sintonía con aquello incorporado en la actualización del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC)⁵¹, donde se identifica, entre otros, el lineamiento transversal relativo a la seguridad hídrica.

2.6.2 Derechos de Aprovechamiento de Aguas

El CPA⁵² contiene, a nivel nacional⁵³, un registro total de 144.052 DAA. Sin embargo, cabe señalar que esta cifra no corresponde a la realidad, habiendo un gran número de DAA no registrados porque gran parte de los titulares no los han regularizado o perfeccionado ante la autoridad respectiva, conforme a los requisitos del CdA⁵⁴. Del total de derechos registrados, el 79,9% está otorgado en el conjunto de las Macrozonas Centro y Sur.

En términos del tipo de derecho, a nivel nacional, los DAA consuntivos equivalen al 90,2% del total, y los DAA no consuntivos al 9,8%. Asimismo, de acuerdo con la naturaleza del derecho, a nivel país se han concedido 78.795 (54,6%) DAA superficiales y 65.257 (45,3%) DAA subterráneos. Con respecto a declaraciones de uso del derecho,

⁵⁰ Véase Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas, "Ejes prioritarios", disponible en: <https://snia.mop.gob.cl/codigo-de-aguas/ejes-prioritarios>

⁵¹ En el Anexo 1 de su guía "Lineamientos para la incorporación de Soluciones basadas en la Naturaleza y Seguridad Hídrica en planes de adaptación y otros instrumentos en Chile".

⁵² El CPA consolida los DAA originales constituidos y derechos catastrados en la DGA y solicitudes aprobadas, tales como traslados del ejercicio del derecho, cambios de punto de captación y de abastecimiento, así como también, transferencias o transmisiones informadas por los titulares de derechos, de acuerdo con lo contemplado en el Artículo 122 del CdA. Dicho consolidado de DAA a nivel nacional registra las solicitudes aprobadas y concedidas desde el año 1899 hasta el presente (BCN, 2020).

⁵³ Para el caso de este informe, se utilizó la base consolidada nacional de DAA registrados en DGA, actualizada al 27/09/2023 (https://dga.mop.gob.cl/productosyservicios/derechos_historicos/Paginas/default.aspx).

⁵⁴ Señalado por el Director Nacional de la DGA en mayo de 2021 (<https://www.ciperchile.cl/wp-content/uploads/2021-05-27-Catastro-P%C3%BABlico-de-Aguas-DGA.pdf>).

del total de DAA registrados, 75.439 (52,3%) tienen algún tipo de declaración de uso⁵⁵; de ellos, el 58,3% corresponde a usos ligados a la actividad silvoagropecuaria (principalmente riego), 24,8% para bebida/uso doméstico y un 7,1% para uso hidroeléctrico.

Existen brechas en el conocimiento sobre la titularidad de los DAA, los usos y consumos actuales del recurso por los diferentes sectores (Fuster et al., 2017). Por ello, es menester señalar que el análisis se restringe a la contabilización de DAA más que a la cuantificación de caudales otorgados, dado que la base de datos del CPA requiere una depuración exhaustiva y una clarificación de ciertas inconsistencias en la información (tales como diferentes tipos de unidades que no permiten generar cifras totales, incoherencias en las unidades de otorgamiento de derechos registradas, valores de caudal negativo, entre otros aspectos). En el **ANEXO B** se presenta un análisis más detallado de los DAA a escala macrozonal, y en el **ANEXO C** se recopila la data asociada.

Dicha limitación de información sobre DAA es clave para avanzar en la toma de decisiones para mejorar la gestión del recurso, considerando los impactos derivados del actual escenario de cambio climático. Si bien aún existe una brecha en la materia, a nivel normativo se han realizado avances gracias a las reformas al CdA del año 2022 y 2023, donde se establecen plazos perentorios para la regularización e inscripción en el CBR de los DAA, los que deberán inscribirse en el CPA, lo que permitirá robustecer el conocimiento respecto a la tenencia y uso del agua al año 2025⁵⁶.

2.6.3 Institucionalidad pública en materia hídrica

La institucionalidad vinculada a la gestión hídrica en Chile es amplia, compleja e involucra organismos de distintos sectores del país. Según el “Estudio para el mejoramiento del marco institucional para la gestión del agua” del Banco Mundial (2013), en Chile existen 43 organismos vinculados a la gestión hídrica, de los cuales corresponden a organismos gubernamentales (29), organismos autónomos (10) y Organizaciones de Usuarios de Agua (OU) (4). Esta fragmentación institucional genera una serie de problemas a nivel de coordinación entre organismos.

Sumado a lo anterior, muchas de estas instituciones carecen o cuentan con instrumentos y/o criterios que integran débilmente el enfoque de adaptación al cambio climático dentro de sus funciones, dificultando el cumplimiento de los compromisos internacionales y a las necesidades en materia de consumo humano, preservación de los ecosistemas, prevención de riesgo de desastres, entre otros. En el **ANEXO D** se profundiza en las funciones de los principales organismos públicos en materia hídrica.

No obstante, la modificación al CdA del año 2022 y la promulgación de la LMCC establecen un nuevo marco normativo que brinda la oportunidad de desarrollar

⁵⁵ Registro de uso solo referencial dado que la solicitud y asignación de derechos no conlleva la justificación de algún tipo de uso.

⁵⁶ Artículos Primero y Segundo transitorios del Código de Aguas.

instrumentos, medidas y políticas dirigidas a fortalecer la institucionalidad de los recursos hídricos para alcanzar la seguridad hídrica desde un enfoque de adaptación al cambio climático.

2.6.4 Instrumentos de gestión y/o protección del recurso hídrico

En Chile existe una serie de instrumentos públicos vinculados a la gestión y/o protección del recurso hídrico, algunos de los cuales potencialmente pueden considerarse como herramientas para enfrentar los efectos adversos del cambio climático. El marco regulatorio del agua refleja un esfuerzo sistemático y continuo por parte del Estado para adaptar y mejorar la gestión de los recursos hídricos frente a los retos planteados por el cambio climático. Desde 1931 hasta la fecha destacan una serie de leyes, políticas y planes diseñados para regular, proteger y optimizar el uso de los recursos hídricos. Este largo recorrido histórico señala una creciente conciencia y respuesta ante la necesidad de una gestión sostenible y responsable del agua, un recurso vital no solo para la vida humana, sino también para los ecosistemas y la economía.

Desde la entrada en vigor de la reforma al Código de Aguas del año 2022, diversos instrumentos administrados por la DGA se han visto fortalecidos, a fin de alcanzar la seguridad hídrica a nivel nacional, robusteciendo aspectos tales como: la cuantificación y monitoreo de la demanda de agua; la gestión de la escasez; la policía y vigilancia del recurso; desarrollo de instancias de participación a nivel de cuenca; prevención de riesgo de desastres, entre otros. Entre los instrumentos administrados por la DGA más relevantes en gestión hídrica potencialmente relacionados con cambio climático y gestión de riesgo de desastres (GRD), se identifican:

- Asignación, regularización y perfeccionamiento de DAA: Artículos 11, 140, 2° transitorio y 170 bis del CdA.
- Patente por No Uso (PNU): desde Artículo 129 bis 4° al bis 17° del CdA.
- Prorrato: Artículos 17 y 62 del CdA.
- Declaración de agotamiento de fuentes superficiales: Artículo 282 CdA.
- Áreas de Restricción y Zonas de Prohibición de aguas subterráneas: Artículos 63, 65 y Décimo Segundo Transitorio del CdA.
- Decretos de reserva: Artículos 147 bis y 147 ter del CdA.
- Monitoreo de Extracciones Efectivas (MME): Artículo 307 del CdA.
- Decretos de escasez hídrica y Acuerdos de Redistribución: Artículos 314 y 315 del CdA.
- Planes Estratégicos de Recursos Hídricos en Cuencas (PERHC): Artículo 293 bis del CdA y Decreto MOP N°58 del año 2024.
- Declaración de cierre de bocatomas: Artículo 304 del CdA.
- Declaraciones de alerta de amenaza asociada al recurso hídrico y comunicación con SENAPRED: Artículo 299 letra b) N°4 del CdA.

Por otro lado, existen múltiples instrumentos administrados por otros organismos gubernamentales, que se pueden relacionar con la adaptación al cambio climático en

torno al sector de los recursos hídricos. A continuación, se detallan dichos instrumentos según el ámbito de consumo humano, conservación y protección ecosistémica, sectores productivos, y eventos extremos y gestión de riesgos:

- En el ámbito del consumo humano:
 - Decreto con Fuerza de Ley N°382/1989, que fija Ley General de Servicios Sanitarios.
 - Plan Estratégico Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres en el Sector Sanitario 2020- 2030.
 - Ley N°20.988/2017, que regula Servicios Sanitarios Rurales (SSR).
 - Ley N°21.639/2023: atribuciones el desarrollo de infraestructura hídrica y desalinización, para fines de consumo humano y riego (transversal ámbito consumo humano y sectores productivos).
- En el ámbito de la conservación y preservación ecosistémica:
 - Decreto N°38/2013 del MMA, que aprueba reglamento de normas de calidad ambiental y de emisión: normas Secundarias de Calidad Ambiental (NSCA) para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales.
 - Ley N°21.660/2023: Sobre Protección Ambiental de las Turberas: Plan de Manejo Sustentable de Turberas de musgo *Sphagnum magellanicum* (potencial instrumento).
 - Ley N°21.600/2024 Crea el Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas y el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SBAP): Sitios Ramsar, Inventario Nacional de Humedales, criterios para el uso sustentable de humedales, permisos para la alteración de humedales y el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP).
- En el ámbito de los sectores productivos:
 - Ley 18.450/1985 que aprueba Normas para el Fomento de la Inversión Privada en Obras de Riego y Drenaje: fomento de obras que incluyen eficiencia de riego y SbN.
 - Resolución Exenta N°309/2021, del Ministerio de Agricultura, que aprueba el Plan Operativo de Emergencia: Declaración de Situación de Emergencia Agrícola.
 - DFL N°4/20018/2007 y Decreto N°51/2021, del Ministerio de Energía: Decretos de Racionamiento y medidas de reserva de aguas frente a déficit hídrico.
- En el ámbito de los eventos extremos y gestión de riesgos:
 - Resolución Exenta N°133/2018, del Ministerio del Interior y Seguridad Pública: Plan Específico de Emergencia por Variable de Riesgo Remoción en Masa.
 - Ley N°21.364/2021: Sistema Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres.

Si bien varios de estos instrumentos se encuentran en marcha, en términos generales es necesario fomentar y financiar su elaboración, implementación y seguimiento a nivel nacional, a fin de reducir las brechas de adaptación al cambio climático en los ámbitos de



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



GREEN
CLIMATE
FUND

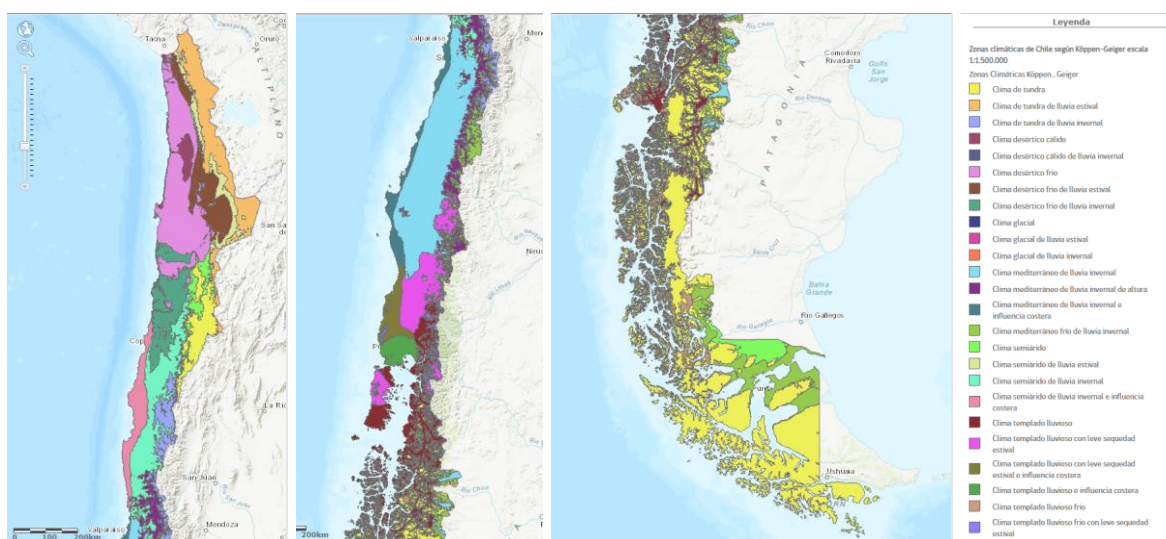
consumo humano, conservación y preservación ecosistémica, sectores productivos y gestión riesgo de desastres. En el **ANEXO D** se presenta mayor detalle de estos instrumentos.

CAPÍTULO 3 EL CLIMA Y SUS PROYECCIONES

El presente capítulo contiene un resumen de la caracterización climática de Chile y las tendencias de las principales variables del clima en función de su comportamiento histórico y las proyecciones en escenarios de cambio climático. Cabe señalar que “el cambio climático ocurre por una alteración en el balance de energía en el planeta producto de la acumulación de GEI” donde preocupan “los cambios en los patrones de circulación de la atmósfera y de frecuencia e intensidad de precipitaciones, que son la fuente principal de recursos hídricos para gran parte del planeta” (Stehr et al., 2019). Por ello, finalmente, se aborda la identificación de los principales eventos extremos atingentes al sector de los recursos hídricos. En el **ANEXO E** se presenta mayor detalle del clima y sus proyecciones a escala macrozonal.

3.1 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

Las dinámicas de las variables climáticas, en conjunto con las características geográficas del país -como los gradientes altitudinales y latitudinales, la presencia de cordilleras, entre otros-, configuran la diversidad de climas existentes, los que presentan una diferenciación relativamente marcada a medida que se observan de norte a sur y desde la costa hasta la Cordillera de Los Andes (DGA, 2022). Al respecto, la Figura 3.1-1 muestra la distribución de los tipos bioclimáticos de Chile de acuerdo con la clasificación de Köppen-Geiger, variando desde climas áridos a polares.



Fuente: Elaboración propia en base a IDE Chile, 2019.

Figura 3.1-1 Distribución de los tipos bioclimáticos de Chile según la clasificación climática de Köppen-Geiger

Además, el territorio nacional experimenta una diversidad climática que está modulada por diversos fenómenos climáticos oscilantes.

- El ENSO es uno de los patrones climáticos más relevantes, dado que modula las variaciones de las precipitaciones interanuales en Chile central y deriva en gran parte de lo que ocurre con las temperaturas oceánicas en el Océano Pacífico. El ENSO ha sido asociada a alteraciones en la ubicación e intensidad de los centros de altas presiones y a la frecuencia con que los sistemas frontales ingresan al territorio nacional, componiéndose de dos fases, El Niño y La Niña. Mientras que la fase de El Niño está asociada con una mayor probabilidad de observar precipitaciones por sobre lo normal en el centro y sur de Chile, la fase La Niña se asocia a la ocurrencia de un déficit en las precipitaciones (DGA, 2017a; DGAC, 2022; Escobar & Aceituno, 1998).
- La PDO es un patrón de variabilidad de las temperaturas de la superficie en el noreste y oeste del océano Pacífico, siendo un fenómeno de larga duración. La PDO actúa como modelador de baja frecuencia de la variabilidad asociada al ENSO; su fase fría está asociada con La Niña, en cuanto a la temperatura fría de las aguas y los vientos alisios intensos, mientras que su fase cálida va asociada a El Niño, con aguas más cálidas y vientos alisios debilitados (Quintana & Aceituno, 2012).
- El SAM es un fenómeno caracterizado por un desplazamiento norte-sur de los vientos del oeste que circula alrededor de la Antártica. Esto influye en la fuerza y posición de los frentes fríos y de los sistemas de tormentas de latitudes medias, teniendo consecuencias en la variabilidad de las precipitaciones del centro y sur de Chile. En su fase negativa, el SAM se asocia con condiciones de bajas presiones en Chile central, favoreciendo la formación de frentes de precipitación, mientras que, en la fase positiva, el SAM se contrae hacia la Antártica y se relaciona con déficit de precipitaciones (DGA, 2017a).
- El SPH es una zona de alta presión atmosférica sobre el Océano Pacífico que migra desde aproximadamente los 28°S en invierno a 35°S en verano. Gran parte de la precipitación en Chile se origina en los sistemas de baja presión, por lo que se explica que las precipitaciones en la zona centro-sur del país tengan un aumento cuando SPH se encuentra más débil durante los meses de invierno y disminuyen en los meses de verano (Barrett & Hameed, 2017; DGA, 2017a; Fuenzalida, 1982).
- La MJO es una perturbación atmosférica con escala intraestacional sobre el clima de los trópicos, caracterizándose por su progresión hacia el este en los océanos Índico y Pacífico; en Chile se asocia a la ocurrencia de eventos extremos de precipitación (Matus, 2022). La MJO ejerce influencia sobre el ENSO, pues durante El Niño tiende a aumentar, y durante La Niña, por el contrario, la MJO puede suprimirse o debilitarse (Matus, 2022).
- La Mancha Cálida se refiere a anomalías positivas en las temperaturas de la superficie del océano Pacífico. En Chile, ha sido señalada como una de las principales causas de la megasequía⁵⁷. Los impactos que puede generar son observados tanto en la

⁵⁷ Garreaud, R. (2020). Análisis: La "mancha cálida" del océano Pacífico y olas de calor en Chile | (CR)2. Recuperado de: <https://www.cr2.cl/la-mancha-calida-del-oceano-pacifico-y-olas-de-calor-en-chile/> G

disminución de las lluvias y el aumento de las temperaturas durante El Niño, afectando actividades productivas, e incrementando el riesgo de incendios forestales⁴⁴.

3.2 TENDENCIAS HISTÓRICAS Y PROYECCIONES

Para comprender la magnitud y las consecuencias del cambio climático, resulta necesario entender las dinámicas atmosféricas y sus variables climáticas (Shepherd, 2014). Para ello, a continuación, se describe el comportamiento de las principales variables climáticas respecto del sector de los recursos hídricos (precipitación, temperatura, evapotranspiración y escorrentía).

Este análisis se nutre de información que proviene del ARClím⁵⁸ del MMA, creado el año 2020 y de los documentos preparados para la COP25, durante el año 2019, por el Comité Científico de Cambio Climático del MinCiencia y, por último, el BHN de la DGA, elaborado el año 2017. Cabe mencionar el alcance en la definición de temporalidades en los periodos histórico y futuro, ya que diferentes estudios utilizan periodos que, si bien son similares, no son coincidentes. Los mapas de ARClím consideran un periodo histórico reciente, que aborda entre los años 1980 y 2010, y las proyecciones futuras para un periodo proyectado de 2035 a 2065. El escenario de proyecciones utilizado es el RCP8.5⁵⁹ y fueron utilizados 100 años de datos con 25 modelos refinados estadísticamente.

3.2.1 Precipitación

En términos del comportamiento histórico de las precipitaciones, se han manifestado con un marcado gradiente de norte a sur (Aceituno et al., 2021; DGA, 2017a; 2022b; Stehr et al., 2019; MMA, 2020), con valores medios anuales que van desde menos de 10 mm en el norte hiper-árido hasta alrededor de 100 a 1.000 mm en la zona central, y a más de 3.000 mm en el sector húmedo del sur del territorio nacional, de acuerdo a Aceituno et al., (2021). Otras fuentes apuntan a valores entre 0 y 4.000 mm/año en el periodo 1979-2020 o entre 50 y 2.600 mm de precipitación acumulada anual en el periodo 1985-2015 (DGA, 2022). A pesar de las diferencias métricas entre modelos, es concluyente la clara relación entre la latitud del territorio y su régimen de precipitaciones (Aceituno et al., 2021; DGA, 2022b; MMA, 2020).

La Tabla 3.2-1 resume el valor histórico, la proyección futura y la variación para la variable de precipitación acumulada anual de la plataforma ARClím en el territorio nacional.

⁵⁸ Página web ARClím: arclim.mma.gob.cl

⁵⁹ El escenario RCP8.5 corresponde a que el forzamiento alcanza valores superiores a $8,5 \text{ W m}^{-2}$ en el año 2100 y sigue aumentando durante un lapso de tiempo, lo cual es la tendencia actual de emisiones de CO_2 , siendo el escenario más “pesimista” (IPCC, 2022; Rojas et al., 2019).

Tabla 3.2-1 Precipitación acumulada anual, promedio nacional

Precipitación acumulada anual histórica [mm]	Precipitación acumulada anual proyectada [mm]	Variación de precipitación acumulada anual [%]
1.277,29	1.213,00	-5,03

Fuente: Elaboración propia en base a MMA, 2020a.

En las proyecciones futuras se observa una clara disminución de las precipitaciones totales en casi la totalidad del país, con excepción de regiones extremas, donde se proyecta un alza en los montos de agua caída (MMA, 2020a). Sin embargo, de acuerdo con Stehr et al., (2019), existe una discrepancia en los modelos evaluados para las zonas extremas de Chile, ya que no hay certeza en si estas tendencias serán positivas o negativas. Por otra parte, DGA, (2022b) indica que los cambios proyectados en la precipitación anual promedio para el periodo 2030 - 2060 presentarán modificaciones en un rango que va entre los -550 y 350 mm/año (DGA, 2022).

3.2.2 Temperatura

Al igual que con el régimen de precipitaciones, la temperatura en el país cuenta con características definidas por patrones asociados a la latitud y la altura sobre el nivel del mar, con sus respectivas variaciones, claramente influenciadas por la configuración geográfica de los territorios, entre otros factores (Uribe et al., 2012). En términos generales, las temperaturas exhiben un comportamiento en gradiente, que va desde mayores temperaturas medias en el norte del país, disminuyendo hacia las regiones australes. Asimismo, las temperaturas son mayores hacia la costa y valle del país y disminuyen a medida que aumenta la altura por la Cordillera de Los Andes (MMA, 2020). Por otra parte, también existen diferencias estacionales marcadas, con temperaturas más altas en verano (octubre a marzo) y más bajas en invierno (abril a septiembre). De la misma forma se observa una variación elevada en el ciclo diurno de temperatura para las distintas bandas latitudinales, donde la influencia relativa del océano en zonas costeras entrega menor variación o medias y ciclos diurnos moderados, mientras que hacia el interior las temperaturas medias y los ciclos diurnos son más amplios (DGA, 2022b).

La temperatura es una de las variables climáticas esenciales para comprender el comportamiento del clima en un territorio y es una de las más evidentes y mencionadas en términos de cambio climático; incluso se establecen metas de reducción de emisiones en función de no superar un aumento de la temperatura en 1,5°C respecto de los niveles preindustriales (IPCC, 2019). La Tabla 3.2-2 resume el valor histórico, la proyección futura y la variación para la variable de temperatura media anual de la plataforma ARClím en el territorio nacional.

Tabla 3.2-2 Temperatura media anual, promedio nacional

Temperatura media anual histórica [°C]	Temperatura media anual proyectada [°C]	Variación de temperatura media anual [°C]
8,36	9,80	+1,44

Fuente: Elaboración propia en base a MMA, 2020a.

Desde el año 2011, el país se enfrenta a 13 años consecutivos más cálidos que lo normal, siendo el 2016 con un promedio anual de 13, 8° C el año más cálido registrado desde 1961. Adicionalmente, 8 de los 10 años más cálidos se concentran en las últimas dos décadas -donde 1997 y 1998 fueron cálidos por evento de El Niño, mientras que entre los más fríos destaca el 2007 donde prevaleció la fase de La Niña. De esta manera, la década del 2001 al 2010 presentaba un aumento del 0,3°C, mientras que la década del 2011 al 2020 presenta un aumento de 0,68°C respecto al promedio normal; es decir, el aumento decadal de la temperatura se ha duplicado (DMC, 2022).

Por su parte, la DMC, en su informe “Reporte anual de la evolución del clima 2022” (DMC, 2023), hace un seguimiento a la evolución de las temperaturas medias a nivel nacional, entre otros. La tasa de aumento de la temperatura media considerando el periodo desde 1961 al 2022 es de +0,15°C por década, mientras que la tendencia del periodo 1981-2021 es de +0,14°C por década. Los valores de la tendencia móvil varían entre -0,2°C a +0,6°C, observando un mayor crecimiento entre los años 1992 y 2021.

El panorama general de las proyecciones de la temperatura hacia mediados de siglo arroja un aumento sostenido para todas las regiones del país, las que pueden variar entre 0,5 y 3°C, superando los 5°C en algunas regiones del país y en épocas de verano. La mayor alza proyectada se encontraría en la zona norte y centro del país, donde además llama la atención el aumento de la temperatura en la Cordillera de Los Andes, lugar donde se localizan los glaciares, que representan las principales fuentes de agua dulce en las cuencas de aquellas regiones (DGA, 2022b; MMA, 2020). De esta manera, el aumento de la temperatura también respondería a un gradiente latitudinal y altitudinal, siendo más drástico hacia el norte del país y el altiplano (DMC, 2022; Stehr et al., 2019).

3.2.3 Evapotranspiración

De acuerdo con DGA, (2017a), “la evapotranspiración (ET) corresponde a la suma de los flujos de vapor de agua hacia la atmósfera desde la superficie del suelo (evaporación) y la transpiración de las plantas, siendo una componente fundamental del ciclo hidrológico. Entender la variación espacial y temporal de la evapotranspiración permite comprender la interacción entre la superficie y la atmósfera, lo que resulta crucial para el manejo del agua, detección de sequías y aplicaciones hidrológicas”. La evapotranspiración potencial es una variable clave en el ciclo del agua, ya que permite estimar la tasa de evaporación y transpiración de agua del suelo (Xiang et al., 2020). La Tabla 3.2-3 resume el valor histórico, la proyección futura y la variación para la variable de evapotranspiración potencial media anual de la plataforma ARClím en el territorio nacional.

Tabla 3.2-3 Evapotranspiración potencial media anual, promedio nacional

Evapotranspiración media anual histórica [mm]	Evapotranspiración media anual proyectada [mm]	Variación de la evapotranspiración potencial media anual [mm]
2,19	2,43	0,23

Fuente: Elaboración propia en base a MMA, 2020a.

Para Chile, se observa que la evapotranspiración para el periodo histórico evaluado sigue la tendencia de gradiente latitudinal, al igual que para la precipitación y temperatura, siendo mayor en el norte del país y disminuyendo hacia las zonas australes. Adicionalmente, las proyecciones indican que para todas las regiones del país se espera un aumento de la evapotranspiración potencial, siendo menos significativo hacia el sur del país (MMA, 2020a). Por su parte, algunos estudios señalan que “los cambios modelados en evapotranspiración y los efectos concomitantes en la hidrología de la superficie son significativamente más débiles que los causados por la precipitación. Por lo tanto, independiente de si la evapotranspiración aumenta o disminuye, existe una clara reducción de la escorrentía en todos los dominios, con un patrón espacial y una amplitud de cambio similares a los proyectados para la precipitación” (Stehr et al., 2019).

3.2.4 Escorrentía

En relación con el ciclo del agua, además de las variables de precipitación, temperatura y evapotranspiración expuestas anteriormente, la escorrentía también resulta esencial de considerar, especialmente en un contexto de cambio climático.

Las tendencias sobre los caudales resultan ser consistentes con el comportamiento de la precipitación, aunque en algunos casos se presentan aumentos de los caudales producto del aumento de la temperatura y la escorrentía del derretimiento glacial, lo que exhibe un comportamiento estacional (DGA, 2017a; Stehr et al., 2019). En las Macrozonas Centro y Sur, se observa una tendencia negativa desde principios de verano hacia fines de primavera, lo que podría estar relacionado a aumentos de temperatura que favorecen el adelantamiento de deshielo, principalmente en las cuencas nivales (DGA, 2017a). En este sentido, también el fenómeno de El Niño tiene influye sobre el comportamiento de los ríos de la zona central de Chile, mientras que la Oscilación Antártica y la PDO presentan mayor correlación sobre los caudales de la zona centro-sur, especialmente en verano. Allí se observa una baja significativa que es coherente con la disminución de la precipitación (DGA, 2017a).

3.3 EVENTOS EXTREMOS

Los eventos extremos y desastres se encuentran directamente relacionados con la ocurrencia de amenazas; en Chile, estrechamente vinculadas con los recursos hídricos, se identifican amenazas naturales hidrológicas (inundaciones y deslizamientos de tierra),

climatológicas (sequías y estallidos de lago glacial) y meteorológicas (temperaturas extremas, nieblas, tormentas) (MMA, 2020b).

3.3.1 Inundaciones y aluviones

Por sus particulares características geográficas y climáticas, Chile es un país periódicamente afectado por eventos extremos de exceso hídrico, que en muchos casos han generado importantes pérdidas socioeconómicas (Gironás et al., 2021). La principal causa de las inundaciones son las precipitaciones intensas en un corto período de tiempo, en donde se supera la capacidad de absorción del suelo, y a consecuencia de ello, se puede producir, por un lado, anegamiento de superficies rurales y/o urbanas (inundaciones pluviales) y por otro, la subida en el nivel de los ríos (Gironás et al., 2021). Si bien las inundaciones pueden tener otras causantes⁶⁰, para el caso de Chile, el 71% de las inundaciones tiene origen en las precipitaciones (Rojas et al., 2014).

El análisis temporal y espacial de la recopilación histórica de inundaciones y aluviones en Chile para los dos últimos siglos (hasta el año 2017) realizado por Eridanus (2018) permite plantear que, en la Macrozona Norte, Centro y Austral del país, las inundaciones y aluviones registrados durante el siglo XX fueron superiores a las registradas durante el siglo XXI, mientras que, para la Macrozona Sur, se presenta el caso inverso. El aumento de este tipo de eventos en la Macrozona Sur se explica principalmente por un aumento en la intensidad de las precipitaciones (Eridanus, 2018). Asimismo, se detectó que el número de desastres es mayor en las regiones más pobladas del país (Macrozonas Centro Sur) y, considerando el aumento de la población y sus actividades asociadas, se espera un aumento de la frecuencia anual de estos eventos con el paso de los años.

En cuanto a las características y consecuencias de este tipo de eventos (Gironás et al., 2021), describen para la Macrozona Norte, los eventos de aluviones en la región de Atacama en 2015 y 2017. El evento de 2015, con lluvias del orden de 45 mm (con *peak* de intensidad de 10 mm/h) en la cuenca del río Copiapó provocó un aluvión cargado de sedimentos, con un *peak* de descarga cercano a los 1.000 m³/s. Cifras de ONEMI⁶¹ determinaron 31 personas muertas y 30.000 afectados. Adicionalmente, otra lluvia severa ocurrió en mayo de 2017, en donde nuevamente las inundaciones fluviales causaron pérdidas de vidas, daños sustanciales a viviendas y carreteras y aislamiento de la comunidad (Moran et al., 2018). Se registró una precipitación total de 80,8 mm en 58 horas (Copiapó en Pastillo). A pesar de ser un evento tormentoso más extremo que el correspondiente al año 2015, los caudales máximos registrados para el evento del año 2017 no son considerablemente mayores que los picos registrados en 2015 en el río Copiapó.

⁶⁰ Rojas et al. (2014) identifican 5 tipos de causas: intervenciones antrópicas, deslizamientos, procesos nivoglaciares, procesos volcánicos y precipitaciones.

⁶¹ La Ley N°21.364 de 2021, reemplaza la ONEMI por el Servicio Nacional de Prevención y Respuesta ante desastres, SENAPRED.

En la Macrozona Centro, un evento descrito en la literatura es la inundación/aluvión ocurrido en Santiago en mayo de 1993, donde la combinación de lluvia y temperatura sobre la precordillera provocó grandes flujos tanto en la Quebrada de Macul como en la Quebrada de Ramón, con caudales máximos de 47,5 y 53,0 m³/s respectivamente para ambas subcuencas, acompañadas de cargas importantes de sedimento y lodo. Estas descargas correspondieron a un periodo de retorno de 50 años. El evento provocó 26 personas fallecidas, 9 personas desaparecidas y un total de 1.169 viviendas dañadas (Gironás et al., 2021).

En el año 2023, dos eventos significativos que afectaron a miles de personas tuvieron lugar en junio y agosto. Entre el 21 y 26 de junio, las Macrozonas Centro y Sur (desde la región de Valparaíso hasta La Araucanía) fueron impactadas por un evento de lluvias intensas con altas temperatura, lo que impidió la acumulación de nieve en la cordillera, provocando subidas de ríos con impactos sociales y ambientales negativos y extensos, lo que obligó a la autoridad pública a decretar estado de catástrofe en estas regiones⁶². De acuerdo con lo informado por SENAPRED⁶³, el evento provocó casi 30.000 personas afectadas (damnificados y aislados), con 3 fallecidos, así como daños en viviendas. Además, en términos de daño a infraestructura pública, se produjeron múltiples cortes de caminos, decenas de puentes inhabilitados (incluyendo un corte en la Ruta 5 Sur) y suspensión del suministro de agua potable a miles de clientes en zonas urbanas (como las comunas del litoral central) y rurales. Asimismo, se evidenciaron daños sobre el sector agrícola, producto de inundaciones con miles de hectáreas afectadas, pues la mayoría de los ríos desde el Maipo al Biobío se salieron de sus cauces habituales en su recorrido sobre el valle central y zona costera.

A su vez, en agosto del año 2023, específicamente entre los días 18 y 23, un temporal de precipitaciones y viento afectó a varias ciudades y localidades entre las regiones de Valparaíso y Biobío (Macrozonas Centro y Sur), provocando la crecida y desborde de ríos, inundaciones y activación de las quebradas. Las cifras al 23 de agosto entregadas por SENAPRED dieron cuenta de 3 personas fallecidas, 33.234 damnificadas, 42.120 aisladas, 31.863 evacuadas y 1.245 albergadas, así como 21.832 viviendas con daño menor, 2.899 con daño mayor, 44 destruidas y 1.509 en evaluación⁶⁴. Debido a la emergencia climática, el Gobierno declaró Estado Constitucional de Catástrofe entre las regiones de O'Higgins al Biobío, así como también Estado de Emergencia Agrícola, lo que permitió facilitar la entrega de ayudas a las personas que sufrieron con esta emergencia⁶⁵.

⁶² Más información disponible en: <https://www.cr2.cl/analisis-cr2-vuelven-los-gigantes-un-analisis-preliminar-de-la-tormenta-ocurrida-entre-el-21-y-26-de-junio-de-2023-en-chile-central/> .

⁶³ Más información disponible en: <https://senapred.cl/monitoreo-por-evento-meteorologico-entre-las-regiones-de-valparaiso-y-la-araucaania/>

⁶⁴ Más información disponible en: <https://senapred.cl/noticias/comite-de-gestion-del-riesgo-de-desastres-mantiene-coordinaciones-por-sistema-frontal/>

⁶⁵ Más información disponible en: <https://www.gob.cl/noticias/presidente-declara-estado-constitucional-de-catastrofe-entre-las-regiones-de-ohiggins-y-biobio-por-sistema-frontal/>

En la Macrozona Sur, un evento importante correspondió al registrado en la región del Biobío cuando un sistema de precipitaciones frontales de gran magnitud afectó a Chile central en julio de 2006. La tormenta alcanzó su máxima intensidad en la región del Biobío, particularmente en la parte alta de la cuenca del río Biobío. Un total de 400 mm de precipitaciones se registraron durante los días 11 y 12 de julio, en contraste con el promedio invernal de precipitación que en 48 horas no supera los 100 mm. El evento desencadenó una crecida de un periodo de retorno de 100 años, alcanzando caudales máximos de hasta 15.700 m³/s. Severos daños fueron causados por la inundación, que dejó un saldo de 22 muertos, 62.000 damnificados, y casas caminos y puentes destruidos (Gironás et al., 2021).

Finalmente, la Macrozona Austral también ha sido foco de eventos por exceso de precipitación. Por ejemplo, el ocurrido en marzo 2012, que provocó un aluvión del río Las Minas, en la región de Magallanes, el cual cruza la ciudad de Punta Arenas⁶⁶. Dicho evento fue producto de las fuertes precipitaciones que generaron un aumento considerable en el cauce del afluente, hasta copar las calles del centro de Punta Arenas donde hubo cerca de 800 familias damnificadas.

3.3.2 Sequías

Dada su localización geográfica, gran parte del territorio nacional es estructuralmente vulnerable a la sequía⁶⁷ (Nuñez Cobo & Verbist, 2018). Si bien es cierto que las sequías tienen como origen una reducción en la cantidad de precipitaciones (Wilhite & Glantz, 1985), éstas ocurren en diferentes dominios del ciclo hidrológico. Por ello, es importante hacer distinciones entre diferentes tipos de sequía y sus impactos asociados; los tipos de sequías no son independientes, sino más bien están interrelacionadas entre sí (Van Lanen et al., 2018). De esta forma, una sequía meteorológica da paso a una sequía agrícola, que se manifiesta como la falta de agua en el suelo⁶⁸. Asimismo, el déficit en precipitaciones determina la reducción en los volúmenes de caudales, así como una baja de los niveles freáticos y los impactos generados por ellas pueden ser acumulativos (Korzyniewski & Rojas Barra, 2021).

⁶⁶ Más información disponible en: <https://emergenciaydesastres.mineduc.cl/aluvion-rio-las-minas-region-de-magallanes/>

⁶⁷ La ONEMI (2021) define las sequías como un periodo prolongado de tiempo donde la precipitación es considerablemente inferior a la normal registrada, causando una disminución apreciable en el caudal de los ríos, en el nivel de los lagos, en el agotamiento de la humedad del suelo y el descenso de los niveles de aguas subterráneas, que suelen afectar negativamente los sistemas de producción. Sin embargo, varios autores (Van Loon, 2015; Wilhite et al., 2014) afirman que no existe consenso sobre una definición única de sequía (ni de su severidad), ya que este fenómeno es objeto de una variedad de disciplinas que adoptan su propia definición según el impacto en estudio. Por otro lado, los conceptos y las definiciones relacionados con las sequías son función del espacio y del tiempo. En su definición más simple, la sequía se define como un déficit de agua comparada con condiciones normales. Más formalmente, la sequía es un período sostenido de disponibilidad de agua por debajo de lo normal. Es decir, se constituye como un fenómeno recurrente y mundial, con características espaciales y temporales que varían significativamente de una región a otra (Van Loon, 2015).

⁶⁸ Colotti, Eva, Cedeño, Margareth, & Montañez, Cristian. (2013). La sequía meteorológica y la variación de la superficie agrícola en la Isla de Margarita, Estado Nueva Esparta, Venezuela período 1972-2004. Terra, 29(45), 11-53. Recuperado en 15 de mayo de 2024, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1012-70892013000100002&lng=es&tlng=es.

Si bien se reconoce que las sequías en Chile son un fenómeno recurrente y natural, solo unos pocos registros escritos regulares están disponibles desde 1540 (Fernández y Gironás, 2021). El documento "Política Nacional de Reducción de Riesgo de Desastres (PNRRD)" (Gobierno de Chile, 2020), para el periodo 1960-2017, presenta como eventos de sequía más importantes los eventos de los años 1968 (la Gran Sequía), la Sequía de 1998/99, y la Megasequía (2010 en adelante):

- **La Gran Sequía del año 1968.** La sequía de 1968/69 fue un evento que afectó gravemente a la zona geográfica comprendida entre la Macrozona Norte (regiones de Atacama y Coquimbo), Centro y Sur (regiones de Ñuble y Biobío). Este evento provocó déficits pluviométricos del orden de 100% para Copiapó, 73% en La Serena, 80% en Valparaíso, 81% en Santiago, 75 % en Rancagua, 63% en Curicó, 51% en Chillán (Nuñez Cobo & Verbist, 2018). Además, producto de la falta de lluvias hubo una ausencia o escasez de nevazones en el sector andino. En términos de impacto, los efectos descritos para esta sequía son, por un lado, afectaciones a la agricultura y ganadería, con pérdida de cultivos, forrajes, superior al 65% de la producción anual y cerca del 45% de la masa ganadera de la época y reducciones de área del riego del orden del 40% (Bonilla, 1999). Por otro lado, en cuanto al impacto social, la sequía significó cesantía para 225.000 personas vinculadas a la actividad agrícola en el país. Asimismo, hubo graves afectaciones al suministro de agua potable para ciudades, donde se tuvo que mejorar los sistemas de captación y asegurar el normal abastecimiento por medio de camiones aljibes y estanques de material plástico para suministrar agua a localidades pequeñas y villorrios rurales (Camus & Jaksic, 2021). Otro efecto de la sequía fue la instauración del horario de verano, con fines de ahorro energético⁶⁹.
- **La Sequía del año 1998.** Un segundo evento, importante por su intensidad, severidad y duración es la denominada sequía de 1998 (Nuñez Cobo & Verbist, 2018), la cual afectó territorios comprendidos entre la Macrozona Norte (región de Atacama), Centro y Sur (regiones de Ñuble y Biobío). Si bien esta sequía hace referencia a un año particular, incluye los años 1994, 1995, 1996 y 1998, donde, este periodo seco fue interrumpido notablemente el año 1997 por uno de los inviernos más lluviosos del registro histórico. El año 1998 fue el más seco de esta sequía, con déficit pluviométricos del 73% y 55% en Santiago y Chillán. En términos de impacto, Aldunce y González (2009) relatan daños graves para el sector silvoagropecuario, con pérdidas de ganado caprino y producción asociada en la Macrozona Norte (regiones de Atacama y Coquimbo). Para la Macrozona Centro, se señala que más de 600.000 ha de todo tipo de cultivos se vieron afectadas sólo en 1998, y pérdidas de producción agrícola y ganadera del orden de US \$250 millones en el período comprendido entre 1994 y 1997. En la Macrozona Sur, se tienen registro para la región de Los Lagos, donde hubo escasez de agua para consumo

⁶⁹ Mayor información en: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1043256&idVersion=1968-11-02>

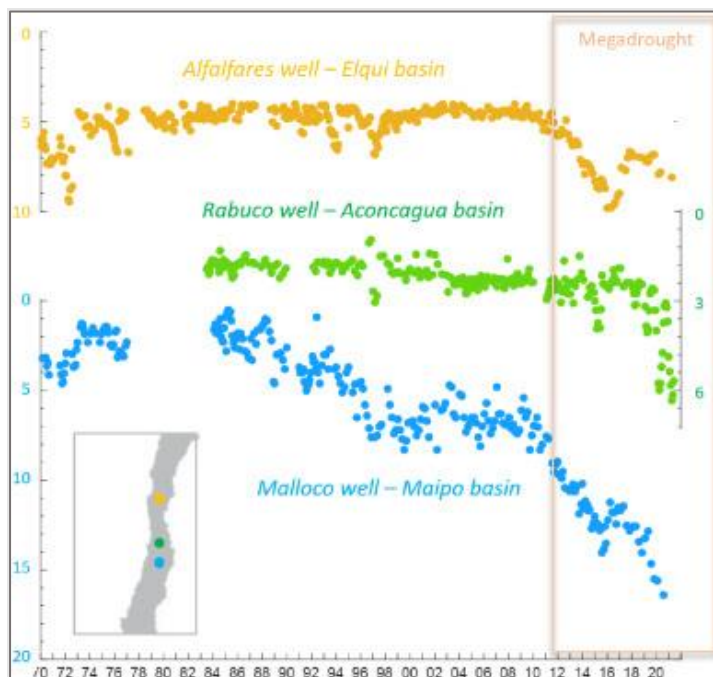
humano y riego; las altas temperaturas hicieron escasear los recursos disponibles y no había agua disponible en el único embalse de la ciudad de Ancud, en Chiloé. Finalmente, un aspecto diferencial de este periodo de sequías fue la concurrencia con la crisis eléctrica del año 1998, lo que determinó racionamiento eléctrico entre noviembre de 1998 y junio de 1999.

- **La Megasequía.** El periodo deficitario de precipitaciones actualmente en desarrollo, acuñado como *megasequía*, ha afectado al país desde 2010 en adelante⁷⁰, constituyéndose como el periodo más extenso registrado en Chile en cuanto a déficit de precipitaciones, el que ha oscilado entre el 20–40% para las diferentes regiones impactadas y/o años de registro (Garreaud et al., 2019). Esto tiene como consecuencia efectos perjudiciales sobre la disponibilidad de agua, la vegetación y aumento en la ocurrencia y/o la intensidad de incendios forestales, que se han convertido en impactos sociales, ecológicos y económicos. El área de afectación se ha extendido sobre las Macrozonas Norte, Centro y Sur, abarcando el territorio comprendido entre las regiones de Coquimbo y Los Lagos.

En cuanto a los impactos sobre los cuerpos de agua, diversas investigaciones han reportado diferentes tipos; por ejemplo, para la Macrozona Centro, se reporta una reducción en la superficie de los lagos andinos entre un 7% y 25% (Fuentealba et al., 2021). Por otro lado, Barría et al., (2021) atañen a los efectos del cambio climático (megasequía) la reducción en el volumen de la Laguna Aculeo, localizada en la región Metropolitana (Macrozona Centro).

Por otro lado, Fernández et al. (2023) estudiaron los efectos de la megasequía sobre diversos sectores económicos (agricultura, agua potable y saneamiento urbano y rural) para el periodo 2010/2020. Los resultados muestran un impacto económico total de 0,48% del PIB nacional. Si bien este impacto en el PIB puede considerarse como bajo para los sectores estudiados, las respuestas a dicho evento han tenido consecuencias, como la disminución en los niveles de agua subterránea, especialmente explotado por el sector agrícola (Donoso, 2021; Pizarro et al., 2022) (ver Figura 3.3-1) así como un alza en los costos de producción de agua potable, dado la extensión de la sequía, que ha implicado respuestas menos flexibles y más costosas para la producción de agua.

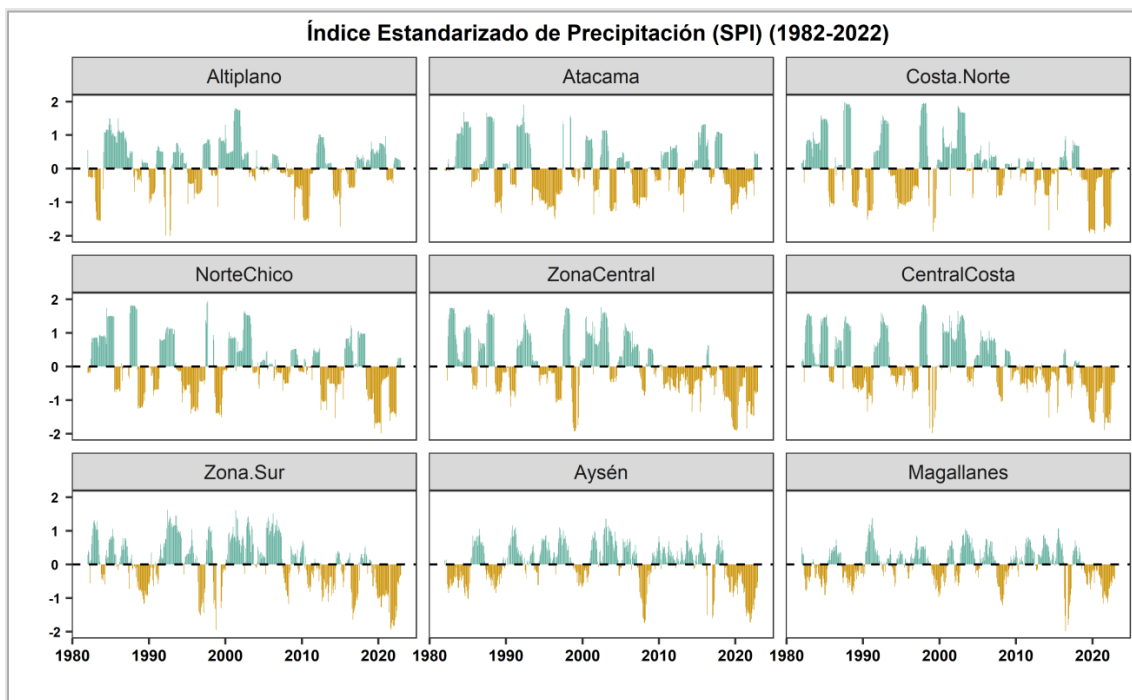
⁷⁰ Algunos académicos datan el comienzo de la megasequía en 2007, especialmente para la región de Coquimbo: <https://www.ciperchile.cl/2022/03/28/megasequia-la-falta-de-un-plan-b-nos-tiene-al-borde-de-los-racionamientos/>



Fuente: Reproducido de Fernández et al., 2023.

Figura 3.3-1 Niveles históricos de pozos para las cuencas del río Elqui (Macrozona Norte), Aconcagua y Maipo (Macrozona Centro)

En cuanto al monitoreo y/o detección de las sequías, la Figura 3.3-2 muestra la evolución del Índice de Precipitación Estandarizado (IPE) para 12 meses en los últimos 40 años (1982/2022), donde es posible apreciar, por un lado, la clara tendencia de la megasequía (color café), y por otro, su extensión, afectando todo el territorio nacional, no sólo la zona centro-sur del país, como históricamente ha sido documentada.

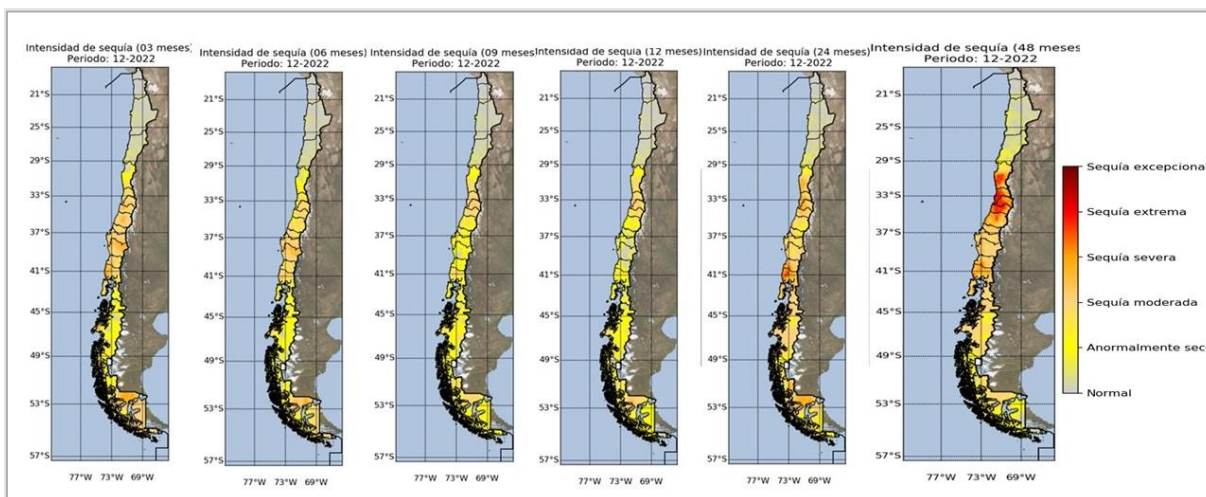


Fuente: Reproducido de DMC, 2023.

Figura 3.3-2 Comportamiento del IPE-12 meses, periodo 1982-2022, para el territorio nacional

Dada la extensión temporal/espacial de la megasequía, se ha intensificado el interés por su monitoreo. Así, la DMC ha establecido una nueva herramienta para el seguimiento mensual de la sequía por medio del Índice Combinado de Sequías, el cual sigue la clasificación del *U.S. Drought Monitor* y permite estimar la persistencia del fenómeno⁷¹. La Figura 3.3-3 muestra el monitoreo de la sequía a nivel nacional, para 1, 2, 3, 6, 9, 12 (2022), 24 (2021/2022) y 48 meses (2019/2022) con dicho índice, donde se aprecia que, en la escala de 3 meses, se observan condiciones anormalmente secas a sequía severa desde la región de Coquimbo (Macrozona Norte) hasta la región de Magallanes (Macrozona Austral). Además, se destaca el tramo comprendido entre las regiones de Valparaíso a Los Lagos (Macrozonas Centro y Sur) con una sequía severa. Entre los 6 y 12 meses, el efecto acumulativo de la sequía se observa desde anormalmente seco a una sequía moderada en gran parte del país. A los 24 y 48 meses, se observan categorías de sequía que van desde anormalmente seco a sequía extrema, destacándose el tramo comprendido entre las regiones de Coquimbo (Macrozona Norte) al Maule (Macrozona Sur), como también algunos sectores de la región de Los Lagos (Macrozona Sur).

⁷¹ Para la construcción de este índice se utiliza una diversidad de variables, tales como precipitación (SPI), temperatura (STI), humedad del suelo (SSMI), evapotranspiración (SPEI) y vegetación (SNDVI). Para mayor información: <https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/index/menuTematicoMonitorSequia>.



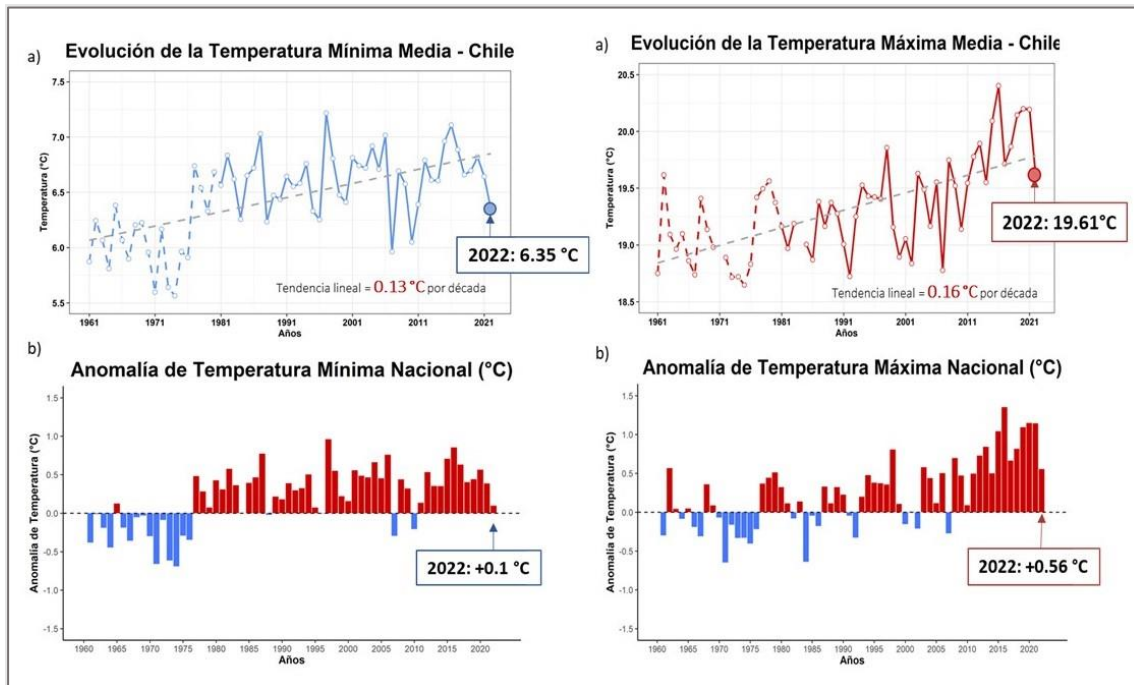
Fuente: Reproducido de DMC, 2023.

Figura 3.3-3 Distribución de la severidad de la sequía a nivel nacional, medida por el Índice Combinado, diferentes periodos a diciembre 2022

3.3.3 Temperaturas extremas

En su boletín “Tendencias de Índices de Extremos Climáticos de Precipitación y Temperatura en Chile”, la DMC define a las temperaturas extremas como una temperatura más alta o baja alcanzada en un intervalo de tiempo dado, generalmente en un día (Vásquez y Villarroel, 2021). A su vez, la DMC define la isoterma 0°C como una línea imaginaria donde la temperatura del aire está a 0°C, delimitando las zonas donde caerá precipitación líquida y sólida (DMC, 2023).

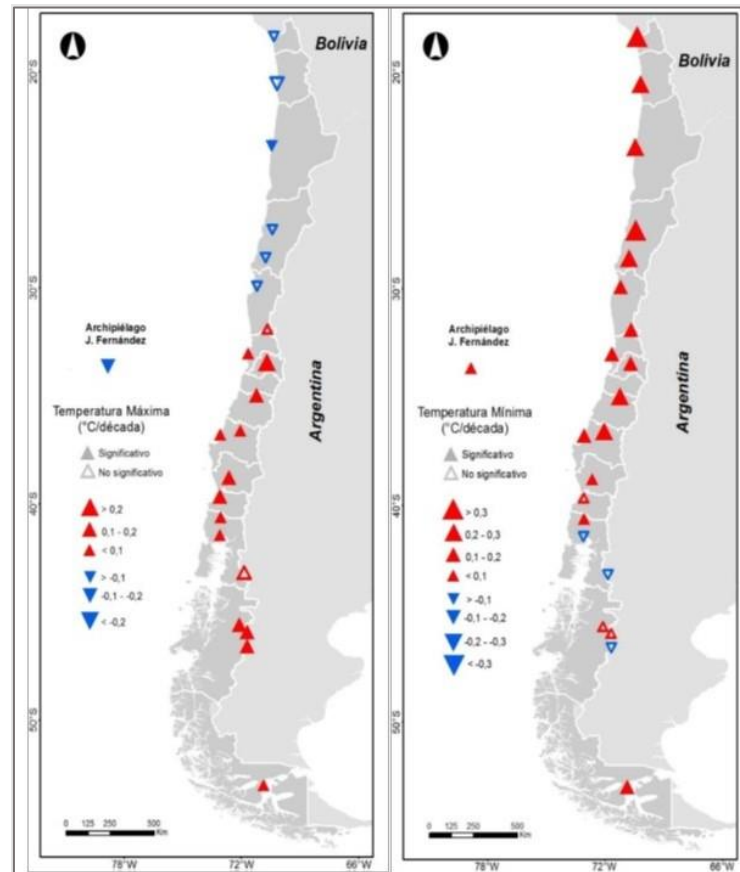
En su “Reporte anual de evolución del clima 2022”, la DMC (2023), genera un seguimiento de la evolución de las temperaturas mínimas y máximas a nivel nacional, entre otras variables. Para el caso de la media de las temperaturas mínimas extremas, el promedio nacional fue de 6,4°C superando en sólo 1 décima de grado el promedio climatológico (1961-1990) y bajo 0,28 °C respecto al promedio 1981-2010, mostrando una tendencia lineal al alza desde 1961 al 2022 (62 años), con una tasa de aumento de 0,13°C/década. Con respecto a las medias de las temperaturas máximas, el promedio nacional fue de 19,6°C superando en 0,56°C el promedio climatológico (1961-1990) y sobre 0,19°C respecto al promedio 1981-2010. Además, muestra que existen 15 años consecutivos con anomalías positivas (años más cálidos), así como la tendencia lineal para el periodo 1961-2022 (62 años), donde se aprecia una tendencia positiva, con una tasa de cambio de 0.16°C/década. Estos registros y tendencias se muestran en la Figura 3.3-4.



Fuente: Reproducido de DMC, 2023.

Figura 3.3-4 Evolución del promedio de la temperatura media mínima (izq. arriba) y máxima (dcha. arriba) y de anomalías mínimas (izq. abajo) y máximas (der. abajo) con respecto al promedio 1961/90

La Figura 3.3-5 muestra la tendencia y distribución territorial de las temperaturas mínimas y máximas. Respecto de las mínimas, se presentan tendencias positivas significativas para la Macrozona Norte, Centro y Sur, mientras que en la Macrozona Austral las tendencias son leves y variables en significancia. A su vez, se observa una disminución de la temperatura máxima en la Macrozona Norte, especialmente hacia la costa, y un incremento significativo de éstas en las Macrozonas Centro y Sur.



Fuente: Reproducido de Vásquez & Villarroel, 2021.

Figura 3.3-5 Mapas de tendencia de temperaturas máximas (izquierda) y mínimas (derecha) e índices asociados⁷²

Por otra parte, la DMC, en sus reportes anuales de evolución del clima, también hace un seguimiento a la tendencia de la isoterma 0°C. La isoterma 0°C es un indicador de gran importancia producto de que el cambio climático ha generado un aumento en la temperatura del aire en las últimas décadas, lo que ha provocado que el nivel de esta isoterma alcance mayor altura. Esto genera una reducción de la superficie andina que recibe nieve, por lo que la disponibilidad de agua disminuye intensificando la sequía, sobre todo en el periodo estival. Por otro lado, los eventos de precipitación con altura de isoterma 0°C elevada influyen en la ocurrencia de remociones en masa y/o aumento de caudales.

Los resultados del "Reporte de estado del clima 2022 (DMC, 2022) que cubre el periodo 1981-2022 para cuatro estaciones representativas, una por macrozona, se presenta en la Tabla 3.3-1. Estos muestran, para el periodo completo, una tendencia de aumento de la altura de la isoterma 0°C en la Macrozona Norte (32 m/década en estación

⁷² Los triángulos rellenos muestran tendencias estadísticamente significativas al 95% de confianza.

Antofagasta), un incremento en las Macrozonas Centro y Sur (19 y 15 m/década en estaciones Santo Domingo y Puerto Montt, respectivamente); la Macrozona Austral presenta una tendencia negativa (-7 m/década en estación Punta Arenas). Sin embargo, al analizar las últimas décadas (entre los años 2000 y 2022), se observa primero una tendencia al alza para todas las macrozonas, siendo mayores que los valores del periodo completo. En la Macrozona Norte es donde se produce la menor diferencia, con un alza de la isoterma cero de 38 m/década, 6 m sobre el promedio histórico. La Macrozona Centro presenta una diferencia de 37 m, con un ascenso que llega a los 56 m. La Macrozona Sur también muestra un alza de 48 m, siendo en las últimas décadas del orden de 63 m. Finalmente, la Macrozona Austral presenta una reversión de la tendencia del periodo completo, la cual es un descenso en la isoterma cero de 7 m por década. Al considerar únicamente el último periodo (2000-2022), se tiene la mayor alza a nivel país, siendo de 66 m.

Tabla 3.3-1 Tendencia de la altura de la isoterma 0°C, por macrozona

Macrozona	Estación	Tendencia 1981-2022 [m/década]	Tendencia 2000-2022 [m/década]
Norte	Antofagasta	32	38
Centro	Santo Domingo	19	56
Sur	Puerto Montt	15	63
Austral	Punta Arenas	-7	59

Fuente: Reproducido de DMC, 2023.

De acuerdo con Santibáñez (2018), en la cordillera de Los Andes se espera que la isoterma 0°C ascienda entre 300 y 500 metros, reduciendo la capacidad de la cordillera de almacenar nieve, aun cuando la precipitación no varíe. La elevación de las líneas de las nieves en unos 500 metros entre el río Aconcagua y el Biobío (Macrozonas Centro y Sur), representa una pérdida potencial entre 400 y 450 millones de metros cúbicos de agua acumulada en forma de nieve sólida, que ahora caerían en forma líquida y dejarían de estar disponibles para la estación estival, cuando es requerida principalmente para el riego.

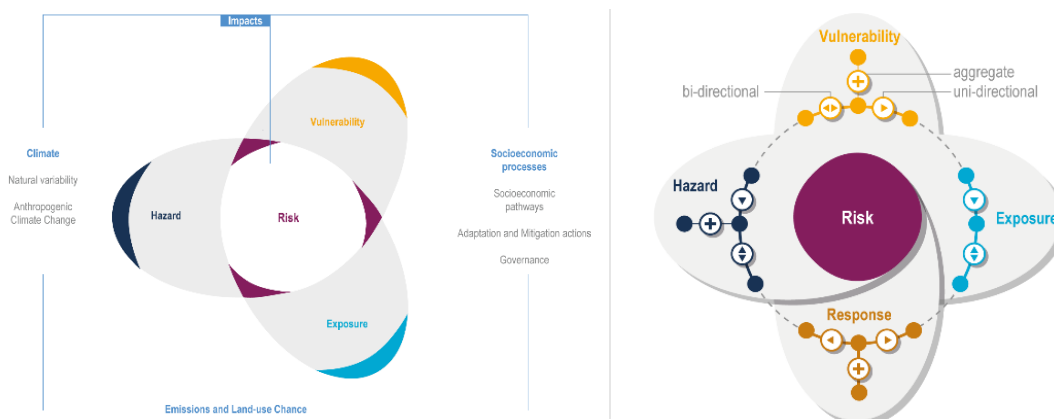
Este escenario induciría una desregulación hidrológica que aumentaría la escorrentía invernal a la vez que crearía mayor riesgo de crecidas que pueden aumentar los riesgos de zonas pobladas. Fuster & Escobar (2020) agregan que la disminución de la cobertura de nieves se ha manifestado principalmente durante el invierno. Además, se ha detectado una tendencia negativa en la zona central de Chile y positiva en Patagonia, en términos del número de días con precipitación de nieve y acumulación de equivalente en aguanieve, respectivamente.

CAPÍTULO 4 VULNERABILIDAD Y RIESGOS DEL SECTOR DE LOS RECURSOS HÍDRICOS POR EL CAMBIO CLIMÁTICO

4.1 INTRODUCCIÓN

Las dinámicas hidrológicas de una cuenca -unidad territorial clave para la gestión de los recursos hídricos- se configuran de acuerdo con sus características geográficas, geológicas y climáticas, con base en las interacciones entre sus elementos y otros que los afectan (Chávez et al., 2002). En un contexto de cambio climático, dicha configuración se modifica respecto de sus tendencias históricas y se proyectan más cambios en función de la magnitud de la alteración del clima (IPCC, 2019). En este sentido, es clave para el territorio nacional analizar las formas en que los recursos hídricos son vulnerables a los impactos del cambio climático, y comprender qué implica el riesgo climático y sus componentes (Álamos et al., 2021). Ahora bien, el riesgo puede surgir desde potenciales impactos del cambio climático, así como de respuestas humanas frente a este escenario (IPCC, 2022).

En el Quinto Reporte de Evaluación (AR5) del del IPCC del año 2014, el riesgo climático fue definido a partir de tres dimensiones: amenaza, exposición y vulnerabilidad (IPCC, 2014). Posteriormente, en el Sexto Reporte de Evaluación (AR6), se incorpora el concepto de respuesta como una cuarta dimensión, definiendo el riesgo climático como “el potencial de consecuencias adversas para los sistemas humanos o ecológicos, reconociendo la diversidad de valores y objetivos asociados con dichos sistemas” (IPCC, 2022). En la Figura 4.1-1 se muestra la conceptualización según AR5 y la actualización según AR6.



Fuente: IPCC, 2014; 2022.

Figura 4.1-1 Riesgo según IPCC: AR5 (izquierda), AR6 y direcciones futuras (derecha)

Con el propósito de caracterizar la vulnerabilidad, efectos adversos y riesgos del sector de los recursos hídricos en Chile por los impactos del cambio climático, se consideró, como base, la información contenida en la plataforma web ARClím del MMA. La metodología de ARClím tiene sus bases en el Quinto Reporte de Evaluación del IPCC (AR5) del año 2014,

el cual considera que la información analizada en torno a riesgo se compone de la amenaza climática, la exposición de los elementos que enfrentan esta amenaza, la vulnerabilidad a los impactos generados por la misma amenaza, la sensibilidad como las características socioeconómicas del sistema, la resiliencia de los sistemas, así como la capacidad de adaptación frente a dichos impactos (Pica-Téllez et al., 2020). ARClím dispone de un conjunto de CDI, desarrolladas en base a estos factores, a través de Mapas de Riesgo Climático, siendo hilos conductores que unen los diferentes elementos básicos que permiten la representación del riesgo (Pica-Téllez et al., 2020). Dichas CDI permiten evaluar la vulnerabilidad de 12 sectores⁷³ -incluyendo los recursos hídricos- a partir de los indicadores de amenaza climática (A), exposición (E) y sensibilidad (S) que se combinan para determinar el riesgo (R) sobre el sistema afectado.

Así, en primer lugar, se identificaron las CDI vinculadas directamente con el sector de los recursos hídricos, a partir del análisis de todas las CDI de ARClím (**ANEXO F**), tanto a nivel nacional como regional, teniendo en cuenta que estas últimas se consideran como potencial riesgo extrapolable a nivel macrozonal o país. Como resultado, se identificaron un total 24 CDI asociadas al sector, en base a las cuales, junto con documentos científicos, académicos e institucionales, se realizó un análisis de la vulnerabilidad, efectos adversos y riesgos del cambio climático sobre el sector de los recursos hídricos, centrándose en tres (3) dimensiones claves: social, ambiental y económica; el detalle del análisis obtenido se encuentra en el **ANEXO G**. De forma complementaria, en el **ANEXO H** se recopila la data asociada a los índices de riego de dichas CDI de ARClím.

4.2 RIESGOS EN LA DIMENSIÓN SOCIAL

Los impactos derivados del cambio climático sobre el ciclo del agua y los recursos hídricos sin duda tienen consecuencias sobre los sistemas humanos (Useros, 2013). Los impactos estos impactos derivan en vulnerabilidades para los sistemas de vida humanos, donde se depende del agua para múltiples usos, especialmente para el consumo de agua potable, el saneamiento y el uso en actividades productivas de subsistencia, como los son la agricultura familiar, la crianza de ganado, entre otras (Caretta et al., 2023).

4.2.1 Riesgos sobre el consumo humano, subsistencia y saneamiento

En términos de población abastecida de agua potable en Chile, la Tabla 4.2-1 define que 15,9 millones de personas son abastecidas por sistemas urbanos, donde el 66% de la población se concentra en la Macrozona Centro. En términos de cobertura urbana, a 2021 esta alcanzaba el 99,94% a nivel país, del 100% de las macrozonas excepto en la región de Valparaíso (en la Macrozona Centro), con una cobertura del 99,4% (SISS, 2023a). En relación con el agua potable en el ámbito rural, la Tabla 4.2-1 muestra que la cobertura actual de Servicios Sanitarios Rurales (SSR) alcanza una población aproximada de 2 millones de personas, donde el 52% se encuentra en la Macrozona Centro, el 34% en la Macrozona Sur, el 11% en la Macrozona Norte, y solo el 1% está

⁷³ Sectores de ARClím: Agricultura, Salud y Bienestar Humano, Bosques Nativos, Acuicultura, Infraestructura Costera, Recursos Hídricos, Turismo, Pesca Artesanal, Biodiversidad, Plantaciones Forestales, Minería y Energía Eléctrica.

en la Macrozona Austral (DOH, 2023). Considerando la población total, se observa que cerca de 1,8 millones de habitantes (6,2% del total nacional) carecerían de un sistema de provisión de agua potable formal, situación que se hace más latente en la Macrozona Sur, donde esta brecha alcanza el 16%.

Tabla 4.2-1 Población urbana y rural abastecida por sistemas de agua potable, por macrozona⁷⁴

Macrozona	Población abastecida APU [n° hab.]	Población abastecida APU [%]	Población abastecida SSR [n° hab.]	Población abastecida SSR [%]	Población total [n° hab.]	Población total [%]
Norte	2.074.160	13,0%	219.556	11,0%	2.417.538	12,7%
Centro	10.593.186	66,5%	1.034.391	51,7%	11.948.469	62,5%
Sur	3.021.697	19,0%	718.491	35,9%	4.458.545	23,3%
Austral	235.410	1,5%	27.548	1,4%	282.664	1,5%
Total	15.924.453	100,0%	1.999.986	100,0%	19.107.216	100,0%

Fuente: Elaboración propia en base a SISS, 2023a, DOH, 2023 e INE, 2019.

En el marco actual de cambio climático cobra relevancia el concepto de seguridad hídrica, ya que su análisis requiere de la combinación de dos miradas que pueden vincularse con el consumo humano, los usos de subsistencia y el saneamiento (Urquiza & Billi, 2020). Por una parte, es necesaria una mirada transversal, que examine el acceso equitativo, la calidad y cantidad de los servicios que se ofrecen en los territorios o determinando las brechas de acceso y/o equidad (Álamos et al., 2021). Por otra parte, se requiere una mirada longitudinal que evalúe la sostenibilidad y resiliencia de los servicios frente a distintas amenazas que puedan sufrir en el tiempo (Álamos et al., 2021). En razón a estas consideraciones, se releva el concepto de (in)seguridad hídrica que corresponde a la imposibilidad de asegurar las condiciones que define la seguridad hídrica, sobre el acceso equitativo en calidad y cantidad a servicios resilientes para el desarrollo humano y económico (Urquiza & Billi, 2020).

Los problemas más críticos se relacionan con el acceso a un suministro de agua potable de calidad y disponibilidad constante, así como a desastres socio naturales derivados de eventos climáticos extremos como sequías o inundaciones (Billi, Moraga, Aliste, Maillet, O’Ryan, Sapiains, Bórquez, Aldunce, Azócar, Blanco, Carrasco, Galleguillos, Hervé, Ibarra, Ibarra, et al., 2021; Fragkou et al., 2022). En este sentido, se identificaron cuatro (4) CDI de ARClím con vinculación al sector de los recursos hídricos para la dimensión social en cuanto a riesgos sobre el consumo humano, subsistencia y saneamiento, las cuales se detallan en la Tabla 4.2-2, y corresponden a sequía hidrológica, seguridad hídrica doméstica urbana y rural, y pérdida de agua potable en los SSR por déficit de precipitación.

⁷⁴ Cifras deben considerar diferentes fuentes y años de publicación: población APU por SISS (2021), población SSR por DOH (2023) y población total por INE (2019).

Tabla 4.2-2 CDI de ARClím vinculadas con riesgos sobre consumo humano, subsistencia y saneamiento

Sector	CDI	Definición
Recursos Hídricos	Sequías hidrológicas	Efectos adversos de sequías hidrológicas en distintas comunas del país, considerando puntos específicos a lo largo del principal cauce dentro de la comuna. La sequía hidrológica contempla un aumento de la frecuencia de los caudales bajos y la disminución en la magnitud de los caudales extremos bajos.
Salud y Bienestar Humano	Seguridad hídrica doméstica urbana	Efectos adversos sobre la seguridad hídrica urbana a nivel doméstico generados por la sequía meteorológica en distintas comunas del país, considerando condiciones climáticas, sociales e institucionales históricas y futuras.
	Seguridad hídrica doméstica rural	Efectos adversos sobre la seguridad hídrica doméstica rural generados por la sequía meteorológica en distintas comunas del país, considerando condiciones climáticas, sociales e institucionales históricas y futuras.
	Pérdida de agua potable en los Servicios Sanitarios Rurales por déficit de precipitación (Región de Coquimbo)	Pérdida en la continuidad de la cadena de suministro de agua potable en los Servicios Sanitarios Rurales (SSR) debido al déficit de precipitaciones en el clima futuro.

Fuente: Elaboración propia en base a MMA, 2020a.

A partir de los resultados de las CDI de la Tabla 4.2-2 se define un fuerte aumento de la inseguridad hídrica urbana y rural en las Macrozonas Norte, Centro y Sur, mientras que la Macrozona Austral contiene valores más bajos a moderados. Con respecto a las sequías se ven fuertemente afectada en las Macrozonas Centro y Sur, atendiendo al déficit de precipitaciones, disminución de flujos de agua y la disminución de almacenamiento en las cuencas que se encuentran más expuestas a problemas de disponibilidad hídrica. Esto además coincide con el desarrollo del sector productivo de la agricultura, quienes consumen la mayor cantidad de agua a nivel sectorial.

Entre otros riesgos sobre el consumo humano de agua potable, los incendios forestales ponen en riesgo la infraestructura de suministro de agua, la cual puede sufrir daños directos debido al calor extremo y la caída de árboles quemados, interrumpiendo el suministro de agua a las comunidades aledañas al incendio. Además, provoca la desestabilización del sistema de suministro debido al aumento de la demanda para la extinción del fuego, provocando, por otro lado, efectos negativos en las características físicoquímicas del suelo, aumentando a posteriori las probabilidades de ocurrencia de aluviones e inundaciones (Santelices, 2017; Hebel, 2019; Billi et al., 2021; IPCC, 2022; OECC, 2022).

4.2.2 Riesgos en asentamientos humanos y ordenamiento territorial

El agua es un recurso crítico y esencial para el sustento de la vida y su escasez es una de las principales preocupaciones en contexto de cambio climático (Gosling & Arnell, 2016), sin embargo, el exceso de agua, originados por eventos climáticos extremos, también puede ocasionar impactos significativos tanto en la dimensión social, como en la ambiental y económica (Pizarro et al., 2022). En la Tabla 4.2-3 se presentan las CDI de ARClím relativas a riesgos sobre asentamientos humanos y ordenamiento territorial y vinculados a los recursos hídricos, tales como inundaciones (en zonas urbanas, por desbordes de colectores de agua lluvia y por desborde de ríos) así como cortes viales por aluviones.

Tabla 4.2-3 CDI de ARClím vinculadas con riesgos sobre asentamientos humanos y ordenamiento territorial

Sector	CDI	Definición
Recursos Hídricos	Inundaciones por desbordes de ríos	Efectos de inundaciones generadas por precipitaciones extremas de período de retorno de 100 años, las cuales aumentan los caudales en esteros y ríos, incrementando la altura de escurrimiento. Dependiendo de las condiciones del río, este aumento podría generar desbordes en los cauces, lo que comúnmente define áreas inundadas en los centros poblados que colindan con los ríos.
	Inundaciones en zonas urbanas	Efectos de inundaciones generadas por precipitaciones extremas de distinto período de retorno en zonas urbanas de diferentes comunas del país, considerando aspectos sociales y existencia de servicios básicos junto a las condiciones climáticas presentes y futuras.
Salud y Bienestar Humano	Inundaciones (por desbordes de colectores de agua lluvia)	Riesgo sobre las condiciones de las viviendas y servicios críticos asociados a inundaciones por desborde de colectores de aguas lluvia, considerando condiciones climáticas, sociales a instituciones históricas y futuras.
	Riesgo de cortes viales por aluviones asociados a eventos de precipitación intensa (Región de Aysén)	Riesgo de cortes viales, debido al incremento de aluviones y deslizamientos de tierra por de eventos de precipitación intensa.
Energía Eléctrica	Riesgo de cortes de energía por eventos de precipitación extrema (Región de Aysén)	Riesgo de cortes de energía por eventos de precipitación extrema en la región.

Fuente: Elaboración propia en base a MMA, 2020a.

Los riesgos de las CDI de la Tabla 4.2-3 generan efectos adversos directamente sobre la infraestructura pública y privada y servicios básicos, afectando a la salud de las personas afectadas. Un punto relevante de los riesgos por inundación corresponde al factor exposición, en donde la concentración de población que habita las zonas con mayor amenaza (Macrozona Centro) se ve afectada directamente en los daños a

viviendas, y debido a la poca capacidad de las ciudades en una correcta evacuación en estos episodios de precipitaciones por el sistema de recolección o sumideros. Por otro lado, cabe hacer hincapié en la capacidad adaptativa de las obras hidráulicas ante eventos de desbordes de ríos que, en base a los índices de riesgo, se identifica que no han incorporado criterios de adaptación al cambio climático en su diseño y construcción. En otro sentido, es importante considerar el riesgo de aluviones y/o deslizamiento de tierra post evento de precipitación extrema, localizado principalmente en la Macrozona Austral, en zonas montañosas con isoterma 0°C alta y con malas condiciones de conectividad vial.

Es posible identificar además limitaciones y/o complejidades en la incorporación de criterios de seguridad hídrica desde la perspectiva del ordenamiento territorial, siendo la más relevante en contexto de cambio climático a la falta de planificación coordinada de los recursos suelo y agua, debido a la fragmentación de responsabilidades y gestión en torno a estos elementos (Billi et al., 2021). Una de las oportunidades da cuenta de la posibilidad de planificar territorios más resilientes ante eventos extremos, permitiendo la implementación de medidas de adaptación para eventos de inundaciones, sequías, entre otros, reduciendo el riesgo actual y futuro (Caretta et al., 2023). Otro punto se relaciona el financiamiento, pues implementar este tipo de criterios a instrumentos de ordenamiento territorial puede resultar más costoso en el corto plazo; sin embargo, se han demostrado que tomar acción para prevenir y adaptarse a los efectos adversos del cambio climático resulta menos costoso que la inacción, es decir, recuperarse de los daños generados en el largo plazo (Melo et al., 2023).

Finalmente, existen conflictos por el agua actuales y potenciales vinculados a los efectos del cambio climático en los territorios, agudizando desigualdades y favoreciendo conflictos de intereses entre actores, tanto públicos, privados como de la sociedad civil. Por ello, debe propiciarse la sostenibilidad del recurso hídrico en la planificación territorial, identificando principalmente criterios adecuados que garanticen un uso sostenible, abordando el dilema de la justicia intergeneracional (Hervé, 2010).

4.2.3 Riesgos sobre los usos culturales

La cultura asociada a los recursos hídricos se refiere a la comprensión, actitudes, prácticas y valores de una sociedad o comunidad en relación con el agua; incluye la percepción de la importancia del agua, su uso responsable y sostenible, así como la gestión y conservación de los recursos hídricos (Bate, 1990).

A modo de ejemplo, las comunidades agrícolas de la región de Coquimbo (Macrozona Norte), en zonas de secano, se caracterizan por un clima que va de árido a semiárido, sin fuentes de aguas superficiales. Sus actividades agropecuarias y sus formas de vida se han organizado sobre la base de un aprovechamiento natural del recurso hídrico (Álvarez & Yáñez, 2022). En este sentido, pese a la baja precipitación, los habitantes de este territorio aprovechan la disponibilidad de lluvias estacionales, permitiendo que estas comunidades agrícolas se relacionaran y utilizaran el agua para sus actividades

cotidianas (Álvarez & Santibáñez, 2022). Haga clic o pulse aquí para escribir texto. Sin embargo, durante los últimos 15 años, se han enfrentado a una escasez hídrica que ha modificado significativamente las condiciones ecológicas de la zona, afectando tanto el desarrollo como la mantención de las actividades productivas tradicionales, impactando progresivamente la calidad de vida en estos territorios.

Según la proyección de las amenazas climáticas, como disminución de precipitaciones y sequías meteorológicas, los fenómenos de estrés hídrico han aumentado y continuarán haciéndolo en la Macrozona Norte, con usos de agua que alcanzan o superan la disponibilidad hídrica (Álvarez-Garretón et al., 2023). En este contexto, el Estado de Chile ha implementado diversas medidas para abordar la escasez hídrica en esta zona; así, debido a las nuevas modalidades de acceso, acumulación y distribución del agua, las formas naturales de aprovechamiento de agua están comenzando a quedar obsoletas (Álvarez & Yáñez, 2022). Esto sugiere que las prácticas tradicionales en torno al uso del agua podrían derivar en nuevas formas de vinculación con el recurso, cambios en las prácticas productivas y en las formas de vida cotidianas de sus habitantes.

4.3 RIESGOS EN LA DIMENSIÓN AMBIENTAL

En Chile se identifican 101 cuencas hidrográficas compuestas por glaciares, ríos, lagos, lagunas, acuíferos, humedales, bofedales y turberas, siendo en su mayoría de carácter exorreico, ya que se extienden desde la Cordillera de Los Andes hasta su desembocadura en el mar (BCN, 2023; Gironás et al., 2021). Al contar con una amplia diversidad de recursos hídricos, también son múltiples las formas en las que estos sistemas se ven afectados por las modificaciones de los patrones climáticos que agudiza el cambio climático (Stehr et al., 2019).

Se desprenden ciertas tendencias en las principales variables climáticas principales que incidirán en la evaluación de los riesgos desde una dimensión ambiental: (i) disminución de la precipitación acumulada anual a nivel nacional con excepción de las zonas extremas del país, las que presentan proyecciones inciertas; (ii) cambios en los patrones de la precipitación, tanto en intensidad como en distribución; (iii) aumento de la temperatura a nivel nacional; (iv) tendencia de aumento en la elevación de la isoterma 0°C; y (v) estado de megasequía en gran parte del territorio nacional, específicamente entre las cuencas del sur de la Macrozona Norte hasta la Macrozona Sur. Seguidamente se analiza en mayor detalle los riesgos sobre los diferentes tipos de cuerpos de agua más relevantes.

4.3.1 Riesgos sobre caudales superficiales y humedales

En términos generales, durante las últimas décadas la escorrentía media anual ha presentado una disminución entre las latitudes 25°S y 45°S, abarcando desde el sur de la Macrozona Norte hasta el norte de la Macrozona austral (DGA, 2022b). En cuanto a escenarios futuros, se proyecta una disminución del caudal promedio para el periodo 2030-2060 en un 72% de las cuencas, lo que coincide con la disminución de la precipitación, y en general con la disminución de la evapotranspiración (DGA, 2022). Sin embargo, ocurre una excepción en las regiones extremas, donde se proyectan aumentos

en la escorrentía del altiplano y la Patagonia Austral (DGA, 2022b). Las variaciones en los caudales a nivel nacional se ven influenciadas por el aumento de la isoterma 0°C y la temperatura, factores que producen mayores deshielos prematuros y precipitaciones líquidas sobre las reservas nivales, generando mayores escorrentías en las épocas de deshielo (primavera-verano) y reservas de agua en la cordillera (Álamos et al., 2021). Algunas cuencas en la Macrozona Centro podrían proyectar cambios en las condiciones hidrológicas que se manifestaría a través de una reducción de los caudales mínimos, pero con un aumento de los caudales máximos diarios. Lo anterior podría explicarse producto del aumento de la escorrentía en eventos de tormentas y la disminución del aporte que tendría la acumulación de nieve en los meses de estiaje (Stehr et al., 2019).

Los humedales en toda su diversidad (humedales, bofedales, vegas, salares, lagos, lagunas, turberas, etc.) son una parte de los ecosistemas hídricos especialmente vulnerables al cambio climático (Marquet et al., 2019; Salimi et al., 2021). Esta vulnerabilidad resulta crítica si se consideran factores como las características físico-geográficas, la importancia ecológica y los servicios ecosistémicos que los humedales proveen (Moya et al., 2005). En términos generales, los humedales sufren los siguientes impactos y consecuencias producto del cambio climático: (i) afectación en las funciones ecológicas, al provocar cambios en la hidrología y otras condiciones físicas y químicas que favorecen la convivencia entre los componentes bióticos y abióticos del ecosistema; (ii) pérdidas de hábitat y otras afectaciones a la flora y la fauna; (iii) afectaciones por sequías y eventos de extremas precipitaciones (pérdidas sociales, económicas y medioambientales); (iv) afectaciones a la fuente de abasto de agua por intrusión salina o desbalance hídrico; (v) aumento de la erosión costera; (vi) afectaciones a ecosistemas bajo permafrost; (vii) afectaciones al transporte de sedimentos y nutrientes; y (viii) variaciones en los patrones epidemiológicos y de las epífitas fundamentalmente por cambios en las condiciones medioambientales donde se desarrollan los patógenos.

Al respecto, se identificaron tres (3) CDI de ARClím con vinculación al sector de los recursos hídricos para la dimensión ambiental en cuanto a riesgos sobre caudales superficiales y humedales, las cuales se detallan en la Tabla 4.3-1, y dicen sobre la disponibilidad del agua superficial para fines ambientales, la pérdida de humedales debido a variación en la acumulación de precipitaciones anuales y la degradación de humedales costeros. En las CDI de la Tabla 4.3-1 se busca determinar el nivel de riesgo al que estarían expuestos los ecosistemas que dependen de estos recursos. En el caso de la disponibilidad del recurso para fines ambientales, se ven afectados los caudales a causa de la amenaza de estrés hídrico, implicando una disminución del caudal ecológico en el tiempo y la capacidad adaptativa de las cuencas, con repercusiones también para las aguas subterráneas, pues disminuye la recarga de los acuíferos. En el caso de los riesgos asociados a humedales tanto por pérdida de superficie o degradación, se consideran los impactos a estos ecosistemas considerando su fragilidad ante las presiones antrópicas y el cambio de las condiciones ambientales. La exposición de los humedales conduce a una agudización de la situación de pérdida de superficie de humedales, añadiendo a esto la falta de figuras de protección y regulación con la que cuentan actualmente estos ecosistemas (Habit et al., 2019). En el caso costero, al encontrarse emplazados en zonas bajas, estos humedales

están amenazados por la anegación permanente por un incremento del nivel del mar y por la alteración de la composición de su columna de agua ocasionada por el aumento de ingreso de agua asociado a eventos de marejadas.

Tabla 4.3-1 CDI de ARClím vinculadas con riesgos sobre caudales superficiales y humedales

Sector	CDI	Definición
Recursos Hídricos	Riesgo en la disponibilidad del agua superficial para fines ambientales	Riesgos asociados a disponibilidad de agua superficial según criterios ambientales, considerando el mantenimiento de un margen de caudal en los cursos de agua superficial que permitan preservar las condiciones ambientales y ecológicas.
	Pérdida de humedales debido a variación en la acumulación de precipitaciones anuales (Región de Aysén)	Riesgo de que disminuya la superficie de humedales en la región debido a la disminución de precipitaciones en el futuro.
Biodiversidad	Degradación de humedales costeros	Debido a los múltiples servicios ecosistémicos que otorgan, los humedales costeros constituyen uno de los biotopos más relevantes del país. Por consiguiente, resulta relevante analizar la fragilidad de estos sistemas frente a las presiones antrópicas y los cambios de las condiciones ambientales.

Fuente: Elaboración propia según (MMA, 2020a)

4.3.2 Riesgos sobre cuerpos de agua subterráneos

En lo que respecta a los impactos y consecuencias del cambio climático en las aguas subterráneas, se observa un rápido deterioro de estas fuentes que podría estar relacionado con la megasequía que afecta a las Macrozonas Norte, Centro y Sur del país. Esta situación se manifiesta en el descenso de los niveles de agua subterránea, ya que la disminución de la disponibilidad de agua superficial afecta los procesos de recarga de los acuíferos, situación que se ve agudizada por la sobreexplotación y creciente competencia sobre estas fuentes entre los distintos usos del agua (Álvarez-Garretón et al., 2023). Las reservas subterráneas juegan un rol clave en la seguridad hídrica; el agotamiento parcial o total de los acuíferos es un daño ambiental extremo (Álvarez-Garretón et al., 2023).

Lo anterior es relevante en tanto que, para 2014, Chile presentaba 110 acuíferos con sobre otorgamiento de DAA (Ministerio del Interior y Seguridad Pública, 2015), lo que abre la pregunta sobre cómo se comportarán estas fuentes de agua en un contexto de cambio climático cada vez más pronunciado, con sequías que afectan los caudales necesarios para la recarga y con dinámicas de uso de suelo que también interfieren en dicho proceso. Por ejemplo, en las cuencas de la Macrozona Centro, los niveles de estrés hídrico y las tasas de decaimiento de los niveles freáticos exponen un desequilibrio estructural, debido a que los usos del agua que la extraen dependen de extracciones que no son sostenibles, superando las tasas de recarga natural (Álvarez-Garretón et al.,

2023). Por el contrario, en un estudio de una cuenca de la Macrozona Norte, se proyectó que, bajo diferentes escenarios de cambio climático, que la proporción de la precipitación que se transforma en recarga es mayor que la esperada en zonas áridas, atribuible a la ocurrencia de eventos de corta duración y gran intensidad (Lizasoain, 2018)⁷⁵.

Considerando las proyecciones del cambio climático y el hecho que los acuíferos son una fuente de abastecimiento importante de recurso hídrico, se hace urgente una red de medición de niveles de aguas subterráneas más completa a nivel territorial, que consiga una representación más fiel del estado de los acuíferos a escala nacional, y que además contenga una única y actualizada base de datos (DGA, 2017a). En este sentido, diversos científicos han manifestado también la necesidad de robustecer la red de monitoreo e información disponibles (Stehr et al., 2019).

4.3.3 Riesgos sobre glaciares y nieves

En Chile, los glaciares se encuentran presentes en toda la Cordillera de los Andes y concentran el 75% del área cubierta de glaciares en el continente Sudamericano, localizándose entre las altas cumbres de los volcanes del norte grande (Macrozona Norte), hasta las montañas que coronan los fiordos en Magallanes (Macrozona Austral) (González et al., 2019), cumpliendo un rol esencial en el suministro de aguas de las cuencas (McPhee et al., 2021). La acumulación de nieve en invierno y el posterior derretimiento durante el periodo de deshielo, son claves para garantizar la seguridad hídrica en gran parte del territorio nacional (Álvarez-Garretón et al., 2023). En contexto de cambio climático, los riesgos más relevantes tienen relación en que los glaciares funcionan como “ahorros para el futuro”, pues se consideran como embalses de agua naturales que acumulan agua (como masa) en periodos fríos, y entregan lo acumulado en periodos cálidos y secos (González et al., 2019).

Casi toda la superficie de la cordillera de los Andes presenta una tendencia a la baja en su superficie nevada, pues la cobertura de nieve andina ha presentado retrocesos significativos a un ritmo del 15% por década principalmente en la zona central (Macrozona Centro), situación que se va agudizando hacia el extremo sur del país (González et al., 2019). En las Macrozonas Norte y Centro, las disminuciones de la cobertura de nieve promedio están relacionadas con la baja en las precipitaciones asociadas con cambios durante eventos El Niño (Cortés & Margulis, 2017), mientras que en las Macrozonas Sur y Austral la pérdida de masa de nieve está influida por los cambios en los patrones de viento y emisiones de GEI. “Las tendencias negativas en la cobertura de nieve probablemente continúen en el futuro afectando las tasas de deshielo y el suministro de agua, especialmente en el centro y norte del país donde en general, la

⁷⁵ Estudio en la cuenca del Salar del Huasco (región de Tarapacá), donde se determinó que bajo diferentes escenarios de cambio climático -homólogos a los escenarios RCP del IPCC- al año 2100, se proyecta que la proporción de la precipitación que se transforma en recarga es mayor que la esperada en zonas áridas. Esto podría atribuirse a la ocurrencia de eventos de corta duración y gran intensidad que favorecen la recarga de los acuíferos, mientras que la recarga por sobre la precipitación se mantendría en los niveles habituales, aun cuando las proyecciones para la precipitación apuntan hacia la disminución. Estos resultados son específicos para el área de estudio, que corresponde a un acuífero sin intervención antrópica por extracciones (bombeos) (Lizasoain, 2018).

nieve es la fuente principal de agua” (González et al., 2019). Es relevante considerar el estado de megasequía en el que se encuentra la Macrozona Centro desde el año 2010, donde se han registrado grandes reducciones de la criósfera, entre los 3.500 y 5.000 m.s.n.m., resultando casi en una ausencia completa de cobertura de nieve durante el verano (McPhee et al., 2021). Por otro lado, en las Macrozonas Sur y Austral se encuentran las masas glaciares más grandes del hemisferio sur después de la Antártica. En estas se observa un derretimiento y retroceso de glaciares, de aproximadamente 30 m/año, especialmente en la zona patagónica, donde la pérdida de masa de hielo ha sido atribuida al calentamiento atmosférico en combinación con el ajuste de dinámicas de los glaciares (McPhee et al., 2021).

En relación con las proyecciones climáticas, la Macrozona Norte (en su parte sur) y la Macrozona Centro observarían una diferencia de área promedio de 36,9% por banda latitudinal para el periodo de 2030 a 2060 (DGA, 2022). Por su parte, la DGA (2022) indica una proyección de disminución del área glaciar entre un 35,2% y un 92,2% para el periodo 2030-2060 en las Macrozonas Sur y Austral, con una tendencia a disminuir el retroceso glaciar hacia las latitudes hacia el sur. En este ámbito, se identificaron dos (2) CDI de ARClím con vinculación al sector de los recursos hídricos para la dimensión ambiental en cuanto a riesgos sobre nieves y glaciares, las cuales se detallan en la Tabla 4.3-2, las cuales se enfocan en los riesgos por el retroceso de glaciares por variación en la radiación y la acumulación de nieve (ambas correspondientes a la región de Aysén, Macrozona Austral).

Tabla 4.3-2 CDI de ARClím vinculadas con riesgos sobre nieves y glaciares

Sector	CDI	Definición
Recursos Hídricos	Retroceso de glaciares por variación en la radiación (Región de Aysén)	Riesgo de que ocurra retroceso de glaciares por variación de la radiación incidente en el futuro.
	Retroceso de glaciares por variación en la acumulación de nieve (Región de Aysén)	Riesgo de que ocurra retroceso de glaciares por variación de la acumulación de nieve en el futuro

Fuente: Elaboración propia en base a MMA, 2020a.

La relevancia de los glaciares es que cumplen un rol de regulador de caudales, que en contexto de cambio climático amortiguan los efectos de las sequías principalmente; “durante los años secos, los glaciares aportan un mayor porcentaje del recurso a los ríos y acuíferos, ayudando a paliar el impacto de las grandes sequías; sin embargo, es muy probable que, con la disminución de tal reserva, los períodos de sequía empeoren en el futuro” (González et al., 2019). Por tanto, un escenario adverso de cambio climático conlleva una disminución en las precipitaciones y capacidad de almacenamiento de nieve de forma permanente (Barnett et al., 2005; Huss & Hock, 2018). Esto podría afectar gravemente la seguridad hídrica de las cuencas, particularmente durante la temporada estival -periodo de mayor demanda de agua-, representando un riesgo para la industria agrícola y la seguridad alimentaria del país (Álvarez-Garretón et al., 2023).

Adicionalmente a lo previamente descrito, existen otros eventos y dinámicas vinculadas a los glaciares en un contexto de cambio climático relevantes a considerar. En primer lugar, existe una urgencia de cuantificar las contribuciones de los glaciares de roca a los caudales de las cuencas, así como su rol en el sistema de drenaje (González et al., 2019). Junto con esto, se prevé que en la Macrozona Centro habrá un aumento de los eventos relacionados con los deslizamientos y desprendimientos de glaciares, con sus consecuentes avalanchas, producto del aumento de las temperaturas (McPhee et al., 2021). Además, a nivel mundial se han estudiado numerosos ejemplos de movimientos rápidos de laderas que provocan GLOF (Emmer, 2017), detectando un aumento en la superficie de lagos glaciares, como consecuencia directa del aumento de las temperaturas y el consecuente retroceso de los glaciares. En Chile también se han registrado casos de GLOF, que al incrementarse rompen y causan efectos aguas abajo, tema que se abordará más en detalle en la dimensión económica del riesgo del retroceso de glaciares (Wilson et al., 2019).

4.3.4 Riesgos sobre zonas latentes y saturadas

El artículo 9 de la LMCC establece que los planes sectoriales de adaptación deben contemplar, entre otros, la “evaluación de efectos adversos del cambio climático y riesgos actuales y proyectados para el sector, incluyendo aquellos asociados a las zonas latentes que se encuentren declaradas al momento de su elaboración”. Sobre ello, conforme a lo dispuesto en el artículo 2, letras t) y u), de la Ley N°19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente, y considerando la dictación de NSCA para regular la presencia de contaminantes en la componente agua, se consideran las siguientes definiciones:

- **Zona Latente:** aquella en que la medición de la concentración de contaminantes en el aire, agua o suelo se sitúa entre el 80% y el 100% del valor de la respectiva norma de calidad ambiental; y
- **Zona Saturada:** aquella en que una o más normas de calidad ambiental se encuentran sobrepasadas.

En este contexto, en términos de recursos hídricos, se establece que para que una zona sea declarada como latente o saturada, debe existir una norma de calidad que la respalde. En la actualidad, el MMA ha dictado NSCA para las cuencas de: Aconcagua y Maipo (en la Macrozona Centro); Biobío, Lago Villarrica y Lago Llanquihue (en la Macrozona Sur) y; río Serrano (en la Macrozona Austral). Derivado de lo anterior, en la Macrozona Sur existe un (1) caso de declaración de Zona Saturada, mediante Decreto Supremo N°43 del año 2018, por contaminación de clorofila “a”, transparencia y fósforo disuelto en la cuenca del Lago Villarrica. Cabe señalar que, a la fecha de elaboración del presente documento, mediante Resolución Exenta N°1067 con fecha 6 de octubre de

2023, del Ministerio del Medio Ambiente, se encuentra aprobada una ampliación para la elaboración del proyecto definitivo del Plan de Descontaminación (PDA)⁷⁶.

4.3.5 Otros riesgos sobre el ciclo del agua

El cambio climático aumenta la frecuencia e intensidad de sequías, inundaciones y precipitaciones extremas, lo que contribuye a la desertificación y erosión del suelo (MMA, 2020). La degradación del suelo y la escasez de agua están estrechamente relacionadas, ya que suelo sano tiene una capacidad natural para almacenar y filtrar agua, pero esta capacidad se pierde cuando este se degrada (Rubio et al., 2009). Del mismo modo, los cambios en el uso del suelo, como la conversión de humedales y bosques, alteran el ciclo del agua y sus componentes (escorrentía, infiltración, percolación) (Anand & Oinam, 2020). A la inversa, la escasez de agua y las sequías pueden acelerar los procesos de degradación del suelo, por ejemplo, debido a una gestión deficiente del riego y el drenaje. Por tanto, para combatir la sequía y lograr la seguridad hídrica a largo plazo, es necesario gestionar y preservar tanto el suelo y los bosques nativos, como los recursos hídricos y su ciclo natural (UNCCD and FAO, 2020). Respecto a esto, Balocchi et al. (2023) señalan que los bosques cumplen una función clave en la interceptación de agua, la cual varía según el tipo de bosque, la densidad de la plantación y el índice de área foliar, así como por la intensidad y cantidad de precipitaciones. En este contexto, los cambios en la cobertura del bosque nativo y las plantaciones forestales inciden en la dinámica hídrica de las cuencas a nivel nacional, considerando que 88 hoyas hidrográficas de Chile presentan estas superficies (Balocchi et al., 2023).

Por ejemplo, se estima que las plantaciones generan un mayor impacto sobre el suministro y el ciclo del agua que el bosque nativo (Álvarez-Garretón et al., 2019). En este contexto, estudios han comparado las praderas con las plantaciones en Chile, confirmando que la escorrentía es menor en los bosques que en las zonas cubiertas de pastizales, y, asimismo, las mayores diferencias absolutas en evapotranspiración entre diferentes usos de tierra ocurren en áreas de alta precipitación, como la Macrozona Sur (Balocchi et al., 2023). Otro estudio, realizado en el archipiélago de Chiloé (Macrozona Sur), destaca que los bosques antiguos de la zona cumplen un rol importante en la interceptación de la precipitación, la que en verano aumenta a un 40%, quedando un 60% de agua almacenada en los bosques (Frêne et al., 2022). También se señala la relevancia de este servicio ecosistémico y el peligro que corre la descarga de agua hacia otros cuerpos como esteros y napas subterráneas, lo que podría verse mermado en un contexto de disminución de la precipitación y/o de degradación de los bosques (Frêne et al., 2022).

Por otro lado, en ARClím se identificó una (1) CDI con vinculación al sector de los recursos hídricos para la dimensión ambiental en cuanto a otros riesgos sobre el ciclo del agua, la que se detalla en la Tabla 4.3-3, y que corresponde al riesgo de pérdida de

⁷⁶ MMA, 2024. (22 de febrero de 2024). Expedientes Electrónicos, Planes y Normas. MMA. Recuperado de: https://planesynormas.mma.gob.cl/normas/mostrarCategoria.php?tipo_norma=calidad&msessv=m_20240220_140912.65d4eac87ff1e.

verdor en bosques nativo. Esta se constituye en base a dos amenazas conjuntas, condiciones de sequía y olas de calor, cuya exposición corresponde a la superficie de bosque nativo. En términos de concentración de este riesgo, se reconoce principalmente en la Macrozona Centro y Sur debido a su alta exposición; si bien el porcentaje de bosque es menor que en las Macrozonas Sur y Austral, ésta posee la mayor correspondencia a bosques de mayor valor en términos de conservación “debido a sus niveles de riqueza en endemismo y amenazas a las cuales han estado históricamente expuestos” (MMA, 2020a). Adicionalmente, parte de este territorio ha experimentado sequía y escasez de agua durante los últimos años (Álvarez-Garretón et al., 2023). Dada la información expuesta, es clave reconocer cómo la pérdida del verdor de los bosques nativos podría afectar las dinámicas del ciclo del agua en las cuencas, la interceptación de la precipitación, los niveles de evapotranspiración y escorrentía, entre otros.

Tabla 4.3-3 CDI de ARClím vinculadas con otros riesgos sobre el ciclo del agua

Sector	CDI	Definición
Bosques nativos	Verdor en Bosques Nativos	Efecto potencial de los cambios en el clima sobre el vigor o verdor de los bosques nativos a nivel comunal. Su disminución puede representar disminución del crecimiento, defoliación y muerte de partes de la copa o de los individuos.

Fuente: Elaboración propia en base a MMA, 2020a.

Dentro de otros potenciales riesgos sobre el ciclo del agua, los desastres naturales y los provocados por la acción antrópica son eventos que pueden afectar significativamente los ecosistemas, en particular a las fuentes de agua superficiales y subterráneas. En este sentido, la ocurrencia de incendios forestales representa una amenaza multidimensional para los ecosistemas y, también, la gestión del agua en las cuencas hidrográficas. Estos eventos pueden desencadenar riesgos, como, por ejemplo, la reducción de la infiltración del agua en el suelo debido a la destrucción de la capa vegetal protectora. Esta capa vegetal, crucial para el ciclo hidrológico, facilita la absorción gradual del agua de lluvia en el suelo, contribuyendo así a la recarga de los acuíferos y la regulación de los caudales de los ríos. Sin embargo, cuando los incendios arrasan con la vegetación, el suelo queda expuesto y vulnerable a la erosión, disminuyendo su capacidad para retener el agua y aumentando la escorrentía superficial. Este aumento en la escorrentía superficial conlleva a una mayor erosión del suelo, con el arrastre de sedimentos y otros materiales hacia los cuerpos de agua cercanos. La deposición de estos sedimentos puede alterar la composición química del agua, comprometiendo la calidad del recurso y amenazando la vida acuática.

4.4 RIESGOS EN LA DIMENSIÓN ECONÓMICA

La economía chilena está fuertemente basada en la utilización de recursos hídricos, ya que la geografía nacional alberga numerosas actividades que requieren del agua para la producción de bienes y/o servicios (Donoso, 2021). En este sentido, el vínculo existente entre el crecimiento económico del país y la demanda creciente por el recurso hídrico ha

llevado a que cerca de un 60% del PIB nacional está relacionado con el uso del agua⁷⁷ (Donoso, 2021; Álvarez-Garretón et al., 2023). De dicho porcentaje, se estima que el 82% es utilizado por el sector agropecuario, un 7% por el área industrial, un 3% en minería y un 8% por los servicios de agua potable y saneamiento (DGA, 2016; Meza et al., 2021).

4.4.1 Riesgos sobre el sector silvoagropecuario

El cambio en los patrones climáticos, como la disminución de las precipitaciones y el aumento de las temperaturas, incrementan la vulnerabilidad de las cuencas y territorios, tanto por la disminución de la oferta hídrica para riego como las afecciones sobre el propio rendimiento de los cultivos por otros factores (incidencia de temperaturas, incremento de evapotranspiración, entre otros). En la Tabla 4.4-1 se presentan las CDI identificadas desde ARClím con vinculación al sector de los recursos hídricos para la dimensión económica en cuanto a riesgos sobre el sector silvoagropecuario, las cuales corresponden a riesgo en el aprovechamiento de agua superficial en riego, cambio en productividad de vid y pérdida de uva pisquera por aumento en la frecuencia de sequías.

Tabla 4.4-1 CDI de ARClím vinculadas riesgos sobre el sector silvoagropecuario

Sector	CDI	Definición
Recursos Hídricos	Riesgo en el aprovechamiento de agua superficial en riego	Riesgo asociado a cambios en la vulnerabilidad extrema para las distintas zonas de riego expuestas. El riesgo aumenta al existir una disminución en los caudales, impidiendo que el uso del derecho pueda ser ejercido íntegramente, bajo efectos del cambio climático.
Agricultura	Cambio de productividad cultivo vid cepa Chardonnay	Riesgo u oportunidad en la producción de vid cepa Chardonnay
	Pérdida uva pisquera por aumento en la frecuencia de sequías (Región de Coquimbo)	Pérdida de superficie cultivable de uva pisquera por aumento en la frecuencia de sequías

Fuente: Elaboración propia en base a MMA, 2020a.

4.4.2 Riesgos sobre el sector minero

La minería es otro sector crítico en el uso del agua, especialmente porque las faenas están instaladas en regiones de extrema sequedad, como la Macrozona Norte o en zonas precordilleranas (Machado, 2010). ARClím cuenta con dos (2) CDI⁷⁸ vinculadas con el recurso hídrico y la minería, correspondientes al "Impacto de la sequía en faenas mineras" y al "Impacto de la alta pluviometría en relaves mineros" (ver Tabla 4.4-2), las cuales se relacionan con los impactos tanto de la disminución como del aumento de las precipitaciones que afectan de diversas formas las faenas y relaves mineros. Esta situación se puede observar principalmente en la Macrozona Norte del país, donde se

⁷⁷ Mayor información disponible en: <https://www.cr2.cl/la-dramatica-desaparicion-del-agua-en-chile-disponibilidad-ha-disminuido-hasta-37-en-algunas-zonas-la-tercera-2/>

⁷⁸ Las cadenas de impacto para el sector minería están actualmente en revisión https://arclim.mma.gob.cl/atlas/sector_index/mineria/.

concentra la mayor cantidad de faenas mineras, y en menor medida en la Macrozona Centro.

Tabla 4.4-2 CDI de ARClím vinculadas con riesgos sobre el sector minero

Sector	CDI	Definición
Minería (en revisión)	Impacto de sequía en faenas mineras	Riesgo por condiciones de baja pluviometría en faenas mineras localizadas a través del territorio nacional. Tales impactos pueden provocar escasez en el suministro de agua para las operaciones, impactando negativamente en la productividad. Información Preliminar - En revisión
	Impacto de la alta pluviometría en relaves mineros	Riesgo asociado a alta pluviometría en relaves mineros. En un escenario futuro de alta pluviometría los depósitos de relave son susceptibles a fallas de sus estructuras o la contaminación de fuentes de agua circundantes.

Fuente: Elaboración propia en base a MMA, 2020a.

Los eventos extremos impactan de manera concreta los territorios en donde se desarrolla la industria minera. Para abordar el riesgo de baja pluviometría y de la sequía que provoca escasez de suministro de agua para las operaciones mineras, en el caso de la Macrozona Norte se ha estado optando por la desalación. Por otro lado, en situaciones de lluvias extremas en relaves mineros, estos son susceptibles a fallas en sus estructuras y de mayor relevancia, riesgo de contaminación de fuentes de agua circundantes⁷⁹ (Del Rio et al., 2023); por tanto, el desarrollo de planes de manejo para relaves abandonados con consideraciones de cambio climático es una vía para mejorar la adaptación y reducción de la vulnerabilidad. Si bien las soluciones para abordar el riesgo de sequía apuntan a aumentar la seguridad hídrica de las faenas mineras, en el caso de precipitaciones intensas, las acciones deben apuntar a la seguridad hídrica para conservación y preservación ecosistémica.

4.4.3 Riesgos sobre el sector industrial

El sector industrial depende en forma crítica de la disponibilidad de agua para su correcto funcionamiento (CEPAL, 2009). Particularmente, requiere como insumo de operación agua cruda, la que en algunos casos es tomada directamente de la fuente de suministro de agua potable o de fuentes externas, como pozos de aguas subterráneas (CEPAL, 2009). De acuerdo con Samaniego (2009), los cambios en la disponibilidad de sus fuentes de abastecimiento implican aumentos en los costos de producción y, por ende, pérdidas de competitividad relativa. En términos de impactos y consecuencias que tiene el cambio climático en el sector industrial, ARClím no presenta CDI específicas de este sector; sin embargo, las amenazas apuntan a una disminución de la oferta de agua para sustentar los procesos productivos futuros.

⁷⁹ Página web ARClím. Consultado el 13 de mayo de 2024. Publicado en: https://arclim.mma.gob.cl/atlas/view/relaves_pluviometria_addcbit/

4.4.4 Riesgos sobre el sector energía

En un escenario de cambio climático donde se proyectan disminuciones en gran parte de los caudales del país, la generación hidroeléctrica se ve directamente afectada. A marzo del año 2022, a nivel nacional existían 7.413 MW de capacidad hidroelectricidad instalada, correspondiente a un 23% de la capacidad instalada total (Generadoras de Chile, 2023). De acuerdo con estudios del Ministerio de Energía (2016), el potencial hidroeléctrico hasta ese periodo era de 15.938 MW, es decir, el doble de la capacidad instalada, la que se concentraba en las cuencas del Biobío con un 18% (Macrozona Sur) y Baker y Palena (Macrozona Austral), con un 12% y 11%, respectivamente.

En la Tabla 4.4-3 se presenta una (1) CDI identificada en ARClím, vinculada con el sector de los recursos hídricos desde una perspectiva económica en cuanto a riesgos sobre el sector energía, que apunta a los impactos de la disminución del recurso hídrico en generación hidroeléctrica. Ello puede significar una variación en el valor futuro del recurso hídrico, reflejado en una gestión del agua adaptada a las nuevas circunstancias por parte de las centrales. Ante esto, se debe considerar además que eventos extremos como lluvias intensas pueden impactar directamente a la infraestructura hidroeléctrica.

Tabla 4.4-3 CDI de ARClím vinculadas con riesgos sobre el sector energía

Sector	CDI	Definición
Energía eléctrica	Impactos de disminución del recurso hídrico	Riesgo de aumento de los costos marginales del sistema eléctrico asociado a la disminución del recurso hídrico de las principales plantas de generación hidroeléctrica del país por los efectos del cambio climático. El índice toma valores altos en comunas con alto consumo eléctrico conectadas donde su suministro eléctrico se encuentra en la necesidad de compensar la generación eléctrica utilizando otros recursos más costosos.

Fuente: Elaboración propia en base a MMA, 2020a.

4.4.5 Riesgos sobre el sector acuícola

Chile se encuentra entre los primeros 10 productores acuícolas a nivel mundial, siendo el productor y exportador más importante de América Latina (Soto, León-Muñoz, Molinet, Soria-Galvarro, et al., 2020), destacando en producción de salmón y trucha. Sólo la salmonicultura chilena produjo más de 5.177 millones de dólares en 2021, alrededor del 5,5% del total de exportaciones del país, y 15% de las exportaciones no basadas en minerales (León-Muñoz et al., 2023).

De acuerdo con Soto et al., (2020), el predominio de un clima más seco y cálido, los fuertes procesos de cambio de uso de suelo y la creciente demanda de agua para usos antrópicos (irrigación, uso industrial, consumo humano) ha aumentado la presión sobre las cuencas hidrográficas, lo que podría impactar en detrimento de los cursos de agua dulce desde donde se abastece la salmonicultura chilena.

En relación con lo anterior, se identificó una (1) CDI de ARClím con vinculación al sector de los recursos hídricos para la dimensión económica en cuanto a riesgos sobre el sector

acuícola (Tabla 4.4-4), respecto de la pérdida de producción por menor provisión de agua dulce. En este sentido, adquieren relevancia las cuencas que abastecen a los centros acuícolas en tierra de las Macrozonas Centro y Sur que, al verse impactadas en una disminución del recurso, generan efectos adversos en la calidad y la cantidad del suministro de agua, vinculado al cambio en la cobertura de suelo y patrones climáticos.

Tabla 4.4-4 CDI de ARClím vinculadas con riesgos sobre el sector acuícola

Sector	CDI	Definición
Acuicultura	Salmonicultura: Pérdida de producción por menor provisión de agua dulce	Riesgo frente al cambio climático para la producción de huevos y juveniles de salmones en pisciculturas de agua dulce. El riesgo es una función que depende de las futuras tendencias hidroclimáticas (amenazas), la producción reportada en estas unidades de cultivo (exposición) y el tipo de cobertura de suelo presente en las cuencas que abastecen a las pisciculturas (sensibilidad).

Fuente: Elaboración propia en base a MMA, 2020a.

4.4.6 Riesgos sobre el sector turístico

La industria turística en Chile ha experimentado un crecimiento promedio anual de 7,8% en el arribo de turistas extranjeros en la última década, donde los atractivos naturales constituyen el mayor motivo de viaje declarado (SERNATUR, 2018). En 2018, el sector contribuyó con 3,3% al PIB del país de manera directa y 10,1% de manera directa e indirecta, con un aporte al empleo que representa el 4,4% del empleo total nacional (Gibbs & Meza, 2020). Según sus características geográficas, vocación y atractivos, los destinos turísticos se clasifican en: litorales, urbanos, rurales y de naturaleza, de montaña, lacustres y fluviales, insulares (SERNATUR, 2016); los más relevantes en relación con los recursos hídricos son aquellos relativos a lacustres y fluviales, y los destinos de montaña.

En el caso de destinos turísticos relacionados con cuerpos fluviales y lacustres, la seguridad hídrica apunta a la conservación y preservación de estos cuerpos de agua, los cuales pueden analizarse desde la dimensión ambiental. En el caso de destinos de montaña, estos están orientados a la práctica de deportes, entre los que se identifican los centros de esquí, y actividades de montaña, por ejemplo, relacionadas con cuerpos glaciares. En esta línea, ARClím dispone de dos (2) CDI con vinculación al sector de los recursos hídricos para la dimensión económica en cuanto a riesgos sobre el sector turístico, las que se detallan en la Tabla 4.4-5, por pérdida de atractivo en centros de alta montaña y por retroceso de glaciares

Tabla 4.4-5 CDI de ARClím vinculadas con riesgos sobre el sector turístico

Sector	CDI	Definición
Turismo	Pérdida de atractivo turístico invernal en centros de alta montaña	Las condiciones climáticas proyectan un aumento de temperaturas, disminución de precipitación, elevación de la isoterma cero, y disminución de acumulación de nieve, entre otros que afectarán el almacenamiento de nieve en las cuencas de cabecera. Afectando con ello las condiciones para las actividades de montaña en la temporada de invierno.
	Pérdida de atractivo turístico por retroceso de glaciares (Región de Aysén)	Riesgo de disminución del atractivo turístico de las comunas de la región debido al retroceso de glaciares, que representan uno de los principales atractivos de la región.

Fuente: Elaboración propia en base a MMA, 2020a.

Dadas las proyecciones de cambio climático (cambio en el patrón de precipitaciones, aumento de temperaturas, elevación de la isoterma 0°C) se prevé una disminución de la cobertura nival, lo que podría impactar en una menor oferta de pistas de esquí y una reducción de la temporada. A ello se suma el retroceso de glaciares, el cual, a nivel paisajístico, se ve afectado debido a la pérdida de atractivo recreativo, así como aumento del riesgo de aluviones a población aledaña por la configuración inestable de los valles que deja; ejemplo de ello son laderas con pendientes marcadas y material no consolidado (morrenas), que, junto con la conformación de lagunas glaciares, dificultan actividades de gran atractivo turístico como caminatas sobre hielo en glaciares.

CAPÍTULO 5 INTERRELACIÓN DE LAS DIMENSIONES SOCIAL, AMBIENTAL Y ECONÓMICA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

5.1 EFECTOS ADVERSOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE GRUPOS VULNERABLES

Las mujeres y los pueblos indígenas se encuentran dentro de la categoría de grupos vulnerables, entendidos como aquellos que experimentan discriminaciones múltiples debido a factores como su condición socioeconómica, edad, etnia, género, ruralidad y aislamiento geográfico, los que enfrentan un mayor riesgo en relación con la adaptación a los efectos del cambio climático (Royo Letelier, 2023; Welz & Krellenberg, 2016; Salinas et al., 2024). La LMCC los identifica como “segmentos de la población con un alto riesgo asociado a los impactos adversos del cambio climático, por tratarse de grupos ya marginados o en condiciones previas de vulnerabilidad” (Artículo 3 letra w LMCC, 2022). La normativa establece la importancia de promover instancias de participación abiertas e inclusivas, con un enfoque multicultural y de género, prestando una atención especial a estos grupos en la elaboración de instrumentos de gestión relacionados con el cambio climático.

5.1.1 Mujeres

Las mujeres han tenido históricamente un menor acceso a los recursos naturales y menor acceso a fuentes de obtención de agua, debido a dos razones fundamentales: por un lado, la estructuración del régimen de tenencia de la tierra definida por estándares patriarcales y, por otro lado, menor acceso a la toma de decisiones e injerencia en torno a los servicios de abastecimiento de agua (CEPAL, 2022). Además, existe un efecto diferenciado en relación con los procesos de adaptación al cambio climático en los recursos hídricos, identificándose a mujeres, adolescentes, niñas y adultos mayores como los segmentos de población más afectados, a causa de las desigualdades y exclusión social presentes en los territorios como parte de nudos estructurales de pobreza existentes, tanto en las zonas rurales y urbanas (Casas, 2017). En Chile, las mujeres destinan en promedio 41 horas semanales de su tiempo a trabajos que no son remunerados, lo que se traduce en que trabajan y destinan más del doble de las horas que los hombres en tareas domésticas y de cuidado (Fundación Sol, 2020). Mediante la realización de estos trabajos sostienen la reproducción de la vida y de los territorios, y principalmente requieren de agua para su ejecución. Sin disponibilidad de agua apropiada y de calidad, no es posible alimentar, regar, cocinar, limpiar ni asegurar la higiene personal (Salinas & Becker, 2022). Seguidamente se aborda un análisis de la situación de las mujeres rurales y su relación con el agua, así como el vínculo de las mujeres y su vinculación con la protección del recurso hídrico.

a) Mujeres rurales y acceso al agua

Las mujeres rurales asumen, entre otros roles, el de aprovisionamiento de agua para su grupo familiar, desarrollando prácticas y estrategias de solución para ellas y sus comunidades (Salinas et al., 2024). El acceso a las fuentes de agua es uno de los temas prioritarios que atraviesan las mujeres rurales en Chile (Salinas et al., 2024). Las mujeres rurales están profundamente vinculadas con el proceso de aprovisionamiento

de agua, tanto para el consumo humano como para el consumo agrícola. Invierten más horas del día en este proceso, considerando que, dentro de la unidad familiar es la que además está a cargo de las labores domésticas y las labores de cuidado (Salinas & Becker, 2022). El acceso a fuentes de agua es a través de servicio de agua potable, suministro de agua en camiones aljibes o acceso a fuentes de agua fuera de sus viviendas como pozos con napas subterráneas, acequias, arroyos y vertientes que no siempre se encuentran cercanos a sus viviendas (Salinas y Becker, 2022).

- **A través de Servicios Sanitarios Rurales (SSR).** En el artículo 114 del Decreto N°50 Reglamento de la Ley N°20.998 “Que regula los Servicios Sanitarios Rurales” se ha incorporado el concepto de equidad de género. En este se señala que “los operadores deberán promover la equidad de género en la constitución de sus órganos de administración y control interno, fomentando la participación equitativa de hombres y mujeres en los diferentes ámbitos del quehacer de la organización”. Esto es un avance en cuanto a ir generando consciencia de las necesidades diferenciadas que tienen hombres y mujeres.
- **A través de extracción de agua de pozos y vertientes.** Es relevante mencionar la existencia de comunidades que no forman parte del Programa de SSR, accediendo a agua desde fuentes informales como pozos, ríos y vertientes. Según la encuesta CASEN (2017), el 47% de la población rural no cuenta con acceso regular a agua potable. En el sector rural solo 28,8% de hogares recibe el agua potable desde un SSR, en el sector rural 15,04% la recibe desde otro tipo de planta o sistema de distribución comunitaria (con tratamiento) y en el sector rural 56,4% la obtienen directamente desde una fuente natural (sin tratamiento) (MIDESO, 2017).
- **A través de servicios de aprovisionamiento de agua mediante camiones aljibes.** Las mujeres han estado históricamente marginalizadas de la toma de decisiones e invisibilizadas en políticas públicas de gobernanza hídrica, a pesar de que en las comunidades rurales son quienes están a cargo de la administración y abastecimiento del agua en sus hogares (Salinas & Becker, 2022). Por ejemplo, en puntos de la Macrozona sur (San Juan de la Costa, región de Los Lagos), los efectos en las mujeres del abastecimiento de agua en camiones aljibes les genera una incertidumbre en la variación de los litros por persona que se pueden adquirir. Así mismo, genera inestabilidad la dependencia de un servicio externo condicionado a la factibilidad de acceso a las comunidades, dependencia a un servicio discontinuo vinculado a las condiciones climáticas (Bravo & Fragkou, 2019).

b) Mujeres rurales y autoconsumo de agua

En Chile, las mujeres rurales son las principales encargadas de la gestión y aprovisionamiento de agua en sus hogares, utilizando 4 horas adicionales al día para abastecer a su familia de agua. Las mujeres son las que se hacen cargo en la práctica de la unidad productiva y la que lidia con los temas de agua (CR2, 2021). A esta situación se suma el hecho que, en las comunidades rurales, gran parte de los hombres trabajan fuera de la comunidad por temporadas más largas, por lo que son las mujeres quienes

quedan a cargo de las labores de reproducción y sostenibilidad de la vida, ejerciendo múltiples roles como labores domésticas, campesinas, agrícolas, en dirigencias vecinales, de agua potable rural entre otras (Salinas & Becker, 2022). Las mujeres rurales utilizan el agua para autoconsumo dentro de sus viviendas (consumo humano), para riego agrícola de cultivos y huertas, y para consumo ganadero de sus crías de animales (Salinas et al., 2024), existiendo problemas de acarreo del agua hacia el interior de la vivienda, debiéndose distribuir en forma manual dado que no se cuenta con sistemas hidráulicos de distribución; esto, sumado a la edad de las mujeres, genera problemas de caderas, de dolores articulares, entre otros (Bravo & Fragkou, 2019).

- **Consumo humano.** Las mujeres rurales que no cuentan con abastecimiento desde SSR deben priorizar el agua que disponen para consumo humano al interior de sus viviendas, tanto para cocinar como labores de limpieza doméstica y aseo de los miembros de la familia (Salinas & Becker, 2022). Muchas veces, ellas mismas no alcanzan a cubrir las necesidades familiares de agua y para labores de aprovisionamiento, por lo que sus hijas e hijos colaboran, hecho que trae aparejada la deserción escolar (Casas, 2017). A su vez, las mujeres tienen menor acceso a puntos de agua potable, lo que las hace más proclives a sufrir problemas de salud debido a las aguas contaminadas (ONU Mujeres, 2018). Se ha estudiado que las aguas que contienen porcentajes de arsénico causan lesiones cutáneas y musculares, generando en las mujeres embarazadas subidas de presión sanguínea por el componente de sodio en aguas contaminadas (Scheelbeek et al., 2016; Wang et al., 2021). También se registran problemas con su higiene menstrual (Casas, 2017). En este sentido, la cantidad de horas dedicadas a la gestión del agua en el hogar, junto con las necesidades específicas de salud menstrual e higiene femenina, vuelve a las mujeres expertas en el reconocimiento de problemas de infraestructura a nivel comunitario y de vivienda, como también conocedoras de las necesidades hídricas específicas de adultos mayores, de las infancias, de las plantas y los animales (Salinas & Becker, 2022).
- **Consumo para riego agrícola.** El agua para riego es vital para mantener las economías familiares de las mujeres rurales, quienes utilizan agua para sus pequeñas y medianas producciones, a fin de desarrollar huertos caseros de auto subsistencia o promover la comercialización de sus productos (CEPAL, 2022; Salinas et al., 2024; Salinas & Becker, 2022). En Chile, aproximadamente un tercio de las explotaciones agropecuarias están a cargo de mujeres, mientras que el resto de las mujeres actúa desde otros ámbitos en la agricultura; ello permite distinguir tres universos de análisis: i) las mujeres que son jefas de explotaciones agropecuarias y forestales; ii) las mujeres que aportan su mano de obra familiar a las explotaciones; y iii) las mujeres que son asalariadas agrícolas (OMS, 2017). En Chile, las mujeres jefas de explotaciones agrícolas tienen menor acceso a agua de riego, con una superficie promedio regada de 1,7 ha, frente a los hombres jefes de explotaciones, con un promedio regado de 2,7 ha (Casas, 2017).

- **Consumo ganadero.** El consumo de agua de animales de corral corresponde a aquel asociado a la crianza avícola, ganado bovino, caprino u otros. Por ejemplo, la Región de Coquimbo, perteneciente a la Macrozona Norte, según ODEPA (2019), concentra el 54% de la masa de ganado caprino del país (ODEPA, 2019). La práctica de la trashumancia de cabras en Chile es antigua y ha sido una forma de adaptación a climas áridos. Sin embargo, es una práctica sociocultural productiva que hoy se ve amenazada por los periodos prolongados de sequía en la Macrozona Norte y por políticas sanitarias y agrícolas (Cialdella & Dubroeuq, 2003). Muchas crianceras de cabras son mujeres, hoy adultas mayores que se han visto presionadas a la migración climática por problemas para alimentar a sus animales y falta de oportunidades, como en el caso de Monte Patria (Álvarez- Garretón et al., 2021). A juicio de algunas crianceras, hay un efecto relacionado con el cambio climático que implica una migración forzada a centros urbanos y una reconversión en el rubro productivo.

c) Mujeres rurales y OU

La participación de las mujeres ocupando cargos dentro de Organizaciones de Usuarios de Agua (OU) es baja en relación con los hombres. Sólo el 12,4% con cargos en OU son mujeres, frente al 84,9% de hombres y 2,6% jurídico. Muchas mujeres participan de las organizaciones de usuarios, pero no toman de decisiones. En los cargos distribuidos por sexo en las organizaciones de agua potable rural, 43,3% son mujeres y 56,6% son hombres (Fundación Newenko, 2020). En este contexto, en Chile se están comenzando a desarrollar programas que buscan fortalecer a la mujer rural. Tal es el caso del Programa "Mujeres Rurales" de INDAP, planteándose como objetivo el apoyar a las pequeñas productoras y/o campesinas, en el desarrollo de iniciativas productivas de la explotación silvoagropecuarias y/o actividades conexas, considerando los siguientes objetivos específicos⁸⁰. Del mismo modo, la DGA ha desarrollado el "Curso de Formación de directoras de Organizaciones de Usuarios con Enfoque de Género", iniciativa que busca entregar herramientas en materia de gobernanza del agua, perspectiva de género y funcionamiento organizacional a mujeres pertenecientes a estas entidades (Resolución DGA N°1661, 2023).

d) Mujeres vinculadas a la defensa del territorio y del recurso hídrico

En Chile se han conformado, en la última década, distintos movimientos, agrupaciones y asociaciones a nivel local, regional y nacional en que las mujeres y jóvenes juegan un rol importante en la defensa de los derechos de aprovisionamiento de agua y defensa

⁸⁰ Resolución Exenta N° 0070-044088 de fecha 16 de noviembre de 2023, de INDAP, que aprueba operación del Programa Mujeres Rurales Convenio INDAP-PRODEMU entre el Instituto de Desarrollo Agropecuario - INDAP y la Fundación para la Promoción y Desarrollo de la Mujer - PRODEMU.

de sus territorios locales^{81 82}. La falta de agua potable para necesidades de saneamiento básico en distintas zonas ha llevado a unirse a demandas comunes, existiendo una conciencia ancestral de las mujeres rurales enlucha por los derechos fundamentales (Barros Cruz, 2020). Por otro lado, las mujeres indígenas tienen un conocimiento heredado de generación en generación con respecto al manejo y resguardo del medioambiente; sus sabidurías ancestrales y conocimientos les han permitido cuidar del recurso hídrico. La cosmovisión indígena entrega una manera distinta de vinculación con los recursos naturales en un modelo que está lejos del modelo de extracción. Se acerca a una relación dialógica y de respeto basada en la creencia ancestral que todos los elementos de la naturaleza tienen un espíritu protector. La visión del equilibrio en el uso de los recursos como el agua, no utilizar los recursos en forma indiscriminada, es parte esencial de las distintas cosmovisiones indígenas (Skewes, 1999). Las reivindicaciones de derechos de Pueblos Indígenas están centradas en acceso a tierras y acceso a recursos naturales entre ellos el agua. Las mujeres indígenas han sido las sostenedoras de procesos de resistencia (Bengoa, 2009).

5.1.2 Pueblos Indígenas

Según la OIT, los Pueblos Indígenas comparten seis características que ningún otro grupo de la sociedad presenta (OIT, 2018):

- (1) se encuentran entre los grupos más pobres de la población;
- (2) dependen de recursos naturales expuestos a la variabilidad y a los extremos climáticos;
- (3) viven en regiones geográficas y ecosistemas muy vulnerables al cambio climático;
- (4) su extrema vulnerabilidad y exposición a estos efectos les puede obligar a migrar;
- (5) la desigualdad de género, factor clave en las privaciones que sufren las mujeres indígenas, se agrava; y,
- (6) a menudo, existe una falta de conocimiento sobre las personas pertenecientes a estos pueblos, sus derechos e instituciones.

Diversos informes e investigaciones sobre los derechos de los Pueblos Indígenas reconocen que el cambio climático los afecta de manera desproporcionada debido a su dependencia de los ecosistemas y la disponibilidad de recursos hídricos, por lo que su degradación aumenta su vulnerabilidad (Naciones Unidas, 2018; Royo Letelier, 2023). Además, a pesar de su papel fundamental como guardianes de la biodiversidad, su participación en la toma de decisiones sobre el cambio climático y la protección de la biodiversidad es limitada, lo que dificulta la adaptación de sus territorios a los riesgos climáticos relacionados con el agua (Naciones Unidas 2022). Sin embargo, los Pueblos Indígenas, aun siendo uno de los grupos mayormente expuestos a los efectos adversos

⁸¹ Página web Aguas y Territorios, MODATIMA. Consultado el 14 de mayo de 2024. Publicado en: <https://aguayterritorios.cl/areas-de-trabajo/asamblea-de-mujeres-y-disidencias/#:~:text=La%20Asamblea%20de%20Mujeres%20y,se%20identifica%20con%20sus%20objetivos.>

⁸² Página web Ministerio del Medio Ambiente. Consultado el 14 de mayo de 2024. Publicado en: [https://mma.gob.cl/ministra-maiza-rojas-se-reune-con-las-ganadoras-del-concurso-mujeres-protectoras-del-agua/.](https://mma.gob.cl/ministra-maiza-rojas-se-reune-con-las-ganadoras-del-concurso-mujeres-protectoras-del-agua/)

del cambio climático, constituyen colectivos relevantes que los vuelve “agentes claves” (OIT, 2018) y “aliados” (FAO, 2021) frente al cambio climático. La acumulación de sus conocimientos, prácticas y costumbres asociadas a la conservación y uso sustentable de los recursos, así como sobre los ecosistemas, son fundamentales al momento de diseñar medidas que fomenten la adaptación y, en consecuencia, la resiliencia climática (Naciones Unidas, 2018). De hecho, FAO ha reconocido que aquel patrimonio inmaterial de los Pueblos Indígenas representa una contribución al desarrollo de los sistemas agrícolas y alimentarios del mundo (FAO, 2015).

Recientemente, FAO publicó el informe “Los pueblos indígenas y tribales y la gobernanza de los bosques”, en el cual constata que los bosques de los territorios indígenas en América Latina y el Caribe contienen el 30% del carbono almacenados en los bosques de la región, así como el 14% del carbono en los bosques tropicales a nivel mundial (FAO, 2021). En esa misma línea, los territorios de los Pueblos Indígenas abarcan aproximadamente un 25% de la superficie del planeta, concentrando un 40% de las zonas terrestres protegidas, preservando así un 80% de la biodiversidad que queda en el planeta (Naciones Unidas, 2022). Por ello, el derecho a la tierra y otros recursos, entre ellos el agua, son de vital relevancia, toda vez que los pueblos poseen un vínculo especial con estos elementos, cuyos recursos son parte esencial de su sobrevivencia (FAO, 2015).

En dicho contexto, Chile presenta las características indicadas por la OIT el año 2018 y que fueron mencionadas al inicio de este acápite, lo que permite sostener que los Pueblos Indígenas son para estos efectos ‘grupos vulnerables’ en relación con lo señalado en la LMCC. Según datos del MIDESO, el porcentaje de incidencia de pobreza en la población indígena es de 8,8%, mientras que es de un 2,7% en el caso de la pobreza extrema (superior a la población no indígena, representando un total aproximado 22% de pobreza en la población indígena nacional (MIDESO, 2017). Asimismo, la dependencia de recursos naturales ha llevado a conflictos socioambientales con impacto en la calidad y disponibilidad del agua, dado que se encuentran en territorios indígenas (Höhl, 2020; Romero et al., 2016). Junto con lo anterior, cabe destacar que sólo un 60% de los pueblos indígenas participa en la protección de recursos naturales (Gobierno de Chile, 2023).

En el marco de la actualización del PNACC, se realizó un análisis de riesgo climático de los Pueblos Indígenas, el que señala que, de la información disponible resultante de los procesos participativos, es posible adelantar tres aspectos transversales que emanan del análisis, a saber (Gobierno de Chile, 2023).

- La cosmovisión de los Pueblos Indígenas está relacionada estrechamente con todos los elementos de la naturaleza;
- Los talleres proporcionan información para agrupar dos categorías principales de riesgo, i) efectos negativos sobre los medios materiales de subsistencia y ii) pérdida de patrimonio cultural material e inmaterial; y,

- La existencia de factores externos que aumentan la vulnerabilidad, tales como (a) la interferencia entre la cultura indígena y algunas regulaciones del país; y, (b) la contaminación y sobreexplotación de la naturaleza.

En la Tabla 5.1-1 se sintetiza el análisis de vulnerabilidad al cambio climático de 10 Pueblos Indígenas⁸³ de Chile, utilizando como referencia las CDI conceptuales del Análisis de Riesgo Climático.

Tabla 5.1-1 Principales amenazas y riesgos frente al cambio climático asociados a los Pueblos Indígenas en el ámbito hídrico

Pueblo	Amenazas	Vulnerabilidad/Riesgos/Sensibilidad
Aimara	Disminución de precipitación sólida y líquida, eventos y temperaturas extremas.	Disponibilidad de agua, tanto en el consumo humano como para otros usos, y que podrían llevar a la destrucción de infraestructura de vivienda y de producción, que pone en riesgo tanto la vida de personas como sus medios de subsistencia.
Atacameño o Lican Antai	Aumento de la temperatura, incluyendo las extremas, la disminución de las precipitaciones, tanto en forma sólida como líquida, así como eventos extremos de precipitación.	Reducción en la menor disponibilidad de agua, un incremento de polvo químico en suspensión y la afectación de ecosistemas y humedales. Además, considerando la dependencia de zonas rurales, la cría doméstica de camélidos, la competencia por el agua y el trabajo asalariado aumentaría el riesgo de pérdida de medios subsistencia, tradiciones y costumbre ancestrales.
Quechua	Temperaturas extremas y mayor oscilación en el día, eventos extremos como lluvias, nevazón o granizadas, y una menor precipitación, tanto sólida como líquida.	Menor disponibilidad de agua, afectación de biodiversidad y bofedales, destrucción de infraestructura de viviendas, entre otros impactos. Estos factores, combinados con elementos de la vulnerabilidad tales como calendarios de siembras impracticables en la actualidad, familias adultas y con educación incompleta, dependencia de camélidos domésticos y trabajos asalariados, el escaso nivel de servicios básicos y viviendas poco adaptadas para los cambios ubicadas en zonas de riesgo aumentaría el riesgo de pérdidas humanas y medios de subsistencia.
Colla	Aumento de temperaturas extremas y una mayor variación de temperatura durante el día, eventos extremos de precipitación y disminución de precipitaciones, tanto sólida como líquida, y una evapotranspiración elevada.	Pérdida de cultivos y de frutales de germinación, menor disponibilidad de agua y cambio de patrones de migración de fauna. Además, la ausencia de servicios básicos y la dependencia de la agricultura y ganadería rural como elementos de sensibilidad, lo que aumentaría el riesgo de pérdida de medios de subsistencia y seguridad alimentaria, así como de las tradiciones y de los conocimientos ancestrales.

⁸³ A la fecha de elaboración del análisis, el Pueblo Selk'nam aún no tenía reconocimiento legal, por ello el análisis únicamente contempla los antecedentes de 10 Pueblos Indígenas.

Pueblo	Amenazas	Vulnerabilidad/Riesgos/Sensibilidad
Diaguita	Aumento de temperaturas extremas, mayor variación de temperatura durante el día, eventos de precipitación extremos y la disminución de precipitación, ambas tanto sólida como líquida, junto con el aumento de temperaturas.	Menor disponibilidad de agua y una mayor competencia en su uso, el avance de la desertificación, cambios en los patrones de migración de la fauna, pérdida de cultivos y de frutales de germinación, así como la afectación de petroglifos y pictoglifos.
Chango	Aumento del nivel del mar, la intensificación y frecuencias de vientos, y la disminución de la precipitación, tanto en forma sólida como líquida.	Proliferación de algas nocivas, la reducción de oxígeno y nutrientes en el agua, la alteración de los ciclos reproductivos de la flora y fauna terrestre, así como un mayor riesgo para la seguridad de las personas al navegar. Dependencia del litoral costero, la presencia limitada de servicios básicos, las largas distancias hacia otros asentamientos y la pérdida del idioma.
Rapa Nui	Aumento del nivel del mar, eventos extremos de precipitación como lluvias intensas, granizadas y tormentas, el incremento de la temperatura, la disminución de la precipitación, la evapotranspiración elevada y el aumento de la intensidad y frecuencia de los vientos.	Aumento de cárcavas y erosión de suelos, el aumento de probabilidades de incendios, cambios en la migración de la fauna y una menor disponibilidad del agua, generando una mayor competencia por este recurso. Dependencia de bienes continentales, la gestión de residuos hacia el continente según las condiciones del mar, el desarrollo en base al turismo, las prácticas tradicionales de quema de pastizales, la ganadería extensiva que erosiona los suelos, prácticas bovinas que han generado deforestación y la población flotante. Pérdida de medios de subsistencia, seguridad alimentaria y patrimonio cultural material e inmaterial.
Mapuche	Menor precipitación sólida y líquida, el aumento de temperatura y la evapotranspiración elevada, lo que afectaría ecosistemas de significancia cultural y una menor disponibilidad de agua.	Acceso al agua y los sistemas sanitarios rurales; las capacidades de las comunidades, como la organización y el conocimiento del territorio y la naturaleza, también se destacan como recursos importantes. Contaminación por agroquímicos, la destrucción de humedales, conflictos con la autoridad y problemas de gestión de la basura, todos los cuales afectan tanto a los ecosistemas nativos como a la cultura mapuche.
Kawashkar	Amenazas climáticas.	Escasez de individuos con saberes ancestrales y la influencia de la actividad asalariada, que limita las oportunidades de mantener las prácticas tradicionales.

Pueblo	Amenazas	Vulnerabilidad/Riesgos/Sensibilidad
Yagán	Menor precipitación sólida y líquida.	Impacto de la amenaza en la naturaleza, afectando primero a esta y, en consecuencia, a los recursos naturales esenciales para la cultura ancestral de la comunidad yagán de isla Navarino, agravando la falta de personas con conocimientos para transmitir su legado cultural.

Fuente: Elaboración propia en base a Actualización del PNACC (Gobierno de Chile, 2023).

Así mismo, la ECLP contempla como lineamiento transversal de las medidas de adaptación los conocimientos ancestrales de los Pueblos Indígenas y, sobre todo, la priorización –en tanto grupos vulnerables– en el diseño de instrumentos y medidas. Para ello, ha determinado que los instrumentos de gestión incluyan enfoques que evalúen su vulnerabilidad e identifiquen sus necesidades, mediante mecanismos participativos, involucrando de esta manera a los Pueblos Indígenas en la gestión del cambio climático (Gobierno de Chile, 2022). Esto se encuentra en sintonía con lo señalado por las Naciones Unidas (2021), en el sentido de "sensibilizar a actores públicos y privados, de la sociedad civil y la ciudadanía en torno a prácticas y tecnologías innovadoras en ahorro y uso eficiente del agua incorporando a los pueblos indígenas dado su conocimiento sobre prácticas para la gestión hídrica sostenible" (ONU, 2021).

5.2 EFECTOS ADVERSOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA CONFLICTIVIDAD HÍDRICA

Debido a sus múltiples usos y el gran número de actores, el agua ha sido foco de tensiones en todo el mundo, considerando que el agua dulce es un recurso escaso y limitado desigualmente distribuido, lo que conlleva el desafío de coordinar y mediar entre los diversos actores, funciones, intereses y actividades que requieren su uso (Hailu & Tolossa, 2020). Los Conflictos por el Agua (CpA) son un tipo de conflicto socioambiental que surge de la relación entre diversos actores territoriales con visiones, posiciones o intereses opuestos en torno al uso, gestión, administración, aprovechamiento y protección del recurso (Stubing et al., 2021).

5.2.1 Conflicto hídrico y cambio climático

La creciente demanda de agua debido al crecimiento demográfico, la necesidad de incrementar la producción agrícola, el marco normativo, el crecimiento económico, la gobernanza y gestión del agua, los sistemas ineficientes de uso del agua, así como la contaminación de los ecosistemas y la calidad del agua, contribuyen a la competencia entre distintos usos y al surgimiento de CpAs (Bolados et al., 2018; Guerrero-Valdebenito et al., 2018; Panez, 2018; Gleick & Iceland, 2018). Junto con lo anterior, las problemáticas asociadas con la calidad del agua también pueden representar un detonador de conflictos hídricos cuando están asociados a perjuicios productivos, económicos, ambientales y sanitarios a ciertos sectores y, por lo tanto, la calidad el agua (Martín & Justo, 2015).

Los efectos del cambio climático intensifican la competencia por recursos como la tierra, los alimentos y el agua, exacerbando las tensiones socioeconómicas pudiendo actuar como catalizador de conflictos.

5.2.2 Conflictos por el agua en Chile

La conflictividad por el agua en Chile está intrínsecamente marcada por el modelo de gobernanza y gestión del agua, materializado en el Código de Aguas (Prieto et al., 2019; Stubing et al., 2021). Es sobre este marco de gobernanza que diversos autores han identificado problemas sobre ciertos aspectos fundamentales de la gestión del agua, como su incapacidad de lograr la seguridad hídrica, una asignación justa de los recursos hídricos y evitar disputas de diversa índole (Bauer, 2015; Budds, 2020; Prieto et al., 2019). Específicamente en relación con los CpA, el modelo chileno ha sido criticado por su baja capacidad de resolución de conflictos, dado que éstos deben ser abordados por los propios usuarios, OU o, en casos más complejos, el sistema judicial (los juzgados, corte de apelaciones, e incluso la corte suprema) en lugar de la DGA (Budds, 2020; Budds, 2020).

Fuertemente ligado a lo anterior, está el hecho que en Chile el agua es un factor crítico para el desarrollo social, medioambiental y económico, presentando históricamente una economía basada en el uso intensivo de recursos naturales (C. J. Bauer, 2015; Molinos-Senante & Donoso, 2016; Thomashausen et al., 2018). En este sentido, el crecimiento económico se ha expandido, así como también la demanda por agua (Romero et al., 2016). Por ejemplo, solo el sector agrícola incrementó su demanda por recursos hídricos cerca de un 30% entre 1997 y 2007 (Donoso, 2021a)⁸⁴. Adicionalmente, un aspecto a destacar es que las actividades económicas intensivas en uso de agua se desarrollan geográficamente en la misma área donde los mayores polos poblacionales toman lugar (Barría et al., 2021).

Dado ello, los CpA han estado presentes por largo tiempo en el país, sin embargo, en las últimas décadas han experimentado una profundización y un aumento en su desarrollo (Bauer, 2015; Herrera et al., 2019; Usón et al., 2017). Un factor importante de esta acentuación y ampliación de la conflictividad en una diversidad de territorios, son los periodos de sequías cada vez más recurrentes relacionadas con el cambio climático, un problema previsto que se incrementa con el tiempo en el país (Vicuña et al., 2021). De esta forma, en Chile los CpA presentan diferentes distribuciones espaciales y naturalezas a lo largo del país⁸⁵, generalmente relacionados con problemas de acceso a los recursos hídricos en escenarios de sequía (permanente) y mayor competencia por su uso:

⁸⁴ Se ha llegado a señalar que cerca del 60% del PIB nacional es dependiente o usa los recursos hídricos (<https://reliefweb.int/report/chile/chiles-water-vulnerability-requires-watershed-and-water-management>).

⁸⁵ Larraín & Schaeffer (2010) realizan un primer mapeo de los CpA en Chile. Sin embargo, dado el tiempo de publicación (2010) no se han incluido en esta revisión.

- En la Macrozona Norte, los conflictos son principalmente entre la minería, la agricultura y las comunidades locales (Prieto, 2017); así como conflictos entre la minería, la agricultura y la demanda de agua de la población humana (Nicolás-Artero, 2021).
- En la Macrozona Centro, la explotación de los recursos hídricos superficiales y subterráneos por empresas agroindustriales, hidroeléctricas y empresas mineras ha generado conflictos crecientes con poblados rurales, pequeños agricultores, y el sector turístico (Bauer 2015; Budds, 2020).
- En la Macrozona Sur, la presencia de empresas hidroeléctricas y la contaminación generada por la industria forestal han conflictuado la zona, particularmente entre en conflicto con comunidades cordilleranas, mapuches y urbanas costeras, que han visto sus actividades económicas afectadas por los monocultivos y la contaminación (Stubing et al., 2021). Asimismo, existe preocupación por parte de los movimientos sociales sobre los impactos ambientales de los grandes proyectos hidroeléctricos (Bauer, 2015).
- En la Macrozona Austral, conflictos socio-territoriales más relevantes han sido aquellos asociados a la construcción de represas hidroeléctricas en la Patagonia (HidroAysén, central río Cuervo).

Utilizando la tipología de conflictos propuesta por Martín & Justo (2015), la Tabla 5.2-1 presenta una serie de ejemplos de tipos de CpA registrados en el país, que son un reflejo del modelo de gestión de aguas nacional (Bauer, 2015; Budds, 2020; Prieto et al., 2019; Vicuña et al., 2020). Adicionalmente, se incluye en la columna derecha algunos ejemplos de CpA que pueden tener un agravamiento debido a los cambios proyectos en la oferta de recursos hídricos para el país.

Tabla 5.2-1 Tipos y ejemplos de conflictos por el agua y acentuados en Chile por el cambio climático

Tipo de CpA	Definición	CpA identificados	Ejemplos de CpA potencialmente acentuados por CC en Chile
Conflictos entre usos del agua	Cuando el recurso no puede satisfacer las diferentes demandas existentes.	• Contraposición de usos del recurso. • Sobreexplotación del recurso (en un o más usos). • Problemas de acceso al recurso. • Impactos y daños del recurso.	• Conflictos de uso entre agricultura y generación hidroeléctrica (ej. lagunas del Maule y Laja). • Agotamiento del recurso (ej. cuenca del río Copiapó).

Tipo de CpA	Definición	CpA identificados	Ejemplos de CpA potencialmente acentuados por CC en Chile
Conflictos entre usuarios	Relativos a las características e intereses de los actores que comparten el recurso.	- Intereses individuales sobre colectivos. - Choque de cosmovisiones de modelos de desarrollo. - Oposición entre actores por usos del recurso hídrico. - Concentración del recurso. - Deficiente fiscalización de los usos del recurso.	- Baja en la disponibilidad del recurso hídrico que genera conflictos entre usuarios agrícolas, y también entre agricultura y otros usos (doméstico) (ej. cuenca de Ligua-Petorca). - Conflicto entre pequeñas comunidades indígenas y actividades productivas (ej. minería en Antofagasta).
Conflictos con actores no usuarios	Al intervenir sobre una cuenca, pero no directamente en el uso del agua.	- Oposición ante infraestructura hídrica. - Extracción de áridos a nivel local. - Intervenciones de terceros en las cuencas.	- Extracción de áridos en riberas de ríos (ej. cuenca del río Maipo). - Plantaciones forestales y disponibilidad de agua para comunidades locales (ej. comunidades indígenas).
Conflictos intergeneracionales	Tensionan necesidades de los niños, niñas y jóvenes del territorio, y sus preferencias y formas de vida.	- Tensiones por cambios en formas de vida. - Migración campo-ciudad. - Acciones presentes con impactos futuros.	Reducción en la oferta del recurso, modificando medios de vida. (ej. migrantes climáticos en la región de Coquimbo) o la afectación a comunidades costeras camaroneras (río Choapa).
Conflictos interjurisdiccionales	Tensión entre las diferentes divisiones político-administrativas respecto de los límites físicos y territoriales de las cuencas.	- Disponibilidad según zona de la cuenca. - Necesidad de justicia internacional ante proyectos de inversión extranjeros.	Seccionamiento de ríos en cuencas (ej. cuencas de los ríos Maipo y Aconcagua).

Tipo de CpA	Definición	CpA identificados	Ejemplos de CpA potencialmente acentuados por CC en Chile
Conflictos institucionales	Entre diferentes actores públicos y privados que tienen injerencia en la gestión del recurso hídrico.	• Problemas de administración y gestión del recurso. • Procesos sin información ni participación ciudadana. • Mercantilización del agua. • Elusión del sistema de evaluación de impactos. • Problemas de ordenamiento territorial y uso de suelo. • Multisectorialidad estatal confusa. • Información limitada sobre la realidad hídrica local.	• Distribución de agua entre secciones de ríos y entre usos (DGA-OUA-privados) (ej. cuenca del río Aconcagua y priorización usos). • No procedencia de evaluación ambiental (SEA) de proyectos intensivos en uso de recursos hídricos (como proyectos de tecnificación agrícola de gran envergadura). • Potencial conflicto entre instituciones que apuntan a conservar (ej. MMA) e instituciones de uso del agua (ej. CNR y Ley N° 18.450), y la paradoja de la eficiencia. • Proliferación de subdivisiones prediales rurales con fin habitacional sin planificación de sistemas de agua potable rural.

Fuente: Elaboración propia a partir de Stubing et al., 2021.

5.3 BRECHAS Y OPORTUNIDADES DE AVANCE EN SEGURIDAD HÍDRICA

El estado actual del sector recursos hídricos junto con los efectos adversos del cambio climático relevan una serie de brechas que definen la inseguridad hídrica en el territorio nacional (Álvarez-Garretón et al., 2023; Fuster et al., 2017; Rivera et al., 2023; Stehr et al., 2019)⁸⁶. Seguidamente se presenta una síntesis de brechas (y, por tanto, oportunidades de avance en seguridad hídrica), tanto citadas en la literatura como aquellas que se desprenden del análisis de vulnerabilidad y riesgos identificadas durante la elaboración del PACC-RH.

- **Acceso y cobertura de la provisión de agua potable y saneamiento.** A pesar de los altos índices de cobertura y acceso a agua potable en ambientes urbanos a nivel nacional (99,9%), en comunidades rurales estos índices bajan drásticamente, donde al año 2022, un 43% de la población rural (0,97 millones) contaba con acceso al agua por un medio distinto a la red pública, como pozos o norias (24%), extracción desde ríos o vertientes (8,8%), o camiones aljibe (8,4%) (CASEN, 2022). Las cifras indican una falta significativa de cobertura formal, lo que obliga a esta población a buscar otras fuentes de abastecimiento, donde en muchos casos su calidad no está garantizada, lo que a su vez aumenta el riesgo de transmisión de enfermedades. Asimismo, soluciones como camiones aljibe no resuelven los problemas estructurales de gestión y acceso al

⁸⁶ Es menester señalar que, de acuerdo con la última evaluación con respecto a seguridad hídrica llevada a cabo por el Instituto del Agua, Medio Ambiente y Salud de la Universidad de Naciones Unidas (UNU INWEH) clasifico a Chile como “moderadamente seguro” en términos de seguridad hídrica (MacAlister et al., 2023).

recurso hídrico. La misma tendencia se presenta para el acceso a saneamiento, donde existe un 12% de déficit a nivel nacional, con un 97% de cobertura en zonas urbanas y un 15% en zonas rurales (CASEN, 2022). Producto del cambio climático, y asociado a una disminución de la escorrentía y de recarga acuífera, se espera una mayor presión sobre las fuentes que abastecen a la población, impactando sobre la situación actual. Sobre este tema, se identifican las siguientes recomendaciones:

- Establecer un listado conjunto de proyectos de SSR, utilizando criterios transparentes de priorización y asignación de fondos, con el objetivo de evitar duplicación de esfuerzos y considerando tiempos de espera y tecnologías empleadas (Stehr & Vicuña, 2020).
 - Fortalecer a las comunidades vinculadas a SSR prioritarios, a través de programas de capacitación, promoviendo la sostenibilidad y la participación activa (Stehr & Vicuña, 2020).
 - Consagrar legalmente un área de protección de las captaciones de aguas subterráneas para consumo como agua potable (Stehr & Vicuña, 2020).
- **Protección de reservas hídricas subterráneas y criósfera.** Las reservas hídricas, tales como las aguas subterráneas contenidas en los acuíferos, así como los glaciares y nieves, son claves para garantizar la seguridad hídrica y el equilibrio ecosistémico, pero al mismo tiempo presentan una alta sensibilidad a los efectos adversos del cambio climático (Caretta et al., 2023). La sobreexplotación de los acuíferos por parte de los distintos usos del agua, producto de la falta de agua superficial, en conjunto con el actual escenario de megasequía, está causando un descenso sostenido de estas reservas, principalmente en la zona central del país (Álvarez-Garretón et al., 2023; Fernandez et al., 2021). Esta situación, configura una afectación a la sustentabilidad de los acuíferos, generando impactos socioeconómicos y ambientales, así como crecientes escenarios de conflictos entre usuarios del agua (Álvarez-Garretón et al., 2023). Lo anterior se refleja en que, a la fecha, existe un total de 217 SHAC que cuentan con limitaciones para el otorgamiento de DAA por encontrarse en riesgo su sustentabilidad^{87 88}. No obstante, solo 15 de estos SHAC cuentan con una Comunidad de Aguas Subterráneas (CAS) legalmente organizadas ante la DGA, con atribuciones legales para administrar y resguardar la sustentabilidad de las fuentes subterráneas. Por otra parte, glaciares y nieves se encuentran en riesgo producto de los impactos derivados del cambio climático, producto de la reducción de las precipitaciones y el aumento de la temperatura (Caretta et al., 2023; Javadinejad et al., 2020). En este contexto, la reforma al CdA del año 2022 en el inciso 5° de su Artículo 5, consignó que no se podrán constituir derechos de aprovechamiento sobre glaciares, representando un avance en la materia. Sin embargo, aún no existe una normativa específica que establezca a los glaciares, nieves, ambiente periglacial y permafrost, como objetos de

⁸⁷ Página web DGA, Áreas de Restricción. Consultado el 15 de mayo de 2024. Recuperado en: <https://dga.mop.gob.cl/Paginas/areasderestriccion.aspx>.

⁸⁸ Página web DGA, Zonas de Prohibición. Consultado el 15 de mayo de 2024. Recuperado en: <https://dga.mop.gob.cl/Paginas/zonadeprohibicion.aspx>.

protección frente al cambio climático y a la acción humana. Se identifican las siguientes recomendaciones en esta materia:

- Fortalecer las capacidades técnicas, de recursos humanos y presupuestarias de la DGA para promover, organizar y fortalecer las Comunidades de Aguas Subterráneas (CAS) a nivel nacional, con foco en los acuíferos que presentan afectación o riesgo en su sustentabilidad.
- Considerar medidas legales adicionales para proteger los glaciares, complementando futura normativa ambiental (González et al., 2019).
- **Protección de la calidad de las aguas.** Una brecha importante a nivel nacional es el desarrollo insuficiente de NSCA de aguas a nivel de cuencas, lo que implica que no puedan dictarse por normativa planes de prevención y/o descontaminación, dificultando la mantención y mejoramiento de la calidad de las fuentes, especialmente en zonas saturadas (Stehr, Álvarez, Álvarez, Artumí, et al., 2019). Respecto a esto, a la fecha solo existen 5 cuerpos superficiales que cuentan con NSCA, mientras que estas son inexistentes para fuentes subterráneas (Fuster et al., 2017). Por otra parte, a nivel nacional también existen brechas en cuanto al control de la contaminación difusa vinculada con las técnicas de regadío agrícola, la minería y silvicultura, así como en la gestión segura y tratamiento de aguas residuales, las que en muchos casos son dispuestas directamente en esteros, ríos, lagos y lagunas (Parra & Chiang, 2013; Stehr et al., 2019). Considerando los efectos adversos del cambio climático, específicamente en relación con la disminución de la escorrentía y de la recarga acuífera, una mayor presión sobre los cuerpos de agua repercutirá sobre la calidad de sus aguas. En materia de calidad de agua para su consumo de forma segura, se identifican las siguientes recomendaciones:
 - Acelerar la protección de las cuencas mediante la implementación eficiente de normas de calidad secundarias, además de establecer y ejecutar los planes de prevención y descontaminación, en el caso de que se sobrepase los indicadores establecidos en la normativa (Stehr, Álvarez, Álvarez, Artumí, et al., 2019).
 - Realizar controles regulares sobre la calidad y la salinidad de las aguas subterráneas en áreas costeras, junto con la implementación de tecnologías que mejoren la calidad del agua en zonas afectadas por la intrusión salina (Stehr & Vicuña, 2020).
 - Aumentar las capacidades analíticas para incluir más parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en el monitoreo del agua, adaptándose a los desafíos del cambio climático (Stehr & Vicuña, 2020).
- **Conservación y protección de los cuerpos de agua para fines ambientales.** En este contexto, y a fin de preservar las fuentes agua dulce, el CdA establece un caudal ecológico que considerará condiciones pertinentes a cada fuente superficial, conforme a lo establecido en su artículo 129 bis 1°. No obstante, el caudal ecológico que se aplica en la concesión de DAA no tiene una metodología con respaldo científico para el establecimiento de dichos caudales, siendo insuficiente para cumplir con los requisitos ambientales mínimos, degradando y modificando seriamente los ecosistemas

acuáticos, y, por ende, la calidad de las aguas y servicios ecosistémicos asociados (Álvarez-Garretón et al., 2023). En cuanto a humedales, las principales brechas se vinculan con: el fortalecimiento de su evaluación y monitoreo; cantidad de humedales dentro de categorías de protección, estimándose la existencia de cerca de 40.000 humedales sin protección específica; humedales protegidos a nivel internacional, contando solo con 16 sitios RAMSAR; protección de los humedales no urbanos, entre otros (Gómez, 2021; Habit et al., 2019). Ahora bien, cabe señalar la reciente publicación de la Ley N°21.660 Sobre protección ambiental de las turberas, con un reglamento que recoge el concepto de seguridad hídrica para los planes de manejo sustentable de cubierta vegetal del musgo *Sphagnum magellanicum*. Por otro lado, se debe relevar la importancia de los servicios ecosistémicos de los cuerpos de agua superficiales (en relación con los caudales ecológicos) y de los humedales en la provisión de agua, y aún en mayor medida en un contexto de cambio climático donde la sequía es uno de los eventos extremos más relevantes. En esta materia, se recopilaron las siguientes recomendaciones:

- Establecer un mecanismo para fijar caudales ecológicos en ríos y esteros de Chile, ajustando derechos de agua existentes a nuevas disponibilidades del caudal (Habit et al., 2019).
 - Priorizar la conservación de bofedales de la zona altiplánica (entre las regiones de Arica y Parinacota y Coquimbo) (Habit et al., 2019; Marquet et al., 2019).
 - Establecer los límites geográficos de protección de humedales basados en sus cuencas hidrográficas y, cuando no sea viable, implementar un manejo adecuado de la cuenca para garantizar la protección de ecosistema de agua dulce y su biodiversidad asociada (Habit et al., 2019; Marquet et al., 2019).
 - Diseñar acciones e incentivos para propietarios de tierra o de derechos de agua que fomenten la conservación y restauración de hábitats críticos, facilitando la conectividad entre áreas de protección y manteniendo servicios ambientales (Habit et al., 2019).
-
- **Monitoreo y análisis de información hidrometeorológica.** Diversos estudios han identificado que existen carencias e insuficiencias en la obtención, el monitoreo y el análisis de datos hidrometeorológicos, asociados tanto a disponibilidad como calidad de aguas, insumo clave para el desarrollo de políticas públicas y la toma de decisiones frente al cambio climático (Banco Mundial, 2013; Fundación Chile, 2022; DGA, 2017a; González et al., 2019). Si bien la DGA ha presentado grandes avances en cuanto a la recolección de datos hidrometeorológicos, contando actualmente con un Sistema Hidrométrico Nacional con más de 1.330 estaciones transmitiendo información en línea⁸⁹, aún existe una dispersión de datos en diversas plataformas, repositorios y estudios, así como una descoordinación y escaso nivel de intercambio entre instituciones (Banco Mundial, 2013) Lo anterior dificulta el contar con un sistema

⁸⁹ Página DGA. Consultado el día 15 de mayo de 2024. Recuperado en: <https://dga.mop.gob.cl/Paginas/hidrolineasatel.aspx>.

robusto de información como base para la toma de decisiones en la gestión del recurso hídrico en un contexto de cambio climático. Esta situación es particularmente crítica en las fuentes subterráneas, recurso vital para el abastecimiento de agua potable para el consumo humano, la agricultura, la minería y los ecosistemas, siendo clave para la gestión sostenible y la adaptación a la variabilidad climática (Ruz et al., 2020), debido la carencia de una red robusta de monitoreo y a la complejidad de modelar los acuíferos, brechas técnicas que han generado una sobreasignación de DAA producto de la declaración tardía de Zonas de Prohibición o Áreas de Restricción (Donoso et al., 2020). Dicha situación dificulta la toma de decisiones a nivel institucional y local a fin de garantizar el uso sustentable de los acuíferos (Donoso, 2021). A pesar de la brecha existente, la reforma al CdA del año 2022⁹⁰ representa un avance en materia de criterios técnicos y plazos para cumplir con la instalación del Monitoreo de Extracciones Efectivas (MEE) para aguas subterráneas y superficiales, regulado a través de diversas disposiciones⁹¹. Junto con lo anterior, en términos de calidad de aguas existe una gran brecha respecto al estudio y monitoreo de la contaminación del agua por fertilizantes derivados la actividad agrícola, así como de aquellos derivados del uso personal y farmacéutico (Climent et al., 2019; Stehr et al., 2019). En este ámbito, ciertos autores recomiendan:

- Fortalecer la red de monitoreo en aguas subterráneas a nivel nacional y desarrollar tecnologías que permitan modelar con mayor precisión los acuíferos, a fin de contar con información más detallada sobre su naturaleza, almacenamiento y dinámica, como base para una mejor toma de decisiones.
- Ampliar la red de monitoreo hidro-meteorológico para cubrir regiones desprovistas de datos, como la alta cordillera y la Patagonia; esta red debe estar diseñada e instalada a nivel de cuenca hidrográfica, considerando ciclos del agua y carbono (González et al., 2019; Stehr, Álvarez, Álvarez, Artumí, et al., 2019).
- Elaborar protocolos de colaboración para mejorar la información hidrológica y meteorológica, con énfasis en las variables meteorológicas de altura, además de potenciar la integración de bases de datos y repositorios a nivel local, regional, nacional e internacional (González et al., 2019; Stehr & Vicuña, 2020).
- Utilizar tecnología avanzada y segura en plataformas de información sobre cantidad, calidad y derechos de agua, otorgados y en uso efectivo, que entregue información actualizada en formatos que permitan su análisis posterior (Stehr, Álvarez, Álvarez, Artumí, et al., 2019; Stehr & Vicuña, 2020).

⁹⁰ Artículo 68 del CdA: "Dirección General de Aguas podrá exigir la instalación y mantención de sistemas de medición de caudales, de volúmenes extraídos y de niveles estáticos o dinámicos en las obras".

⁹¹ Decreto MOP N°53 de fecha 3 de abril de 2020, que aprueba reglamento de monitoreo de extracciones efectivas de aguas superficiales. Resolución D.G.A (Exenta) N°1238 de fecha 21 de junio de 2019, que determina las condiciones técnicas y los plazos a nivel nacional para cumplir con obligación de instalar y mantener un sistema de monitoreo y transmisión de extracciones efectivas en las obras de captación de aguas subterráneas. Resolución D.G.A. (Exenta) N°1608 de fecha 28 de junio de 2023, que modifica Resolución D.G.A (Exenta) N°1238 del año 2019.

- **Gobernanza a escala nacional y de cuenca y participación de grupos vulnerables al cambio climático.** El marco institucional de las aguas en Chile se compone de 43 actores con atribuciones en la materia, correspondientes a organismos de gobierno, OU y organismos autónomos (Banco Mundial, 2013). Esta fragmentación genera superposición y duplicidad de funciones, así como una gobernanza desarticulada y descoordinada a nivel vertical y horizontal entre los distintos niveles de gestión -nacional, regional y local-, dificultando el establecimiento de objetivos comunes, la descentralización, la colaboración entre sectores y la planificación estratégica para abordar la adaptación al cambio climático en el sector de los recursos hídricos (Álvarez-Garretón et al., 2023; Billi, Moraga, Aliste, Maillet, O’Ryan, Sapiains, Bórquez, Aldunce, Azócar, Blanco, Carrasco, Galleguillos, Hervé, Ibarra, Ibarra, et al., 2021; Urquiza et al., 2019). En este contexto, también existe una limitación respecto al acceso y disponibilidad presupuestaria a nivel institucional para hacer frente a la necesidad de adaptación al cambio climático (Aldunce & Vicuña, 2019). Junto con lo anterior, en términos del desarrollo de herramientas que permitan evaluar los avances de la gobernanza del agua en Chile a nivel global, cabe destacar que aún no se ha desarrollado un indicador permita hacer seguimiento a la seguridad hídrica del país. Por otro lado, la incorporación a nivel normativo de los PERHC con la reforma al CdA del 2022, y la dictación de su reglamento procedimental (Decreto N°58/2024), representan un avance en materia de generación de instancias de participación a nivel de cuenca a fin de resguardar la seguridad hídrica en los territorios. No obstante, el Estado requiere de mayores capacidades técnicas y financieras para su establecimiento en todas las cuencas del país, considerando que, en un contexto de creciente de escasez, los requerimientos hídricos y la conflictividad entre usuarios del agua se vuelve cada vez más crítica (Álvarez-Garretón et al., 2023). En relación con la participación efectiva de los grupos vulnerables en la formulación de estrategias, políticas y normativa en materia de adaptación al cambio climático, es clave para alcanzar la gestión integrada de las aguas y la seguridad hídrica en los territorios (GWP, 2021; Millaleo S, 2020). Respecto a esto, a nivel nacional existe una brecha a nivel político-normativo en cuanto a la generación de mecanismos que aseguren la participación e integración de los saberes y conocimientos de estos grupos, tales como pueblos indígenas y mujeres, en los instrumentos de gestión del recurso hídrico e instancias de toma de decisiones a nivel local. En este contexto, dichos grupos pueden volverse aún más vulnerables debido a acciones de adaptación que no son equitativas (Caretta et al., 2023). En particular, se identifica una brecha respecto a la participación efectiva de los Pueblos Indígenas en los PERHC, ya que no se asegura a nivel normativo su integración dentro de los actores que conformarán las Mesas Estratégicas de Recursos Hídricos, instancia que llevará adelante el desarrollo del instrumento. Por otro lado, el establecimiento de medidas en instrumentos de gestión, tales como los acuerdos de redistribución, así como en instancias de toma de decisiones internas de las OU, no consideran a nivel normativo la integración de conocimientos locales y estrategias ocupadas por Pueblos Indígenas y mujeres para afrontar la sequía y

promover la adaptación al cambio climático. En esta materia, se relevaron las siguientes recomendaciones:

- Facilitar la creación de espacios de participación comunitaria desde instituciones públicas, privadas y la academia, que integren los conocimientos locales y estrategias ocupadas por mujeres para la adaptación al cambio climático (Habit et al., 2019).
- Explorar otorgar personalidad jurídica a los ríos para facilitar su conservación y gestión óptima, integrando conocimientos locales y de Pueblos Indígenas en su manejo (Habit et al., 2019).

Gestión de riesgos de desastres en materia hídrica. La gestión de eventos extremos por cambio climático ha seguido hasta la fecha un enfoque reactivo, basado en respuestas una vez ocurrido o declarado un evento, con el fin de mitigar los impactos sobre el recurso hídrico. Si bien se observan avances en términos de coordinación interinstitucional por medio del SINAPRED, se requieren mejoras hacia sistema de monitoreo de amenazas robusto y de acceso público, así como la adecuación de los instrumentos de gestión y/o protección del recurso hídrico bajo la mirada del cambio climático. Por ejemplo, la DGA ha emitido un extenso número de declaraciones de zonas de escasez hídrica, herramienta de gestión territorial durante el presente periodo de megasequía; sin embargo, cabe la posibilidad de adaptar este instrumento (y otros) a una nueva normalidad hidroclimática. Así, a la fecha no existe un sistema nacional oficial de monitoreo y alerta temprana como el “Drought Monitor” de Estados Unidos o el “Monitor de Secas” de Brasil. Con respecto al abordaje del ordenamiento territorial vinculado a los efectos adversos del cambio climático a nivel país, es posible reconocer el proceso de EAE en la elaboración y desarrollo de diversos IPT de carácter normativo, donde en las últimas décadas se han generado avances con la publicación el año 2021 de la PNOT y la creación el año 2023 del CNDT⁹².

- **Conocimiento ancestral, investigación, educación y capacidades tecnológicas en torno al recurso hídrico.** Existe una brecha en el fortalecimiento del nexo ciencia-política, así como de la promoción y el financiamiento de la investigación y desarrollo de capacidades tecnológicas en materia de recursos hídricos, elementos cruciales para impulsar cambios institucionales, sociales, económicos y ambientales que permitan el avance hacia una trayectoria de desarrollo sostenible (Aldunce & Vicuña, 2019). Junto con esto, existe una falta de fomento y divulgación del conocimiento y la educación en materia de recurso hídrico a nivel de recintos educacionales, comunidades locales, sector público y privado, tomadores de decisiones y sociedad civil (Banco Mundial, 2013; Stehr et al., 2019). Estas medidas son claves para inspirar el compromiso ciudadano y avanzar en las transformaciones que son necesarias para alcanzar la adaptación al cambio climático (Aldunce & Vicuña, 2019). En este contexto, es

⁹² El rol clave del consejo consiste en asesorar al Presidente de la República para la implementación de la Política Nacional de Desarrollo Urbano (PNDU), la Política Nacional de Desarrollo Rural (PNDR) y la Política Nacional de Ordenamiento Territorial (PNOT).

relevante recordar que los Pueblos Indígenas son actores clave en la adaptación al cambio climático, dados sus saberes ancestrales en la gestión del agua. Algunas recomendaciones apuntan a:

- Ampliar la educación sobre recursos hídricos más allá de las escuelas, incluyendo al sector privado, público, tomadores de decisiones y sociedad civil, siendo crucial desarrollar estrategias, programas y metodologías adaptadas a cada grupo (Stehr et al., 2019).
- Implementar un plan integral de educación y difusión sobre la relevancia de la criósfera en los servicios ecosistémicos, dirigido a todos los estratos sociales, desde niveles escolares hasta sectores público y privado (González et al., 2019).
- **Infraestructura hídrica, nuevas fuentes y Soluciones basadas en la Naturaleza.** A nivel de infraestructura hídrica, existen brechas significativas en lo que respecta al suministro de agua potable y tratamiento de aguas servidas en zonas rurales, situación que está casi cubierta al 100% en zonas urbanas, representando un riesgo para la seguridad hídrica de la población (Stehr & Vicuña, 2020). Por otro lado, en respuesta a la mayor ocurrencia de incendios forestales, se recomienda que las empresas sanitarias desarrollen instrumentos de GRD (planes de contingencia, campañas de prevención) para proteger la infraestructura hídrica y mantener el suministro de agua potable; en las zonas rurales o en la interfaz urbano-rural también es relevante el riesgo de mayor afectación a infraestructura SSR por incendios. En cuanto a obras de riego, si bien las mejoras en su eficiencia impulsadas por subsidios estatales (Ley N°18.450/1985) han sido un avance para hacer frente a la escasez hídrica, representan un riesgo respecto al posible aumento de la superficie regada, considerando que existe una brecha en cuanto al establecimiento de protocolos que incluyan la incertidumbre del cambio climático en proyectos de infraestructura de riego (Donoso et al., 2009; Stehr & Vicuña, 2020). Respecto al desarrollo de proyectos de desalinización, la modificación de la Ley Orgánica del MOP (Ley N° 15.840/ 1964), representa un avance en términos del desarrollo de infraestructura hídrica fiscal, a fin de aumentar la disponibilidad de agua para consumo humano, saneamiento y riego en un contexto de escasez hídrica. Sin embargo, aún no existe una regulación específica relativa a la extracción, procesamiento, tratamiento, distribución y DAA asociados al agua desalinizada, así como sobre su uso por parte de actividades industriales o consumo humano (Vicuña et al., 2022). Por otro lado, se evidencia una brecha en la promoción, implementación y evaluación de los costos y beneficios asociados a las SbN, destinadas a aumentar la disponibilidad hídrica y mejorar calidad de las aguas, tales como: obras de infiltración en ciudades para la recarga de acuíferos; restauración y protección de ecosistemas, así como de humedales urbanos y rurales; jardines de infiltración, entre otros (Marquet et al., 2019; Stehr & Vicuña, 2020). Se identificaron las siguientes recomendaciones en la materia:
- Incorporar en la evaluación de proyectos de riego los efectos del cambio climático con el fin de analizar su sustentabilidad en el tiempo (Stehr & Vicuña, 2020).

- Priorizar la rehabilitación de embalses de mediana envergadura para recuperar capacidad de almacenamiento y proteger el caudal ambiental y la flora ribereña asociada (Stehr & Vicuña, 2020).
- Planificar el desarrollo de obras de infraestructura procurando la reducción de la fragmentación física de los ríos causada por la construcción de obras de almacenamiento o generación de energía (Habit et al., 2019).
- Considerar variables y condicionantes en la toma de decisión de las soluciones a implementar, como que el volumen a almacenar sea tal que el caudal promedio estacional del río y el flujo de sedimentos se mantenga estable (Stehr & Vicuña, 2020).
- Agotar estrategias de gestión de la demanda de agua como complemento a las inversiones en infraestructura de riego, incluyendo cambios en los turnos de uso de los canales y la colaboración entre usuarios de agua para gestionar de manera más eficiente y equitativa el uso del recurso hídrico disponible (Stehr & Vicuña, 2020).
- Evaluar cuidadosamente los efectos a largo plazo de las mejoras en eficiencia en el riego, considerando la posible reducción en la disponibilidad de agua a escala de cuenca por aumento de las hectáreas destinadas a riego, conocida como la "paradoja de la eficiencia de riego" (Stehr & Vicuña, 2020).
- Priorizar el uso del agua desalinizada para consumo humano y asegurar que se utilice como una opción complementaria o sustituta cuando otras fuentes naturales no estén disponibles o sean insuficientes (Vicuña et al., 2022).
- Garantizar la accesibilidad al agua desalinizada a toda la población que lo requiera y evitar que las poblaciones vulnerables enfrenten cobros excesivos debido a los costos asociados, asegurando la equidad en el acceso al recurso (Vicuña et al., 2022).
- Vigilar los posibles problemas de salud asociados al consumo de agua desalinizada, tanto a corto como a largo plazo, para proteger la salud pública, estableciendo estándares de calidad del agua y exigiendo el monitoreo ambiental del agua desalinizada a nivel doméstico-comunitario para garantizar su seguridad y salubridad (Vicuña et al., 2022).
- Considerar los ríos como sistemas abiertos e interactivos con el paisaje circundante al planificar nuevas obras, adoptando una perspectiva espacial y temporal amplia (Stehr et al., 2019).
- Avanzar en investigaciones y desarrollo de SbN, como la protección de humedales y bosques, con baja intervención antrópica, al igual que los bosques ribereños, fundamentales para mantener el servicio ecosistémico de provisión de agua en calidad y cantidad suficientes para el consumo humano y la protección ecosistémica, creando estrategias de financiamiento específicamente para su implementación (Muñoz et al., 2020; Stehr A et al., 2019).
- Implementar acciones de restauración de ecosistemas degradados, mediante la creación de incentivos económicos como sistemas de pago por servicios ecosistémicos (Marquet et al., 2019; Stehr A et al., 2019; Stehr & Vicuña, 2020).

CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A partir de la caracterización del sector de los recursos hídricos, el análisis de vulnerabilidad y riesgos y la interrelación entre las diferentes dimensiones (social, ambiental y económica) se presentan los principales hallazgos y las conclusiones acorde a los 4 Objetivos Específicos establecidos para el PACC-RH; seguidamente, se incluye una serie de recomendaciones para la identificación de medidas de adaptación del plan.

6.1 SEGURIDAD HÍDRICA PARA CONSUMO HUMANO, DE SUBSISTENCIA Y SANEAMIENTO

- **Sobre la provisión y consumo de agua potable en el sector urbano.** A nivel nacional, al año 2022, existen altos niveles de cobertura de distribución de agua potable (99,9%), abasteciendo a cerca de 16 millones de personas. El consumo de agua potable, según una estimación del año 2015, ascendió a 1.179 de hm³/año (donde el 72% corresponde a la Macrozona Centro), y representando un 11% de la demanda total consuntiva a nivel país. Si bien se observa que los niveles de consumo se han reducido en el tiempo, con un promedio nacional cercano a 160 l/habitante/día el año 2021, esta cifra supera referencias internacionales de consumo de agua (100 l/habitante/día). Por otro lado, el porcentaje de agua no facturada a nivel nacional al año 2022 se sitúa en torno al 33%.
- **Sobre la provisión y consumo de agua potable en el sector rural.** La provisión de agua potable, a través de 2.368 SSR, alcanza en torno a 2 millones de personas, abarcando zonas concentradas y semiconcentradas, con escasa implementación en zonas dispersas. La demanda por agua potable rural se estimó, al año 2015, en 112 hm³/año (donde el 61% y 30% corresponden a la Macrozona Centro y Sur, respectivamente), representando un 1% de la demanda total consuntiva a nivel país. Respecto al acceso, al año 2022 se registra que solo el 57% lo realiza a través de red pública, mientras que el 43% de la población rural lo realiza por un medio distinto, como pozos o norias (24,0%), extracción desde ríos/vertientes (8,8%) o camiones aljibe (8,4%). Ciertas localidades, especialmente aquellas abastecidas por camiones aljibe, tienen una dotación inferior a 100 l/habitante/día, presentando una brecha importante con respecto a sectores urbanos.
- **Sobre el saneamiento en los sectores urbano y rural.** A nivel nacional, al año 2022, y en relación con el acceso a saneamiento, existe una cobertura aproximada del 87,9%, pero con una diferencia significativa entre sector urbano (96,7%) y sector rural (14,8%). En las áreas rurales, la Macrozona Sur presenta los menores niveles de conexión a redes públicas (10,4%), seguida por la Macrozona Centro (15,8%).
Sobre los desafíos en agua potable y saneamiento. La reducción de precipitaciones e incremento de sequías hidrológicas determina un mayor riesgo potencial sobre la seguridad hídrica urbana, especialmente en el área geográfica comprendida entre el sur de la Macrozona Norte y el sector norte de Macrozona Sur

(regiones de Coquimbo a Biobío), donde se emplaza la mayor parte de la población. En este contexto, las empresas sanitarias están apuntando hacia estrategias tales como el uso de plantas desalinizadoras (en la Macrozona Norte) o el mejoramiento en la capacidad de almacenamiento y tratamiento de aguas superficiales (en la Macrozona Centro), acciones que repercuten sobre sus costos de producción. En sectores rurales, la megasequía ha producido mermas en la seguridad hídrica afectando el desarrollo de los modos de vida, dadas las reducciones en la oferta superficial y el descenso en los niveles de aguas subterráneas. Además, en ciertos sectores del país, la reducción en la disponibilidad superficial ha conllevado a conflictos entre el consumo humano y sectores productivos tales como el riego y la minería, así como a la búsqueda de alternativas de provisión de agua que permitan enfrentar la inseguridad hídrica, como la provisión mediante camiones aljibe. Cabe señalar que el uso de camiones aljibe, si bien ha tratado de paliar la disminución de los niveles subterráneos y fallas y/o cortes de suministro, no ha resuelto los problemas estructurales de la inseguridad hídrica sobre el consumo humano y de subsistencia, donde en algunas zonas, además, la calidad del agua no está garantizada. Adicionalmente, modalidades informales de organización (individual y colectivas) de acceso al agua en ocasiones quedan invisibilizadas, así como el rol de las mujeres rurales en el acceso y gestión del agua para consumo humano y agrícola. Si bien la reforma al Código de Aguas del año 2022 apunta al fortalecimiento de la seguridad hídrica sobre el consumo humano, relevando los usos domésticos de subsistencia, las brechas detectadas en modos de acceso y saneamiento, los problemas de funcionamiento de los SSR y la situación precaria en el acceso de recursos hídricos de habitantes de zonas dispersas y mujeres plantean desafíos para encontrar soluciones de carácter estructural, que permitan la mantención y el desarrollo de medios de vida rurales, evitando reducir potenciales migraciones hacia sectores urbanos así como conflictos entre diferentes usuarios de agua.

6.2 SEGURIDAD HÍDRICA PARA CONSERVACIÓN Y PRESERVACIÓN ECOSISTÉMICA

- **Sobre las fuentes y la demanda de agua para fines ambientales.** Chile cuenta con 1.251 ríos, 368 lagos, 12.416 lagunas, 212 acuíferos y 26.169 glaciares. Se estimó que la demanda in situ asociada a caudales de protección ambiental al año 2015 en áreas protegidas (tales como SNASPE, sitios RAMSAR u otros) donde existía monitoreo DGA de flujos superficiales se situó en torno a 4.624 m³/s a nivel país, flujos requeridos mayoritariamente en la Macrozona Sur (41%) y Austral (44%).
- **Sobre el estado de la calidad de las aguas.** Según el reporte país del ODS 6.3.2, un 76% de las cuencas presentan buena calidad ambiental, basadas en el monitoreo de aguas superficiales de 50 cuencas sobre un total de 101 a escala nacional. A nivel de lagos y lagunas, según información de la condición trófica para 30 cuerpos de agua (de un total de 12.784 a nivel país), el 60% se encuentra en condición oligo o oligo-mesotrófica. Respecto de humedales costeros, 11 de un total de 21 humedales monitoreados presentaron un estado mesotrófico (52%). Respecto de las aguas subterráneas, 41 acuíferos de 48 bajo muestreo (85%) presentó una buena calidad

ambiental según criterios del objetivo ODS 6.3.2, con una cobertura de monitoreo entre la Macrozona Norte (Coquimbo) y la Macrozona Sur (Los Ríos); estos 41 acuíferos representan el 41% del total de acuíferos delimitados por la DGA (99 acuíferos).

- **Sobre los riesgos en los cuerpos de agua superficiales, subterráneos y criósfera.** La disminución en la escorrentía media anual determina riesgos en la disponibilidad de agua para fines ambientales, especialmente en la Macrozona Norte y Centro. Además, se proyecta un deterioro de los humedales, producto de falta de precipitación (y alzas en el nivel del mar en aquellos costeros), determinando potenciales pérdidas de superficie y servicios ecosistémicos asociados. Por su parte, las aguas subterráneas presentan un deterioro y disminución sostenido de sus niveles. La reducción de precipitaciones y caudales ha impactado en la recarga natural de los cuerpos subterráneos, donde además se han convertido en un complemento o reemplazo de las aguas superficiales para el desarrollo de actividades productivas, como el riego agrícola principalmente en la Macrozona Centro. Además, se observa un retroceso de glaciares, con un aceleramiento de este proceso dado el contexto de megasequía, particularmente en la Macrozona Centro. Las proyecciones climáticas muestran repliegues de las áreas glaciares en todas las macrozonas sobre el 35% para el periodo 2030-2060, siendo mayores en la Macrozona Sur y la Macrozona Austral. En relación con otros riesgos en el ciclo del agua, cabe señalar que la pérdida del verdor de los bosques nativos podría afectar, entre otros, las dinámicas del ciclo del agua en las cuencas, la interceptación de la precipitación, los niveles de evapotranspiración y escorrentía.
- **Sobre los desafíos en conservación y preservación ecosistémica.** La reforma del Código de Aguas del año 2022 contiene avances en la protección ecosistémica, entre otros, mediante la potestad de la DGA en la dictación de decretos de reserva de caudales. Sin embargo, se identifica la necesidad de revisar a nivel país la actual aplicación del caudal mínimo ecológico en un contexto de cambio climático, donde se proyecta, en términos generales, una disminución en los flujos superficiales. Asimismo, un impulso en la generación de NSCA permitiría fortalecer el monitoreo con enfoque territorial, generando planes de prevención y/o descontaminación donde se requiera, propiciando acciones tendientes hacia la conservación de la buena calidad en las aguas. También surge la necesidad de avanzar en el mejoramiento de la protección de los recursos como acuíferos, lagos, lagunas y humedales, los que contribuyen a la calidad ambiental de los recursos hídricos, explorando la factibilidad de implementar mecanismos complementarios a los existentes (leyes, normas) que posibiliten la protección del ecosistema hídrico, incentivando a privados en dicha protección (y de su biodiversidad), donde programas del tipo pagos por servicios ambientales a nivel de cuenca o cuerpo de agua, pudiesen ser una contribución a este propósito. Por otro lado, actualmente, el manejo de situaciones de escasez por medio de Decretos de Escasez Hídrica presenta una contraposición cuando se aplica de forma estructural, al permitir la extracción de aguas subterráneas (y superficiales) para satisfacer los niveles de demanda existentes (sin necesidad de constituir DAA y sin la limitación del caudal ecológico mínimo), reduciendo sus niveles y potenciando el riesgo de insostenibilidad de uso de la fuente, perjudicando su protección, función ecosistémica

y usos de mediano y largo plazo del recurso. En este sentido, una adecuación de este instrumento de gestión en un escenario de cambio climático parece pertinente. Además, el conocimiento del impacto de las SbN sobre el ciclo del agua es un aspecto que desarrollar en términos de gestión hídrica, para lo cual previamente se debe impulsar la infraestructura verde y soluciones alternativas tales como la recarga de acuíferos u otros.

6.3 SEGURIDAD HÍDRICA PARA DESARROLLO PRODUCTIVO

- **Sobre la demanda de agua para desarrollo productivo.** Se estima que cerca del 60% del PIB nacional está relacionado al uso del agua, identificándose una alta dependencia sobre el uso del agua sobre la economía nacional. El año 2015, se estimó una demanda consuntiva asociada a rubros productivos de 9.618 hm³/año (sector silvoagropecuario, minero e industrial, y generación de energía), mientras que la demanda no consuntiva se evaluó en 154.763 hm³/año (representado por los sectores acuícola y de generación de energía); en términos porcentuales, la demanda consuntiva representó un 6% frente al 94% de tipo no consuntivo. Además, se estimó una demanda in situ asociada al sector turismo de 2.517 m³/s. La proyección de uso al año 2030 estimó un leve ascenso respecto al año 2015 (3% en demanda consuntiva y 5% en aquella no consuntiva).
- **Sobre los riesgos en el sector agropecuario.** La agricultura bajo riego es el sector productivo que posee las mayores extracciones de recursos hídricos (73-82%), concentradas en la Macrozona Centro. La menor oferta de caudales superficiales durante la megasequía ha sido gestionada a través de los volúmenes acumulados en embalses, y una serie de soluciones tales como reducciones en áreas de producción, riego deficitario o reasignación de agua a cultivos de mayor valor. Sin embargo, y especialmente en la Macrozona Norte (Región de Coquimbo), los embalses no han proporcionado la seguridad de riego esperado. De forma generalizada, la reducción en la oferta de agua superficial y la situación crítica de los embalses ha conllevado un aumento en la extracción de aguas subterráneas para tratar de mantener la superficie cultivada. En el sector pecuario, el abandono de la producción o la búsqueda de nuevas fuentes de agua han sido las repercusiones más evidentes de la falta de recurso hídrico.
- **Sobre los riesgos en el sector minero e industrial.** El sector de la gran minería ha recurrido a la desalación para satisfacer su demanda en la Macrozona Norte para asegurar el caudal suficiente para su nivel de producción, construyendo plantas desalinizadoras de forma individualizada, dada la inexistencia de un marco de planificadora a escala nacional sobre esta nueva fuente. El recurso hídrico para la gran minería de la Macrozona Centro, hasta el momento, se ha mantenido proveniente de fuentes continentales. El sector industrial en mayor situación de riesgo en relación con el abastecimiento es aquel no conectado a la red de las empresas sanitarias, esto es, con fuentes propias, generalmente por aguas subterráneas, asociado a la disminución de las napas freáticas y la capacidad productiva de pozos.

- **Sobre los riesgos en el sector de generación de energía.** La generación hidroeléctrica se ve directamente afectada por la disminución de precipitación y por ende de escorrentía, provocando aumentos en los costos marginales de operación. El sector tiene posibilidades de generación que doblan su capacidad instalada actual; sin embargo, los cambios climáticos alterarán las condiciones hidrológicas promedio, reduciendo el potencial de generación y alterando el funcionamiento histórico de la operación de embalses. Además, el desarrollo futuro debe tener en cuenta los crecientes problemas medioambientales y preocupaciones y conflictos con otros usuarios del agua, como el sector agrícola.
- **Sobre los riesgos en el sector acuícola.** Hallazgos muestran una tendencia al alza en la sensibilidad (vulnerabilidad) de mediano y largo plazo (2050) del sector acuícola, debido a los cambios en la cobertura vegetal de las cuencas hidrográficas, impactando la provisión de agua en cantidad y calidad, especialmente en la Macrozona Sur. Sin embargo, no hay información sobre las capacidades y/o acciones de la industria acuícola para adaptarse a los impactos de pérdidas de producción por los cambios esperados en precipitaciones y temperaturas.
- **Sobre los riesgos en el sector turismo.** Parte del rubro turístico del país está asociado a la existencia de un entorno donde la componente hídrica es relevante. En este sentido, las afectaciones más visibles apuntan a las actividades asociadas a la nieve, donde una menor acumulación y disminución de la temporada se relevan con mayor impacto, principalmente en la Macrozona Austral.
- **Sobre los desafíos en desarrollo productivo.** El análisis de riesgo climático a nivel de actividad productiva revela que los diversos sectores económicos tienen riesgos potenciales en su sostenibilidad, pero al mismo tiempo se identifican avances en la implementación de acciones de adaptación producto (principalmente) de la megasequía persistente. El análisis vislumbra reducciones en el uso del recurso hídrico; no obstante, hay una falta de desarrollo de la gestión en el uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas, considerando la escala de cuenca. Dado el descenso sostenido que muestran los niveles de pozos, especialmente en la Macrozona Centro, se requiere avanzar en soluciones que permitan su gestión sostenible en el largo plazo, tanto en términos de cantidad como de calidad de sus aguas. En la misma línea, se debe impulsar la elaboración de planes de recuperación acuífera cuando corresponda. Otras iniciativas en nuevas fuentes (al margen de la desalación para el sector minero) siguen a escala piloto o muy incipiente. En esta línea, si bien el nivel de cobertura de saneamiento urbana es alto (97%), el reúso de AST a escala nacional es aún muy bajo (6%); por lo tanto, existe un volumen importante de agua potencialmente posible de reutilizar. Por otro lado, si bien se encuentran bajo monitoreo, a través del Servicio Hidrométrico de la DGA, los principales cuerpos superficiales y subterráneos donde se ubican los principales asentamientos humanos y desarrollo de actividades productivas del país, se identifica una brecha de cobertura y conocimiento en la Macrozona Norte y la Macrozona Austral, asociada a su extensión territorial. Ahora bien, se observa una oportunidad para robustecer el conocimiento de las dinámicas de las cuencas a través

del análisis de los registros asociados al MEE. Por otro lado, se requiere de la búsqueda de soluciones que puedan ir más allá de las atribuciones de las instituciones vinculadas a la gobernanza de los recursos hídricos, explorando medidas que apunten a la protección de cuencas, especialmente sus cabeceras, las cuales pueden traer beneficios sobre la cantidad y calidad del recurso.

6.4 AMENAZAS ASOCIADAS AL CICLO DEL AGUA DERIVADAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO COMO EVENTOS EXTREMOS (SEQUÍAS, INUNDACIONES)

- **Sobre los eventos extremos.** La evidencia muestra un aumento en la ocurrencia de inundaciones, aluviones y sequías. Asimismo, se observan aumentos para las temperaturas mínimas y máximas para la mayoría del país, y alzas en los niveles de la isoterma 0°C.
- **Sobre las sequías.** Las sequías reducen la oferta de recursos superficiales, impactando la disponibilidad de agua para diferentes fines. Concretamente, los efectos adversos de la actual megasequía se aprecian entre la Macrozona Norte y Sur, donde se concentra la mayor parte de la población y las actividades productivas intensivas en uso del agua. El análisis identifica riesgos para la seguridad hídrica para consumo humano en periodos de escasez, pero también significan reducciones de caudales superficiales para fines ambientales, provocando la sobreutilización de las fuentes subterráneas.
- **Sobre las inundaciones y los aluviones.** Las inundaciones y aluviones han causado anegamiento de superficies rurales y/o urbanas. Se identifica mayor riesgo para las comunas mayormente pobladas, especialmente en la Macrozona Centro, generando consecuencias negativas en el deterioro de la infraestructura pública y privada, afectando a la salud de las personas por su impacto sobre las condiciones de las viviendas y los servicios críticos.
- **Sobre las temperaturas extremas.** Preocupa el aumento sostenido de la temperatura de manera generalizada en el país, lo que, sumado a la elevación de la isoterma 0°C y la disminución de las precipitaciones, presenta un escenario complejo para las dinámicas hídricas de las cuencas de Chile y la provisión de recursos hídricos para sus distintos usos, disminuyendo su capacidad como reservorio natural, sobre todo en el periodo estival, intensificando así los efectos de la sequía.
- **Sobre la gestión de eventos extremos.** La gestión de eventos extremos ha seguido un enfoque reactivo, basado en respuestas una vez ocurrido o declarado un evento con el fin de mitigar sus impactos. Desde la DGA, la gestión principal frente a la sequía se ha llevado a cabo mediante la declaración de zonas de escasez hídrica; en el caso de inundaciones y/o aluviones, su rol principal ha recaído en el monitoreo, la alerta y respuesta rápida a la emergencia. Ahora bien, recientemente se han generado avances relevantes en esta materia gracias a ciertas modificaciones al Código de Aguas sobre la priorización del consumo humano y de subsistencia en tiempos de escasez y al

establecimiento del Sistema Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres (SINAPRED) y el reemplazo de ONEMI por el SENAPRED -determinando un cambio de enfoque desde gestión de crisis a Gestión del Riesgo de Desastres (GRD)-.

- **Sobre los desafíos en la gestión de eventos extremos.** Se hace necesario fortalecer la RRD y la GRR en el país con foco en recursos hídricos en: a) monitoreo y alerta temprana, b) vulnerabilidad y evaluación de impacto, y c) medidas de prevención, preparación, capacidad de respuesta y recuperación con resiliencia de los territorios. Se requiere explorar la factibilidad de aumentar los puntos de muestreo en aquellos cuerpos que apunten hacia la RRD, fortaleciendo la red hidrométrica de la DGA ya existente. A la fecha no existe un sistema nacional oficial de monitoreo y alerta temprana para el caso de las sequías, lo cual también sería eventualmente extrapolable al caso de inundaciones y/o aluviones. En relación con la vulnerabilidad y evaluación de impactos, si bien existe una imagen actual a través de Cadenas de Impacto en ARClím respecto a inundaciones y sequías hidrológicas, los componentes de la vulnerabilidad (sensibilidad y capacidad adaptativa) y el riesgo no son estáticos, requiriendo actualización y reevaluación del riesgo. Junto con lo anterior, se requiere el fortalecimiento de acciones dirigidas a la RRD y GRD por eventos extremos. En este sentido, para las sequías, al ser un evento lento temporalmente, el monitoreo permite seguir su evolución y establecer medidas orientadas a la reducción de impactos de corto plazo según su intensidad y su adaptación a largo plazo. Así, si un territorio ha sido declarado múltiple y consecutivamente como zona de escasez hídrica, acompañado de medidas para atender urgencias de corto plazo, se requerirá la reflexión si éstas contribuyen a la seguridad hídrica de largo plazo. Para el caso de los aluviones y/o inundaciones, al ser eventos de rápido desarrollo e impacto, las medidas de alerta y respuesta cobran relevancia, aunque acciones que permitan atenuar los impactos y disminuir la exposición de población incrementarán la resiliencia frente a estos eventos, sin amenazar la sostenibilidad en el largo plazo del recurso. En relación a la isoterma 0°C, su alza se puede interpretar tanto como evento a largo plazo, facilitando la planificación para abordar medidas preventivas asociadas a la capacidad de almacenamiento, como asociado a eventos de precipitación líquida, de carácter puntual en el tiempo, y por tanto, jugando un rol relevante la alerta temprana.

6.5 RECOMENDACIONES PARA LAS MEDIDAS DEL SECTOR

Se enumeran seguidamente algunas recomendaciones en la formulación de medidas que podrían aportar en la disminución de riesgos vinculados al sector de los recursos hídricos, en la dimensión social, económica y ambiental, avanzando hacia la seguridad hídrica a nivel nacional.

- En la prospección de medidas es importante considerar la variable que resulta más eficiente intervenir para mejorar la situación frente a dicho riesgo. Por ello, es necesario identificar y evaluar en cada caso, medidas orientadas a la disminución de los elementos expuestos a dicha amenaza, la sensibilidad y/o el aumento de la capacidad adaptativa (o resiliencia) de dichos elementos frente a la amenaza.

- Es relevante formular medidas que tiendan a evitar la maladaptación. Ello implica considerar en el análisis elementos e impactos sobre otros usuarios y/o sectores diferentes al sujeto de estudio (ej. un sector productivo específico). Así, una medida que promueve la disminución del riesgo en un sector y que puede aumentar el riesgo o la vulnerabilidad en otro, no debería ser apropiada como una solución efectiva de adaptación al cambio climático.
- Se hace necesario la exploración de medidas que apunten tanto a la gestión de la oferta como de la demanda (necesidades) de recursos hídricos, como también cotejar medidas tanto de gestión como de infraestructura gris y verde (SbN), así como aquellas que puedan apuntar a más de una dimensión.
- Un elemento para considerar en el diseño de medidas corresponde a la escala espacial de implementación, donde la cuenca hidrográfica aparece como la unidad de gestión territorial de forma alineada con una Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH), teniendo presente que el PACC-RH es un instrumento de nivel nacional.

CAPÍTULO 7 BIBLIOGRAFÍA

- Aceituno, P., Boisier, J. P., Garreaud, R., Rondanelli, R., & A. Rutllant, J. (2021). Climate and Weather in Chile. In B. Fernández & J. Gironás (Eds.), *Water Resources of Chile* (1st ed., Vol. 8). Springer Nature Switzerland AG. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-56901-3_2
- Álamos, N., Monsalve, T., Billi, M., Lefort, I., Allendes, A., Navea, J., Calvo, R., & Urquiza, A. (2021). *Vulnerabilizas Hídrica Territorial: Marco analítico y aplicaciones*. <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/AGJ6P>
- Aldunce, P., & Gonzalez, M. (2009). *Desastres asociados al clima en la agricultura y medio rural en Chile*. Fundación para la Innovación Agraria, FIA Ministerio de Agricultura. <https://doi.org/https://doi.org/10.34720/x49b-ns14>
- Aldunce, P., & Vicuña, S. (2019). *Adaptación al cambio climático en Chile: Brechas y recomendaciones. Informe de las mesas Adaptación y Agua*.
- Alvarez-Garretón, C., Boisier, J. P., Blanco, G., Billi, M., Nicolas-Artero, C., Maillet, A., Aldunce, P., Urrutia-Jalabert, R., Zambrano-Bigiarini, M., Guevara, G., Galleguillos, M., Muñoz, A., Christie, D., Marinao, R., & Garreaud, R. (2023). *Informe a las naciones. Seguridad hídrica en Chile: Caracterización y perspectivas de futuro*. www.cr2.cl/seguridadhidrica
- Álvarez-Garretón, C., Lara, A., Boisier, J. P., & Galleguillos, M. (2019). *Policy Brief: El impacto del bosque nativo y las plantaciones forestales en el suministro de agua en Chile* (2).
- Anand, V., & Oinam, B. (2020). Future land use land cover prediction with special emphasis on urbanization and wetlands. *Remote Sensing Letters*, 11(3), 225–234. <https://doi.org/10.1080/2150704X.2019.1704304>
- Balocchi, F., Galleguillos, M., Rivera, D., Stehr, A., Arumi, J. L., Pizarro, R., García-Chevesich, P., Iroumé, A., Armesto, J. J., Hervé-Fernández, P., Oyarzún, C., Barría, P., Little, C., Mancilla, G., Yépez, S., Rodríguez, R., White, D. A., Silberstein, R. P., Neary, D. G., & Ramírez de Arellano, P. (2023). Forest hydrology in Chile: Past, present, and future. *Journal of Hydrology*, 616. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128681>
- Banco Central. (2023). Cuentas Nacionales. Participación por clase de actividad económica, series empalmadas, referencia 2018 (porcentaje sobre el PIB). In *Base de Datos Estadísticos (BDE) Banco Central*.
- Banco Mundial. (2011). *Diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos*. (M. de O. Públicas. Dirección General de Aguas, Ed.).
- Banco Mundial. (2013). Chile: Estudio para el mejoramiento del marco institucional para la gestión del agua. *BANCO MUNDIAL. "Gestión de Los Recursos Hídricos. Departamento de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible*.
- Banco Mundial. (2021). *CHILE Rural Brief 2021*.
- Barnett, T. P., Adam, J. C., & Lettenmaier, D. P. (2005). Potential impacts of a warming climate on water availability in snow-dominated regions. *Nature*, 438(7066), 303–309. <https://doi.org/10.1038/nature04141>

- Barrett, B. S., & Hameed, S. (2017). Seasonal variability in precipitation in central and southern Chile: Modulation by the South Pacific high. *Journal of Climate*, 30(1), 55–69. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0019.1>
- Barría, P., Barría, I., Guzman, C., Chadwick, C., Alvarez-Garretón, C., Díaz-Vasconcellos, R., Ocampo-Melgar, A., & Fuster, R. (2021). Water allocation under climate change: A diagnosis of the Chilean system. *Elementa: Science of the Anthropocene*, 9(1). <https://doi.org/10.1525/elementa.2020.00131>
- Barría, P., Chadwick, C., Ocampo-Melgar, A., Galleguillos, M., Garreaud, R., Díaz-Vasconcellos, R., Poblete, D., Rubio-Álvarez, E., & Poblete-Caballero, D. (2021). Water management or megadrought: ¿what caused the Chilean Aculeo Lake drying? *Regional Environmental Change*, 21(1), 19. <https://doi.org/10.1007/s10113-021-01750-w>
- Barría, P., Rojas, M., Moraga, P., Muñoz, A., Bozkurt, D., & Alvarez-Garretón, C. (2019). Anthropocene and streamflow: Long-term perspective of streamflow variability and water rights. *Elementa: Science of the Anthropocene*, 7. <https://doi.org/10.1525/elementa.340>
- Barriga-Gonzalo, F., Benjamín, D., & Sato, S.-A. (2018). *Estudios de la Fundación SOL*. www.fundacionsol.cl
- Barros Cruz, M. J. (2020). Advocacy for the waters of wallmapu in recent women's poetry: Kvyeh, Figueroa and Paredes Pinda. *Literatura y Lingüística*, 42, 197–221. <https://doi.org/10.29344/0717621X.42.2593>
- Bate, L. F. (1990). Culturas y modos de vida de los cazadores recolectores en el repoblamiento de América del Sur. *Revista de Arqueología Americana*, 2, 89–153. <http://www.jstor.org/stable/27768287>
- Bauer, C. (2015a). Water Conflicts and Entrenched Governance Problems in Chile's Market Model. *Water Alternatives*, 8(2).
- BCN. (2020). Estadísticas fundamentales sobre los diferentes tipos de derechos de agua concedidos oficialmente en Chile entre 1899-2019. In *Asesoría Técnica Parlamentaria*. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.
- Bengoa, J. (2009). ¿Una segunda etapa de la Emergencia Indígena en América Latina? ¿A SECOND STAGE OF INDIGENOUS EMERGENCE IN LATIN AMERICA? *Cuadernos de Antropología Social* N° 29, 7–22.
- Billi, M., Moraga, P., Aliste, E., Maillet, A., O'Ryan, R., Sapiains, R., Bórquez, R., Aldunce, P., Azócar, G., Blanco, G., Carrasco, N., Galleguillos, M., Hervé, D., Ibarra, C., Gallardo, L., Inostroza, V., Lambert, F., Manuschevic, D., Martínez, F., ... Ugarte, A. (2021). *Gobernanza Climática de los Elementos. Hacia una gobernanza climática del Agua, el Aire, el Fuego y la Tierra en Chile, integrada, anticipatoria, socio-ecosistémica y fundada en evidencia*.
- Bolados, P., Henríquez, F., Ceruti, C., & Cuevas, A. (2018). La eco-geo-política del agua: una propuesta desde los territorios en las luchas por la recuperación del agua en la provincia de Petorca (Zona central de Chile). *Rupturas*, 167–199.
- Bonilla, C. (1999). La sequía en Chile: contexto histórico y consecuencias en el sector silvoagropecuario. In A. Norero & C. Bonilla (Eds.), *Las Sequías en Chile: causas, consecuencias y mitigación*. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Pontificia Universidad Católica de Chile (pp. 15–22).

- Bravo, L., & Fragkou, M. C. (2019). Escasez hídrica, género, y cultura mapuche. Un análisis desde la ecología política feminista. *Polis (Santiago)*, 18(54). <https://doi.org/10.32735/s0718-6568/2019-n54-1401>
- Budds, J. (2020a). Gobernanza del agua y desarrollo bajo el mercado: las relaciones sociales de control del agua en el marco del Código de Aguas de Chile. *Investigaciones Geográficas*, 0(59), 16–27. <https://doi.org/10.5354/0719-5370.2020.57717>
- Camus, P., & Jaksic, F. (2021). The great drought of 1968: socio-political effects and crisis of democracy in Chile. *Revista de Historia (Chile)*, 2(28), 271–293. <https://doi.org/10.29393/RH28-34GSPF20034>
- Caretta, M. A., Mukherji, A., Arfanuzzaman, M., Betts, R. A., Gelfan, A., Hirabayashi, Y., Liu, J., Lopez Gunn, E., Morgan, R., Mwanga, S., & Supratid, S. (2023). Water. In *Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability* (pp. 551–712). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844.006>
- Casas, M. (2017). *Estudios del cambio climático en América Latina. Transversalización del enfoque de género en las políticas públicas frente al cambio climático en América Latina*.
- CASEN (2022). *Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional (Casen)* [Base de datos]. Ministerio de Desarrollo Social y Familia.
- CEDEUS-DGA. (2020). Implementation of SDG Indicator 6.3.2 in Chile: Proportion of Bodies of Water with Good Ambient Water Quality. In *CEDEUS Technical Report*.
- Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia. (2015). *Informe a la Nación. La megasequía 2010-2015: Una lección para el futuro*. www.cr2.cl/megasequia
- Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR2). (2021). *Migrantes climáticos en el país: el drámático éxodo de miles de chilenos debido a la sequía y el clima extremo*. <https://www.cr2.cl/migrantes-climaticos-en-el-pais-el-dramatico-exodo-de-miles-de-chilenos-debido-a-la-sequia-y-el-clima-extremo-la-tercera/>
- CEPAL. (2009). *La economía del cambio climático en Chile: síntesis*.
- CEPAL. (2020). *Desafíos hídricos en Chile y recomendaciones para el cumplimiento del ODS 6 en América Latina y el Caribe*.
- CEPAL. (2022). *Brechas, desafíos y oportunidades en materia de agua y género en América Latina y el Caribe*.
- Cereceda, P., Hernández, P., Leiva, P., & Rivera, J. de D. (2014a). *Agua de Niebla: Nuevas Tecnologías para el Desarrollo sustentable en Zonas Áridas y Semiáridas*.
- Chávez, Guillermo., Jouravlev, Andrei., Dourojeanni, Axel., & UN. ECLAC. Natural Resources and Infrastructure Division. (2002). *Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica*. Naciones Unidas, CEPAL, División de Recursos Naturales e Infraestructura.
- Dirección General de Aguas. (2015). *Atlas del agua Chile 2016*. Ministerio de Obras Públicas.
- Cialdella, N., & Dubroeuq, D. (2003). Dinámicas de los sistemas agrarios en Chile árido. In P. Livenais & X. Aranda (Eds.), *La trashumancia de cabras en Chile: un modo de gestión adaptado a las zonas áridas* (pp. 327–340). IRD Éditions. <https://doi.org/10.4000/books.irdeditions.24983>
- Climent, M., Herrero-Hernández, E., Sánchez-Martín, M., Rodríguez-Cruz, M., Pedreros, P., & Urrutia, R. (2019). Residues of Pesticides and Some Metabolites in Dissolved and

- Particulate Phase in Surface Stream Water of Cachapoal River Basin, Central Chile. *Environmental Pollution*, 90–101.
- CNR. (2020). *Marco operativo para proyectos de recarga artificial de acuíferos*.
- CNR. (2023a). *Base de datos preliminar de Sistemas de Captura de Aguas Lluvias entre regiones de O'Higgins y Magallanes*.
- CNR. (2023b). *Embalses - Comisión Nacional de Riego*.
<https://www.cnr.gob.cl/agricultores/infraestructura/infraestructura/embalses/>
- CNR. (2023c). Red de Canales. In *Shape con red de canales nacional*. Comisión Nacional de Riego.
- COCHILCO (2022a). *Consumo de agua en la minería del cobre. Actualización al 2021. Transición metodológica*.
- COCHILCO (2022b). *INFORME ANÁLISIS DEL IMPACTO SOCIOECONÓMICO DE LA ACTIVIDAD MINERA A NIVEL REGIONAL*.
- Comisión Nacional de Derechos Humanos de México. (1992). *Declaración de Dublín sobre el Agua y el Desarrollo Sostenible*.
- CONAF (n.d.). Retrieved December 25, 2023, from <https://www.conaf.cl/nuestros-bosques/bosques-en-chile/>
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (1992).
- Cortés, G., & Margulis, S. (2017). Impacts of El Niño and La Niña on interannual snow accumulation in the Andes: Results from a high-resolution 31 year reanalysis. *Geophysical Research Letters*, 44(13), 6859–6867.
<https://doi.org/10.1002/2017GL073826>
- Crausbay, S. D., Ramirez, A. R., Carter, S. L., Cross, M. S., Hall, K. R., Bathke, D. J., Betancourt, J. L., Colt, S., Cravens, A. E., Dalton, M. S., Dunham, J. B., Hay, L. E., Hayes, M. J., McEvoy, J., McNutt, C. A., Moritz, M. A., Nislow, K. H., Raheem, N., & Sanford, T. (2017a). Defining Ecological Drought for the Twenty-First Century. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 98(12), 2543–2550.
<https://doi.org/10.1175/bams-d-16-0292.1>
- Decreto 71, Modifica Decreto N° 14, de 2012, Que Aprueba Reglamento Para La Determinación Del Caudal Ecológico Mínimo (2014).
- Del Rio, J. I., Fernandez, P., Castillo, E., & Orellana, L. F. (2023). Assessing Climate Change Risk in the Mining Industry: A Case Study in the Copper Industry in the Antofagasta Region, Chile. *Commodities*, 2(3), 246–260.
<https://doi.org/10.3390/commodities2030015>
- DFL 1122. (1981). *Fija Texto del Código de Aguas*. Ministerio de Justicia.
- DGA. (2016). *Atlas del Agua Chile 2016* (p. 24). Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas. <https://dga.mop.gob.cl/DGADocumentos/Atlas2016parte1-17marzo2016b.pdf>
- DGA. (2017a). *Actualización del Balance Hídrico Nacional. Informe final*.
- DGA. (2017b). *Estimación de la demanda actual, proyecciones futuras y caracterización de la calidad de los recursos hídricos en Chile. Informe Final* (Issue S.I.T. N° 419). Dirección General de Aguas, División de Estudios y Planificación.
- DGA. (2017c). *Estimación de la demanda actual, proyecciones futuras y caracterización de la calidad de los recursos hídricos en Chile*.

- DGA. (2017d). *Informe Técnico: Inventario Nacional de Acuíferos* (Issue SDT N° 403, p. 60). Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, División de Estudios y Planificación.
- DGA. (2018). *Evaluación de la condición trófica en cuerpos lacustres. Informe Final. Realizado por Ingeniería y Gestión Ambiental Enlaces Spa.*
- DGA. (2020a). *Atlas Calidad del Agua. Chile 2020* (M. de O. P. Dirección General de Aguas, Ed.). Ministerio de Obras Públicas.
- DGA. (2021). Cálculo del Indicador ODS 6.3.2 en Aguas Subterráneas de fuentes APR, periodo 2018 -2019. In *DCPRH N°13. Cálculo del Indicador ODS 6.3.2 en Aguas Subterráneas de fuentes APR, periodo 2018 -2019*. Dirección General de Aguas. Departamento. Conservación y Protección de Recursos Hídricos.
- DGA. (2022). *Información pluviométrica, fluviométrica, estado de embalses y aguas subterráneas.*
- DGA. (2023a). Boletín Mensual de Información Hidrométrica agosto 2023. In *Información Pluviométrica, Nieves, Fluviométrica, Estado de Embalses y Aguas Subterráneas.*
- DGA. (2023b). *Catastro de Embalses Construidos*. Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas.
- DGA. (2023c). Catastro Publico de Aguas. In *Catastro Publico de Aguas.*
- DGA. (2023d). *Mapoteca de la Dirección General de Aguas.*
- DGA, & DOH. (2019). *Sustentabilidad de asentamientos humanos rurales en Chile. Análisis desde los comités de Agua Potable Rural - Cuenca del Choapa, Quilimarí y Costera entre Choapa y Quilimarí.*
- DMC. (2022). *Reporte anual de la evolución del clima en Chile 2022* (O. C. C. de la S. C. de la D. M. de Chile., Ed.; p. 52). Dirección General de Aeronáutica Civil.
- DOH. (2020). *Infraestructura Hidráulica del Chile de 2020.*
- DOH. (2023). Base de datos Servicios Sanitarios Rurales. In *Dirección de Obras Hidráulicas, Ministerio de Obras Públicas.*
- Donoso, G. (2018). *Water policy in Chile* (Vol. 21). Springer.
- Donoso, G. (2021a). Economics of Water Resources. In B. Fernández & J. Gironás (Eds.), *Water Resources of Chile* (pp. 335–346). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-56901-3_18
- Donoso, G., Montero, J. P., Meza, F., & Vicuña, S. (2009). Adaptación a los impactos del cambio climático en la agricultura de riego en Chile central. In *Camino al Bicentenario, Propuestas para Chile* (pp. 23–47).
- Duhalde, D., Castillo, D., Oyarzún, R., Oyarzún, J., & Arumí, J. L. (2021). Mining and Industrial Uses. In B. Fernández & J. Gironás (Eds.), *Water Resources of Chile* (pp. 273–284). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-56901-3_14
- Emmer, A. (2017). Glacier Retreat and Glacial Lake Outburst Floods (GLOFs). In *Oxford Research Encyclopedia of Natural Hazard Science*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199389407.013.275>
- Energía Abierta. (2023). *Capacidad instalada – Energía Abierta | Comisión Nacional de Energía*. <http://energiaabierta.cl/visualizaciones/capacidad-instalada/>

- Eridanus. (2018). *Recopilación histórica y representación espacial de eventos asociados a problemas de exceso hídrico: inundaciones, aluviones y tsunamis. Informe Final*. Fundación Chile.
- Escobar, F., & Aceituno, P. (1998). Influencia del fenómeno ENSO sobre la precipitación nival en el sector andino de Chile central durante el invierno. *Bulletin de l'Institut Français d'études Andines*, 27(3), 753–759. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=12627337>
- Estrategia Climática de Largo Plazo de Chile. (2022).
- FAO. (2015). *Política de la FAO sobre pueblos indígenas y tribales*. 33. <http://www.fao.org/docrep/013/i1857s/i1857s.pdf>
- FAO. (2021). Los pueblos indígenas y tribales y la gobernanza de los bosques - Una oportunidad para la acción climática en Latina América y el Caribe. In *Los pueblos indígenas y tribales y la gobernanza de los bosques - Una oportunidad para la acción climática en Latina América y el Caribe*. <https://doi.org/10.4060/cb2953es>
- FAO. (2022). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2022. Hacia la transformación azul*.
- Fernández, B., & Gironás, J. (2021). Droughts. In B. Fernández & J. Gironás (Eds.), *Water Resources of Chile* (pp. 173–187). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-56901-3_8
- Fernández, E., Caspersen, L., Illert, I., & Luedeling, E. (2021). Warm winters challenge the cultivation of temperate species in South America—a spatial analysis of chill accumulation. *Climatic Change*, 169(3–4). <https://doi.org/10.1007/s10584-021-03276-w>
- Fernández, F. J., Vásquez-Lavín, F., Ponce, R. D., Garreaud, R., Hernández, F., Link, O., Zambrano, F., & Hanemann, M. (2023). The economics impacts of long-run droughts: Challenges, gaps, and way forward. *Journal of Environmental Management*, 344, 118726. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118726>
- Fragkou, M.-C., Monsalve-Tapia, T., Pereira-Roa, V., & Bolados-Arratia, M. (2022). Abastecimiento de agua potable por camiones aljibe durante la megasequía. Un análisis hidrosocial de la provincia de Petorca, Chile. *EURE*, 48(145). <https://doi.org/10.7764/EURE.48.145.04>
- Frêne, C., Villarroel, F., Rojas, R., Sanzana, J., González, J., Alarcón, D., Gómez, F., & Barra, S. (2022). Water shortage in Chiloé: Participatory Water Network as a solution for the rural sector. *Revista de Geografía Norte Grande*, 82, 375–396.
- Fuentealba, M., Bahamóndez, C., Sarricolea, P., Meseguer-Ruiz, O., & Latorre, C. (2021). The 2010–2020 “megadrought” drives reduction in lake surface area in the Andes of central Chile (32° - 36°S). *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 38, 100952. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100952>
- Fuenzalida, H. (1982). A country of extreme climate. *Chile: Essence and Evolution*, 27–35.
- Fundación Chile. (2022). *Gobernanza desde las cuencas: Institucionalidad para la seguridad hídrica en Chile*.
- Fundación Newenko. (2020). *Chile: Mujeres y agua*.
- Fuster, R., Ecobar, C., Astorga, A., Silva, K., & Aldunce, P. (2017). *Informe final. Estudio Seguridad Hídrica en Chile*.

- Fuster, R., & Escobar, C. (2020). Cambio climático y recursos hídricos. In P. M. Peillard (Ed.), *Cambio climático en Chile: Análisis de impactos y propuestas para fortalecer la mitigación y adaptación al cambio climático en sectores relevantes* (pp. 53–67). Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.
- Fuster, R., Escobar, C., Astorga, K., Silva, K., & Aldunce, P. (2017). Estudio de Seguridad Hídrica en Chile en un contexto de Cambio Climático para elaboración del Plan de Adaptación de los recursos hídricos al Cambio Climático. *Recovered from* [Http://www.Dgop.Cl/Centro_documental/Documents/Areas_DGOP/SEMAT/Informe_Final_Estudio_Seguridad_Hidrica_en_Chile.Pdf](http://www.dgop.cl/Centro_documental/Documents/Areas_DGOP/SEMAT/Informe_Final_Estudio_Seguridad_Hidrica_en_Chile.Pdf).
- Garreaud, R., Boisier, J. P., Rondanelli, R., Montecinos, A., Sepúlveda, H., & Veloso-Aguila, D. (2019). The Central Chile Mega Drought (2010–2018): A climate dynamics perspective. *International Journal of Climatology*, 0(0). <https://doi.org/10.1002/joc.6219>
- Generadoras de Chile. (2023). *Energía Hidroeléctrica*. <https://generadoras.cl/tipos-energia/energia-hidroelectrica>
- Gibbs, M., & Meza, R. (2020). *Informe Proyecto ARClím: Turismo*.
- Gironás, J., Bunster, T., Chadwick, C., & Fernández, B. (2021a). Floods. In B. Fernández & J. Gironás (Eds.), *Water Resources of Chile* (pp. 153–171). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-56901-3_7
- Gironás, J., Fernández, B., & Saldías, J. (2021). Country Profile. In B. Fernández & J. Gironás (Eds.), *Water Resources of Chile* (pp. 1–5). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-56901-3_1
- Gleick, P., & Iceland, C. (n.d.). *WATER, SECURITY, AND CONFLICT*.
- Gobierno de Chile. (2017). *Informe de Diagnóstico e Implementación de la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible en Chile* (M. de D. S. Consejo Nacional para la implementación de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible (ODS) Gobierno de Chile, Ed.).
- Gobierno de Chile. (2020). *Política Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres (PNRRD). Plan Estratégico Nacional 2020-2030*. ONEMI, Ministerio del Interior y Seguridad Pública Gobierno de Chile.
- Gobierno de Chile. (2023a). *INFORME N°4 – Análisis de Riesgo Climático*.
- Gobierno de Chile. (2023b). *Informe N°5 - Análisis de Riesgo Climático. Actualización del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático*.
- Gómez, R. (2021). *Chile: análisis de la evolución regulatoria de la protección de los humedales*.
- González, H. E., Bozkurt, D., Cereceda-Balic, F., Cordero, R., Fernandoy, F., Iriarte, J. L., MacDonell, S., McPhee, J., Poulin, E., Rivera, A., & Schaefer, M. (2019). *Criósfera chilena y Antártica: Recomendaciones desde la evidencia científica*. (Vol. 46).
- Gosling, S. N., & Arnell, N. W. (2016). A global assessment of the impact of climate change on water scarcity. *Climatic Change*, 134(3), 371–385. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0853-x>
- Guerrero-Valdebenito, R. M., Fonseca-Prieto, F., Garrido-Castillo, J., & García-Ojeda, M. (2018). El código de aguas del modelo neoliberal y conflictos sociales por agua en

- Chile: Relaciones, cambios y desafíos. *Agua y Territorio*, 11, 97–108. <https://doi.org/10.17561/at.11.3956>
- GWP. (2021). *Género en el marco político y de planificación sobre cambio climático y agua en Centro y Sudamérica*.
- Habit, E., Górski, K., Dominique Alò, Ascencio, E., Astorga, A., Colin, N., Contador, T., de los Ríos, P., Delgado, V., Dorador, C., Fierro, P., García, K., Parra, Ó., Quezada-Romegialli, C., Ried, B., Rivera, P., Soto-Azat, C., Valdovinos, C., & Vera-Escalona, I. (2019). Biodiversidad de ecosistemas de agua dulce. In Marquet et al. (Ed.), *Biodiversidad y cambio climático en Chile: Evidencia científica para la toma de decisiones*. (pp. 2–62). Comité Científico COP25; Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación. www.negro.cl
- Hailu, R., & Tolossa, D. (2020). Multi-stakeholder platforms: Institutional options to achieve water security in the awash basin of Ethiopia. *World Development Perspectives*, 19, 100213. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.wdp.2020.100213>
- Hebel, M. (2019). *Impacto de incendios forestales en los procesos hidrológicos considerando la variación temporal y espacial de la cobertura vegetal*. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.
- Herrera, M., Candia, C., Rivera, D., Aitken, D., Briebe, D., Boettiger, C., Donoso, G., & Godoy-Faúndez, A. (2019). Understanding water disputes in Chile with text and data mining tools. *Water International*, 44(3), 302–320. <https://doi.org/10.1080/02508060.2019.1599774>
- Hervé, D. (2010). Noción y elementos de la justicia ambiental: directrices para su aplicación en la planificación territorial y en la evaluación ambiental estratégica. *Revista de Derecho*, XXIII (1), 9–36.
- Höhl, J. (2020). Pueblos indígenas, recursos y gobernanza. Un análisis de la consulta indígena como parte de la Evaluación de Impacto Ambiental del proyecto hidroeléctrico Añihuerraqui, Región de la Araucanía, Chile. *Investigaciones Geográficas*, 59, 28. <https://doi.org/10.5354/0719-5370.2020.56885>
- Huss, M., & Hock, R. (2018). Global-scale hydrological response to future glacier mass loss. *Nature Climate Change*.
- IDE. (2019). *Clasificación y distribución de tipos de clima según la clasificación de Köppen-Geiger*. <http://www.geoportal.cl/visorgeoportal/>
- INE. (2019). *Estimaciones y proyecciones de la población de Chile 2002-2035 totales regionales, población urbana y rural*.
- INE. (2022a). *Censo Agropecuario*. <https://www.ine.gob.cl/estadisticas/economia/agricultura-agroindustria-y-pesca/censos-agropecuarios>
- IPCC. (2013). Glosario. In TF. Stocker, D. Qin, M. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, & P. M. Midgley (Eds.), *Cambio Climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Cambridge University Press.
- IPCC. (2014). *Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. <http://www.ipcc.ch>

- IPCC. (2019). IPCC 2019: Summary for Policymakers. In: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. In *Climate Change and Land*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157988.001>
- IPCC. (2022). Summary for Policymakers. In H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, M. Tignor, E. S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, & B. R. Okem (Eds.), *Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability*. (pp. 3–34). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844.001>
- IPCC, & press, C. U. Press. I. (2022). *Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [H.-O.Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S.Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)].
- Javadinejad, S., Dara, R., & Jafari, F. (2020). Climate Change Scenarios and Effects on Snow-Melt Runoff. *Civil Engineering Journal*, 6(9), 1715–1725. <https://doi.org/10.28991/cej-2020-03091577>
- Jorquera Álvarez, M. A., & Santibáñez Yáñez, D. C. (2022). Culturas hídricas: procesos de transformación, fricciones y nuevas formas del agua. Efectos de la intervención estatal en un contexto de sequía: El caso de las comunidades agrícolas de Atelcura, Región de Coquimbo, Chile. *Revista Uruguaya de Antropología y Etnografía*, 8(2). <https://doi.org/10.29112/ruae.v7i2.1641>
- Korzyniewski, I. Q., & Rojas Barra, J. (2021). Estudio de los descensos de los niveles del acuífero Chacabuco- Polpaico. *Revista Geografica de Chile Terra Australis*, 57(1), 108–123. <https://doi.org/10.23854/07199562.2021571.Quinteros109>
- Larraín, H., Velásquez, F., Cereceda, P., Espejo, R., Pinto, R., Osses, P., & Schemenauer, R. S. (2002). Fog measurements at the site “Falda Verde” north of Chañaral compared with other fog stations of Chile. *Atmospheric Research*, 64(1), 273–284. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0169-8095\(02\)00098-4](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0169-8095(02)00098-4)
- Larraín, S., & Schaeffer, C. (2010). Conflicts over water in Chile: Between human rights and market rules. *Santiago de Chile: Chile Sustentable*.
- León-Muñoz, J., Aguayo, R., Soto, D., Avendaño-Herrera, R., Nimptsch, J., Wolfl, S., Simon, J., Echeverría, C., Aguayo, M., Salazar, C., Garay, O., & Fox, S. (2023). Landscape dependency of land-based salmon farming under climate change. *Climate Risk Management*, 40, 100504. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.crm.2023.100504>
- Lizasoain, N. (2018). *Efectos del Cambio Climático en el acuífero del Salar del Huasco*.
- Machado, H. (2010). Agua y Minería Transnacional. Desigualdades hídricas e implicaciones biopolíticas. *Habitat Urbano: Dimensiones y Perspectivas*.
- Margulis, S. (2016). *Estudios de Cambio Climático en América Latina. Vulnerabilidad y adaptación de las ciudades de América Latina al cambio climático*.
- Marquet, P. A., Altamirano, A., Arroyo, M., Fernández, M., Gelcich, S., Górski, K., Habit, E., Lara, A., Maass, A., Pauchard, A., Pliscoff, P., Samaniego, H., & Smith-Ramírez, C.

- (2019). *Biodiversidad y cambio climático en Chile: Evidencia científica para la toma de decisiones*.
- Martín, L., & Justo, J. B. (2015). *Análisis, prevención y resolución de conflictos por el agua en América Latina y el Caribe*.
- Matus, F. (2022). *Diagnósticos dinámicos del efecto de la oscilación Madden-Julian en la precipitación en Chile. Tesis para optar al grado de magíster en meteorología y climatología*.
- McPhee, J. (2018). Hydrological Setting. In G. Donoso (Ed.), *Water Policy in Chile* (pp. 13–23). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-76702-4_2
- McPhee, J., MacDonell, S., & Casassa, G. (2021). Snow cover and glaciers. In B. Fernández & J. Gironás (Eds.), *Water resources of Chile* (Vol. 8, pp. 129–151). Springer Nature Switzerland AG. <http://www.springer.com/series/15410>
- Melo, Ó., Samaniego, J., Ferrer Carbonell, J., Jadrijevic, M., & Briceño, S. (2023). *Costos asociados a la inacción frente al cambio climático en Chile: síntesis. Documentos de Proyectos (LC/TS.2023/45)*. www.issuu.com/publicacionescepal/stacks
- Meza, F., Gil, P., & Melo, O. (2021). Agricultural Uses. In B. Fernández & J. Gironás (Eds.), *Water Resources of Chile* (pp. 243–258). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-56901-3_12
- MIDESO. (2017). *Síntesis de Resultados encuesta CASEN*.
- Millaleo Hernández, S. (2020). El Acuerdo de París sobre cambio climático y el proyecto de la ley marco en Chile: Entre el protagonismo y la denegación de los pueblos indígenas. *Anuario de Derechos Humanos*, 141. <https://doi.org/10.5354/0718-2279.2020.60299>
- Ministerio del Interior y Seguridad Pública. (2015). *Política Nacional para los Recursos Hídricos*.
- Ministerio de Energía. (2016). *Estudio de cuencas. Análisis de las condicionantes para el desarrollo hidroeléctrico en las cuencas del Maule, Biobío, Toltén, Valdivia, Bueno, Puelo, Yelcho, Palena, Cisnes, Aysén, Baker y Pascua*.
- Mishra, A. K., & Singh, V. P. (2010). A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391(1), 202–216. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.012>
- MMA. (2014). *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático*.
- MMA. (2017). *Plan de Acción Nacional de Cambio Climático*.
- MMA. (2020a). *Atlas de Riesgo Climático para Chile*. <https://arclim.mma.gob.cl/>
- MMA. (2020b). Capítulo 5. Aguas Continentales. En *Informe del Estado del Medio Ambiente*. Ministerio del Medio Ambiente, Gobierno de Chile.
- MMA. (2020c). Compilado datos e indicadores Capítulo Aguas Continentales. En *Compilado datos e indicadores Capítulo Aguas Continentales*. Ministerio del Medio Ambiente.
- MMA. (2022). *Informe Consolidado del Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes del RETC*.
- MMA. (2023). Inventario Nacional de Humedales. In *Inventario Nacional de Humedales. Sistema de Monitoreo de Biodiversidad (SIMBIO)*. Ministerio del Medio Ambiente.
- Molinos-Senante, M., & Donoso, G. (2016). Water scarcity and affordability in urban water pricing: A case study of Chile. *Utilities Policy*, 43, 107–116. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2016.04.014>

- Morán, G., Cuadra, P. P., Arp, J.-P., & Arp, P. A. (2018). Establishing a Hydrographic framework for watershed management across Northern Chile. *Journal of Geographic Information System*, 10(5), 539–561.
- Moya, B. V, Hernández, A. E., & Elizalde Borrell, H. (2005). Los humedales ante el cambio climático. *Investigaciones Geográficas (Esp)*, 37, 127–132. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=17612746005>
- Naciones Unidas. (2018). *Los pueblos indígenas y el cambio climático De víctimas a agentes del cambio por medio del trabajo decente*.
- Nicolas-Artero, C. (2021). Ensuring access to water in an emergency context: ¿Towards an overexploitation and contamination of water resources? *Social & Legal Studies*, 09646639211031626. <https://doi.org/10.1177/09646639211031626>
- Núñez Cobo, J., & Verbist, K. (2018). *Atlas de sequías de América Latina y el Caribe*. UNESCO Publishing.
- ODEPA. (2019). *Información regional 2019. Región de Coquimbo*. www.odepa.gob.cl
- OECC. (2022). *Cambio Climático: Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad. Guía resumida del sexto informe de evaluación del IPCC. Grupo de trabajo II*. <http://publicacionesoficiales.boe.es/>
- OIT. (2018). *El Cambio Climático y los Pueblos Indígenas*.
- OMS. (2017). *Progresos en Materia de agua potable, saneamiento e higiene: informe de actualización de 2017 y línea de base de los ODS*. <http://apps.who.int/bookorders>.
- ONEMI. (2021b). *Glosario Gestión del Riesgo de Desastres* (D. de P. C. y A. de P. Civil. S. de G. del Riesgo. O. N. de E. del M. del I. y S. P. ONEMI, Ed.). Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior y Seguridad Pública– ONEMI.
- ONU Mujeres. (2018). *HACER LAS PROMESAS REALIDAD LA IGUALDAD DE GÉNERO EN LA AGENDA 2030 PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE*.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura, F. (2021). *Estrategia regional de la FAO la colaboración con los pueblos indígena*.
- Panez, A. (2018). Agua-Territorio en América Latina: Contribuciones a partir del análisis de estudios sobre conflictos hídricos en Chile. *Rupturas*.
- Parra, I., & Chiang, G. (2013). Modelo integrado de un sistema de biodepuración en origen de aguas residuales domiciliarias. Una propuesta para comunidades periurbanas del centro sur de Chile. *Gestión y Ambiente*.
- Pastén, P., Vega, A., Lizama, K., Guerra, P., & Pizarro, J. (2021). Water Quality. In B. Fernández & J. Gironás (Eds.), *Water Resources of Chile* (pp. 209–228). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-56901-3_10
- Pica-Téllez, A., Garreaud, R., Meza, F., Bustos, S., Falvey, M., Ibarra, M., Duarte, K., Ormazábal, R., Dittborn, R., & Silva, I. (2020). *Atlas de Riesgo Climático para Chile*.
- Pizarro, R., Garcia-Chevesich, P. A., McCray, J. E., Sharp, J. O., Valdés-Pineda, R., Sangüesa, C., Jaque-Becerra, D., Álvarez, P., Norambuena, S., Ibáñez, A., Vallejos, C., & Mendoza, R. (2022a). Climate Change and Overuse: Water Resource Challenges during Economic Growth in Coquimbo, Chile. In *Sustainability* (Vol. 14, Issue 6). <https://doi.org/10.3390/su14063440>
- PNUD. (2016). *Captación y aprovechamiento de agua de lluvia en América Latina. Experiencias y conclusiones de un debate*.

- Prieto, M. (2017). El Riego que el Mercado no Quiere Ver: Historia del Despojo Hídrico en las Comunidades de Lasana y Chiu-Chiu (Desierto de Atacama, Chile). *Journal of Latin American Geography*, 16(2), 69–91.
- Prieto, M., Fragkou, M. C., & Calderón, M. (2019). Water Policy and Management in Chile. In *Encyclopedia of Water* (pp. 1–11). <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/9781119300762.wsts0055>
- Quintana, J. M., & Aceituno, P. (2012). Changes in the rainfall regime along the extratropical west coast of South America (Chile): 30–43° S. In *Atmósfera* (Vol. 25, Issue 1).
- Red Hidrométrica DGA. (2023). *Red Hidrométrica DGA*. Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas.
- RETC. (2021). *Emisiones a cuerpos de agua 2020*. Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC). Ministerio del Medio Ambiente.
- Riestra, F., Silva, A., & Valenzuela, C. (2021). Environmental and Recreational Uses. In B. Fernández & J. Gironás (Eds.), *Water Resources of Chile* (pp. 317–334). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-56901-3_17
- Rivera, R., Leal, C., & Barra, R. O. (2023). Toward Water Security (SDG 6) amidst the Climate and Water Crisis: Lessons from Chile. *Environmental Science & Technology*, 57(35), 12940–12943. <https://doi.org/10.1021/acs.est.3c05466>
- Rojas, M., Lambert, F., Ramírez-Villegas, J., & J. Challinord, A. (2019). *Chile y la necesidad de adaptarse ante los cambios en las precipitaciones que afectarían la producción agrícola*. www.cr2.cl
- Rojas, O., Mardones, M., Arumí, J. L., & 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. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022014000100012>
- Romero, H., Videla, A., & Gutiérrez, F. (2016). Explorando conflictos entre comunidades indígenas y la industria minera en Chile: las transformaciones socioambientales de la Región de Tarapacá y el caso de lagunillas. *Arqueología y Antropología Sur andinas*.
- Royo Letelier, M. (2023). El derecho a defender la naturaleza de los pueblos indígenas en el marco del cambio climático. *Estudios Constitucionales*, 21(1), 34–62. <https://doi.org/10.4067/S0718-52002023000100034>
- Rubio, J., Safriel, U., Daussa, R., Blum, W., & Pedrazzini, F. (2009). *Water Scarcity, Land Degradation and Desertification in the Mediterranean Region*.
- Ruz, C., Samaniego, L., & Rangel, M. (2020). Estado actual del Monitoreo de agua subterránea en América Latina e Introducción al programa GGMN. *Aqua-LAC*.
- Salimi, S., Almuktar, S. A. A. N., & Scholz, M. (2021). Impact of climate change on wetland ecosystems: A critical review of experimental wetlands. *Journal of Environmental Management*, 286, 112160. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112160>
- Salinas, M., & Becker, I. (2022a). *Guardianas del agua. (IN)seguridad hídrica en la vida cotidiana de las mujeres*. Fundación Heinrich Böll. www.cl.boell.org
- Salinas, M., Becker, I., Fragkou, M. C., & Urquiza, A. (2024). *Policy Brief: Mujeres rurales y gestión del agua: Hacia una seguridad hídrica con enfoque de género en Chile*.

- Sandoval Jeria, J. (2003). *El Riego en Chile* (M. de O. P. Dirección de Obras Hidráulicas, Ed.; p. 94).
- Santelices, C. (2017). ESSBIO: Aprendizajes para mejorar la gestión del riesgo. *Revista AIDIS*, 11–17.
- Santibáñez, F. (2018). El cambio climático y los recursos hídricos de Chile. In A. Apey, D. Barrera, & T. Rivas (Eds.), *AGRICULTURA CHILENA. Reflexiones y Desafíos al 2030* (pp. 147–178). Oficina de Estudios y Políticas Agrarias ODEPA.
- Scheelbeek, P. F. D., Khan, A. E., Mojumder, S., Elliott, P., & Vineis, P. (2016). Drinking Water Sodium and Elevated Blood Pressure of Healthy Pregnant Women in Salinity-Affected Coastal Areas. *Hypertension*, 68(2), 464–470. <https://doi.org/10.1161/HYPERTENSIONAHA.116.07743>
- SEA. (2016). *Guía metodológica para determinar el caudal ambiental para centrales hidroeléctricas en el SEIA*.
- SERNATUR. (2016). *Manual de Destinos. Elementos para la gestión de Destinos Turísticos*.
- SERNATUR. (2018). *Anuario de Turismo*.
- Servicio de Evaluación Ambiental, & Ministerio del Medio Ambiente. (2023). *Guía de Evaluación Ambiental Estratégica para incorporar el Cambio Climático en Instrumentos de Ordenamiento y Planificación Territorial*.
- Shepherd, T. G. (2014). Atmospheric circulation as a source of uncertainty in climate change projections. *Nature Geoscience*, 7(10), 703–708. <https://doi.org/10.1038/ngeo2253>
- Siebert, S., Burke, J., Faures, J. M., Frenken, K., Hoogeveen, J., Döll, P., & Portmann, F. T. (2010). Groundwater use for irrigation - A global inventory. *Hydrology and Earth System Sciences*, 14(10), 1863–1880. <https://doi.org/10.5194/hess-14-1863-2010>
- SISS. (2022). *Informe de Gestión Sector Sanitario*. Superintendencia de Servicios Sanitarios. <https://www.siss.gob.cl/586/w3-propertyvalue-6415.html>
- SISS. (2023a). *Series de datos - SISS. Superintendencia de Servicios Sanitarios*. <https://www.siss.gob.cl/586/w3-propertyvalue-6427.html>
- SISS. (2023). *Volumen de Aguas Servidas Tratadas por Región*.
- Skewes V, J. C. (1999). Culturas Indígenas de Chile: Un Estudio Preliminar de María Ester Grebe. *Revista Austral de Ciencias Sociales*, 3, 171–173. <https://doi.org/https://doi.org/10.4206/rev.austral.cienc.soc.1999.n3-13>
- Soto, D., León-Muñoz, J., Molinet, C., Soria-Galvarro, Y., Videla, J., Opazo, D., Díaz, P., Tapia, F., & Segura, C. (2020). Informe Mapas de riesgo ante el cambio climático Acuicultura, Proyecto ARClím. *Centro de Ciencia Del Clima y La Resiliencia y Centro de Cambio Global UC Para El Ministerio Del Medio Ambiente a Traveis de La Deutsche Gesellschaft Für Internationale Zusammenarbeit (GIZ).(Chile, Ministerio Del Medio Ambiente)*.
- Soto, D., León-Muñoz, J., Molinet, C., Soria, Y., Videla, J., Opazo, D., Diaz, P., Tapia, F., & Segura, C. (2020). *Informe Proyecto Arclim Acuicultura*.
- Stehr, A., Álvarez, C., Álvarez, P., Artumí, J. L., Baeza, C., Barra, R., Berroeta, C., Catillo, Y., Chiang, G., Cotoras, D., Crespo, S., Delgado, V., Donoso, G., Dussalillan, A., Ferrando, F., Figueroa, R., Frene, C., Fuster, R., Godoy, A., Gómez, T., Yevenes, M., Rivera, D. (2019). *Recursos hídricos en Chile: Impactos y adaptación al cambio climático*.

- Stehr, A., & Vicuña, S. (2020). *Una reactivación hacia la seguridad hídrica*. Santiago: Comité Científico Asesor de Cambio Climático.
- Stubing, B., Paredes, M., & Elzo, I. (2021). *Conflictos por el agua en Chile: propuestas para un modelo de diálogo desde los territorios*.
- Thomashaussen, S., Maennling, N., & Mebratu-Tsegaye, T. (2018). A comparative overview of legal frameworks governing water use and waste water discharge in the mining sector. *Resources Policy*, 55, 143–151. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2017.11.012>
- Unidas, A. G. N. (2022). Derechos humanos de los pueblos indígenas al agua potable y al saneamiento: estado de la cuestión y enseñanzas de las culturas ancestrales. In *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* (Vol. 4, Issue 1). <https://doi.org/10.18268/bsgm1908v4n1x1>
- Uribe, J. M., Cabrera, R., De la Fuente, A., & Paneque, M. (2012). *Atlas Bioclimático de Chile*.
- Urquiza, A., Amigo, C., Billi, M., Cortés, J., & Labraña, J. (2019). Gobernanza policéntrica y problemas ambientales en el siglo XXI: desafíos de coordinación social para la distribución de recursos hídricos en Chile. *Persona y Sociedad*.
- Urquiza, A., & Billi, M. (2020). *Seguridad hídrica y energética en América Latina y el Caribe. Definición y aproximación territorial para el análisis de brechas y riesgos de la población. Documentos de Proyectos (LC/TS.2020/138)*. www.cepal.org/apps
- Users, J. L. (2013). El Cambio Climático: sus causas y efectos medioambientales. *An Real Acad Med Cir Vall*.
- Usón, T. J., Henríquez, C., & Dame, J. (2017). Disputed water: Competing knowledge and power asymmetries in the Yali Alto basin, Chile. *Geoforum*, 85, 247–258. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2017.07.029>
- Valiente, O. (2001). Sequía: Definiciones, tipologías y métodos de cuantificación. *Investigaciones Geográficas*, 59–80.
- Van Lanen, H. A. J., Van Loon, A. F., & Tallaksen, L. M. (2018). Diagnosis of Drought-Generating Processes. In A. Iglesias; D. Assimacopoulos; & H. A. J. Van Lanen (Eds.), *Drought* (pp. 1–27). <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/9781119017073.ch1>
- Van Loon, A. F. (2015). Hydrological drought explained. *WIREs Water*, 2(4), 359–392. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/wat2.1085>
- Varas, E. C., & Varas, E. V. (2021). Surface Water Resources. In B. Fernández & J. Gironás (Eds.), *Water Resources of Chile* (pp. 61–92). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-56901-3_4
- Vásquez, R., & Villarroel, C. (2021). *Tendencias de Índices de Extremos Climáticos de Precipitación y Temperatura en Chile*. Dirección Meteorológica de Chile.
- Vicuña, S., Daniele, L., Farías, L., González, H., Marquet, P. A., Palma Behnke, R., Stehr, A., Urquiza, A., Wagemann, E., & Arenas Herrera, M. J. (2022a). *Desalinización: oportunidades y desafíos para abordar la inseguridad hídrica en Chile*.
- Vicuña, S., Daniele, L., Farías, L., González, H., Marquet, P. A., Palma Behnke, R., Stehr, A., Urquiza, A., Wagemann, E., & Arenas Herrera, M. J. (2022b). *Desalinización: oportunidades y desafíos para abordar la inseguridad hídrica en Chile*.
- Vicuña, S., Scott, C. A., Borgias, S., Bonelli, S., & Bustos, E. (2020). Assessing barriers and enablers in the institutionalization of river-basin adaptive management: evidence from

- the Maipo Basin, Chile. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 44, 93–103. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cosust.2020.09.003>
- Vicuña, S., Vargas, X., Boisier, J. P., Mendoza, P. A., Gómez, T., Vásquez, N., & Cepeda, J. (2021). Impacts of Climate Change on Water Resources in Chile. In B. Fernández & J. Gironás (Eds.), *Water Resources of Chile* (pp. 347–363). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-56901-3_19
- Wang, X., Wu, Y., Sun, X., Guo, Q., Xia, W., Wu, Y., Li, J., Xu, S., & Li, Y. (2021). Arsenic exposure and metabolism in relation to blood pressure changes in pregnant women. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 222, 112527. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112527>
- Welz, J., & Krellenberg, K. (2016). Vulnerabilidad frente al cambio climático en la Región Metropolitana de Santiago de Chile: posiciones teóricas versus evidencias empíricas. *EURE*.
- Wilhite, D. A., & Glantz, M. H. (1985). Understanding: the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. *Water International*, 10(3), 111–120. <https://doi.org/10.1080/02508068508686328>
- Wilhite, D. A., Sivakumar, M. V. K., & Pulwarty, R. (2014a). Managing drought risk in a changing climate: The role of national drought policy. *Weather and Climate Extremes*, 3, 4–13. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.wace.2014.01.002>
- Wilson, R., Harrison, S., Reynolds, J., Hubbard, A., Glasser, N. F., Wünderlich, O., Iribarren Anaconda, P., Mao, L., & Shannon, S. (2019). The 2015 Chileno Valley glacial lake outburst flood, Patagonia. *Geomorphology*, 332, 51–65. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.01.015>
- Xiang, K., Li, Y., Horton, R., & Feng, H. (2020). Similarity and difference of potential evapotranspiration and reference crop evapotranspiration – a review. *Agricultural Water Management*, 232, 106043. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106043>