

**GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN DE PLANEAMIENTO
DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS Y POLÍTICAS**

**ESTUDIO BÁSICO
“ANÁLISIS REQUERIMIENTOS DE INFRAESTRUCTURA HÍDRICA
DE LARGO PLAZO 2025-2055”**

RESUMEN EJECUTIVO

Preparado para:



marzo de 2025

CONTENIDO

CAPÍTULO 1	INTRODUCCIÓN	5
1.1	INTRODUCCIÓN	5
CAPÍTULO 2	MARCO ESTRATÉGICO NACIONAL	6
2.1	VISIÓN ESTRATÉGICA NACIONAL	6
2.2	DIMENSIONES DE SEGURIDAD HÍDRICA	6
CAPÍTULO 3	RESUMEN DE LOS PRINCIPALES RESULTADOS	10
3.1	ANÁLISIS DE LA DEMANDA HÍDRICA	10
3.2	OFERTA HÍDRICA	13
3.2.1	Oferta hídrica de agua superficial	13
3.2.2	Oferta hídrica de agua subterránea	15
3.2.3	Restricciones en la oferta	16
3.3	EVENTOS EXTREMOS	18
3.4	BRECHAS HIDRICAS	20
3.4.1	Brechas en el balance hídrico y restricciones sobre el uso de las fuentes	20
3.4.2	Brechas de seguridad hídrica	27
3.5	PROPUESTA PROSPECTIVA DE REQUERIMIENTOS DE INFRAESTRUCTURA HÍDRICA	33
3.5.1	Seguridad Hídrica Nacional: Estado del arte	33
3.5.2	El futuro existe en el potencial del presente: Políticas públicas e innovaciones	43
3.5.3	Gobernanza para el futuro deseado: El rol del MOP y actores clave	44
3.5.4	Frente a la incertidumbre: Visión común para la resiliencia	45
3.5.5	Megatendencias y sus potenciales consecuencias: escenarios de desarrollo	46
3.5.6	Adaptación como camino para navegar la incertidumbre	49
3.5.7	Soluciones sinérgicas para problemas complejos: Iniciativas Estratégicas	50
3.5.8	Monitoreo y estrategias de contingencia	53
CAPÍTULO 4	BIBLIOGRAFÍA	55

FIGURAS

Figura 3.1-1	Demanda extractiva a nivel nacional en el año 2023	11
Figura 3.1-2	Demanda extractiva a nivel nacional en el año 2055	11
Figura 3.1-3	Distribución de la demanda extractiva y no extractiva a nivel nacional	12
Figura 3.2-1	Distribución de restricciones según tipo de fuente, por cuenca	18
Figura 3.4-1	Indicadores de disponibilidad hídrica para el año 2025 a nivel nacional- Criterio 1 y Criterio 2.	23
Figura 3.4-2	Indicadores de disponibilidad hídrica para el año 2025 a nivel nacional- Criterio unificado	24
Figura 3.4-3	Indicadores de disponibilidad hídrica para el año 2055 a nivel nacional- Criterio 1 y Criterio 2.	25
Figura 3.4-4	Indicadores de disponibilidad hídrica para el año 2055 a nivel nacional- Criterio unificado	26
Figura 3.5-1	Inversión total distribuida por Iniciativas Estratégicas para cada región en los primeros 10 años	51
Figura 3.5-2	Cartera de inversión por tipo de iniciativa estratégica en los primeros 10 años	52

TABLAS

Tabla 3.1-1	Proyección de la demanda hídrica consuntiva y extractiva por región (2023-2055)	12
Tabla 3.2-1	Oferta hídrica histórica y proyectada para un caudal con probabilidad de excedencia del 85% (Mm ³ /año)	14
Tabla 3.2-2	Escorrentía total y glaciación en periodo histórico 1985-2015.....	14
Tabla 3.2-3	Oferta hídrica actual de agua subterránea	16
Tabla 3.2-4	Restricciones en la oferta hídrica por tipo de fuente y cuencas afectadas, por región	17
Tabla 3.3-1	Eventos extremos históricos por región, periodo 1912-2017	19
Tabla 3.5-1	Balance Hídrico Estructural Nacional Actual*	41

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN

El presente estudio tuvo como objetivo central identificar una cartera de proyectos estratégicos y realizar una prospectiva de los requerimientos de inversión necesarios para enfrentar los nuevos desafíos hídricos de Chile, con el fin de promover una mayor seguridad hídrica nacional, en un contexto de desarrollo sostenible y cambio climático. En particular, busca generar propuestas para la componente hídrica del Plan Nacional de Infraestructura Pública 2025-2055, orientadas a garantizar el acceso y uso eficiente del recurso hídrico. Estas propuestas abordan diversas dimensiones de la seguridad hídrica, tales como el suministro de agua potable y saneamiento, la producción sostenible y la eficiencia hídrica, así como la conservación de los ecosistemas y la resiliencia frente a amenazas asociadas a sequías, crecidas y la prevención de la contaminación.

Para ello, se establecieron diversos objetivos específicos, entre los cuales destacan la estimación de la demanda y la oferta hídrica en las distintas cuencas del país, la identificación de brechas en infraestructura hídrica, y la revisión de proyectos estratégicos, tanto proyectados como ejecutados o en ejecución, incluyendo aquellas iniciativas innovadoras que puedan generar nuevas fuentes de disponibilidad de agua.

Además, el estudio contempló un análisis económico, social, normativo e institucional de las iniciativas estratégicas, con el fin de priorizar aquellas que mejor contribuyan a la seguridad hídrica nacional, en coherencia con los requerimientos de adaptación al cambio climático. La actualización y prospectiva de los proyectos y programas de infraestructura hídrica, considerando horizontes de realización hasta 2055, son fundamentales para dinamizar la economía nacional y fortalecer la participación de Chile en los mercados globales.

CAPÍTULO 2 MARCO ESTRATÉGICO NACIONAL

2.1 VISIÓN ESTRATÉGICA NACIONAL

La visión estratégica nacional se desarrolló a partir de la visión estratégica de largo plazo construida para Plan Director de Servicios de Infraestructura 2025-2055 (PDSI) e informada en el estudio de Análisis Integral (DIRPLAN, 2024), el cual abarca todos los servicios de infraestructura que presta actualmente el Ministerio de Obras Públicas.

En este contexto, se **define una imagen objetivo** a largo plazo en donde se destaca la importancia estratégica del agua para las personas, la economía y la conservación de la biodiversidad en Chile; se reconoce la crisis hídrica como un desafío urgente que debe abordarse con carácter prioritario. Asimismo, se incluye destacar a nivel mundial en hidrógeno verde, desalación planificada adecuadamente, entre otros aspectos; impulsados a través de la infraestructura necesaria, diseñada e implementada bajo el criterio de resiliencia, para que pueda soportar los impactos del cambio climático.

2.2 DIMENSIONES DE SEGURIDAD HÍDRICA

Para el presente estudio, se considerarán las siguientes dimensiones de seguridad hídrica bajo las cuales se alineará la planificación estratégica de infraestructura hídrica. Los detalles de los antecedentes utilizados para esta definición se presentan en el Anexo D del Informe Nacional.

1. Dimensión para el derecho humano al agua, saneamiento y consumo humano de subsistencia

El objetivo de esta dimensión es garantizar el acceso universal a los servicios de infraestructura básicos, particularmente en comunidades urbanas y rurales marginadas y desatendidas. Esto incluye garantizar el derecho humano al agua a través de servicios de agua potable y saneamiento suficientes, seguros, aceptables, accesibles y asequibles. También busca proporcionar infraestructura de calidad para reducir las disparidades territoriales, promover la equidad social y la igualdad de oportunidades, y mejorar la calidad de vida, con un enfoque inclusivo de género. Este objetivo prioriza el apoyo a asentamientos rurales tanto en localidades concentradas, semi concentradas como dispersas, mejorando su acceso a los servicios básicos y desarrollar infraestructura

estratégica para fomentar el crecimiento sostenible en dichas zonas. Además, establece estándares mínimos de calidad y cobertura de infraestructura urbana para el consumo humano y saneamiento, y promueve proyectos de alta calidad en áreas que carecen de dichos servicios.

Otro objetivo es garantizar estándares de servicios de infraestructura básica que reduzcan la vulnerabilidad de las personas a los riesgos siconaturales, reducir las brechas sociales y promover una mayor equidad en la prestación de servicios como el derecho al agua y al saneamiento. Da prioridad al desarrollo de iniciativas de saneamiento y reutilización de aguas residuales urbanas y rurales para mejorar el bienestar de la población, proteger la calidad ambiental y crear nueva disponibilidad de agua en áreas con escasez de agua, contribuyendo a la economía circular del agua. También se promueve la investigación e identificación de recursos hídricos nuevos y existentes para una gestión y uso eficiente, sostenible y asequible del agua, garantizando la calidad en diferentes aplicaciones. Además, busca mejorar la calidad, la sostenibilidad a largo plazo, y la administración de los servicios básicos en las zonas rurales, y revertir y prevenir la segregación social urbana.

Finalmente, también se incluye combinar la participación activa comunitaria y territorial con la confianza y solidez de las instituciones. Para esto se propone definir y monitorear el cumplimiento de los estándares de servicios de infraestructura y acceso universal. Ampliar la red de monitoreo para brindar información detallada que apoye la toma de decisiones, tanto en la gestión y supervisión de los recursos hídricos para la sostenibilidad, como en el mantenimiento de los estándares de servicio que brindan las infraestructuras en todo el territorio, particularmente en situaciones de desastre. Identificar las diferencias de género en el ámbito rural, promoviendo la equidad, la participación y el desarrollo integral de las mujeres.

2. Dimensión para la producción sostenible y eficiencia hídrica

Esta dimensión tiene el fin de identificar y promover áreas productivas estratégicas en colaboración entre los sectores público, privado y de la sociedad civil para crear oportunidades de desarrollo sostenible en áreas como el hidrógeno verde, la transición energética y la ciencia. Para esto se propone fortalecer la infraestructura hídrica crítica para mejorar la competitividad y abordar los desafíos hídricos, particularmente en la agricultura y la silvicultura. Además, se propone el desarrollo de una infraestructura y gestión del agua multipropósito y resiliente al clima que aproveche las soluciones basadas en la naturaleza para fortalecer los servicios ecosistémicos. También se apunta a identificar oportunidades territoriales actuales y futuras para expandir la base económica de las áreas rurales a través de diversas actividades competitivas relacionadas con el agua, promoviendo el dinamismo económico local y el empleo. Finalmente, se enfatiza la importancia de la infraestructura estratégica de gestión del agua para permitir el desarrollo

rural sostenible, al tiempo que considera los sistemas hídricos naturales como un apoyo fundamental para la planificación y el diseño de intervenciones.

Asimismo, se define desarrollar las ventajas tecnológicas vinculadas a los recursos naturales y el capital humano, promoviendo servicios de infraestructura especializados para sectores clave como la minería, la silvicultura, la acuicultura y la agroindustria. También se espera fomentar una transición socioecológica justa para la gestión sostenible de los recursos hídricos a nivel de cuenca, promoviendo prácticas, tecnologías y requisitos agregados reducidos del patrón de producción para conciliar el consumo de agua en diferentes sectores de demanda con la disponibilidad de agua a nivel de cuenca, promoviendo el equilibrio hídrico sostenible. Además, se propone implementar una gestión integrada del agua a nivel de cuenca, promoviendo infraestructura para gestionar su disponibilidad, con énfasis en aquellas áreas con escasez. Asimismo, se debe fomentar la investigación y la identificación de fuentes de agua nuevas y existentes para una gestión y calidad del agua eficiente, sostenible y asequible en diversos usos. Finalmente, se pretende promover mecanismos y medidas de incentivos para impulsar planes, programas e iniciativas que incrementen la eficiencia y el uso racional y sostenible del agua, basados en la modernización del sistema y el fomento de usos múltiples, incorporando criterios ambientales.

Como último objetivo, se deben desarrollar servicios de infraestructura supranacionales para abordar cuestiones estratégicas como la gestión del agua. Enfatizar la importancia de diseñar infraestructura que pueda adaptarse a la naturaleza variable y evolutiva de los territorios influenciados por las tendencias globales. Además, se espera promover la provisión de servicios de infraestructura que se adapten a los roles y jerarquías específicas de los centros de población, reconociendo los contextos ecosistémicos de cada territorio, al tiempo que se garantiza el cumplimiento de estándares mínimos de calidad.

3. Dimensión para la preservación ecosistémica

Con esta dimensión se espera enfatizar en la preservación de los ecosistemas, abogando por un desarrollo descentralizado y geográficamente equilibrado, con servicios de infraestructura, sistemas económicos productivos y asentamientos distribuidos de acuerdo con las diversas capacidades y aptitudes de cada territorio. Para lo que se propone desarrollar infraestructura hídrica multipropósito y resiliente al clima y soluciones de gestión basadas en sistemas naturales, que puedan salvaguardar y restaurar las fuentes de agua en cantidad y calidad, y fortalecer los servicios ecosistémicos críticos. Además, se deben integrar consideraciones de biodiversidad y servicios ecosistémicos en la planificación y regulación del uso de suelo rural, equilibrando la conservación y gestión de los ecosistemas acuáticos con las necesidades humanas de seguridad hídrica y promoviendo prácticas sostenibles de uso de la tierra para prevenir la desertificación y la

erosión del suelo. Finalmente, se espera incentivar la restauración de áreas degradadas, así como establecer objetivos específicos de mejora ambiental para las ciudades en ámbitos como la eficiencia de los recursos hídricos.

También se espera evaluar los sistemas naturales como soporte fundamental en la planificación y diseño de intervenciones en el territorio, e integrar este componente en políticas sectoriales específicas, normativas y planes especiales de fronteras, cauces y humedales costeros, lacustres y fluviales, generando conciencia sobre su valor y necesidad de protección, restauración, reparación y remediación. Para esto es clave la medición y monitoreo de las variables ambientales que caracterizan los servicios ecosistémicos, y la promoción de prácticas de construcción sostenible en la planificación. También se promueve el inventario, caracterización y difusión de información sobre las condiciones del suelo y cambios de uso del suelo, para anticipar y mitigar riesgos potenciales de alteración o degradación de sus funciones.

4. Dimensión para la resiliencia frente a sequías, crecidas y la prevención de la contaminación

La finalidad de esta dimensión es establecer estándares de infraestructura fundamentales para reducir la vulnerabilidad a eventos climáticos extremos, promover infraestructura resiliente, considerar factores socioeconómicos en los esfuerzos de adaptación, proteger a la población de los peligros provocados por el clima, invertir en soluciones ecológicas y basadas en la naturaleza, garantizar la compatibilidad de la infraestructura. y permitir medidas de adaptación y mitigación a través de la colaboración con instituciones académicas. También se centra en identificar zonas rurales vulnerables e implementar medidas de prevención, adaptación y mitigación para mejorar la seguridad, la calidad de vida, la resiliencia y el desarrollo sostenible.

CAPÍTULO 3 RESUMEN DE LOS PRINCIPALES RESULTADOS

Este capítulo presenta un resumen de los principales resultados obtenidos a lo largo del estudio. Los resultados incluyen el análisis de la demanda hídrica actual y proyectada, la evaluación de la oferta hídrica superficial y subterránea, la identificación de las brechas en el balance hídrico y en la seguridad hídrica, así como las restricciones detectadas en las fuentes de agua. Además, se incluyen los hallazgos derivados del análisis de eventos extremos y de la calidad del agua.

3.1 ANALISIS DE LA DEMANDA HÍDRICA

En el presente acápite se expone el resumen de los resultados de demanda de agua actual y futura para el consumo de agua potable, y para los diferentes sectores productivos del recurso hídrico, tales como demanda agrícola, minera, industrial, entre otras.

Este punto se desarrolló teniendo como referencia principal, pero no excluyente, el documento “Estimación de la demanda actual, proyecciones futuras y caracterización de la calidad de los recursos hídricos en Chile” (DGA, 2017) el cual realiza un diagnóstico desagregado de las demandas de agua actual de ese entonces (año 2015) y proyecciones futuras (años 2030 y 2040), a nivel de subcuencas.

Teniendo en cuenta lo anterior, a continuación, se presenta en las Figura 3.1-1 y Figura 3.1-2 el resultado de la estimación de demandas extractiva en los años 2023 y 2055 respectivamente. En la Tabla 3.1-1 se muestra la distribución de la demanda hídrica extractiva para el periodo 2023-2055. Asimismo, se presenta en la Figura 3.1-3 la distribución porcentual de la demanda extractiva y no extractiva a nivel nacional. Los resultados detallados de dicho análisis se encuentran en el acápite 2.2 de los informes regionales.

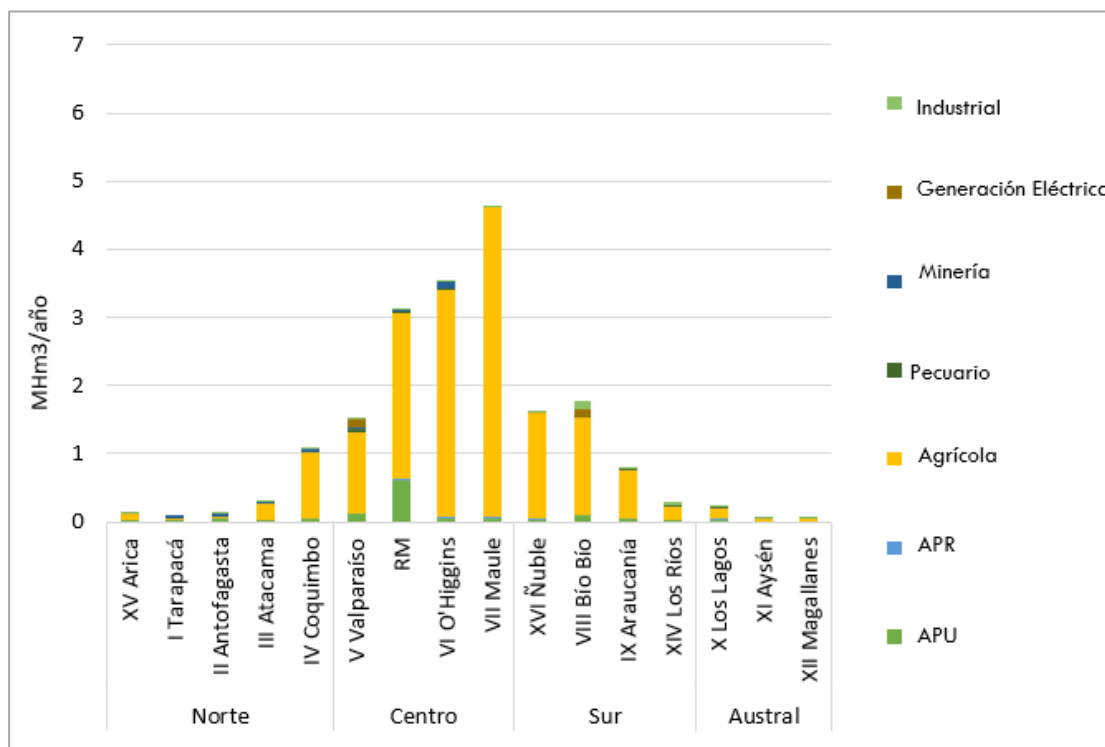


Figura 3.1-1 Demanda extractiva a nivel nacional en el año 2023

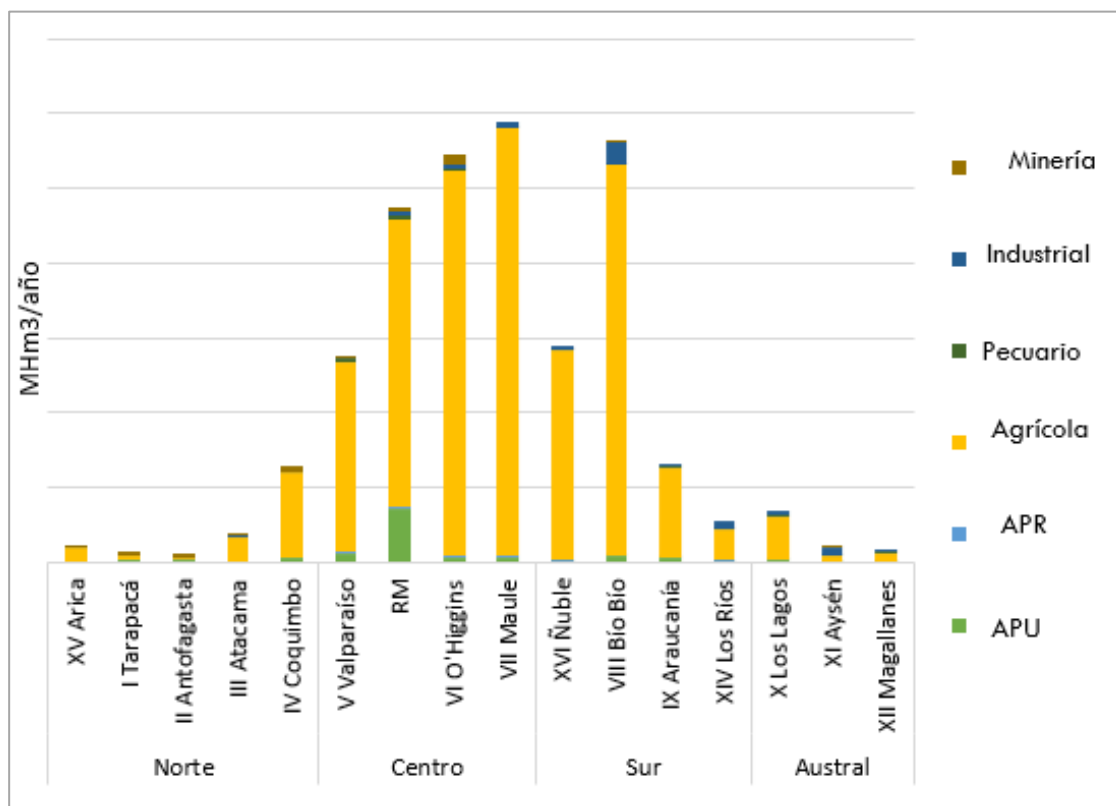


Figura 3.1-2 Demanda extractiva a nivel nacional en el año 2055

Tabla 3.1-1 Proyección de la demanda hídrica consuntiva y extractiva por región (2023-2055)

Zona	Región	Demanda (Mm³/año)				
		2023	2025	2035	2045	2055
Norte	Arica y Parinacota	130.448	154.711	155.537	154.748	205.033
	Tarapacá	97.896	108.439	88.798	100.888	114.305
	Antofagasta	133.487	123.149	102.238	110.865	114.026
	Atacama	306.267	296.120	309.021	345.923	393.576
	Coquimbo	1.078.001	1.037.848	1.073.702	1.189.731	1.289.493
Centro	Valparaíso	1.511.965	1.453.529	1.697.239	1.983.929	2.401.421
	Metropolitana	3.145.472	2.984.166	3.265.529	3.458.526	3.934.721
	O'Higgins	3.543.819	3.381.161	3.646.722	3.974.133	4.726.548
	Maule	4.648.069	4.406.933	4.880.339	4.961.802	5.089.808
Sur	Ñuble	1.633.813	1.904.044	2.119.577	2.056.502	2.409.332
	Biobío	1.765.539	2.066.830	2.444.467	2.450.206	3.128.415
	Araucanía	807.790	821.702	962.001	973.043	1.178.166
	Los Ríos	288.973	299.570	393.895	408.303	545.150
Austral	Los Lagos	234.390	289.368	336.619	350.914	549.344
	Aysén	79.870	87.405	114.942	143.632	195.184
	Magallanes	60.056	67.284	81.748	94.584	118.080
Total		19.465.855	19.482.259	21.672.375	22.757.728	26.392.600

Fuente: Elaboración propia.

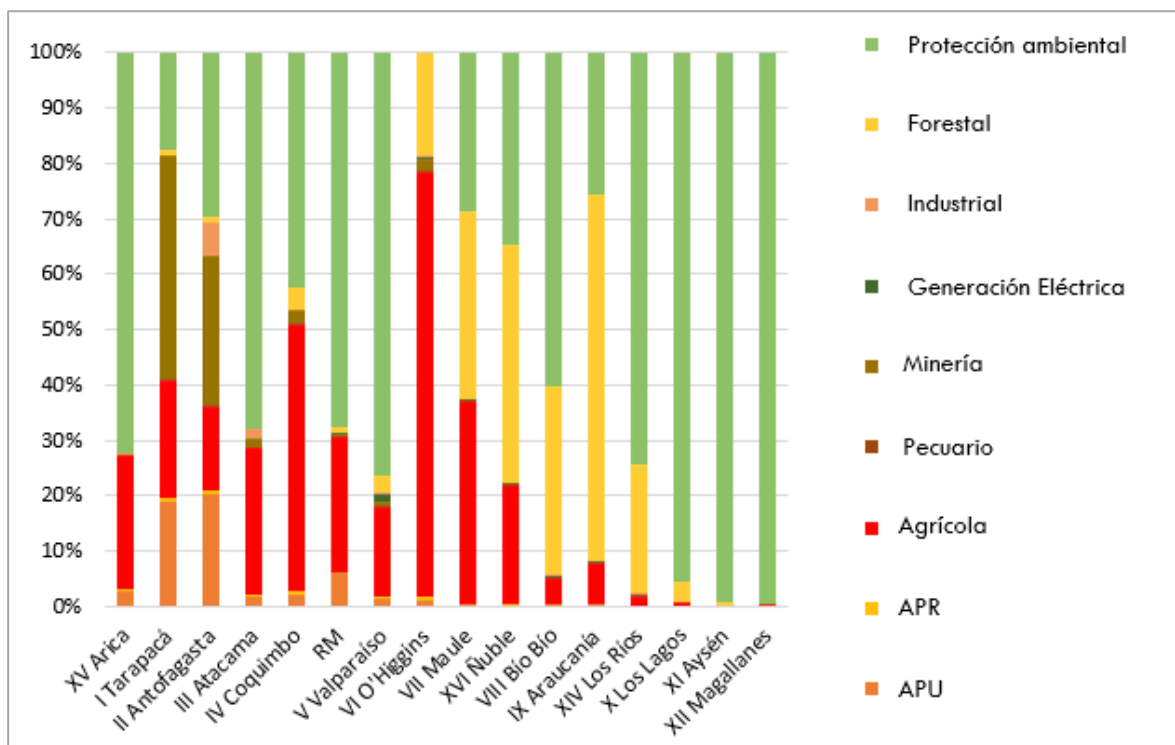


Figura 3.1-3 Distribución de la demanda extractiva y no extractiva a nivel nacional

3.2 OFERTA HÍDRICA

La oferta hídrica, entendida como el volumen de agua disponible en un sistema hidrográfico, que considera tanto los aportes superficiales como subterráneos, es un elemento clave para la planificación y gestión sostenible de los recursos hídricos. A continuación, se exponen las consideraciones utilizadas en el análisis de la disponibilidad hídrica, superficial y subterránea. Los resultados detallados de dicho análisis se encuentran reflejados en los informes regionales elaborados en el marco de este estudio.

3.2.1 Oferta hídrica de agua superficial

El análisis sobre la oferta hídrica se plantea desde un punto de vista físico, en este caso como disponibilidad de agua, sin considerar los Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA) de cada cuenca. Sin perjuicio de lo anterior, para el análisis de iniciativas específicas que requieren contar con DAA se considera la disponibilidad de la oferta legal. Por esto, en este estudio se considera como oferta de la fuente la escorrentía disponible para cada cuenca, obtenida del modelo VIC generado en el Balance Hídrico Nacional (DGA, 2022).

Las curvas de oferta hídrica actual (periodo 1985-2015), obtenidas del Balance Hídrico Nacional, fueron calculadas a partir del análisis de frecuencia realizado a las series anuales de caudal. Asimismo, a partir de la selección del GCM representativo de cada región se obtuvieron las curvas de excedencia para el periodo futuro, definido como la ventana 2025-2055.

Es importante mencionar que, si bien se dispone de valores para diferentes periodos de excedencia, la oferta hídrica superficial para la situación con recursos se asocia al caudal de 85% de probabilidad de excedencia en régimen natural, de modo de asegurar la cantidad de agua disponible para la gran mayoría de años. En el acápite 2.3.1.1 de los informes regionales, elaborados en el marco del presente estudio, se presentan los valores de caudal con probabilidad de excedencia del 85% para las situaciones histórica y futura. En la Tabla 3.2-1 se presenta la oferta por región, para un caudal con 85% de excedencia. A nivel nacional se observa un descenso de 7% en la oferta proyectada, lo que representa un desafío significativo para la gestión de los recursos hídricos.

Junto con lo anterior, es importante tener en consideración la posible incidencia de los cambios proyectados en glaciares en el ciclo hidrológico, por lo que para la estimación de este efecto se consideraron los resultados presentados en el Balance Hídrico Nacional. En este, se presenta el aporte de escorrentía glaciar histórico a nivel de cuenca y la variación de escorrentía glaciar proyectada por los GCM a nivel de latitud, con la que se determinó la afectación de los cambios en los glaciares en el ciclo hidrológico.

Tabla 3.2-1 Oferta hídrica histórica y proyectada para un caudal con probabilidad de excedencia del 85% (Mm³/año)

Zona	Región	Oferta 85% (Mm ³ /año)	
		Histórica	Futura
Norte	Arica y Parinacota	175.492	165.164
	Tarapacá	182.763	170.305
	Antofagasta	127.843	164.105
	Atacama	148.327	120.173
	Coquimbo	1.110.509	962.084
	Total	1.744.933	1.581.830
Centro	Valparaíso	1.646.284	1.416.808
	Metropolitana	4.090.036	3.677.642
	O'Higgins	3.835.942	3.686.685
	Maule	17.030.195	14.622.806
	Total	28.347.389	24.985.772
Sur	Ñuble	8.041.702	7.191.438
	Biobío	17.933.545	16.440.196
	Araucanía	30.428.989	29.395.978
	Los Ríos	23.561.374	22.694.404
	Total	108.312.999	100.707.789
Austral	Los Lagos	74.663.931	69.752.371
	Aysén	178.731.349	164.334.804
	Magallanes	154.043.519	145.483.493
	Total	539.313.173	502.972.861
Total		677.718.495	630.248.252

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 3.2-2 se muestra el caudal medio del periodo 1985-2015 y el aporte glaciar a este, según lo reportado en el informe final del Balance Hídrico Nacional (DGA, 2022).

Tabla 3.2-2 Escorrentía total y glaciar en periodo histórico 1985-2015

Zona	Región	Q total (m ³ /s)	Q glaciar (m ³ /s)
Norte	Arica y Parinacota	15,20	0,32
	Tarapacá	3,52	0,12
	Antofagasta	8,69	0,06
	Atacama	12,32	1,32
	Coquimbo	72,86	0,9
Centro	Valparaíso	84,22	3,14
	Metropolitana	223,38	14,53
	O'Higgins	245,71	21,56
	Maule	778,74	3,41
Sur	Ñuble	322,06	0,42

Zona	Región	Q total (m³/s)	Q glaciar (m³/s)
	Biobío	1.057,58	5,22
	Araucanía	887,85	10,89
	Los Ríos	1.318,24	4,79
Austral	Los Lagos	2.069,85	85,47
	Aysén	8.504,69	1470,96
	Magallanes	8.127,77	949,03

Fuente: Elaboración propia.

En base a lo anterior, se observa que todas las regiones de Chile experimentarán una reducción significativa en su oferta hídrica, con excepción de Antofagasta. En particular las regiones de Atacama, Coquimbo, Valparaíso y Maule serán las más afectadas. Esta disminución impacta la disponibilidad de recursos hídricos para el consumo humano, el desarrollo productivo y la conservación de los ecosistemas, representando un desafío crítico para la gestión y planificación del agua en el país.

3.2.2 Oferta hídrica de agua subterránea

La oferta subterránea corresponde al agua almacenada en acuíferos y su dinámica depende de la recarga natural a través de la infiltración, proveniente desde cuerpos de agua superficiales y precipitaciones. La oferta hídrica subterránea se obtuvo de distintos estudios realizados en las cuencas que componen cada región. A partir de estos, se obtuvieron las recargas de los acuíferos para cada una de las cuencas que contaban con dicha información. En función de lo anterior, se destaca la brecha de información existente para 43 cuencas a nivel nacional.

Sin embargo, para el caso de la oferta hídrica proyectada, el uso de las fuentes mencionadas ya no resulta válido debido a los supuestos particulares que se usaron en cada uno de esos estudios para estimar la recarga subterránea en el periodo futuro. En este sentido, se consideró que la recarga subterránea varía de manera proporcional a la variación de la precipitación proyectada. Por lo tanto, para estimar la recarga acuífera futura, se aplicó la variación de precipitación del GCM considerado por región como referencia del clima futuro de la región a las recargas históricas.

Por lo tanto, ante una disminución de precipitación proyectada por el GCM seleccionado como escenario desfavorable, se prevé un descenso de la recarga de forma equivalente. De acuerdo a lo anterior, para todas las cuencas se proyecta una disminución en la recarga. Finalmente, es importante tener en consideración que la recarga es una variable que se evalúa de manera constante para un periodo, por lo que se utiliza el valor promedio de los periodos histórico y futuro.

En la Tabla 3.2-3 se presentan las recargas proyectadas para cada una de las regiones del país (mayor detalle en Anexo E del Informe Nacional).

Tabla 3.2-3 Oferta hídrica actual de agua subterránea

Zona	Región	Recarga histórica (l/s)	Variación de precipitación (%)	Recarga Proyectada (l/s)
Norte	Arica y Parinacota	3.466	-30,3	2.362
	Tarapacá	2.764	-35,0	1.464
	Antofagasta	11.658	-29,2	7.310
	Atacama	7.302	-22,6	5.635
	Coquimbo	3.210	-15,2	2.765
Centro	Valparaíso	33.587	-11,0	29.373
	Metropolitana	54.705	-12,3	47.995
	O'Higgins	33.757	-12,5	29.658
	Maule	138.629	-7,9	127.034
Sur	Ñuble	32.018	-10,1	29.005
	Biobío	37.734	-8,7	34.759
	Araucanía	68.860	-4,3	65.436
	Los Ríos	42.348	-4,6	40.456
Austral	Los Lagos	17.025	-5,0	16.228
	Aysén	3.559	-2,4	3.382
	Magallanes	18.862	-1,3	18.759

Fuente: Elaboración propia.

3.2.3 Restricciones en la oferta

A continuación, se presentan las limitaciones con respecto al uso del agua actual en sus distintas formas de protección, tanto para fuentes de agua superficiales como subterráneas, establecidas con el objetivo de resguardar la sostenibilidad del recurso hídrico en el país. Para ello, se revisaron las restricciones de uso de DAA definidas por la Dirección General de Aguas, las cuales incluyen diversas medidas según tipo de fuente.

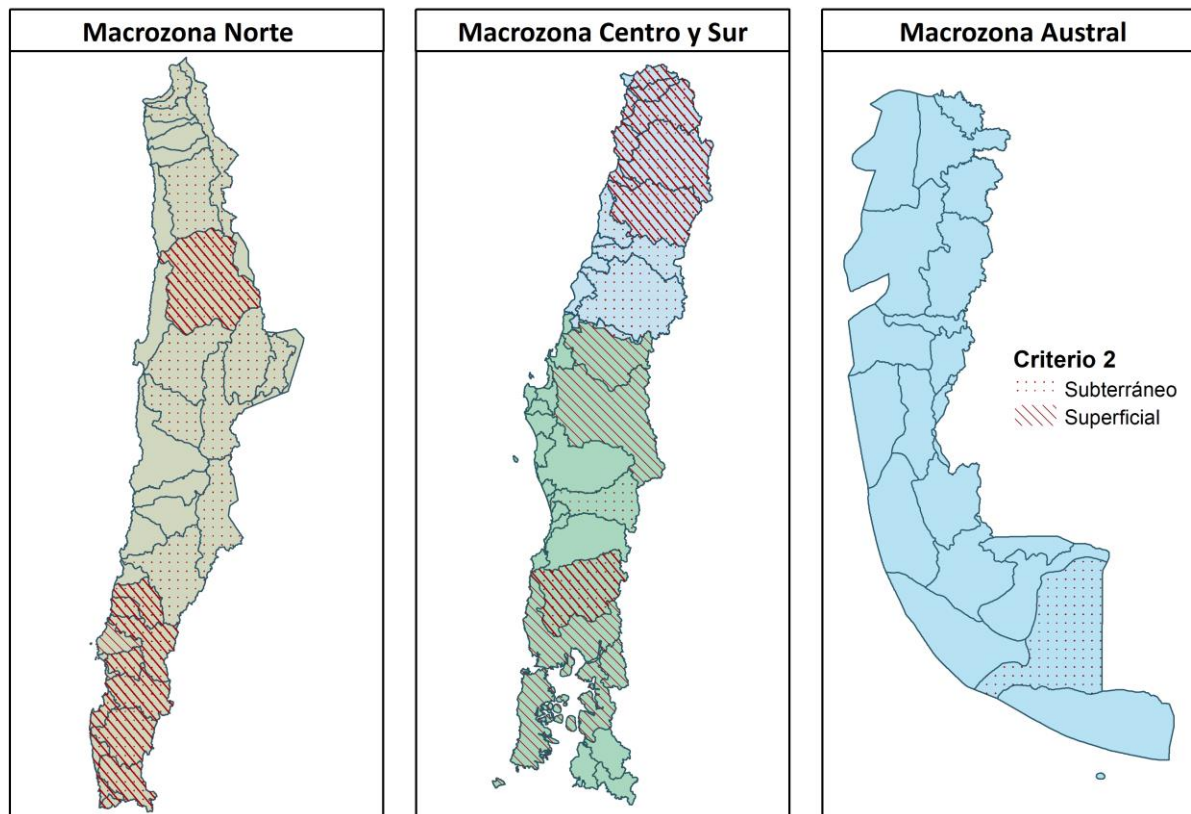
En el caso de fuentes superficiales, las restricciones incluyen: i) Declaración de agotamiento de aguas superficiales; que impide la constitución de nuevos DAA cuando la disponibilidad del recurso hídrico se encuentra agotada; ii) Decretos de reserva; que garantizan la priorización del abastecimiento hídrico de la población, cuando no existen otros medios para obtener el agua; y iii) Decretos de escasez hídrica, que otorgan herramientas a usuarios del agua y a la población, para reducir los impactos derivados de la sequía. En cuanto a las fuentes subterráneas, se consideran: i) Áreas de restricción de aguas subterráneas; aplicadas en Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común (SHAC) donde existe un grave riesgo de descenso en los niveles de agua, con el consiguiente perjuicio a los derechos de terceros establecidos, o cuando se demuestre el peligro de la sustentabilidad del acuífero; y ii) Zonas de Prohibición de aguas subterráneas, establecidas cuando la disponibilidad del recursos hídrico se encuentra totalmente comprometida, por lo que no es posible constituir nuevos DAA.

En la Tabla 3.2-4 se presentan las restricciones por región y la cantidad de cuencas afectadas en la misma, para mayor detalle consultar el acápite 2.3.1 de los Informes Regionales. En la Figura 3.2-1 se presenta la distribución de las restricciones por cuenca, según tipo de fuente.

Tabla 3.2-4 Restricciones en la oferta hídrica por tipo de fuente y cuencas afectadas, por región

Zona	Región	Restricciones por tipo de fuente			
		Superficiales/ N° Cuencas afectadas		Subterráneas/ N° Cuencas afectadas	
Norte	Arica y Parinacota	No	0	Si	5
	Tarapacá	Si	1	Si	4
	Antofagasta	Si	2	Si	6
	Atacama	Si	4	Si	5
	Coquimbo	Si	10	Si	8
Centro	Valparaíso	Si	2	Si	8
	Metropolitana	Si	2	Si	3
	O'Higgins	Si	2	Si	3
	Maule	Si	1	Si	4
Sur	Ñuble	Si	2	Si	1
	Biobío	Si	2	Si	1
	Araucanía	Si	1	Si	1
	Los Ríos	Si	1	Si	1
Austral	Los Lagos	Si	5	Si	1
	Aysén	No	0	No	0
	Magallanes	No	0	Si	3

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.2-1 Distribución de restricciones según tipo de fuente, por cuenca

3.3 EVENTOS EXTREMOS

En lo que respecta a evento extremos, a partir del uso del GCM representativo de cada región, se realizó un análisis de variaciones en los eventos extremos de gran magnitud y de baja magnitud. Los eventos de gran magnitud hacen referencia a fenómenos meteorológicos que exceden significativamente los valores normales, ya sea por su intensidad, duración o extensión espacial y generan impactos significativos en el territorio. Para el caso de este estudio, se analizaron como eventos de gran magnitud las precipitaciones máximas en un período de tiempo (24 horas). Por su parte, los eventos de baja magnitud son fenómenos que no alcanzan niveles extremos en términos de intensidad, sin embargo, tienen repercusiones en los territorios y su prolongación en el tiempo puede derivar en eventos de gran magnitud. Para el caso del presente informe, se analizó como evento la duración de las sequías.

A partir de los resultados obtenidos, se observa que se prevé una variación en los eventos de gran magnitud para las distintas cuencas. Las proyecciones climáticas pronostican un aumento de la magnitud de las precipitaciones máximas en 24 horas, para el 80% de las cuencas, encontrándose entre un 1% y 69% de aumento en relación a los valores históricos de estos eventos de gran magnitud. Por otro lado, para el caso de las sequías, en el 75% de las cuencas del país se proyecta

un aumento en la cantidad de años con sequía en comparación al periodo histórico. En el acápite 2.3.2 de los Informes Regionales se puede ver los casos particulares de cada región.

Es importante tener en consideración que los eventos extremos no se deben únicamente al efecto de la intensidad de precipitación, sino que son producto de la sinergia de distintos fenómenos climáticos y geográficos. En este sentido, aspectos como la duración y distribución temporal de la tormenta, fisiografía, humedad del suelo y superficie pluvial pueden llegar a afectar la intensidad de un evento extremo.

Al respecto, uno de los aspectos que pueden llegar a tener un mayor impacto es el área pluvial, correspondiente a la superficie que principalmente genera la escorrentía efectiva que deriva en la crecida. Esta superficie pluvial está determinada por el cruce entre la cuenca aporte total a un punto y la posición de la línea de nieve o isoterma 0°C. Por lo tanto, a partir de los eventos observados en el último tiempo, resulta importante tener en consideración que variaciones de la isoterma 0°C pueden provocar un efecto sinérgico que aumente la intensidad de la crecida ante eventos de precipitación, por lo que resulta necesario tomar este aspecto en cuenta. Este tipo de análisis debiera realizarse a escala de cuenca para lograr una correcta estimación, como lo fue el estudio realizado por Mardones y Garreaud (2020) en la zona Central de Chile (30° 38°S), donde se obtuvieron variaciones proyectadas de la isoterma 0°C.

En relación a los eventos extremos históricos, en base a Eridanus (2018), se presenta a continuación el detalle de los eventos extremos de origen natural históricos ocurridos entre los años 1912 y 2017 en el país.

Tabla 3.3-1 Eventos extremos históricos por región, periodo 1912-2017

Período de Comparación	1912-2007 (95 años)		2008-2017 (9 años)	
Región/ Tipo de Evento	I	A	I	A
Arica y Parinacota	68	3	22	0
Tarapacá	32	9	43	1
Antofagasta	98	30	37	23
Atacama	80	14	14	17
Coquimbo	126	4	36	0
Valparaíso	216	9	116	2
Metropolitana	742	3	219	3
Libertador General Bernardo O'Higgins	154	1	105	0
Maule	249	1	123	0
Biobío	286	2	285	2
La Araucanía	273	3	183	0
Los Ríos	104	9	48	0
Los Lagos	210	1	93	10
Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo	28	2	11	1
Magallanes y de la Antártica Chilena	15	0	3	0
Total	2.681	91	1.338	59

Nota: I: Inundaciones, A: Aluviones

Fuente: Elaboración propia en base a Eridanus (2018).

En la zona norte, las inundaciones han aumentado en Tarapacá y Coquimbo entre 2008-2017, mientras que los aluviones han sido más recurrentes en Antofagasta y Atacama. En la zona centro, las inundaciones son predominantes en todas las regiones, con Valparaíso y la región Metropolitana registrando un alza significativa en la última década, mientras que los aluviones son menos frecuentes. En la zona sur, Biobío ha registrado casi tantas inundaciones en 2008-2017 como en los 95 años anteriores, mientras que La Araucanía y Los Ríos mantienen una alta frecuencia. Por último, en la zona austral, Los Lagos destaca por un notable aumento de aluviones en la última década, superando a otras regiones en este tipo de eventos.

3.4 BRECHAS HIDRICAS

En este capítulo se presentan los resultados del análisis de las brechas hídricas, abarcando tanto el balance hídrico como las brechas en las dimensiones clave de la seguridad hídrica. Para ello, se realizó un exhaustivo análisis de antecedentes y diagnóstico, lo que permitió identificar las principales deficiencias en la disponibilidad de agua y las necesidades en áreas críticas como el consumo humano y saneamiento, la producción sostenible, la conservación de ecosistemas y la resiliencia frente a eventos extremos. Este análisis ofrece una visión integral de los desafíos actuales y futuros en la gestión del recurso hídrico, y los resultados obtenidos sirven como base para definir acciones estratégicas que aborden estos desafíos de manera efectiva y promuevan una gestión hídrica sostenible y resiliente.

Las brechas asociadas al balance hídrico y las brechas estratégicas son factores fundamentales para el análisis de las brechas de infraestructura y la selección de medidas a implementar. En este sentido, las brechas de infraestructura se identificaron considerando tanto las brechas relacionadas con la disponibilidad física de agua (brechas de balance hídrico) como la necesidad de ejecutar estudios, programas u otras medidas de gestión que aseguren la correcta implementación de la infraestructura seleccionada.

3.4.1 Brechas en el balance hídrico y restricciones sobre el uso de las fuentes

Se calculó la brecha hídrica a nivel de cuenca (BNA) para cada una de las cuencas ubicadas en las diferentes regiones del país. Para esto, se consideró como oferta hídrica la curva de frecuencia calculada a partir de los caudales medios anuales, obtenidos del Balance Hídrico Nacional (BHN) en el periodo 1985-2015. Por otro lado, la demanda hídrica se determinó al agregar las demandas consuntivas de los diferentes usos en cada cuenca, siendo estas: agua potable urbana, agua potable rural, agrícola, pecuario, minera, industrial y generación eléctrica, incorporando además la demanda proyectada. Adicionalmente, se incluye la recarga subterránea, proveniente de estudios específicos de las cuencas, por lo que no todas las cuencas disponen de esta información. Finalmente, para las proyecciones de oferta, se consideraron los caudales del BHN del GCM representativo de cada región, mientras que, para la recarga subterránea, con el objetivo de lograr una coherencia en el criterio utilizado, se

consideró el porcentaje de cambio de precipitación del GCM representativo como la variación en la recarga futura. En los Anexos 0X.05 de los informes regionales se presentan los gráficos con las brechas para cada cuenca. La metodología utilizada para la clasificación se presenta en el Anexo B del Informe Nacional.

En particular, **la brecha hídrica asociada al balance hídrico considera como oferta hídrica disponible para satisfacción de la demanda aquella que posee una probabilidad de excedencia del 85%, mientras que la demanda potencial corresponde a la sumatoria de demandas de agua asociada a los diferentes tipos de consumo y actividades productivas consuntivas**. Considerando el carácter estratégico del Plan y las tendencias observadas y proyectadas respecto al aumento sostenido de la demanda y los efectos del cambio climático en la oferta, se establece la componente de balance de la brecha hídrica para el **año 2055**.

Cabe señalar que las brechas asociadas al balance hídrico y las brechas hídricas estratégicas son factores complementarios para el análisis de brechas de infraestructura y para la selección de medidas a implementar. Es decir, las brechas de infraestructura se identificarán considerando la existencia de brechas asociadas a la disponibilidad física de agua (brechas de balance hídrico), además de la necesidad de ejecutar estudios, programas u otras medidas de gestión para que la infraestructura seleccionada pueda ser implementada correctamente (brechas hídricas estratégicas). Para definir la brecha hídrica asociada al balance, este estudio consideró dos criterios:

Criterio 1: Se evalúa si la demanda total de la cuenca supera la oferta superficial¹ en la misma considerando diferentes probabilidades de excedencia. Se considera una **cuenca crítica o con déficit hídrico estructural**, aquella donde la demanda supera la oferta disponible con una probabilidad de excedencia del 50%; una **cuenca en estrés** se determina cuando la demanda supera la oferta disponible con una probabilidad de excedencia del 85%; y una **cuenca con recursos** es en la cual la demanda no supera la oferta disponible con una probabilidad de excedencia del 85%.

Criterio 2: Se evalúa si en la actualidad existen restricciones para el uso de agua en la cuenca (declaraciones de agotamiento o decretos de escasez para la componente superficial, y, áreas de restricción o zonas de prohibición para la componente subterránea). Este criterio se aplica solo a la situación actual.

Clasificación final: En el caso de existir dos (2) tipos de restricción (superficial y subterráneo) en la cuenca, esta se define inmediatamente como **cuenca con déficit hídrico estructural**. En el caso de existir un (1) tipo de restricción (superficial o subterráneo) en la cuenca, la clasificación definida en el *Criterio 1* se promueve en un nivel de criticidad, por ejemplo:

¹ En base al Balance Hídrico Nacional (DGA, 2018)

Criterio 1 = cuenca con recursos
Criterio 2 = decreto de escasez vigente
Clasificación final = cuenca en estrés

Para la situación actual nacional, en la Figura 3.4-1 se observan 21 cuencas consideradas **cuencas con déficit hídrico estructural**, es decir, donde la demanda total supera la oferta disponible con una probabilidad de excedencia del 85%.

Por otra parte, en la misma figura se muestra que 71 cuencas se encuentran en una situación cuya demanda total no supera la oferta disponible con una probabilidad de excedencia del 85%, es decir, son cuencas **con recursos hídricos disponibles**. No obstante, se debe considerar que 10 de estas cuencas² actualmente poseen restricciones tanto para el uso de aguas superficiales como para aguas subterráneas, por lo que su clasificación final es **cuencas con déficit hídrico estructural**, como se muestra en la Figura 3.4-2.

Finalmente, las 21 cuencas restantes, si bien fueron clasificadas como **cuencas con recursos** dado que su demanda total no supera la oferta disponible con una probabilidad de excedencia del 85%, actualmente poseen restricciones para aguas superficiales o subterránea, por lo que su clasificación final es **cuencas en estrés**, como se muestra en el la Figura 3.4-2.

Asimismo, en la Figura 3.4-3 se presenta la situación hídrica para el año 2055 y, en la Figura 3.4-4 se presenta el criterio unificado para el año 2055.

Los resultados de la clasificación final, en detalle se presentan en el Anexo E del Informe Nacional.

² Río Loa (BNA 021), Salar de Atacama (BNA 025), Río los Choros (BNA 041), Río Elqui (BNA 043), Río Choapa (BNA 047), Costeras entre R. Choapa y R. Quilimarí (BNA 048), Río Quilimarí (BNA 049), Río Maipo (BNA 057), Río Rapel (BNA 060), Río Bueno (BNA 103).

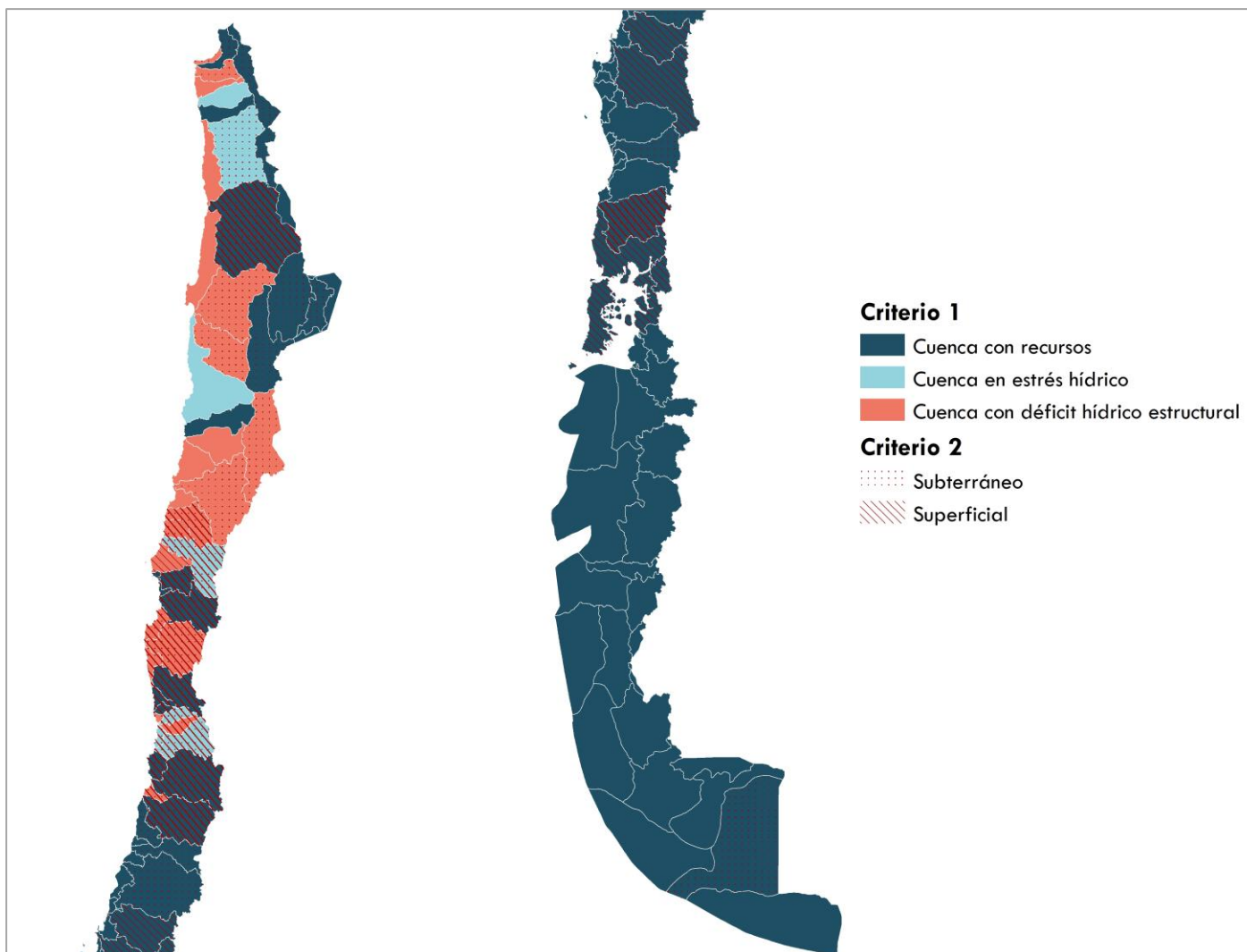


Figura 3.4-1 Indicadores de disponibilidad hídrica para el año 2025 a nivel nacional- Criterio 1 y Criterio 2.

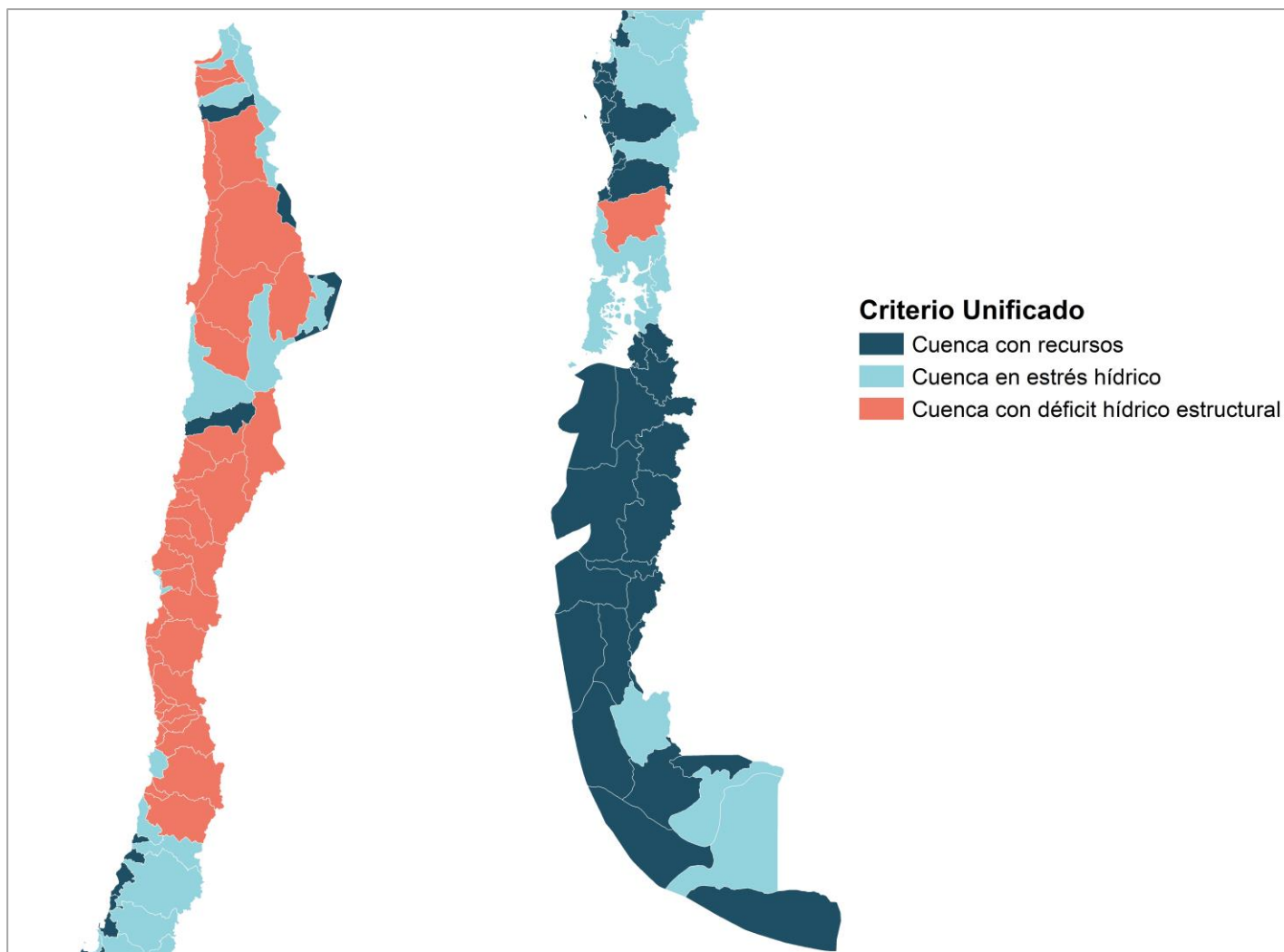


Figura 3.4-2 Indicadores de disponibilidad hídrica para el año 2025 a nivel nacional-Criterio unificado

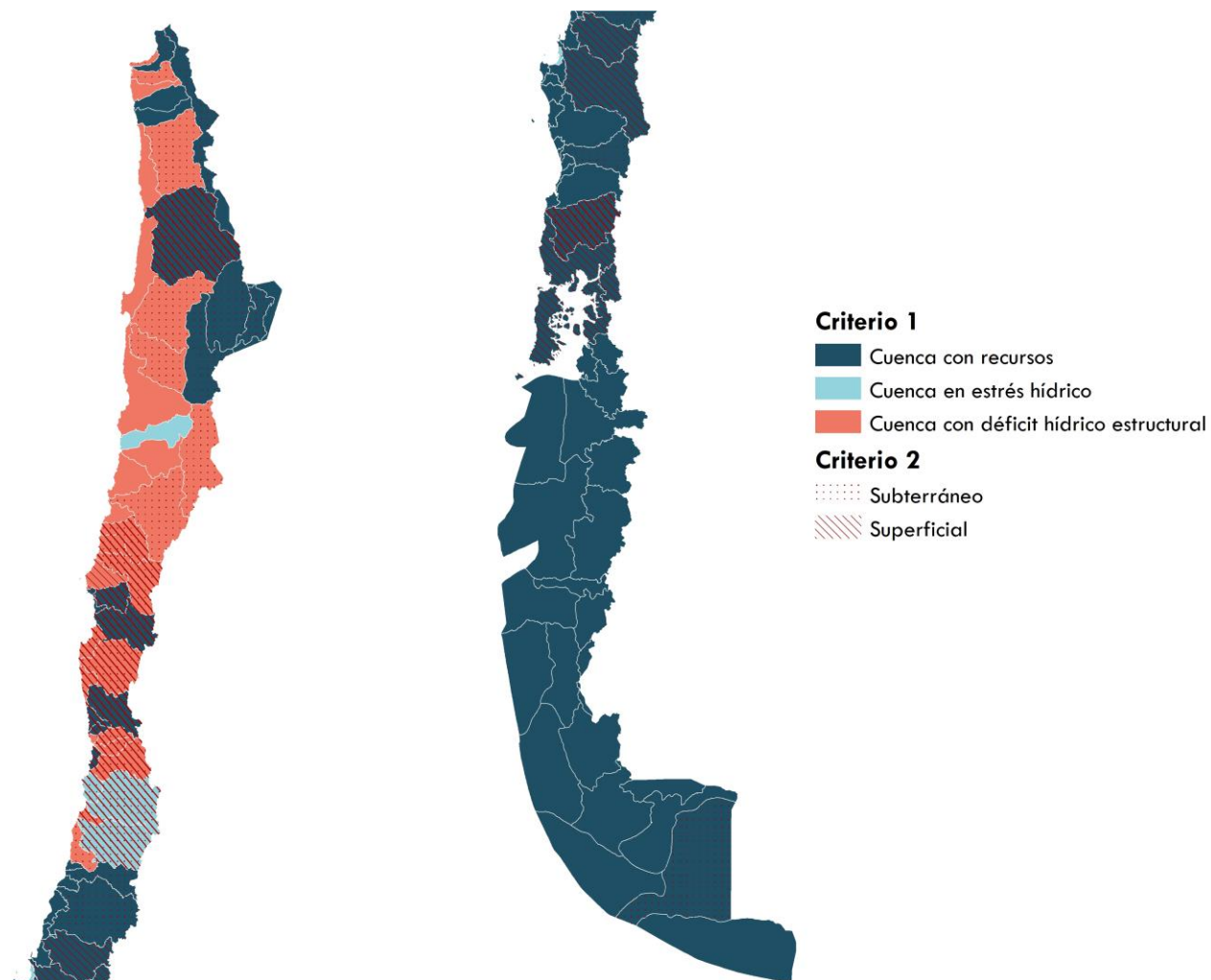


Figura 3.4-3 Indicadores de disponibilidad hídrica para el año 2055 a nivel nacional- Criterio 1 y Criterio 2.

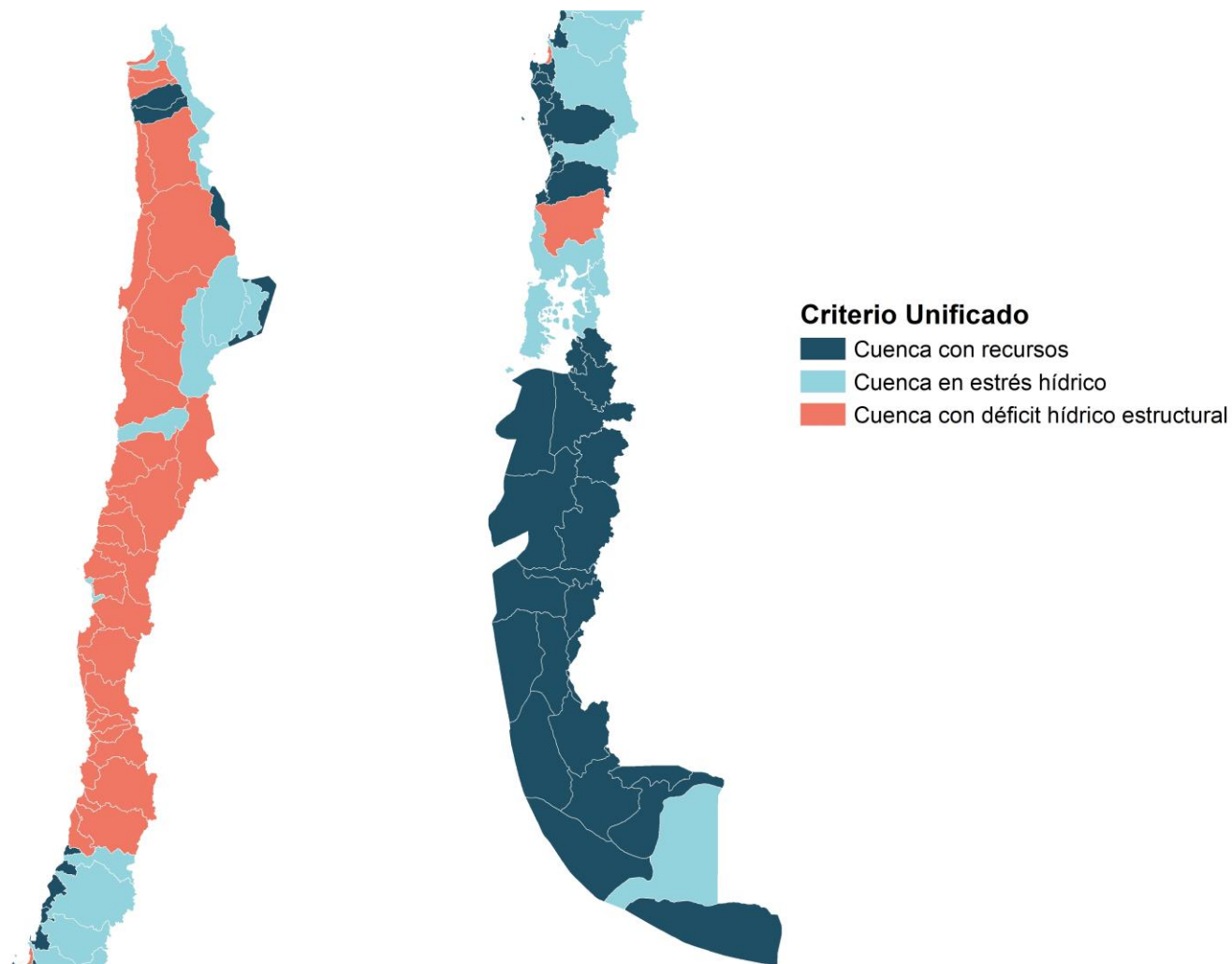


Figura 3.4-4 Indicadores de disponibilidad hídrica para el año 2055 a nivel nacional-Criterio unificado

3.4.2 Brechas de seguridad hídrica

La identificación y evaluación de las brechas de seguridad hídrica se asocian a sus dimensiones estratégicas, con el fin de garantizar una gestión sostenible y resiliente del recurso. Estas brechas orientan la gestión hídrica hacia las siguientes dimensiones estratégicas de seguridad hídrica, definidas en el acápite 2.2: (i) derecho humano al agua, saneamiento y consumo humano de subsistencia; (ii) producción sostenible y eficiencia hídrica; (iii) conservación y preservación de los ecosistemas; y (iv) resiliencia frente a amenazas como sequías, crecidas y prevención de la contaminación.

La evaluación de brechas estratégicas se inició con la definición de objetivos específicos regionales basados en una revisión exhaustiva de antecedentes locales y nacionales sobre la gestión hídrica y sus desafíos. Luego, a partir de dichos objetivos se identificaron brechas estratégicas específicas, las que son complementadas con información hídrica, ambiental y socio-económica, asegurando una integración de los desafíos regionales con los contextos de mayor escala.

Para analizar las brechas identificadas, se desarrollaron indicadores específicos. Estos indicadores fueron seleccionados con base en los objetivos y necesidades particulares de la región, y sus rangos fueron establecidos en función de la información disponible en la justificación regional. Finalmente, se establecieron niveles de criticidad para cada indicador, utilizando una escala donde alta criticidad se asignó con un valor de 4, criticidad media con 2, y baja criticidad con 1. Esta clasificación permitió evaluar las cuencas hidrográficas según su vulnerabilidad y necesidades de intervención, conforme a cada dimensión de seguridad hídrica evaluada.

En los informes regionales, acápite 4.2.1, se presentan las brechas estratégicas identificadas en cada región y clasificadas para cada cuenca según el grado de criticidad de dicha brecha. El criterio es aplicado de acuerdo a una serie de indicadores que permiten establecer rangos de análisis cuantitativo para las brechas.

- **Brechas de seguridad hídrica para el derecho humano al agua, saneamiento y consumo humano de subsistencia**

En esta dimensión, el análisis se centró en garantizar el acceso equitativo y suficiente al agua potable y a servicios de saneamiento para las personas, con un enfoque en las necesidades básicas de consumo humano. Las brechas identificadas se relacionaron con la cobertura insuficiente de estos servicios, la falta de infraestructura y las dificultades para asegurar un suministro adecuado.

A continuación, se presentan las principales brechas de seguridad hídrica para el derecho humano al agua, saneamiento y consumo humano de subsistencia identificadas en cada macrozona.

Para la zona norte se identificaron desafíos de seguridad hídrica en la sostenibilidad del suministro de agua potable. Si bien la cobertura de agua potable urbana es alta, las pérdidas en la distribución entre un 30% y 36%, siendo de Coquimbo la región más afectada. En áreas rurales, entre el 14% y 43% de las viviendas carecen de acceso a agua potable, mientras que se observan periodos de sobreexplotación de los recursos hídricos rurales. Además, la falta de información afecta hasta el 39% de las viviendas rurales. Por otra parte, la población rural con acceso a agua potable que carece de sistemas de alcantarillado oscila entre 6% y 55%.

En la zona centro la sostenibilidad del suministro de agua potable enfrenta considerables presiones. Si bien la cobertura varía entre un 94% y 96%, las pérdidas de los sistemas de distribución oscilan entre un 30% y 44%, siendo O'Higgins la región más afectada. El crecimiento poblacional proyectado incrementa la vulnerabilidad del sistema, configurando una situación de vulnerabilidad ante la garantía de la cobertura del servicio. En las áreas rurales, entre el 10% y 37% de las viviendas carecen de acceso a agua potable, mientras que la sobreexplotación de los recursos hídricos alcanza hasta un 34%. Por otra parte, la población rural con acceso a agua potable que carece de sistemas de alcantarillado oscila entre 38% y 53%, afectando en gran parte a la región de O'Higgins y Maule.

Para la zona sur, también se presentan presiones considerables para el suministro de agua potable. En la región de la Araucanía y Los Ríos, los servicios de agua potable rural presentan desafíos significativos, ya que entre un 10% y 44% de las viviendas no tienen acceso a agua potable y un 56% de la población rural con acceso a agua potable carece de sistemas de alcantarillado. Para el caso de Ñuble, Biobío y la cuenca Río Valdivia (BNA 101), los sistemas de distribución registran pérdidas que alcanzan hasta un 40%.

Finalmente, para la zona austral entre un 17% y un 50% de las viviendas de zonas rurales no tienen acceso a agua potable y hasta un 39% de la población rural con acceso a agua potable carece de sistemas de alcantarillado. En las zonas urbanas, la situación es menos crítica, con pérdidas en los sistemas de distribución que alcanzan un 34%, sin embargo, las deficiencias en los sistemas y las brechas de información referentes a la provisión del servicio, incrementan los riesgos y los desafíos en esta dimensión.

- **Brechas de seguridad hídrica para la producción sostenible y su eficiencia**

Esta dimensión abordó la relación entre el uso del recurso hídrico y las actividades productivas clave en la región. El enfoque principal fue identificar las brechas en la eficiencia hídrica en estos sectores. Las brechas se centraron en la necesidad de mejorar el uso eficiente del agua en los procesos productivos y en asegurar la sostenibilidad a largo plazo de las actividades económicas.

A continuación, se presentan las principales brechas de seguridad para la producción sostenible y eficiencia hídrica identificadas en cada macrozona.

La macrozona norte se encuentra en una situación compleja, con eficiencias de riego que promedian un 58%. En particular, se observan grandes presiones para 8 cuencas de la macrozona, ya que concentran más del 86% de la red de canales de la región y presentan deficiencias en sus sistemas de distribución, afectando la sostenibilidad agrícola de la macrozona. En la región de Coquimbo, los bajos niveles de almacenamiento de embalses evidencian la necesidad de diversificar las fuentes de abastecimiento hídrico. Además, la infraestructura hídrica multipropósito es insuficiente, ya que sólo se observan proyectos en menos del 50% de las cuencas que componen la macrozona. Por otra parte, se observan limitaciones en torno a las OUAs, ya que sólo 12 de las 34 cuencas registran algún tipo de organización.

Por su parte, la macrozona centro se encuentra en una situación favorable, con eficiencias de riego varían entre el 53% y 86%, sin embargo, existen oportunidades que deben ser abordadas. En particular, se observan grandes presiones para las cuencas Río Aconcagua (BNA 054), Río Maipo (BNA 057), Río Rapel (BNA 060) y Río Maule (BNA 073), ya que concentran más del 88% de la red de canales de la macrozona, presentan deficiencias en sus sistemas de distribución, y se proyectan aumentos en su demanda hídrica, lo que afecta la productividad y sostenibilidad agrícola de la macrozona. En particular, para Valparaíso y O'Higgins, se proyectan aumentos en la demanda manufacturera y minera, lo que pone a las regiones en una situación de riesgo. Los bajos niveles de almacenamiento de embalses destacan la necesidad de diversificar las fuentes de abastecimiento. Además, la infraestructura hídrica multipropósito es insuficiente, ya que solo se observan proyectos para 5 cuencas. Se observan limitaciones en torno a las OUAs para las regiones Metropolitana y Maule, ya que sólo se registra algún tipo de organización en las cuencas Río Maipo (BNA 057), Río Mataquito (BNA 071) y Río Maule (BNA 073).

La macrozona sur enfrenta una complejidad variable entre sus regiones. Ñuble y Biobío se encuentran en una situación de aguda complejidad, con eficiencias de riego que varían entre un 44% y 69%. Por su parte, Araucanía y Los Ríos presentan

eficiencias de riego mayores, que alcanzan un 75%, sin embargo, existen oportunidades que deben ser abordadas. En particular, se observan grandes presiones para 4 cuencas de la macrozona, ya que concentran más del 95% de la red de canales, presentan deficiencias en sus sistemas de distribución, y se proyectan aumentos en su demanda hídrica, lo que afecta en la productividad agrícola e industrial de la zona. Particularmente, para Río Toltén (BNA 094) se proyectan aumentos en la demanda manufacturera, situando a la cuenca en una situación de riesgo. La falta de diversificación en la matriz hídrica, la escasa información acerca del volumen embalsado y la disminución en la oferta hídrica superficial proyectada, evidencian la importancia de diversificar las fuentes de abastecimiento. Además, la infraestructura hídrica multipropósito es insuficiente, ya que sólo se observan proyectos para la mitad de las cuencas de la zona y en su mayoría corresponden a proyectos de menor escala. Se observan limitaciones en torno a las OUAs, ya que sólo se registra un tipo de organización de usuarios de agua en las cuencas Río Itata (BNA 081), Río Biobío (BNA 083), Río Imperial (BNA 091) y Río Toltén BNA 094). Para la región de Los Ríos no se observa ningún tipo de organización

Finalmente, la macrozona austral enfrenta una situación compleja en cuanto al uso sostenible del agua. Las eficiencias de riego varían entre 35% y 72%, lo que requiere mejoras. Se observan grandes presiones en 4 cuencas de la macrozona, ya que agrupan el 97% de la red de canales. Estas cuencas presentan deficiencias en sus sistemas de distribución y se proyectan aumentos en su demanda hídrica, lo que representa un desafío para la productividad de la macrozona. Se observan limitaciones en torno a las OUAs, sólo se observa un tipo de organización para Aysén y Magallanes, para Los Lagos no se registra ninguna organización. Se registran disminuciones en la oferta hídrica superficial superiores al 10%, lo que afecta el llenado de embalses, poniendo en evidencia la necesidad de diversificar las fuentes de abastecimiento. Además, la infraestructura hídrica multipropósito continúa siendo insuficiente, ya que sólo se observan proyectos en 7 de las 26 cuencas que componen la macrozona, y en su mayoría corresponden a proyectos de menor escala, lo que restringe la capacidad de adaptación de la macrozona.

- **Brechas de seguridad hídrica para la conservación y preservación de los ecosistemas**

En esta dimensión, la atención se enfocó en el equilibrio entre el uso del agua y la protección de los ecosistemas naturales, especialmente en áreas de alta biodiversidad y valor ambiental. Las brechas se identificaron en relación con la conservación de los caudales ecológicos, la preservación de humedales. El objetivo fue garantizar que el uso del agua no comprometa la integridad de los ecosistemas acuáticos y terrestres en la región.

La evaluación de brechas estratégicas se inició con la definición de objetivos específicos regionales basados en una revisión exhaustiva de antecedentes locales y nacionales sobre la gestión hídrica y sus desafíos. Luego, a partir de dichos objetivos se identificaron brechas estratégicas específicas, las que son complementadas con información hídrica, ambiental y socio-económica, asegurando una integración de los desafíos regionales con los contextos de mayor escala.

A continuación, se presentan las principales brechas de seguridad hídrica para la conservación y preservación de los ecosistemas identificadas en cada macrozona.

La macrozona norte enfrenta un problema en crítico la calidad del agua. Todas las cuencas, excepto Quebrada Caracoles (BNA 027), presentan un deterioro significativo en su calidad de agua, debido a altos niveles de contaminación por agroquímicos y aguas residuales. Además, se observan riesgos de contaminación por relaves en desuso y falta de información sobre monitoreo y calidad del agua. Adicionalmente, se observa un bajo nivel de protección ecosistémica para la macrozona norte, donde más del 70% de las cuencas no alcanzan el 5% de protección de superficie de humedales, evidenciando la necesidad de implementar medidas de conservación más efectivas.

La calidad del agua en la macrozona centro es un problema crítico para las regiones Metropolitana, O'Higgins y Maule. Las cuencas Río Rapel (BNA 060), Río Mataquito (BNA 071) y Costeras R. Maule – Límite Región (BNA 074), presentan altos niveles de contaminación por agroquímicos, debido a la intensa actividad agrícola y ganadera. Además, se observa un gran deterioro de la calidad de agua en todas las cuencas de la macrozona centro, atribuido a descargas de aguas servidas y a la carencia de tratamiento de aguas residuales. Por otra parte, se observan riesgos de contaminación por relaves abandonados y grandes presiones a los recursos hídricos en la región Metropolitana, O'Higgins y Maule. Se observa un cambio significativo en el uso de suelo en las cuencas Río Rapel (BNA 060), Río Mataquito (BNA 071) y Río Maule (BNA 073), lo que pone en riesgo a ecosistemas cercanos, como humedales. La capacidad natural de regulación de los ecosistemas de Valparaíso se encuentra en una situación crítica. Además, se observa un bajo nivel de protección ecosistémica para la macrozona centro, especialmente en 10 cuencas de la macrozona, las cuales no alcanzan el 5% de protección de superficie de humedales, evidenciando la necesidad de implementar medidas de conservación más efectivas.

Para la macrozona sur la calidad del agua representa un problema crítico para todas las cuencas, debido a la intensa actividad agrícola, las descargas de aguas servidas y los riesgos de contaminación por relaves y actividades industriales. Además, se

observa un bajo nivel de monitoreo en todas las cuencas, con excepción de Río Itata (BNA 081) y Río Biobío (BNA 083). A su vez, la mayoría de las cuencas de la macrozona no superan el 5% de protección de sus superficies de humedales, evidenciando la urgencia de fortalecer las estrategias de conservación y gestión de estos ecosistemas.

Finalmente, la calidad del agua en la zona austral es un problema grave en todas sus cuencas. El uso de agroquímicos pone en riesgo a ecosistemas frágiles y cuerpos de agua cercanos. Se observa un deterioro en la calidad del agua en todas las cuencas de la macrozona, atribuido a descargas de aguas servidas, debido a la carencia de servicios de saneamiento y a la ausencia de sistemas de tratamiento de aguas residuales. A esto se suman riesgos de contaminación asociados a la acuicultura y la creciente actividad industrial y minera. Se ha registrado un cambio significativo en el uso de suelo, lo que pone en riesgo a humedales y cuerpos de agua. Esta situación se ve agravada por el bajo nivel de monitoreo en todas las cuencas de la zona austral, con excepción de Costeras entre R. Puelo – R. Yelcho (BNA 106) y Cuencas e Islas entre R. Bueno – R. Puelo (BNA 104). Debido a las presiones de las actividades productivas, los efectos del cambio climático y la falta de identificación de zonas de protección de fuentes de agua y caudales ecológicos, la capacidad de los ecosistemas para proveer servicios ecosistémicos se ha visto reducida en todas las cuencas de la macrozona. La mitad de las cuencas presenta un nivel de protección de humedales inferior al 5%.

- **Brechas para la seguridad hídrica que promueva la resiliencia frente a amenazas asociadas a sequías, crecidas y la prevención de la contaminación**

En esta dimensión, el foco estuvo en la capacidad de las cuencas hidrográficas para enfrentar amenazas relacionadas con el cambio climático y eventos extremos, como sequías prolongadas, inundaciones o episodios de contaminación. Las brechas identificadas se relacionaron con la vulnerabilidad de las cuencas ante estos fenómenos y la necesidad de fortalecer las infraestructuras de almacenamiento y protección. El objetivo fue asegurar la resiliencia de las cuencas frente a eventos futuros y reducir el riesgo de desastres hídricos.

A continuación, se presentan las principales brechas de seguridad hídrica para promoción de la resiliencia frente a amenazas asociadas a sequías, crecidas, y la prevención de la contaminación identificadas en cada macrozona.

La macrozona norte presenta un alto riesgo en esta dimensión. Mas de un 61% de las cuencas de la macrozona muestran una alta vulnerabilidad a eventos extremos como inundaciones y aluviones, debido a sistemas de defensa fluvial que resultan insuficientes y a incrementos de superficies impermeables. La ausencia de planes de

manejo y drenaje de aguas lluvias, acentúa la vulnerabilidad y agrava los impactos ante eventos de crecidas y remociones en masa.

Para el caso de la macrozona centro, más de un 73% de las cuencas presentan alta vulnerabilidad a eventos extremos como inundaciones y aluviones, debido a sistemas de defensa fluvial que resultan insuficientes y a incrementos de superficies impermeables. La ausencia de planes de manejo y drenaje de aguas lluvias, acentúa la vulnerabilidad y agrava los impactos ante eventos de crecidas y remociones en masa.

En la macrozona sur, más del 63% de las cuencas presentan alta vulnerabilidad a eventos extremos como inundaciones y aluviones, debido a sistemas de defensa fluvial que resultan insuficientes. La ausencia de planes de manejo y drenaje de aguas lluvias, acentúa la vulnerabilidad y agrava los impactos ante eventos de crecidas y remociones en masa.

Finalmente, las cuencas de la macrozona austral presentan alta inseguridad en esta dimensión. Más de la mitad de las cuencas presentan alta vulnerabilidad a eventos extremos como inundaciones, con sistemas de defensa fluvial que resultan insuficientes. La baja efectividad de los sistemas de drenaje de aguas lluvias agrava esta situación, lo que en definitiva incrementa los impactos ante eventos de crecidas.

3.5 PROPUESTA PROSPECTIVA DE REQUERIMIENTOS DE INFRAESTRUCTURA HÍDRICA

3.5.1 Seguridad Hídrica Nacional: Estado del arte

Chile presenta una notable diversidad geográfica, con una fuerte inclinación hacia actividades productivas como la agricultura y la minería, abarcando tanto realidades rurales, como urbanas. Esta variedad conlleva desafíos específicos en la gestión de los recursos hídricos, que son fundamentales para el bienestar de las comunidades y el desarrollo económico del país. A continuación, se presentan los desafíos y riesgos que presentan las distintas macrozonas del país.

i. Macrozona Norte: Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta, Atacama, Coquimbo

En las cuencas donde se concentran la mayor demanda hídrica de la macrozona norte destacan las cuencas Río San José (BNA 013), Costeras entre R. San José – Q. Camarones (BNA 014), Pampa Del Tamarugal (BNA 017), Costeras Tilviche – R. Loa (BNA 018), Río Loa (BNA 021), Costeras R. Loa – Q. Caracoles (BNA 022), Q. Caracoles (BNA 027), Río Copiapó (BNA 034), Río Huasco (BNA 038), Costeras entre R. Elqui – R. Limarí (BNA 044), Río Limarí (BNA 045) y Río Choapa (BNA 047). El sector agrícola es el uso que presenta la mayor demanda consuntiva para el año 2023, seguido por minería. Se proyectan aumentos tendenciales en las demandas consuntivas hacia el año 2055 que van desde un 17% a un

57%. Este incremento se encuentra principalmente atribuido a la expansión agrícola³, y a la baja eficiencia en el riego, que oscila entre un 54% y 69%. El aumento en las demandas genera una presión significativa en las cuencas que concentran la mayor demanda hídrica. En particular, la región de Antofagasta representa una excepción, con una proyección de disminución del 15% en la demanda hídrica, atribuida a una reducción significativa de la demanda agrícola en un 75% y una disminución del 19% en el sector minero.

De manera simultánea, se espera una reducción generalizada de los caudales en las cuencas de la macrozona Norte, con descensos que oscilan entre un 14% y un 44%, con excepción de Antofagasta, que muestra incrementos que alcanzan un 61%. En la Tabla 3.5-1 se presenta el balance hídrico unificado para las cuencas que cuentan con déficit hídrico estructural y estrés hídrico. Se evidencia que, cuencas como Quebrada de la Concordia (BNA 011), Costeras Tilviche – R. Loa (BNA 018) y Quebrada Caracoles (BNA 027), presentan déficit hídrico estructural. Este déficit hídrico se debe a que la demanda supera la oferta disponible con un 50% de probabilidad de excedencia, junto con restricciones en al menos una de sus fuentes, situación que la vuelve especialmente vulnerables a los efectos del cambio climático. Entre los desafíos de Seguridad Hídrica (SH)⁴ para la zona norte, la sostenibilidad del suministro de agua potable enfrenta considerables presiones. En las zonas urbanas, las pérdidas de los sistemas de distribución oscilan entre un 30% y 36%, donde la región de Coquimbo presenta los niveles más altos de pérdidas. En las áreas rurales, entre el 14% y 43% de las viviendas no tienen acceso a agua potable. La población rural con acceso a agua potable que carece de sistemas de alcantarillado oscila entre 6% y 55%. En cuanto a la eficiencia y el uso sostenible del agua, la macrozona se encuentra en una situación compleja, con eficiencias de riego que promedian un 58%, lo que evidencia la necesidad implementar mejoras en este ámbito. En particular, se observan grandes presiones para las cuencas Río Lluta (BNA 012), Río San José (BNA 013), Salar de Atacama (BNA 025), Río Copiapó (BNA 034), Río Huasco (BNA 038), Río Elqui (BNA 043), Río Limarí (BNA 045) y Río Choapa (BNA 047), ya que concentran más del 86% de la red de canales de la región, presentan deficiencias en sus sistemas de distribución, y se proyectan aumentos en su demanda hídrica, lo que afecta la sostenibilidad agrícola de la macrozona. En particular, para la región de Coquimbo, los bajos niveles de almacenamiento de embalses evidencian la importancia de diversificar las fuentes de abastecimiento hídrico. Además, la infraestructura hídrica multipropósito es insuficiente, ya que sólo se observan proyectos de uso de fuentes no convencionales para menos del 50% de las cuencas que componen la

³ Asociado a un aumento de la demanda hídrica de viñas, parronales, praderas mejoradas, forrajeras permanentes y frutales, debido principalmente a la expansión de la superficie de estos cultivos y al incremento de las tasas de evapotranspiración de los cultivos, en base a Censos Agropecuarios de los años 1997, 2007 y 2021 (INE, 2007)

⁴ Entendidos como las brechas o problemáticas relacionadas indirectamente a la disponibilidad de agua, las cuales dificultan el cumplimiento de los objetivos de SH.

macrozona. Se observan limitaciones en torno a las OUAs⁵, sólo se registra algún tipo de organización para 12 de las 34 cuencas que componen la macrozona.

La calidad del agua representa un problema crítico para la macrozona norte. Todas las cuencas con excepción de Quebrada Caracoles (BNA 027), presentan un deterioro significativo debido a altos niveles de contaminación por agroquímicos y aguas residuales. Además, se observan riesgos de contaminación por relaves en desuso y falta de información sobre monitoreo y calidad del agua. Además, se observa un bajo nivel de protección ecosistémica para la macrozona norte, donde más del 70% de las cuencas no alcanzan el 5% de protección de superficie de humedales, evidenciando la necesidad de implementar medidas de conservación más efectivas. Mas de un 61% de las cuencas de la macrozona presentan una alta vulnerabilidad a eventos extremos como inundaciones y aluviones, debido a sistemas de defensa fluvial que resultan insuficientes y a incrementos de superficies impermeables. La ausencia de planes de manejo y drenaje de aguas lluvias, acentúa la vulnerabilidad y agrava los impactos ante eventos de crecidas.

ii. Macrozona Centro: Valparaíso, Metropolitana, O'Higgins y Maule

En la macrozona centro destacan las cuencas Río Aconcagua (BNA 054), Río Ligua (BNA 052), Río Petorca (BNA 051), Costeras entre R. Aconcagua – R. Maipo (BNA 055), Río Maipo (BNA 057), Río Rapel (BNA 060), Río Mataquito (BNA 071) y Río Maule (BNA 073), como las cuencas que concentran la mayor demanda hídrica. El sector agrícola presenta la mayor demanda consuntiva para el año 2023, seguido por el uso para agua potable urbana y minería. Se proyectan aumentos tendenciales en las demandas consuntivas hacia el año 2055 que van desde un 10% a un 59%. Este incremento se encuentra principalmente atribuido a la expansión agrícola⁶, y a la baja eficiencia en el riego, donde la región del Maule cuenta con los valores más bajos (67% en promedio regional). El aumento en las demandas genera una presión significativa en las cuencas que concentran la mayor demanda hídrica, en conjunto con las cuencas Costeras entre R. Maipo – R. Rapel (BNA 058), Costeras R. Rapel – E. Nilahue (BNA 061), Costeras R. Mataquito – R. Maule (BNA 072) y Costeras R. Maule – Límite Región (BNA 074).

De manera simultánea, se espera una reducción generalizada de los caudales en las cuencas de la macrozona centro, siendo Río Aconcagua (BNA 054), Río Ligua (BNA 052), Río Petorca (BNA 051) y Río Maipo (BNA 057), las más afectadas, con descensos que oscilan entre un 11% y 22%. En la Tabla 3.5-1 se presenta el balance hídrico unificado para las cuencas que cuentan con déficit hídrico estructural y estrés hídrico. Se evidencia que, las cuencas Costeras R. Quilimarí – R. Petorca (BNA 050), Río Ligua (BNA 052) y Costeras entre R. Maipo

⁵ OUAs: Organizaciones de Usuarios de Agua, JV: Juntas de Vigilancia, CA: Comunidades de Aguas, AC: Asociaciones de Canalistas.

⁶ Asociado a un aumento de la demanda hídrica de viñas, parronales y praderas mejoradas, debido principalmente a la expansión de la superficie de estos cultivos y al incremento de las tasas de evapotranspiración de los cultivos, en base a Censos Agropecuarios de los años 1997, 2007 y 2021 (INE, 2007)

– R. Rapel (BNA 058), presentan déficit hídrico estructural. Este déficit hídrico se debe a que la demanda supera la oferta disponible con un 50% de probabilidad de excedencia, junto con restricciones en sus fuentes subterráneas, situación que la vuelve especialmente vulnerables a los efectos del cambio climático. Entre los desafíos de SH para la zona centro, la sostenibilidad del suministro de agua potable enfrenta considerables presiones. En las zonas urbanas, si bien la cobertura varía entre un 94% y 96%, las pérdidas de los sistemas de distribución oscilan entre un 30% y 44%, donde la región de O'Higgins presenta los niveles más altos de pérdidas. Las proyecciones de aumento de población en la macrozona configuran una situación de vulnerabilidad ante la garantía de la cobertura de agua potable. En las áreas rurales, entre el 10% y 37% de las viviendas no tienen acceso a agua potable. Se observan períodos de sobreexplotación de los recursos hídricos de hasta 34%. Por otra parte, la población rural con acceso a agua potable que carece de sistemas de alcantarillado oscila entre 38% y 53%, afectando en gran parte a la región de O'Higgins y Maule. En cuanto a la eficiencia y el uso sostenible del agua, la macrozona se encuentra en una situación favorable, con eficiencias de riego varían entre el 53% y 86%, sin embargo, existen oportunidades que deben ser abordadas para disminuir brechas. En particular, se observan grandes presiones para las cuencas Río Aconcagua (BNA 054), Río Maipo (BNA 057), Río Rapel (BNA 060) y Río Maule (BNA 073), ya que concentran más del 88% de la red de canales de la región, presentan deficiencias en sus sistemas de distribución, y se proyectan aumentos en su demanda hídrica, lo que afecta la productividad y sostenibilidad agrícola de la macrozona. En particular, para Valparaíso y O'Higgins, se proyectan aumentos en la demanda manufacturera y minera, lo que sitúa a las regiones en una situación de riesgo. Los bajos niveles de almacenamiento de embalses de la macrozona evidencian la importancia de diversificar las fuentes de abastecimiento hídrico. Además, la infraestructura hídrica multipropósito es insuficiente, ya que solo se observan proyectos para uso de fuentes no convencionales en las cuencas Río Aconcagua (BNA 054), Río Rapel (BNA 060), Costeras R. Rapel – E. Nilahue (BNA 061), Costeras entre Límite Región – R. Mataquito (BNA 070) y Río Mataquito (BNA 071). Se observan limitaciones en torno a las OUAs para la región Metropolitana y Maule, ya que sólo se registra algún tipo de organización en las cuencas Río Maipo (BNA 057), Río Mataquito (BNA 071) y Río Maule (BNA 073).

La calidad del agua representa un problema crítico para la región Metropolitana, O'Higgins y Maule. Las cuencas Río Rapel (BNA 060), Río Mataquito (BNA 071) y Costeras R. Maule – Límite Región (BNA 074), presentan altos niveles de contaminación por agroquímicos (concentraciones de nitratos mayor al límite permitido), debido a la intensa actividad agrícola y ganadera en la macrozona centro. Por otra parte, se observa un gran deterioro de la calidad de agua en todas las cuencas de la macrozona centro, atribuido a descargas de aguas servidas (cobertura de alcantarillado menor al 70%) y a la carencia de tratamiento de aguas residuales. Además, se observan riesgos de contaminación por relaves abandonados

y grandes presiones a los recursos hídricos en la región Metropolitana, O'Higgins y Maule. Se observa un cambio significativo en el uso de suelo en las cuencas Río Rapel (BNA 060), Río Mataquito (BNA 071) y Río Maule (BNA 073), lo que pone en riesgos ecosistemas cercanos, como humedales, que han sufrido alteraciones debido a la expansión agrícola y ganadera. Por su parte, la capacidad natural de los ecosistemas de la región de Valparaíso se encuentra en una situación crítica. Además, se observa un bajo nivel de protección ecosistémica para la macrozona centro, especialmente en las cuencas Costeras R. Quilimarí – R. Petorca (BNA 050), Río Petorca (BNA 051), Río Ligua (BNA 052), Costeras R. Ligua – R. Aconcagua (BNA 053), Río Aconcagua (BNA 054), Río Maipo (BNA 057), Río Rapel (BNA 060), Costeras R. Rapel – E. Nilahue (BNA 061), Río Mataquito (BNA 071) y Río Maule (BNA 073), que no alcanzan el 5% de protección de superficie de humedales, evidenciando la necesidad de implementar medidas de conservación más efectivas. Mas de un 73% de las cuencas de la macrozona centro presentan una alta vulnerabilidad a eventos extremos como inundaciones y aluviones, debido a sistemas de defensa fluvial que resultan insuficientes y a incrementos de superficies impermeables. La ausencia de planes de manejo y drenaje de aguas lluvias, acentúa la vulnerabilidad y agrava los impactos ante eventos de crecidas.

iii. Macrozona Sur: Ñuble, Biobío, Araucanía y Los Ríos

En la macrozona sur destacan las cuencas Río Itata (BNA 081), Río Biobío (BNA 083), Río Imperial (BNA 091), Río Toltén (BNA 094), Río Valdivia (BNA 101) y Río Bueno (BNA 103), como las cuencas que concentran la mayor demanda hídrica. El sector agrícola presenta la mayor demanda consuntiva para el año 2023, seguido en algunos casos por el sector industrial y energético. Se proyectan aumentos tendenciales en las demandas consuntivas hacia el año 2055 que van desde un 46% a un 89%, entre las regiones que componen esta zona. Este incremento se encuentra principalmente atribuido a la expansión agrícola⁷ y a la baja eficiencia en el riego, con valores que oscilan entre un 63% y 69%. Para la región de Biobío y Los Ríos, el aumento en las demandas también se encuentra asociado al crecimiento del sector industrial manufacturero. Lo anterior genera una presión significativa en las cuencas que concentran la mayor demanda hídrica, en conjunto con las cuencas Costeras e Islas entre R. Biobío – R. Carampangue (084), Costeras entre R. Budi – R. Toltén (BNA 093) y Costeras entre Límite Región – R. Valdivia (BNA 100).

De manera simultánea, se espera una reducción generalizada de los caudales en todas las cuencas de la zona sur, siendo las regiones de Ñuble y Biobío las más afectadas. En la Tabla 3.5-1 se presenta el balance hídrico unificado para las cuencas que cuentan con déficit hídrico estructural y estrés hídrico. Se evidencia que, la cuenca Río Bueno (BNA 103) presenta déficit hídrico estructural. Este déficit hídrico se caracteriza por una demanda que

⁷ Asociado a un aumento de la demanda hídrica de viñas y parronales, debido principalmente a la expansión de la superficie de estos cultivos y al incremento de las tasas de evapotranspiración de los cultivos, en base a Censos Agropecuarios de los años 1997, 2007 y 2021 (INE, 2007). Para la región de Biobío, también se encuentra asociado a cultivos de cereales, leguminosas, tubérculos, cultivos industriales y forrajeras anuales.

no supera la oferta disponible con un 85% de probabilidad de excedencia, junto con restricciones en sus fuentes superficiales y subterráneas, situación que la vuelve especialmente vulnerable a los efectos del cambio climático. Entre los desafíos de SH para la zona sur, la sostenibilidad del suministro de agua potable enfrenta considerables presiones. En Araucanía y Los Ríos, los servicios de agua potable rural presentan mayores desafíos, entre un 10% y 44% de las viviendas no tienen acceso a agua potable y un 56% de la población rural con acceso a agua potable carece de sistemas de alcantarillado. Para el caso de Ñuble, Biobío y la cuenca Río Valdivia (BNA 101), los sistemas de distribución registran pérdidas que alcanzan hasta un 40%. En cuanto a la eficiencia y el uso sostenible del agua, Ñuble y Biobío se encuentran en una situación de moderada complejidad, con eficiencias de riego que varían entre un 44% y 69%. Las regiones de la Araucanía y Los Ríos presentan eficiencias de riego mayores, que alcanzan un 75%, sin embargo, existen oportunidades que deben ser abordadas para reducir las brechas. En particular, se observan grandes presiones para las cuencas del Río Itata (BNA 081), Río Biobío (BNA 083), Río Imperial (BNA 091) y Río Valdivia (BNA 101), ya que concentran más del 95% de la red de canales de la macrozona, presentan deficiencias en sus sistemas de distribución, y se proyectan aumentos en la demanda hídrica, lo que dificulta la productividad agrícola e industrial de la zona. En particular, para la cuenca Río Toltén (BNA 094), se proyectan aumentos en la demanda manufacturera, lo que sitúa a la cuenca en una situación de riesgo. La macrozona sur enfrenta limitaciones significativas en la diversificación de la matriz hídrica. La escasa información acerca del volumen embalsado y la disminución en la oferta hídrica proyectada, evidencian la importancia de diversificar las fuentes de abastecimiento hídrico. Además, la infraestructura hídrica multipropósito es insuficiente, ya que sólo se observan proyectos para uso de fuentes no convencionales para la mitad de las cuencas de la zona y en su mayoría corresponden a proyectos de menor escala. Se observan limitaciones en torno a las OUAs, sólo se registra un tipo de organización de usuarios de agua en las cuencas Río Itata (BNA 081), Río Biobío (BNA 083), Río Imperial (BNA 091) y Río Toltén (BNA 094). Para la región de Los Ríos no se observa ningún tipo de organización.

La calidad del agua representa un problema crítico para todas las cuencas de la macrozona sur, debido a la intensa actividad agrícola, las descargas de aguas servidas y los riesgos de contaminación por relaves y actividades industriales. Además, se observa un bajo nivel de monitoreo en todas las cuencas de la macrozona sur, con excepción de Río Itata (BNA 081) y Río Biobío (BNA 083). A su vez, la mayoría de las cuencas de la macrozona no superan el 5% de protección de sus superficies de humedales, evidenciando la necesidad urgente de implementar medidas de conservación más efectivas. Por otra parte, más del 63% de las cuencas de la macrozona presentan alta vulnerabilidad a eventos extremos como inundaciones y aluviones, debido a sistemas de defensa fluvial que resultan insuficientes. La ausencia de planes de manejo y drenaje de aguas lluvias, acentúa la vulnerabilidad y agrava los impactos ante eventos de crecidas en la macrozona sur.

iv. Macrozona Austral: Los Lagos, Aysén y Magallanes

En la macrozona austral destacan las cuencas Río Bueno (BNA 103), Cuencas e Islas entre R. Bueno – R. Puelo (BNA 104), Islas Chiloé y Circundantes (BNA 109), Río Aysén (BNA 113), Río Baker (BNA 115), Costeras e islas entre R. Hollemberg – Laguna Blanca (BNA 124), Costeras entre Laguna Blanca, Seno Otway, Canal Jerónimo y E. Magallanes (BNA 125) y Vertiente Atlántico (BNA 126), como las cuencas que concentran la mayor demanda hídrica. El sector agrícola presenta la mayor demanda consuntiva para el año 2023, seguido por el uso industrial y agua potable urbana. Se proyectan aumentos tendenciales en las demandas consuntivas hacia el año 2055 que van desde un 97% a un 144%, entre las regiones que componen la macrozona. Este incremento responde, principalmente, a la expansión de la actividad agrícola⁸, la baja eficiencia en el riego y el crecimiento de la demanda industrial, lo que genera una presión considerable sobre las cuencas con mayor concentración de demanda hídrica.

De manera simultánea, se espera una reducción de los caudales en todas las cuencas de la macrozona, con descensos que oscilan entre un 2% y un 14%, excepto en la cuenca del Río Pascua (BNA 117), que muestra un incremento del 12%, y la cuenca Vertiente del Atlántico (BNA 126), con un aumento del 16%. El balance hídrico estructural (Tabla 3.5-1) evidencia que las cuencas Costeras entre Seno Andrew, Río Hollemberg e islas al oriente (BNA 122), Costeras entre Laguna Blanca, Seno Otway, Canal Jerónimo y Estrecho de Magallanes (BNA 125) y Tierra del Fuego (BNA 128), presentan estrés hídrico, caracterizado por una demanda que no supera la oferta disponible con un 85% de probabilidad de excedencia, junto con restricciones en sus fuentes superficiales o subterráneas, lo que las vuelve vulnerables a los efectos del cambio climático. En cuanto a los desafíos de SH para la macrozona, la sostenibilidad del suministro de agua potable enfrenta considerables presiones; en las zonas rurales entre un 17% y un 50% de las viviendas no tienen acceso a agua potable y hasta un 39% de la población rural con acceso a agua potable carece de sistemas de alcantarillado; mientras que, en las zonas urbanas, la situación es menos crítica, con pérdidas en los sistemas de distribución que alcanzan un 34%. En cuanto a la eficiencia y el uso sostenible del agua, la macrozona enfrenta una situación compleja. Las eficiencias de riego varían entre 35% y 72%, por lo que se requieren mejoras en este ámbito. Se observan grandes presiones en las cuencas Río Bueno (BNA 103), Río Baker (BNA 115), Costeras entre Seno Andrew, Río Hollemberg e islas al oriente (BNA 122) y Vertiente del Atlántico (BNA 126), ya que agrupan el 97% de la red de canales de la macrozona. Estas cuencas presentan deficiencias en sus sistemas de distribución y se proyectan aumentos en su demanda

⁸ Asociado a un aumento de la demanda hídrica de viñas, parronales, praderas mejoradas y forrajeras permanentes, debido principalmente a la expansión de la superficie de estos cultivos y al incremento de las tasas de evapotranspiración de los cultivos, en base a Censos Agropecuarios de los años 1997, 2007 y 2021 (INE, 2007).

hídrica, lo que representa un desafío para la productividad de la macrozona. Se observan limitaciones en torno a las OUAs, sólo se observa un tipo de organización para Aysén y Magallanes, en el caso de Los Lagos no se registra ninguna organización. Se observan restricciones significativas en la diversificación de la matriz hídrica, dado que se presentan disminuciones en la oferta hídrica superficial, con reducciones superiores al 10%, lo que afecta el llenado de embalases, poniendo en evidencia la necesidad de diversificar las fuentes de abastecimiento hídrico. Además, la infraestructura hídrica multipropósito continúa siendo insuficiente, ya que sólo se observan proyectos en 7 de las 26 cuencas que componen la macrozona, y en su mayoría corresponden a proyectos de menor escala, lo que restringe su capacidad de adaptación.

La calidad del agua representa un problema grave para todas las cuencas de la zona austral. El uso de agroquímicos en la actividad agrícola y ganadera pone en riesgo a ecosistemas frágiles y cuerpos de agua cercanos. Se observa un deterioro en la calidad del agua en todas las cuencas de la macrozona, atribuido principalmente a descargas de aguas servidas, debido a la carencia de servicios de saneamiento (inferior al 70%) y a la ausencia de sistemas de tratamiento de aguas residuales. A esto se suman riesgos de contaminación asociados a la acuicultura, así como a la creciente actividad industrial y minera, situación que incrementa la exposición a contaminantes y la presión sobre los recursos hídricos. Por otra parte, se ha registrado un cambio significativo en el uso de suelo, lo que pone en riesgo los ecosistemas cercanos, especialmente humedales y cuerpos de agua, debido a la presión ejercida por las industrias ganadera, pesquera y agrícola. Esta situación se ve agravada por el bajo nivel de monitoreo en todas las cuencas de la zona austral, con excepción de Costeras entre R. Puelo – R. Yelcho (BNA 106) y Cuencas e Islas entre R. Bueno – R. Puelo (BNA 104). Debido a las presiones de las actividades productivas, los efectos del cambio climático y la falta de identificación de zonas de protección de fuentes de agua y caudales ecológicos, la capacidad de los ecosistemas para proveer servicios ecosistémicos se ha visto reducida en todas las cuencas de la macrozona. La mitad de las cuencas presenta un nivel de protección de humedales inferior al 5%, lo que destaca la necesidad urgente de implementar medidas de conservación más efectivas. Más de la mitad de las cuencas de la macrozona austral presentan alta vulnerabilidad a eventos extremos como inundaciones, con sistemas de defensa fluvial que resultan insuficientes. La baja efectividad de los sistemas de drenaje de aguas lluvias agrava esta situación, lo que en definitiva incrementa los impactos ante eventos de crecidas.

Tabla 3.5-1 Balance Hídrico Estructural Nacional Actual*

Zona	Código BNA	Cuenca	Balance Hídrico ⁹	Restricciones		Estado Balance Unificado ¹⁰
				Superficiales	Subterráneas	
Norte	010	Altiplánicas	Con recursos	No	Sí	Estrés hídrico
	011	Quebrada de la Concordia	Déficit hídrico estructural	No	Sí	Déficit hídrico estructural
	012	Rio Lluta	Con recursos	No	Sí	Estrés hídrico
	013	Rio San José	Déficit hídrico estructural	No	Sí	Déficit hídrico estructural
	014	Costeras Río San José - Quebrada Camarones	Déficit hídrico estructural	No	Sí	Déficit hídrico estructural
	015	Quebrada Río Camarones	Estrés hídrico	No	No	Estrés hídrico
	017	Pampa del Tamarugal	Estrés hídrico	No	Sí	Déficit hídrico estructural
	018	Costeras Tilviche-Loa	Déficit hídrico estructural	No	Sí	Déficit hídrico estructural
	021	Río Loa	Con recursos	Sí	Sí	Déficit hídrico estructural
	022	Costeras R. Loa-Q. Caracoles	Déficit hídrico estructural	No	No	Déficit hídrico estructural
	024	Endorreica entre Fronterizas y Salar Atacama	Con recursos	No	Sí	Estrés hídrico
	025	Salar de Atacama	Con recursos	Sí	Sí	Déficit hídrico estructural
	026	Endorreicas Salar Atacama-Vertiente Pacífico	Con recursos	No	Sí	Estrés hídrico
	027	Quebrada Caracoles	Déficit hídrico estructural	No	Sí	Déficit hídrico estructural
	028	Quebrada la Negra	Déficit hídrico estructural	No	Sí	Déficit hídrico estructural
	029	Costeras entre Q. la Negra y Q. Pan de Azúcar	Estrés hídrico	No	No	Estrés hídrico
	030	Endorreicas entre Frontera - Vertiente del Pacífico	Déficit hídrico	No	Sí	Déficit hídrico estructural
	032	Río Salado	Déficit hídrico	No	No	Déficit hídrico estructural
	033	Costeras e Islas R. Salado-R. Copiapó	Déficit hídrico	No	No	Déficit hídrico estructural
	034	Río Copiapó	Déficit hídrico	No	Sí	Déficit hídrico estructural

⁹ El Balance Hídrico corresponde al contraste realizado entre la oferta superficial y la demanda, donde Déficit Hídrico Estructural corresponde a cuencas donde la demanda extractiva supera el caudal que se excede el 50% del tiempo; Estrés hídrico: la demanda extractiva es mayor que el caudal que se excede el 85% del tiempo; y Con recursos: la demanda no supera el caudal que se excede el 85% del tiempo.

¹⁰ El Balance Hídrico Unificado combina el Balance Hídrico con las restricciones de uso de agua superficiales y subterráneas, si la cuenca posee restricciones su nivel de criticidad aumenta.

Zona	Código BNA	Cuenca	Balance Hídrico ⁹	Restricciones		Estado Balance Unificado ¹⁰
				Superficiales	Subterráneas	
	035	Costeras entre R. Copiapó - Q. Totoral	Déficit hídrico	No	No	Déficit hídrico estructural
	036	Q. Totoral y Costeras hasta Q. Carrizal	Déficit hídrico	Sí	Sí	Déficit hídrico estructural
	037	Quebrada Carrizal y Costeras hasta R. Huasco	Déficit hídrico	Sí	Sí	Déficit hídrico estructural
	038	Río Huasco	Estrés hídrico	Sí	Sí	Déficit hídrico estructural
	039	Costeras e Islas entre R. Huasco - Cuarta Región	Déficit hídrico	Sí	No	Déficit hídrico estructural
	040	Costeras e Islas entre Tercera Región y Q. Los Choros	Con recursos	Sí	No	Estrés hídrico
	041	Río los Choros	Con recursos	Sí	Sí	Déficit hídrico estructural
	042	Costeras entre R. Los Choros – R. Elqui	Con recursos	Sí	No	Estrés hídrico
	043	Río Elqui	Con recursos	Sí	Sí	Déficit hídrico estructural
	044	Costeras entre Elqui – Limarí	Déficit hídrico estructural	Sí	Sí	Déficit hídrico estructural
	045	Río Limarí	Déficit hídrico estructural	Sí	Sí	Déficit hídrico estructural
	046	Costeras entre R. Limarí – R. Choapa	Déficit hídrico estructural	Sí	Sí	Déficit hídrico estructural
	047	Río Choapa	Con recursos	Sí	Sí	Déficit hídrico estructural
	048	Costeras entre R. Choapa – R. Quilimarí	Con recursos	Sí	Sí	Déficit hídrico estructural
	049	Río Quilimarí	Con recursos	Sí	Sí	Déficit hídrico estructural
Centro	050	Costeras R. Quilimarí – R. Petorca	Déficit hídrico estructural	No	Sí	Déficit hídrico estructural
	051	Río Petorca	Estrés hídrico	No	Sí	Déficit hídrico estructural
	052	Río Ligua	Déficit hídrico estructural	No	Sí	Déficit hídrico estructural
	053	Costeras R. Ligua – R. Aconcagua	Estrés hídrico	No	Sí	Déficit hídrico estructural
	054	Río Aconcagua	Estrés hídrico	Sí	Sí	Déficit hídrico estructural
	055	Costeras entre R. Aconcagua – R. Maipo	Con recursos	No	Sí	Estrés hídrico
	057	Río Maipo	Con recursos	Sí	Sí	Déficit hídrico estructural
	058	Costeras entre R. Maipo – R. Rapel	Déficit hídrico estructural	No	Sí	Déficit hídrico estructural

Zona	Código BNA	Cuenca	Balance Hídrico ⁹	Restricciones		Estado Balance Unificado ¹⁰
				Superficiales	Subterráneas	
	060	Río Rapel	Con recursos	Sí	Sí	Déficit hídrico estructural
	061	Costeras Rapel-E. Nilahue	Con recursos	No	Sí	Estrés hídrico
	071	Río Mataquito	Con recursos	No	Sí	Estrés hídrico
	073	Río Maule	Con recursos	No	Sí	Estrés hídrico
	081	Río Itata	Con recursos	Sí	No	Estrés hídrico
Sur	083	Río Biobío	Con recursos	Sí	No	Estrés hídrico
	084	Costeras e Islas entre R. Biobío – R. Carampangue	Con recursos	No	Sí	Estrés hídrico
	094	Río Toltén	Con recursos	No	Sí	Estrés hídrico
	103	Río Bueno	Con recursos	Sí	Sí	Déficit hídrico estructural
	104	Cuencas e Islas entre R. Bueno – R. Puelo	Con recursos	Sí	No	Estrés hídrico
Austral	105	Río Puelo	Con recursos	Sí	No	Estrés hídrico
	106	Costeras entre R. Puelo – R. Yelcho	Con recursos	Sí	No	Estrés hídrico
	109	Islas Chiloé y Circundantes	Con recursos	Sí	No	Estrés hídrico
	122	Costeras entre Seno Andrew, R. Hollemberg e islas al oriente	Con recursos	No	Sí	Estrés hídrico
	125	Costeras entre Laguna Blanca, Seno Otway, Canal Jerónimo y E. Magallanes	Con recursos	No	Sí	Estrés hídrico
	128	Tierra del Fuego	Con recursos	No	Sí	Estrés hídrico

* Se presenta el balance para las cuencas con estado de Estrés Hídrico y Déficit Hídrico Estructural.

Fuente: Elaboración propia.

3.5.2 El futuro existe en el potencial del presente: Políticas públicas e innovaciones

La gestión hídrica nacional cuenta con un robusto compilado de políticas, planes y estrategias que permiten dar carácter a este estudio y construir la visión estratégica nacional y regional en función de lograr la SH. Entre ellas destacan la Política Nacional de Recursos Hídricos 2015 (PNRH), los Planes Regionales de Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico al 2021 (PRIGRH) y los Planes Estratégicos de Gestión Hídrica por cuencas (PEGH). Estos planes comparten los lineamientos de garantizar la disponibilidad y el acceso al agua, priorizando el consumo humano, el desarrollo de infraestructura eficiente y la gestión integrada del recurso. En particular, se han desarrollado 46 PEGH y 67 Planes de Riego en distintas cuencas a nivel nacional. Se identifica la necesidad de extender el desarrollo y actualización de estos instrumentos de gestión, tanto de Planes Estratégicos de Recursos Hídricos en Cuencas (PERHC) y Planes de Riego, a aquellas cuencas que carecen de herramientas similares. Para un análisis más detallado, se recomienda consultar el Capítulo 3 del informe regional. Por otra parte, se han logrado avances significativos en la habilitación de nuevos instrumentos normativos, esto incluye la Ley de Servicios Sanitarios Rurales, que refuerza la gestión

comunitaria del agua; la reforma al Código de Aguas, que prioriza el consumo humano y mejora la gestión del agua; la Ley Marco de Cambio Climático, que permite abordar los retos que presenta el cambio climático; la Ley de Riego, que aumenta el apoyo a la pequeña y mediana agricultura y promueve el desarrollo rural sostenible; y la Ley que faculta al Ministerio de Obras Públicas para construir infraestructura hídrica multipropósito.

Por otra parte, la gestión de los recursos hídricos enfrenta desafíos significativos, debido a la fragmentación existente a nivel sectorial, el bajo nivel de coordinación entre actores públicos y privados, y una deficiente articulación institucional, lo que conduce a una gestión poco sinérgica y a medidas reactivas que no logran abordar y dar solución a problemas complejos. Además, existen brechas de información que limitan la caracterización y gestión de las cuencas con respecto a las fuentes de abastecimiento de agua, acceso a la red de agua potable y acceso a la red de alcantarillado. Se identifica escasa información referente a la disponibilidad de agua en acuíferos, estimaciones de recarga, nuevas fuentes de agua y estudios de reúso de aguas. Adicionalmente, existe un déficit en la red hidrométrica y de calidad de aguas, y un limitado conocimiento sobre el estado de las infraestructuras de riego. Se observa la carencia de estudios hidrogeológicos y de modelación de cuencas, a la vez que no se identifican planes maestros de aguas lluvias para todas las regiones. Por último, existe desconocimiento en torno a los titulares de DAA y bajo nivel de integración de datos e información proveniente del sector público y privado.

El fortalecimiento de la gestión hídrica requiere la integración de soluciones innovadoras que permitan dar solución a las brechas mencionadas, que diversifiquen las fuentes de abastecimiento y permitan la adaptación al cambio climático. Esto incluye la reutilización de aguas servidas, recarga artificial de acuíferos, obras de regulación e infiltración, sistemas urbanos de drenaje sostenible, plantas desaladoras, y mejoramiento de riberas y reforestación. Estas soluciones deben ser complementadas con tecnologías avanzadas para el monitoreo, caracterización de infraestructura y disponibilidad hídrica. Para su implementación, es crucial desarrollar nuevas capacidades, identificar los requerimientos de infraestructura locales, modernizar las instituciones, y fomentar la integración de conocimientos de todos los actores involucrados. Además, es necesario actualizar los estándares de planificación, diseño y operación para aumentar la resiliencia, y establecer procesos que faciliten la prueba, adaptación y validación de las soluciones innovadoras, antes de su implementación a gran escala.

3.5.3 Gobernanza para el futuro deseado: El rol del MOP y actores clave

El Ministerio de Obras Públicas (MOP) lidera la gestión de infraestructura hídrica mediante planificación estratégica, regulación y coordinación interinstitucional, buscando garantizar la sostenibilidad y disponibilidad de los recursos hídricos. Su Plan Nacional de Infraestructura Pública 2025-2055 (PNIP) establece una estrategia para abordar los desafíos hídricos futuros,

adaptándose a cambios climáticos y socioeconómicos, promoviendo soluciones sostenibles. Las políticas planteadas en este plan son adaptadas al territorio, por lo que consideran en su quehacer la participación de instituciones y organizaciones fundamentales para su desarrollo e implementación. A nivel regional, actores como los Gobiernos Regionales, las Secretarías Regionales Ministeriales del MINAGRI y Ministerio de Minería, INDAP, CNR, CONAF, CONADI, SISS, OUAs¹¹, empresas sanitarias, empresas mineras, agricultores, empresas agrícolas y agropecuarias, empresas forestales y acuícolas, centros de investigación y comunidades indígenas, entre otros, desempeñan roles clave en la gestión y gobernanza del recurso hídrico. Mediante la integración activa y la planificación coordinada con los actores clave, se desarrollan soluciones efectivas que permiten optimizar la inversión, lograr el cumplimiento de metas y la materialización de una gestión hídrica integrada y equitativa para los territorios. El MOP juega un papel crucial en la coordinación interinstitucional en temas hídricos, actuando como facilitador entre diferentes entidades y actores territoriales, promoviendo la colaboración e implementación de políticas integradas para una gestión eficiente y sostenible del agua en todo el país. Aunque el MOP destaca por su capacidad técnica, enfrenta desafíos como la fragmentación organizativa y la falta de continuidad en las políticas. Para abordar estos desafíos, es esencial fortalecer la articulación local, fomentar la confianza y asegurar una gobernanza colaborativa y resiliente, adaptada a realidades territoriales, que trascienda ciclos gubernamentales.

3.5.4 Frente a la incertidumbre: Visión común para la resiliencia

La visión estratégica del Plan Nacional de Infraestructura Pública 2025-2055 prioriza la seguridad hídrica como un componente central de la gobernanza nacional, frente a la crisis hídrica. Este enfoque reconoce el agua como un recurso estratégico para la población, la economía y la biodiversidad, promoviendo su gestión integrada y sostenible en respuesta a los desafíos climáticos y socioeconómicos, en base a los principios de sostenibilidad, mitigación y adaptación al cambio climático. Se busca garantizar el derecho humano al agua y al saneamiento, fomentando un desarrollo equitativo y resiliente. Pretende fortalecer y fomentar la diversificación de las fuentes hídricas y actividades productivas, así como el impulso a la innovación, para lograr el desarrollo de una economía resiliente, que potencie la productividad del país y sus diversas regiones, asegurando que los recursos hídricos satisfagan las necesidades de sectores estratégicos vinculados a la demanda global, como la transición energética, la producción de alimentos saludables, la seguridad alimentaria y el desarrollo de nuevas industrias tecnológicas. Pone especial énfasis en la protección y manejo de las fuentes hídricas bajo presión, excluyendo patrones históricos de extracción y promoviendo un compromiso activo con la recuperación y conservación de las fuentes de agua, asegurando la continuidad del ciclo del agua y un balance hídrico sostenible. El PNIP se centra en desarrollar

¹¹ MINAGRI: Ministerio de Agricultura; INDAP: Instituto de Desarrollo Agropecuario; CNR: Comisión Nacional de Riego; CONAF: Corporación Nacional Forestal; CONADI: Corporación Nacional de Desarrollo Indígena; SISS: Superintendencia de Servicios Sanitarios; OUAs: Organizaciones de Usuarios de Agua.

una gestión integral de los recursos hídricos, que constituya un pilar fundamental en la gobernanza hídrica nacional, que, de respuestas y cumplimiento a los objetivos y metas regionales, con un enfoque en acciones que se adapten a las particularidades territoriales y promuevan soluciones de largo plazo.

3.5.5 Megatendencias y sus potenciales consecuencias: escenarios de desarrollo

En este acápite se presenta una síntesis de los cuatro escenarios de desarrollo que reflejan la interacción entre las tendencias globales y factores locales, su impacto en las brechas de seguridad hídrica y la capacidad de respuesta del sistema a nivel Nacional. Para mayor profundidad, revisar el capítulo 6 del presente informe.

En un escenario de *Estancamiento Crítico*, se observa un deterioro progresivo en la seguridad hídrica del país, impulsado por el crecimiento de la demanda, el cambio climático, la insuficiente infraestructura y regulación, lo que compromete la sostenibilidad del desarrollo nacional y la calidad de vida de la población. El acceso a agua potable y a servicios básicos es limitado en comunidades rurales y periurbanas, situación que se ve agravada por la crisis hídrica, incrementando las desigualdades. Destacan casos críticos como Ñuble, Biobío y Valparaíso. La contaminación de fuentes hídricas y la insuficiencia de sistemas de tratamiento han conducido a un aumento en la incidencia de enfermedades. La reducción en las precipitaciones y la recarga de acuíferos ha provocado déficits estructurales en múltiples cuencas. Esta situación afecta gravemente a las regiones de Atacama, Antofagasta y Tarapacá, donde la actividad extractiva y agroindustrial se ve afectada por su dependencia a los recursos. La minería, agroindustria y manufactura han intensificado la presión sobre los recursos hídricos, en función de las tendencias productivas. La expansión de cultivos intensivos ha incrementado la demanda de riego, comprometiendo la productividad, la competitividad agroexportadora, los ingresos fiscales y los empleos. En minería, la sobreexplotación de las fuentes subterráneas ha afectado la sostenibilidad de los acuíferos e incrementado los costos operacionales. La reducción en la capacidad de generación hidroeléctrica en embalses, ha incrementado la dependencia del país hacia fuentes fósiles de energía, con repercusiones en los costos de producción y en la huella de carbono nacional. La carencia de inversiones en infraestructura y el déficit en la gobernanza hídrica agudizan la crisis. La fragmentación institucional y la falta de coordinación entre organismos han obstaculizado la implementación de soluciones de largo plazo. La ausencia de un enfoque de planificación hídrica integrado ha conducido a una asignación ineficiente de derechos de uso y a la explotación insostenible de fuentes hídricas. Sin una estrategia de gobernanza robusta y mecanismos efectivos de fiscalización, la administración del recurso continuará siendo deficiente, incrementando la vulnerabilidad del país ante eventos de estrés hídrico. Los patrones observados en las últimas décadas revelan una vulnerabilidad estructural que, de no ser abordada con políticas integradas y basadas en evidencia, podría derivar en impactos irreversibles a nivel social, económico y ambiental.

En un escenario de *Desafío Gestionable*, Chile enfrenta una situación compleja producto de la intensificación de los desafíos de seguridad hídrica, como resultado de la creciente presión sobre los recursos hídricos en función del crecimiento del sector agrícola, minero y energético. El sector agrícola incrementa la expansión de la agroindustria en la zona central y se intensifican los cultivos de exportación, lo que ha generado competencia por el agua, afectando a comunidades locales y sectores productivos. Los sistemas de riego tradicionales están siendo reemplazados por tecnologías más eficientes, debido a los incrementos en la demanda de agua para riego. La presión sobre los embalses ha generado la necesidad de planes de expansión y construcción de nuevas reservas de agua. En algunas cuencas se han implementado estrategias de recarga artificial para aumentar la disponibilidad del recurso en períodos de sequía prolongada. La creciente extracción de litio en la cuenca del Salar de Atacama y la sobreexplotación de acuíferos en el Río Loa han intensificado las tensiones por el uso del agua en la minería y ha derivado en restricciones en la extracción de agua subterránea, impulsando el desarrollo de plantas desalinizadoras para abastecer las operaciones mineras. El crecimiento del sector energético, producto de la producción de hidrógeno verde, ha incrementado su demanda de agua, lo que ha llevado a la planificación de plantas desalinizadoras. La capacidad de respuesta del país permite la implementación de planificaciones más estrictas y el desarrollo de nuevas estrategias de gestión hídrica. La incorporación de tecnologías avanzadas, la diversificación de fuentes de abastecimiento y la optimización del uso del recurso han permitido mejorar la resiliencia hídrica del país. Sin embargo, la sostenibilidad de estos esfuerzos dependerá de la capacidad de adaptación a escenarios de cambio climático y del compromiso de los distintos actores para garantizar un uso equitativo y eficiente del agua en el futuro.

En un escenario de *Capacidad limitada*, Chile enfrenta un estado de seguridad hídrica de relativa estabilidad, sin embargo, las limitaciones significativas en la gestión hídrica y las presiones sobre los recursos, comprometen la capacidad de respuesta a largo plazo. La presión sobre los recursos hídricos proviene del crecimiento productivo acelerado, los impactos del cambio climático y las deficiencias estructurales en infraestructura y gobernanza. A medida que las industrias clave del país—minería, agroindustria, hidrógeno verde y acuicultura— se expanden, la disponibilidad de agua se convierte en un factor crítico para su sostenibilidad, en un entorno de alta competencia. El auge del litio y la expansión de la minería en el norte de Chile incrementan la demanda de agua en regiones que ya enfrentan un estrés hídrico severo. La sobreexplotación de las fuentes de agua subterráneas en salares, amenaza su sostenibilidad y pone en riesgo los ecosistemas asociados. Las proyecciones en la producción de hidrógeno verde plantean desafíos en términos de abastecimiento, debido a su alto consumo de agua. Esta situación también ha intensificado conflictos por el uso con otras industrias y consumo humano. La expansión de la agroindustria ha incrementado la presión sobre los recursos hídricos y ha intensificado conflictos entre agricultores y usuarios urbanos.

La acumulación de residuos orgánicos en fiordos y cuerpos de agua debido a la producción acuícola, ha generado eutrofización y afectación de los ecosistemas marinos, deteriorando la calidad del agua, compromete también la calidad del agua potable en comunidades costeras. Las barreras técnicas y económicas para la implementación de soluciones innovadoras y basadas en la naturaleza, generan retrocesos en la gestión hídrica e impiden la consolidación de un modelo de desarrollo sostenible y resiliente. La fragmentación institucional ralentiza las respuestas a la crisis hídrica nacional, perpetuando vulnerabilidades sistemáticas, y dificulta la respuesta de las regiones a eventos climáticos extremos. Si esta capacidad de respuesta se mantiene a largo plazo y los desafíos no son abordados desde una perspectiva que combine inversión en infraestructura, modernización regulatoria, adopción de tecnologías emergentes y el desarrollo de una gobernanza hídrica integral y sostenible, el país puede entrar en un estado de crisis hídrica grave.

Finalmente, en un escenario de *Avance Sostenible*, Chile logra estabilizar las brechas de seguridad hídrica mediante la implementación de estrategias avanzadas y la consolidación de un sistema de gestión sostenible. La eficiencia en el uso del recurso se convierte en un pilar clave para el desarrollo económico, impulsado por la minería, la agroindustria, las energías renovables y la bioeconomía. El sector minero implementa soluciones que le permiten optimizar el uso del agua en sus procesos, reduciendo el consumo de agua. El desarrollo de la industria de hidrógeno verde potencia la construcción de plantas desalinizadoras que permiten garantizar la viabilidad del sector sin comprometer el abastecimiento hídrico de las comunidades. La agroindustria experimenta una transformación acelerada, con una creciente tecnificación del riego, lo que ha permitido reducir el consumo de agua, mientras que la diversificación hacia cultivos de menor demanda hídrica ha mejorado la resiliencia del sector. Sin embargo, la sobreexplotación de acuíferos en el Valle del Limarí y del Huasco, ha generado una disminución alarmante de los niveles freáticos, lo que exige el desarrollo urgente de programas de recarga de acuíferos. La diversificación de la matriz energética, en base a energía solar y biocombustibles, ha permitido impulsar el desarrollo de energías renovables sin incrementar la demanda de recursos hídricos. La expansión de la silvicultura sostenible, ha jugado un rol clave en la mitigación de los efectos del cambio climático, mejorando la capacidad de los suelos para retener humedad y reducir la erosión. El avance de las tecnologías ha permitido la digitalización de procesos productivos, con aplicaciones directas en la optimización y monitoreo del recurso hídrico. La construcción de embalses multipropósito en regiones críticas ha permitido estabilizar el abastecimiento de agua para el consumo humano y la agricultura. La implementación de normativas que exigen la recolección y reutilización de aguas lluvia ha permitido reducir la demanda de agua potable en áreas urbanas densamente pobladas. La modernización de los sistemas de enfriamiento en las plantas de producción industriales ha reducido los requerimientos de agua en los procesos. Las soluciones basadas en la naturaleza toman un rol central en la planificación hídrica, con medidas como la restauración de humedales urbanos, lo que ha permitido mejorar la capacidad de infiltración

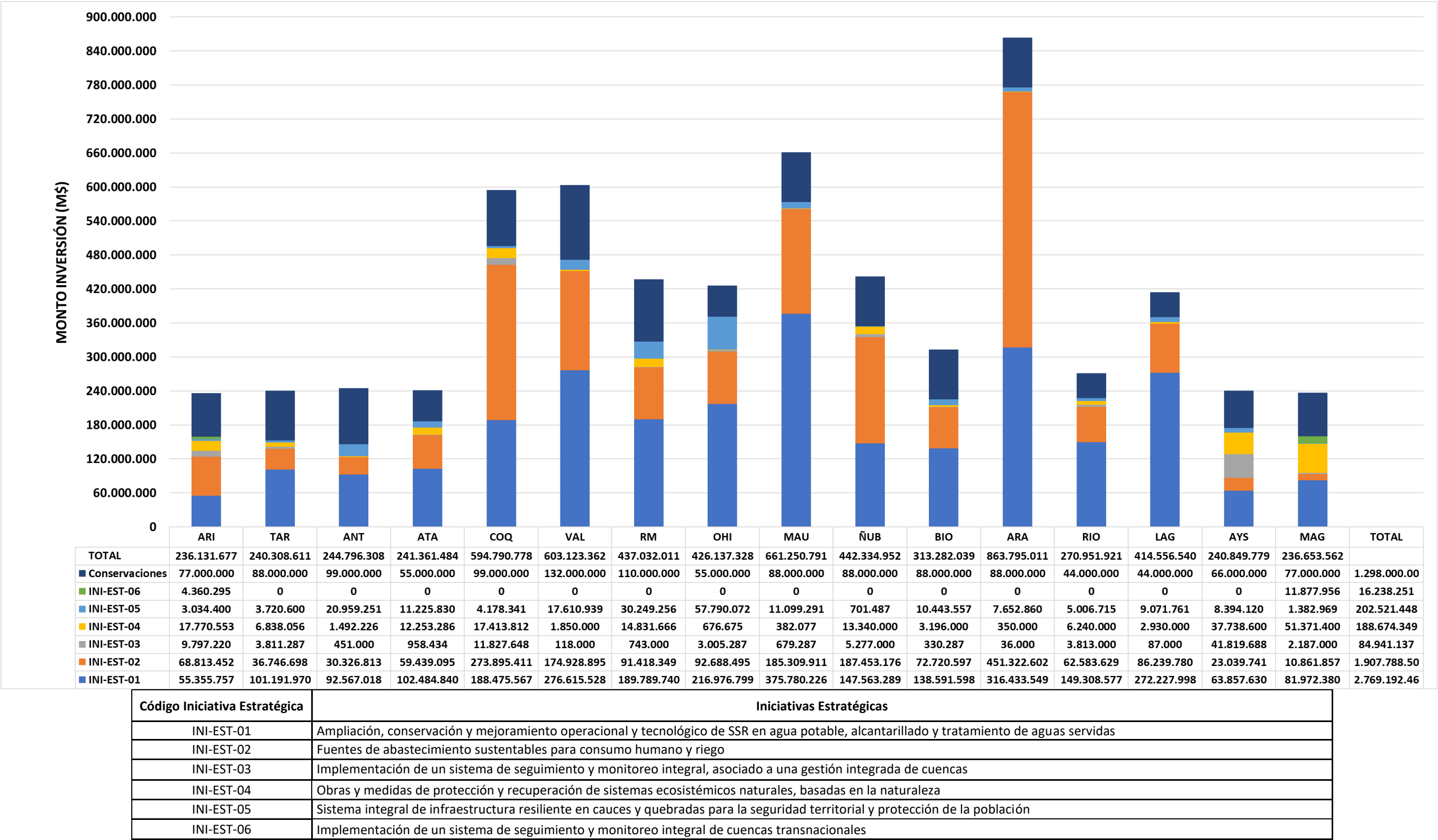
de agua y reducir el riesgo de inundaciones. La conservación de bosques ha posibilitado la conservación del equilibrio hídrico en las principales fuentes de abastecimiento de la zona centro-sur. La reforestación con especies nativas ha contribuido en la mejora de la retención de humedad en suelos y ha reducido la erosión en áreas de alta pendiente. La biotecnología aplicada a la regeneración del agua, mediante el uso de bacterias modificadas genéticamente para la descontaminación de aguas residuales, se perfila como una innovación con alto potencial. En este escenario Chile avanza hacia un modelo de desarrollo más sostenible, donde la gestión eficiente del agua se convierte en un pilar fundamental para garantizar la resiliencia del país frente al cambio climático. La implementación de infraestructura moderna, sistemas eficiencia de uso, adopción de tecnologías innovadoras, fortalecimiento de la gobernanza hídrica y programas de inversión sostenidos en el tiempo, han permitido consolidar un sistema hídrico que no solo asegura el abastecimiento de agua para las generaciones futuras, sino que también impulsa la competitividad de los sectores productivos en un entorno de creciente incertidumbre climática.

3.5.6 Adaptación como camino para navegar la incertidumbre

Chile se enfrenta tanto a la incertidumbre climática como a los desafíos asociados al desarrollo humano en sus diversas dimensiones. Por ello, es fundamental planificar de manera flexible y estratégica, considerando tendencias y posibles cambios disruptivos, así como también, desarrollar medidas que permitan anticipar y abordar los desafíos futuros. En ese sentido, el desarrollo de una planificación estratégica integral y sostenible es clave para abordar los desafíos regionales y nacionales. Se deben implementar medidas de adaptación en distintos niveles, a través de una coordinación transversal con mejoras institucionales, que consideren un contexto de alto dinamismo y por lo tanto una actualización constante. Esta planificación debe tener un enfoque inclusivo y coordinado para abordar problemas complejos de forma integral, que consideren las particularidades regionales, sin relevar un territorio por sobre otro. La implementación de servicios e infraestructura requiere de un rol activo de todos los actores y una inversión eficiente, que considere metas a corto y mediano plazo para lograr el desarrollo de soluciones efectivas en todos los territorios. El PNIP se concibe como un plan dinámico y un instrumento de política pública en constante evolución, diseñado para actualizarse y adaptarse periódicamente a nuevos retos. A través de una serie de instancias de planificación multiescalar interconectadas en el tiempo, el plan integra información actual que le permite renovar decisiones y modernizar acciones de manera oportuna.

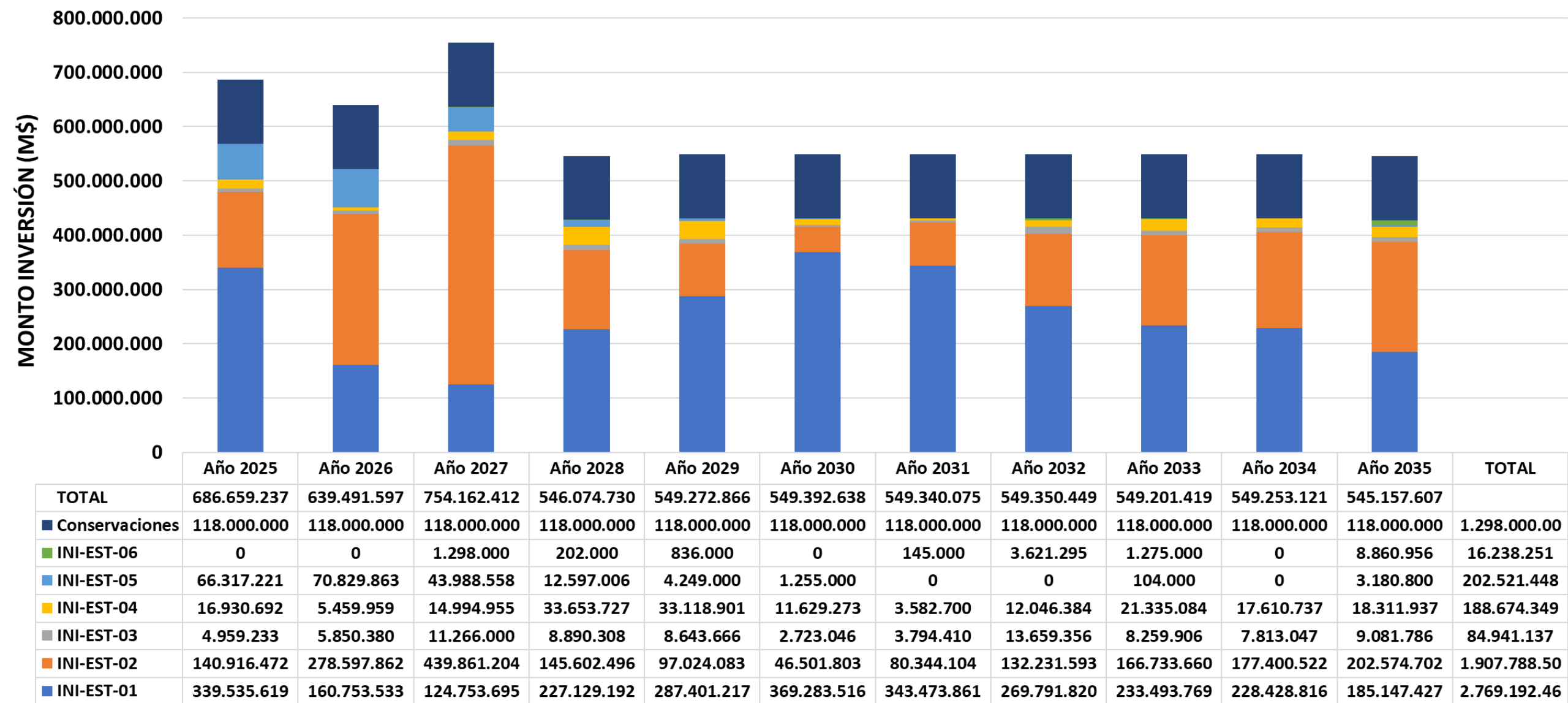
3.5.7 Soluciones sinérgicas para problemas complejos: Iniciativas Estratégicas

Para lograr la seguridad hídrica en Chile, se deben abordar una serie de problemas complejos, que presentan múltiples facetas y una gran heterogeneidad territorial. En este contexto, es necesario implementar diversas iniciativas que actúan en diferentes ámbitos y escalas, tanto a corto como a largo plazo. En ese sentido, se han desarrollado las Iniciativas Estratégicas (IE) como un conjunto de acciones diversificadas que incluyen inversiones, medidas de gestión y políticas públicas para mejorar la seguridad hídrica y el desarrollo sostenible. Estas iniciativas no se limitan a grandes obras aisladas, sino que integran proyectos complementarios y multipropósito que responden a brechas detectadas, alineando objetivos estratégicos regionales con soluciones eficientes y sostenibles, como infraestructuras que optimizan el uso del agua y fortalecen la resiliencia hídrica a nivel territorial. Las IE han sido priorizadas de acuerdo a los desafíos de las distintas regiones, en la Figura 3.5-1 se presenta su distribución por región, para cada IE. Por otro lado, en la Figura 3.5-2 se presentan los montos de las Iniciativas Estratégica a nivel anual, considerando un horizonte de 10 años.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.5-1 Inversión total distribuida por Iniciativas Estratégicas para cada región en los primeros 10 años



Código Iniciativa Estratégica	Iniciativas Estratégicas
INI-EST-01	Ampliación, conservación y mejoramiento operacional y tecnológico de SSR en agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas servidas
INI-EST-02	Fuentes de abastecimiento sustentables para consumo humano y riego
INI-EST-03	Implementación de un sistema de seguimiento y monitoreo integral, asociado a una gestión integrada de cuencas
INI-EST-04	Obras y medidas de protección y recuperación de sistemas ecosistémicos naturales, basadas en la naturaleza
INI-EST-05	Sistema integral de infraestructura resiliente en cauces y quebradas para la seguridad territorial y protección de la población
INI-EST-06	Implementación de un sistema de seguimiento y monitoreo integral de cuencas transnacionales

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.5-2 Cartera de inversión por tipo de iniciativa estratégica en los primeros 10 años

Dentro de las IE destaca la incorporación de tecnologías innovadoras y la construcción de infraestructura hídrica verde. Dado que para el PNIP la protección y restauración de las fuentes de agua son fundamentales para el bienestar de las personas y el desarrollo económico, estas iniciativas tienen el objetivo de salvaguardar y recuperar las fuentes de agua en cantidad y calidad para todos los usos, así como proteger humedales, riberas y cauces, garantizando la seguridad de la población y los centros urbanos ante eventos climáticos extremos.

El monto total de inversiones priorizadas a nivel nacional para el periodo comprendido entre 2025-2035 se detalla a continuación:

- M\$ 2.769.192.500 de inversión para iniciativas de Ampliación, Conservación y Mejoramiento Operacional y Tecnológico de SSR en Agua Potable, Alcantarillado y Tratamiento de Aguas Servidas.
- M\$ 1.907.788.500 de inversión para iniciativas asociadas a Fuentes de Abastecimiento Sustentables para Consumo Humano y Riego.
- M\$ 84.941.100 de inversión para la Implementación de Sistemas de Seguimiento y Monitoreo Integral, Asociado a una Gestión Integrada de Cuencas.
- M\$ 188.674.300 de inversión para Obras y Medidas de Protección y Recuperación de Sistemas Ecosistémicos Naturales, Basadas en la Naturaleza.
- M\$ 202.521.400 de inversión para el desarrollo de Sistemas Integrales de Infraestructura Resiliente en Cauces y Quebradas para la Seguridad Territorial y Protección de la Población.
- M\$ 16.238.300 de inversión para la implementación de un Sistema de Seguimiento y Monitoreo Integral de Cuencas Transnacionales.
- M\$ 1.298.000.000 de inversión para Conservación de Infraestructura Existente.

3.5.8 Monitoreo y estrategias de contingencia

El PNIP aborda megatendencias globales como cambio climático, urbanización, intensificación agrícola y dinámicas demográficas, que redefinen la disponibilidad y demanda hídrica. Para enfrentar las vulnerabilidades y oportunidades que deparan estos factores, se proponen cinco tipos de acciones anticipatorias: **Mitigación**, son acciones que pretenden reducir impactos adversos probables, incluyen la modernización de la infraestructura de riego y la reducción de la pérdida en canales; la **cobertura**, corresponden a acciones que buscan minimizar riesgos por incertidumbres, considera la implementación de plantas desaladoras y la diversificación de fuentes. Por su parte, las medidas de **oportunidad** procuran aprovechar beneficios ciertos, considerando acciones que priorizan tecnologías de reúso de aguas residuales y optimización industrial-minera-agrícola; las acciones de **beneficio** persiguen capitalizar desarrollos inciertos, estas acciones consideran políticas de conservación (protección de humedales y caudales ecológicos) y la actualización

de Instrumentos de Planificación Territorial. Por último, las medidas **preventivas** buscan influir proactivamente en eventos externos, estas medidas involucran sistemas de monitoreo hidroclimático, acuerdos binacionales para acuíferos transfronterizos y la promoción de la gobernanza hídrica, reduciendo los conflictos socioambientales e incrementado la resiliencia nacional. Estas acciones, respaldadas por inversión en datos actualizados y participación multisectorial, robustecen la adaptabilidad frente a incertidumbres climáticas y presiones demográficas.

Bajo el liderazgo del Ministerio de Obras Públicas, se realiza un llamado a los actores públicos y privados a establecer metas comunes para la gestión hídrica nacional. Para ello, los procesos de discusión deben ser participativos, incorporando aspectos políticos y técnicos, e integrando la visión de comunidades locales, organizaciones sociales y expertos en la materia. Finalmente, resulta fundamental garantizar el financiamiento para la planificación, inversión, operación y conservación de la infraestructura hídrica, asegurando la sostenibilidad a largo plazo de los recursos hídricos. Es imperativo fortalecer la valorización del agua y modernizar la política pública asociada, promoviendo un diálogo inclusivo que garantice un desarrollo sostenible y equitativo para las generaciones presentes y futuras.

CAPÍTULO 4 BIBLIOGRAFÍA

- DGA. (2022). *Homologación del Cálculo Hidrológico para la Estimación de la Oferta Natural de Agua Histórica y Futura en Chile*. Santiago.
- DGA. (2022). *Homologación del Cálculo Hidrológico para la Estimación de la Oferta Natural de Agua Histórica y Futura en Chile*. Santiago.
- DGA. (2022). *Homologación del Cálculo Hidrológico para la Estimación de la Oferta Natural de Agua Histórica y Futura en Chile*. Santiago.
- DIRPLAN. (2024). *Estudio básico: Análisis integral Plan Director de Infraestructura 2025-2055*. Santiago.
- ERIDANUS. (2018). *Recopilación histórica y representación espacial de eventos asociados a problemas de exceso hídrico: inundaciones, aluviones y tsunamis*.
- INE. (2007). *Censo Nacional Agropecuario y Forestal*.
- Pastén, P. V. (2019). *Calidad del agua en Chile: Avances, desafíos y perspectivas*. .