

**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”**

ETAPA 4 – REGIÓN O'HIGGINS

REV. 0

Preparado para:



marzo de 2025

CONTENIDO

CAPÍTULO 1	INTRODUCCIÓN	9
1.1	INTRODUCCIÓN	9
1.2	MARCO ESTRATÉGICO REGIONAL	10
1.2.1	Visión objetivo	10
1.2.2	Objetivo estratégico general	11
1.2.3	Objetivos estratégicos específicos	11
CAPÍTULO 2	DIAGNÓSTICO ACTUAL Y PROYECTADO DEL DESARROLLO DEL SECTOR HÍDRICO DE LA REGIÓN	14
2.1	CARACTERIZACIÓN DE LA REGIÓN	14
2.1.1	Dimensión física	14
1.1.1	Clima	18
2.1.2	Dimensión socioeconómica y cultural	19
2.2	ANÁLISIS DE DEMANDA ACTUAL Y FUTURA PARA DIFERENTES USOS	20
2.2.1	Agua potable urbana	20
2.2.2	Agua potable rural	22
2.2.3	Agrícola	24
2.2.4	Generación eléctrica	26
2.2.5	Minero	27
2.2.6	Industrial	28
2.2.7	Forestal	29
2.2.8	Pecuario	29
2.2.9	Acuícola	30
2.2.10	Caudal de reserva para protección ambiental	31
2.2.11	Análisis de demanda total en la región	31
2.3	ANÁLISIS DE OFERTA HÍDRICA	35
2.3.1	Oferta hídrica	35
2.3.2	Eventos extremos	46
2.3.3	Calidad de aguas	48
CAPÍTULO 3	ANÁLISIS DE INFRAESTRUCTURA HÍDRICA	51

3.1	INFRAESTRUCTURA HIDRICA Y NUEVAS FUENTES EXISTENTES	51
3.1.1	Infraestructura hídrica existente al año 2023	51
3.1.2	Infraestructura hídrica propuesta en cartera pública existente	65
CAPÍTULO 4	BRECHAS HÍDRICAS	73
4.1	BRECHAS DE BALANCE HÍDRICO	73
4.2	BRECHAS ESTRATÉGICAS	79
4.2.1	Brechas de Información	79
4.2.2	Brechas de seguridad hídrica para el derecho humano al agua, saneamiento y consumo humano de subsistencia	81
4.2.3	Brechas de seguridad para la producción sostenible y eficiencia hídrica	83
4.2.4	Brechas de seguridad hídrica para la conservación y preservación de los ecosistemas	85
4.2.5	Brechas para la seguridad hídrica que promueva la resiliencia frente a amenazas asociadas a sequías, crecidas y la prevención de la contaminación	88
4.2.6	Resumen de brechas estratégicas	90
4.3	BRECHAS DE INFRAESTRUCTURA	91
4.3.1	Desarrollo matriz OAI	91
4.3.2	Identificación de brechas de infraestructura	101
CAPÍTULO 5	IDENTIFICACIÓN DE INICIATIVAS DE INFRAESTRUCTURA, INNOVADORAS Y DE GESTIÓN	104
5.1	IDENTIFICACIÓN DE INICIATIVAS ESTRATÉGICAS	104
5.2	TIPOLOGÍAS DE PROYECTOS	106
5.3	CONFORMACIÓN DE LA CARTERA DE PRE/INVERSIONES	107
5.4	DETERMINACIÓN DE COSTOS UNITARIOS DE TIPOOGÍAS DE PROYECTOS	113
5.5	VALORIZACIÓN DE INICIATIVAS ESTRATÉGICAS	117
5.6	ESTIMACIÓN DE BENEFICIOS PARA LA MATRIZ HÍDRICA	117
5.6.1	Beneficios de Inversiones	117
5.6.2	Incidencia en Matriz Hídrica	122
CAPÍTULO 6	EVALUACIÓN MULTICRITERIO Y SOCIOECONÓMICA	126
6.1	EVALUACIÓN MULTICRITERIO	126
6.2	EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA	129
6.3	PRIORIZACIÓN Y CARTERA DE INVERSIONES	130
CAPÍTULO 7	PROPUESTA DE ESCENARIOS DE DESARROLLO	135
7.1	SELECCIÓN DE FACTORES CRÍTICOS PARA LA TOMA DE DECISIÓN	135

7.1.1	Contexto regional y áreas de intervención prioritarias	136
7.1.2	Factores críticos regionales	138
7.2	PROPUESTA DE ESCENARIOS DE DESARROLLO	140
7.2.1	Análisis de estancamiento crítico	140
7.2.2	Análisis de desafío gestionable	144
7.2.3	Análisis de capacidad limitada	147
7.2.4	Análisis de avance sostenible y resiliente	150
	PROPUESTA DE PROSPECTIVA DE REQUERIMIENTOS DE INFRAESTRUCTURA	
HÍDRICA	153	
CAPÍTULO 8	153	
8.1	SEGURIDAD HÍDRICA EN LA REGIÓN: ESTADO DEL ARTE	153
8.2	EL FUTURO EXISTE EN EL POTENCIAL DEL PRESENTE: POLÍTICAS PÚBLICAS E INNOVACIONES	155
8.3	GOBERNANZA PARA EL FUTURO DESEADO: EL ROL DEL MOP Y ACTORES CLAVE	156
8.4	FRENTE A LA INCERTIDUMBRE: VISIÓN COMÚN PARA LA RESILIENCIA	156
8.5	MEGATENDENCIAS Y SUS POTENCIALES CONSECUENCIAS: ESCENARIOS DE DESARROLLO	157
8.6	ADAPTACIÓN COMO CAMINO PARA NAVEGAR LA INCERTIDUMBRE	158
8.7	SOLUCIONES SINÉRGICAS PARA PROBLEMAS COMPLEJOS: INICIATIVAS ESTRATÉGICAS	158
8.8	MONITOREO Y ESTRATEGIAS DE CONTINGENCIA	160
CAPÍTULO 9	BIBLIOGRAFÍA	162

FIGURAS

Figura 2.1-1	Hidrografía de la región del Libertador Bernardo O'Higgins	16
Figura 2.1-2	Distribución geográfica áreas protegidas, humedales y sitios prioritarios de región del Libertador Bernardo O'Higgins.....	17
Figura 2.1-3	Escenarios emisiones del CMIP5 y trayectorias a 2100.	19
Figura 2.2-1	Clientes Residenciales regulados que se abastecen de agua potable urbana... ..	21
Figura 2.2-2	Estimación consumo mensual promedio histórico por Cliente Residencial regulado	21
Figura 2.2-3	Superficie catastrada según tipo de cultivo en los Censos Agropecuarios de los años 1997, 2007 y 2021 y proyección hasta el año 2055	25
Figura 2.2-4	Distribución de demanda consuntiva total regional (%), por uso – año 2023	32
Figura 2.2-5	Distribución de demanda total consuntiva regional (Mm ³ /año), por uso – actual y proyectada	33
Figura 2.2-6	Distribución de demanda total consuntiva no extractiva y no consuntiva regional (Mm ³ /año), por uso – actual y proyectada	34
Figura 2.3-1	Cuencas y subcuencas de la región del Libertador Bernardo O'Higgins según clasificación del BNA.....	36
Figura 2.3-2	Ubicación geográfica de los DAA superficiales en la región del Libertador Bernardo O'Higgins, por tipología	38
Figura 2.3-3	Restricciones de uso sobre fuentes superficiales, región del Libertador Bernardo O'Higgins.....	39
Figura 2.3-4	Zonas con decretos de escasez históricos por comuna, región del Libertador Bernardo O'Higgins.....	40
Figura 2.3-5	Ubicación geográfica de los DAA subterráneas en la región del Libertador Bernardo O'Higgins por tipología	44
Figura 2.3-6	Restricciones de uso sobre fuentes subterráneas, región del Libertador Bernardo O'Higgins.....	45
Figura 3.1-1	Distribución de viviendas en región del Libertador Bernardo O'Higgins 2017.. ..	54

Figura 3.1-2	Distribución de hogares en zonas rurales con acceso a servicios básicos, según la fuente de obtención de agua.....	55
Figura 3.1-3	Acceso a la red de agua potable según indicador BS12 en las viviendas rurales de la región del Libertador Bernardo O'Higgins.....	56
Figura 3.1-4	Cobertura de sistemas de alcantarillado de la población rural para el año 2020	57
Figura 3.1-5	Cobertura de sistemas de alcantarillado de la población rural para el año 2022	57
Figura 3.1-6	Infraestructura principal asociada a los recursos hídricos de la región del Libertador Bernardo O'Higgins.....	60
Figura 3.1-7	Red hidrométrica de la región del Libertador Bernardo O'Higgins	64
Figura 4.1-1	Probabilidad de excedencia sobre la curva de oferta, de la demanda actual y futura, cuenca BNA 060.....	75
Figura 4.1-2	Indicadores de disponibilidad hídrica para el año 2025 en la región de O'Higgins	76
Figura 4.1-3	Variación de indicadores de disponibilidad hídrica proyectada por año en la región de O'Higgins	78
Figura 4.2-1	Resumen de Brechas Estratégicas por Cuenca Región del Libertador General Bernardo O'Higgins.....	90
Figura 4.3-1	Distribución geográfica de iniciativas catastradas sin ejecutar en periodo 2010-2022, asociadas a brechas de seguridad hídrica en la región del Libertador Bernardo O'Higgins	97
Figura 5.1-1	Diagrama de flujo Iniciativas Estratégicas.....	105
Figura 5.2-1	Diagrama Composición Iniciativas Estratégicas	106
Figura 5.3-1	Diagrama Estructura Iniciativas Estratégica, Tipología de Proyectos y Cartera de Pre/Inversiones.....	108
Figura 5.3-2	Diagrama de Composición de Cartera de Pre/inversión.....	109
Figura 6.3-1	Diagrama de proceso para la generación de la cartera de inversión	131
Figura 6.3-2	Composición de la cartera de inversión por tipología de proyecto para la región del Libertador General Bernardo O'Higgins.....	132
Figura 6.3-3	Cartera de inversión por tipo de iniciativa estratégica para la región del Libertador General Bernardo O'Higgins	133
Figura 6.3-4	Cartera de inversión por tipo de fuente de inversión para la región del Libertador General Bernardo O'Higgins	134
Figura 8.1-1	Distribución de demanda total regional (%), por uso - año 2023.....	155
Figura 8.7-1	Inversión total distribuida por Iniciativas Estratégicas	159

TABLAS

Tabla 2.2-1	Estimación demanda Agua Potable Urbana actual y futura– Cuencas BNA región Libertador Bernardo O’Higgins.....	20
Tabla 2.2-2	Estimación demanda hídrica Agua Potable Rural actual y futura– Cuencas BNA región Libertador Bernardo O’Higgins.....	22
Tabla 2.2-3	Proyección de la población rural en áreas con APR – Cuencas BNA región del Libertador Bernardo O’Higgins	23
Tabla 2.2-4	Estimación demanda hídrica en áreas rurales sin APR actual y futura– Cuencas BNA región del Libertador Bernardo O’Higgins	23
Tabla 2.2-5	Proyección de la población rural en áreas sin APR – Cuencas BNA región del Libertador Bernardo O’Higgins	23
Tabla 2.2-6	Estimación demanda hídrica Agrícola actual y futura – Cuencas BNA Región Libertador Bernardo O’Higgins	24
Tabla 2.2-7	Estimación demanda hídrica consuntiva Generación Eléctrica actual y futura – Cuencas BNA Región Libertador Bernardo O’Higgins	26
Tabla 2.2-8	Estimación demanda hídrica no consuntiva generación eléctrica actual y futura – Cuencas BNA Región Libertador Bernardo O’Higgins	26
Tabla 2.2-9	Estimación demanda hídrica Minera actual y futura – Cuencas BNA Región Libertador Bernardo O’Higgins.....	27
Tabla 2.2-10	Estimación demanda hídrica Industrial actual y futura – Cuencas BNA Región Libertador Bernardo O’Higgins	28
Tabla 2.2.11	Estimación demanda hídrica Forestal actual y futura – Cuencas BNA Región Libertador Bernardo O’Higgins	29
Tabla 2.2.12	Estimación demanda hídrica Pecuaria actual y futura – Cuencas BNA Región Libertador Bernardo O’Higgins	30
Tabla 2.2-13	Estimación demanda hídrica Acuícola actual y futura – Cuencas BNA Región Libertador Bernardo O’Higgins	30
Tabla 2.2.14	Caudales de Reserva para Protección Ambiental – Cuencas BNA Región Libertador Bernardo O’Higgins	31
Tabla 2.2-15	Resumen de demandas consuntivas – Cuencas BNA región de O’Higgins.....	32
Tabla 2.3-1	Oferta hídrica actual y proyectada de agua superficial en la región	41
Tabla 2.3-2	Escorrentía total y glaciación en periodo histórico 1985-2015.....	42

Tabla 2.3-3	Oferta hídrica actual de agua subterránea en región	46
Tabla 2.3-4	Oferta hídrica actual y proyectada de agua subterránea en región	46
Tabla 2.3-5	Precipitación Máxima en 24 Horas para T = 20 años	47
Tabla 2.3-6	Eventos extremos históricos en la región del Libertador Bernardo O'Higgins, periodo 1912-2017	48
Tabla 2.3-7	Cuencas afectadas por eventos extremos en la región del Libertador Bernardo O'Higgins, periodo 2017-2023	48
Tabla 3.1-1	Producción de agua y número de territorios operacionales por cuenca	52
Tabla 3.1-2	Planes de desarrollo vigentes según concesión en la región del Libertador Bernardo O'Higgins	52
Tabla 3.1-3	Planes maestros de aguas lluvias tramitados para la región del Libertador General Bernardo O'Higgins	61
Tabla 3.1-4	Obras de tramo colector presentes en la región del Libertador General Bernardo O'Higgins	61
Tabla 3.1-5	Estaciones de monitoreo de la región del Libertador Bernardo O'Higgins	63
Tabla 3.1-6	Iniciativas clasificadas según tipología y estrategia de acción	65
Tabla 3.1-7	Iniciativas según tipologías y características básicas	66
Tabla 3.1-8	Iniciativas con estado de ejecución	67
Tabla 3.1-9	Iniciativas planificadas dentro de los planes de desarrollo de las empresas sanitarias para la región del Libertador General Bernardo O'Higgins	67
Tabla 3.1-10	Inversión histórica MOP 2015-2023 según estrategias de acción	71
Tabla 4.1-1	Brechas Hídricas por Cuenca Región de O'Higgins	77
Tabla 4.2-1	Brechas Estratégicas de Consumo Humano por Cuenca Región del Libertador General Bernardo O'Higgins	82
Tabla 4.2-2	Brechas Estratégicas de Desarrollo Económico por Cuenca Región del Libertador General Bernardo O'Higgins	84
Tabla 4.2-3	Brechas Estratégicas de conservación y preservación de los ecosistemas, por Cuenca Región del Libertador General Bernardo O'Higgins	86
Tabla 4.2-4	Brechas Estratégicas de conservación y preservación de los ecosistemas, por Cuenca Región del Libertador General Bernardo O'Higgins (continuación)	87
Tabla 4.2-5	Brechas Estratégicas resiliencia frente a amenazas asociadas a eventos extremos por Cuenca Región del Libertador General Bernardo O'Higgins	89
Tabla 4.3-1	Tipología de iniciativas asociadas a resolver brechas estratégicas en la región del Libertador Bernardo O'Higgins	94
Tabla 4.3-2	Tipología de iniciativas asociadas a resolver brechas estratégicas en la región del Libertador Bernardo O'Higgins (continuación)	95
Tabla 4.3-3	Incertidumbres detectadas por tipo de obra de infraestructura en la región del Libertador Bernardo O'Higgins	99
Tabla 4.3-4	Universo y metas de infraestructura según tipología en la región de O'Higgins	103

Tabla 5.1-1	Iniciativas Estratégicas	106
Tabla 5.2-1	Tipologías de Proyectos por Iniciativas Estratégicas	107
Tabla 5.3-1	Criterios para la determinación de las iniciativas a proyectar OHIG-INI-EST-01	110
Tabla 5.3-2	Criterios para la determinación de las iniciativas a proyectar OHIG-INI-EST-02	110
Tabla 5.3-3	Criterios para la determinación de las iniciativas a proyectar OHIG-INI-EST-03 y OHIG-INI-EST-06	111
Tabla 5.3-4	Criterios para la determinación de las iniciativas a proyectar OHIG-INI-EST-04	112
Tabla 5.3-5	Criterios para la determinación de las iniciativas a proyectar OHIG-INI-EST-05	112
Tabla 5.4-1	Precios Unitarios de Tipologías de Proyectos según Etapa MDSyF	113
Tabla 5.5-1	Costos totales propuesta por IE para dar respuesta a las brechas identificadas	117
Tabla 5.6-1	Criterios para la estimación de beneficios por Inversión (General)	119
Tabla 5.6-2	Criterios para la estimación de beneficios Matriz Hídrica	123
Tabla 6.1-1	Criterios de Evaluación de Inversiones y valorización para su priorización	128
Tabla 8.1-1	Balance Hídrico Estructural actual de la región de O'Higgins	155

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

A continuación, se presenta una breve introducción al estudio y el marco estratégico desarrollado para la región del Libertador Bernardo O'Higgins en el contexto del estudio de los requerimientos de infraestructura hídrica para Plan Director de Infraestructura 2025-2055.

1.1 INTRODUCCIÓN

En el presente informe se identifica la cartera de proyectos estratégicos y la prospectiva de requerimientos de inversión, así como también iniciativas de política pública, programas de inversión innovadores y/o medidas de gestión necesarias para promover una mayor seguridad hídrica en la región del Libertador Bernardo O'Higgins.

Para ello, se desarrolla un diagnóstico actual y prospectivo de los principales sectores de demanda hídrica de la región para el período 2025-2055, incluyendo un análisis histórico de los niveles de precipitación y eventos climáticos extremos. Esto, junto con la evaluación de la oferta hídrica, permite analizar la viabilidad hídrica de las iniciativas propuestas orientadas a abordar los diversos requerimientos hídricos proyectados de los distintos sectores de demanda económico-productivos y de los centros poblados distribuidos en el territorio regional.

Las iniciativas propuestas se definen a partir de los resultados de las brechas identificadas en el diagnóstico, y del análisis de la disponibilidad de proyectos estratégicos regionales y por cuencas, tanto proyectados como ejecutados y/o en ejecución, además de la identificación y/o propuestas de nuevas iniciativas, incluyendo aquellas innovadoras que propicien nuevas fuentes de disponibilidad hídrica. Estas iniciativas son evaluadas en base a una metodología multicriterio que permite su priorización.

Finalmente, se entrega una nueva prospectiva de los programas y/o proyectos estratégicos de infraestructura hídrica identificados con nuevos horizontes de realización (con alcance temporal al 2055 y con escenarios de corte de 10, 20 y 30 años), en base a diversos criterios y/o escenarios, con sus requerimientos de inversión y programación estimados dentro del período 2025-2055, para ser presentados como propuestas dentro del proceso de elaboración del Plan Director de Infraestructura 2025-2055.

1.2 MARCO ESTRATÉGICO REGIONAL

Con la finalidad de garantizar la coherencia y conformidad con los aspectos generales, resulta esencial mantener los objetivos regionales en línea a los ejes estratégicos establecidos en base a las cuatro dimensiones de seguridad hídrica desarrolladas a nivel nacional. Esta estructura proporciona una sólida guía hacia la entrega de soluciones efectivas frente a las problemáticas regionales entorno al recurso hídrico, orientadas a una gestión eficiente y sustentable del agua en todo el país.

1.2.1 Visión objetivo

La visión estratégica regional para este estudio se desarrolla a partir de las visiones estratégicas de largo plazo construidas para Plan Director de Servicios de Infraestructura 2025-2055 (PDSI) a través del estudio de Análisis Integral (DIRPLAN, 2024), el cual abarca todos los servicios de infraestructura que presta el Ministerio de Obras Públicas.

En este contexto, la región del Libertador Bernardo O'Higgins define su imagen objetivo como una región de cultura rural, campesina y patrimonial, que planifica y diversifica sus sectores productivos estratégicos, tales como el sector agrícola, agroindustrial, pesquero, minero y energético, donde gestiona y regula el recurso hídrico de forma sostenible, previene los efectos y se adapta a una fuerte crisis climática, junto con relevar su patrimonio cultural, material y natural, fortalece la identidad rural y fomenta el turismo de cordillera a mar como uno de los ejes de desarrollo productivo con la participación de las personas de manera segura y colaborativa.

Esta imagen también define una región conectada de manera intra e interregional e integrada, nacional e internacionalmente, que potencia el desarrollo económico equitativo entre lo rural, agrícola y minero y recursos marinos; generando un equilibrio económico, social y cultural, conservando la biodiversidad y los recursos naturales, considerando la perspectiva de género e inclusión.

A continuación, se presenta el objetivo estratégico general y los objetivos estratégicos específicos los cuales se han definido a partir de la revisión y análisis del Estudio de Análisis Integral Desarrollado para el Plan Director 2025-2055 (DIRPLAN, 2024), los Planes Estratégicos de Gestión Hídrica (PEGHs) desarrollados en las cuenca Río Rapel (DGA, 2022) y en las cuencas Costeras entre Maipo y Rapel (DGA, 2021), los Planes de Estrategias Regionales del Gobierno Regional de O'Higgins (GORE O'Higgins, 2011; GORE O'Higgins, 2019) y por último el Programa de Gestión Territorial para Zonas Rezagadas 2020-2027 (MOP, 2020). El detalle del análisis realizado se presenta en el Anexo 07.05.02.

1.2.2 Objetivo estratégico general

Promover el desarrollo sostenible de la región mediante la gestión integral y eficiente de los recursos hídricos, asegurando el acceso equitativo y continuo al agua potable y al saneamiento adecuado en áreas rurales, fortaleciendo la infraestructura hídrica, y diversificando las fuentes de agua. Garantizando así la seguridad hídrica para el consumo humano y el riego agrícola, fomentará la productividad regional, proteger y restaurar los ecosistemas locales, y reducir la vulnerabilidad de la población e infraestructura ante los impactos del cambio climático, todo bajo un marco normativo que garantice la sostenibilidad y resiliencia ambiental.

1.2.3 Objetivos estratégicos específicos

1. Garantizar el acceso equitativo al agua potable y a servicios de saneamiento adecuados para toda la población. Fortalecer los Sistemas Sanitarios Rurales (SSR) mejorando la infraestructura y los servicios de saneamiento en áreas rurales para asegurar el acceso continuo al agua potable. Establecer una red de monitoreo de la calidad del agua para asegurar que el agua disponible cumpla con los estándares de calidad necesarios para el consumo humano. Desarrollar infraestructura de nuevos embalses para garantizar la disponibilidad de agua para consumo humano. Priorizar la inversión para dotar de servicios básicos de agua potable y alcantarillado en sectores deficitarios, asegurando que los habitantes de la cuenca tengan acceso seguro al agua para consumo humano.
2. Identificar y desarrollar nuevas fuentes de agua para asegurar un suministro adecuado para el consumo humano. Implementar tecnologías innovadoras, como plantas desalinizadoras y sistemas de captación de agua de niebla, para diversificar las fuentes de agua disponibles. Realizar estudios de exploración y prospección hidrogeológica para identificar nuevas fuentes de agua subterránea que puedan ser utilizadas para el consumo humano. Desarrollar soluciones alternativas e innovadoras para proveer servicios básicos requeridos en zonas aisladas y de baja concentración de población, asegurando que los Sistemas Sanitarios Rurales (SSR) de la cuenca cumplan con la ley de saneamiento rural y brinden acceso a saneamiento domiciliario a toda la comunidad.
3. Asegurar la disponibilidad y acceso al agua para riego agrícola mejorando la infraestructura existente y desarrollando nuevas fuentes. Implementar tecnologías avanzadas y estrategias de recarga de acuíferos para diversificar y sustentar los recursos hídricos. Incrementar la seguridad y capacidad de riego, especialmente en períodos críticos, y ampliar las superficies agrícolas. Desarrollar la región como potencia agroalimentaria mediante la innovación, fortalecimiento del capital

humano y buenas prácticas agrícolas que promuevan la sustentabilidad y la eficiencia en el manejo de recursos naturales.

4. Mejorar la eficiencia del uso del agua en la agricultura a través de la tecnificación del riego y fortalecer las capacidades de los usuarios. Promover la adopción de sistemas de riego avanzados y capacitar a las Organizaciones de Usuarios de Aguas (OUA) para gestionar eficientemente el recurso hídrico. Desarrollar programas de formación en riego eficiente y sostenible, reducir el consumo de agua, formalizar las OUAs y optimizar la distribución del agua. Apoyar la innovación y fortalecer el capital humano para desarrollar la región como un líder agroalimentario sostenible.
5. Proteger y restaurar los ecosistemas locales, asegurando que la infraestructura y las prácticas de gestión sean resilientes al cambio climático. Fomentar el uso de soluciones naturales para la gestión de recursos hídricos y la conservación de la biodiversidad. Diseñar y construir infraestructuras que se adapten a los efectos del cambio climático, minimizando su impacto ambiental y asegurando su funcionalidad a largo plazo. Promover proyectos de restauración de ecosistemas que contribuyan a la resiliencia climática y a la conservación de la biodiversidad, asegurando el cumplimiento del caudal ecológico y las normas de calidad de aguas. Además, fomentar la investigación y capacitación para la conservación de la biodiversidad y promover prácticas productivas sustentables.
6. Establecer un marco normativo y de planificación que garantice la protección del medio ambiente y la sostenibilidad de los recursos naturales. Crear y aplicar regulaciones que protejan los recursos naturales y fomenten prácticas sostenibles en sectores como la agricultura y la minería. Implementar sistemas de monitoreo para evaluar continuamente la calidad del suelo, el agua y otros recursos naturales, asegurando el cumplimiento de las normativas ambientales. Realizar investigaciones sobre la calidad y uso del suelo para informar prácticas agrícolas sostenibles y promover una gestión territorial eficaz de los derechos de aprovechamiento del agua. Fortalecer la red de monitoreo del recurso hídrico, tanto superficial como subterráneo, para asegurar su disponibilidad y calidad. Además, regular sitios prioritarios como humedales y glaciares, generar instrumentos para la mitigación y adaptación al cambio climático, promover la participación de diversos agentes en la integración de políticas sectoriales, y aumentar los estudios y planes de monitoreo, educación y difusión sobre la calidad del agua.
7. Minimizar el riesgo y la vulnerabilidad de la población y la infraestructura ante eventos climáticos extremos como inundaciones, sequías y deslizamientos de tierra. Desarrollar obras de infraestructura resiliente, como diques, drenajes y sistemas de

captación de agua, para mitigar los efectos de estos eventos. Integrar la gestión del riesgo climático en la planificación territorial, asegurando que las nuevas infraestructuras y desarrollos urbanos se ubiquen en áreas con menor vulnerabilidad. Promover programas de capacitación para las comunidades sobre cómo prepararse y responder a eventos climáticos extremos, fortaleciendo su resiliencia. Además, identificar y diseñar medidas de solución para disminuir la vulnerabilidad de la población y las actividades productivas frente a amenazas naturales.

CAPÍTULO 2 DIAGNÓSTICO ACTUAL Y PROYECTADO DEL DESARROLLO DEL SECTOR HÍDRICO DE LA REGIÓN

2.1 CARACTERIZACIÓN DE LA REGIÓN

A continuación, se presentan las principales características de la región del Libertador Bernardo O'Higgins en términos físicos, climáticos y socio-económicos. El detalle de este trabajo se presenta de en el Anexo 07.01 del presente estudio.

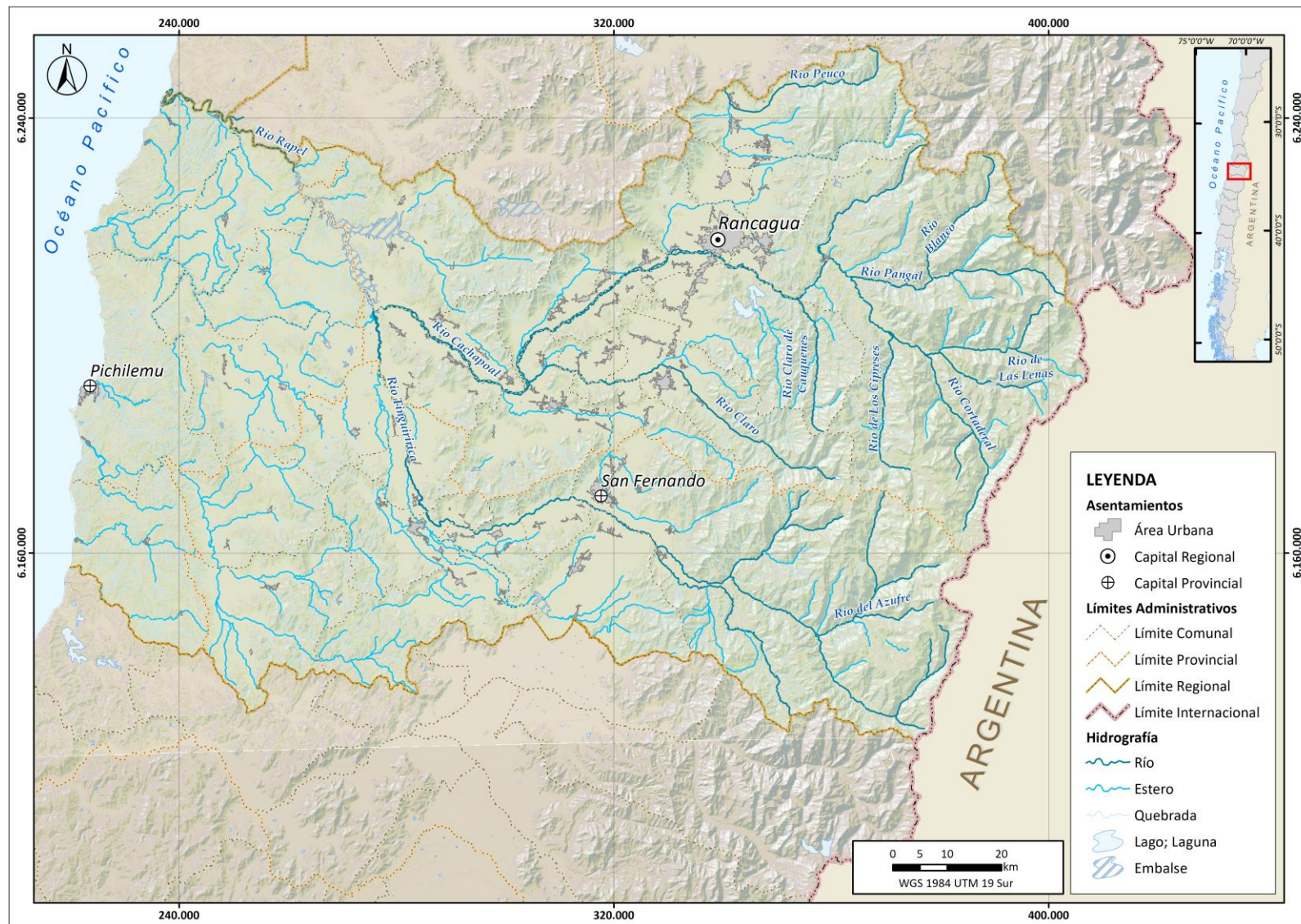
2.1.1 Dimensión física

La caracterización física comprende el estado actual de la región en relación a la información geológica, hidrológica y ambiental. En la región, se destacan los tres principales valles transversales que atraviesan de norte a sur el territorio. Estos valles son conocidos como los valles de Cachapoal, Colchagua y Tinguiririca. Su morfología favorece el desarrollo de la actividad agrícola, siendo zonas de gran importancia para la producción de diversos cultivos. Los valles de Cachapoal, Colchagua y Tinguiririca dan origen a tres importantes ríos homónimos, los cuales tienen su origen en la Cordillera de los Andes y fluyen hacia el mar (MOP, 2012). La hidrografía de la región puede observarse en la Figura 2.1-1.

La región del Libertador Bernardo O'Higgins presenta una distribución geológica diversa, con unidades principales que incluyen la Cordillera de Los Andes, la Depresión Intermedia, la Cordillera de la Costa y las Planicies Litorales. Estas formaciones exhiben una variedad de características, desde picos volcánicos en la cordillera hasta terrazas marinas y dunas en las planicies litorales, reflejando la evolución geológica del margen occidental de Sudamérica (MOP, 2012).

En cuanto a la distribución del uso del suelo, la mayor parte de la región se categoriza como praderas y matorrales, con una proporción menor utilizada para fines agrícolas y áreas urbanas e industriales (CONAF, Catastro y Actualización de los Recursos Vegetacionales y Uso de la Tierra, 2019).

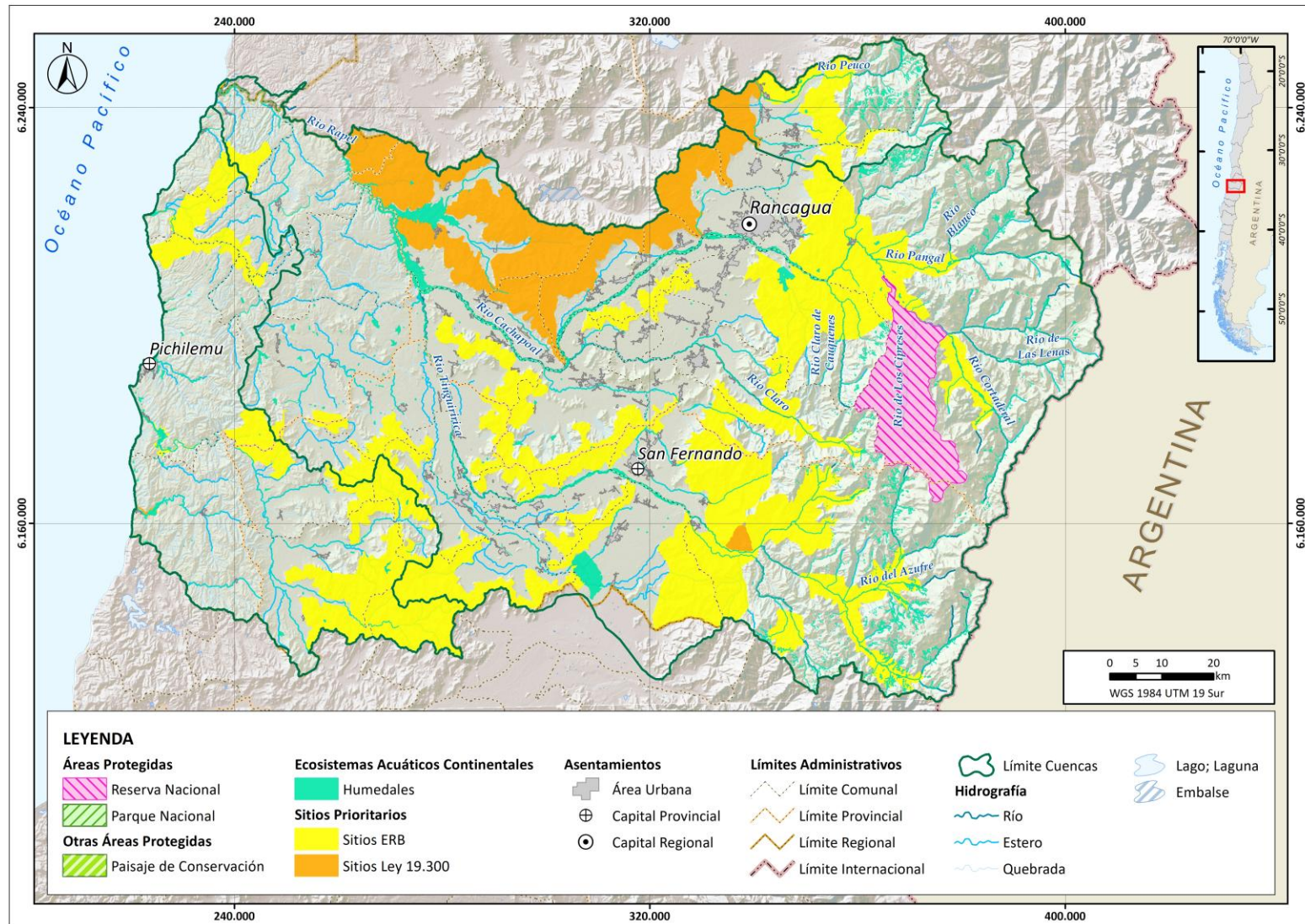
Finalmente, en el ámbito ambiental, se han identificado áreas con diferentes grados de protección de la biodiversidad en las cuencas de los ríos de la región, según el Registro Nacional de Áreas Protegidas (RNAP) del Ministerio de Medio Ambiente (MMA). Entre estas áreas destacan reservas naturales como el Parque Nacional Radal Siete Tazas y la Reserva Nacional Río de los Cipreses, que representan importantes reservas naturales en la región (ver Figura 2.1-2). No obstante, la protección de humedales en la Región de O'Higgins se encuentra en una condición crítica. Todas las cuencas de la región presentan porcentajes de protección de humedales menores al 4%, lo que indica una alta criticidad. Esta situación evidencia una brecha significativa en la protección de humedales, afectando la provisión de servicios ecosistémicos esenciales en diferentes cuencas de la región media (ver sección 4.2.4).



Fuente: Elaboración propia en base a DGA (2023).

Figura 2.1-1

Hidrografía de la región del Libertador Bernardo O'Higgins



Fuente: Elaboración propia en base a DGA (2023).

Figura 2.1-2 Distribución geográfica áreas protegidas, humedales y sitios prioritarios de región del Libertador Bernardo O'Higgins

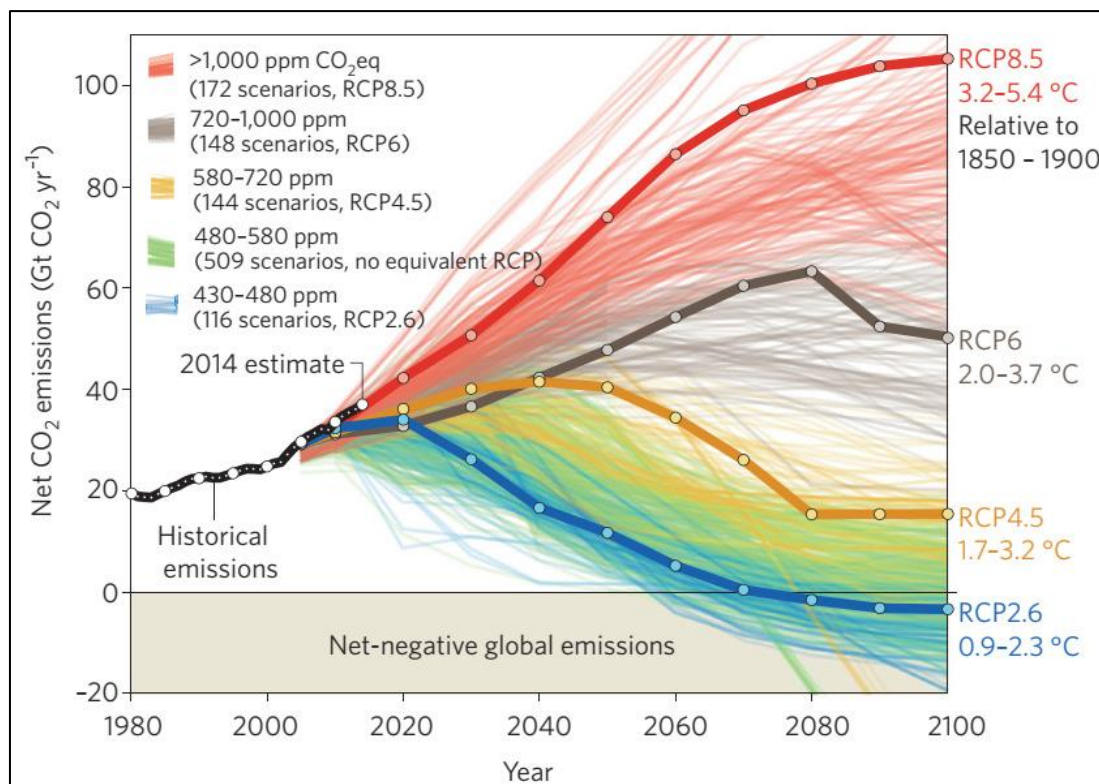
1.1.1 Clima

La caracterización climática comprende una descripción de los tipos de clima presentes en la región y análisis de variabilidad climática. La región del Libertador Bernardo O'Higgins exhibe una variedad de climas debido a su diversa topografía. En la costa, predomina un clima templado nuboso con mayor humedad, mientras que hacia el interior se observa un clima mediterráneo cálido con una estación seca de seis meses y un invierno lluvioso. En las alturas de la cordillera, se experimenta un clima frío de altura con altas precipitaciones y nieves permanentes en verano. Esta región se sitúa en una zona de transición entre los climas desérticos y los mediterráneos (BCN, 2023).

En el Anexo 07.01 se presenta la clasificación climática de Köppen-Geiger; además de los diagramas ombrotérmicos para cada cuenca de la región, calculados dentro del periodo histórico considerado 1985-2015, con información extraída del producto meteorológico CR2Met v2.5, asociado al estudio Homologación del cálculo hidrológico para la estimación de la oferta natural de agua histórica y futura en Chile (DGA, 2022).

Estos datos climáticos fueron obtenidos a partir de los resultados de las simulaciones de 4 modelos de circulación general (GCM, por sus siglas en inglés) de la iniciativa CMIP-5¹ (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5), siendo ajustados a una escala espacial de 0,05° x 0,05° para Chile. Estos modelos poseen información histórica hasta el año 2005, por lo que, a partir de ese año, los resultados reportados corresponden a proyecciones. Los GCM utilizados corresponden a aquellos del escenario de emisiones RCP8.5, que supone la mayor tasa de emisiones hacia el futuro, siendo la más pesimista, pero que mejor predijeron lo ocurrido desde el año 2005 hasta el año 2014, como se puede ver en la Figura 2.1-3. El GCM representativo de la región corresponde al CCSM4. Mayor información sobre los GCM seleccionados se presenta en Anexo 07.01.

¹ <https://pcmdi.llnl.gov/mips/cmip5/>



Fuente: Havlik et al., (2014).

Figura 2.1-3 Escenarios emisiones del CMIP5 y trayectorias a 2100.

2.1.2 Dimensión socioeconómica y cultural

La región de O'Higgins tiene una superficie de 16.387 Km². En la región se proyecta un aumento de población que llegaría a 1.095.440 habitantes para el año 2035, representando un incremento del 19,78% en comparación con el Censo de 2017. La estructura demográfica de la región se caracterizará por una distribución regresiva, lo que significa que la cantidad de habitantes en grupos de edad menores de 24 años y mayores de 65 años será menor que la población de 25 a 64 años. Destaca que la proporción de personas mayores de 80 años es considerablemente mayor que la de menores de 4 años (INE, 2017). Del total de la población de O'Higgins, el 74,4% reside en áreas urbanas y el 25,6% en áreas rurales (INE, 2017).

En el ámbito económico, el Producto Interno Bruto (PIB) de la región del Libertador Bernardo O'Higgins, reportado por el Banco Central de Chile (BC, 2022) asciende a \$11.333 mil millones de pesos, lo que corresponde al 4,32% del PIB nacional. En cuanto a la distribución sectorial del PIB regional, la minería es el sector predominante, contribuyendo con un 20,8%, seguido por los servicios personales con un 12,1% y el sector agropecuario silvícola con un 14,4%. En menor medida, el sector de electricidad, gas, agua y gestión de desechos representa un 2,8% del PIB regional, mientras que el sector construcción tiene una participación del 5,9% (BC, 2022).

2.2 ANÁLISIS DE DEMANDA ACTUAL Y FUTURA PARA DIFERENTES USOS

En el presente acápite se cuantifica la 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.

2.2.1 Agua potable urbana

El análisis de la demanda de agua potable urbana en las cuencas de la región del Libertador Bernardo O'Higgins está determinado por las fuentes de extracción que se localizan al interior de los límites definidos de las cuencas y que abastecen localidades con áreas urbanas. Los resultados del análisis son presentados a nivel de cuenca considerando el consumo en términos de volumen anual demandado (Mm³/año).

Los cálculos de demanda hídrica actual consideran el consumo facturado en el año 2022 según el Sistema de Facturación Clientes y Cobertura (SIFAC II) (SiSS, 2022). La demanda proyectada para Clientes Residenciales considera el consumo facturado histórico y la proyección de clientes de acuerdo a la tasa de crecimiento poblacional, mientras que para los demás clientes perteneciente a la categoría "Otros"², se utiliza la tasa de crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB) (2022). El detalle de la metodología llevada a cabo se encuentra en el Anexo B, y las planillas de cálculo se encuentran en el Anexo 07.02.

Tabla 2.2-1 Estimación demanda Agua Potable Urbana actual y futura– Cuencas BNA región Libertador Bernardo O'Higgins

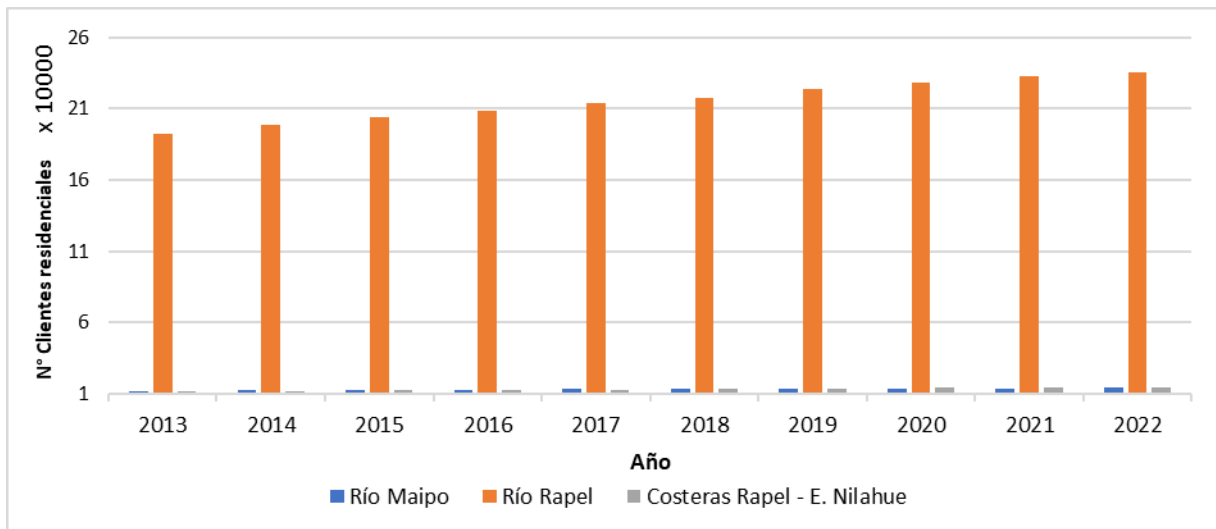
Cód. Cuenca	Cuenca	Demanda (Mm ³ /año)				
		2022	2025	2035	2045	2055
057	Río Maipo	2.279	2.340	2.460	2.553	2.626
060	Río Rapel	49.163	50.535	53.029	54.756	55.912
061	Costeras Rapel - E. Nilahue	2.000	2.017	2.167	2.287	2.385
Total		53.442	54.892	57.656	59.596	60.923

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

Según se desprende de la Tabla 2.2-1, la proyección futura muestra una tendencia al alza en todas las cuencas, asociada al aumento de la población urbana que demanda el recurso hídrico en las cuencas. Asimismo, se observa que la mayor demanda se concentra en la cuenca del Río Rapel (Código cuenca N°060) en donde operan los sistemas de producción de agua potable que abastece a la mayor población de la región.

² La categoría "Otros" incluye Clientes Industriales, Comerciales y No Asociados a Inmuebles.

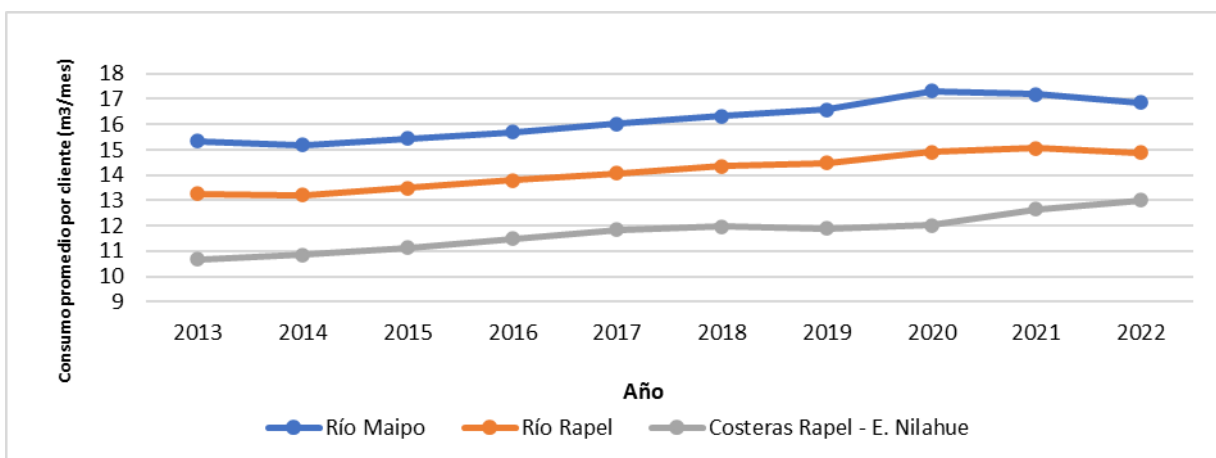
En relación a lo anterior, se identifica que el mayor número de clientes corresponde a Clientes Residenciales los que representan el 96,4% del total de clientes en la región. Respecto a la tasa de crecimiento, en los últimos 10 años, los Clientes Residenciales presentan en promedio un descenso en la tasa de crecimiento de un 0,3%. En la Figura 2.2-1 se muestra la distribución de Clientes Residenciales por cuenca entre los años 2013 y 2022.



Fuente: SISS (2023)

Figura 2.2-1 Clientes Residenciales regulados que se abastecen de agua potable urbana

Junto con el aumento del número de clientes, también se ha observado un incremento en el consumo mensual promedio por cliente residencial de aproximadamente $5,6\text{m}^3/\text{mes}$ (Figura 2.2-2). Cabe destacar que la cuenca que más consumo promedia es la cuenca del Río Maipo.



Fuente: SISS (2023)

Figura 2.2-2 Estimación consumo mensual promedio histórico por Cliente Residencial regulado

2.2.2 Agua potable rural

A continuación, se presenta la estimación de la demanda de agua potable rural actual (año 2022) y proyectada de los Servicios Sanitarios Rurales (SSR) de las cuencas de la región del Libertador Bernardo O'Higgins.

Los cálculos de la demanda hídrica consideran la información proporcionada por la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH, 2023) que contiene la identificación de los SSR que actualmente operan en la cuenca. La demanda proyectada considera las tasas de crecimiento poblacional provenientes del Censo de Población y Vivienda (INE, 2017), así como también la demanda asociada a futuros proyectos en la región. El detalle de la metodología llevada a cabo se encuentra en el Anexo B del Informe Nacional, y las planillas de cálculo se encuentran en el Anexo 07.02.

Tabla 2.2-2 Estimación demanda hídrica Agua Potable Rural actual y futura– Cuencas BNA región Libertador Bernardo O'Higgins

Cód. Cuenca	Cuenca	Demanda (Mm ³ /año)				
		2022	2025	2035	2045	2055
057	Rio Maipo	390	399	458	475	487
060	Rio Rapel	17.929	18.347	19.602	20.363	20.866
061	Costeras Rapel - E. Nilahue	1.769	1.810	1.973	2.049	2.100
Total		20.088	20.556	22.033	22.887	23.453

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

Según se desprende de la Tabla 2.2-2, la proyección futura muestra una tendencia al alza en todas las cuencas, asociado al aumento de población rural que demanda el recurso hídrico en las cuencas. Asimismo, se observa que la mayor demanda se centraliza en la cuenca del Río Rapel, en donde se concentra la mayor población.

En la Tabla 2.2-3 se presenta la proyección de la población rural de áreas con APR en las cuencas de la región del Libertador Bernardo O'Higgins, donde se observa un incremento en la población rural de un 15% para las cuencas Costeras Rapel – E. Nilahue (código BNA 061) y un 13% en las cuencas del Río Maipo (código BNA 057) y Río Rapel (código BNA 060) para el año 2055 respecto de la población actual.

Tabla 2.2-3 Proyección de la población rural en áreas con APR – Cuencas BNA región del Libertador Bernardo O'Higgins

Cód. Cuenca	Cuenca	Población rural en áreas con APR (hab)				
		2023	2025	2035	2045	2055
57	Rio Maipo	5.772	5.859	6.210	6.451	6.610
60	Rio Rapel	316.563	321.359	341.796	355.064	363.834
61	Costeras Rapel - E. Nilahue	32.319	32.808	35.669	37.054	37.969
Total		354.653	360.027	383.676	398.568	408.413

Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, la Tabla 2.2-4 presenta la proyección de demanda futura para las áreas sin presencia de APR, donde se observa una proyección del 13% de aumento en el consumo para el año 2055 en todas las cuencas presentes en la región.

Tabla 2.2-4 Estimación demanda hídrica en áreas rurales sin APR actual y futura– Cuencas BNA región del Libertador Bernardo O'Higgins

Código Cuenca	Cuencas	Demanda áreas sin APR (Mm3/año)				
		2022	2025	2035	2045	2055
057	Rio Maipo	34	35	37	38	39
060	Rio Rapel	89	91	96	100	102
061	Costeras Rapel - E. Nilahue	8	8	8	9	9
Total		131	134	141	147	150

Fuente: Elaboración propia en base a DGA (2017)

En este sentido, se presenta por último la Tabla 2.2-5 donde se observa la proyección de población en áreas sin APR, con un aumento del 13% al año 2055 en relación a la población actual

Tabla 2.2-5 Proyección de la población rural en áreas sin APR – Cuencas BNA región del Libertador Bernardo O'Higgins

Cód. Cuenca	Cuenca	Población rural en áreas sin APR (hab)				
		2023	2025	2035	2045	2055
57	Rio Maipo	1.865	1.894	2.007	2.085	2.136
60	Rio Rapel	4.888	4.963	5.259	5.464	5.599
61	Costeras Rapel - E. Nilahue	417	424	449	466	478
Total		7.171	7.280	7.715	8.015	8.213

Fuente: Elaboración propia en base a DGA (2017)

2.2.3 Agrícola

Para estimar la demanda de agua para riego agrícola en la región del Libertador Bernardo O'Higgins, se emplearon diversos datos y metodologías. Se consideraron los requerimientos de riego de los cultivos, teniendo en cuenta la demanda evapotranspirativa, el aporte de la precipitación y las eficiencias de los sistemas de riego. La estimación de la superficie de cultivo actual y futura se basó en los resultados de los Censos Agropecuarios de los años 1997, 2007 y 2021 (INE, 2007; INE, 2021), a los cuales se les aplicó tendencia. Además, se estableció un coeficiente de cultivo representativo para cada grupo de cultivo (Cereales, Hortalizas, Vides y Frutas) utilizando los catastros de ODEPA (ODEPA, 2022); mientras que los datos de evapotranspiración y precipitación se obtuvieron a partir de la homologación del Balance Hídrico Nacional del 2022. Las eficiencias de los sistemas de riego se determinaron mediante el cruce de información disponible en los Censos, ODEPA y la Comisión Nacional de Riego, proyectándola a futuro en función de las tendencias de los datos del Censo. Los resultados se presentan en la Tabla 2.2-6 indicando los volúmenes anuales demandados. El detalle de la metodología llevada a cabo se encuentra en el Anexo B del Informe Nacional, y las planillas de cálculo se encuentran en el Anexo 07.02.

**Tabla 2.2-6 Estimación demanda hídrica Agrícola actual y futura – Cuencas BNA
Región Libertador Bernardo O'Higgins**

Cód. Cuenca	Cuenca	Demanda (Mm ³ /año)				
		2023	2025	2035	2045	2055
057	Río Maipo	114.652	110.351	132.513	162.286	198.234
060	Río Rapel	2.912.369	2.723.862	2.864.657	3.101.860	3.677.131
061	Costeras Rapel-E. Nilahue	306.783	312.875	386.111	418.718	527.922
Total		3.333.804	3.147.088	3.383.281	3.682.864	4.403.287

Fuente: Elaboración propia.

Según se desprende de la Tabla 2.2-6 se espera en la región un incremento del 32% en la demanda de agua para el período comprendido entre los años 2023 y 2055. El aumento previsto de la demanda, basado en datos censales históricos, se atribuye principalmente al aumento de la superficie cultivada de viñas y parronales (Figura 2.2-3).

Los datos recopilados en los Censos Agropecuarios de los años 2007 y 2021 muestran un cambio significativo en las áreas destinadas a diferentes tipos de cultivos. Se observa una reducción de la superficie dedicada a gran parte de los cultivos y un aumento significativo en la de viñas y parronales (Figura 2.2-3). Se estima que esta tendencia se mantendrá constante según las proyecciones hasta el año 2055. Este cambio en el tipo de cultivo podría atribuirse a la mejor adaptación de las viñas y parronales a condiciones de estrés hídrico en comparación con otros frutales³.

³ <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/8543/NR33603.pdf?sequence=42&isAllowed=y>

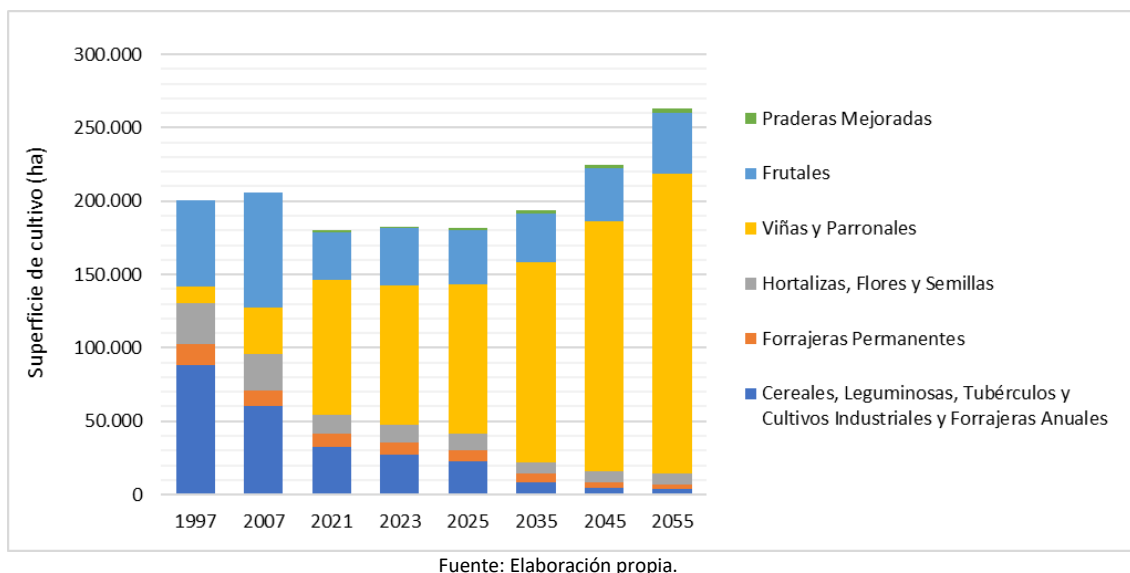


Figura 2.2-3 Superficie catastrada según tipo de cultivo en los Censos Agropecuarios de los años 1997, 2007 y 2021 y proyección hasta el año 2055

En lo que respecta a la evolución de la demanda hídrica por tipo de cultivo, se destacan las viña y parronales como uno de los principales consumidores de agua según las proyecciones que abarcan desde el año 2023 al 2055. Para el año 2023, se estima una demanda de 1.824.930 Mm³, con una tendencia creciente hasta alcanzar los 3.502.358 Mm³ para el año 2055. Esto representa un aumento del 92% en la demanda hídrica, consolidando a este cultivo como el de mayor necesidad de agua. Este aumento se debe a varios factores, por un lado, el cambio climático está afectando las tasas de evapotranspiración y precipitaciones, lo que incrementa la cantidad de agua necesaria para mantener la productividad de los cultivos y por otro lado también contribuye el aumento de la superficie de cultivo. La eficiencia en el uso del agua y las prácticas de riego juegan un papel crucial, así como la adopción de tecnologías de riego más eficientes, como el riego por goteo.

Además, se observa una disminución significativa en los requerimientos de agua para los demás cultivos, atribuible principalmente a la reducción de la superficie cultivada durante el periodo 1997-2021 y su proyección hasta el año 2055.

A partir del análisis realizado, se identifican como variables claves que impactan en la estimación de la demanda actual y futura la superficie de cultivo, la eficiencia del riego, y el aumento de los requerimientos de agua debido al cambio climático. Estos factores pueden influir directamente en las proyecciones de demanda hídrica. Además, existen otros factores como los efectos del mercado o las actividades socioculturales costumbristas, que podrían afectar a largo plazo, pero que no son fácilmente predecibles de manera objetiva.

2.2.4 Generación eléctrica

A partir de los registros históricos de generación eléctrica obtenidos desde el Coordinador Eléctrico Nacional (CEN, 2023), se realizó una estimación de la demanda hídrica para la generación eléctrica en la región. Es importante destacar que la demanda ejercida por el sector de generación eléctrica consta de dos componentes en su uso: la no consuntiva (centrales hidroeléctricas) y la consuntiva (centrales termoeléctricas que utilizan agua para sus sistemas de enfriamiento). Los resultados se presentan en la Tabla 2.2-7 y Tabla 2.2-8, indicando los volúmenes anuales demandados. El detalle de la metodología llevada a cabo se encuentra en el Anexo B del Informe Nacional, y las planillas de cálculo se encuentran en el Anexo 07.02.

Tabla 2.2-7 Estimación demanda hídrica consuntiva Generación Eléctrica actual y futura – Cuencas BNA Región Libertador Bernardo O’Higgins

Cód. Cuenca	Cuenca	Demanda (Mm ³ /año)				
		2023	2025	2035	2045	2055
057	Río Maipo	9.221	8.939	10.657	12.262	12.262
060	Río Rapel	3	1	0	0	0
061	Costeras Rapel-E. Nilahue	0	0	0	0	0
Total		9.224	8.940	10.657	12.262	12.262

Fuente: Elaboración propia.

Según se desprende de Tabla 2.2-7, la demanda hídrica consuntiva para la generación eléctrica se concentra principalmente en la cuenca Río Maipo, donde destaca la termoeléctrica Candelaria. Las proyecciones futuras no indican una tendencia clara al alza o a la baja, esto se debe a los registros históricos de producción eléctrica, los cuales no evidencian una tendencia lineal a lo largo de los años. Es importante mencionar que, debido a que las proyecciones indican una demanda nula para el año 2055, se ha optado por mantener de manera conservadora la estimación del año 2045.

Tabla 2.2-8 Estimación demanda hídrica no consuntiva generación eléctrica actual y futura – Cuencas BNA Región Libertador Bernardo O’Higgins

Cód. Cuenca	Cuenca	Demanda (Mm ³ /año)				
		2023	2025	2035	2045	2055
057	Río Maipo	0	0	0	0	0
060	Río Rapel	5.138.424	6.240.113	4.794.387	4.230.436	3.562.825
061	Costeras Rapel-E. Nilahue	0	0	0	0	0
Total		5.138.424	6.240.113	4.794.387	4.230.436	3.562.825

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 2.2-8 se presenta una estimación de la demanda no consuntiva la cual está vinculada a diversas hidroeléctricas en donde destacan las hidroeléctricas Rapel, Chacayes, Confluencia, La Higuera y Sauzal en la cuenca Río Rapel. Las proyecciones futuras no indican una tendencia clara al alza o a la baja, esto se debe a los registros históricos de producción eléctrica, los cuales no evidencian una tendencia lineal a lo largo de los años.

2.2.5 Minero

Se estimó la demanda hídrica ejercida por las principales faenas mineras identificadas (todas de tipo consuntiva), pertenecientes a la minería del cobre y del oro.

Para determinar la demanda del uso minero se identificaron las faenas mineras que cuentan con información de producción. Una vez identificadas las faenas, se utilizaron las tasas unitarias de consumo y los datos de la ley mineral para efectuar la estimación de la demanda.

Para actualizar los datos de producción a la actualidad, se utilizó el último “Anuario de la minería de Chile” correspondiente al año (2022). Mientras que, para estimar la demanda futura, se proyectaron las series de tiempo (históricas) de producción en las faenas previamente identificadas y seleccionadas. El detalle de la metodología llevada a cabo se encuentra en el Anexo B del Informe Nacional, y las planillas de cálculo se encuentran en el Anexo 07.02.

Tabla 2.2-9 Estimación demanda hídrica Minera actual y futura – Cuencas BNA Región Libertador Bernardo O’Higgins

Cód. Cuenca	Cuenca	Demanda (Mm³/año)				
		2023	2025	2035	2022	2055
057	Río Maipo	0	0	0	0	0
060	Río Rapel	82.786	103.141	108.404	117.901	129.632
061	Costeras Rapel-E. Nilahue	0	0	0	0	0
Total		82.786	103.141	108.404	117.901	129.632

Fuente: Elaboración propia.

La proyección futura de la demanda hídrica en la región, como se observa en la Tabla 2.2-9, indica una tendencia ascendente en general. Este incremento se atribuye principalmente al aumento en la producción histórica, que sirvió como base para calcular las proyecciones de demanda. Se estima que para el año 2055, la demanda podría aumentar en un 57% con respecto al nivel registrado en 2023. Es importante destacar que, en relación con la minería metálica, el cobre representó el 79% de la producción en el año 2022, consolidándose como el mineral principal de la región según el informe COCHILCO (2022).

Se debe considerar que las proyecciones de demanda estimadas están sujetas a cierta incertidumbre debido, principalmente, a la expectativa de que en el futuro el uso de agua de mar aumente significativamente. Hasta la fecha, de acuerdo al informe Infraestructura Hídrica Compartida de COCHILCO (2023), no se identifican en la región proyectos futuros de desalación vinculados a la minería.

Para asegurar la sostenibilidad del sector minero, se debe avanzar en la promoción del reúso de agua y la búsqueda de nuevas fuentes de abastecimiento, como la desalación y la captación de aguas lluvias. La inversión en tecnología como el reciclaje y la optimización de procesos es esencial para promover la eficiencia y mitigar los riesgos asociados a la variabilidad climática y la demanda de agua en las cuencas analizadas.

2.2.6 Industrial

La demanda hídrica industrial es estimada a partir de volúmenes declarados y que son emitidos a sistemas de alcantarillado o fuentes superficiales. A partir de lo anterior, se consideraron dos (2) fuentes principales de información: uno correspondiente al Sistema de Facturación Clientes y Cobertura (SIFAC II) de la Superintendencia de Servicios Sanitarios asociado a industrias que son parte del área de concesión de una empresa sanitaria y otro el Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC) de la Superintendencia del Medio Ambiente asociado a las unidades fiscalizables.

Respecto al SIFAC II, no fueron consideradas aquellas industrias con servicio de agua potable, esto dado que dicha demanda forma parte de la demanda de agua potable urbana (acápite 2.2.1). En consecuencia, han sido consideradas desde el SIFAC II solo aquellas industrias que utilizan la red de alcantarillado de aguas servidas y extraen agua desde unas fuentes distintas a la red de agua potable. Los resultados se presentan en la Tabla 2.2-10 indicando los volúmenes anuales demandados. El detalle de la metodología llevada a cabo se encuentra en el Anexo B del Informe Nacional, y las planillas de cálculo se encuentran en el Anexo 07.02.

**Tabla 2.2-10 Estimación demanda hídrica Industrial actual y futura – Cuencas BNA
Región Libertador Bernardo O'Higgins**

Cód. Cuenca	Cuenca	Demanda (Mm ³ /año)				
		2023	2025	2035	2045	2055
057	Río Maipo	1.043	2.130	3.367	4.082	5.319
060	Río Rapel	16.472	15.975	25.256	30.615	39.897
061	Costeras Rapel-E. Nilahue	0	0	0	0	0
Total		17.515	18.105	28.623	34.697	45.216

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con los datos presentados en la Tabla 2.2-10, se observa una tendencia al alza en las proyecciones futuras, la cual está vinculada al desarrollo y crecimiento del sector industrial en la región. Este crecimiento se refleja en el incremento del Producto Interno Bruto (PIB) del sector manufacturero. Según los resultados obtenidos, se estima un aumento en la demanda de agua del orden del 158% para el período comprendido entre los años 2023 y 2055.

Para contextualizar el análisis de la demanda en el sector industrial, es importante destacar que la industria manufacturera representó en el año 2022 el 10,9% del PIB regional. Además, tuvo un incremento de un 116% entre los años 2013 y 2022 (BC, 2022).

El crecimiento del sector industrial en la región y, por consiguiente, el aumento de la demanda de agua sugiere la necesidad de implementar nuevas tecnologías que reduzcan el consumo de agua en los procesos industriales.

2.2.7 Forestal

Para estimar la demanda de agua de uso forestal (uso productivo), se tomaron como dato de partida las Cubiertas del Catastro de Usos del Suelo y Vegetación de la Corporación Nacional Forestal (CONAF, 2013). Fueron consideradas únicamente las superficies plantadas con especies forestales exóticas las cuales, posteriormente, fueron relacionadas con las necesidades hídricas evapotranspirativas, mediante las precipitaciones anuales de cada subcuenca de la región. Los resultados se presentan en la Tabla 2.2.11, indicando los volúmenes anuales demandados. El detalle de la metodología llevada a cabo se encuentra en el Anexo B del Informe Nacional, y las planillas de cálculo se encuentran en el Anexo 07.02.

**Tabla 2.2.11 Estimación demanda hídrica Forestal actual y futura – Cuencas BNA
Región Libertador Bernardo O'Higgins**

Cód. Cuenca	Cuenca	Demanda (Mm ³ /año)				
		2023	2025	2035	2045	2055
057	Río Maipo	8.449	8.917	10.937	9.422	9.468
060	Río Rapel	189.206	199.527	243.688	213.750	214.796
061	Costeras Rapel-E. Nilahue	596.757	629.677	769.433	675.073	678.374
Total		794.412	838.121	1.024.058	898.245	902.638

Fuente: Elaboración propia.

La proyección de la demanda forestal, como se indica en Tabla 2.2.11 no sigue una tendencia clara al alza o a la baja. Lo anterior debido a que esta se encuentra influenciada por factores tales como los incendios forestales, el cambio en la superficie de bosques y plantaciones, y las tendencias históricas en el uso de la tierra. Cabe mencionar que, la demanda estimada en el presente acápite corresponde a únicamente a la demanda forestal de uso productivo. La demanda nativa forma parte de la demanda estimada para protección ambiental (acápite 2.2.10).

2.2.8 Pecuario

Para la estimación de la demanda hídrica del sector pecuario representada principalmente por las producciones bovina, ovina, caprina, avícola y porcina, se emplearon los Censos Agropecuarios de los años 1997 y 2007 y 2021 (INE, 1997; INE, 2007; INE, 2021) encuestas

ODEPA. A partir de los datos de cabezas de ganado por distrito censal, se calculó la demanda de agua diaria aplicando una tasa de consumo unitaria. Los resultados se presentan en la Tabla 2.2.12 indicando los volúmenes anuales demandados. El detalle de la metodología llevada a cabo se encuentra en el Anexo B del Informe Nacional, y las planillas de cálculo se encuentran en el Anexo 07.02.

Tabla 2.2.12 Estimación demanda hídrica Pecuaria actual y futura – Cuencas BNA
Región Libertador Bernardo O'Higgins

Cód. Cuenca	Cuenca	Demanda (Mm ³ /año)				
		2023	2025	2035	2045	2055
057	Río Maipo	1.702,3	1.795,5	2.262,2	2.728,9	3.195,5
060	Río Rapel	24.848	26.241	33.420	40.812	48.200
061	Costeras Rapel-E. Nilahue	410	402	386	385	379
Total		26.960	28.439	36.068	43.926	51.775

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los datos presentados en la Tabla 2.2.12 se observa, a nivel regional, un aumento de la demanda durante el periodo comprendido entre los años 2023 y 2055. Esta demanda está principalmente asociada a la ganadería porcina.

2.2.9 Acuícola

Para la estimación de la demanda acuícola no consuntiva en la región fueron localizados los centros acuícolas “en tierra” del RNA, de los cuales fueron seleccionados exclusivamente aquellos en que la fuente hídrica utilizada no proviene de agua de mar, siendo considerados los que utilizan agua proveniente de río, estero, arroyo, pozo, vertiente, lago, laguna o canal. Para la estimación de la demanda de agua dulce actual y futura, se determinó la producción de cada explotación por grupo de cultivo, luego las producciones, expresadas en toneladas anuales, se multiplicaron por una tasa de consumo de agua, característica de cada especie. Los resultados se presentan en la Tabla 2.2-13 indicando los volúmenes anuales demandados. El detalle de la metodología llevada a cabo se encuentra en el Anexo B del Informe Nacional, y las planillas de cálculo se encuentran en el Anexo 07.02.

Tabla 2.2-13 Estimación demanda hídrica Acuícola actual y futura – Cuencas BNA
Región Libertador Bernardo O'Higgins

Cód. Cuenca	Cuenca	Demanda (Mm ³ /año)				
		2023	2025	2035	2045	2055
057	Río Maipo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
060	Río Rapel	7,7	23,6	11,8	10,0	10,0
061	Costeras Rapel-E. Nilahue	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total		7,7	23,6	11,8	10,0	10,0

Fuente: Elaboración propia.

Según se desprende de la Tabla 2.2-13, la proyección de la demanda acuícola no muestra una tendencia clara al alza o a la baja, esto se debe a los registros históricos de producción, los cuales no evidencian una tendencia lineal a lo largo de los años.

2.2.10 Caudal de reserva para protección ambiental

El caudal de reserva de uso turístico y protección ambiental se ha determinado en aquellas estaciones de la red fluviométrica de la DGA cercanas y potencialmente representativas del flujo de agua mínimo asociado a áreas de conservación existentes en las cuencas, presentadas en la Tabla 2.2.14. El detalle de la metodología llevada a cabo se encuentra en el Anexo B del Informe Nacional, y las planillas de cálculo se encuentran en el Anexo 07.02.

En la región se ha estimado un caudal de reserva para las siguientes áreas de conservación: Sitio Prioritario Río Claro de Rengo (SP2-164) y Sitio Prioritario Precordillera Andina Sur (SP2-173) ambos en la cuenca Río Rapel.

Tabla 2.2.14 Caudales de Reserva para Protección Ambiental – Cuencas BNA Región Libertador Bernardo O’Higgins

Caudal de reserva para protección ambiental (MMm ³)													
Cuenca	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Río Rapel	334	193	105	83	123	207	238	196	180	218	317	406	2.600

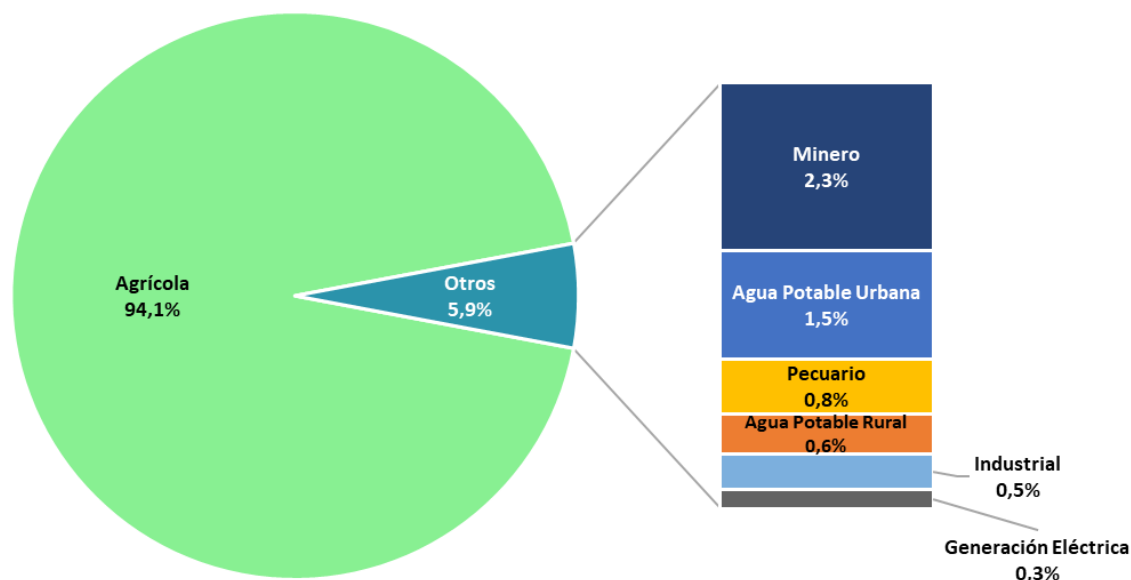
Fuente: Elaboración propia.

2.2.11 Análisis de demanda total en la región

A continuación, se presentan los resultados del análisis de demanda extractiva y el análisis de demanda no extractiva y no consuntiva total en la región.

i. Análisis de demanda extractiva total en la región

A continuación, en la Figura 2.2-4, se presenta la distribución del total de demanda hídrica consuntiva en la región del Libertador Bernardo O’Higgins en el año 2023, destacando el sector agrícola como el principal demandante consuntivo de agua para usos productivos. El resumen de las demandas se presenta en el Anexo 07.02.



Fuente: Elaboración propia.

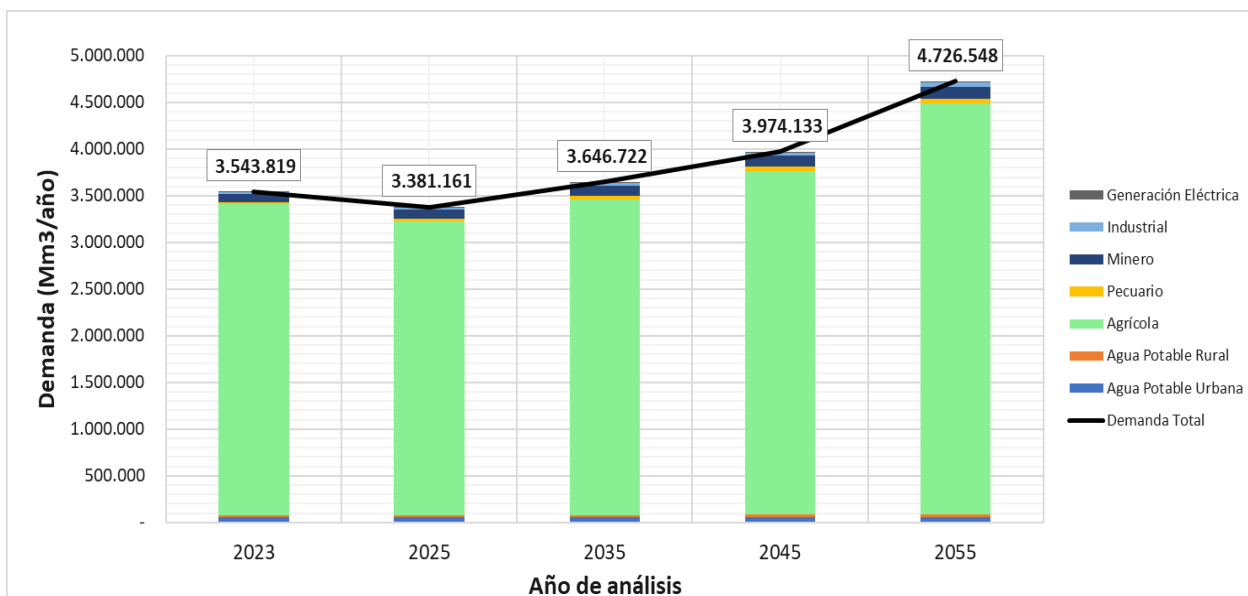
Figura 2.2-4 Distribución de demanda consuntiva total regional (%), por uso – año 2023

En la Tabla 2.2-15 y Figura 2.2-5 se presentan las demandas consuntivas proyectadas por uso, para toda la región. En esta última se puede observar que, dadas las condiciones base utilizadas para la estimación de las demandas en los acápite anteriores, se espera un aumento de aproximadamente un 33% de las demandas totales en el periodo 2023-2055; asociado principalmente al sector agrícola que corresponde a un 90% del aumento de la demanda consuntiva total, seguido por el sector minero que corresponde aproximadamente al 4% del aumento de la demanda consuntiva total.

Tabla 2.2-15 Resumen de demandas consuntivas – Cuencas BNA región de O’Higgins

Cód. Cuenca	Cuenca	Demanda (Mm ³ /año)				
		2022	2025	2035	2045	2055
057	Rio Maipo	129.287	125.955	151.717	184.387	222.124
060	Rio Rapel	3.103.570	2.938.102	3.104.368	3.366.307	3.971.638
061	Costeras Rapel - E. Nilahue	310.962	317.104	390.637	423.439	532.786
Total		3.543.819	3.381.161	3.646.722	3.974.133	4.726.548

Fuente: Elaboración propia.

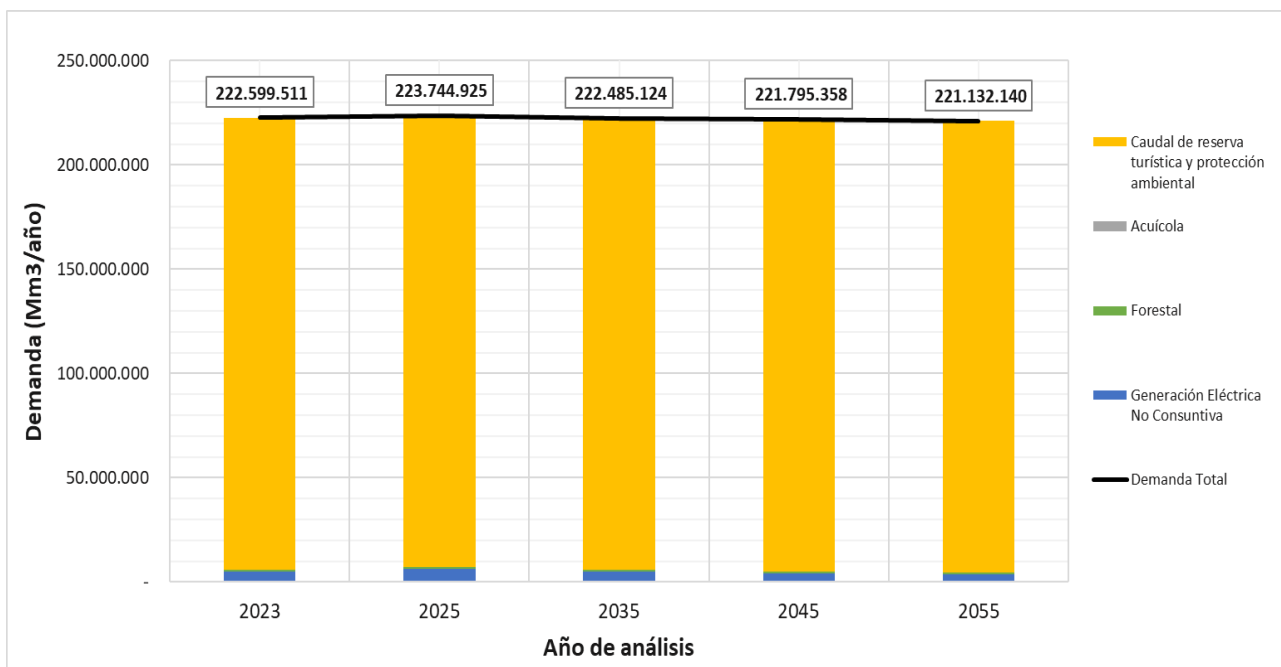


Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.2-5 Distribución de demanda total consuntiva regional (Mm³/año), por uso – actual y proyectada

ii. Análisis de demanda no extractiva y no consuntiva total en la región

En la Figura 2.2-6 se presenta la proyección de las demandas consuntivas no extractivas y no consuntivas para la región. El caudal de reserva para uso turístico y protección ambiental destaca por su mayor demanda frente a los otros sectores. El sector forestal y acuícola poseen demandas muy bajas en comparación con el caudal de reserva por lo que no se alcanzan a ver reflejadas en la figura antes mencionada. Con respecto a la generación eléctrica, cabe señalar que el presente análisis no incorpora limitantes respecto a la disponibilidad física o legal de los DAA, actuales o futuros, en los cauces con hidroeléctricas.



Nota 1: La demanda anual del caudal de reserva de uso turístico y protección ambiental fue calculada mediante el promedio de la demanda actual del año 2023.

Nota 2: Dado que no existen planificaciones actuales o futuras de nuevos sitios prioritarios, la demanda proyectada para el caudal de reserva de uso turístico y protección ambiental se considera como constante.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.2-6 Distribución de demanda total consuntiva no extractiva y no consuntiva regional (Mm³/año), por uso – actual y proyectada

2.3 ANÁLISIS DE OFERTA HÍDRICA

2.3.1 Oferta hídrica

A continuación, se presenta el análisis de la oferta física hídrica por cuenca según la clasificación del Banco Nacional de Aguas (BNA) en la región del Libertador Bernardo O'Higgins, que incluye la identificación de los derechos de aprovechamiento de aguas (DAA) actuales, las restricciones de uso vigentes, así como el análisis de caudales y recargas. La clasificación de las cuencas hidrográficas BNA se muestra en la Figura 2.3-1.

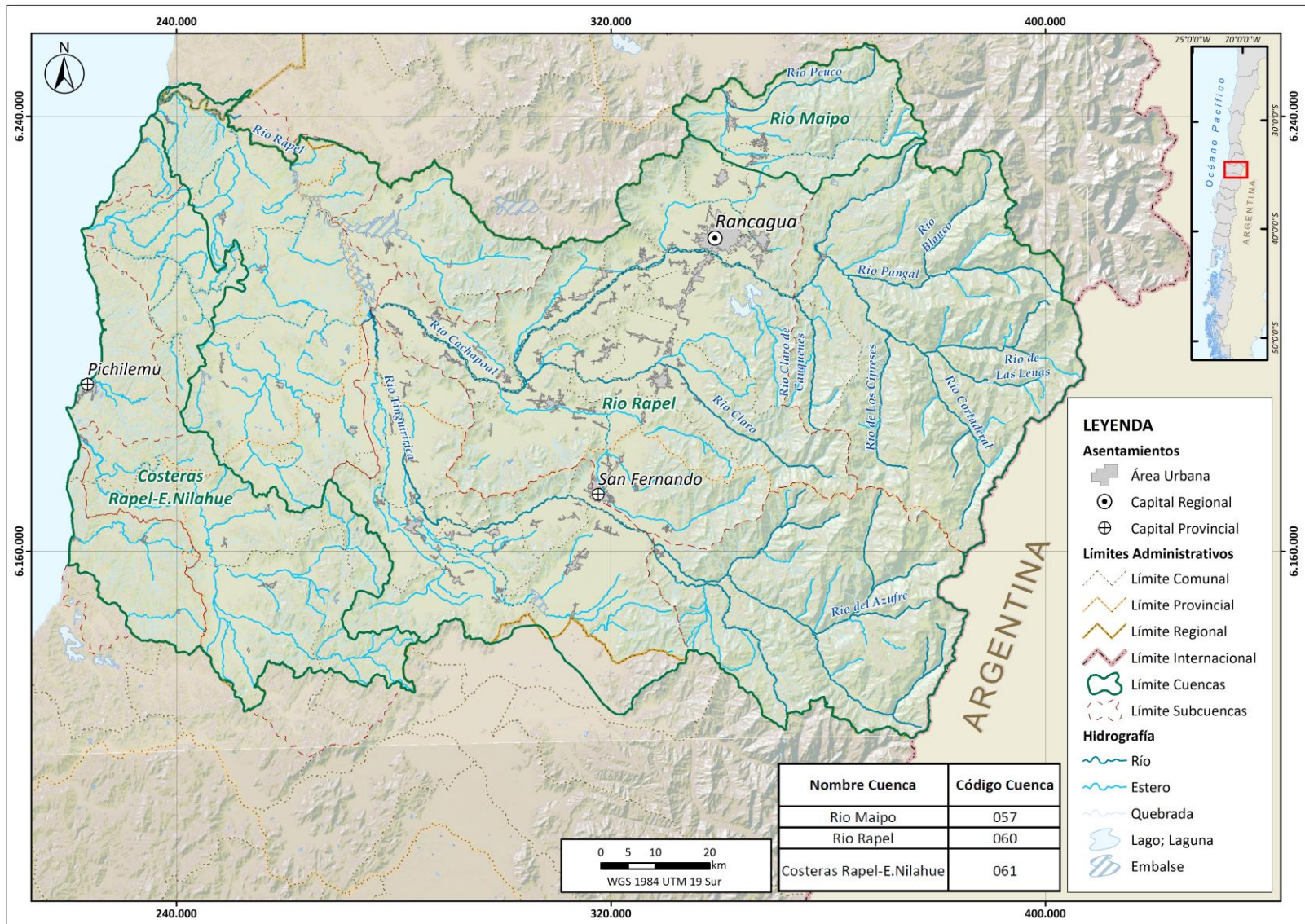


Figura 2.3-1 Cuencas y subcuencas de la región del Libertador Bernardo O'Higgins según clasificación del BNA.

Agua superficial

Derechos de aprovechamiento superficiales concedidos

A continuación, se presenta la identificación de los derechos de aprovechamiento de aguas (DAA) superficiales otorgados en la región del Libertador Bernardo O'Higgins. Para el análisis se utilizó la base de datos "Derechos_Concedidos_VI_Región" (DGA, 2023) del Catastro Público de Aguas (CPA).

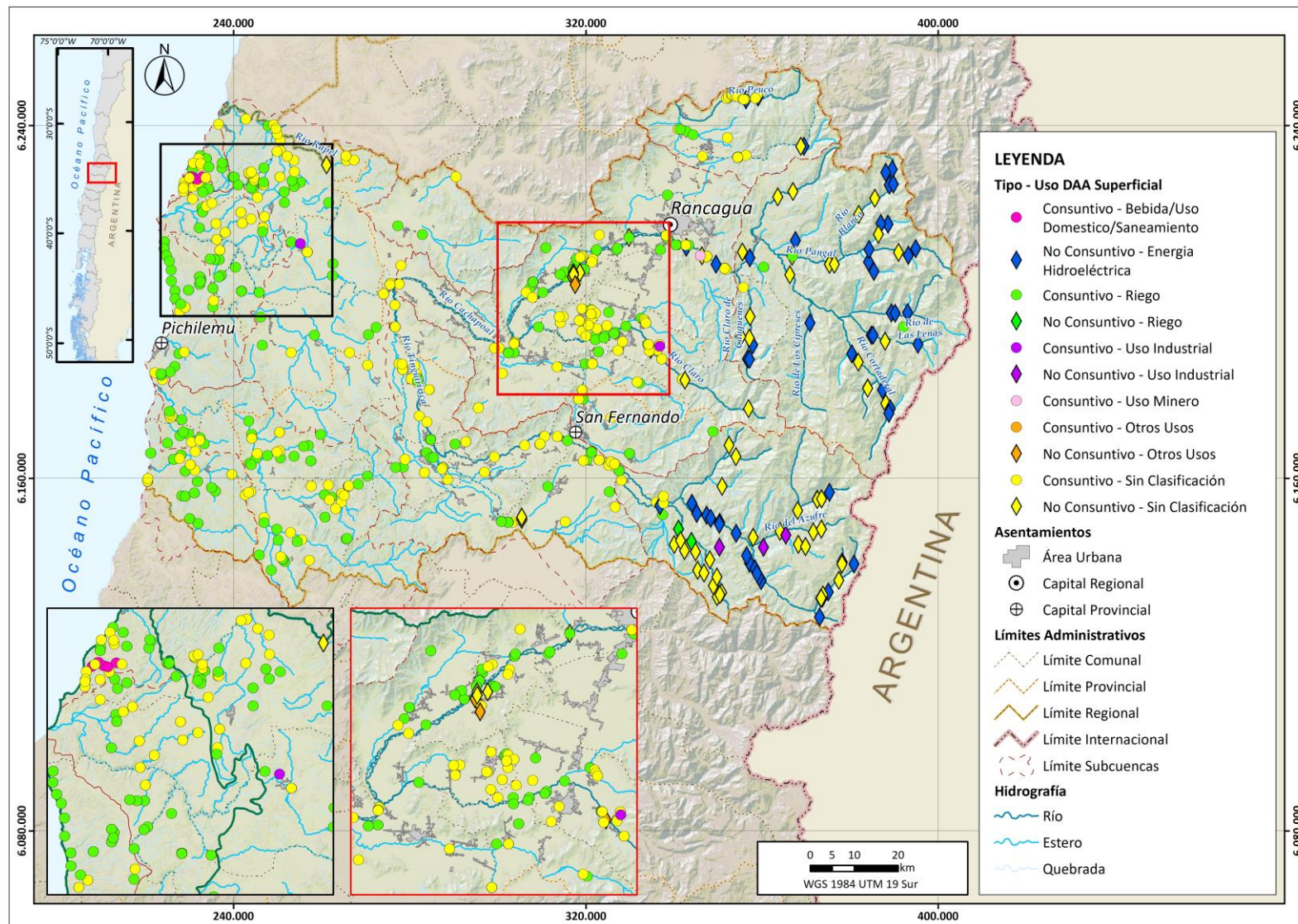
En base a los antecedentes revisados, se tiene que en la región del Libertador Bernardo O'Higgins existen 2.324 DAA superficiales registrados en CPA, equivalente a un caudal aproximado de 335.238,6 litros por segundo constituidos⁴. La distribución de los DAA de acuerdo al tipo de uso se presenta en la Figura 2.3-2. La caracterización de los DAA según tipo de solicitud o tipo de ejercicio, se presentan en el Anexo 07.03.

Restricciones de uso sobre fuentes superficiales

Para obtener una comprensión completa de los desafíos relacionados con la escasez de agua en la región del Libertador Bernardo O'Higgins, se detallan las limitaciones respecto al uso del agua actual y futura en sus distintas formas de protección para fuentes de agua superficiales, durante un periodo de análisis de 11 años (2012-2023). Entre las restricciones se encuentran las declaraciones de agotamiento de varias cuencas, incluyendo la Primera Sección del río Claro de Rengo y sus afluentes, según lo establecido en la Resolución DGA N°25 de fecha 14 de marzo de 2016. Además, se han emitido decretos de escasez hídrica para diversas comunas de la región, como se detalla en el Decreto N°27 del 01 de marzo de 2022, que estuvo vigente hasta el 01 de septiembre de 2022 para las provincias de Cachapoal, Cardenal Caro y Colchagua, entre otras. Se proporciona un mayor detalle sobre estas restricciones y su distribución temporal a nivel comunal durante el periodo analizado en el Anexo 07.03.

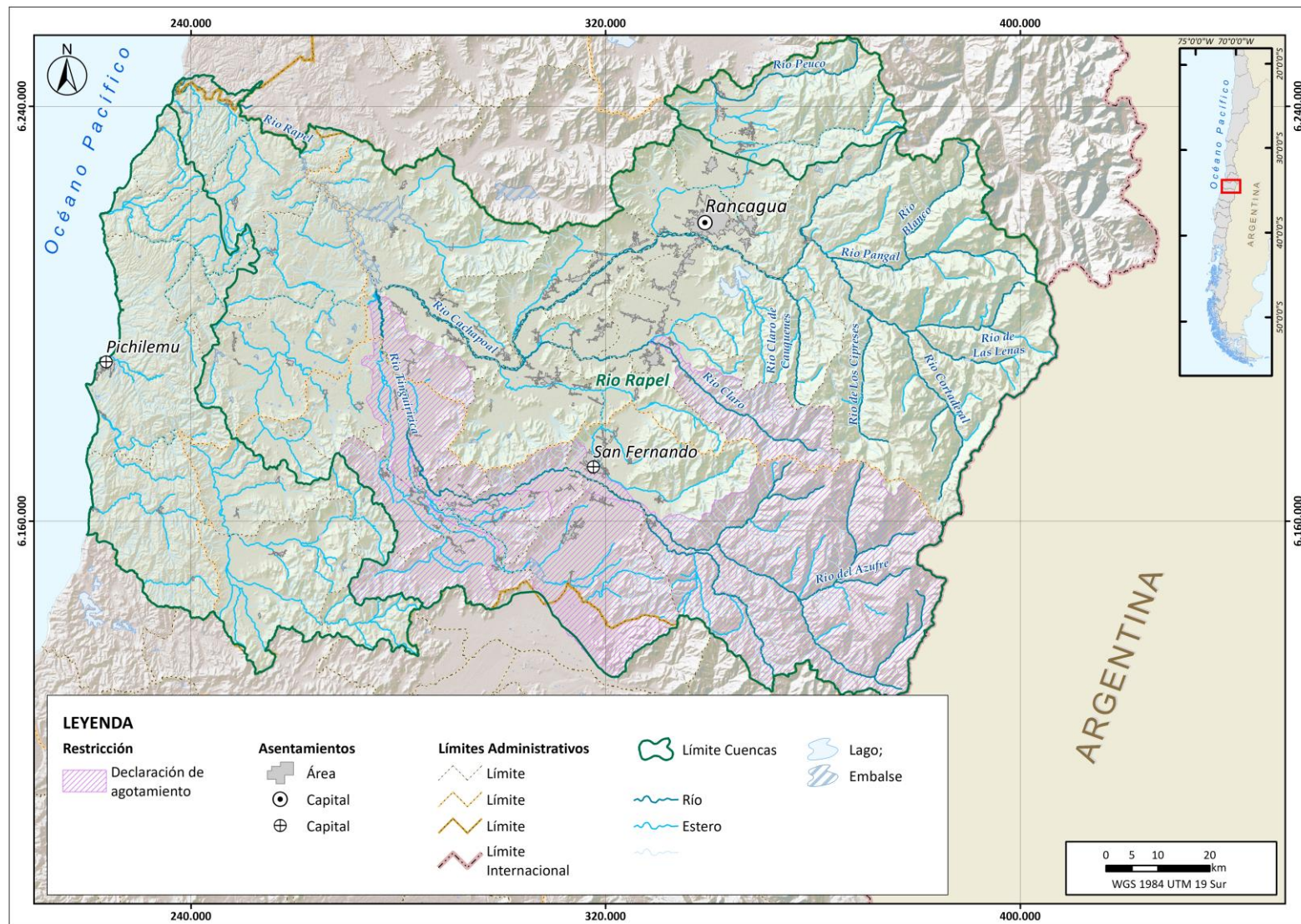
En la Figura 2.3-3 se presentan las restricciones vigentes para aguas superficiales, mientras que en la Figura 2.3-4 se muestran las zonas con decretos de escasez históricos en la región.

⁴ No se consideran los DAA cuyas unidades de caudal este expresada en acciones, quintiles u otros, ya que dichas conversiones variarán dependiendo de la prorrata de cada Organización de Usuarios de Agua.



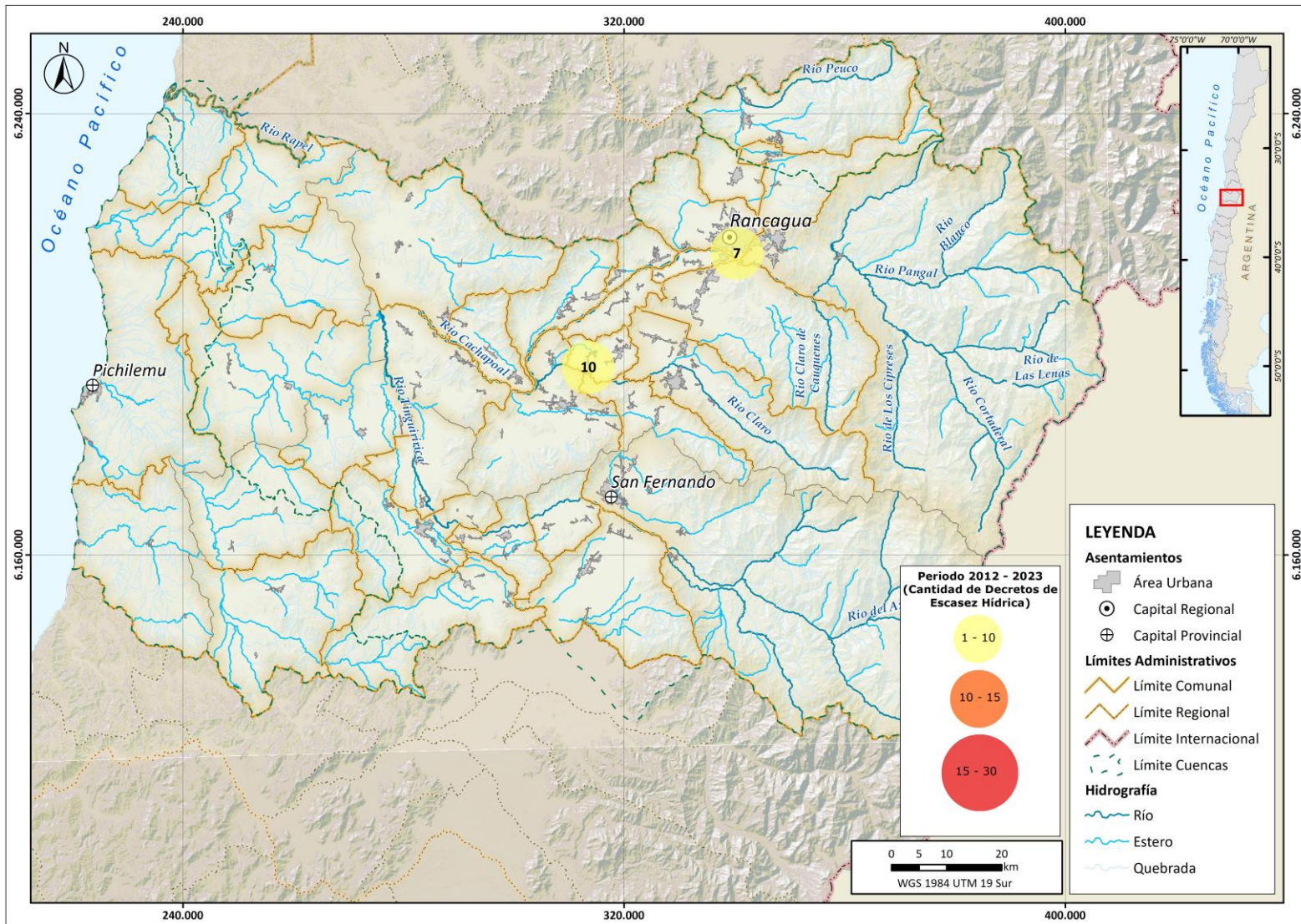
Fuente: Elaboración propia en base a DGA (2023).

Figura 2.3-2 Ubicación geográfica de los DAA superficiales en la región del Libertador Bernardo O'Higgins, por tipología



Fuente: Elaboración propia en base a DGA (2020).

Figura 2.3-3 Restricciones de uso sobre fuentes superficiales, región del Libertador Bernardo O'Higgins



Fuente: Elaboración propia en base a DGA (2023).

Figura 2.3-4 Zonas con decretos de escasez históricos por comuna, región del Libertador Bernardo O'Higgins

Oferta en la fuente

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 cada cuenca. Sin perjuicio de lo anterior, para el análisis de iniciativas específicas que requieran contar con DAA se considerará 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 la región se obtuvieron las curvas de excedencia para el periodo futuro, definido como la ventana 2025-2055. Tanto el análisis para la selección de GCM, como las curvas de oferta hídrica actual y proyectada para cada una de las cuencas que componen la región se presentan en el Anexo 07.03.01.

Es importante mencionar que, si bien se dispone de valores para diferentes periodos de excedencia, la oferta hídrica superficial 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. Asimismo, a partir de la selección del GCM representativo de la región se obtuvieron las curvas de excedencia para el periodo futuro, definido como la ventana 2025-2055.

Finalmente, en la Tabla 2.3-1 se presentan los valores de caudal con probabilidad de excedencia del 85% para las situaciones histórica y futura. Si bien los valores no difieren de sobremanera, debido a que las principales variaciones ocurren para las probabilidades de excedencia menores, para cada una de las cuencas, se considera el menor valor de ambos valores presentados, como un criterio conservador.

Tabla 2.3-1 Oferta hídrica actual y proyectada de agua superficial en la región

Cód. Cuenca	Cuenca	Q ₈₅ actual (Mm ³ /año)	Q ₈₅ proyectado (Mm ³ /año)
060	Río Rapel	3.498.691	3.478.662
061	Costeras Rapel-E. Nilahue	485.068	361.380

Fuente: Elaboración propia.

Es posible observar que se prevé una disminución del caudal de 85% de probabilidad de excedencia en todas las cuencas, según el GCM seleccionado como escenario

desfavorable. Bajo esta condición, la cuenca más afectada sería Costeras Rapel – Estero Nilahue con una disminución porcentual de 25,5%.

Además, es importante tener en consideración la posible incidencia de los cambios proyectados en glaciares en el ciclo hidrológico, por lo que para estimar este efecto se considerarán los resultados presentados en el Balance Hídrico Nacional. En este, se presenta (en tablas) el aporte de escorrentía glaciar histórico a nivel de cuenca y la variación de escorrentía glaciar proyectada por los GCM a nivel de latitud. A partir de esta información es que se determina la afectación de los cambios en los glaciares en el ciclo hidrológico. En la Tabla 2.3-2 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 2.3-2 Escorrentía total y glaciar en periodo histórico 1985-2015.

Código BNA	Cuenca	Q total (m ³ /s)	Q glaciar (m ³ /s)
060	Río Rapel	220,18	21,56
061	Costeras Rapel-E. Nilahue	25,53	0,00

Fuente: Elaboración propia.

Además, el GCM CCSM4 proyecta una disminución de aproximadamente 10,83 m³/s del caudal glaciar, en promedio para las cuencas de la región, obtenido del mismo informe final. Esta variación tiene un impacto en la estacionalidad de la disponibilidad hídrica, el impacto de su disminución debe ser analizada con mayor detalle en estudios específicos para cada zona. Dado que esta situación se considera una brecha de información, se propondrá incluir dichos estudios como iniciativas habilitantes para la implementación de servicios de infraestructura.

1.1.1.1 Agua subterránea

Derechos de aprovechamiento superficiales concedidos

A continuación, se presenta la identificación de los derechos de aprovechamiento de aguas (DAA) subterráneos otorgados en la región del Libertador Bernardo O'Higgins. Para el análisis se utilizó la base de datos "Derechos_Concedidos_VI_Región " (DGA, 2023) del Catastro Público de Aguas (CPA).

En base a los antecedentes revisados, se tiene que en la región del Libertador Bernardo O'Higgins existen 6.930 DAA subterráneos registrados en CPA, equivalente a un caudal aproximado de 66.907,5 litros por segundo constituidos. La distribución de los DAA de

acuerdo al tipo de uso se presenta en la Figura 2.3-5. La caracterización de los DAA según tipo de solicitud o tipo de ejercicio, se presentan en el Anexo 07.03.

Restricciones de uso sobre fuentes subterráneas

Para obtener una comprensión completa de los desafíos relacionados con la escasez de agua que han surgido en la región, se detallan a continuación las limitaciones respecto al uso del agua actual y futura en sus distintas formas de protección para fuentes de agua subterráneas, en un periodo de análisis de 11 años (2012-2023). Para esto se revisan las restricciones para el uso de DAA definidas por Dirección General de Aguas para fuentes subterráneas, entre las que se encuentran; i) Áreas de restricción de aguas subterráneas; y ii) Zonas de Prohibición de aguas subterráneas.

En la Figura 2.3-3 se presentan las restricciones vigentes para aguas subterráneas. Mayor detalle respecto a las restricciones y a la distribución temporal a nivel comunal de restricciones declaradas dentro del periodo analizado se presentan en el Anexo 07.03.

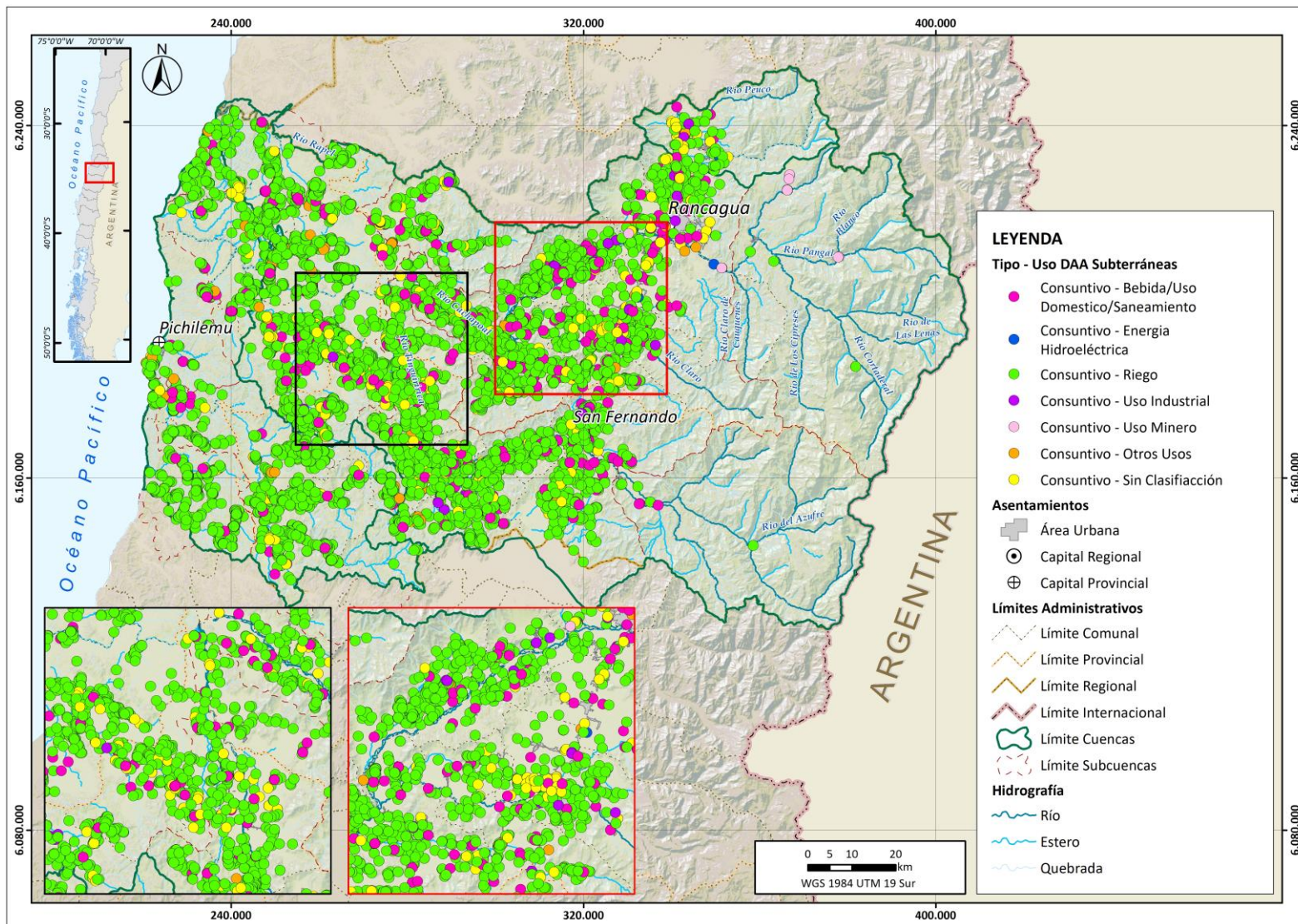
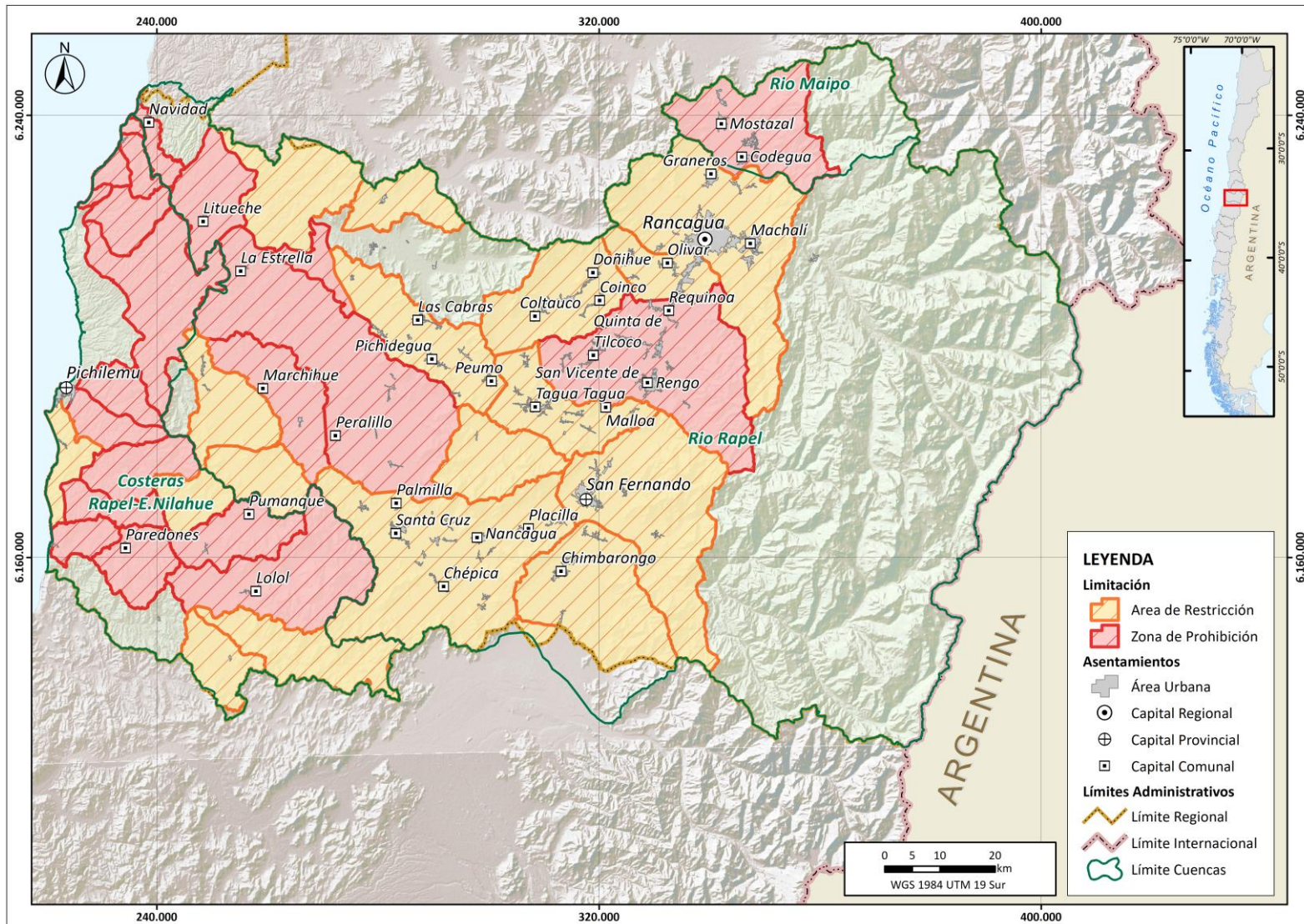


Figura 2.3-5 Ubicación geográfica de los DAA subterráneas en la región del Libertador Bernardo O'Higgins por tipología



Fuente: Elaboración propia en base a DGA (2023).

Figura 2.3-6 Restricciones de uso sobre fuentes subterráneas, región del Libertador Bernardo O'Higgins

Oferta en la fuente

La oferta hídrica actual en lo que respecta a aguas subterráneas se obtuvo de distintos estudios realizados en las cuencas que componen la región. A partir de estos, en la Tabla 2.3-3 se presentan las recargas de los acuíferos para cada una de las cuencas. Es importante mencionar que no se disponen de referencias para todas las cuencas, siendo para el caso de esta región las más pequeñas. Esta brecha de información es comentada en el acápite 0.

Tabla 2.3-3 Oferta hídrica actual de agua subterránea en región

Cód.	Cuenca	Recarga (l/s)	Fuente
060	Rio Rapel	28.021	Plan Estratégico de Gestión Hídrica en la cuenca del Río Rapel (DGA, 2022)
061	Costeras Rapel-E. Nilahue	6.519	Levantamiento hidrogeológico en cuencas pluviales costeras en la región del Libertador General Bernardo O'Higgins y región del Biobío (DGA, 2013)

Fuente: Elaboración propia.

A diferencia de lo presentado anteriormente, 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. Por lo tanto, para estimar la recarga acuífera futura, se aplicó la variación de precipitación del GCM considerado (CCSM4) como referencia del clima futuro de la región a las recargas presentadas en la Tabla 2.3-3. De este modo, en la Tabla 2.3-4 se presentan las recargas proyectadas para cada una de las cuencas. El supuesto utilizado es parte de las brechas de información en el acápite 0.

Tabla 2.3-4 Oferta hídrica actual y proyectada de agua subterránea en región

Cód. Cuenca	Cuenca	Recarga histórica (l/s)	Variación de precipitación (%)	Recarga Proyectada (l/s)
060	Rio Rapel	28.021	-12,5	24.519
061	Costeras Rapel-E. Nilahue	6.519	-10,4	5.840

Fuente: Elaboración propia

En el Anexo 07.03 se presenta un análisis más extenso de la situación de la región, incluyendo curvas estacionales.

2.3.2 Eventos extremos

En lo que respecta a evento extremos, a partir del uso del GCM representativo se realizó un análisis de variaciones en los eventos extremos de gran magnitud (precipitaciones máximas

en 24 horas) y de baja magnitud (años con sequías). Cabe mencionar que este GCM no es necesariamente el que caracteriza los eventos extremos futuros, debido a que el GCM se seleccionó para estudiar una situación hídrica futura desfavorable, mientras que los eventos extremos requieren un análisis más exhaustivo. A partir de los resultados obtenidos, se observa que se prevé un aumento en los eventos de gran magnitud de hasta un 12% en el caso de la cuenca más crítica. Por otro lado, para el caso de las sequías, en todas las cuencas se proyecta un aumento en los años con sequía en comparación al periodo histórico (ver Anexo 07.03.02).

Tabla 2.3-5 Precipitación Máxima en 24 Horas para T = 20 años

Cod Cuenca	Cuenca	1985-2015 (mm/d)	2025-2055 (mm/d)	Variación (%)
060	Rio Rapel	111.5	125.3	12.3
061	Costeras Rapel-E. Nilahue	87.9	98.3	11.9

Fuente: Elaboración propia.

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 antes 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 particular, la región de O'Higgins se encuentra aproximadamente entre las latitudes 34° S y 36° S, por lo que, según el antecedente mencionado, la línea de nieve proyecta un aumento de entre 400 y 500 metros aproximadamente.

En relación a los eventos extremos históricos, en base a Eridanus (2018) se presenta la Tabla 2.3-6 con los eventos extremos de origen natural históricos ocurridos entre los años 1912 y 2017 dentro de la región.

Tabla 2.3-6 Eventos extremos históricos en la región del Libertador Bernardo O'Higgins, periodo 1912-2017

Tipo	1912-2007 (95 años)	2008-2017 (9 años)
Inundaciones	154	105
Aluvión	1	0

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

En base a SENAPRED (2023), en el periodo 2017-2023, se observan cincuenta y seis (56) sistemas frontales y seis (6) remociones en masa.

En relación a las inundaciones y aluviones catastrados por SENAPRED (2023) y EM DATA (2024), se observan sesenta y ocho (68) inundaciones afectaron a las cuencas de Río Maipo, (código BNA 057), río Rapel (código BNA 060) y cuencas Costeras Rapel – E. Nilahue (código BNA 061). Además, se presentan dos (2) aluviones, que afectaron a la cuenca del Río Rapel (código BNA 060). La Tabla 2.3-7 presenta las cuencas afectadas por inundaciones y aluviones.

Tabla 2.3-7 Cuencas afectadas por eventos extremos en la región del Libertador Bernardo O'Higgins, periodo 2017-2023

Cód. cuenca	Cuenca	Inundación	Aluvión
057	Río Maipo	X	
060	Río Rapel	X	X
061	Costeras Rapel - E. Nilahue	X	

Nota: Cuencas afectadas en rojo.

Fuente: Elaboración propia en base a SENAPRED (2023) y EM-DAT (2024).

2.3.3 Calidad de aguas

La región del Libertador General Bernardo O'Higgins se distingue por la presencia de los acuíferos Alhué, Codegua, Cachapoal y Tinguiririca. Los acuíferos Alhué y Codegua se clasifican como bicarbonatados-cálcicos, mientras que los acuíferos Cachapoal y Tinguiririca presentan una mayor variabilidad, con aguas de composición sulfatada-cálcica.

En relación al nitrato, se ha observado que el pozo “Los Romos La Pedrina” (acuífero Cachapoal) presenta concentraciones de nitrato que superan la norma de agua potable, alcanzando los 54 mg/L. Situaciones similares se han registrado en otros sectores de la región, donde se han detectado altas concentraciones de este elemento, aunque sin exceder los límites establecidos por la normativa. Este fenómeno puede atribuirse a la influencia de sustancias de origen antrópico, como fertilizantes y desechos.

Además, se ha detectado la presencia de microelementos en al menos diez pozos, superando los límites establecidos en la normativa de agua potable. Entre estos elementos se encuentran arsénico (As), hierro (Fe), manganeso (Mn) y zinc (Zn) (DGA, 2015). A continuación, se presenta el análisis de la calidad del agua en cada cuenca de la región de O'Higgins.

- La cuenca del río Maipo (código BNA 057) presenta variaciones significativas en función de las subcuencas analizadas. En el alto Maipo, se detectaron altas concentraciones de sulfatos y otros metales, atribuidos principalmente a actividades mineras, como la extracción de cal y yeso. En el Maipo medio se observaron desviaciones ocasionadas por descargas de residuos industriales y agroindustriales, así como por la contaminación difusa derivada de aguas servidas y el uso de plaguicidas. En el Maipo bajo, persisten problemas relacionados con metales como el cobre, manganeso y hierro, influenciados por actividades industriales y descargas de residuos líquidos. Las subcuencas del Mapocho, tanto en su parte alta como baja, enfrentan preocupaciones similares, incluyendo la contaminación provocada por actividades mineras e industriales, lo que afecta tanto las aguas superficiales como las subterráneas (DGA, 2021)
- La calidad del agua en la cuenca del río Rapel (código BNA 060), según los datos de 2015, revela que las aguas del acuífero Alhué fueron clasificadas como bicarbonatadas-cálcicas (HCO_3^- - Ca^{2+}), mientras que en los acuíferos Cachapoal y Tinguiririca predominan aguas sulfatadas-cálcicas (SO_4^{2-} - Na^+). Se han registrado concentraciones elevadas de sulfatos, níquel, cromo, manganeso y hierro, entre otros contaminantes. En la unidad hidrogeológica superficial, caracterizada por su baja permeabilidad, se observan concentraciones elevadas de nitrato, aunque en general no superan los límites establecidos por la norma NCh409/2005. Estas concentraciones son más frecuentes en pozos ubicados en áreas con alta vulnerabilidad.

En cuanto a las aguas superficiales, se ha observado una tendencia al aumento en los valores de pH, calcio, magnesio y conductividad eléctrica, especialmente en las estaciones del río Cachapoal en Puente Coinco, el río Claro en Tunca y el estero Zamorano en Penciahue. El embalse Rapel presenta condiciones eutróficas e hipertróficas, con niveles de coliformes fecales totales que cumplen con los requisitos establecidos por la Norma Chilena Oficial N° 1333/78 para agua destinada a uso recreativo con contacto directo (1.000 NMP/100 ml). Sin embargo, desde un punto de vista microbiológico, se indica que la contaminación fecal en el embalse Rapel es principalmente de origen animal.

Por otro lado, los tributarios han registrado niveles de coliformes fecales que superan los límites establecidos por la normativa, especialmente en las estaciones ubicadas en el estero Las Palmas y el río Tinguiririca (DGA, 2022a).

- Respecto a las cuencas Costeras Rapel - E. Nilahue (código 061), no se dispone de información específica sobre la calidad del agua, lo que resalta una notable brecha de información en esta área.

CAPÍTULO 3 ANÁLISIS DE INFRAESTRUCTURA HÍDRICA

3.1 INFRAESTRUCTURA HÍDRICA Y NUEVAS FUENTES EXISTENTES

En este acápite se da cuenta de las obras de infraestructura, relativas al recurso hídrico relevantes para el propósito de este estudio. Para esto, primero se realizará la identificación de infraestructura existente al año 2023 de acuerdo a los catastros y base de datos públicos existentes; luego se analizará el estado de la infraestructura existente desde el punto de vista de las principales demandas definidas en el acápite 2.2, incluyendo las nuevas fuentes disponibles para su abastecimiento. El detalle de los catastros utilizados se presenta en el anexo metodológico.

3.1.1 Infraestructura hídrica existente al año 2023

A continuación, se presenta una breve categorización de la infraestructura existente y su capacidad instalada total. Para esto, la infraestructura hídrica se ha clasificado en: obras de acumulación, centrales para la generación eléctrica, infraestructura de distribución, obras de abastecimiento de agua potable y tratamiento de aguas servidas y pozos. Además, se incluye un apartado con respecto a infraestructura para el uso de agua desde fuentes no convencionales e infraestructura de defensa fluvial y aluvional.

La identificación de cada tipo de obra y su correspondiente información de capacidades instaladas se presenta de forma georreferenciada en la geodatabase SIG para la región en el Anexo C del Informe Nacional. No obstante, un resumen de dicho catastro se presenta en la Figura 3.1-6.

Obras de acumulación

En la región del Libertador Bernardo O'Higgins se han identificado ciento veinte y tres (123) obras de acumulación. Según el boletín "Información Pluviométrica, Fluviométrica, Estado de Embalses y Aguas Subterráneas" (DGA, 2024), los principales embalses en la región son el embalse Convento Viejo, con una capacidad de almacenamiento de 237 hm³ y el embalse Rapel, con una capacidad de 695 hm³, ambos ubicados en la cuenca Río Rapel. Según el mismo boletín, el volumen de almacenamiento histórico promedio mensual es de 119,1 hm³ para el embalse Convento Viejo (50% de su capacidad) y 473,9 hm³ para el embalse Rapel (68% de su capacidad).

Centrales para la generación eléctrica

Se registran diecisiete (17) centrales hidroeléctricas en la región del Libertador Bernardo O'Higgins, con una potencia total instalada de aproximadamente 1.082 MW.

Infraestructura de distribución y sistemas de riego

Se identificaron quinientos ochenta y siete (587) bocatomas y 5.900 km de canales, ubicados principalmente en la cuenca Río Rapel, donde se concentra aproximadamente el 93% de la red total. En otras cuencas de la región la presencia de canales es menor.

Obras de abastecimiento de agua potable y tratamiento de aguas servidas

Zonas Urbanas

En la región del Libertador Bernardo O'Higgins se identifica solo la concesión de agua potable, correspondiente a ESSBIO, y con treinta y seis (36) territorios operacionales de la concesionaria sanitaria ESSBIO. Además, la región cuenta con veintiocho (28) Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS), cuyos receptores y tipos de tratamiento se detalla en el Anexo 07.01.

A continuación, se presenta la Tabla 3.1-1 donde se observa el número de territorios operacionales por cuenca, su producción al año 2022 y el porcentaje de aumento de producción al año 2055, según las proyecciones de demanda desarrolladas en el acápite 2.2.1.

Tabla 3.1-1 Producción de agua y número de territorios operacionales por cuenca

Cód. Cuenca	Cuencas	N° de Territorios Operacionales	Producción 2022 (m3/año)	Aumento al 2055 (%)
057	Río Maipo	3	4.696.433	16%
060	Río Rapel	31	84.107.021	17%
061	Costeras Rapel - E. Nilahue	2	2.418.488	21%

Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, se presenta a continuación la Tabla 3.1-2 donde se observan los planes de desarrollo vigentes por parte de las concesiones sanitarias presentes en la región, con su respectivo alcance territorial.

Tabla 3.1-2 Planes de desarrollo vigentes según concesión en la región del Libertador Bernardo O'Higgins

Concesión	Plan de Desarrollo	Alcance
ESSBIO	Boca Rapel – Navidad	Rapel – Navidad
	Chepica	Chepica
	Rancagua – Machalí	Rancagua – Machalí

Concesión	Plan de Desarrollo	Alcance
	Chimbarongo	Chimbarongo
	Codegua – La Punta	Codegua – La Punta
	Coinco	Coinco
	Coltauco	Coltauco
	Coya	Coya
	Doñihue	Doñihue
	Graneros	Graneros
	Las Cabras	Las Cabras
	Lo Miranda	Lo Miranda
	Lolol	Lolol
	Malloa	Malloa
	Nancagua	Nancagua
	Olivar	Olivar
	Peralillo	Peralillo
	Peumo	Peumo
	Pichidegua	Pichidegua
	Placilla	Placilla
	Población	Población
	Puente Negro	Puente Negro
	Quinta de Tilcoco	Quinta de Tilcoco
	Rengo	Rengo
	Requínoa	Requínoa
	Rosario	Rosario
	San Fernando	San Fernando
	San Francisco	San Francisco
	San Vicente	San Vicente
	Santa Cruz – Palmilla	Santa Cruz – Palmilla
	Pelequén	Pelequén

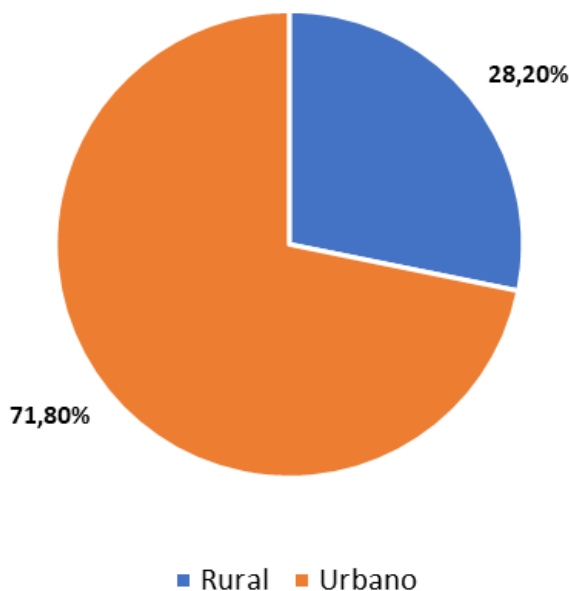
Fuente: Elaboración propia en base a ESSBIO (2023).

De acuerdo a lo señalado en el Informe de Gestión de Servicios Sanitarios 2022 (SISS, 2023) uno de los objetivos principales en la gestión de sus concesiones es mantener “un abanico de alternativas para hacer frente a posibles agravamientos de las condiciones, producto del cambio climático”, asegurando el “consumo urbano multipropósito en condiciones de continuidad conforme lo determine la voluntad del usuario final” (Celedón, 2023).

Bajo este contexto, y según los datos entregados en el Informe de Coberturas 2022 de la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS, 2023), las cifras de cobertura de agua potable y alcantarillado del sector sanitario en la región del Libertador Bernardo O’Higgins, en las áreas concesionadas, alcanza un 84,4%.

Zonas Rurales

De acuerdo a los catastros más recientes el 28,2% del total de viviendas registradas en el censo de población (INE, 2017) en la región del Libertador Bernardo O'Higgins, corresponde a zonas rurales. Esto resulta equivalente a 99.909 viviendas y 234.192 habitantes aproximadamente (ver Figura 3.1-1).



Fuente: INE (2017)

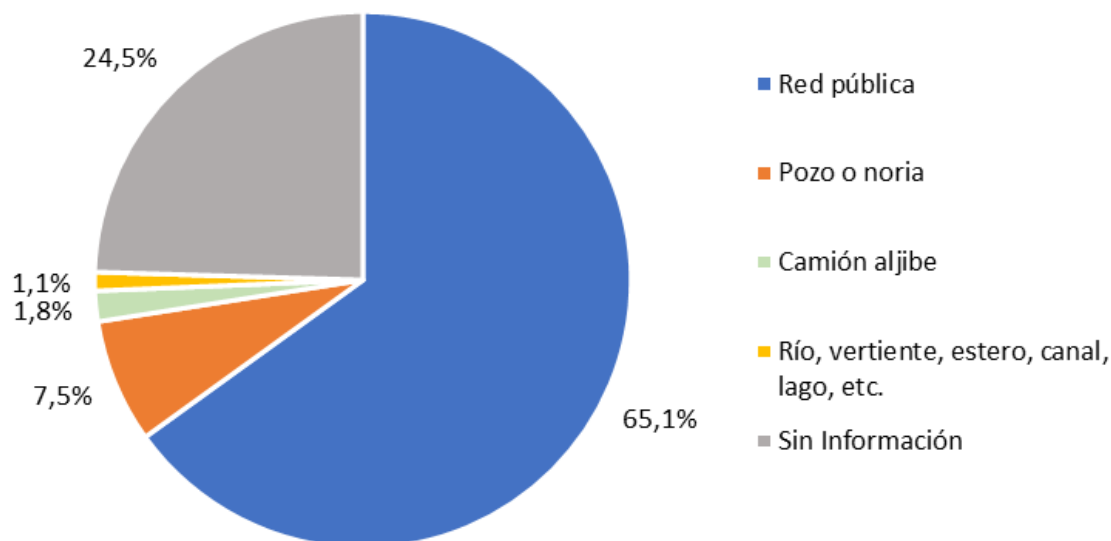
Figura 3.1-1 Distribución de viviendas en región del Libertador Bernardo O'Higgins 2017

Del total de hogares en zonas rurales se ha identificado que un 24,5% no presenta información en relación a las fuentes de abastecimiento en base a los datos del censo de población (INE, 2017). Bajo este contexto, se presenta un breve análisis respecto al estado del agua potable y saneamiento en la región del Libertador Bernardo O'Higgins.

a) Agua Potable

De acuerdo a los datos presentados en el último censo de población y vivienda (INE, 2017), del 75,5% de los hogares en zona rural con un acceso aceptable a servicios básicos, un 65,1% (64.994) cuenta con abastecimiento desde una red pública de agua⁵. (ver Figura 3.1-2)

⁵ Incluye hogares abastecidos por Servicios Sanitarios Rurales (SSR) o acogidos al Artículo 52 bis del Decreto Fuerza Ley N°382/1988 del Ministerio de Obras Públicas.



Fuente: Elaboración propia en base a INE (2017).

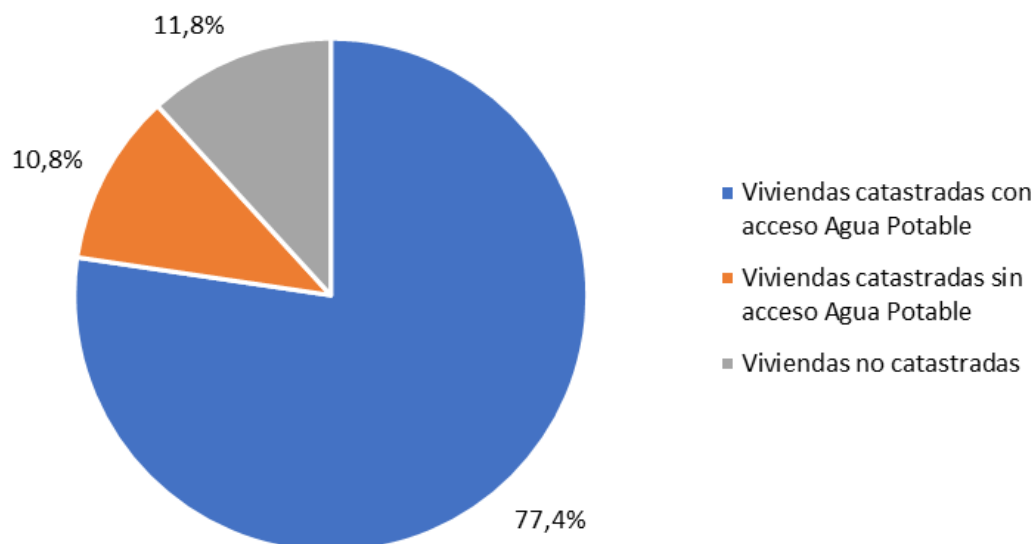
Figura 3.1-2 Distribución de hogares en zonas rurales con acceso a servicios básicos, según la fuente de obtención de agua

Por otra parte, el Sistema de Indicadores de Calidad de Vida Rural (SICVIR, 2020), creado para dar seguimiento y cumplimiento de los objetivos propuestos por la Política Nacional de Desarrollo Rural (PNRD) en 2020, entrega información del número de viviendas comunal por región con conexión a la red de agua potable.

El indicador BS12 relacionado al porcentaje de viviendas conectadas a la red de agua potable, considera veintinueve (29) de las treintaitrés (33) comunas de la región, las cuales concentran el 88,2% (88.123 viviendas) del total de viviendas rurales de la región.

Bajo los datos otorgados por este indicador, un 77,4% (77.290) de las viviendas rurales de la región presenta conexión a la red de agua potable, mientras que un 10,8% (10.833 viviendas) no cuentan con acceso a la red pública de agua potable.

A modo de resumen, se identifica que un 88,2% de las viviendas rurales han sido catastradas, en base a estos datos, un 10,8% de las viviendas informan que no presentan acceso a la red de agua potable. Por último, se concluye que el indicador BS12 presenta una brecha de información del 11,8% del total de viviendas rurales de la región del Libertador Bernardo O'Higgins (ver Figura 3.1-3).



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

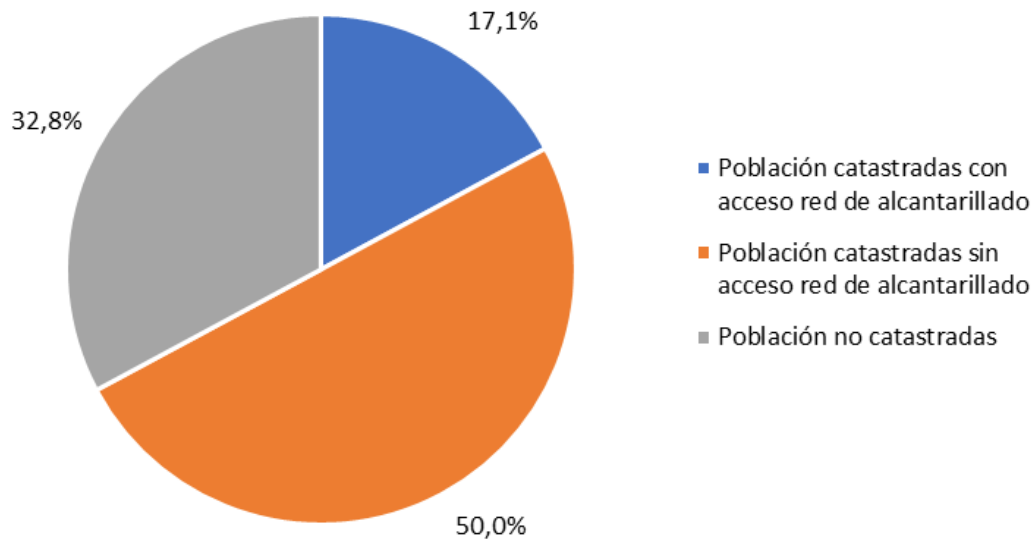
Figura 3.1-3 Acceso a la red de agua potable según indicador BS12 en las viviendas rurales de la región del Libertador Bernardo O'Higgins

Por otra parte, la Dirección de Obras Hidráulicas (2021), en adelante DOH, presenta un listado con doscientos veintiún (221) Servicios Sanitarios Rurales (SSR) para la región del Libertador Bernardo O'Higgins, los cuales abastecen a las treintaitrés (33) comunas de la región. Dentro del listado de SSR y en base al total de población rural regional (234.192 habitantes), existe un número estimado de 314.708 beneficiarios, que sobrepasa en un 34,4% al total de población rural. Esto puede significar a modo de especulación la existencia de población flotante, producto de actividades laborales o segundas viviendas que genera una mayor demanda de las aguas potable rurales.

Por último, la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) (2022) igualmente presenta un listado de SSR para la región, con un total de ciento treintainueve (139) sistemas distribuidos en las treintaitrés (33) comunas. Estos sistemas de agua potable rural, abastecen aproximadamente a 295.986 beneficiarios, sobrepasando en un 26,4% la población rural total regional.

b) Saneamiento

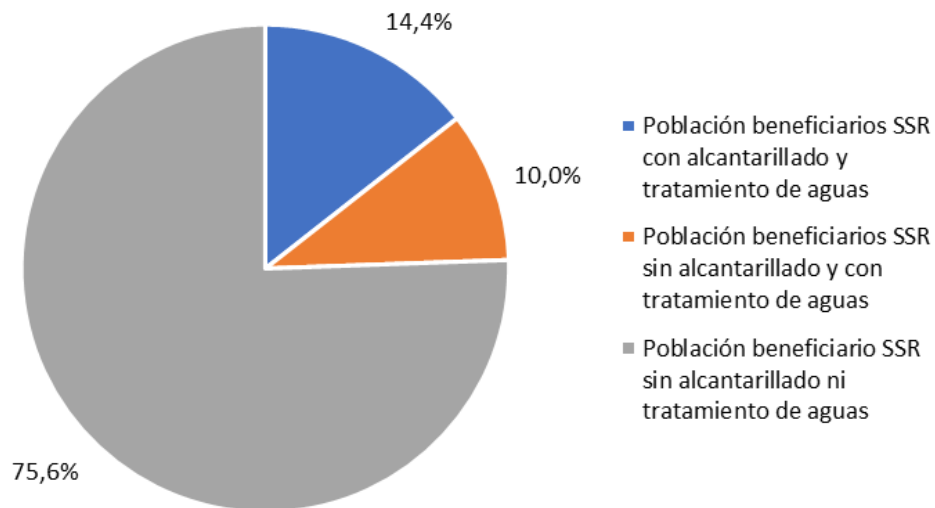
De acuerdo a los datos presentados en el indicador BS13 (SICVIR, 2020) el cual considera veintiún (21) de las treintaitrés (33) comunas de la región, concentrando el 67,2% del total de la población rural de la región, se observa que el 17,1% de la población rural se encuentra saneada por alcantarillado (ver Figura 3.1-4).



Fuente: Elaboración propia en base a Censo poblacional (INE, 2017) y SICVIR (2021).

Figura 3.1-4 Cobertura de sistemas de alcantarillado de la población rural para el año 2020

Por otra parte, de acuerdo al listado de Sistemas Sanitarios Rurales de la (SISS, 2023) se menciona que del total de beneficiarios SSR, un 14,4% (42.714 beneficiarios), presenta servicio de alcantarillado y tratamiento de aguas, un 10% (29,635 beneficiarios) presenta tratamiento de aguas sin acceso al alcantarillado y un 75,6% (223.647 beneficiarios) no presentan alcantarillado. (ver Figura 3.1-5).



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

Figura 3.1-5 Cobertura de sistemas de alcantarillado de la población rural para el año 2022

Los detalles del análisis se pueden observar en profundidad en el Anexo 07.05.

Pozos

En la región del Libertador Bernardo O'Higgins se identificaron 6.655 pozos de extracción, de los cuales el 86,24% se destina a riego, el 0,99% para uso minero/industrial, el 5,33% para bebida/uso doméstico/saneamiento, el 1,01% para otros usos y el 6,43% no tiene clasificación de uso DGA (2023).

Infraestructura hídrica para uso de fuentes no convencionales

Acuíferos profundos

No se encuentran proyectos de acuífero profundo para la región del Libertador Bernardo O'Higgins.

Recarga artificial de acuíferos

En la región, durante el 2019 se decretó la emergencia agrícola por la mega sequía, y el MOP decretó escasez hídrica habilitando herramientas transitorias y permanentes para enfrentar dicho problema. Entre las medidas, se inicia el programa piloto de recarga artificial de acuíferos subterráneos el cual será ejecutado por la Comisión Nacional de Riego realizando un estudio para evaluar y monitorear esta experiencia en el Río Cachapoal, en la cuenca Río Rapel (SEREMI, 2020).

Desalinización

Para la región del Libertador Bernardo O'Higgins, Essbio dio a conocer un plan de desalinización para combatir la sequía actual de la región. La finalidad del proyecto consiste en ampliar la capacidad de agua potable en la capital regional, Rancagua, y en el centro turístico Pichilemu.

Dentro del proyecto se incluye la primera planta desalinizadora de la región en Pichilemu, emplazada en la cuenca Costeras Rapel – E. Nilahue, junto a la ampliación de red de alcantarillado y los sistemas de pretratamiento del municipio. Según lo que indica el MOP, este proyecto se licitara en el año 2026.

Por otra parte, según la información recabada de la Asociación Chilena de Desalinización (ACADES, 2023), se señala la proyección de una planta operada por Desala, con una capacidad de 3000 L/s y de uso multipropósito, que se encontrará ubicada en la cuenca Costeras Rapel – E. Nilahue. Este proyecto es un ejemplo de los avances realizados en la región en la búsqueda de nuevas fuentes de abastecimiento de agua.

Cosecha de aguas lluvias

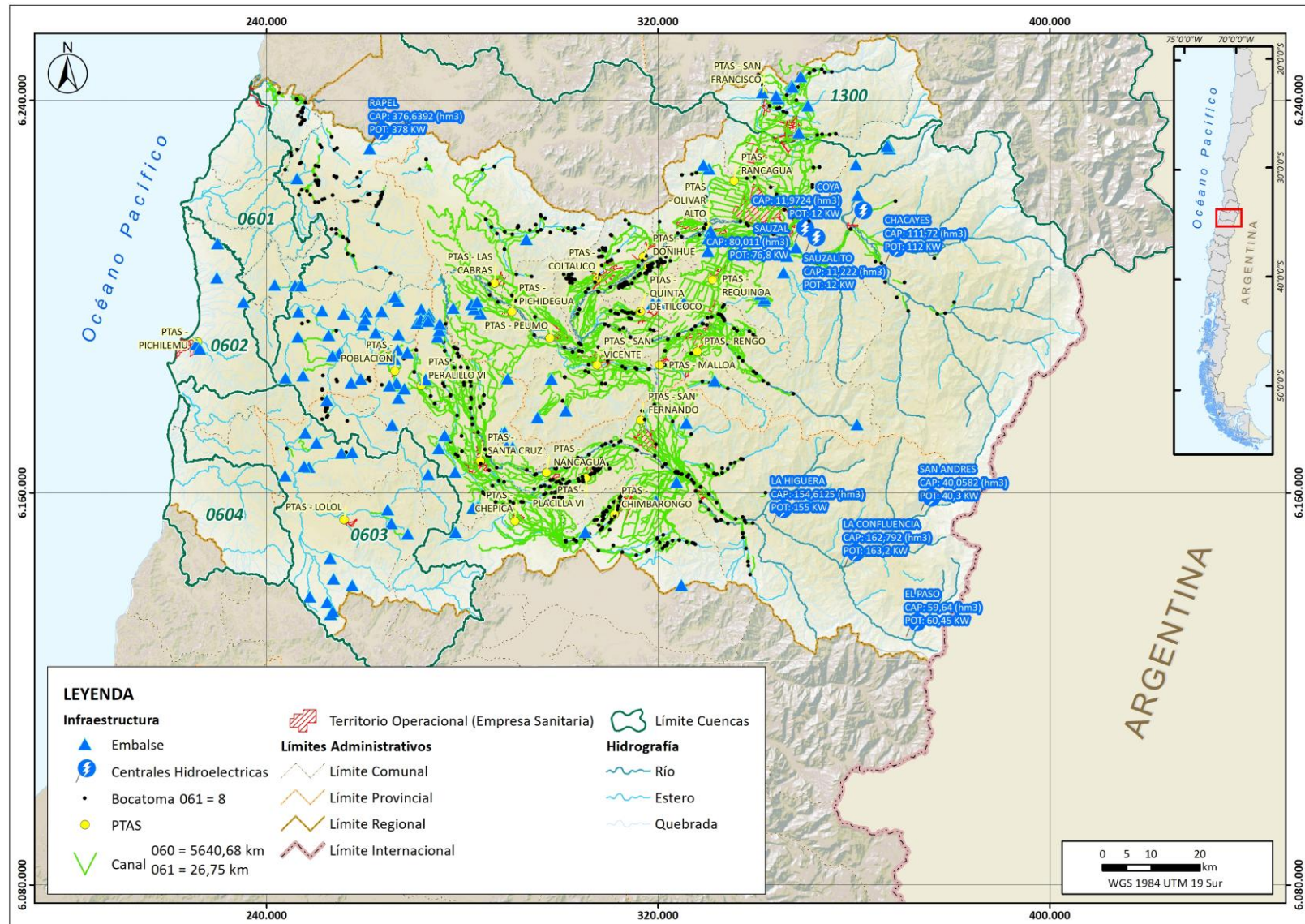
La cosecha de aguas lluvias es una medida que cuenta con diversos estudios para la región del Libertador Bernardo O'Higgins. El Gobierno Regional destaca la importancia y beneficios que tendría la cosecha de aguas lluvias para combatir la escasez de agua que enfrenta actualmente la Región.

Dentro del Plan Regional de Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico al 2021, Región Libertador Bernardo O'Higgins (MOP, Plan Regional de Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico al 2021, Región de O'Higgins, 2012) menciona tres iniciativas de construcción de colectores de aguas lluvias para la cuenca del Río Rapel.

En la página oficial de cambio climático, en el año 2020, INA realiza una licitación pública para la construcción de 326 sistemas de captación, acumulación y aprovechamiento de aguas lluvias para beneficio de agricultores de 8 comunas de la región ubicados dentro de las cuencas Río Rapel y Costeras Rapel – Estero Nilahue.

Uso de aguas servidas tratadas

A partir de la revisión de antecedentes, no se obtiene información de reutilización de aguas servidas dentro de la región.



Fuente: Elaboración propia en base a CNR (2020) y DGA (2023).

Figura 3.1-6 Infraestructura principal asociada a los recursos hídricos de la región del Libertador Bernardo O'Higgins

Infraestructura para amenazas asociadas a sequías, crecidas y la prevención de la contaminación

Las características de los cauces pertenecientes a la región del Libertador Bernardo O'Higgins, dentro de la cuenca del Rapel, hacen necesario una adecuada protección para soportar las crecidas de los cursos de agua. En el PRIGRH de la región, se hace un llamado a la ejecución de las obras definidas para el diagnóstico de defensa fluvial de los ríos Cachapoal y Tinguiririca. Asimismo, desarrollar estudios de diagnóstico de defensas fluviales de otros cauces que impliquen relevancia dentro de la región.

Se consideran los planes maestros de aguas lluvias con estado tramitado para la región presentados en la Tabla 3.1-3

Tabla 3.1-3 Planes maestros de aguas lluvias tramitados para la región del Libertador General Bernardo O'Higgins

Nombre	Localidad	Cuenca BNA	Decreto
Plan Maestro de Aguas Lluvias Rancagua – Machalí	Rancagua y Machalí	Río Rapel (60)	D.S. N°1903 del 31-10-2002
Plan Maestro de Aguas Lluvias Rengo	Rengo		D.S. N°128 del 12-09-2023
Plan Maestro de Aguas Lluvias San Fernando ¹	San Fernando		s/i

Nota 1: Si bien el plan está desarrollado de forma técnica, aún se está procesando el decreto supremo.

Fuente: Elaboración en base a CIDOH y recopilación de antecedentes.

En la Tabla 3.1-4 se presentan los tramos colectores presentes en la región.

Tabla 3.1-4 Obras de tramo colector presentes en la región del Libertador General Bernardo O'Higgins

Nombre obra	Estado	Cuenca BNA
Cáceres, Villalobos, Hoffman, Los Coiros, Recreo 2, Kennedy-A, Los Fresnos, Los Quilos, Cincurvalacion 1, Los Alpes 2, Av. España 2, Alcazar, Almarza, Población, Ref. Rs-12-A, Linea Sin Datos, Baquedano 2ª, Graneros, Milán 2, Bueras, Carrera Pinto, Brasil-A, Ext, Brasil, Trapiche 1ª, Alameda 2, Parra, Frei, P Hurtado, San Pedro, Michimalongo-A, Los Alpes 3, Los Mayos-A, Larrain-A, Kennedy, Viña Del Mar, Chorrillos, Circunvalación, Los Naranjos	Existente	Río Rapel
A Prat, Int Fundo A, Der San Joaquin, El Roble, Huascar, Sewll, Las Termnas, San Juan, Cam Hacienda, Cam Las Rosas, Rosas, Hacienda, Circulo,	Proyectado	

Nombre obra	Estado	Cuenca BNA
Kennedy-A, Trapiche 2, Freire, Ref Rs-12-1, Lourde 1, Machali 1, Baquedano 2, Sta Silvia, Sta Filomena, Sta Filomena-A, Aeródromo, Sta Isabel-A, Brasil, Cachapoal, P Hurtado, Almarza, Los Mayos, Milan 2, Melero, Villalobos, Est Marista, El Sol, Michimalongo, Parra, El Litoral, Illanes 2, Los Alpes 2, Recreo Kennedy, Viña Del Mar 1, San Pedro, Trapiche 1, El Sol-A, Est Marista-A, Av España 2, Recreo 2, Los Alpes 3, Viena, Cincurvalacion 1, Kennedy, Los Coiros, Constanza Quillota, El Litoral- A, Los Quilos, Los Fresnos, Viña Del Mar-1ª, San Pedro-A, Larrain-A, S Joaquín, C De Cobre, Milan- 2ª, M Montt, Sta Blanca, Las Torres, A Pinto, , Hurtado- A, Carrera Pinto, Central, Ramírez, Cost Panamericana, Interceptor Ballica, Panamericana, Recreo-Kennedy-A, Illanes-2ª, Kennedy-Ruta 5, Kennedy-Ruta 5-A, Alcazar, Conexión Milán Hoffman, Los Mayos-A, Población, Cáceres, Circunvalacion 1, Viña Del Mar 2, Grecia, Los Naranjos, Peterson, Graneros, Los Tilos, Interceptor Chancón, Machalí 2, Lourdes 2, Calvino, San José, Santa Julia, Rio Loco, Coltauco, Hoffman, Sta Silvia-A, Lourdes 1ª, Hijuelas 1, Circunvalación, Trapiche 2ª, Ref Rs-12-1ª, Vecinal, Trapiche 1ª, Der. Trapiche, Alameda 2, Intercepto, Alameda, 1 De Mayo, Machali 1ª, Baquedano, Viña Del Mar y La Sanchina		

Fuente: Departamento de Territorio de la Dirección de Planeamiento (DIRPLAN), 2024

No hay obras de control aluvional en la región.

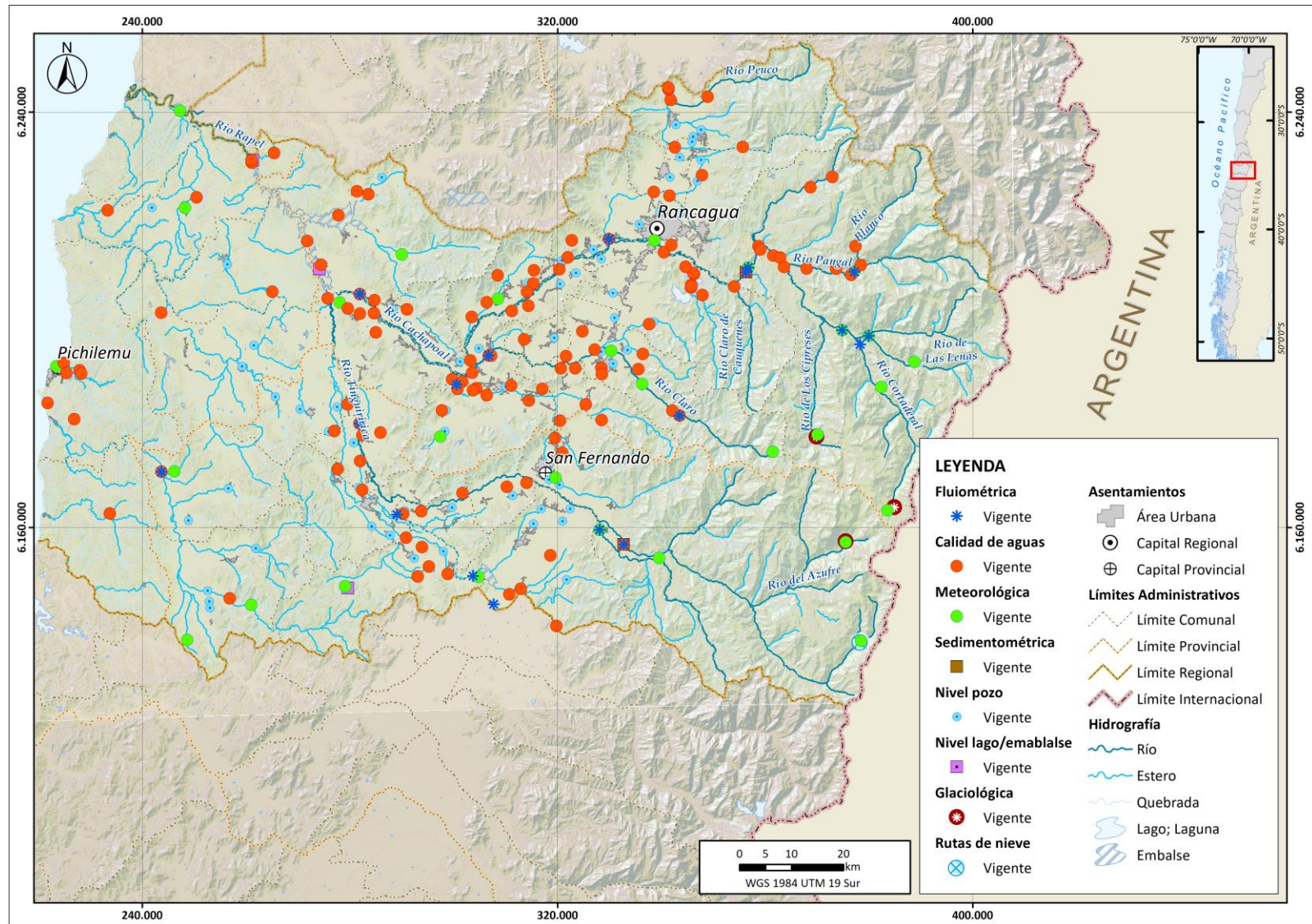
Red hidrométrica

De acuerdo a la información publicada por DGA (2023), en la región del Libertador Bernardo O'Higgins se encuentran 276 estaciones de monitoreo vigentes que constituyen la red hidrométrica de la región. En la Tabla 3.1-5 se muestra en detalle el tipo de estación presente en la región y su estado, en el Anexo 07.01 se encuentra la distribución de la red por cuenca. En la Figura 3.1-7 se presenta la ubicación de la totalidad de estaciones de la red. La infraestructura de monitoreo se concentra en la cuenca Río Rapel.

Tabla 3.1-5 Estaciones de monitoreo de la región del Libertador Bernardo O'Higgins

Tipo de Estación	Vigentes	Suspendidas
Calidad de Aguas	128	0
Fluviométrica	18	0
Meteorológica	33	0
Nivel de pozo	88	0
Sedimentométrica	2	0
Nivel de lagos y embalses	3	0
Glaciológica	3	0
Rutas de nieve	1	0
Total	276	0

Fuente: Elaboración propia en base a DGA (2023).



Fuente: Elaboración propia en base a DGA (2023)

Figura 3.1-7 Red hidrométrica de la región del Libertador Bernardo O'Higgins

3.1.2 Infraestructura hídrica propuesta en cartera pública existente

A continuación, se exponen las propuestas identificadas en diversos estudios y planes para la región de O'Higgins entre los años 2010 y 2022 detalladas en el anexo 07.04.

Infraestructura hídrica y nuevas fuentes sin ejecutar propuesta entre 2010-2022

A partir de antecedentes revisados de diversos planes de gestión hídrica, con base principal en el estudio "Análisis de inversión en infraestructura y Gestión Hídrica 2020-2050" (MOP, 2019), se han catastrado las iniciativas propuestas dentro del periodo mencionado. Por otro lado, considerando que existían iniciativas que resuelven la misma brecha, se decidió agrupar aquellas con los mismos objetivos, de manera de sintetizar los requerimientos de las acciones estratégicas.

Las iniciativas catastradas se clasificaron según tres tipologías definidas y cada una de las tipologías tiene una estrategia de acción. Las iniciativas catastradas según la clasificación planteada se presentan en la Tabla 3.1-6).

Tabla 3.1-6 Iniciativas clasificadas según tipología y estrategia de acción

Tipología	Estrategias de acción	N° de iniciativas
Infraestructura hídrica estructural	Redes hidrométricas	13
	Producción-distribución de agua potable y tratamiento aguas servidas	6
	Defensa fluvial y aluvional	7
	Desalinización	0
	Infraestructura de riego	3
	Infraestructura de distribución de agua	5
	Obras de acumulación de agua	14
	Reúso de aguas residuales	0
	Redes de aguas lluvias	3
	Captación de aguas	0
	Trasvase de aguas	0
	Drenaje de aguas	0
	Control de erosión	0
	Recarga de acuíferos	0
	Conservación de riberas	0
Infraestructura hídrica no estructural	Estudio hidrológico o hidrogeológico para disponibilidad hídrica	8
	Análisis sistemas glaciares y periglaciares	0
	Estudio calidad de agua superficial y subterránea	4
	Estudio obras de recarga artificial de acuíferos	2
	Conservación y restauración de riberas y cauces	1

Tipología	Estrategias de acción	N° de iniciativas
	Comportamiento morfodinámico e hidrodinámico de humedales	1
	Estudios obras de acumulación de agua	12
	Estudios de riesgo fluvial y aluvional	2
	Conservación obras de riego	0
	Estudio sistemas de riego	4
	Estudios contaminación de aguas	0
	Estudios de saneamiento	1
	Estudios de aguas lluvias	2
	Estudio obras de distribución de aguas	1
	Estudios de desalación	0
	Análisis de red hidrométrica y plataformas de información	6
	Estudio de reúso de aguas	1
	Diagnóstico de OUA y DAA	2
	Estudios para abastecimiento de agua potable	0
Medidas de gestión	Creación de capital humano	4
	Análisis situación legal DAA	30
	Fortalecimiento y formalización de OUA	3
	Reservas de agua	5
	Manejo de quebradas	0
	Manejo riesgos de contaminación de aguas	0
	Manejo de normas ambientales e hídricas	1
	Planes y políticas	0

Fuente: Elaboración propia.

A partir de la revisión de los antecedentes, se definen las características básicas que debe incluir una iniciativa al ser propuesta como medida pública para aquellas no agrupadas. Las iniciativas según tipologías y las características básicas se presentan en la Tabla 3.1-7.

Tabla 3.1-7 Iniciativas según tipologías y características básicas

Tipología	Características básicas			
	Identificación del problema	Monto asociado	Responsable de la iniciativa	Fecha de ejecución
Infraestructura hídrica estructural	28	31	29	24
Infraestructura hídrica no estructural	14	15	45	33
Medidas de gestión	35	43	52	17

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 3.1-10 se presentan las iniciativas que contienen información acerca del estado de su ejecución.

Tabla 3.1-8 Iniciativas con estado de ejecución

Tipología	Estrategia de acción	N° de iniciativas	Estado
Infraestructura hídrica estructural	Infraestructura de distribución de agua	1	Factibilidad

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 3.1-9 se presentan los planes de desarrollo de empresas sanitarias presentes en la región por implementar.

Tabla 3.1-9 Iniciativas planificadas dentro de los planes de desarrollo de las empresas sanitarias para la región del Libertador General Bernardo O'Higgins

Empresa	Vigencia plan	Alcance zonal	Infraestructura estructural planificadas
ESSBIO	2021	Rapel – Navidad	Aumento de capacidad PTAP, obras de distribución o recolección, mejoramientos en la red de distribución de AP, refuerzo de colectores y mejoramiento PTAS
		Chépica Rancagua – Machalí	Captaciones, aumento de capacidad PTAP, obras de almacenamiento y potabilización, aumento de capacidad PEAP, mejoramientos en la red de distribución de AP, aumento de capacidad PEAS, refuerzo de red de AS y aumento de capacidad PTAS
		Chimbarongo	Captaciones, obras de distribución o recolección, aumento de capacidad PTAP, obras de almacenamiento y potabilización, mejoramientos en la red de distribución de AP, aumento de capacidad PTAS y obras de disposición de residuos
		Codegua – La Punta	Captaciones, aumento de capacidad PTAP, obras de almacenamiento y potabilización, reposición y conservación PEAP, mejoramientos en la red de distribución de AP, aumento de capacidad PEAS, reposición equipos PEAS y obras de distribución o recolección
		Coinco	Obras de distribución o recolección, obras de almacenamiento y potabilización, mejoramientos en la red

Empresa	Vigencia plan	Alcance zonal	Infraestructura estructural planificadas
			de distribución de AP y aumento de capacidad PTAS
		Coltauco	Captaciones, obras de distribución o recolección, aumento de capacidad PTAP, obras de almacenamiento y potabilización, refuerzo de red de AS, aumento de capacidad PEAS y aumento de capacidad PTAS
		Coya	Captaciones, obras de distribución o recolección, mejoramientos en la red de distribución de AP, aumento de capacidad PTAS y aumento de capacidad PEAS
		Doñihue	Aumento de capacidad PEAP, mejoramientos PTAP, obras de distribución o recolección, obras de almacenamiento y potabilización, mejoramientos en la red de distribución de AP, reposición equipos PEAS, aumento de capacidad PTAS y reposición y conservación PTAS
		Graneros	Captaciones, obras de distribución o recolección, aumento de capacidad PTAP, obras de almacenamiento y potabilización, mejoramientos en la red de distribución de AP y refuerzo de red de AS
		Las Cabras	Captaciones, obras de distribución o recolección, obras de almacenamiento y potabilización, mejoramientos en la red de distribución de AP, aumento de capacidad PTAS y construcción obras de capacidad PTAS
		Lo Miranda	Captaciones, aumento de capacidad PTAP, obras de almacenamiento y potabilización, mejoramientos en la red de distribución de AP y construcción PEAP
		Lolol	Captaciones, ampliación capacidad de producción de AP, obras de distribución o recolección y aumento de capacidad PTAS

Empresa	Vigencia plan	Alcance zonal	Infraestructura estructural planificadas
		Malloa	Obras de almacenamiento y potabilización, mejoramientos en la red de distribución de AP, mejoramiento PEAS y mejoramiento PTAS
		Nancagua	Aumento de capacidad PTAP, obras de distribución o recolección, obras de almacenamiento y potabilización, mejoramientos en la red de distribución de AP, aumento de capacidad PEAS y aumento de capacidad PTAS
		El Olivar	Captaciones, obras de distribución o recolección, aumento de capacidad PTAP, obras de almacenamiento y potabilización, mejoramientos en la red de distribución de AP, aumento de capacidad PTAS y refuerzo de red de AS
		Peralillo	Obras de almacenamiento y potabilización, mejoramientos en la red de distribución de AP, aumento de capacidad PTAS y obras de distribución o recolección
		Peumo	Ampliación capacidad de producción de AP, captaciones, obras de distribución o recolección, obras de almacenamiento y potabilización, aumento de capacidad PTAS y aumento de capacidad PEAS
		Pichidegua	Captaciones, obras de distribución o recolección, obras de almacenamiento y potabilización, mejoramientos en la red de distribución de AP, aumento de capacidad PTAS y aumento de capacidad PEAS
		Placilla	Obras de distribución o recolección, obras de almacenamiento y potabilización y mejoramientos en la red de distribución de AP
		Población	Obras de distribución o recolección y mejoramientos en la red de distribución de AP
		Puente Negro	Aumento de capacidad PTAP, aumento de capacidad PEAP, obras de distribución o recolección, mejoramientos en la red de distribución

Empresa	Vigencia plan	Alcance zonal	Infraestructura estructural planificadas
			de AP, refuerzo de colectores y reposición y conservación PTAS
		Quinta de Tilcoco	Ampliación capacidad de producción de AP, obras de distribución o recolección, aumento de capacidad PTAP, obras de almacenamiento y potabilización, mejoramientos en la red de distribución de AP, aumento de capacidad PEAS, refuerzo de red de AS, aumento de capacidad PTAS y aumento de capacidad PEAS
		Rengo	Captaciones, aumento de capacidad PTAP, obras de distribución o recolección, obras de almacenamiento y potabilización, mejoramientos en la red de distribución de AP, refuerzo de red de AS, aumento de capacidad PTAS y actualización PEAS
		Requínoa	Ampliación capacidad de producción de AP, obras de distribución o recolección, aumento de capacidad PTAP, nuevas obras de distribución de AP, obras de almacenamiento y potabilización, aumento de capacidad PEAS, refuerzo de red de AS y aumento de capacidad PTAS
		Rosario	Ampliación capacidad de producción de AP, aumento de capacidad PTAP, obras de distribución o recolección, obras de almacenamiento y potabilización, aumento de capacidad PEAP y refuerzo de red de AS
		San Fernando	Ampliación capacidad de producción de AP, obras de distribución o recolección, obras de almacenamiento y potabilización, mejoramientos en la red de distribución de AP, aumento de capacidad PEAP, reposición equipos PEAP, refuerzo de red de AS, mejoramiento PTAS y aumento de capacidad PTAS
		San Vicente	Captaciones obras de distribución o recolección, aumento de capacidad

Empresa	Vigencia plan	Alcance zonal	Infraestructura estructural planificadas
			PTAP, obras de almacenamiento y potabilización, mejoramientos en la red de distribución de AP, reposición equipos PEAS, refuerzo de red de AS y nuevo colector
		Santa Cruz – Palmilla	Captaciones, ampliación capacidad de producción de AP, aumento de capacidad PTAP, obras de distribución o recolección, obras de almacenamiento y potabilización, aumento de capacidad PEAS y refuerzo de red de AS
		Pelequén	Captaciones, obras de distribución o recolección, obras de almacenamiento y potabilización, mejoramientos en la red de distribución de AP, reposición equipos PEAS y aumento de capacidad PEAS

Fuente: Elaboración en base a SISS, (2023).

No hay planes maestros de aguas lluvias proyectados para la región.

Iniciativas ejecutadas en el periodo 2015-2023

A partir de los antecedentes de la Inversión histórica del MOP entre los años 1986-2023, en la Tabla 3.1-10 se presentan las iniciativas ejecutadas a partir de las estrategias de acción y montos asociados a cada proyecto. El listado completo de estas iniciativas se presenta en el Anexo 07.04.

Tabla 3.1-10 Inversión histórica MOP 2015-2023 según estrategias de acción

Tipología	Estrategias de acción	Programa	N° inversiones	Inversión	
				Miles \$ cada año	Miles \$ año 2023
Infraestructura hídrica estructural	Producción-distribución de agua potable y tratamiento aguas servidas	APR concentrado	250	53.351.280	68.280.650
		APR semi concentrado	83	17.616.572	20.344.240
		Ampliación y mejoramiento de servicios existentes de APR	124	43.237.338	50.298.756
		Conservación, mantención y ampliación de SSR existentes	1	266.581	266.581

Tipología	Estrategias de acción	Programa	N° inversiones	Inversión	
				Miles \$ cada año	Miles \$ año 2023
	Redes de aguas lluvias	Conservación de obras de aguas lluvias	19	1.823.079	2.274.458
		Evacuación y drenaje de aguas lluvias	9	696.173	882.040
	Infraestructura de riego	Conservación obras de riego	23	1.398.221	1.705.287
		Obras medianas de riego	9	2.805.410	3.086.510
Infraestructura hídrica no estructural	Conservación y restauración de riberas y cauces	Conservación de riberas (defensas fluviales)	31	22.809.463	27.484.118

Fuente: Elaboración en base a MOP, 2023.

CAPÍTULO 4 BRECHAS HÍDRICAS

De acuerdo al análisis realizado por Bolados et al. (2023), se establece que la brecha hídrica se considerará en un sentido amplio como una brecha estratégica o una brecha de gestión, cuya distancia con respecto a una meta establecida puede ser cuantificada, ya sea mediante un volumen de agua (brecha hídrica en sentido cuantitativo) o mediante algún indicador definido por los planificadores del territorio.

Para efectos del presente estudio, se estimará una brecha hídrica vinculada al balance hídrico, brechas hídricas estratégicas y brechas de infraestructura.

4.1 BRECHAS DE BALANCE HÍDRICO

Se estimó la brecha hídrica a nivel de cuenca (BNA) para cada una de las presentes en la región. 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 en la cuenca, 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 la 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 el Anexo 07.05 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 superficial⁶ en la misma considerando diferentes probabilidades de excedencia. Se considera una **cuenca crítica** 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).

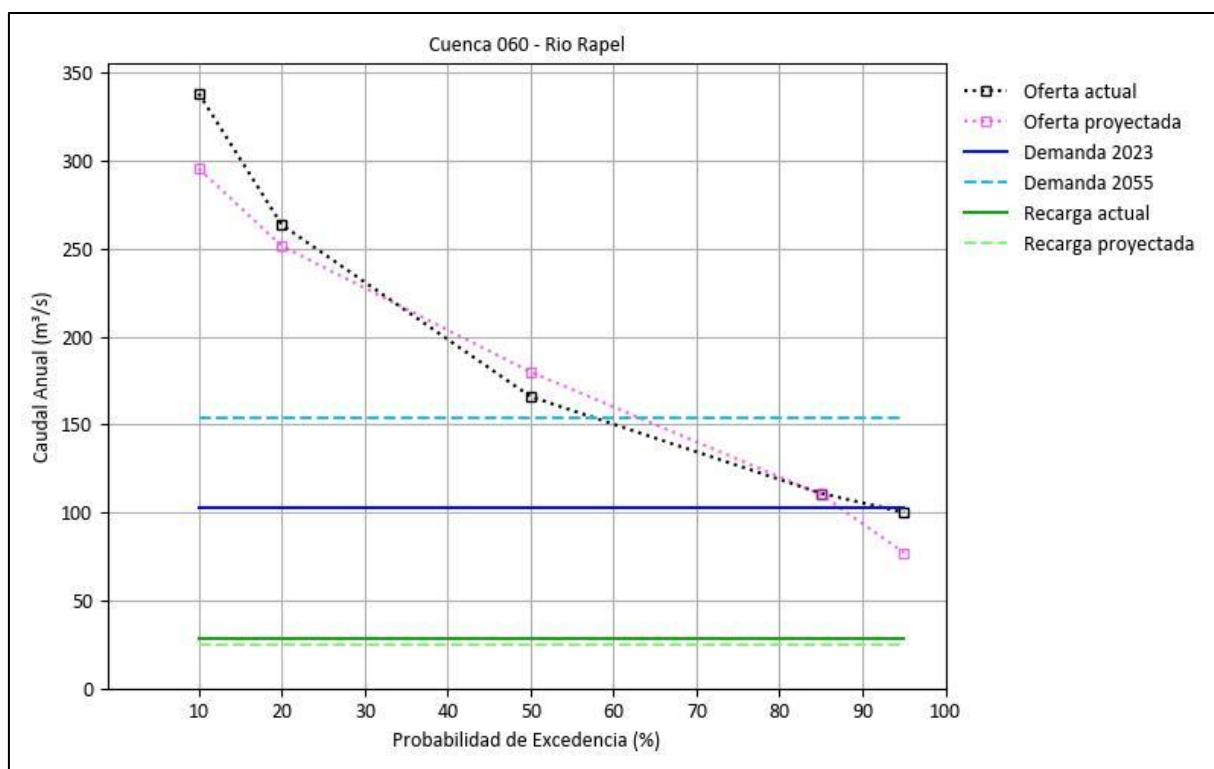
Clasificación final: En el caso de existir dos (2) tipos de restricción (superficial y subterráneo) en la cuenca, esta se define inmediatamente como **cuenca crítica**. En el caso de existir un (1) tipo de restricción (superficial o subterráneo) en la cuenca, la clasificación definida en el *Criterio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

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

Para la situación actual de la región, en la Figura 4.1-2 se observa que no hay cuencas consideradas **cuencas críticas**, es decir, donde la demanda total supera la oferta disponible con una probabilidad de excedencia del 50%. Por ejemplo, en la Figura 4.1-1 se muestra la situación para la cuenca del río Rapel (BNA 060).

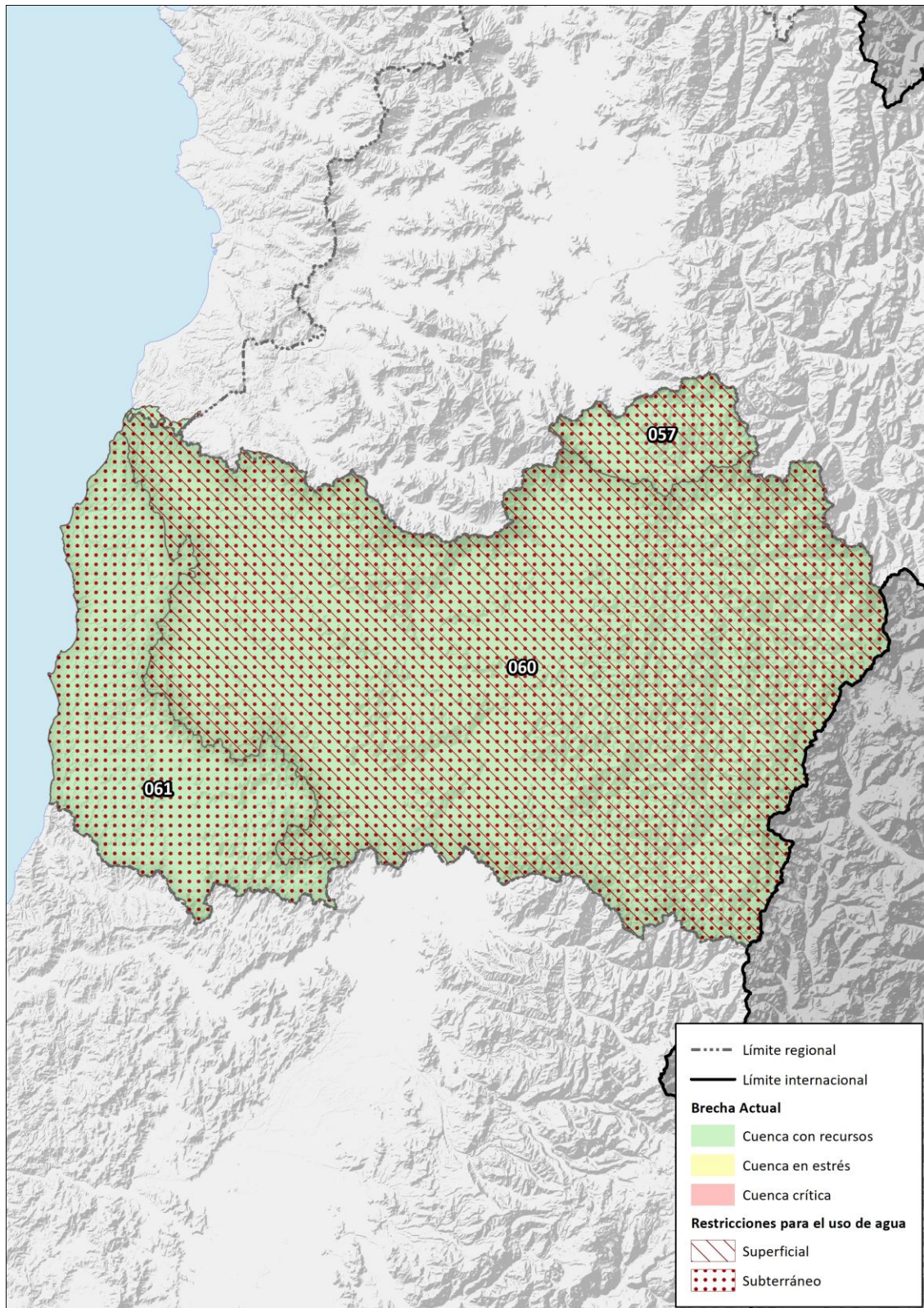
⁶ En base al Balance Hídrico Nacional (DGA, 2018)

Por otra parte, se puede observar que todas las 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 todas las cuencas actualmente poseen restricciones para el uso de aguas superficiales o para aguas subterráneas, por lo que finalmente dos se reclasifican a **cuencas críticas** y una a **cuenca en estrés** (ver Tabla 4.1-1).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.1-1 Probabilidad de excedencia sobre la curva de oferta, de la demanda actual y futura, cuenca BNA 060



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.1-2 Indicadores de disponibilidad hídrica para el año 2025 en la región de O'Higgins

Tabla 4.1-1 Brechas Hídricas por Cuenca Región de O'Higgins

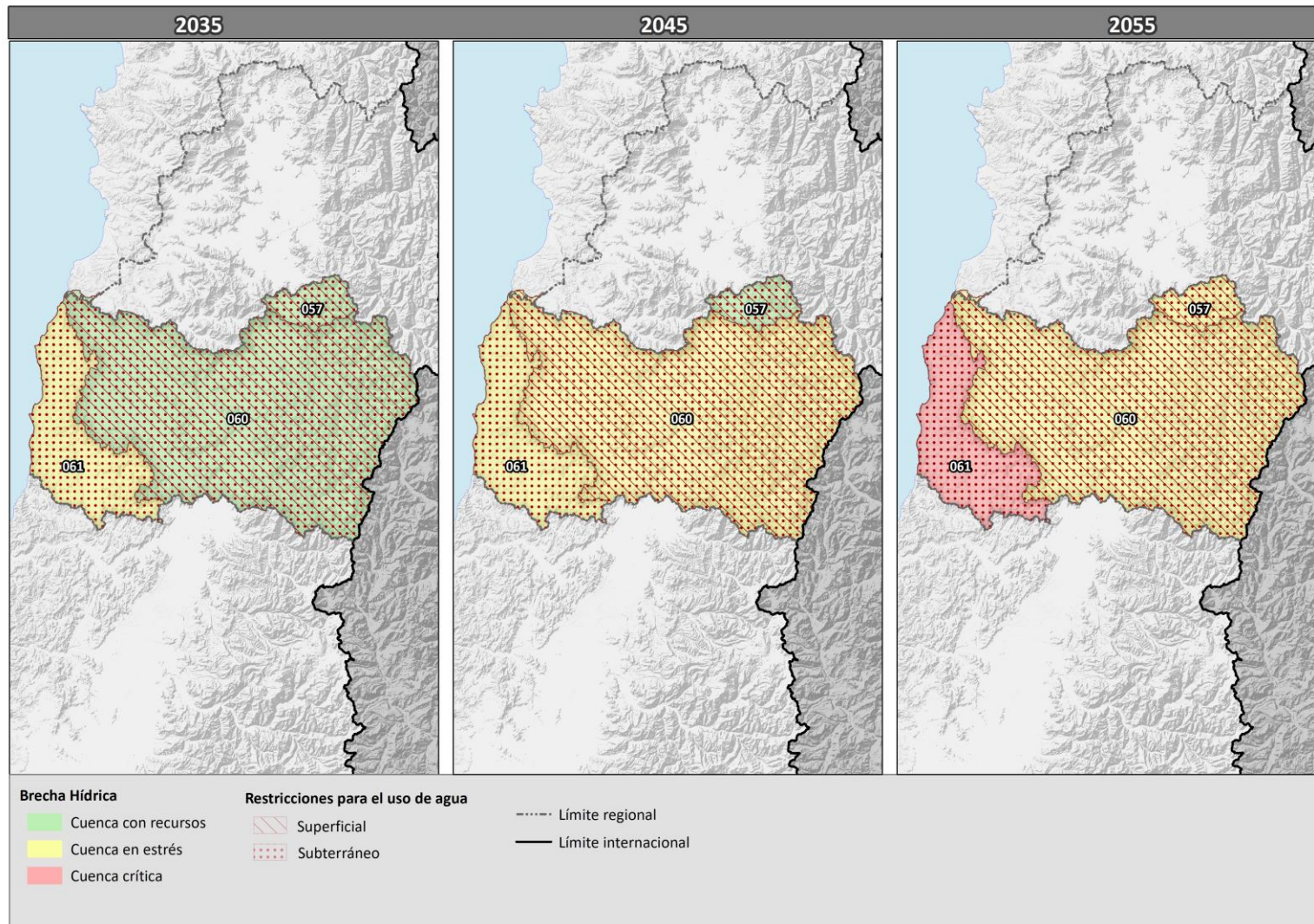
Código BNA	Nombre Cuenca	2025	2035	2045	2055
050	Rio Maipo	Crítica	Crítica	Crítica	Crítica
060	Rio Rapel	Crítica	Crítica	Crítica	Crítica
061	Costeras Rapel-E.Nilahue	En estrés	Crítica	Crítica	Crítica

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4.1-1 se aprecia que todas las cuencas se encuentran en una situación de estrés o crítica al año 2025, sin que exista una mejora en las ventanas futuras. No obstante, se debe considerar que, según el balance hídrico de la cuenca, el estado de las cuencas es con recursos o en estrés a futuro, pero que si se consideran las restricciones superficiales o subterráneas existentes (las cuales están en todas las cuencas de la región), la situación es crítica. Si bien estas restricciones no son estarán siempre presentes, se consideran de igual forma para las ventanas lejanas, lo que se puede ver en la Figura 4.1-3.

Sin embargo, a pesar de lo anterior es importante mencionar que una fuente importante de los recursos hídricos utilizados en las cuencas corresponde a recursos subterráneos, los que permiten acortar la brecha hídrica de interpretar solo el cruce de oferta y demanda. Además, es importante destacar que muchas de estas cuencas han experimentado diversas sequías intensas desde el año 2014, lo que puede no verse reflejado en un análisis de caudales que considera el periodo 1985-2015.

En vista de lo presentado anteriormente, es posible decir que hay cuencas que presentan brechas de información para el completo entendimiento de la situación hídrica. Mientras que, del resto de cuencas, se visualiza una situación más crítica en lo que respecta a recursos hídricos en la cuenca del Río Rapel (Código BNA 060). Esta selección se realizó considerando que se considerara con alguna estimación de la recarga subterránea, la situación hídrica futura sea crítica y que posean magnitudes de oferta y demanda de agua representativas, tal que su situación sea importante a nivel regional.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.1-3 Variación de indicadores de disponibilidad hídrica proyectada por año en la región de O'Higgins

4.2 BRECHAS ESTRATÉGICAS

De acuerdo a lo definido en la metodología para el presente estudio (Anexo B del Informe Nacional) se incluirán las siguientes brechas estratégicas:

- Brechas de información: brechas existentes que limiten la caracterización de la cuenca en los siguientes aspectos: ambiental, climáticos, hidrológicos, hidrogeológicos, calidad de aguas, infraestructura, nuevas fuentes existentes, coordinación y gestión hídrica.
- Brechas para la seguridad hídrica: corresponden a los desafíos de seguridad hídrica regional relacionados directa o indirectamente a la disponibilidad de agua, que dificulta el cumplimiento de los objetivos de seguridad hídrica. Las brechas estarán diferenciadas de acuerdo a las dimensiones de seguridad hídrica:
 - i) seguridad hídrica para el consumo humano, la salud y subsistencia,
 - ii) seguridad hídrica para el desarrollo económico,
 - iii) seguridad hídrica para la conservación y preservación de los ecosistemas, y
 - iv) seguridad hídrica que promueva la resiliencia frente a amenazas asociadas a sequías, crecidas y la prevención de la contaminación.

4.2.1 Brechas de Información

A continuación, se presentan algunas de las brechas de información identificadas durante el diagnóstico. Estas pueden estar vinculadas a información hídrica para la caracterización física de la región, las estimaciones de oferta-demanda o la caracterización de infraestructura.

Para caracterización de infraestructura:

- No se posee información en relación a las fuentes de abastecimiento de agua de entre un 11,8% y 24,5% de las viviendas rurales regional.
- Según los catastros de SSR existe una mayor población beneficiaria de agua potable rural que el total de habitantes rurales a nivel regional.
- No se posee información en relación al acceso a servicio de alcantarillado de alrededor de un 32,8% la población rural regional.
- Respecto a las cuencas Costeras Rapel - E. Nilahue (código 061), no se dispone de información específica sobre la calidad del agua, lo que resalta una notable brecha de información.
- No existen estudios o planes de reúso de aguas servidas.
- No se posee real conocimiento de la situación de acceso a la red de alcantarillado en las áreas rurales de la región, ya que los indicadores presentan sesgo de información

al dejar las comunas de Rancagua, Machalí, Peumo, Quinta de Tilcoco, Rengo, La Estrella, Litueche, Marchihue, Paredones y San Fernando fuera de análisis.

- Los catastros de SSR no se encuentran estandarizados y actualizados, aquellos perteneciente a la DOH presentan mayor número de SSR; no obstante, no aportan información en relación al saneamiento. Mientras que el listado de SSR de la SISS presenta información de saneamiento, pero los catastros se encuentran restringidos a aquellos SSR que poseen tarificación.
- No se cuenta con información actualizada sobre el estado de los canales de riego, lo cual podría llevar a una subestimación de la demanda hídrica.
- No se dispone de información detallada respecto al volumen embalsado de todos los embalses de la región. Esta falta de datos dificulta la evaluación precisa de la capacidad de almacenamiento hídrico disponible, así como la planificación efectiva para el manejo del recurso hídrico y la prevención de posibles crisis hídricas.
- Se identifica una serie de brechas de información entorno al funcionamiento y gestión de las obras de acumulación de aguas, lo que repercute en el mal funcionamiento y distribución del recurso hídrico.

Para caracterización de oferta-demanda

- Desconocimiento de los titulares de DAA.
- Déficit de estaciones y metodologías de muestreo de calidad de aguas.
- Bajo nivel de integración de datos e información proveniente del sector público y privado.
- Carencia de protocolo de validación de información proveniente de distintas fuentes, ya sea público o privado
- Se identifica déficit de estudios hidrogeológicos actualizados y de modelación de las cuencas de la región lo que permite conocer la disponibilidad hídrica, mejorar su distribución y uso considerando los niveles actuales de la cantidad del recurso en una situación de cambio climático y déficit hídrico.
- Falta de estudios con estimaciones de recarga
- La selección de un único GCM del Balance Hídrico Nacional como escenario desfavorable por región no permite realizar todos los análisis de la manera. Esto debido a que se seleccionó aquel GCM más desfavorable a nivel general y priorizando las cuencas más relevantes, pero pudiendo haber cuencas que no necesariamente corresponde al escenario más desfavorable. Además, existen limitaciones en estos GCM, aclarados en el mismo estudio del Balance Hídrico Nacional.
- Se reconoce una carencia de datos sobre los consumos reales de agua por parte de los principales sectores productivos en la región. Esta falta de información no solo dificulta la estimación de la demanda actual de agua, sino también dificulta la capacidad de proyectar de manera adecuada las necesidades futuras.

4.2.2 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.

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 la Tabla 4.2-1 se presentan las brechas estratégicas identificadas en la 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. La metodología será tratada en el Anexo B del Informe Nacional.

Tabla 4.2-1 Brechas Estratégicas de Consumo Humano por Cuenca Región del Libertador General Bernardo O’Higgins

Justificación regional	Brechas Estratégicas Generales	Brechas Estratégicas Específicas Regionales	Indicador	Rango	Clasificación (qué tan crítica es la brecha)	Río Maipo	Río Rapel	Costeras Rapel - E. Nilahue
Se demuestran periodos de sobreexplotación de recursos hídricos rurales de entre un 26% y 34%. Paradójicamente, se estima además que entre un 10,4% y un 10,8% de las viviendas rurales catastradas no acceden al agua potable, y que, la brecha de información abarca de entre el 11,8% y el 24,5% del total de viviendas rurales (ver acápite 2.2.1)	Población de localidades rurales desconcentradas y semiconcentrados sin servicios de agua potable	Insuficiente inversión en infraestructura básica de agua potable y alcantarillado en sectores deficitarios, lo que afecta el acceso seguro al agua para el consumo humano.	Porcentaje de cobertura de la red de agua potable rural respecto del total de viviendas de la cuenca.	Cobertura menor a o igual a 70% Cobertura mayor a 70% y menor a 85% Cobertura mayor o igual a 85	Alta =4 Media =2 Baja =1	4	4	4
Se estima que entre un 10% y 50% de la población rural no posee acceso a alcantarillado, presentándose además una brecha de información de entre el 11,8% y el 32,8% del total de población rural (ver acápite 3.1.1.4 ii)	Déficit en la cobertura del servicio de saneamiento y tratamiento en APR concentrados, semiconcentrados y desconcentradas	Falta de fortalecimiento de los Sistemas Sanitarios Rurales (SSR) y de mejoras en la infraestructura de saneamiento en áreas rurales, lo que dificulta el acceso continuo al agua potable. Ausencia de una red de monitoreo de la calidad del agua que asegure que el agua disponible cumpla con los estándares necesarios para el consumo humano.	Porcentaje de cobertura de la población saneada por alcantarillado rural o urbano respecto al total de la población de la comuna. Numero de estaciones de calidad de agua por cuenca	Cobertura menor a o igual a 30% o cuanta con menos de 20 estaciones de calidad de agua Cobertura mayor a 30% y menor a 50% o cuenta con más de 20 estaciones de calidad de agua Cobertura mayor o igual a 50%	Alta =4 Media =2 Baja =1	4	2	4
La proyección de la población rural de áreas con APR en las cuencas de la región del Libertador Bernardo O’Higgins, presenta un incremento en la población rural de un 15% para las cuencas Costeras Rapel – E. Nilahue (código BNA 061) y un 13% en las cuencas del Río Maipo (código BNA 057) y Río Rapel (código BNA 060) para el año 2055 respecto de la población actual. Para las áreas sin presencia de APR, se observa una proyección del 13% de aumento para el año 2055 en todas las cuencas presentes en la región. (ver acápite 2.2.2)	Aumento de la demanda de agua potable en áreas sin planificación y sin disponibilidad suficiente.	-	Tasa de migración en las comunas de la región (x1000)	Migración neta mayor o igual a 10 Migración neta menor a 10 y mayor a 0 Migración neta menor o igual a 0	Alta =4 Media =2 Baja =2	2	2	4
El mayor número de clientes de APU corresponde a clientes residenciales (96,4%), los que presentaron un incremento promedio de 0,3% en los últimos 10 años En base al comportamiento de la última década y las proyecciones de población del censo de población y vivienda, se observa un aumento de clientes y consumo de agua potable urbana en la región.	Aumento de la demanda de agua potable urbana asociada a un incremento de la población	-	Tasa de crecimiento Demanda Urbana promedio por cuenca ((Dda35 - Dda25)/Dda25) (acápite 2.2.1)	Alta Criticidad = Tasa de crecimiento mayor a 8% Alta Criticidad = Tasa de crecimiento menor a 8% y mayor a 4% Baja Criticidad = Tasa de crecimiento menor a 4%	Alta =4 Media =2 Baja =1	2	2	2
Para el año 2022 se estimó un promedio de pérdidas por distribución de un 42% a nivel regional; las pérdidas más altas se registraron en la localidad de Boca de Rapel, Coinco, La Punta y Quintal de Tilcoco (más de un 60% de pérdidas), mientras que solo las localidades de Navidad y Pichilemu se mantuvieron bajo un 20% de pérdidas. (ver Anexo 05.02 Demanda futura)	Deterioro en el sistema de distribución de agua potable (pérdidas)	Insuficiente inversión en infraestructura básica de agua potable y alcantarillado en sectores deficitarios, lo que afecta el acceso seguro al agua para el consumo humano.	Porcentaje de pérdidas por efecto de fugas	Pérdidas mayor o igual a 40% Pérdidas menor a 40 y mayor a 20% Pérdidas menor o igual a 20%	Alta =4 Media =2 Baja =1	4	4	2
Para la región del Libertador Bernardo O’Higgins, Essbio dio a conocer un plan de desalinización para combatir la sequía actual de la región. La finalidad del proyecto consiste en ampliar la capacidad de agua potable en la capital regional, Rancagua, y en el centro turístico Pichilemu. Dentro del proyecto se incluye la primera planta desalinizadora de la región en Pichilemu, emplazada en la cuenca Costeras Rapel – E. Nilahue, junto a la ampliación de red de alcantarillado y los sistemas de pretratamiento del municipio. Según lo que indica el MOP, este proyecto se licitará en el año 2026. Según la información recabada de la Asociación Chilena de Desalinización (ACADES, 2023), se señala la proyección de una planta operada por Desala, con una capacidad de 3000 L/s y de uso multipropósito, que se encontrará ubicada en la cuenca Costeras Rapel – E. Nilahue. Este proyecto es un ejemplo de los avances realizados en la región en la búsqueda de nuevas fuentes de abastecimiento de agua. Por otra parte, la cosecha de aguas lluvias es una medida que cuenta con diversos estudios para la región del Libertador Bernardo O’Higgins. El Gobierno Regional destaca la importancia y beneficios que tendría la cosecha de aguas lluvias para combatir la escasez de agua que enfrenta actualmente la Región. Dentro del Plan Regional de Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico al 2021, Región Libertador Bernardo O’Higgins (2012) menciona tres iniciativas de construcción de colectores de aguas lluvias para la cuenca del Río Rapel. En la página oficial de cambio climático, en el año 2020, INA realiza una licitación pública para la construcción de 326 sistemas de captación, acumulación y aprovechamiento de aguas lluvias para beneficio de agricultores de 8 comunas de la región ubicados dentro de las cuencas Río Rapel y Costeras Rapel – Estero Nilahue.	Insuficientes incentivos para uso de fuentes no convencionales de agua para el consumo humano a escalas relevantes	Falta de identificación y desarrollo de nuevas fuentes de agua para asegurar un suministro adecuado para el consumo humano, lo que compromete la seguridad hídrica a largo plazo en la región. Insuficiente implementación de tecnologías innovadoras, como plantas desalinizadoras y sistemas de captación de agua de niebla, que permitan diversificar las fuentes de agua disponibles y reducir la dependencia de fuentes tradicionales. Carencia de estudios exhaustivos de exploración y prospección hidrogeológica, necesarios para identificar nuevas fuentes de agua subterránea que puedan ser utilizadas para el consumo humano en áreas vulnerables.	Uso de fuentes no convencionales de agua en consumo humano	No existen proyectos para uso de fuentes no convencionales para consumo humano Se planifica la implementación de proyectos públicos multipropósito para uso de fuentes de agua no convencionales Existe al menos una obra multipropósito para el uso de fuentes no convencionales	Alta =4 Media =2 Baja =1	4	1	1

Fuente: Elaboración propia.

4.2.3 Brechas de seguridad para la producción sostenible y eficiencia hídrica

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.

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 la Tabla 4.2-2 se presentan las brechas estratégicas identificadas en la 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. La metodología será tratada en el Anexo B del Informe Nacional.

Tabla 4.2-2 Brechas Estratégicas de Desarrollo Económico por Cuenca Región del Libertador General Bernardo O’Higgins

Justificación regional	Brechas Estratégicas Generales	Brechas Estratégicas Específicas Regionales	Indicador	Rango	Clasificación (qué tan crítica es la brecha)	Río Maipo	Río Rapel	Costeras Rapel - E. Nilahue
En la región del Libertador Bernardo O’Higgins, la eficiencia de aplicación de riego promedio estimada para el año 2023 es del 72%. Esta eficiencia varía entre un 66% y un 75%, siendo la cuenca "Río Rapel" la que presenta el valor más bajo, y las cuencas “Costeras Rapel - E. Nilahue" el valor más alto. Aunque las eficiencias de aplicación de riego se sitúan en un nivel intermedio y no se observan disparidades significativas entre las cuencas, aún existen oportunidades para promover mejoras en la gestión del agua. Esto contribuiría a aumentar la productividad de los cultivos y mitigar los impactos del cambio climático (mayor detalle en Anexo 07.02)	Déficit en tecnificación del riego y modernización de sistemas de control de heladas.	Insuficiente tecnificación del riego en la agricultura, lo que impide mejorar la eficiencia del uso del agua y limita el potencial de reducir el consumo hídrico en el sector.	Eficiencia de aplicación de riego (%) (año 2023)	Eficiencia de riego ≤ 70% 60% < Eficiencia de riego < 70% Eficiencia de riego ≥ 70%	Alta =4 Media =2 Baja =1	1	2	1
En la región del Libertador Bernardo O’Higgins se identifican aproximadamente 5.900 km de canales, ubicados principalmente en la cuenca Río Rapel, donde se concentra aproximadamente el 93% de la red total. En otras cuencas de la región la presencia de canales es menor. Es fundamental mantener estos canales para minimizar las pérdidas de agua por filtración y evaporación, lo que a su vez mejora la eficiencia en la distribución del recurso hídrico (mayor detalle en Anexo 07.01).	Deterioro en el sistema de distribución de agua para riego.	-	Longitud total de canales de riego	Concentra más del 50% de los canales de la región. Concentra entre el 20 y el 50% de los canales de la región. Concentra menos del 20% de los canales de la región.	Alta =4 Media =2 Baja =1	1	4	1
Según la tendencia histórica, se prevé que la demanda hídrica agrícola en la región del Libertador Bernardo O’Higgins aumentará en un 32% para el año 2055. A pesar de que en los últimos 14 años se ha observado un cambio significativo hacia la reducción de la superficie dedicada a gran parte de los cultivos y un aumento significativo en la de viñas y parronales , los cuales muestran una mejor adaptación a condiciones de estrés hídrico en comparación con otros cultivos, aún es necesario, dadas las proyecciones, fomentar la investigación y el desarrollo de cultivos más resistentes a la sequía y menos dependientes del riego (mayor detalle en acápite 2.2.3 del estudio).	Aumento de la demanda de agua para riego debido a superficies de cultivo con uso intensivo de agua.	Insuficiente tecnificación del riego en la agricultura, lo que impide mejorar la eficiencia del uso del agua y limita el potencial de reducir el consumo hídrico en el sector.	Variación porcentual ponderada de la demanda hídrica agrícola (Periodo 2023-2055)	Variación ponderada de la demanda ≥ 20% 3% < Variación ponderada de la demanda < 20% Variación ponderada de la demanda ≤ 3%	Alta =4 Media =2 Baja =1	2	4	2
En la región del Libertador Bernardo O’Higgins, actualmente se identifican Juntas de Vigilancia (JV), Comunidades de Aguas Subterráneas (CAS), Comunidades de Aguas (CA) y Asociaciones de Canalistas (AC).	Descoordinación entre las instituciones con atribuciones en la gestión del agua de la cuenca (Juntas de vigilancia, organizaciones de usuarios, organismos del Estado, etc.).	Falta de fortalecimiento en las capacidades de las Organizaciones de Usuarios de Aguas (OUA), afectando su capacidad para gestionar eficientemente el recurso hídrico y optimizar la distribución del agua.	Presencia de OUAs	No hay presencia de OUAs o solo CA/AC Presencia de CAS o JV Presencia de JV y CAS	Alta =4 Media =2 Baja =1	2	1	4
En la región del Libertador Bernardo O’Higgins, la industria manufacturera y la minería destacan como las principales actividades económicas que demandan recursos hídricos. Se proyecta que para el año 2055, la demanda total de agua por estas actividades aumentará en un 74% con respecto a los niveles del año 2023. Ante este panorama, resulta imprescindible implementar tecnologías innovadoras y eficientes para una gestión sostenible del recurso hídrico (mayor detalle en acápites 2.2.5 y 2.2.6 del estudio).	Déficit de modernización de tecnologías y optimización del uso a través de equipos y procesos para la eficiencia hídrica en la producción minera e industrial	-	Variación porcentual ponderada de la demanda hídrica de los principales sectores productivo. (mayor aporte de PIB Regional) (Sector industrial y minero, periodo 2023-2055)	Variación ponderada de la demanda ≥ 70% 30% < Variación ponderada de la demanda < 70% Variación ponderada de la demanda ≤ 30%	Alta =4 Media =2 Baja =1	1	4	1
En la región del Libertador Bernardo O’Higgins, la eficiencia de aplicación de riego promedio estimada para el año 2023 es del 72%. Esta eficiencia varía entre un 66% y un 75%, siendo la cuenca "Río Rapel" la que presenta el valor más bajo, y las cuencas “Costeras Rapel - E. Nilahue" el valor más alto. Aunque las eficiencias de aplicación de riego se sitúan en un nivel intermedio y no se observan disparidades significativas entre las cuencas, aún existen oportunidades para promover mejoras en la gestión del agua. Esto contribuiría a aumentar la productividad de los cultivos y mitigar los impactos del cambio climático (mayor detalle en Anexo 07.02)	Disminución de aportes superficiales a obras de acumulación.	-	Disminución de la oferta hídrica superficial (Periodo 2025-2055).	Disminución de la oferta hídrica superficial ≥ 25% 10 % < variación de la oferta hídrica superficial <25% Disminución de la oferta hídrica superficial ≤ 10%	Alta =4 Media =2 Baja =1	2	1	4
En la región del Libertador Bernardo O’Higgins se han implementado obras multipropósito destinadas a garantizar el suministro de agua mediante fuentes no convencionales, así como proyectos futuros en esta línea. Estas obras abarcan la instalación de desaladoras y cosecha de aguas lluvias, distribuidas, según los antecedentes disponibles, en las principales cuencas de la región. En las demás cuencas, no se han identificado obras en funcionamiento ni proyectos futuros hasta el momento (mayor detalle en acápite 3.1.1.6 del estudio).	Insuficientes incentivos para uso de fuentes no convencionales de agua para el desarrollo de actividades productivas a escalas relevantes.	Insuficiente implementación de tecnologías avanzadas y estrategias de recarga de acuíferos, lo que limita la diversificación y sostenibilidad de los recursos hídricos para riego en períodos críticos. Deficiencia en la mejora de la infraestructura existente para riego agrícola y en el desarrollo de nuevas fuentes de agua, lo que compromete la disponibilidad y acceso al agua en el sector agrícola.	Presencia de obras o proyectos multipropósito para el abastecimiento de agua desde fuentes no convencionales	No se identifican proyectos para uso de fuentes no convencionales. Se planifica la implementación de proyectos multipropósito para uso de fuentes de agua no convencionales. Existe al menos una obra multipropósito para el uso de fuentes no convencionales.	Alta =4 Media =2 Baja =1	4	1	1

Fuente: Elaboración propia

4.2.4 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 comprometiera 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.

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 la Tabla 4.2-3 se presentan las brechas estratégicas identificadas en la región y su clasificación 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. La metodología será tratada en el Anexo B del Informe Nacional.

Tabla 4.2-3 Brechas Estratégicas de conservación y preservación de los ecosistemas, por Cuenca Región del Libertador General Bernardo O’Higgins

Justificación regional	Brechas Estratégicas Generales	Brechas Estratégicas Específicas Regionales	Indicador	Rango	Clasificación (qué tan crítica es la brecha)	Río Maipo	Río Rapel	Costeras Rapel - E. Nilahue
Una práctica agrícola que no prioriza la eficiencia en el uso de agroquímicos, conduce a la contaminación del suelo, agua y aire, así como a la generación de pasivos ambientales. El uso responsable de agroquímicos es fundamental para mitigar los impactos ambientales de la agricultura. Además, la región de O'Higgins es conocida por su intensiva actividad agrícola, lo que incrementa los riesgos de contaminación ambiental debido al uso extensivo de agroquímicos.	Escaso manejo de contaminantes y pasivos ambientales en agricultura	Falta de un marco normativo y de planificación sólido que garantice la protección del medio ambiente y la sostenibilidad de los recursos naturales, especialmente en sectores como la agricultura y la minería.	Parámetro nitrato en la cuenca	Sobre el límite permitido de 50 mg/L=Alta criticidad. Entre 40 a 50 mg/L=Media criticidad. Bajo 40 mg/L=baja criticidad	Alta =4 Media =2 Baja =1	1	4	1
El deterioro de la calidad de agua debido a las descargas de aguas servidas en el área urbana y rural es una situación que se agrava con la escasez hídrica de la región. Debido a que Rancagua y sus alrededores son altamente poblados, las descargas de aguas servidas afectan tanto a las áreas urbanas como rurales. Además, la escasez hídrica es una característica notable de la región debido a la alta demanda del agua urbana y agrícola. Brechas Estratégicas: Deterioro de la calidad de aguas debido a las descargas de aguas servidas desde localidades rurales sin servicios de saneamiento.	Deterioro de la calidad de aguas debido a las descargas de aguas servidas desde localidades rurales sin servicios de saneamiento	-	Cobertura de alcantarillado	70% de cobertura o inferior=Alta criticidad. 70 al 90%=Media criticidad. Sobre el 90%=Baja criticidad	Alta =4 Media =2 Baja =1	4	4	4
Se presenta un alto riesgo de contaminación de las aguas por parte del sector industrial y minero debido al incremento significativo en la demanda hídrica del sector minero, especialmente en áreas con relaves mineros abandonados. La región de O'Higgins tiene una notable actividad minera, con influencias que se visualizan en la cuenca del Río Rapel y otras áreas con actividad minera.	Riesgos de contaminación de las aguas por parte de sector industrial y minero asociado a eventos de crecidas e inundaciones	Falta de un marco normativo y de planificación sólido que garantice la protección del medio ambiente y la sostenibilidad de los recursos naturales, especialmente en sectores como la agricultura y la minería.	Relaves en desuso en la Cuenca, el caso de Minería. En el caso de industrial, si es el caso que predomina en la región el indicador son los efluentes que generan alerta de contaminación de acuerdo a las fiscalizaciones	Mas de 10 relaves abandonados o efluentes reportados=Alta criticidad. Entre 5 a 10 relaves o efluentes reportados= Media criticidad. Menor a 5 relaves abandonados o efluentes reportados =Baja criticidad.	Alta =4 Media =2 Baja =1	4	4	1
La región presenta un uso intensivo de sus recursos naturales, con fines agrícolas, mineros e industriales. Esto afecta a los ecosistemas acuáticos, agravado por la variabilidad climática y los flujos hidrológicos, que tiene consecuencias en la calidad de agua y en la biodiversidad de los ecosistemas. Esta presión es especialmente significativa en O'Higgins debido al crecimiento urbano en torno a Rancagua.	Ecosistemas adyacentes a sistemas acuáticos afectadas por cambio de uso de suelo o uso productivo intensivo	-	Nivel de cambio de uso de suelo basado en observaciones y análisis cualitativo de los mapas disponibles.	Alta criticidad: Observación de un cambio significativo y extenso de suelo natural a usos antropogénicos (ej. grandes áreas de deforestación, urbanización masiva). Media criticidad: Observación de un cambio moderado de suelo natural a usos antropogénicos (ej. expansión agrícola, crecimiento urbano moderado). Baja criticidad: Observación de un cambio leve o nulo de suelo natural a usos antropogénicos (ej. áreas protegidas, conservación predominante).	Alta =4 Media =2 Baja =1	4	4	2
La ausencia de normas secundarias de calidad ambiental en las aguas superficiales no permite que se restablezca la calidad de aguas de los cuerpos lacustres y humedales con problemas de eutrofización. Para una gestión sostenible, se debe avanzar en normativa específica en protección ambiental más allá de la protección de la salud humana (normas primarias de calidad ambiental). En este sentido, en la región, esto podría afectar a lagunas y humedales urbanos como el Estero Las Cruces.	Ausencia de norma secundaria de calidad de aguas superficiales	-	Existencia de Norma Secundaria de Aguas Superficiales	Alta criticidad: Cuenta con Norma Secundaria de Aguas Superficiales Media criticidad: No Cuenta con Norma Secundaria de Aguas Superficiales	Alta =4 Media =2 Baja =1	2	4	2
La falta de normas secundarias de aguas subterráneas es fundamental para prevenir la contaminación de los acuíferos, que cobran más importancia en zonas agrícolas sin otra fuente de abastecimiento. Aunque esta región cuenta con más recursos económicos, la falta de normas secundarias sigue siendo una preocupación especialmente en los acuíferos que abastecen a la región.	Ausencia de norma secundaria de calidad de aguas subterráneas (OCDE, 2016)	-	Existencia de Norma Secundaria de Aguas Subterráneas	Alta criticidad: Cuenta con Norma Secundaria de Aguas Subterráneas Media criticidad: No Cuenta con Norma Secundaria de Aguas Subterráneas	Alta =4 Media =2 Baja =1	2	4	2
Aunque en esta región hay más inversión e infraestructura avanzada para realizar monitoreo y comparado con regiones menos desarrolladas, la frecuencia en el monitoreo sigue siendo un desafío importante, además de otros desafíos técnicos.	Deficiente monitoreo de parámetros relevantes de calidad de aguas e hidrometría	Insuficiente participación de diversos agentes en la integración de políticas sectoriales, y falta de estudios, planes de monitoreo, educación y difusión sobre la calidad del agua, lo que impide una gestión más inclusiva y eficiente de los recursos naturales. Deficiencia en la implementación de sistemas de monitoreo que evalúen continuamente la calidad del suelo, agua y otros recursos naturales, afectando el cumplimiento de las normativas ambientales y la sostenibilidad.	Número de parámetros monitoreados, información disponible en línea de la página de la Dirección General de Aguas (se seleccionan los últimos 6 años de periodo)	Alta criticidad: Menos del 50% de los parámetros necesarios monitoreados. Media criticidad: Entre 50% y 75% de los parámetros necesarios monitoreados. Baja criticidad: Más del 75% de los parámetros necesarios monitoreados.	Alta =4 Media =2 Baja =1	2	2	4

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.2-4 Brechas Estratégicas de conservación y preservación de los ecosistemas, por Cuenca Región del Libertador General Bernardo O’Higgins (continuación)

La pérdida de la capacidad natural de los ecosistemas para mejorar la calidad ambiental de las aguas superficiales se debe principalmente a la insuficiencia del caudal ambiental necesario para la mantención de humedales ribereños. Estos humedales, ubicados en zonas medias y altas de las cuencas, son cruciales para la regulación y purificación del agua, y su deterioro afecta directamente la calidad del agua superficial.	Pérdida de capacidad natural de los ecosistemas para mejorar la calidad ambiental de las aguas y mantener servicios ecosistémicos	Carencia de proyectos de restauración de ecosistemas que contribuyan a la resiliencia climática y la conservación de la biodiversidad, lo que impide el cumplimiento del caudal ecológico y de las normas de calidad de aguas. Falta de investigación y capacitación en la conservación de la biodiversidad y en prácticas productivas sustentables, lo que dificulta la adopción de soluciones innovadoras y sostenibles para enfrentar los efectos del cambio climático.	Indice Compuesto de Criticidad Ambiental=Valor de Calidad del Agua+Valor de Criticidad de Humedales	Buena calidad (1): Agua dentro de los límites de las normas chilenas. Regular calidad (2): Agua con algunos contaminantes, pero dentro de la mayoría de las normas. Mala calidad (3): Agua que supera las normas chilenas en varios puntos de monitoreo. Insuficiente información (4): Falta de datos suficientes para evaluar la calidad del agua. Alta criticidad (3): Proporción de humedales protegidos < 5% No aplica (4): Sin áreas protegidas de humedales (indicador calculado abajo)	Alta =4 Media =2 Baja =1	2	4	1
Los humedales son ecosistemas cruciales que proporcionan numerosos servicios ecosistémicos como la regulación del agua, retención de sedimentos, recarga de acuíferos y conservación de la biodiversidad. La degradación y pérdida de estos servicios debido a la insuficiencia del caudal ambiental amenaza el medio ambiente y el bienestar humano. La reciente Ley de Humedales busca abordar esta problemática, pero su implementación aún es limitada y se enfrenta a desafíos legales y prácticos.	Degradación y pérdida de servicios ecosistémicos provistos por humedales, salares u otro tipo de ecosistema acuático	Carencia de proyectos de restauración de ecosistemas que contribuyan a la resiliencia climática y la conservación de la biodiversidad, lo que impide el cumplimiento del caudal ecológico y de las normas de calidad de aguas. Falta de investigación y capacitación en la conservación de la biodiversidad y en prácticas productivas sustentables, lo que dificulta la adopción de soluciones innovadoras y sostenibles para enfrentar los efectos del cambio climático.	Cobertura de Protección de humedales = Superficie de Humedales Protegidos / Superficie Total de Humedales en la Cuenca. Considera cualquier tipo de Humedal informado en shape oficial de Ministerio de Medio Ambiente.	Alta Criticidad (4): Porcentaje de Protección < 5% Media Criticidad (2): 5% ≤ Porcentaje de Protección < 25% Baja Criticidad (1): Porcentaje de Protección ≥ 25%	Alta =4 Media =2 Baja =1	4	4	4

Fuente: Elaboración propia.

4.2.5 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.

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 la Tabla 4.2-5 se presentan las brechas estratégicas identificadas en la 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. La metodología será tratada en el Anexo B del Informe Nacional.

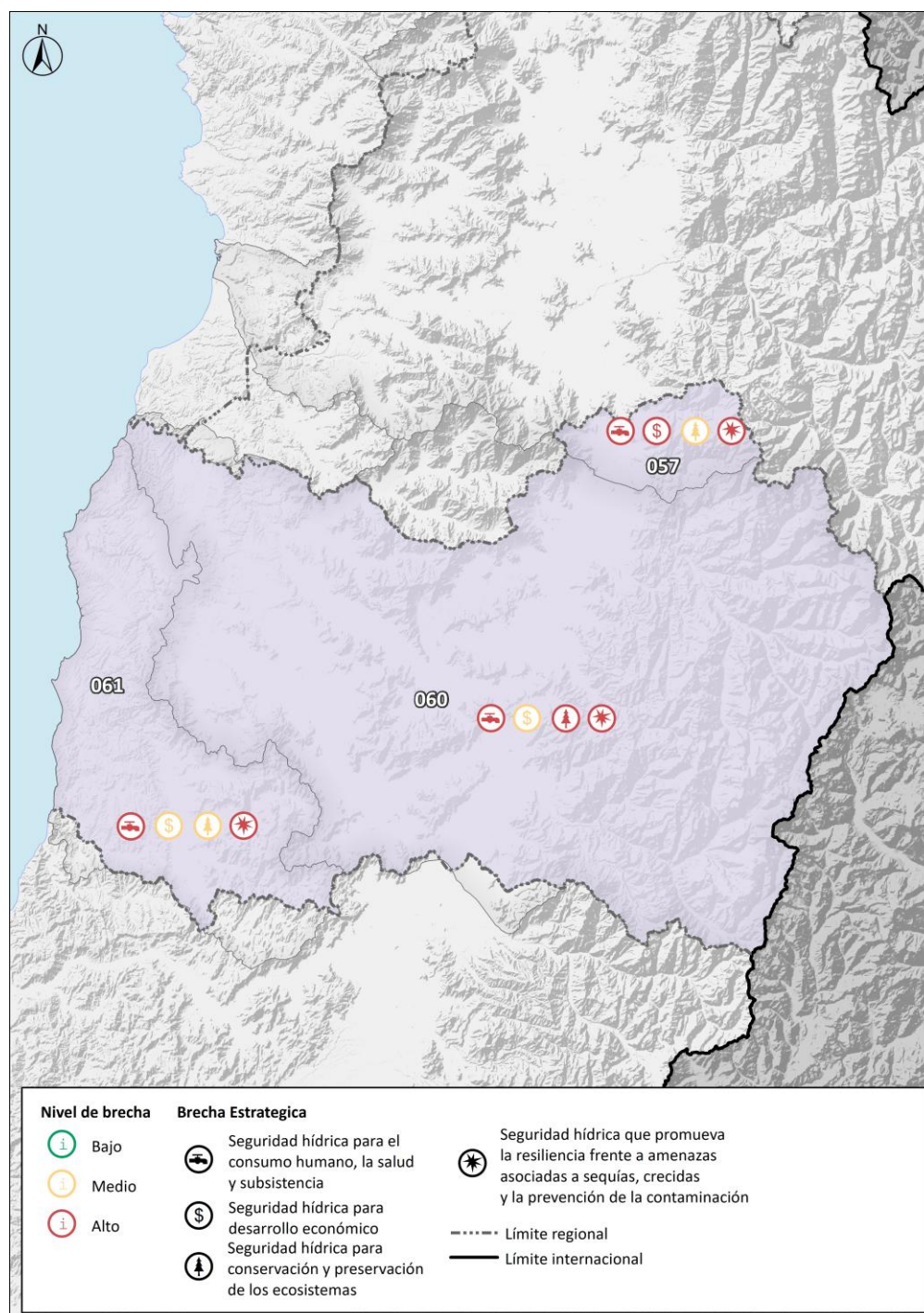
Tabla 4.2-5 Brechas Estratégicas resiliencia frente a amenazas asociadas a eventos extremos por Cuenca Región del Libertador General Bernardo O’Higgins

Justificación regional	Brechas Estratégicas Generales	Brechas Estratégicas Específicas Regionales	Indicador	Rango	Clasificación (qué tan crítica es la brecha)	Río Maipo	Río Rapel	Costeras Rapel - E. Nilahue
Dentro de la región se encuentran dos planes maestros de drenaje de aguas lluvia para las comunas de Rancagua y Machalí.	Baja efectividad de sistemas de drenaje de aguas lluvia	Carencia de obras de infraestructura resiliente, como diques, drenajes y sistemas de captación de agua, para mitigar los efectos de eventos climáticos extremos como inundaciones, sequías y deslizamientos de tierra, lo que aumenta la vulnerabilidad de la población y la infraestructura. Falta de identificación y diseño de medidas de solución efectivas para disminuir la vulnerabilidad de la población y las actividades productivas frente a amenazas naturales, afectando la seguridad y sostenibilidad a largo plazo.	Variación porcentual de las precipitaciones históricas y su proyección a eventos extremos (acápite 2.3.2)	Variación porcentual sobre 20% de Pp24 en eventos extremos Variación porcentual entre 1 y 20% de Pp24 en eventos extremos Variación porcentual bajo el 1% de Pp24 en eventos extremos	Alta =4 Media =2 Baja =1	4	2	2
Dentro de la región no se identifican obras de infraestructura de contención fluvial, manejo de crecidas, entre otros. Por otra parte, se observa que desde las fuentes analizadas en el acápite 3.1.1.7 se hace un llamado a la aplicación de estudios y construcción de infraestructura de resiliencia	Aumento del impacto de eventos de crecida asociado a precipitaciones intensas.	Carencia de obras de infraestructura resiliente, como diques, drenajes y sistemas de captación de agua, para mitigar los efectos de eventos climáticos extremos como inundaciones, sequías y deslizamientos de tierra, lo que aumenta la vulnerabilidad de la población y la infraestructura. Falta de identificación y diseño de medidas de solución efectivas para disminuir la vulnerabilidad de la población y las actividades productivas frente a amenazas naturales, afectando la seguridad y sostenibilidad a largo plazo.	Variación porcentual de las precipitaciones históricas y su proyección en relación a la densidad poblacional de la cuenca. Se incluye la ocurrencia de eventos de inundación o aluvionales por cuenca (acápite 2.3.2)	Densidad poblacional >= 100 h/km2 y alta/media variabilidad porcentual de pp u Ocurrencia Histórica de eventos de inundación o aluvión. Densidad poblacional entre > 10h/km2 y <100 h/km2 y media variabilidad porcentual de pp Densidad poblacional <10h/km2 y alta/media variabilidad porcentual de pp	Alta =4 Media =2 Baja =1	4	4	4
Dentro de la región no se identifican obras de infraestructura de contención fluvial, manejo de crecidas, entre otros. Por otra parte, se observa que desde las fuentes analizadas en el acápite 3.1.1.7 se hace un llamado a la aplicación de estudios y construcción de infraestructura de resiliencia	Aumento del impacto por eventos de deslizamientos de tierra sobre infraestructura y poblaciones.	Carencia de obras de infraestructura resiliente, como diques, drenajes y sistemas de captación de agua, para mitigar los efectos de eventos climáticos extremos como inundaciones, sequías y deslizamientos de tierra, lo que aumenta la vulnerabilidad de la población y la infraestructura. Falta de identificación y diseño de medidas de solución efectivas para disminuir la vulnerabilidad de la población y las actividades productivas frente a amenazas naturales, afectando la seguridad y sostenibilidad a largo plazo.	Variación porcentual de las precipitaciones históricas y su proyección en relación a la densidad poblacional de la cuenca	Densidad poblacional >= 100 h/km2 y alta/media variabilidad porcentual de pp Densidad poblacional entre > 10h/km2 y <100 h/km2 y media variabilidad porcentual de pp Densidad poblacional <10h/km2 y alta/media variabilidad porcentual de pp	Alta =4 Media =2 Baja =1	2	4	2

Fuente: Elaboración propia

4.2.6 Resumen de brechas estratégicas

En la Figura 4.2-1 se presenta un resumen de las brechas estratégicas identificadas en la región y clasificadas para cada cuenca según el grado de criticidad de dicha brecha.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.2-1 Resumen de Brechas Estratégicas por Cuenca Región del Libertador General Bernardo O'Higgins

4.3 BRECHAS DE INFRAESTRUCTURA

En este acápite se presenta las brechas relativas a las obras de infraestructura hídrica, para lo cual se exponen tres elementos estructurantes que permiten ensamblar y clasificar la información del diagnóstico e infraestructura, conocida como matriz para el contexto de decisión (OAI): primero se presentan las visiones y objetivos estratégicos de la región (O); luego, las acciones que existen para lograr dichos objetivos, presentados a través de los requerimientos actuales y proyectados de infraestructura por tipo de demanda (A); y finalmente, las incertidumbres que pudiesen afectar la implementación de dichas acciones, ya sean legales, institucionales, de planificación, ambientales o socioculturales (I). Finalmente, se describen las interacciones y relaciones entre dichos elementos.

4.3.1 Desarrollo matriz OAI

Objetivos

A continuación, se presentan los objetivos estratégicos específicos vinculados a las dimensiones estratégicas a nivel nacional:

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

- Fomentar el desarrollo productivo de la región a través de la disponibilidad y acceso al agua para riego agrícola mediante la mejora de la infraestructura existente y el desarrollo de nuevas fuentes de agua. Esto incluye la construcción de obras que permitan gestionar el recurso hídrico de manera eficiente, la implementación de estrategias para la recarga de acuíferos, y el uso de tecnologías avanzadas como la captación de agua de niebla o de canaletas de relaves. Además, se busca aumentar la seguridad de riego en periodos críticos en el sector Cachapoal y en la cuenca del río Claro, expandir la superficie cultivable en el área del Río Peuco y optimizar el uso de tranques existentes en la región.
- Desarrollar y aplicar una gestión sostenible y eficiente del sector productivo a través de la tecnificación del riego y al fortalecimiento de las capacidades de los diversos usuarios del agua para un manejo eficiente de los recursos hídricos, a través de programas de formación con un enfoque en las técnicas de riego eficiente y gestión sostenible principalmente para la mediana y pequeña agricultura. Por otra parte, se impulsará la investigación y la adaptación a la incorporación de nuevas tecnologías y cultivos, afrontando de manera óptima los efectos del cambio climático.

Dimensión para la producción sostenible y eficiencia hídrica

- Garantizar el acceso sostenible al agua potable y al saneamiento adecuado principalmente en áreas rurales mediante el fortalecimiento de los Sistemas Sanitarios Rurales y el desarrollo de una infraestructura hídrica robusta. Esta infraestructura no solo debe asegurar la disponibilidad del recurso hídrico, sino también garantizar su calidad. Para lograr esto, se priorizará la construcción de obras de captación y almacenamiento de agua, así como la implementación de una red de monitoreo que asegure el cumplimiento de los estándares necesarios para promover la salud y el bienestar de la población.
- Asegurar el suministro adecuado de agua para el consumo humano a través de la construcción y mejoras en la infraestructura hídrica, como también a través de la identificación y desarrollo de nuevas fuentes hídricas mediante tecnologías innovadoras, como plantas desalinizadoras y sistemas de captación de agua de niebla, para diversificar las fuentes disponibles. Para este propósito se requiere además de la realización de estudios de exploración y prospección hidrogeológica que permita identificar nuevas fuentes subterráneas que puedan ser utilizadas de manera sostenible.

Dimensión para la conservación y preservación de los ecosistemas

- Proteger y restaurar los ecosistemas locales mediante la implementación de infraestructura y prácticas de gestión resilientes al cambio climático. Esto incluye fomentar el uso de soluciones naturales para la gestión de recursos hídricos y la conservación de la biodiversidad, así como diseñar y construir infraestructuras que se adapten a los efectos del cambio climático, minimizando su impacto ambiental y asegurando su funcionalidad a largo plazo. Además, se promoverán proyectos de restauración de ecosistemas que contribuyan tanto a la resiliencia climática como a la preservación de la biodiversidad.
- Establecer un marco normativo y de planificación que garantice la protección del medio ambiente y la sostenibilidad de los recursos naturales a través de la creación y aplicación de regulaciones que protejan los recursos naturales, cauces, humedales costeros, lacustres y fluviales y promuevan prácticas sostenibles en los sectores productivos, principalmente en la agricultura y la minería. Para ello es de suma importancia la implementación de sistemas de monitoreo de calidad de suelo, agua y otros recursos asegurando el cumplimiento de las normativas ambientales.

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

- Minimizar los riegos provocados por el cambio climático y la vulnerabilidad de la población e infraestructura ante eventos extremos como inundaciones, sequías y aluviones a través del desarrollo de obras de infraestructura de drenaje, contención y

sistemas de captación de aguas que ayuden a mitigar los eventos, mientras que, también se promoverá la realización de programas de capacitación a la comunidad con un enfoque de preparación y respuesta ante eventos climáticos.

Acciones o iniciativas 2010-2022

En análisis de las iniciativas estratégicas de inversión en la región de O'Higgins (ver acápite 3.1.2) se identificaron un total de 141 iniciativas entre 2010 y 2022, distribuidas en conservación de recursos hídricos, consumo humano, desarrollo económico y resiliencia ante eventos extremos. Las iniciativas de infraestructura hídrica estructural corresponden, principalmente, a redes hidrométricas, producción y distribución de agua potable y tratamiento de aguas servidas, defensa fluvial y aluvional, infraestructura de riego, infraestructura de distribución de agua, obras de acumulación de agua y redes de aguas lluvias. Cabe señalar que, en el caso de las iniciativas regionales, se han aplicado para todas las cuencas de la región.

Con el objetivo de vincular las iniciativas catastradas, con los objetivos estratégicos regionales, se presentan en la Tabla 4.3-1 y Tabla 4.3-2 las tipologías de iniciativas y las medidas asociadas que potencialmente podrían ayudar a alcanzar los objetivos estratégicos.

Tabla 4.3-1 Tipología de iniciativas asociadas a resolver brechas estratégicas en la región del Libertador Bernardo O'Higgins

Objetivos y problemas identificados en la región (O)		Tipo de iniciativas necesarias para alcanzar objetivos (A)		
Dimensión estratégica	Objetivos regionales específicos	Infraestructura estructural	Infraestructura no estructural	Medidas de Gestión
Hídrica Nacional	D1. Derecho humano al agua, saneamiento y consumo humano de subsistencia	Producción-distribución de agua potable	Estudio hidrogeológico disponibilidad hídrica	Creación de capital humano Planes y políticas
		Saneamiento y tratamiento de aguas servidas	Estudios de saneamiento	Creación de capital humano Planes y políticas
		Captación de aguas	Estudios para abastecimiento de agua potable	Reservas de agua Planes y políticas Análisis situación legal DAA
		Captación de aguas	Reservas y áreas de protección de recursos hídricos Estudios para abastecimiento de agua potable	
		Infraestructura de distribución de agua	Estudio obras de distribución de aguas	
		Desalinización Reúso de aguas residuales (grises/servidas/lluvia) Recarga artificial de acuíferos	Estudios de desalación Estudio de reúso de aguas Estudios de aguas lluvias Estudio obras de recarga artificial de acuíferos	Manejo de normas ambientales e hídricas Planes y políticas
D2. Producción sostenible y eficiencia hídrica	Asegurar la disponibilidad y acceso al agua para riego agrícola mejorando la infraestructura existente y desarrollando nuevas fuentes. Implementar tecnologías avanzadas y estrategias de recarga de acuíferos para diversificar y sustentar los recursos hídricos. Incrementar la seguridad y capacidad de riego, especialmente en períodos críticos, y ampliar las superficies agrícolas. Desarrollar la región como potencia agroalimentaria mediante la innovación, fortalecimiento del capital humano y buenas prácticas agrícolas que promuevan la sustentabilidad y la eficiencia en el manejo de recursos naturales.	Obras de acumulación de agua Trasvase de aguas	Reglas de operación para embalses Estudios obras de acumulación de agua	Creación de capital humano Análisis situación legal DAA Fortalecimiento y formalización de OUA Planes y políticas
		Desalinización Reúso de aguas residuales (grises/servidas/lluvia) Recarga artificial de acuíferos	Estudios de desalación Estudio de reúso de aguas Estudios de aguas lluvias Estudio obras de recarga artificial de acuíferos	Manejo de normas ambientales e hídricas Planes y políticas
	Mejorar la eficiencia del uso del agua en la agricultura a través de la tecnificación del riego y fortalecer las capacidades de los usuarios. Promover la adopción de sistemas de riego avanzados y capacitar a las Organizaciones de Usuarios de Aguas (OUA) para gestionar eficientemente el recurso hídrico. Desarrollar programas de formación en riego eficiente y sostenible, reducir el consumo de agua, formalizar las OUA y optimizar la distribución del agua. Apoyar la innovación y fortalecer el capital humano para desarrollar la región como un líder agroalimentario sostenible.	Infraestructura de riego	Estudios para la conservación obras de riego Estudio sistemas de riego	Creación de capital humano Análisis situación legal DAA
		Infraestructura de distribución de agua	Estudio obras de distribución de aguas	Creación de capital humano Análisis situación legal DAA
		Captación de aguas	Incentivos para el recambio cultivos de menor requerimiento hídrico Estudio hidrológico o hidrogeológico para disponibilidad hídrica	Campañas para el recambio cultivos de menor requerimiento hídrico
			Diagnóstico de OUA y DAA	Creación de capital humano Análisis situación legal DAA Fortalecimiento y formalización de OUA Planes y políticas
		Redes hidrométricas y telemedición	Análisis de red hidrométrica y plataformas de información	Creación de capital humano

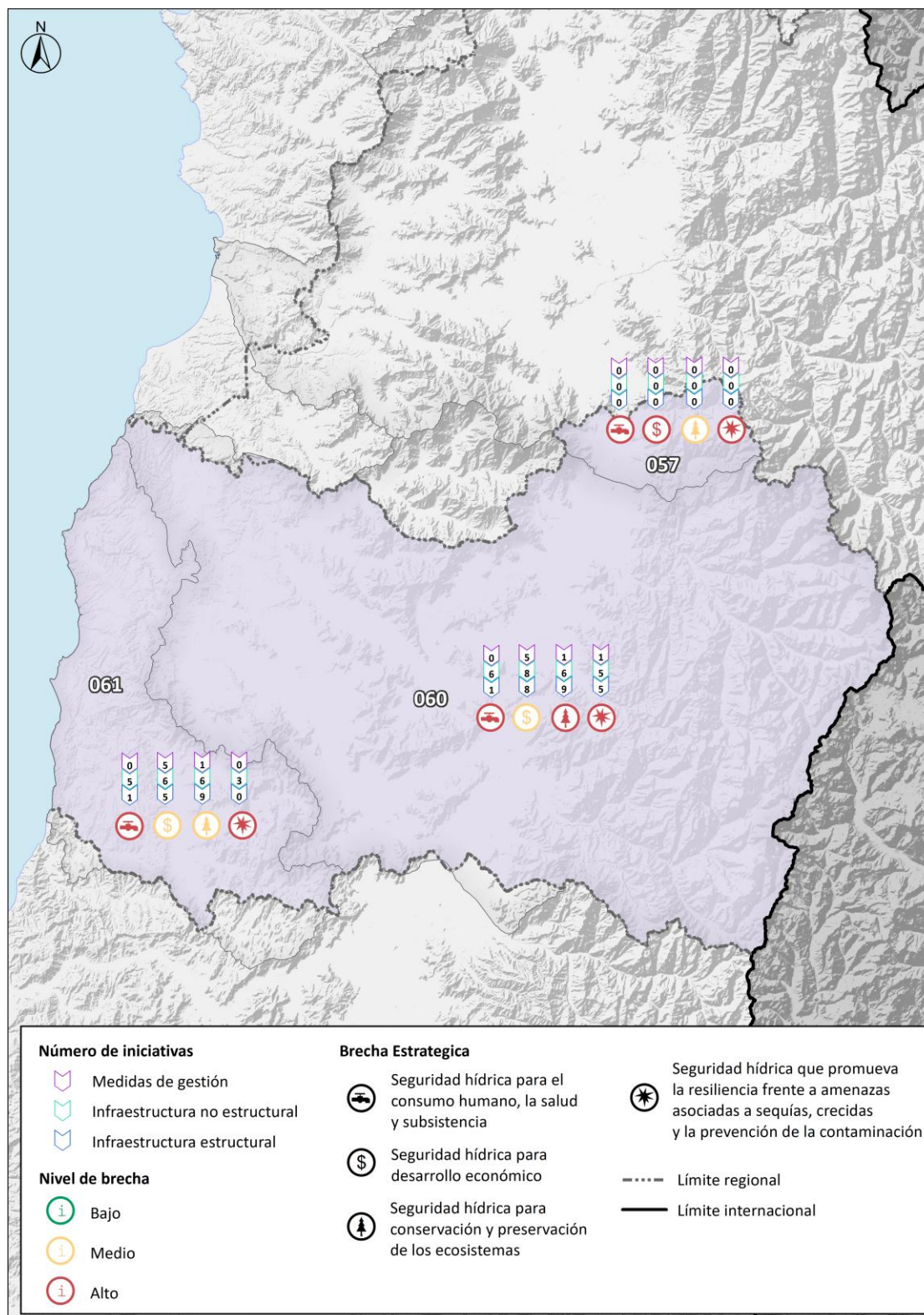
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.3-2 Tipología de iniciativas asociadas a resolver brechas estratégicas en la región del Libertador Bernardo O'Higgins (continuación)

Objetivos y problemas identificados en la región (O)		Tipo de iniciativas necesarias para alcanzar objetivos (A)		
Dimensión estratégica Seguridad Hídrica Nacional	Objetivos regionales específicos	Infraestructura estructural	Infraestructura no estructural	Medidas de Gestión
D3. Conservación y preservación de los ecosistemas	Establecer un marco normativo y de planificación que garantice la protección del medio ambiente y la sostenibilidad de los recursos naturales. Crear y aplicar regulaciones que protejan los recursos naturales y fomenten prácticas sostenibles en sectores como la agricultura y la minería. Implementar sistemas de monitoreo para evaluar continuamente la calidad del suelo, el agua y otros recursos naturales, asegurando el cumplimiento de las normativas ambientales. Realizar investigaciones sobre la calidad y uso del suelo para informar prácticas agrícolas sostenibles y promover una gestión territorial eficaz de los derechos de aprovechamiento del agua. Fortalecer la red de monitoreo del recurso hídrico, tanto superficial como subterráneo, para asegurar su disponibilidad y calidad. Además, regular sitios prioritarios como humedales y glaciares, generar instrumentos para la mitigación y adaptación al cambio climático, promover la participación de diversos agentes en la integración de políticas sectoriales, y aumentar los estudios y planes de monitoreo, educación y difusión sobre la calidad del agua.	Reúso de aguas residuales	Estudio calidad de agua sup. y subt. Estudios contaminación de aguas	Manejo riesgos de contaminación de aguas
		Saneamiento y tratamiento de aguas servidas	Estudio calidad de agua sup. y subt. Estudios contaminación de aguas	Creación de capital humano Manejo riesgos de contaminación de aguas
		Reúso de aguas residuales	Estudio calidad de agua sup. y subt. Estudios contaminación de aguas	Manejo de normas ambientales e hídricas Manejo riesgos de contaminación de aguas
	Proteger y restaurar los ecosistemas locales, asegurando que la infraestructura y las prácticas de gestión sean resilientes al cambio climático. Fomentar el uso de soluciones naturales para la gestión de recursos hídricos y la conservación de la biodiversidad. Diseñar y construir infraestructuras que se adapten a los efectos del cambio climático, minimizando su impacto ambiental y asegurando su funcionalidad a largo plazo. Promover proyectos de restauración de ecosistemas que contribuyan a la resiliencia climática y a la conservación de la biodiversidad, asegurando el cumplimiento del caudal ecológico y las normas de calidad de aguas. Además, fomentar la investigación y capacitación para la conservación de la biodiversidad y promover prácticas productivas sustentables.		Estudio calidad de agua sup. y subt. Estudios contaminación de aguas	Manejo de normas ambientales e hídricas Manejo riesgos de contaminación de aguas Reservas de agua
		Redes hidrométricas y telemedición	Análisis de red hidrométrica y plataformas de información	Manejo de normas ambientales e hídricas Manejo riesgos de contaminación de aguas Creación de capital humano Planes y políticas
		Conservación y restauración de riberas y cauces	Conservación y restauración de riberas y cauces	Manejo de normas ambientales e hídricas Manejo riesgos de contaminación de aguas Reservas de agua
		Conservación y restauración de riberas y cauces	Conservación y restauración de riberas y cauces Comportamiento morfodinámico e hidrodinámico de humedales	Manejo de normas ambientales e hídricas Reservas de agua Planes y políticas
	D4. Resiliencia frente a amenazas asociadas a sequías, crecidas y la prevención de la contaminación	Minimizar el riesgo y la vulnerabilidad de la población y la infraestructura ante eventos climáticos extremos como inundaciones, sequías y deslizamientos de tierra. Desarrollar obras de infraestructura resiliente, como diques, drenajes y sistemas de captación de agua, para mitigar los efectos de estos eventos. Integrar la gestión del riesgo climático en la planificación territorial, asegurando que las nuevas infraestructuras y desarrollos urbanos se ubiquen en áreas con menor vulnerabilidad. Promover programas de capacitación para las comunidades sobre cómo prepararse y responder a eventos climáticos extremos, fortaleciendo su resiliencia. Además, identificar y diseñar medidas de solución para disminuir la vulnerabilidad de la población y las actividades productivas frente a amenazas naturales.	Redes de aguas lluvias Drenaje de aguas	Estudio hidrológico o hidrogeológico para disponibilidad hídrica
Redes de aguas lluvias Drenaje de aguas			Estudio hidrológico o hidrogeológico para disponibilidad hídrica	Manejo de quebradas Manejo de normas ambientales e hídricas Planes y políticas
Reforestación y forestación de cuencas para disminución de riesgo de desastres Defensa fluvial y aluvional			Estudios de riesgo fluvial y aluvional Análisis de red hidrométrica y plataformas de información	Manejo de quebradas Manejo de normas ambientales e hídricas Planes y políticas
Reforestación y forestación de cuencas para disminución de riesgo de desastres Defensa fluvial y aluvional			Estudios de riesgo fluvial y aluvional Análisis de red hidrométrica y plataformas de información	Manejo de quebradas Manejo de normas ambientales e hídricas Planes y políticas
			Análisis sistemas glaciares y peri glaciares	Manejo de quebradas Manejo de normas ambientales e hídricas Planes y políticas

Fuente: Elaboración propia

Considerando lo anterior, en la Figura 4.3-1 se presenta un resumen del número de iniciativas catastradas en el acápite 3.1.2 y detalladas en el Anexo 07.04, y que pudiesen resolver alguna de las diferentes brechas de seguridad hídrica identificadas en el acápite 4.2.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.3-1 Distribución geográfica de iniciativas catastradas sin ejecutar en periodo 2010-2022, asociadas a brechas de seguridad hídrica en la región del Libertador Bernardo O'Higgins

Incertidumbres

A continuación, se presentan los factores inciertos que pueden afectar la implementación de las iniciativas presentadas en el acápite anterior, o la capacidad de alcanzar los objetivos estratégicos esperados.

Sobre factores técnicos y disponibilidad de información

Las incertidumbres que pueden afectar la implementación de las iniciativas estratégicas en la región del Libertador Bernardo O'Higgins, se obtienen en parte de los comentarios de las fichas BIP y analizando los comentarios de los estudios de prefactibilidad y de factibilidad de las iniciativas, en donde para cada una de ellas se destacan aspectos como la falta de congruencia e imprecisiones en los antecedentes del proyecto, errores en el cálculo de la demanda y presupuestos, así como la ausencia de claridad en los objetivos del proyecto y discrepancias en la ficha iniciativa de inversión (IDI). Además, se identifican otras incertidumbres relacionadas con la disponibilidad de recursos hídricos, viabilidad técnica y económica, y posibles implicaciones ambientales y legales. Resolver estas incertidumbres es fundamental para garantizar el éxito y la sostenibilidad de los proyectos en la región.

Con respecto a incertidumbres por tipo de infraestructura, se presentan en la Tabla 4.3-3, los factores inciertos que pueden afectar la implementación de las iniciativas presentadas, o la capacidad de alcanzar los objetivos esperados en la región del Libertador Bernardo O'Higgins.

Para el análisis de incertidumbre, se seleccionaron los proyectos del Banco Integrado de Proyectos (BIP) del Ministerio de Desarrollo Social y Familia (MIDESO) considerando ciertos criterios específicos. En primer lugar, se incluyeron solo aquellos proyectos ubicados en la región en estudio y relacionados exclusivamente con el sector "Recursos Hídricos". Además, la selección se limitó a proyectos con financiamiento previsto entre 2015 y 2024 que se encontraban en las etapas de perfil, prefactibilidad o factibilidad.

Los proyectos seleccionados para el análisis corresponden a aquellos cuyo Resultado de Análisis Técnico Económico (RATE) indica recomendación favorable (RS) o no recomendación, ya sea por falta de información (FI), objeciones técnicas (OT) o incumplimiento de normativas (IN).

En función del Resultado de Análisis Técnico Económico (RATE) se identificaron los subsectores con mayor cantidad de proyectos no recomendados. Para esto se calculó el porcentaje de proyectos no recomendados respecto al total de proyectos en cada subsector. Esta comparación permitió determinar los subsectores con mayores dificultades para alcanzar una recomendación favorable, proporcionando una base para

analizar las causas de las no recomendaciones en aquellos subsectores con porcentajes elevados de proyectos no aprobados.

Posteriormente, se revisaron las fichas de Iniciativas de Inversión (IDI) de los proyectos no recomendados en estos subsectores, con el fin de identificar las causas específicas de su no aprobación. Esta revisión proporcionó información crucial para reducir la incertidumbre en futuras evaluaciones.

Tabla 4.3-3 Incertidumbres detectadas por tipo de obra de infraestructura en la región del Libertador Bernardo O'Higgins

Servicios Sanitarios (APR y Alcantarillado)	• Disponibilidad de recursos hídricos: Se requiere una evaluación exhaustiva de la disponibilidad de recursos hídricos y derechos de agua, además de análisis de demanda estacional para asegurar el suministro a largo plazo y su sostenibilidad. • Viabilidad técnica y legal: Se requieren ciertas aprobaciones regulatorias, convenios y permisos esenciales, como las autorizaciones sanitarias, servidumbres de paso y decisiones sobre proyectos combinados. • Congruencia e imprecisiones en los antecedentes del proyecto: Se requiere una revisión exhaustiva de todos los antecedentes del proyecto de construcción, mejoramiento y/o ampliación de servicios de agua potable rural para identificar y corregir cualquier incongruencia o imprecisión en la información proporcionada. • Planificación y viabilidad económica: Se requiere un cronograma detallado que incluya todas las actividades del proyecto, un dimensionamiento adecuado para optimizar la inversión, información financiera completa y actualizada, y una alineación precisa de los costos de consultoría con los convenios vigentes para asegurar una gestión eficiente de los recursos y un control financiero adecuado. • Participación ciudadana y aceptación de la comunidad local: Se requiere consenso y claridad en la comunicación de tarifas, junto con la presencia de comités organizados y un óptimo análisis tarifario. • Discrepancias en la ficha IDI: Las discrepancias identificadas deben abordarse mediante una revisión minuciosa de los estudios y análisis realizados, así como mediante la actualización de la información relevante según sea necesario para garantizar la coherencia y precisión de la documentación del proyecto.
Infraestructura de Riego (Abastecimiento y mejoramiento de riego)	• Disponibilidad de derechos de agua y recursos hídricos: Se requiere documentación y estudios que respalden la disponibilidad de agua y la existencia de derechos de agua, para asegurar un suministro de agua suficiente y legalmente permitido. • Congruencia e imprecisiones en los antecedentes del proyecto: Se requiere una revisión exhaustiva de todos los antecedentes del proyecto para identificar y corregir cualquier incongruencia o imprecisión en la información proporcionada. • Viabilidad técnica y legal: Es necesario definir y analizar en profundidad las alternativas técnicas de captación de agua y operación del sistema, garantizando que se seleccionen las soluciones más eficientes y sostenibles. • Planificación y viabilidad económica: Se requiere una evaluación económica coherente, que detalle los costos y las unidades empleadas. Además, la

	segmentación precisa del proyecto es esencial para garantizar su correcta organización, planificación y seguimiento. • Capacidades técnicas y organizacionales insuficientes en las organizaciones de Usuarios de Agua (OUA): Es crucial fortalecer las capacidades técnicas y organizacionales de las OUA para garantizar una gestión efectiva y sostenible del agua en los sistemas de riego, mediante la implementación de programas de capacitación y fortalecimiento institucional. • Carencia de programas de capacitación y fortalecimiento de las OUA: Es necesario desarrollar e implementar programas de capacitación y fortalecimiento específicos para las OUA para mejorar sus capacidades técnicas y organizacionales y promover una gestión más efectiva y sostenible del agua en los sistemas de riego.
Obras en Cauces (Defensa Fluvial)	• Planificación y viabilidad económica: Se requiere un cronograma detallado que incluya todas las actividades del proyecto, con presupuestos e información financiera completa y actualizada, y una alineación precisa de los costos de consultoría con los convenios vigentes para asegurar una gestión eficiente de los recursos y un control financiero adecuado. Por último, es necesario justificar precios y ponderadores utilizados en las evaluaciones sociales. • Congruencia e imprecisiones en los antecedentes del proyecto: Se requiere una revisión exhaustiva de todos los antecedentes del proyecto de construcción, mejoramiento y/o ampliación de servicios de agua potable rural para identificar y corregir cualquier incongruencia o imprecisión en la información proporcionada.
Obras de Drenaje Urbano (Evac. Agua servidas)	• Planificación y viabilidad económica: Se requiere un resumen ejecutivo que defina con claridad el alcance del proyecto, especificando las obras a ejecutar, los beneficiarios y los costos asociados. Asimismo, es crucial contar con un presupuesto actualizado para las obras civiles y la consultoría, alineado con el catastro de beneficiarios y los términos de referencia. Además, la justificación de los costos en la evaluación social, tales como el precio de la hectárea, la revalorización de terrenos y el costo de mantenimiento. Por último, se requiere un cronograma detallado y actualizado de todas las actividades. • Congruencia e imprecisiones en los antecedentes del proyecto: Se requiere una revisión exhaustiva de todos los antecedentes del proyecto de construcción, mejoramiento y/o ampliación de servicios de agua potable rural para identificar y corregir cualquier incongruencia o imprecisión en la información proporcionada.

Fuente: Elaboración propia en base a Fichas BIP y Cartera de iniciativas

Sobre factores socioambientales

En el contexto de la planificación y ejecución de infraestructuras hídricas, los factores socioambientales juegan un papel crucial en la generación de incertidumbres. Los conflictos ambientales, especialmente aquellos con antecedentes históricos, pueden representar serios obstáculos para la implementación de proyectos. La aceptación de la comunidad y la resolución de conflictos previos son esenciales para la viabilidad de cualquier obra. Los casos emblemáticos de la región del Libertador Bernardo O'Higgins son ejemplos de cómo estos conflictos pueden causar incertidumbres significativas.

En este contexto, dentro de la región se presentan dos casos de conflicto que tienen que ver con el sector agropecuario y el funcionamiento de la “Planta de Alimentos Balanceados La Estrella” y la “Planta de Cerdos Maxagro”, donde su relación a los recursos hídricos, tiene que ver con la denuncia de los pobladores a través del Consejo de Defensa Ambiental de La Estrella, de la sobreexplotación de los recursos hídricos en un contexto de sequía, donde se ha presentado sequía de pozos, muerte de plantaciones, disminución de animales, y por último, la precarización de la calidad de vida, amenazando el derecho al agua y medioambiente libre de contaminación (INDH, 2020).

Por último, en la Reserva Nacional Río de los Cipreses, la construcción del proyecto hidroeléctrico Chacayes por Pacific Hydro Chile S.A. ha generado controversia debido a su impacto negativo en la biodiversidad nativa. A pesar de la autorización de COREMA en 2008, la oposición de autoridades locales y organizaciones comunitarias ha resaltado la tensión entre el desarrollo productivo y la protección del patrimonio ecológico (Larraín & Poo, 2010).

4.3.2 Identificación de brechas de infraestructura

A continuación, se presenta la identificación de brechas de infraestructura para la región.

La metodología para asignar brechas de infraestructura hídrica por cuenca se desarrolló mediante un proceso sistemático que comenzó con la definición de objetivos específicos de gestión del agua, organizados en torno a cuatro dimensiones clave de seguridad hídrica: derecho humano al agua, saneamiento y consumo humano (D1); producción sostenible y eficiencia hídrica (D2); conservación de ecosistemas (D3); y resiliencia ante amenazas como sequías, crecidas y contaminación (D4).

Con estos objetivos como base, se identificaron brechas estratégicas para cada dimensión de seguridad hídrica. Para evaluar y priorizar las cuencas, se desarrollaron indicadores específicos que reflejan las necesidades de cada una en función de los objetivos establecidos. A cada indicador se le asignó un nivel de criticidad según su urgencia de intervención, utilizando una escala de alta (valor 4), media (valor 2) y baja (valor 1) criticidad. Esta clasificación facilitó la evaluación de la vulnerabilidad de cada cuenca y guió la asignación de brechas específicas de infraestructura.

Con base en los niveles de criticidad obtenidos, se definieron las intervenciones necesarias para cada cuenca, clasificándolas en infraestructura estructural, infraestructura no estructural y medidas de gestión. Este análisis general de brechas de infraestructura constituye la base para definir la cartera de inversiones en los siguientes capítulos del

estudio, proporcionando una visión clara de las necesidades prioritarias en cada área y permitiendo una planificación eficiente de las intervenciones. . El detalle del análisis se encuentra en el Anexo 07.05.

En la Tabla 4.3-4 se presenta el universo y las metas por tipología utilizadas para definir la cartera asociada a las iniciativas estratégicas. En el Anexo 07.07, se presenta el detalle por tipo de inversión.

Tabla 4.3-4 Universo y metas de infraestructura según tipología en la región de O’Higgins

Código TP	Tipología de Proyecto (TdP)	N° inversiones	Universo	Metas
1-1	Diseño, Construcción de Sistemas de Agua Potable Rural	19	Población sin Abastecer 2055	-
1-2	Ampliación y/o Mejoramiento de Servicios Existentes de Agua Potable Rural	67	Población sin Abastecer 2055	-
1-3	Implementación de Sistemas Operacionales de Telemetría y Control en Sistemas de Agua Potable Rural	6	Total de APR existentes y Proyectados 2055	-
1-4	Diseño, Construcción de Alcantarillado y Tratamiento de Aguas Servidas en Servicios Sanitarios Rurales	41	Población sin Saneamiento 20255 (AOR existente y proyectado)	-
2-1	Evaluación de Alternativas de Nuevas Fuentes de Abastecimiento de Agua para Consumo Humano y/o Riego. Posterior Diseño, Construcción y Operación de Alternativas Resilientes al Efecto del Cambio Climático	22	Planes de Recursos Hídricos y Riego según Vigencia	-
2-2	Diseño y Construcción de Plantas Desaladoras y Desalinizadoras	1	Población sin Abastecer 2055 en sector costero (2 km de borde costero)	-
2-3	Eficiencia en el Uso del Agua: - Fomento de Eficiencia Hídrica en Riego; - Fomento de Eficiencia Hídrica en Agua Potable Urbana	20	Normalización de elementos eficientes para APR según N° de arranques existentes y proyectados	-
2-4	Diseño y Construcción de Obras para la Recuperación y Recarga de Acuíferos	6	De acuerdo a disminución de recarga y características favorables para la recarga	Máximo 30 ha por cuenca
2-5	Diseño, Construcción de Sistemas de Reutilización de Aguas Servidas para Riego	3	Aguas recolectadas y tratadas en Sistemas APR y APU de emisarios submarinos	-
2-6	Desarrollo de Regularización de DAA en Captaciones; Promoción y Conformación de Organizaciones de Usuarios; Plan de Seguimiento a Planes de Riego	8	Cuantificado según número de inversiones	-
2-7	Diseño, Construcción de Grandes Obras de Riego; Diseño, Construcción de Obras Medianas de Riego; Conservación de Obras Fiscales y No Fiscales de Riego	31	Programa de Embalses DOH	Considera una meta de avance de 5% del total de canales
3-1	Diseño, Construcción e Implementación de Tecnologías en Estaciones Fluviométricas en Cauces y/o Canales	8	Cuantificado según número de inversiones	-
3-2	Diseño, Construcción e Implementación de Tecnologías en Estaciones de Calidad de Aguas en Cuencas	12	Cuantificado según número de inversiones	-
3-3	Diseño, Construcción e Implementación de Tecnologías en Estaciones Meteorológicas	4	Cuantificado según número de inversiones	-
3-4	Diseño, Construcción e Implementación de Tecnologías en Estaciones de Monitoreo de Glaciares y Nieves	4	Cuantificado según número de inversiones	-
3-5	Diseño, Construcción e Implementación de Tecnologías en Pozos de Observación	3	Cuantificado según número de inversiones	-
3-6	Desarrollo e Implementación de una Gestión Integrada de Recursos Hídricos en Cuencas	40	Cuantificado según número de inversiones	-
4-1	Conservación, Restauración y Protección de Humedales, Riberas y Cauces	19	-	Rendimiento de avance a validar con región (1 km-año); OCAS: Rendimiento de avance 16 km-año
4-2	Medida de Gestión: Implementación de Norma Secundaria de Calidad	5	Priorizar ejecución de estudios	-
5-1	Diseño, Construcción de Obras de Control Aluvional en Cauces y Quebradas	9	Planes de Manejo de Cauce según Vigencia	Rendimiento de avance a validar con región (1 km-año)
5-2	Diseño, Construcción de Obras de Mejoramiento, Reposición, Restauración o Conservación de Defensas Fluviales, Manejo de Cauces y Riberas	25	Planes de Manejo de Cauce según Vigencia	Rendimiento de avance a validar con región (2 km-año)
5-3	Diseño, Construcción y Conservación de Obras de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias	22	Planes de Aguas Lluvia según Vigencia y N° de habitantes sector Urbano	Rendimiento de avance a validar con región (1 km-año)

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 5 IDENTIFICACIÓN DE INICIATIVAS DE INFRAESTRUCTURA, INNOVADORAS Y DE GESTIÓN

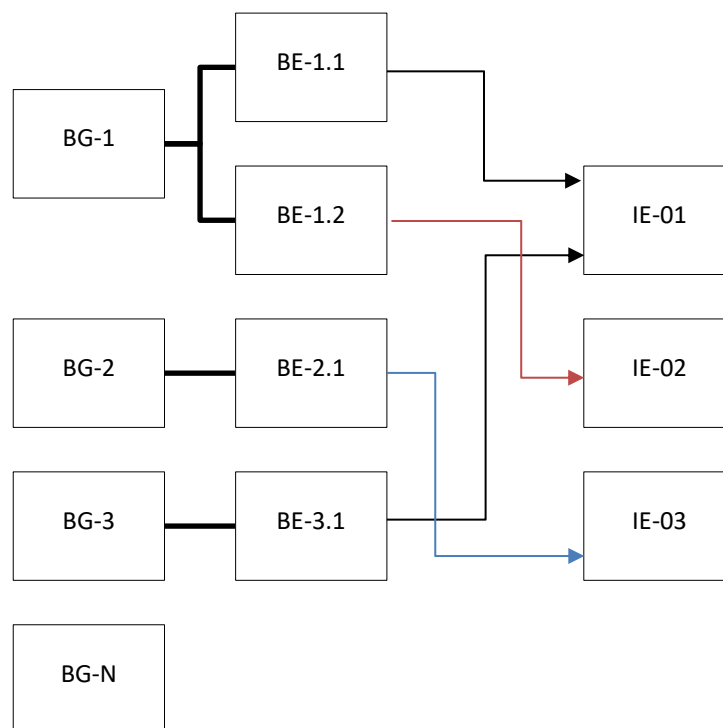
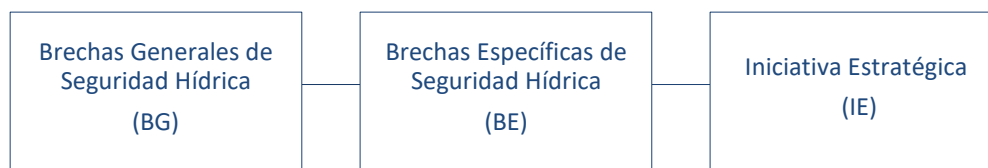
En el presente acápite se identifican las iniciativas estratégicas y sus carpetas de pre/inversión hídrica a considerar en una planificación prospectiva a 2055.

En el Anexo 07.07 se presenta cada Iniciativa Estratégica junto a su carpeta de pre/inversión en detalle.

5.1 IDENTIFICACIÓN DE INICIATIVAS ESTRATÉGICAS

Una vez identificadas las brechas de seguridad hídrica tanto a nivel nacional como regional, se formularon Iniciativas Estratégicas (IE). Estas buscan abordar las diversas deficiencias y requerimientos detectados en las brechas mencionadas, agrupándolos en temáticas similares. La respuesta a estas problemáticas se planteará a través de una cartera de preinversión e inversión.

En el esquema siguiente se presenta un diagrama entre las brechas y las Iniciativas Estratégicas, denominando “BG” a las Brechas Generales de seguridad Hídrica y “BE” a las Brechas Específicas de Seguridad Hídrica. Es importante destacar que una IE puede dar respuesta a diferentes BE.



Fuente: Elaboración propia

Figura 5.1-1 Diagrama de flujo Iniciativas Estratégicas

Las iniciativas estratégicas son codificadas como:

RRR – INI – EST – NN

Donde *RRR* corresponde a las siglas que identifican la región (OHIG), *INI – EST* la abreviación de “Iniciativas Estratégica” y *NN* un número correlativo.

Para esta región se han identificado las siguientes iniciativas estratégicas:

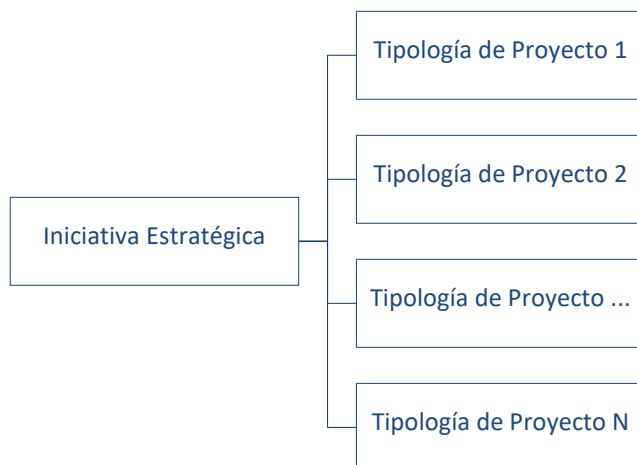
Tabla 5.1-1 Iniciativas Estratégicas

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

Fuente: Elaboración propia

5.2 TIPOLOGÍAS DE PROYECTOS

Dada la diversidad y magnitud de potenciales inversiones de infraestructura hidráulica que se podrían proyectar en cada cuenca, se clasificaron de acuerdo a su tipología de proyecto.


Figura 5.2-1 Diagrama Composición Iniciativas Estratégicas

En el caso de la región de O'Higgins las Tipologías de proyectos son los presentados en la Tabla 5.2-1.

Tabla 5.2-1 Tipologías de Proyectos por Iniciativas Estratégicas

OHIG-INI-EST-01	1-1	Diseño, Construcción de Sistemas de Agua Potable Rural
	1-2	Implementación de Sistemas Operacionales de Telemetría y Control en Sistemas de Agua Potable Rural
	1-3	Ampliación y/o Mejoramiento de Servicios Existentes de Agua Potable Rural
	1-4	Diseño, Construcción de Alcantarillado y Tratamiento de Aguas Servidas en Servicios Sanitarios Rurales
OHIG-INI-EST-02	2-1	Evaluación de Alternativas de Nuevas Fuentes de Abastecimiento de Agua para Consumo Humano y/o Riego. Posterior Diseño, Construcción y Operación de Alternativas Resilientes al Efecto del Cambio Climático
	2-2	Diseño y Construcción de Plantas Desaladoras y Desalinizadoras
	2-3	Eficiencia en el Uso del Agua - Fomento de Eficiencia Hídrica en Riego - Fomento de Eficiencia Hídrica en Agua Potable Urbana
	2-4	Diseño y Construcción de Obras para la Recuperación y Recarga de Acuíferos
	2-5	Diseño, Construcción de Sistemas de Reutilización de Aguas Servidas para Riego
	2-6	Desarrollo de Regularización de DAA en Captaciones Promoción y Conformación de Organizaciones de Usuarios Plan de Seguimiento a Planes de Riego
	2-7	Diseño, Construcción de Grandes Obras de Riego. Diseño, Construcción de Obras Medianas de Riego. Conservación de Obras Fiscales y No Fiscales de Riego
OHIG-INI-EST-03	3-1	Diseño, Construcción e Implementación de Tecnologías en Estaciones Fluvimétricas en Cauces y/o Canales
	3-2	Diseño, Construcción e Implementación de Tecnologías en Estaciones de Calidad de Aguas en Cuencas
	3-3	Diseño, Construcción e Implementación de Tecnologías en Estaciones Meteorológicas
	3-4	Diseño, Construcción e Implementación de Tecnologías en Estaciones de Monitoreo de Glaciares y Nieves
	3-5	Diseño, Construcción e Implementación de Tecnologías en Pozos de Observación
	3-6	Desarrollo e Implementación de una Gestión Integrada de Recursos Hídricos en Cuencas
OHIG-INI-EST-04	4-1	Conservación, Restauración y Protección de Humedales, Riberas y Cauces
	4-2	Medida de Gestión: Implementación de Norma Secundaria de Calidad
OHIG-INI-EST-05	5-1	Diseño, Construcción de Obras de Control Aluvional en Cauces y Quebradas
	5-2	Diseño, Construcción de Obras de Mejoramiento, Reposición, Restauración o Conservación de Defensas Fluviales, Manejo de Cauces y Riberas
	5-3	Diseño, Construcción y Conservación de Obras de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias

Fuente: Elaboración propia

5.3 CONFORMACIÓN DE LA CARTERA DE PRE/INVERSIONES

Con las iniciativas estratégicas definidas en conjunto de sus tipologías de proyecto se procedió a conformar la cartera de preinversiones e inversiones de la región a nivel de cuencas. Es importante mencionar que cada iniciativa de inversión se somete a un proceso de etapas, las

cuales se conforman de: 1) Estudio y/o Prefactibilidad, 2) Factibilidad, 3) Diseño y 4) Ejecución. Generalmente, los estudios y/o prefactibilidades corresponden a proyectos directores y/o de una espacialidad a nivel de cuenca, comuna, provincia o región, como son, por ejemplo, Los Planes Maestros de Aguas Lluvias, Los Planes de Manejo de Cauce, Los planes Integrales de Riego o los Planes Estratégicos de Gestión Hídrica, desde donde nace una serie de ideas y proyectos que se desarrollan posteriormente en las etapas de factibilidad, Diseño y Ejecución. En el caso de las conservaciones, sólo se considera la etapa de ejecución.

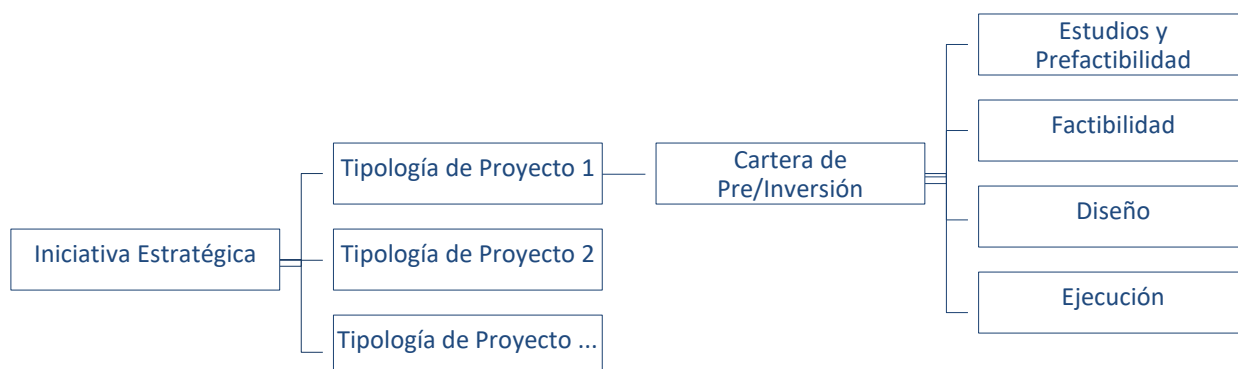


Figura 5.3-1 Diagrama Estructura Iniciativas Estratégica, Tipología de Proyectos y Cartera de Pre/Inversiones

Para la conformación de la cartera, se contó con tres fuentes principales, además de las brechas identificadas en el capítulo 4:

- Cartera de proyectos existente, catastradas en el acápite 3.1.2. Los cuales se codificaron con la sigla CAR-INI-NNNN, donde NNNN es un número correlativo a nivel nacional de iniciativas.
- Estudio “Análisis de Inversión en Infraestructura y Gestión Hídrica” del Plan de Inversión en Iniciativas Hídricas (PIIH) para los años 2020-2050 (DGOP, 2021). Los cuales se codificaron con la sigla PIIH-XXX-NNNN, donde XXX corresponde al tipo de proyecto definido en el citado estudio (CM: Cartera maestra; APR: Proyectos de Agua Potable Rural; INO: Proyectos de innovación) y NNNN es un número correlativo a nivel nacional.
- Cartera de Iniciativas de 2024-2028 (Quinquenal). Los cuales se codificaron con la sigla QUIN-NNNN, donde NNNN es un número correlativo a nivel nacional de iniciativas.

Con esta información se consideraron los siguientes pasos:

1. Se agruparon las inversiones por tipología de proyecto
2. Se descartan las iniciativas repetidas bajo la siguiente priorización
 - a. Cartera Quinquenal: primera prioridad

- b. Cartera PIH: Segunda prioridad
- c. Cartera proyectos Existentes. Tercera Prioridad

3. En el caso de que no se cubra la brecha con las iniciativas ya existentes, se propone una nueva inversión. Esta inversión se codifica con la sigla AIH-RRR-IE-TP-NN, donde AIH corresponde a la sigla “Análisis de Requerimientos de Infraestructura Hídrica”, “RRR” el código de la región (OHIG), “IE” el numero correlativo de la Iniciativa estratégica, “TP” la tipología de proyecto a la que pertenece y NN un número de correlativo.

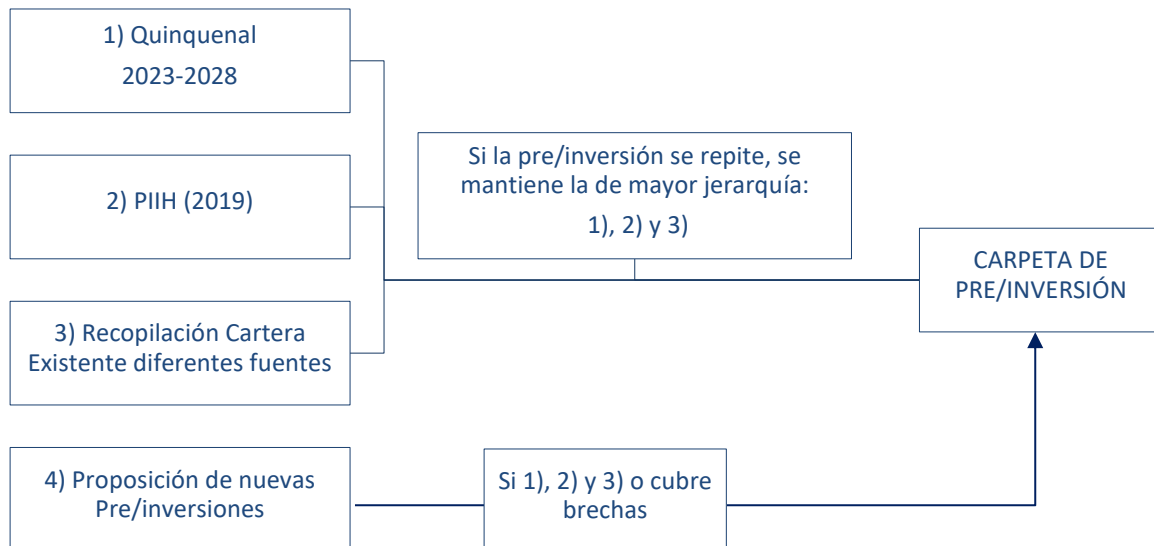


Figura 5.3-2 Diagrama de Composición de Cartera de Pre/inversión

Se consideraron los siguientes criterios para determinar las brechas en cada una de las tipologías de proyecto.

Tabla 5.3-1 Criterios para la determinación de las iniciativas a proyectar OHIG-INI-EST-01

Código	Descripción Tipología	Criterios para la determinación de las iniciativas a proyectar
1-1	Diseño, Construcción de Sistemas de Agua Potable Rural	A partir de proyección de Demanda APR sin abastecimiento, informada en el capítulo 2.2.2 se define el número total de arranques promedio de los sistemas de APR y cantidad por cuenca y comuna.
1-2	Implementación de Sistemas Operacionales de Telemetría y Control en Sistemas de Agua Potable Rural	No se proyectan ampliaciones al sistema, ya que el aumento se considera en 1.1.
1-3	Ampliación y/o Mejoramiento de Servicios Existentes de Agua Potable Rural	Se propone proyectar al menos un sistema de telemetría y Control por Cuenca
1-4	Diseño, Construcción de Alcantarillado y Tratamiento de Aguas Servidas en Servicios Sanitarios Rurales	A partir de Minuta "Estimación Brecha de SSR. RRP/18.08.2024" y proyección de nuevas APR en 1.1, se estima el total de proyectos a desarrollar para cubrir la brecha existente. Ver Anexo 07.07.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.3-2 Criterios para la determinación de las iniciativas a proyectar OHIG-INI-EST-02

Código	Descripción Tipología	Criterios para la determinación de las iniciativas a proyectar
2-1	Evaluación de Alternativas de Nuevas Fuentes de Abastecimiento de Agua para Consumo Humano y/o Riego. Posterior Diseño, Construcción y Operación de Alternativas Resilientes al Efecto del Cambio Climático	Se propone la ejecución de un Plan Estratégico de Gestión Hídrica o similar, en caso de que el estudio vigente haya sido ejecutado antes del año 2015 o en el caso de que sea necesaria su ejecución (se observan cuencas no estudiadas con sistemas hidrológicos).
2-2	Diseño y Construcción de Plantas Desaladoras y Desalinizadoras	Se recomienda realizar un estudio de viabilidad para la instalación de plantas de desalinización en cuencas donde existan localidades con más de 25 viviendas a una distancia de hasta 2 km de la costa. También se evalúa la proyección de sistemas de Agua Potable Rural (APR) en estas localidades, ofreciendo una alternativa a la proyección actual de APR. Este tipo de obras no se contempla en la zona austral de Chile.
2-3	Eficiencia en el Uso del Agua. - Fomento de Eficiencia Hídrica en Riego. - Fomento de Eficiencia Hídrica en Agua Potable Urbana	Se proponen proyectos de nuevas tecnologías para el consumo eficiente a nivel regional y su aplicación en Sistemas APR y Riego
2-4	Diseño y Construcción de Obras para la Recuperación y Recarga de Acuíferos	Se proponen obras para la recuperación y recarga de acuíferos en cuencas donde existen antecedentes de Áreas de Restricción y Zonas de Prohibición para extracción de aguas subterráneas y además el Balance Hídrico Nacional indique si la cuenca posea una condición de estrés hídrico o cuenca crítica.
2-5	Diseño, Construcción de Sistemas de Reutilización de Aguas Servidas para Riego	Se propone estudios y proyectos de reutilización de aguas servidas para el uso en riego donde exista presencia de APR y, de presencia, zonas con riego.

Código	Descripción Tipología	Criterios para la determinación de las iniciativas a proyectar
2-6	Desarrollo de Regularización de DAA en Captaciones. Promoción y Conformación de Organizaciones de Usuarios. Plan de Seguimiento a Planes de Riego	Se proponen medidas de gestión, como seminarios, talleres, programas de capacitación y seguimiento, además de programas de reforzamiento de OUA.
2-7	Diseño, Construcción de Grandes Obras de Riego. Diseño, Construcción de Obras Medianas de Riego. Conservación de Obras Fiscales y No Fiscales de Riego	Se propone la ejecución de un Plan Integral de Cuenca(s), en caso de que el estudio vigente haya sido ejecutado antes del año 2015 o en el caso de que sea necesaria su ejecución (se observen sectores cultivables). Se proponen obras de mejoramiento y/o construcción de canales a una tasa de un (1) kilómetro por año, en cada cuenca con presencia de riego y/o canales. Se propone obras de Acumulación en cuencas "Con Recursos" considerando el balance hídrico realizado en el numeral 4.1.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.3-3 Criterios para la determinación de las iniciativas a proyectar OHIG-INI-EST-03 y OHIG-INI-EST-06

Código	Descripción Tipología	Criterios para la determinación de las iniciativas a proyectar
3-1	Diseño, Construcción e Implementación de Tecnologías en Estaciones Fluvimétricas en Cauces y/o Canales	Se proponen en puntos estratégicos antes o después de confluencias, zonas altas y desembocaduras, cubriendo los principales cauces y considerando cercanía de estaciones existentes (ver Anexo 07.07). Idealmente, que cada cuenca BNA tenga al menos una estación. Existen excepciones en las que no se justifica por tratarse de quebradas secas, cuencas muy pequeñas o bien ubicaciones muy poco accesibles (Campo de Hielo Sur, por ejemplo).
3-2	Diseño, Construcción e Implementación de Tecnologías en Estaciones de Calidad de Aguas en Cuencas	Superficial: en cada estación Fluvimétrica. Subterránea, al menos una en cada pozo de medición proyectado y en SHAC sin medición con igual condición de superficie que en 3.5
3-3	Diseño, Construcción e Implementación de Tecnologías en Estaciones Meteorológicas	Se proponen ubicaciones en áreas con poca cobertura de estaciones y que sea sean representativas de diversas zonas climáticas de Köppen para cada cuenca, considerando también la accesibilidad. Detalles en Anexo 07.07
3-4	Diseño, Construcción e Implementación de Tecnologías en Estaciones de Monitoreo de Glaciares y Nieves	Inicialmente se considera cobertura nacional. En base a esto, se prioriza para rutas de nieve zonas norte, sur y austral, escogiendo sectores planos, accesibles y lo suficientemente elevados según la latitud. Se proponen ubicaciones cercanas a pasos fronterizos, centros de montaña o puntos elevados de la Carretera Austral (cuesta Queulat, por ejemplo). Respecto a glaciares, estos son escasos en la zona norte, además de encontrarse a grandes elevaciones y ser en su mayoría rocosos, por lo que se proponen estaciones a partir del norte chico en glaciares de montaña, de valle o efluentes, de dimensiones importantes y relativamente accesibles, en

		base a IPG (DGA, 2022). Así y todo, algunas ubicaciones propuestas para zona austral son accesibles únicamente vía marítima, como es el caso de algunas ya existentes en la zona. Detalles en Anexo 07.07.
3-5	Diseño, Construcción e Implementación de Tecnologías en Pozos de Observación	Se propone al menos un pozo de medición por SHAC cada 200 km ² . (Superficie con pendientes menor a 15% aptos para acumular agua)
3-6	Desarrollo e Implementación de una Gestión Integrada de Recursos Hídricos en Cuencas	Se propone la implementación de un sistema de seguimiento y monitoreo integral a nivel regional

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.3-4 Criterios para la determinación de las iniciativas a proyectar OHIG-INI-EST-04

Código	Descripción Tipología	Criterios para la determinación de las iniciativas a proyectar
4-1	Conservación, Restauración y Protección de Humedales, Riberas y Cauces	Se proponen estudios y/o proyectos donde el perímetro (km) de humedales (ríos, lagos, lagunas, salares, otros) es superior a los 20 km y en cuencas donde se hayan declarados áreas de restricción o Zonas de Prohibición y la cuenca sea prioritaria.
4-2	Medida de Gestión: Implementación de Norma Secundaria de Calidad	Se propone un estudio de manejo de normas ambiental e hídricas, Reservas de Agua, Planes y Políticas, a nivel regional

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.3-5 Criterios para la determinación de las iniciativas a proyectar OHIG-INI-EST-05

Código	Descripción Tipología	Criterios para la determinación de las iniciativas a proyectar
5-1	Diseño, Construcción de Obras de Control Aluvional en Cauces y Quebradas	Se propone la ejecución de un Plan de manejo de Cauce, en caso de que el estudio vigente haya sido ejecutado antes del año 2015 o en el caso de que sea necesaria su ejecución (existencia de localidades concentradas, a orillas de un cauce importante). Se proponen proyecto de obras aluvionales de acuerdo a las características de la cuenca y considerando una inversión probable en 10 años.
5-2	Diseño, Construcción de Obras de Mejoramiento, Reposición, Restauración o Conservación de Defensas Fluviales, Manejo de Cauces y Riberas	Se propone la ejecución de un Plan de manejo de Cauce, en caso de que el estudio vigente haya sido ejecutado antes del año 2015 o en el caso de que sea necesaria su ejecución (existencia de localidades concentradas, a orillas de un cauce importante). Se proponen proyecto de obras aluvionales de acuerdo a las características de la cuenca y considerando una inversión probable en 10 años.
5-3	Diseño, Construcción y Conservación de Obras de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias	Se propone la ejecución de un Plan Maestro de Aguas Lluvias o su Actualización, en caso de que el estudio vigente haya sido ejecutado antes del año 2010 o en el caso de que sea necesaria su ejecución (existencia de localidades con más de 50.000 habitantes). Se proponen proyecto de obras aluvionales de acuerdo a las características de la cuenca y considerando una inversión probable en 10 años.

Fuente: Elaboración propia

5.4 DETERMINACIÓN DE COSTOS UNITARIOS DE TIPOLOGÍAS DE PROYECTOS

Definida la cartera de inversión de cada Iniciativa Estratégica se procedió a definir su costo. Si bien, parte de las inversiones cuentan con una estimación de costos, en especial la cartera del Quinquenal, en general, estas no cuentan con un presupuesto. Misma condición se tiene con las inversiones propuestas.

Con el fin de determinar los costos, se estimaron precios Unitarios para diferentes tipos de proyectos genéricos al cual se le asignó un código INI. Este código fue asignado a todos los proyectos recopilados que tenían características similares al proyecto genérico y de esta manera valorizar su costo en todas las etapas de desarrollo.

Finalmente, dada la naturaleza de la tipología de proyecto, se indica si corresponde a una inversión innovadora, es decir, que corresponde a un tipo de inversión poco utilizada o nueva para el ministerio.

Tabla 5.4-1 Precios Unitarios de Tipologías de Proyectos según Etapa MDSyF

N°	COD INI	IE	Código TP	Tipologías de Proyecto (TP)	Nombre de Pre/Inversión (Genérico)	Etapa MDSyF	Costo (M\$)	Innovadoras
1	NE-4-01	1	1-1	Diseño, Construcción de Sistemas de Agua Potable Rural	Planes Estratégicos de Recursos Hídricos en la Cuenca	Ejecución-Prefactibilidad	280.000	no
2	ES-2-01				Construcción Sistema APR, Cuenca	Factibilidad	90.000	no
3	ES-2-05				Construcción Sistema APR, Cuenca	Diseño	280.000	no
4	ES-2-08				Construcción Sistema APR, Cuenca	Ejecución	2.800.000	no
5	ES-2-13				Conservación Sistema APR, Cuenca	Ejecución	50.000	no
6	ES-2-01	1	1-2	Ampliación y/o Mejoramiento de Servicios Existentes de Agua Potable Rural	Ampliación Sistema APR, Cuenca	Factibilidad	90.000	no
7	ES-2-05				Ampliación Sistema APR, Cuenca	Diseño	280.000	no
8	ES-2-08				Ampliación Sistema APR, Cuenca	Ejecución	2.800.000	no
9	ES-2-13				Conservación Sistema APR, Cuenca	Ejecución	50.000	no
10	ES-1-02	1	1-3	Implementación de Sistemas Operacionales de Telemetría y Control en Sistemas de Agua Potable Rural	Construcción Sistema de Telemetría, Cuenca	Factibilidad	1.000.000	no
11	ES-1-02.1				Construcción Sistema de Telemetría, Cuenca	Diseño	80.000	no
12	ES-1-02.2				Construcción Sistema de Telemetría, Cuenca	Ejecución	150.000	no
13	ES-2-02	1	1-4	Diseño, Construcción de Alcantarillado y Tratamiento de Aguas Servidas en Servicios Sanitarios Rurales	Construcción Sistema Saneamiento APR, Cuenca	Factibilidad	90.000	no
14	ES-2-06				Construcción Sistema Saneamiento APR, Cuenca	Diseño	280.000	no
15	ES-2-07				Construcción Alcantarillado, Cuenca	Diseño	280.000	no
16	ES-2-09				Construcción Sistema Saneamiento APR, Cuenca	Ejecución	1.000.000	no
17	ES-2-10				Construcción Alcantarillado, Cuenca	Ejecución	3.200.000	no
18	ES-2-15				Construcción Planta de Tratamiento, Cuenca	Ejecución	400.000	no

Tabla 5.4-1 Precios Unitarios de Tipologías de Proyectos según Etapa MDSyF

N°	COD INI	IE	Código TP	Tipologías de Proyecto (TP)	Nombre de Pre/Inversión (Genérico)	Etapa MDSyF	Costo (M\$)	Innovadoras
19	NE-4-03	2	2-1	Evaluación de Alternativas de Nuevas Fuentes de Abastecimiento de Agua para Consumo Humano y/o Riego. Posterior Diseño, Construcción y Operación de Alternativas Resilientes al Efecto del Cambio Climático	Estudio de Disponibilidad de Alternativas de Recursos Hídricos	Ejecución-Prefactibilidad	280.000	no
20	ES-2-14.1	2	2-2	Diseño, Construcción de Sistemas de plantas desaladoras	Construcción Planta Desaladora, Cuenca	Factibilidad	180.000	si
21	ES-2-14.2				Construcción Planta Desaladora, Cuenca	Diseño	250.000	si
22	ES-2-14				Construcción Planta Desaladora, Cuenca	Ejecución	9.000.000	si
23	NE-4-04	2	2-3	Eficiencia en el Uso del Agua - Fomento de Eficiencia Hídrica en Riego - Fomento de Eficiencia Hídrica en Agua Potable Urbana	Nuevas tecnologías para el consumo eficiente	Ejecución-Prefactibilidad	150.000	no
24	ES-2-04.1				Normalización Elementos eficientes en el Sistema APR	Factibilidad	150.000	no
25	ES-2-04				Normalización Elementos eficientes en el Sistema APR	Diseño	150.000	no
26	ES-2-12				Normalización Elementos eficientes en el Sistema APR	Ejecución	2.500.000	no
27	ES-7-01	2	2-4	Diseño y Construcción de Obras para la Recuperación y Recarga de Acuíferos	Construcción Obras para la Recuperación y Recarga de acuíferos, Cuenca	Factibilidad	150.000	no
28	ES-7-02				Construcción Obras para la Recuperación y Recarga de acuíferos, Cuenca	Diseño	200.000	no
29	ES-7-03				Construcción Obras para la Recuperación y Recarga de acuíferos, Cuenca	Ejecución	1.500.000	no
30	ES-2-03	2	2-5	Diseño, Construcción de Sistemas de Reutilización de Aguas Servidas Urbanas para Riego	Construcción Sistema de reúso de Aguas, Cuenca	Factibilidad	150.000	si
31	ES-2-11				Construcción Sistema de reúso de Aguas, Cuenca	Diseño	280.000	si
32	ES-2-11.1				Construcción Sistema de reúso de Aguas, Cuenca	Ejecución	2.500.000	si
33	NE-2-03	2	2-6	Desarrollo de Regularización de DAA en Captaciones Promoción y Conformación de Organizaciones de Usuarios Plan de Seguimiento a Planes de Riego	Medida de gestión: Programa de reforzamiento de OUA	Medida de Gestión	250.000	no
34	ES-3-05.1				Mejoramiento Tecnológico Sistema de Riego, Cuenca	Factibilidad	200.000	no
35	ES-3-05				Mejoramiento Tecnológico Sistema de Riego, Cuenca	Diseño	250.000	no
36	ES-3-08				Mejoramiento Tecnológico Sistema de Riego, Cuenca	Ejecución	4.000.000	no
37	NE-4-02	2	2-7	Diseño, Construcción de Grandes Obras de Riego.	Diagnóstico de Recursos Hídricos y Demanda de Riego	Ejecución-Prefactibilidad	380.000	no
38	ES-3-01				Construcción Obras medianas de Riego, Cuenca	Factibilidad	210.000	no

Tabla 5.4-1 Precios Unitarios de Tipologías de Proyectos según Etapa MDSyF

N°	COD INI	IE	Código TP	Tipologías de Proyecto (TP)	Nombre de Pre/Inversión (Genérico)	Etapa MDSyF	Costo (M\$)	Innovadoras
39	ES-3-03			de Obras Medianas de Riego. Conservación de Obras Fiscales y No Fiscales de Riego	Construcción Obras medianas de Riego, Cuenca	Diseño	350.000	no
40	ES-3-06				Construcción Obras medianas de Riego, Cuenca	Ejecución	2.600.000	no
41	ES-3-09				Conservación obras medianas de riego, Cuenca	Ejecución	3.000.000	no
42	ES-3-02				Construcción Obras mayores de Riego, Cuenca	Factibilidad	650.000	no
43	ES-3-04				Construcción Obras mayores de Riego, Cuenca	Diseño	2.000.000	no
44	ES-3-07				Construcción Obras mayores de Riego, Cuenca	Ejecución	35.000.000	no
45	ES-3-10				Conservación grandes obras de riego, Cuenca	Ejecución	4.500.000	no
46	ES-1-04	3	3-1	Diseño, Construcción e Implementación de Tecnologías en Estaciones Fluviométricas en Cauces y/o Canales	Conservación redes Hidrométricas (Anual)	Ejecución	100.000	no
47	ES-1-01.1				Construcción Estación de Calidad de Aguas, Cuenca	Factibilidad	10.000	no
48	ES-1-01.2				Construcción Estación de Calidad de Aguas, Cuenca	Diseño	40.000	no
49	ES-1-01				Construcción Estación de Calidad de Aguas, Cuenca	Ejecución	198.000	no
50	ES-1-01.1	3	3-3	Diseño, Construcción e Implementación de Tecnologías en Estaciones Meteorológicas	Construcción Estación Meteorológica, Cuenca	Factibilidad	10.000	no
51	ES-1-01.2				Construcción Estación Meteorológica, Cuenca	Diseño	40.000	no
52	ES-1-01				Construcción Estación Meteorológica, Cuenca	Ejecución	198.000	no
53	ES-1-01.1	3	3-4	Diseño, Construcción e Implementación de Tecnologías en Estaciones de Monitoreo de Glaciares y Nieves	Construcción Estación de Monitoreo de Glaciares y Nieve, Cuenca	Factibilidad	10.000	no
54	ES-1-01.2				Construcción Estación de Monitoreo de Glaciares y Nieve, Cuenca	Diseño	40.000	no
55	ES-1-01				Construcción Estación de Monitoreo de Glaciares y Nieve, Cuenca	Ejecución	198.000	no
56	ES-1-03.1	3	3-5	Diseño, Construcción e Implementación de Tecnologías en Pozos de Observación	Construcción Estación piezométrica, Cuenca	Factibilidad	10.000	no
57	ES-1-03.2				Construcción Estación piezométrica, Cuenca	Diseño	10.000	no
58	ES-1-03				Construcción Estación piezométrica, Cuenca	Ejecución	50.000	no
59	NE-2-01	3	3-6	Desarrollo e Implementación de una Gestión Integrada de Recursos Hídricos en Cuencas	Medida de gestión: Seminarios y talleres	Medida de Gestión	20.000	no
60	NE-2-02				Medida de gestión: Programas de Capacitación y Seguimiento	Medida de Gestión	60.000	no
61	NE-4-06				Medida de gestión: Programas de Capacitación y Seguimiento	Medida de Gestión	200.000	no
62	NE-4-05				Implementación de un sistema de seguimiento y monitoreo integral	Ejecución-Prefactibilidad	250.000	no
63	NE-3-02	4	4-1	Conservación y restauración de riberas, cauces y humedales	Estudio de Erosión y arrastre de sedimentos y sus efectos ambientales, económicos y sociales en el territorio	Ejecución	150.000	si

Tabla 5.4-1 Precios Unitarios de Tipologías de Proyectos según Etapa MDSyF

N°	COD INI	IE	Código TP	Tipologías de Proyecto (TP)	Nombre de Pre/Inversión (Genérico)	Etapa MDSyF	Costo (M\$)	Innovadoras
64	NE-3-01				Estudio Definición de franjas de restricción y Prohibición por riesgo de inundación, erosión u otro	Ejecución	350.000	si
65	NE-3-03				Estudio de Reforestación y forestación de cuencas en sectores con riesgo de erosión	Ejecución	150.000	si
66	ES-4-07.1				Mejoramiento de Riberas y/o orillas Naturales, río	Factibilidad	200.000	si
67	ES-4-07.2				Mejoramiento de Riberas y/o orillas Naturales, río	Diseño	200.000	si
68	ES-4-07				Mejoramiento de Riberas y/o orillas Naturales, río	Ejecución	3.000.000	si
69	ES-4-06.1				Construcción de Obras de Regulación e Infiltración, en Cuenca	Factibilidad	100.000	si
70	ES-4-06.2				Construcción de Obras de Regulación e Infiltración, en Cuenca	Diseño	150.000	si
71	ES-4-06				Construcción de Obras de Regulación e Infiltración, en Cuenca	Ejecución	1.200.000	si
72	ES-5-06.1				Construcción Sistema Urbanos de Drenaje Sostenibles (SUDS)	Factibilidad	150.000	si
73	ES-5-06.2				Construcción Sistema Urbanos de Drenaje Sostenibles (SUDS)	Diseño	200.000	si
74	ES-5-06				Construcción Sistema Urbanos de Drenaje Sostenibles (SUDS)	Ejecución	1.000.000	si
75	ES-3-11.1				Construcción de áreas verdes de flora nativa para la protección de riberas y orillas, en río/estero	factibilidad	250.000	si
76	ES-3-11.2				Construcción de áreas verdes de flora nativa para la protección de riberas y orillas, en río/estero	Diseño	400.000	si
77	ES-3-11.3				Construcción de áreas verdes de flora nativa para la protección de riberas y orillas, en río/estero	Ejecución	4.000.000	si
78	NE-1-04	4	4-2	Medida de Gestión: Implementación de Norma Secundaria de Calidad	Manejo de normas ambientales e hídricas, Reservas de agua, Planes y políticas	Ejecución	20.000	no
79	ES-4-03	5	5-1	Diseño, Construcción de Obras de Control Aluvional en Cauces y Quebradas	Construcción de Obras aluvionales, río/quebrada	Factibilidad	300.000	no
80	ES-4-03.1				Construcción de Obras aluvionales, río/quebrada	Diseño	400.000	no
81	ES-4-05				Construcción de Obras aluvionales, río/quebrada	Ejecución	3.000.000	no
82	ES-4-01				Plan de Manejo de Cauce, en río	Ejecución-Prefactibilidad	400.000	no
83	ES-4-02	5	5-2	Diseño, Construcción de Obras de Mejoramiento, Reposición, Restauración o Conservación de Defensas Fluviales, Manejo de Cauces y Riberas	Construcción de Defensas Fluviales, en río	Factibilidad	100.000	no
84	ES-4-02.1				Construcción de Defensas Fluviales, en río	Diseño	120.000	no
85	ES-4-04				Construcción de Defensas Fluviales, en río	Ejecución	4.500.000	no
86	ES-4-08				Conservación de Riberas, en río	Ejecución	1.000.000	no
87	ES-5-01	5	5-3	Diseño, Construcción y Conservación de Obras de Evacuación y	Plan Maestro de Aguas Lluvias o Actualización, Ciudad de	Ejecución-Prefactibilidad	350.000	no
88	ES-5-02				Construcción Sistema de Aguas Lluvias, Ciudad de	Factibilidad	250.000	no

Tabla 5.4-1 Precios Unitarios de Tipologías de Proyectos según Etapa MDSyF

N°	COD INI	IE	Código TP	Tipologías de Proyecto (TP)	Nombre de Pre/Inversión (Genérico)	Etapa MDSyF	Costo (M\$)	Innovadoras
89	ES-5-03			Drenaje de Aguas Lluvias	Construcción Estero/Canal de Aguas Lluvias, Ciudad de	Diseño	300.000	no
90	ES-5-04				Construcción Sistema de Colectores de Aguas Lluvias, Ciudad de	Ejecución	2.460.000	no
91	ES-5-05				Construcción Estero/Canal de Aguas Lluvias, Ciudad de	Ejecución	3.400.000	no
92	ES-5-07				Conservación Sistema de Aguas Lluvias, Ciudad de	Ejecución	1.100.000	no

Fuente: Elaboración propia

5.5 VALORIZACIÓN DE INICIATIVAS ESTRATÉGICAS

A continuación, se presenta un resumen de la cantidad y costos totales de inversión propuesta por Iniciativa Estratégica para dar respuesta a las brechas identificadas en la región. Es importante destacar que no es viable realizar el total de inversiones de manera simultánea, tanto por la magnitud de recursos económicos, mano de obra y control. Es por ello que en el siguiente Capítulo se realiza la priorización de los proyectos en función de las necesidades más inmediatas. La planilla con el detalle de la cartera de inversiones de cada Iniciativa Estratégica se presenta en el Anexo 07.07.

Tabla 5.5-1 Costos totales propuesta por IE para dar respuesta a las brechas identificadas

IE	N° de Inversiones	Costo de Inversiones no Priorizada (M\$)
OHIG -INI-EST-01	133	371.568.283
OHIG -INI-EST-02	91	378.633.568
OHIG -INI-EST-03	71	34.566.082
OHIG -INI-EST-04	24	44.214.280
OHIG -INI-EST-05	53	152.852.985
TOTAL	372	981.835.198

Fuente: Elaboración propia

5.6 ESTIMACIÓN DE BENEFICIOS PARA LA MATRIZ HÍDRICA

5.6.1 Beneficios de Inversiones

Para estimar los beneficios de las inversiones propuestas se consideraron los siguientes criterios:

- Se define su incidencia o impacto asociado a su desarrollo, tales como:
 - Más Información
 - Más Personas abastecidas
 - Más personas con saneamiento
 - Superficie de riego equivalente beneficiada
 - Volumen Regulado

- Protección de Riberas
- Recarga Acuíferos
- Se define la unidad de medida del Beneficio, por ejemplo:
 - en proyectos reúso el beneficio se mide en las potenciales hectáreas beneficiadas,
 - en proyectos de APR y saneamiento en el número de personas.
 - En proyectos fluviales, aluviales en km de riberas mejorados/protegidos
- El Beneficio efectivo solo se incorpora en las Inversiones en etapas de ejecución y de estudio (prefactibilidad y Ejecución)

En la Tabla 5.6-1, se indica la unidad de Beneficio y la incidencia de cada tipo de inversión, el detalle del beneficio se presenta en el Anexo 07.07.

Tabla 5.6-1 Criterios para la estimación de beneficios por Inversión (General)

COD INI	Etapas	Nombre Inversión General	Unidad Valorización	Unidad Beneficio	Incidencia
ES-1-01.1F_G	Factibilidad	Diseño y Construcción de Estaciones Fluviométricas o Glaciológicas	Unidad	estaciones	Más Información
ES-1-01.1M_RN	Factibilidad	Diseño y Construcción de Estaciones Meteorológicas/Ruta de Nieve	Unidad	estaciones	Más Información
ES-1-01.2F_G	Diseño	Diseño y Construcción de Estaciones Fluviométricas o Glaciológicas	Unidad	estaciones	Más Información
ES-1-01.2M_RN	Diseño	Diseño y Construcción de Estaciones Meteorológicas/Ruta de Nieve	Unidad	estaciones	Más Información
ES-1-01F	Ejecución	Construcción de Estaciones Fluviométrica c/s Montaña	Unidad	estaciones	Más Información
ES-1-01M	Ejecución	Construcción de Estaciones Meteorológicas	Unidad	estaciones	Más Información
ES-1-01G	Ejecución	Construcción de Estaciones Glaciológicas	Unidad	estaciones	Más Información
ES-1-01RN	Ejecución	Construcción de Rutas de Nieve	Unidad	estaciones	Más Información
ES-1-02.1	Factibilidad	Construcción de Sistemas de Telemétricos para Control en Línea	Nº APR existentes promedio	inversiones	Más Información A nivel Cuenca
ES-1-02.2	Diseño	Construcción de Sistemas de Telemétricos para Control en Línea	Nº APR existentes promedio	inversiones	Más Información A nivel Cuenca
ES-1-02	Ejecución	Construcción de Sistemas de Telemétricos para Control en Línea	Nº APR existentes promedio	inversiones	Más Información A nivel Cuenca
ES-1-03.1	Factibilidad	Construcción y/o Ampliación de Red Piezométrica + Calidad	Unidad	pozos de monitoreo	Más Información
ES-1-03.2	Diseño	Construcción y/o Ampliación de Red Piezométrica + Calidad	Unidad	pozos de monitoreo	Más Información
ES-1-03	Ejecución	Construcción y/o Ampliación de Red Piezométrica + Calidad	Unidad	pozos de monitoreo	Más Información
ES-1-04	Ejecución	Conservación redes Hidrométricas (Anual)	Anual	Anuales	Conservación
ES-2-01	Factibilidad	Prefactibilidad Construcción Sistema de Agua Potable Rural	Nº Arranques	Personas	Mas Personas Abastecidas
ES-2-01A	Factibilidad	Prefactibilidad Ampliación/Mejoramiento Sistema de Agua Potable Rural	Nº Arranques	Personas	Mas Personas Abastecidas
ES-2-02	Factibilidad	Prefactibilidad Ampliación/Mejoramiento Sistema de Agua Servidas	Nº Arranques	Personas	Mas personas con Saneamiento
ES-2-03	Factibilidad	Diseño de Sistemas de reúso de agua en zonas sin saneamiento	Nº Arranques	ha	Superficie de Riego Beneficiada
ES-2-04.1	Factibilidad	Diseño de Elementos Eficientes en el sistema de Agua Potable	Nº Arranques regionales	Personas	Mayor Eficiencia
ES-2-04	Diseño	Diseño de Elementos Eficientes en el sistema de Agua Potable	Nº Arranques regionales	Personas	Mayor Eficiencia
ES-2-05	Diseño	Diseño Construcción Sistema APR	Nº Arranques	Personas	Mas Personas Abastecidas
ES-2-05A	Diseño	Diseño Ampliación/Mejoramiento Sistema APR	Nº Arranques	Personas	Mas Personas Abastecidas
ES-2-06	Diseño	Diseño Construcción/Ampliación Sistema SSR	Nº Arranques	Personas	Mas personas con Saneamiento
ES-2-07	Diseño	Diseño Construcción de Colectores de Aguas Servidas	Nº Arranques	Personas	Mas personas con Saneamiento
ES-2-08	Ejecución	Construcción Sistema APR	Nº Arranques	Personas	Mas Personas Abastecidas
ES-2-08A	Ejecución	Ampliación/Mejoramiento Sistema APR	Nº Arranques	Personas	Mas Personas Abastecidas
ES-2-09	Ejecución	Construcción/Ampliación Sistema SSR	Nº Arranques	Personas	Mas personas con Saneamiento
ES-2-10	Ejecución	Construcción de Colectores de Aguas Servidas	Nº Arranques	Personas	Mas personas con Saneamiento
ES-2-11	Ejecución	Implementación de Sistemas de reúso de agua en zonas sin saneamiento	Nº Arranques	ha	Superficie de Riego Equivalente Beneficiada
ES-2-11.1	Diseño	Implementación de Sistemas de reúso de agua en zonas sin saneamiento	Nº Arranques	ha	Superficie de Riego Equivalente Beneficiada
ES-2-12	Ejecución	Implementación de Elementos Eficientes en el sistema de Agua Potable	Nº Arranques regionales	personas	Red de APR
ES-2-13	Ejecución	Conservación Infraestructura Sanitaria (Anual)	Anual	Anuales	Conservación
ES-2-14.1	Factibilidad	Implementación de plantas desaladoras para disponibilidad de agua	Nº Arranques	personas	Mas Personas Abastecidas
ES-2-14.2	Diseño	Implementación de plantas desaladoras para disponibilidad de agua	Nº Arranques	personas	Mas Personas Abastecidas
ES-2-14	Ejecución	Implementación de plantas desaladoras para disponibilidad de agua	Nº Arranques	personas	Mas Personas Abastecidas

Tabla 5.6-1 Criterios para la estimación de beneficios por Inversión (General)

COD INI	Etapas	Nombre Inversión General	Unidad Valorización	Unidad Beneficio	Incidencia
ES-2-15	Ejecución	Construcción de Plantas de Tratamiento	Nº Arranques	personas	Mas personas con Saneamiento
ES-3-01	Factibilidad	Estudio de prefactibilidad de obras medianas de riego y acumulación	Unidad	ha	Superficie de Riego Equivalente Beneficiada
ES-3-02	Factibilidad	Estudio de prefactibilidad de obras mayores de riego y acumulación	Unidad	ha	Superficie de Riego Equivalente Beneficiada
ES-3-03	Diseño	Diseño de obras medianas de riego y acumulación	Unidad	ha	Superficie de Riego Equivalente Beneficiada
ES-3-04	Diseño	Diseño de obras mayores de riego y acumulación	Unidad	ha	Superficie de Riego Equivalente Beneficiada
ES-3-05.1	Factibilidad	Construcción Mejoramiento tecnológico de sistemas de Riego	Unidad	inversiones	Mayor Eficiencia
ES-3-05	Diseño	Construcción Mejoramiento tecnológico de sistemas de Riego	Unidad	inversiones	Mayor Eficiencia
ES-3-06	Ejecución	Construcción de obras medianas de riego y acumulación	km	ha	Superficie de Riego Equivalente Beneficiada
ES-3-07	Ejecución	Construcción de obras mayores de riego y acumulación	Anual	Volumen Regulado	Volumen Regulado
ES-3-08	Ejecución	Construcción Mejoramiento tecnológico para la eficiencia de sistemas de Riego	Unidad	ha	Mayor Eficiencia
ES-3-09	Ejecución	Conservación obras medianas de riego, Cuenca	Anual	Anuales	Conservación
ES-3-10	Ejecución	Conservación grandes obras de riego, Cuenca	Anual	Anuales	Conservación
ES-3-11.1	Factibilidad	Construcción de áreas verdes para la protección de riberas y orillas, en río/estero	Unidad	inversiones	Protección Riberas
ES-3-11.2	Diseño	Construcción de áreas verdes para la protección de riberas y orillas, en río/estero	Unidad	inversiones	Protección Riberas
ES-3-11.3	Ejecución	Construcción de áreas verdes para la protección de riberas y orillas, en río/estero	km	km	Protección Riberas
ES-4-01	Ejecución-Prefactibilidad	Plan de Manejo de Cauce	Unidad	inversiones	Diagnóstico del comportamiento Fluvioaluvial
ES-4-02	Factibilidad	Diseño Construcción de Defensas Fluviales	1 km	km	Protección Riberas
ES-4-02.1	Diseño	Diseño Construcción de Defensas Fluviales	1 km	km	Protección Riberas
ES-4-03	Ejecución	Diseño Construcción de Obras aluvionales	1 km	km	Protección Riberas
ES-4-03.1	Diseño	Diseño Construcción de Obras aluvionales	1 km	km	Protección Riberas
ES-4-04	Ejecución	Construcción de Defensas Fluviales	1 km	km	Protección Riberas
ES-4-05	Ejecución	Construcción de Obras aluvionales	1 km	km	Protección Riberas
ES-4-06.1	Factibilidad	Construcción de obras regulación e infiltración (Zanjas, piscinas, otros)	10 km	x 10 km	Recarga Acuífero
ES-4-06.2	Diseño	Construcción de obras regulación e infiltración (Zanjas, piscinas, otros)	10 km	x 10 km	Recarga Acuífero
ES-4-06	Ejecución	Construcción de obras regulación e infiltración (Zanjas, piscinas, otros) (	10 km	x 10 km	Recarga Acuífero
ES-4-07.1	Factibilidad	Programa de Conservación y Restauración Ecológica	1 km	km	Protección Riberas
ES-4-07.2	Diseño	Programa de Conservación y Restauración Ecológica	1 km	km	Protección Riberas
ES-4-07	Ejecución	Programa de Conservación y Restauración Ecológica	1 km	km	Protección Riberas
ES-4-08	Ejecución	Conservación de Riberas río/Estero/Quebrada (Anual)	Anual	Anuales	Conservación

Tabla 5.6-1 Criterios para la estimación de beneficios por Inversión (General)

COD INI	Etapas	Nombre Inversión General	Unidad Valorización	Unidad Beneficio	Incidencia
ES-5-01	Ejecución-Prefactibilidad	Plan Maestro de Aguas Lluvias o Actualización (más de 50.000 hab)	Unidad	Inversiones	Diagnóstico del comportamiento de la ciudad frente a eventos de precipitación extrema
ES-5-02	Factibilidad	Factibilidad Construcción Conducciones de Aguas Lluvias (año)	Unidad	Inversiones	Drenaje y Evacuación de Aguas Lluvias
ES-5-03	Diseño	Diseño Sistema de Evacuación de Aguas Lluvias Estero/Canal	km	km	Drenaje y Evacuación de Aguas Lluvias
ES-5-04	Ejecución	Construcción Colector de Aguas Lluvias (año)	1 km	km	Drenaje y Evacuación de Aguas Lluvias
ES-5-05	Ejecución	Construcción Sistema de Evacuación de Aguas Lluvias Estero/Canal	1 km	km	Drenaje y Evacuación de Aguas Lluvias
ES-5-06.1	Factibilidad	Construcción Sistema Urbanos de Drenaje Sostenibles (SUDS)	Unidad	Volumen recarga	Recarga Acuífero
ES-5-06.2	Diseño	Construcción Sistema Urbanos de Drenaje Sostenibles (SUDS)	Unidad	Volumen recarga	Recarga Acuífero
ES-5-06	Ejecución	Implementación de sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS)	1 km	Volumen recarga m3/año	Recarga Acuífero
ES-5-07	Ejecución	Conservación de Colectores río/Estero/Quebrada (Anual)	Anual	Anuales	Conservación
ES-7-01	Factibilidad	Factibilidad construcción recarga acuífero	1 Ha	Volumen recarga	Recarga Acuífero
ES-7-02	Diseño	Diseño construcción recarga acuífero	1 Ha	Volumen recarga	Recarga Acuífero
ES-7-03	Ejecución	Construcción recarga acuífero	1 Ha	Volumen recarga	Recarga Acuífero

Fuente: Elaboración propia

5.6.2 Incidencia en Matriz Hídrica

Para estimar la incidencia de las inversiones propuestas en la matriz hídrica se consideraron los siguientes criterios:

- Se define su incidencia hídrica como:
 - Sin Incidencia
 - Más Oferta
 - Menos Demanda
 - Más demanda
- Se indican criterios definidos para su cuantificación. Los valores se presentan en m³/año, salvo proyectos de embalse, donde la unidad se explicita en hm³
- El efecto efectivo solo se incorpora en las Inversiones en etapas de ejecución.

En la Tabla 5.6-2, se indican los metros cúbicos anuales por unidad según la variable determinada para valorizar la inversión e incidencia en la Matriz Hídrica el detalle se presenta en el Anexo 07.07.

Tabla 5.6-2 Criterios para la estimación de beneficios Matriz Hídrica

COD INI	Etapas	Nombre Inversión PU	Incidencia	Consideraciones
ES-1-01.1F_G	Factibilidad	Diseño y Construcción de Estaciones Fluviométricas o Glaciológicas	Sin Incidencia	Solo considera estudio y diseño no construcción
ES-1-01.1M_RN	Factibilidad	Diseño y Construcción de Estaciones Meteorológicas/Ruta de Nieve	Sin Incidencia	Solo considera estudio y diseño no construcción
ES-1-01.2F_G	Diseño	Diseño y Construcción de Estaciones Fluviométricas o Glaciológicas	Sin Incidencia	Solo considera estudio y diseño no construcción
ES-1-01.2M_RN	Diseño	Diseño y Construcción de Estaciones Meteorológicas/Ruta de Nieve	Sin Incidencia	Solo considera estudio y diseño no construcción
ES-1-01F	Ejecución	Construcción de Estaciones Fluviométrica c/s Montaña	Sin Incidencia	Solo considera estudio y diseño no construcción
ES-1-01M	Ejecución	Construcción de Estaciones Meteorológicas	Sin Incidencia	Solo considera estudio y diseño no construcción
ES-1-01G	Ejecución	Construcción de Estaciones Glaciológicas	Sin Incidencia	Solo considera estudio y diseño no construcción
ES-1-01RN	Ejecución	Construcción de Rutas de Nieve	Sin Incidencia	Solo considera estudio y diseño no construcción
ES-1-02.1	Factibilidad	Construcción de Sistemas de Telemétricos para Control en Línea	Sin Incidencia	Solo considera estudio y diseño no construcción
ES-1-02.2	Diseño	Construcción de Sistemas de Telemétricos para Control en Línea	Sin Incidencia	Solo considera estudio y diseño no construcción
ES-1-02	Ejecución	Construcción de Sistemas de Telemétricos para Control en Línea	Sin Incidencia	
ES-1-03.1	Factibilidad	Construcción y/o Ampliación de Red Piezométrica + Calidad	Sin Incidencia	Solo considera estudio y diseño no construcción
ES-1-03.2	Diseño	Construcción y/o Ampliación de Red Piezométrica + Calidad	Sin Incidencia	Solo considera estudio y diseño no construcción
ES-1-03	Ejecución	Construcción y/o Ampliación de Red Piezométrica + Calidad	Sin Incidencia	
ES-1-04	Ejecución	Conservación redes Hidrométricas (Anual)	Sin Incidencia	Solo considera estudio y diseño no construcción
ES-2-01	Factibilidad	Prefactibilidad Construcción Sistema de Agua Potable Rural	Más Demanda	Solo considera estudio y diseño no construcción
ES-2-01A	Factibilidad	Prefactibilidad Ampliación/Mejoramiento Sistema de Agua Potable Rural	Más Demanda	Solo considera estudio y diseño no construcción
ES-2-02	Factibilidad	Prefactibilidad Ampliación/Mejoramiento Sistema de Agua Servidas	Sin Incidencia	Solo considera estudio y diseño no construcción
ES-2-03	Factibilidad	Diseño de Sistemas de reúso de agua en zonas sin saneamiento	Más Oferta	Solo considera estudio y diseño no construcción
ES-2-04.1	Factibilidad	Diseño de Elementos Eficientes en el sistema de Agua Potable	Menos Demanda	Solo considera estudio y diseño no construcción
ES-2-04	Diseño	Diseño de Elementos Eficientes en el sistema de Agua Potable	Menos Demanda	Solo considera estudio y diseño no construcción
ES-2-05	Diseño	Diseño Construcción Sistema APR	Más Demanda	Solo considera estudio y diseño no construcción
ES-2-05A	Diseño	Diseño Ampliación/Mejoramiento Sistema APR	Más Demanda	Solo considera estudio y diseño no construcción
ES-2-06	Diseño	Diseño Construcción/Ampliación Sistema SSR	Sin Incidencia	Solo considera estudio y diseño no construcción
ES-2-07	Diseño	Diseño Construcción de Colectores de Aguas Servidas	Sin Incidencia	Solo considera estudio y diseño no construcción
ES-2-08	Ejecución	Construcción Sistema APR	Más Demanda	caudal por Arranque
ES-2-08A	Ejecución	Ampliación/Mejoramiento Sistema APR	Más Demanda	caudal por Arranque
ES-2-09	Ejecución	Construcción/Ampliación Sistema SSR	Sin Incidencia	
ES-2-10	Ejecución	Construcción de Colectores de Aguas Servidas	Sin Incidencia	
ES-2-11	Ejecución	Implementación de Sistemas de reúso de agua en zonas sin saneamiento	Más Oferta	caudal por Arranca x factor de recuperación 0,8
ES-2-11.1	Diseño	Implementación de Sistemas de reúso de agua en zonas sin saneamiento	Más Oferta	Solo considera estudio y diseño no construcción
ES-2-12	Ejecución	Implementación de Elementos Eficientes en el sistema de Agua Potable	Menos Demanda	Considera un 5% en el mejoramiento de la eficiencia de la red
ES-2-13	Ejecución	Conservación Infraestructura Sanitaria (Anual)	Sin Incidencia	Solo considera estudio y diseño no construcción
ES-2-14.1	Factibilidad	Implementación de plantas desaladoras para disponibilidad de agua	Más Oferta	Solo considera estudio y diseño no construcción
ES-2-14.2	Diseño	Implementación de plantas desaladoras para disponibilidad de agua	Más Oferta	Solo considera estudio y diseño no construcción
ES-2-14	Ejecución	Implementación de plantas desaladoras para disponibilidad de agua	Más Oferta	caudal por Arranque
ES-2-15	Ejecución	Construcción de Plantas de Tratamiento	Sin Incidencia	
ES-3-01	Factibilidad	Estudio de prefactibilidad de obras medianas de riego y acumulación	Menos Demanda	Solo considera estudio y diseño no construcción
ES-3-02	Factibilidad	Estudio de prefactibilidad de obras mayores de riego y acumulación	Más Oferta	Solo considera estudio y diseño no construcción
ES-3-03	Diseño	Diseño de obras medianas de riego y acumulación	Menos Demanda	Solo considera estudio y diseño no construcción

Tabla 5.6-2 Criterios para la estimación de beneficios Matriz Hídrica

COD INI	Etapas	Nombre Inversión PU	Incidencia	Consideraciones
ES-3-04	Diseño	Diseño de obras mayores de riego y acumulación	Más Oferta	Solo considera estudio y diseño no construcción
ES-3-05.1	Factibilidad	Construcción Mejoramiento tecnológico de sistemas de Riego	Menos Demanda	Solo considera estudio y diseño no construcción
ES-3-05	Diseño	Construcción Mejoramiento tecnológico de sistemas de Riego	Menos Demanda	Solo considera estudio y diseño no construcción
ES-3-06	Ejecución	Construcción de obras medianas de riego y acumulación	Menos Demanda	Para la estimación de estos volúmenes, se han considerado las siguientes variables: 1. Demanda de agua para riego por cuenca, 2. Longitud total de los canales por cuenca. 3. Porcentaje promedio de pérdida de agua en canales, según el Boletín INIA N° 412. Además, se ha asumido que el máximo de hectáreas regadas por kilómetro de canal es de 100 hectáreas.
ES-3-07	Ejecución	Construcción de obras mayores de riego y acumulación	Más Oferta	
ES-3-08	Ejecución	Construcción Mejoramiento tecnológico para la eficiencia de sistemas de Riego	Menos Demanda	
ES-3-09	Ejecución	Conservación obras medianas de riego, Cuenca	Sin Incidencia	Solo considera estudio y diseño no construcción
ES-3-10	Ejecución	Conservación grandes obras de riego, Cuenca	Sin Incidencia	Solo considera estudio y diseño no construcción
ES-3-11.1	Factibilidad	Construcción de áreas verdes para la protección de riberas y orillas, en río/estero	Sin Incidencia	Solo considera estudio y diseño no construcción
ES-3-11.2	Diseño	Construcción de áreas verdes para la protección de riberas y orillas, en río/estero	Sin Incidencia	Solo considera estudio y diseño no construcción
ES-3-11.3	Ejecución	Construcción de áreas verdes para la protección de riberas y orillas, en río/estero	Sin Incidencia	
ES-4-01	Ejecución-Prefactibilidad	Plan de Manejo de Cauce	Sin Incidencia	Solo considera estudio y diseño no construcción
ES-4-02	Factibilidad	Diseño Construcción de Defensas Fluviales	Sin Incidencia	Solo considera estudio y diseño no construcción
ES-4-02.1	Diseño	Diseño Construcción de Defensas Fluviales	Sin Incidencia	Solo considera estudio y diseño no construcción
ES-4-03	Ejecución	Diseño Construcción de Obras aluvionales	Sin Incidencia	Solo considera estudio y diseño no construcción
ES-4-03.1	Diseño	Diseño Construcción de Obras aluvionales	Sin Incidencia	Solo considera estudio y diseño no construcción
ES-4-04	Ejecución	Construcción de Defensas Fluviales	Sin Incidencia	
ES-4-05	Ejecución	Construcción de Obras aluvionales	Sin Incidencia	
ES-4-06.1	Factibilidad	Construcción de obras regulación e infiltración (Zanjas, piscinas, otros)	Más Oferta	Solo considera estudio y diseño no construcción
ES-4-06.2	Diseño	Construcción de obras regulación e infiltración (Zanjas, piscinas, otros)	Más Oferta	Solo considera estudio y diseño no construcción
ES-4-06	Ejecución	Construcción de obras regulación e infiltración (Zanjas, piscinas, otros) (	Más Oferta	Para el cálculo se considera que para Pp mayores a 5mm la zanja se llena completamente
ES-4-07.1	Factibilidad	Programa de Conservación y Restauración Ecológica	Sin Incidencia	Solo considera estudio y diseño no construcción
ES-4-07.2	Diseño	Programa de Conservación y Restauración Ecológica	Sin Incidencia	
ES-4-07	Ejecución	Programa de Conservación y Restauración Ecológica	Sin Incidencia	
ES-4-08	Ejecución	Conservación de Riberas río/Estero/Quebrada (Anual)	Sin Incidencia	
ES-5-01	Ejecución-Prefactibilidad	Plan Maestro de Aguas Lluvias o Actualización (más de 50.000 hab)	Sin Incidencia	Solo considera estudio y diseño no construcción
ES-5-02	Factibilidad	Factibilidad Construcción Conducciones de Aguas Lluvias (año)	Sin Incidencia	Solo considera estudio y diseño no construcción
ES-5-03	Diseño	Diseño Sistema de Evacuación de Aguas Lluvias Estero/Canal	Sin Incidencia	Solo considera estudio y diseño no construcción
ES-5-04	Ejecución	Construcción Colector de Aguas Lluvias (año)	Sin Incidencia	

Tabla 5.6-2 Criterios para la estimación de beneficios Matriz Hídrica

COD INI	Etapas	Nombre Inversión PU	Incidencia	Consideraciones
ES-5-05	Ejecución	Construcción Sistema de Evacuación de Aguas Lluvias Estero/Canal	Sin Incidencia	
ES-5-06.1	Factibilidad	Construcción Sistema Urbanos de drenaje Sostenibles (SUDS)	Más Oferta	Solo considera estudio y diseño no construcción
ES-5-06.2	Diseño	Construcción Sistema Urbanos de drenaje Sostenibles (SUDS)	Más Oferta	Solo considera estudio y diseño no construcción
ES-5-06	Ejecución	Implementación de sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS)	Más Oferta	
ES-5-07	Ejecución	Conservación de Colectores río/Estero/Quebrada (Anual)	Sin Incidencia	Solo considera estudio y diseño no construcción
ES-7-01	Factibilidad	Factibilidad construcción recarga acuífero	Más Oferta	Solo considera estudio y diseño no construcción
ES-7-02	Diseño	Diseño construcción recarga acuífero	Más Oferta	Solo considera estudio y diseño no construcción
ES-7-03	Ejecución	Construcción recarga acuífero	Más Oferta	
NE-1-04	Coordinación Integral de Instituciones Públicas y Privadas	Creación de mesa de trabajo para el Manejo Integrado de Cuenca	Sin Incidencia	Solo considera estudio y diseño no construcción
NE-2-01	Programa	Diseño y Ejecución de Seminarios y talleres	Sin Incidencia	Solo considera estudio y diseño no construcción
NE-2-02	Programa	Diseño y Ejecución de Programas de Capacitación y Seguimiento	Sin Incidencia	Solo considera estudio y diseño no construcción
NE-2-03	Programa	Programa de reforzamiento de OUA	Sin Incidencia	Solo considera estudio y diseño no construcción
NE-3-01	Instrumento Director	Definición de franjas de restricción y Prohibición por riesgo de inundación, erosión u otro	Sin Incidencia	Solo considera estudio y diseño no construcción
NE-3-02	Estudio	Elaboración Estudio de erosión y arrastre de sedimentos a nivel de cuenca periurbana y sus efectos ambientales, económicos y sociales en el territorio	Sin Incidencia	Solo considera estudio y diseño no construcción
NE-3-03	Estudio	Reforestación y forestación de cuencas en sectores con riesgo de erosión	Sin Incidencia	Solo considera estudio y diseño no construcción
NE-4-01	Estudio	Planes Estratégicos de Recursos Hídricos en la Cuenca	Sin Incidencia	Solo considera estudio y diseño no construcción
NE-4-02	Estudio	Diagnóstico de Recursos Hídricos y Demanda de Riesgo	Sin Incidencia	Solo considera estudio y diseño no construcción
NE-4-03	Estudio	Estudio de Disponibilidad de Alternativas de Recursos Hídricos para Consumo Humano	Sin Incidencia	Solo considera estudio y diseño no construcción
NE-4-04	Estudio	Nuevas tecnologías para el consumo humano eficiente y su reúso	Más Oferta	Solo considera estudio y diseño no construcción
NE-4-05	Estudio	Implementación de un sistema de seguimiento y monitoreo integral de la Cuenca	Sin Incidencia	Solo considera estudio y diseño no construcción
NE-4-06	Estudio	Programa de Operación de los sistemas	Sin Incidencia	Solo considera estudio y diseño no construcción

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 6 EVALUACIÓN MULTICRITERIO Y SOCIOECONÓMICA

La metodología desarrollada por MOP para la evaluación socioeconómica ex-ante de planes territoriales de infraestructura (DIRPLAN, 2012) es *“una herramienta que permite al MOP seleccionar el plan más apropiado para un determinado territorio, entendido como aquel que cumple de mejor manera los objetivos que el Plan se propuso para el territorio”*.

Se basa en los siguientes principios generales:

- Existen criterios de decisión que no son incorporados en los indicadores económicos y que son relevantes para la evaluación y selección.
- El procedimiento de evaluación es simple, de fácil aplicación y en concordancia con las metodologías y procedimientos vigentes del Sistema Nacional de Inversiones (SNI).

De acuerdo a lo definido por DIRPLAN, la metodología trata de identificar la mejor alternativa dentro de un conjunto conocido de posibles alternativas, cada una con un determinado impacto en cada uno de los criterios de evaluación, lo que corresponde a un problema de ordenar-jerarquizar o clasificar las alternativas. Para esto se mide cómo cada una de las carteras alternativas de iniciativas estratégicas de inversión cumple: i) con contribuir a los objetivos que el plan se estableció y ii) con contribuir a la eficiencia en el uso de los recursos de inversión. La medición de la contribución a los objetivos del Plan se realiza mediante el cálculo de lo que se ha denominado “Índice Multicriterio” (IMC), mientras que la contribución a la eficiencia en el uso de los recursos se realiza mediante la metodología Costo-Beneficio planteado en la “Metodología para Priorización de Cuencas Hidrográficas para Elaboración de Normas Secundarias de Calidad Ambiental u otros Instrumentos de Gestión relacionados a Calidad del Agua” (Dictuc, 2021).

6.1 EVALUACIÓN MULTICRITERIO

Para la priorización de medidas se utiliza una aproximación de la metodología de Análisis Multicriterio para la Toma de Decisiones (MCDM, por sus siglas en inglés). Este método ha sido estudiado para la priorización de infraestructura hidráulica, específicamente cuando se toman decisiones de inversión de un conjunto de iniciativas que contemplan el mismo producto

estratégico (tipo de inversión). En el presente informe se consideran como criterios de desarrollo las evaluaciones ambientales, tipologías de obras, factores socioeconómicos, político normativo y estratégico a nivel cuenca (ver Tabla 6.1-1), para mayor detalle de la metodología ver Anexo B del Informe Nacional. El resultado de la priorización multicriterio para la región se presenta en el Anexo 01.08.

Tabla 6.1-1 Criterios de Evaluación de Inversiones y valorización para su priorización

Ámbito	Ambiental	Tipologías de Obras		Social	Socioeconómico	Político Normativo	Estratégico nivel cuenca y regional
Indicador	Protección y recuperación de las fuentes de agua	Requiere ingreso a SEIA	Categoría Sustentabilidad de Obras	Obras vinculadas a Dimensiones de Seguridad Hídrica ⁽²⁾	Categoría de Multipropósito	Alineamiento político / normativo	PRIORIZACIÓN DE CUENCAS EN LA REGIÓN (viene del listado de cuencas priorizadas, depende del código de cuenca)
Escala	Alta [4]: Iniciativas destinadas a la protección y recuperación de los recursos hídricos Baja [1]: No aplica lo anterior	Alta [4]: No requiere ingreso a SEIA Media [2]: Requiere análisis de pertinencia a SEIA Baja [1]: Requiere ingreso a SEIA	Alta [4]: Iniciativas innovadoras MOP (SbN, protección y recuperación de las fuentes de agua, recarga acuíferos, las habilitadas para el MOP por las leyes 21.639 y 20.998, otras) basadas en la Naturaleza u otras iniciativas no cubiertas por el MOP Media Alta [3]: Inversiones vinculadas a optimizar el uso del recurso hídrico Media Baja [2]: Embalses fuera del río o piscinas de acumulación Baja [1]: Iniciativas Tradicionales (Embalses en el río, Trasvase de agua entre distintas cuencas, otras obras grises no mencionadas anteriormente)	Alta [17]: Iniciativas vinculadas a Consumo Humano [D1 -AP] Media Alta [12]: Iniciativas vinculadas a Resiliencia [D4] Media [9]: Iniciativas vinculadas a Saneamiento [D1 -AS] Media Baja [8]: Iniciativas vinculadas a Conservación [D3] Baja [5]: Iniciativas vinculadas a Desarrollo Económico [D2]	Alta [4]: Iniciativas multipropósito Baja [1]: No aplica lo anterior	Alta [4]: Cuenta con factibilidad política y cuenta con normativa adecuada Media [2]: Cuenta con factibilidad política, pero requiere cambios normativos Baja [1]: No cuenta con factibilidad política y/o requiere cambios normativos	Alta [4]: Mayor o igual al percentil del 75% Media [2]: Entre los percentiles del 75% y 25% Baja [1]: Menor o igual al percentil del 25%
Justificación	Alta [4]: Permite la protección y recuperación de los recursos hídricos de acuerdo a la definición de la iniciativa en el informe regional, acápite 5.3 Conformación de la cartera de pre/inversión Baja [1]: No se vincula a proyectos destinados a la protección y recuperación de los recursos hídricos	Alta [4]: Conforme a lo dispuesto ¹ , NO es necesario que la inversión deba ejecutarse o modificarse previa la evaluación de su impacto ambiental Media [2]: Conforme a lo dispuesto ¹ , la inversión requiere análisis de pertinencia para evaluación ambiental Baja [1]: Conforme a lo dispuesto ¹ , SI es necesario que la inversión deba ejecutarse o modificarse previa la evaluación de su impacto ambiental	Alta [4]: Se considera iniciativa innovadora de acuerdo a la definición presentada en el acápite 5.3.1 del Anexo B Enfoque metodológico Media Alta [3]: Se considera iniciativa vinculada a optimizar el uso del recurso hídrico de acuerdo a la definición presentada en el acápite 5.3 del Anexo B Enfoque metodológico Media Baja [2]: Se considera iniciativa vinculada a embalses fuera del río o piscinas de acumulación, de acuerdo a la definición presentada en el acápite 5.3 del Anexo B Enfoque metodológico Baja [1]: Se considera iniciativa NO innovadora de acuerdo a la definición presentada en el acápite 5.3.1 del Anexo B Enfoque metodológico	Alta [17]: Se identifica como iniciativa necesaria para resolver brechas estratégicas para la dimensión de Consumo Humano [D1-AP] Media Alta [12]: Se identifica como iniciativa necesaria para resolver brechas estratégicas para la dimensión de Resiliencia frente a amenazas asociadas a sequías, crecidas y la prevención de la contaminación [D4] Media [9]: Se identifica como iniciativa necesaria para resolver brechas estratégicas para la dimensión de Saneamiento Y Reúso [D1-AS] Media Baja [8]: Se identifica como iniciativa necesaria para resolver brechas estratégicas para la dimensión de Conservación y preservación de los ecosistemas [D3] Baja [5]: Se identifica como iniciativa necesaria para resolver brechas estratégicas para la dimensión de Producción sostenible y eficiencia hídrica [D2]	Alta [4]: Se considera iniciativa multipropósito de acuerdo a la definición presentada en el acápite 5.2 del Anexo B Enfoque metodológico Baja [1]: Se considera iniciativa NO multipropósito de acuerdo a la definición presentada en el acápite 5.2 del Anexo B Enfoque metodológico	Alta [4]: Cuenta con factibilidad política y cuenta con normativa adecuada de acuerdo a la normativa e instrumentos planteados en el acápite 3 del Informe Nacional Media [2]: Cuenta con factibilidad política, pero requiere cambios normativos de acuerdo a la normativa e instrumentos planteados en el acápite 3 del Informe Nacional Baja [1]: No cuenta con factibilidad política y/o requiere cambios normativos de acuerdo a la normativa e instrumentos planteados en el acápite 3 del Informe Nacional	
Ponderación	10%	9%	13%	20%	12%	12%	12%
Max	4	4	4	4	4	4	4
Min	1	1	1	1	1	1	1

(1): En el artículo 8° de la Ley 19.300, sobre Bases Generales del Medio Ambiente y en el artículo 10° de la misma Ley

(2): Dimensiones previamente ponderadas según cantidad de habitantes por cuenca, actividad económica con mayor demanda hídrica en la región, área de humedales protegidos en la cuenca y densidad poblacional por cuenca, correspondientemente a cada dimensión.

Fuente: Elaboración propia

6.2 EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA

Dentro de la evaluación socioeconómica se desarrolló la evaluación Costo-Beneficio utilizando un enfoque basado en la normalización para garantizar la comparabilidad entre las variables. El método de normalización fue considerado según lo planteado por Dictuc (2021).

Tanto el costo como el beneficio de cada iniciativa fueron normalizados según el método de re-escalamiento, el cual considera los valores de las variables llevándolos a un rango entre [0-1], empleando las fórmulas:

$$Ec(1) \quad y_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_j)}{\max(x_j) - \min(x_j)} * 100$$

$$Ec(2) \quad y_{ij} = \frac{\max(x_j) - x_{ij}}{\max(x_j) - \min(x_j)} * 100$$

Donde:

Ec(1): Para indicadores con relación positiva, en este caso los **beneficios**

Ec(2): Para indicadores con relación negativa, en este caso los **costos**

y_{ij} = Variable normalizada

x_{ij} = Variable original

$\min(x_{ij})$ = El valor más bajo de esa variable en todo el conjunto de datos de la misma tipología

$\max(x_{ij})$ = El valor más alto de esa variable en todo el conjunto de datos de la misma tipología

Este proceso permitió ajustar los datos, originalmente expresados en distintas unidades, a una escala común. Posteriormente, la razón costo-beneficio fue calculada dividiendo el beneficio normalizado por el costo normalizado:

$$\text{Razón costo beneficio} = \frac{\text{Beneficio normalizado}}{\text{Costo normalizado}}$$

Los valores de la razón reflejan la relación relativa entre el beneficio generado y el costo incurrido, donde valores mayores a 1 indican que el beneficio supera al costo en términos relativos, mientras que valores menores a 1 evidencian que el costo es mayor que el beneficio.

La razón costo beneficio se ponderó con el 12% mientras que la ponderación de la tabla multicriterio (Tabla 1.1 1) es de 88%. Este ajuste busca mantener una equivalencia con la ponderación asignada al criterio de evaluación socioeconómica en la metodología multipropósito.

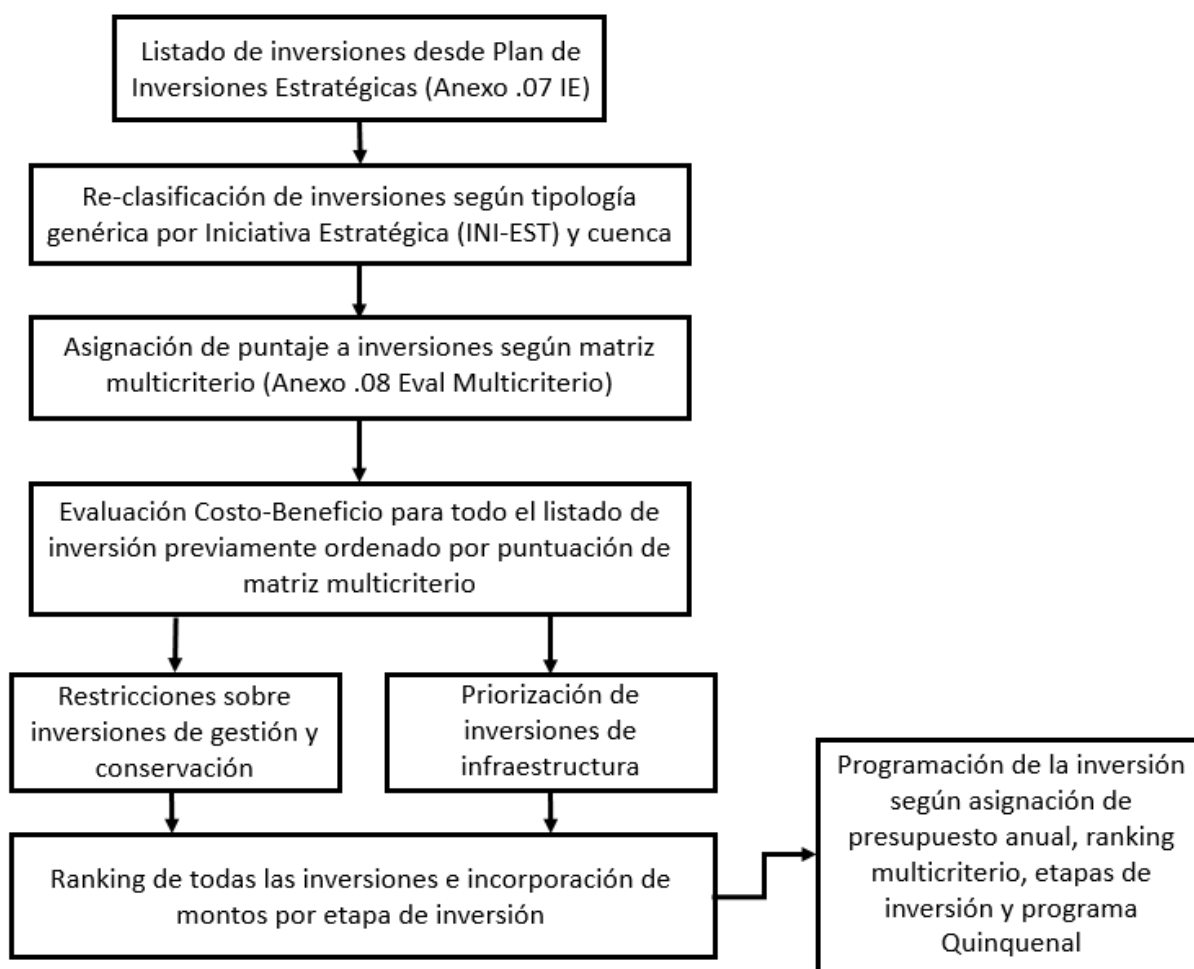
6.3 PRIORIZACIÓN Y CARTERA DE INVERSIONES

Según lo planteado en este capítulo, se han priorizado las inversiones a partir de la matriz multicriterio y el puntaje asignado a cada iniciativa planteada.

Dentro del proceso de priorización se consideraron una serie de restricciones, las cuales permiten una evaluación más precisa y alineada con los objetivos de este estudio. Las restricciones son:

- Se dejan fuera del ranking para la programación de la inversión todas las iniciativas vinculadas a conservación, las que quedan con un monto fijo anual asignado que equivale al promedio de la inversión histórica del MOP para este tipo de iniciativas entre los años 2019-2023. Para la región del Libertador General Bernardo O'Higgins, este equivale a \$5.000.000 (miles de pesos).
- Las medidas de gestión e instrumentos directores (inversiones de gestión) se priorizan por sobre las inversiones de infraestructura, por lo que sus montos de inversión quedan asociados al año 0 (cero) de la cartera programada. Esto debido a que estos tipos de inversión suelen ser medidas habilitantes para la ejecución de inversiones de infraestructura.
- La priorización incluye la inversión de los programas Quinquenales definidos por MOP para los años 2024-2028. Los proyectos marcados como “Ejecutado” ya se desarrollaron, su inclusión en las planillas es para el análisis y orden de la misma, considerando que algunos de estos proyectos aún tienen etapas por ejecutar. Esto no afecta a la inversión final ya que el monto asociado a etapas ya desarrolladas es cero.
- Se considera en la programación un monto disponible anual equivalente a \$33.000.000 (miles de pesos), el cual se obtiene a partir del promedio ajustado anual de la inversión histórica del MOP para esta región entre los años 2019-2023.
- En la programación se incluye el orden de las etapas que conforman una inversión, ordenándose de acuerdo a la siguiente priorización:
 1. Estudio y/o prefactibilidad
 2. Factibilidad
 3. Diseño
 4. Ejecución
- En el caso de las conservaciones, solo se considera la etapa de ejecución.

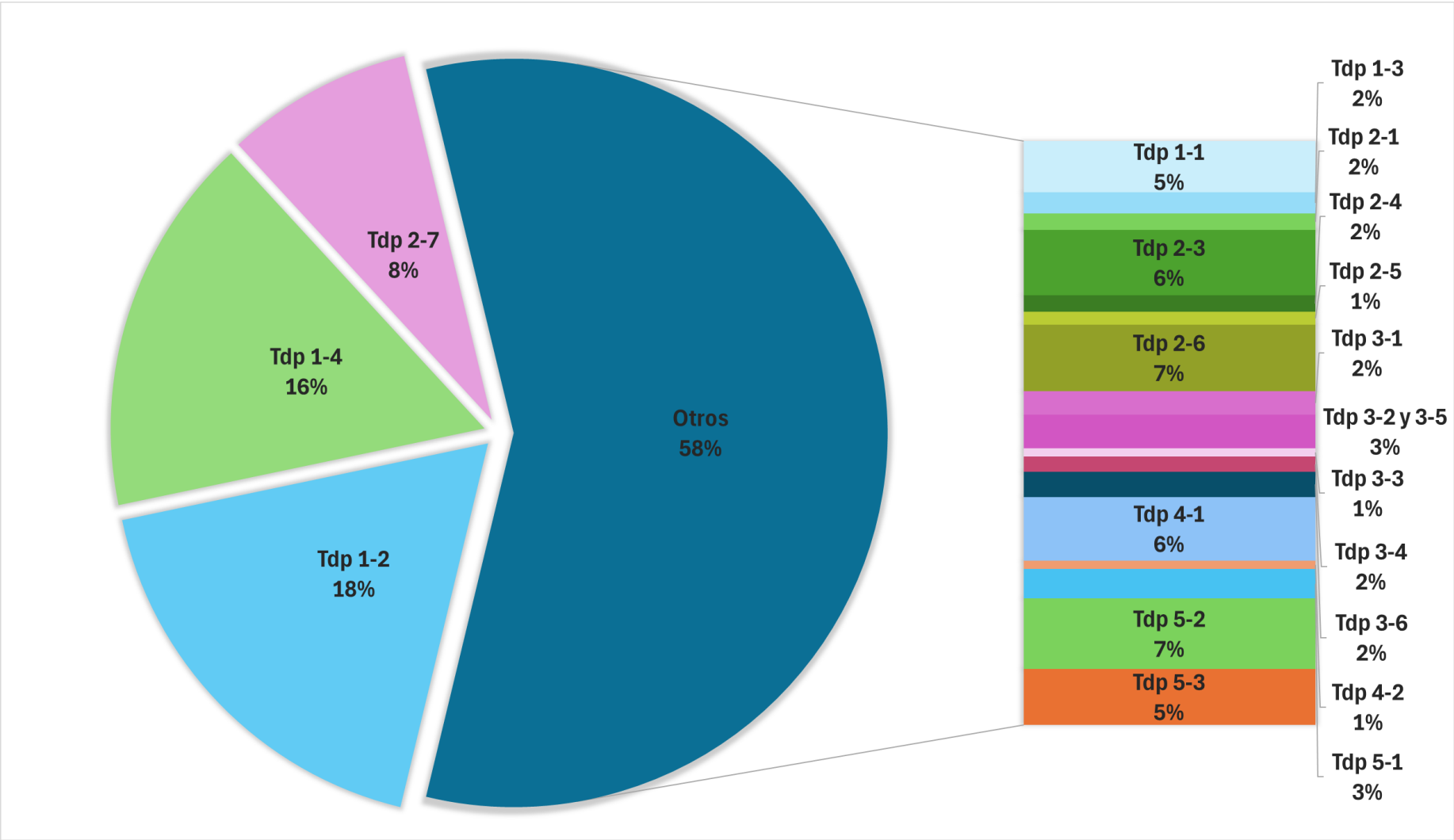
Para una revisión más detallada del procedimiento utilizado, en la Figura 6.3-1 se presenta un diagrama del proceso de priorización multicriterio y la generación de la cartera de inversión desarrollada para cada región.



Fuente: Elaboración propia

Figura 6.3-1 Diagrama de proceso para la generación de la cartera de inversión

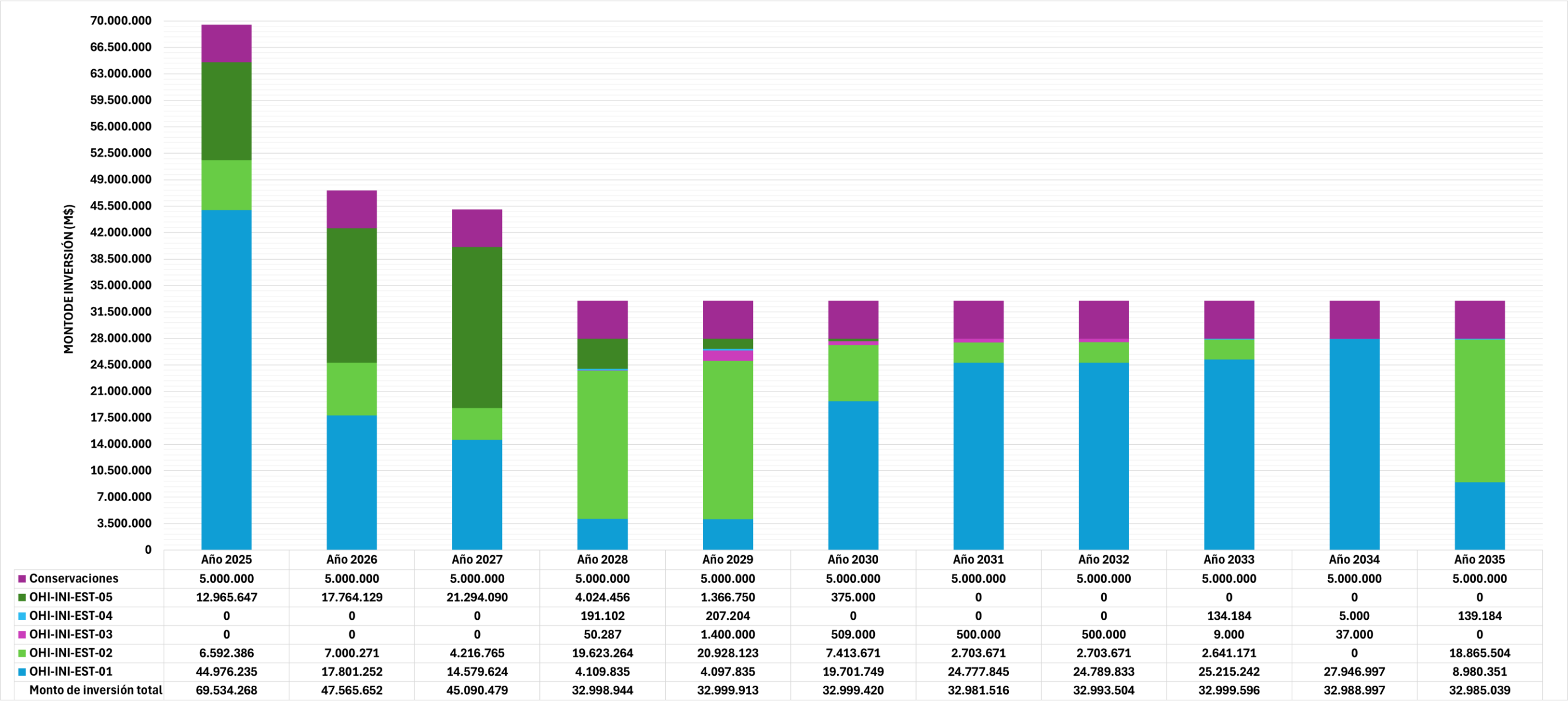
Finalmente, en la Figura 6.3-2 se presenta la cartera de inversión por tipología de proyecto, con su respectiva cantidad y porcentaje. En la Figura 6.3-3 se presenta la cartera de inversiones por cada iniciativa estratégica en la que se desarrollan. En la Figura 6.3-4 se presenta la cartera de inversiones por tipo de fuente de inversión a desarrollar durante el periodo 2025-2035.



Tipología de proyecto	Descripción
1-1	Diseño, Construcción de Sistemas de Agua Potable Rural
1-2	Ampliación y/o Mejoramiento de Servicios Existentes de Agua Potable Rural
1-3	Implementación de Sistemas Operacionales de Telemetría y Control en Sistemas de Agua Potable Rural
1-4	Diseño, Construcción de Alcantarillado y Tratamiento de Aguas Servidas en Servicios Sanitarios Rurales
2-1	Evaluación de Alternativas de Nuevas Fuentes de Abastecimiento de Agua para Consumo Humano y/o Riego. Posterior Diseño, Construcción y Operación de Alternativas Resilientes al Efecto del Cambio Climático
2-2	Diseño y Construcción de Plantas Desaladoras y Desalinizadoras
2-3	Eficiencia en el Uso del Agua: - Fomento de Eficiencia Hídrica en Riego; - Fomento de Eficiencia Hídrica en Agua Potable Urbana
2-4	Diseño y Construcción de Obras para la Recuperación y Recarga de Acuíferos
2-5	Diseño, Construcción de Sistemas de Reutilización de Aguas Servidas para Riego
2-6	Desarrollo de Regularización de DAA en Captaciones; Promoción y Conformación de Organizaciones de Usuarios; Plan de Seguimiento a Planes de Riego
2-7	Diseño, Construcción de Grandes Obras de Riego; Diseño, Construcción de Obras Medianas de Riego; Conservación de Obras Fiscales y No Fiscales de Riego
3-1	Diseño, Construcción e Implementación de Tecnologías en Estaciones Fluviométricas en Cauces y/o Canales
3-2	Diseño, Construcción e Implementación de Tecnologías en Estaciones de Calidad de Aguas en Cuencas
3-3	Diseño, Construcción e Implementación de Tecnologías en Estaciones Meteorológicas
3-4	Diseño, Construcción e Implementación de Tecnologías en Estaciones de Monitoreo de Glaciares y Nieves
3-5	Diseño, Construcción e Implementación de Tecnologías en Pozos de Observación
3-6	Desarrollo e Implementación de una Gestión Integrada de Recursos Hídricos en Cuencas
4-1	Conservación, Restauración y Protección de Humedales, Riberas y Cauces
4-2	Medida de Gestión: Implementación de Norma Secundaria de Calidad
5-1	Diseño, Construcción de Obras de Control Aluvional en Cauces y Quebradas
5-2	Diseño, Construcción de Obras de Mejoramiento, Reposición, Restauración o Conservación de Defensas Fluviales, Manejo de Cauces y Riberas
5-3	Diseño, Construcción y Conservación de Obras de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias

Fuente: Elaboración propia

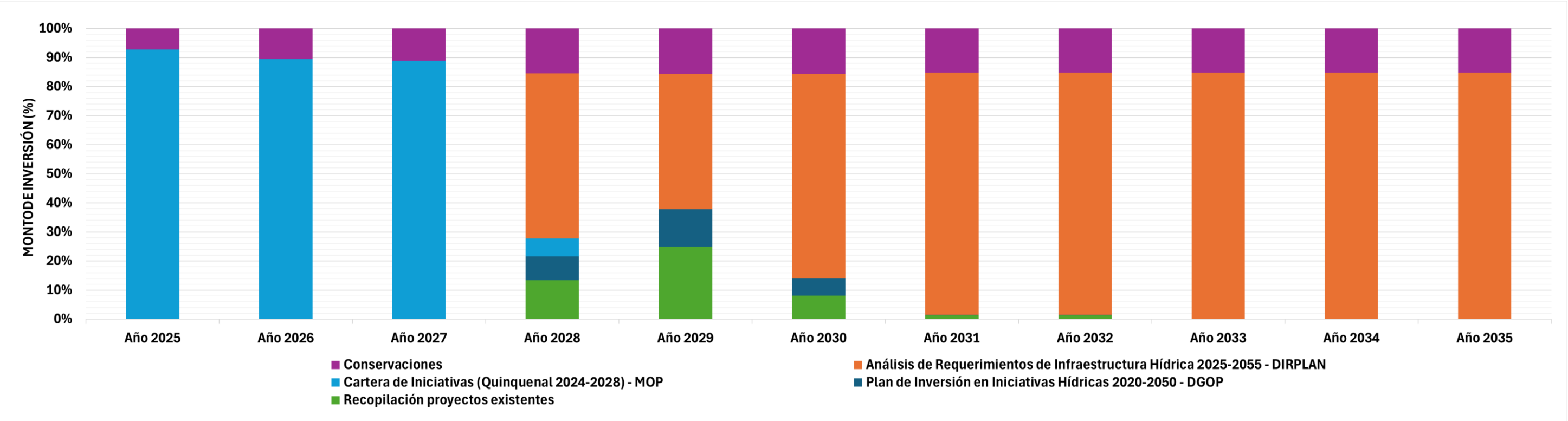
Figura 6.3-2 Composición de la cartera de inversión por tipología de proyecto para la región del Libertador General Bernardo O’Higgins



Leyenda	Descripción iniciativas
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 con énfasis en obras multipropósito diversificadas
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 con énfasis en cambios del patrón hidrológico
INI-EST-05	Sistema integral de infraestructura resiliente en cauces y quebradas para la seguridad territorial y protección de la población con énfasis en cambios del patrón hidrológico

Fuente: Elaboración propia

Figura 6.3-3 Cartera de inversión por tipo de iniciativa estratégica para la región del Libertador General Bernardo O’Higgins



Fuente: Elaboración propia

Figura 6.3-4 Cartera de inversión por tipo de fuente de inversión para la región del Libertador General Bernardo O’Higgins

CAPÍTULO 7 PROPUESTA DE ESCENARIOS DE DESARROLLO

A continuación, se presenta la propuesta de escenarios de desarrollo que permitirán analizar la cartera de inversión de manera estratégica, considerando tanto las tendencias emergentes como los posibles puntos de inflexión que podrían impactar significativamente en la planificación y la capacidad de respuesta frente a los requerimientos hídricos del país.

En primer lugar, se definirán los puntos de inflexión o factores críticos para la toma de decisiones sobre los recursos hídricos; para luego definir los escenarios de desarrollo sobre los cuales se implementará la cartera de inversión.

7.1 SELECCIÓN DE FACTORES CRÍTICOS PARA LA TOMA DE DECISIÓN

Para la selección de factores se consideró como supuesto que unos pocos actores clave impulsan las decisiones que conducen a la implementación de proyectos, y que las decisiones se basan en un conjunto discreto de factores que colectivamente dan forma a las decisiones finales (Siddiqi, Ereiqat, & Diaz Anadon, 2016). Es así como, inicialmente, se identificaron diferentes factores críticos transversales a nivel nacional vinculados a variables como:

- Distribución geográfica y migración: proyección de crecimiento poblacional
- Brechas hídricas y de infraestructura asociadas a la demanda del recurso: Uso y distribución de agua para el consumo humano, el desarrollo económico-productivo, y para la conservación y preservación ecosistémica.
- Brechas hídricas y de infraestructura asociadas a la oferta del recurso y calidad de agua: Sustentabilidad de fuentes de abastecimiento hídrico para diferentes usos y la prevención de contaminación. Incorporación de nuevas fuentes de abastecimiento hídrico. Resiliencia frente a eventos extremos.
- Gobernanza hídrica: colaboración entre los diversos actores involucrados en la gestión hídrica. Desarrollo económico local e impacto social de proyectos de infraestructura hídrica. Acceso a información hídrica en cantidad y calidad.

Con el objetivo de identificar los factores críticos regionales, se desarrolla una breve contextualización de la situación actual en la región respecto a los desafíos y oportunidades futuras en materia de seguridad hídrica.

7.1.1 Contexto regional y áreas de intervención prioritarias

La Región del Libertador General Bernardo O'Higgins, con una población de 914,555 habitantes según el censo de 2017 y una proyección de crecimiento hasta 1,095,440 para el 2035, enfrenta importantes desafíos en materia de crecimiento urbano, gestión hídrica y cambio climático. El crecimiento poblacional ha sido notable en comunas como Machalí, cuya tasa de crecimiento del 4.26% supera la de Rancagua (1.02%). Otras localidades con un aumento significativo incluyen Pichilemu, Graneros y Rengo. Este fenómeno ha generado una expansión urbana desordenada, con un incremento en las áreas residenciales y una mayor demanda de infraestructura de servicios básicos, especialmente en la provincia de Cachapoal.

La región se encuentra dividida en tres provincias: Cachapoal, Colchagua y Cardenal Caro, con diferencias notorias en acceso a servicios hídricos. En zonas urbanas, el 95.75% de las viviendas están conectadas a la red pública de agua potable, superando el promedio nacional del 92.99%. No obstante, la provincia de Cardenal Caro tiene el menor nivel de cobertura, con solo un 85.67%. En zonas rurales, la situación es más crítica: el 10.8% de las viviendas no tienen acceso a la red de agua potable y deben abastecerse de pozos, camiones aljibe o fuentes informales. La cobertura de alcantarillado también es desigual; en áreas urbanas, un 84.4% cuenta con servicio de saneamiento, mientras que en zonas rurales solo el 17.1% dispone de sistemas de alcantarillado, con una fuerte dependencia de fosas sépticas o sistemas de drenaje inadecuados.

El abastecimiento de agua potable en la región se realiza principalmente desde la cuenca del río Rapel (BNA 060), donde se concentra la mayor demanda para consumo humano y productivo. En esta cuenca operan los principales sistemas de producción de agua potable, abasteciendo a comunas como Rancagua, Rengo y San Fernando. Sin embargo, la disponibilidad hídrica se ha visto afectada por la reducción de escorrentías, estimándose una disminución del caudal en la cuenca del Rapel en un 12.5% para el período 2025-2055. En la cuenca del río Maipo (BNA 057), que abastece parte del norte de la región, la disminución proyectada es del 10.83%. Las cuencas Costeras Rapel-Estero Nilahue (BNA 061) también muestran una tendencia decreciente, con una reducción del 25.5% en la oferta hídrica.

El sector agrícola, el mayor consumidor de agua en la región, representa más del 90% de la demanda hídrica total. Se proyecta un aumento del 32% en la demanda de riego entre 2023 y 2055, impulsado por el crecimiento de la superficie cultivada, especialmente de viñas y

parronales en Colchagua y Cachapoal. La eficiencia en el uso del agua en la agricultura es baja, con pérdidas significativas por infiltración y evaporación en sistemas de riego superficial. Se estima que solo el 45% del agua utilizada en riego es efectivamente aprovechada por los cultivos, lo que hace urgente la implementación de sistemas de riego tecnificado, como el riego por goteo, que podría elevar la eficiencia al 85%.

En el ámbito urbano, la eficiencia en el uso del agua potable también presenta desafíos. El consumo promedio por cliente residencial ha aumentado en los últimos años, alcanzando los 5.6 m³/mes, con las tasas más altas registradas en la cuenca del río Maipo. En contraste, las pérdidas en las redes de distribución de agua potable alcanzan un 31%, debido a filtraciones y fallas en la infraestructura. Reducir estas pérdidas mediante inversiones en redes de distribución podría mejorar significativamente la disponibilidad de agua sin necesidad de aumentar la extracción.

El saneamiento es otro desafío crítico. En Rancagua y Machalí, el sistema de alcantarillado está cercano a su capacidad máxima, lo que requiere la ampliación de plantas de tratamiento de aguas servidas. En San Fernando, la cobertura de saneamiento es deficitaria, con sectores que aún dependen de pozos sépticos. En localidades rurales como Marchigüe y Litueche, la ausencia de sistemas de tratamiento genera contaminación de aguas superficiales, afectando la calidad del agua utilizada para riego y consumo humano.

La vulnerabilidad de la región a eventos extremos también es un factor a considerar. Entre 2017 y 2023, se registraron 68 episodios de inundaciones en las cuencas del río Rapel y río Maipo, afectando principalmente a comunas como San Vicente de Tagua Tagua y Pichidegua. Los incendios forestales también representan un riesgo recurrente, con más de 12,000 eventos registrados entre 1977 y 2023, afectando principalmente la provincia de Cardenal Caro.

Para abordar estos desafíos, es necesario fortalecer la infraestructura hídrica mediante la construcción de nuevos embalses, como los proyectados en la cuenca del Rapel, y mejorar la eficiencia de los sistemas de distribución y saneamiento. La implementación de plantas desalinizadoras en Pichilemu y el desarrollo de tecnologías innovadoras, como la captación de agua de niebla en la Cordillera de la Costa, pueden diversificar las fuentes de abastecimiento y mejorar la seguridad hídrica de la región.

El fortalecimiento de la gobernanza del agua es clave para una gestión sostenible del recurso. Se requiere la creación de sistemas participativos de administración de cuencas, el fortalecimiento de las Organizaciones de Usuarios de Agua y la aplicación de normativas más estrictas para la regulación y control de derechos de aprovechamiento. Asimismo, la

protección de ecosistemas hídricos, como los humedales del río Cachapoal, es fundamental para preservar la calidad y disponibilidad del agua.

7.1.2 Factores críticos regionales

A partir de los resultados del análisis de antecedentes presentados anteriormente, y la evaluación experta de la consultora, se identifican los siguientes factores críticos que afectan a la región de forma transversal:

Fuentes de abastecimiento y eficiencia en el uso del agua: La gestión de los recursos hídricos en la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins se verá afectada de manera crítica por la disminución de la disponibilidad de agua y el aumento de la demanda. El cambio climático y la sobreexplotación del recurso han generado una reducción progresiva de la oferta hídrica en la región, con un impacto significativo en sus principales cuencas. En la cuenca del río Rapel (BNA 060), el caudal proyectado disminuirá en un 12.5% entre 2025 y 2055, lo que afectará tanto el abastecimiento urbano como el agrícola en comunas como San Vicente, Rengo y San Fernando. En la cuenca del río Maipo (BNA 057), la reducción de escorrentía alcanzará un 10.83%, impactando el suministro de agua potable en comunas del norte de la región como Mostazal y Codegua. En las cuencas Costeras Rapel-Estero Nilahue (BNA 061), la disminución será del 25.5%, afectando el desarrollo productivo y la disponibilidad de agua potable en localidades costeras como Pichilemu y Navidad. Mientras la oferta hídrica se reduce, la demanda sigue en aumento. Se proyecta un incremento del 33% en el consumo de agua entre 2023 y 2055, siendo el sector agrícola el mayor consumidor con un crecimiento del 32%. La expansión de cultivos intensivos, particularmente viñas y frutales en Cachapoal y Colchagua, presiona aún más el uso del agua, sobre todo en períodos de sequía prolongada. Actualmente, la eficiencia del riego en la región es baja, con un promedio de solo el 45% del agua utilizada aprovechada por los cultivos. La modernización de los sistemas de riego, incorporando tecnologías como el riego por goteo que puede elevar la eficiencia al 85%, será esencial para mitigar la escasez y mejorar la productividad sin aumentar la extracción de agua.

- **Infraestructura de Agua Potable y Saneamiento:** Las deficiencias en infraestructura y el acceso desigual al agua potable y al saneamiento constituyen otro factor crítico. En zonas urbanas, la cobertura de agua potable alcanza el 95.75%, pero en áreas rurales persiste una brecha considerable, especialmente en la provincia de Cardenal Caro, donde solo el 85.67% de las viviendas están conectadas a la red pública. En saneamiento, la diferencia entre lo urbano y lo rural es aún más pronunciada. En las ciudades, el 84.4% de la población cuenta con alcantarillado, mientras que en áreas rurales la cobertura apenas llega al 17.1%. Comunas como Marchigüe, Litueche y Navidad dependen en gran medida de fosas sépticas, pozos filtrantes o sistemas

rudimentarios de drenaje, lo que no solo afecta la calidad de vida, sino que también representa un riesgo de contaminación para los cuerpos de agua superficiales y subterráneos. Además del acceso desigual, las pérdidas en la red de distribución de agua potable representan un problema significativo. Se estima que el 31% del agua potable se pierde por filtraciones y fallas en la infraestructura, lo que significa que una parte sustancial del recurso extraído no llega a los usuarios finales. En la cuenca del río Maipo, la tasa de consumo por cliente residencial ha crecido hasta los 5.6 m³/mes, mientras que en la cuenca del Rapel la infraestructura de saneamiento y distribución está al borde de su capacidad operativa. En localidades como Rancagua y Machalí, la demanda de saneamiento ha superado la capacidad instalada, lo que hace urgente la ampliación de plantas de tratamiento de aguas servidas y la construcción de nuevos colectores. Las condiciones climáticas extremas y los riesgos naturales agravan aún más la crisis hídrica en la región. Entre 2017 y 2023, las cuencas del río Rapel y el río Maipo han registrado 68 episodios de inundaciones, con impactos severos en comunas como San Vicente de Tagua Tagua y Pichidegua. La frecuencia e intensidad de incendios forestales han aumentado, con más de 12,000 eventos registrados entre 1977 y 2023, afectando principalmente la provincia de Cardenal Caro. Estos eventos extremos evidencian la necesidad de mejorar la infraestructura de prevención, como defensas fluviales y sistemas de drenaje, además de implementar estrategias de adaptación climática que permitan minimizar los impactos en la disponibilidad del recurso hídrico.

Las selecciones de estos factores permiten obtener información sobre qué escenarios pueden impulsar la progresión a lo largo de posibles diferentes vías de desarrollo e impulsar la selección de proyectos particulares en el futuro. En este contexto, y con el fin de dar respuesta a las brechas de seguridad hídricas, se propusieron Iniciativas Estratégicas, las cuales engloban un espectro de tipos de proyectos similares que, a su vez, cuentan con una cartera de pre/inversiones. El detalle se presenta en el Anexo 01.07. Las Iniciativas Estratégicas vinculadas a los factores críticos seleccionados y sus respectivos códigos son:

- “Ampliación, Conservación y Mejoramiento Operacional y Tecnológico de SSR en Agua Potable” [OHI-INI-EST-01].
- “Fuentes de abastecimiento sustentables para consumo humano y riego con énfasis en la calidad del agua” [OHI-INI-EST-02].

Dada la magnitud de pre/inversión propuestos, se realizó una priorización de ellos utilizando una matriz Multicriterio, además de una evaluación socioeconómica simplificada. Considerando las iniciativas priorizadas en el acápite 6.2, a continuación, se presentan la propuesta de escenarios de desarrollo futuro, en base a las incertidumbres, vulnerabilidades y oportunidades de la cartera de acciones actual.

7.2 PROPUESTA DE ESCENARIOS DE DESARROLLO

La región de O'Higgins enfrenta desafíos estructurales significativos en torno a la gestión de los recursos hídricos, influenciados por factores como el crecimiento poblacional, la presión sobre los ecosistemas, los efectos del cambio climático y la vulnerabilidad de su infraestructura hídrica.

En este acápite se presentan los cuatro escenarios de desarrollo que reflejan la interacción de las **tendencias globales, los factores locales y los quiebres de tendencia regionales**, y su impacto en los aspectos mencionados de los **desafíos de seguridad hídrica y la capacidad de respuesta del sistema**. Estos escenarios desarrollo corresponden a:

- **Estancamiento crítico:** Aumentan los desafíos de seguridad hídrica y se obstaculiza la capacidad de respuesta.
- **Desafío gestionable:** Aumentan los desafíos de seguridad hídrica, pero no se obstaculiza la capacidad de respuesta.
- **Capacidad limitada:** No aumentan los desafíos de seguridad hídrica, pero se obstaculiza la capacidad de respuesta.
- **Avance sostenible y resiliente:** No aumentan los desafíos de seguridad hídrica y no se obstaculiza la capacidad de respuesta.

Cada escenario ha sido diseñado para proporcionar una visión amplia sobre cómo se pueden desarrollar los recursos hídricos en la región y cómo las políticas y las inversiones pueden mitigar o potenciar los desafíos.

7.2.1 Análisis de estancamiento crítico

La crisis hídrica que enfrenta la región de O'Higgins ha alcanzado un nivel crítico, alimentado por una creciente brecha entre la oferta y la demanda de agua. Esta disparidad afecta tanto a las zonas urbanas como a las rurales de la región, revelando la falta de planificación en la gestión de los recursos hídricos, las presiones derivadas del cambio climático, el crecimiento poblacional y el uso desmedido del recurso. En este contexto, se debe considerar no solo la escasez de agua como un factor limitante, sino también la calidad del recurso, que se ve comprometida por la contaminación y la sobreexplotación.

El fenómeno de la sobreexplotación de los recursos hídricos ha alcanzado niveles alarmantes en la región. En las zonas rurales, donde el acceso al agua potable y al saneamiento es más limitado, la extracción de agua subterránea y de fuentes superficiales se ha incrementado de manera desproporcionada, alcanzando niveles de sobreexplotación de entre 26% y 34% por encima de la tasa de recarga natural de los acuíferos. Esta situación es particularmente grave en provincias como Cachapoal y Colchagua, que dependen en gran medida de los Ríos Maipo (BNA 057) y Rapel (BNA 060). La sobreexplotación de estos

recursos amenaza no solo la disponibilidad de agua para consumo humano y agrícola, sino también el equilibrio de los ecosistemas acuáticos que dependen de estos caudales para su supervivencia.

En las áreas urbanas, las ciudades de Rancagua, Machalí y otras áreas circundantes se enfrentan a un aumento exponencial de la demanda de agua potable urbana (APU), impulsado por el crecimiento poblacional y la expansión de las actividades económicas. Esto ha colocado una presión adicional sobre las infraestructuras de distribución de agua potable, que a menudo no cuentan con la capacidad de satisfacer la demanda, especialmente durante los períodos de sequía. En particular, el suministro de agua para consumo residencial ha superado la capacidad de los sistemas de tratamiento y de las plantas de agua potable de la región, lo que limita la capacidad de las autoridades locales para garantizar un acceso constante a agua potable de calidad.

Al mismo tiempo, el acceso a agua potable y saneamiento en las zonas rurales sigue siendo un reto importante. Aunque las autoridades han implementado programas de Agua Potable Rural (APR), la cobertura de estos sistemas no alcanza a toda la población. Entre el 10,4% y el 10,8% de las viviendas rurales en provincias como Cachapoal, Cardenal Caro y Colchagua aún no tienen acceso a agua potable, y en algunas zonas, entre el 10% y el 50% de la población rural carece de acceso a un sistema de alcantarillado adecuado. Esto crea condiciones de vulnerabilidad, donde las comunidades rurales dependen de fuentes de agua no tratada, lo que incrementa el riesgo de enfermedades transmitidas por el agua. En particular, San Fernando, Rancagua y Las Cabras presentan deficiencias significativas en sus sistemas de alcantarillado, lo que aumenta la exposición de la población a contaminantes y reduce la calidad de vida de los residentes.

Uno de los sectores que más presiona los recursos hídricos en la región es el sector agrícola, especialmente en las cuencas del Río Rapel y Río Cachapoal, que son claves para el abastecimiento de agua para riego en las actividades productivas. A pesar de que este sector constituye un pilar fundamental de la economía regional, la eficiencia en el uso del agua sigue siendo subóptima. En muchas de las áreas agrícolas de la región, la eficiencia en la aplicación de riego está por debajo de los estándares óptimos, con una eficiencia promedio del 72% en toda la región. En la cuenca del Río Rapel (BNA 060), la eficiencia de riego fluctúa entre el 66% y el 75%, lo que refleja una gran variabilidad en la implementación de tecnologías de riego.

Una de las principales razones detrás de esta ineficiencia en el riego es el uso predominante de sistemas tradicionales de riego, como el riego por inundación, que desperdicia grandes cantidades de agua debido a evaporación y filtración. Aunque algunas áreas, como Costeras Rapel – E. Nilahue, han implementado sistemas de riego por goteo más eficientes, muchas

otras continúan utilizando métodos obsoletos que consumen más agua de la necesaria. La tecnificación del riego es, por lo tanto, una medida urgente para mejorar la eficiencia del uso del agua en el sector agrícola, reducir la presión sobre los recursos hídricos y aumentar la productividad de los cultivos. Sin embargo, la falta de inversión en infraestructura y la resistencia al cambio por parte de algunos agricultores limita el alcance de estas tecnologías.

Además, el cambio en los patrones de cultivo también juega un papel fundamental en la gestión del agua. En las últimas décadas, se ha observado una expansión de la superficie cultivada con viñas y parronales, cultivos que requieren menos agua en comparación con otros más demandantes, como los cereales o los frutales. Si bien este cambio hacia cultivos más resistentes al estrés hídrico ha sido una respuesta natural al cambio climático, no se debe subestimar la necesidad de diversificación de cultivos y el desarrollo de variedades que requieran menos agua y sean más resistentes a las sequías. La región debe centrarse en la investigación y el desarrollo de nuevas especies que puedan soportar condiciones de estrés hídrico sin comprometer la producción agrícola.

El sector industrial, particularmente el de la minería, también representa una gran demanda de agua en la región, con proyectos mineros que continúan expandiéndose en la cuenca del Río Rapel. La minería, que ha sido históricamente un motor económico clave para la región, depende de grandes volúmenes de agua para sus operaciones, tanto para uso consuntivo como no consuntivo (en hidroeléctricas). La creciente demanda de agua por parte de la minería y otras industrias podría generar conflictos con el sector agrícola, que se enfrenta a una competencia directa por el acceso a los recursos hídricos.

La minería y las industrias manufactureras que dependen del agua podrían verse severamente afectadas por la escasez de recursos hídricos en el futuro. A medida que la demanda de agua aumenta, las industrias y la agricultura deben encontrar formas de optimizar el uso del agua en sus procesos productivos. Sin embargo, la capacidad de gestionar y reutilizar el recurso sigue siendo limitada en muchas de las instalaciones industriales y mineras. La falta de tecnologías adecuadas para el reúso de agua y la recirculación en estos sectores representa una pérdida de oportunidad para reducir el consumo y preservar los recursos hídricos en la región.

Si el estancamiento hídrico continúa y no se implementan medidas para mitigar los efectos de la escasez de agua, la región de O'Higgins podría enfrentar varias consecuencias graves en los próximos años. La escasez de agua potable afectará a gran parte de la población urbana y rural en la región. Las ciudades de Rancagua, Machalí y San Fernando podrían enfrentar problemas severos de abastecimiento, lo que dará lugar a racionamiento de agua y restricciones de consumo. La falta de acceso a agua potable y sistemas de saneamiento

adecuados aumentará la incidencia de enfermedades transmitidas por el agua, como diarrea, colitis y cólera, que son comunes en zonas donde el acceso a agua segura es limitado. Las comunas rurales más alejadas, como Rengo, Coinco y Doñihue, donde el acceso al agua potable y alcantarillado es deficiente, experimentarán un aumento en las enfermedades asociadas con el consumo de agua contaminada, como ocurre con frecuencia en las zonas rurales del Río Maipo y la cuenca del Río Rapel.

Por otra parte, la agricultura en la región experimentará una reducción significativa en la producción de cultivos clave debido a la falta de agua para riego. La industria agroalimentaria, especialmente en zonas productivas como la provincia de Cachapoal, enfrentará un desplome en su productividad, lo que resultará en pérdida de empleos y una reducción en la competitividad de los productos agrícolas en los mercados nacionales e internacionales. Este desempleo agrícola podría aumentar significativamente la pobreza en las zonas rurales, donde la agricultura es la principal fuente de ingresos.

Mientras que, a nivel de minería, las operaciones en la cuenca del Río Rapel y otras áreas de Cachapoal podrían verse afectadas por la falta de acceso al agua, lo que obligaría a las empresas mineras a invertir grandes cantidades de dinero en fuentes alternativas o a reducir sus niveles de producción. Esto afectaría directamente el PIB regional, que depende en gran medida de la industria minera.

En cuanto a la degradación de los ecosistemas acuáticos, es una de las consecuencias más preocupantes del estancamiento hídrico. La pérdida de humedales y riberas en las cuencas de Río Rapel y Río Cachapoal, que sirven como reguladores naturales de los caudales y depuradores del agua, afectará la calidad del agua disponible para consumo humano y agrícola. Además, la pérdida de biodiversidad acuática generará un efecto en cadena que afectará la estabilidad ecológica de toda la región. Si no se toman medidas inmediatas, la pérdida de hábitats acuáticos cruciales podría ser irreversible.

La implementación de estrategias concretas y urgentes es clave para mitigar los efectos de la crisis hídrica y evitar que las consecuencias mencionadas se materialicen. Estas estrategias deben incluir medidas tanto de gestión del agua como de infraestructura, protección de ecosistemas y tecnificación del uso del agua.

Una de las primeras acciones debe ser la gestión integrada del agua, que contemple tanto el consumo humano como el uso agrícola e industrial. Para ello, es necesario revisar los derechos de aprovechamiento de agua, garantizando que el acceso a este recurso esté priorizado para consumo humano y actividades productivas esenciales, como la agricultura de subsistencia. Esto incluye la redistribución de recursos para evitar la sobreexplotación de ciertas cuencas, especialmente las que abastecen a Rancagua, San Fernando y Machalí.

7.2.2 Análisis de desafío gestionable

La región del **Libertador Bernardo O'Higgins**, debido a su condición geográfica y socioeconómica, presenta una distribución desigual de los recursos hídricos, que se refleja en la disparidad en el acceso a servicios básicos de agua potable y saneamiento. Este desequilibrio es más acentuado en las **zonas rurales**, aunque también se observa en ciertas áreas urbanas. En particular, **Rancagua**, capital regional, y otras localidades urbanas de la provincia de **Cachapoal**, como **Machalí**, enfrentan una presión creciente sobre sus infraestructuras de agua potable y alcantarillado debido al rápido aumento demográfico. La expansión de la mancha urbana, combinada con un acceso limitado a fuentes de abastecimiento de agua y una capacidad insuficiente de tratamiento de aguas servidas, pone en peligro la seguridad hídrica y sanitaria de la región. En la región urbana, el **sistema de alcantarillado** ha logrado cubrir una proporción significativa de la población, sin embargo, la **eficiencia del sistema** sigue siendo insuficiente, con pérdidas importantes en el proceso de distribución, especialmente en áreas periféricas de **Rancagua** y la comuna de **San Vicente**.

Por otro lado, en las **zonas rurales**, donde se encuentran áreas con alta concentración de actividad agrícola, como **Doñihue**, **Las Cabras**, **Peumo** y **Codegua**, el acceso a **agua potable** y **saneamiento** es considerablemente limitado. La **brecha de acceso** se estima en **un 10% a 32% de viviendas rurales sin acceso a alcantarillado**, y en **alrededor del 24% al 28% sin agua potable** de red pública. Las proyecciones demográficas indican un **incremento significativo de la población rural**, con un crecimiento del 13% al 15% en las cuencas de **Río Maipo (BNA 057)**, **Río Rapel (BNA 060)** y **Costeras Rapel – E. Nilahue (BNA 061)** para el año 2055. Si no se toman decisiones estratégicas para mejorar la infraestructura de agua potable y alcantarillado en estas zonas, el aumento poblacional agrandará las disparidades en acceso, exacerbando las tensiones sociales y económicas en la región.

Para abordar estos retos, es esencial una **priorización de las inversiones** tanto en infraestructura de **agua potable** como en **sistemas de saneamiento rural y urbano**. En las áreas urbanas, especialmente en **Rancagua**, **Machalí** y la **zona costera de Pichilemu**, el **aumento de la capacidad de distribución de agua** y el **fortalecimiento de las plantas de tratamiento de aguas servidas** son acciones fundamentales. El proyecto de **desalinización en Pichilemu**, una de las principales estrategias a implementar en la cuenca **Costeras Rapel – E. Nilahue**, se perfila como un ejemplo de **innovación tecnológica** que puede ayudar a mitigar los efectos de la escasez hídrica, especialmente en las zonas costeras que dependen en gran medida de las fuentes de agua superficial.

En las zonas rurales, la **construcción de redes de agua potable y alcantarillado** es indispensable para garantizar el acceso básico a los habitantes. Específicamente en las

cuencas del **Río Maipo (BNA 057)** y **Río Rapel (BNA 060)**, donde se prevé un aumento poblacional, es prioritario mejorar la **infraestructura sanitaria rural**. A su vez, la **captación de aguas lluvias** mediante **sistemas de recolección** puede ser una **alternativa viable** para complementar el suministro de agua, especialmente en zonas donde el acceso a fuentes de agua superficial es limitado. Estos sistemas pueden ser fundamentales tanto para el abastecimiento de **agua para consumo humano** como para el uso en **agricultura de subsistencia**, contribuyendo a la resiliencia hídrica de las poblaciones rurales.

El modelo de **gestión comunitaria de agua potable** a través de **Juntas de Vigilancia (JVs)** y **Organizaciones de Usuarios de Aguas (OUAs)** debe ser fortalecido en la región para mejorar la **coordinación** y asegurar la **distribución equitativa** del recurso hídrico. Las **OUAs**, en particular, pueden jugar un papel clave en la **gestión de la oferta hídrica** de manera descentralizada y efectiva, colaborando con las autoridades regionales en la **optimización del uso de las fuentes hídricas disponibles**.

La agricultura es el sector económico predominante en la región, especialmente en las cuencas del **Río Maipo (BNA 057)**, **Río Rapel (BNA 060)** y **Costeras Rapel – E. Nilahue (BNA 061)**, y en provincias como **Cachapoal** y **Colchagua**, donde se cultivan productos como **uvas, hortalizas y frutales**. El **riego agrícola** es esencial para garantizar la productividad de estos cultivos, especialmente en los meses de verano, cuando la demanda hídrica es más alta debido a las temperaturas extremas. Sin embargo, la **eficiencia en el uso del agua** para riego sigue siendo una de las mayores debilidades en el sector, con una **eficiencia promedio de riego** del **72%** en la región. Esta eficiencia varía significativamente entre cuencas, siendo más baja en la **cuenca del Río Rapel (BNA 060)**, con un **66% de eficiencia**, y más alta en la cuenca de **Costeras Rapel – E. Nilahue (BNA 061)**, con un **75% de eficiencia**. A pesar de esta disparidad, en términos generales, aún existen grandes oportunidades para mejorar la **gestión del agua en la agricultura**.

El desafío principal radica en **optimizar el uso del agua en los sistemas de riego**, lo que puede lograrse mediante la **modernización de la infraestructura** de riego en la región. La adopción de **tecnologías avanzadas de riego**, como el **riego por goteo**, debe ser promovida, especialmente en cultivos que requieren un control preciso del consumo hídrico, como la **vid** en la cuenca del **Río Maipo** y **Río Rapel**. Estos sistemas no solo aumentan la eficiencia, sino que también permiten la **distribución precisa del agua**, evitando las **pérdidas por evaporación** o infiltración que caracterizan los sistemas de riego tradicionales, como el **riego por aspersión**.

Una de las medidas esenciales en la optimización de los sistemas de riego es la **implementación de tecnologías de monitoreo inteligente** que permitan a los agricultores adaptar los **horarios de riego** a las condiciones del **clima y el suelo**. El uso de **sensores de**

humedad y sistemas de **monitoreo remoto** en el **suelo agrícola** podría permitir la **automatización del riego**, lo que reducirá el desperdicio de agua y permitirá un uso más eficiente del recurso. Además, el uso de **drones** para monitorizar grandes áreas agrícolas puede mejorar la **supervisión** de los cultivos y ayudar a identificar áreas de riego ineficiente. Otra estrategia importante es la **recarga de acuíferos** mediante proyectos de **infiltración artificial** en zonas agrícolas de secano, como las que se encuentran en el **interior de la región**, particularmente en cuencas como la del **Río Cachapoal (BNA 057)**. Este tipo de proyectos no solo incrementan la **disponibilidad de agua subterránea** para riego, sino que también contribuyen a la **conservación de los ecosistemas** y al mantenimiento de los **caudales ecológicos**.

En cuanto a las **Organizaciones de Usuarios de Aguas (OUAs)**, se debe promover su **formalización** y **capacitación** para la **gestión eficiente del agua**. La **formación en el uso de nuevas tecnologías**, como los sistemas de **riego por goteo** y los **sensores de humedad**, fortalecerá la capacidad de los usuarios para gestionar sus recursos hídricos de manera más eficiente, asegurando la **sostenibilidad** de los sistemas de riego en el futuro.

3. Desarrollo de Tecnologías para la Gestión del Agua

Dado el **estrés hídrico** que enfrenta la región del **Libertador Bernardo O'Higgins** debido a la escasez de fuentes tradicionales de agua y la variabilidad climática, es fundamental **diversificar las fuentes de agua** mediante la implementación de **tecnologías no convencionales**. La **desalinización** de agua es una opción crucial, especialmente para las zonas costeras de la región, como **Pichilemu** y la cuenca **Costeras Rapel – E. Nilahue (BNA 061)**. La **desaladora** propuesta en **Pichilemu** es un ejemplo de cómo se puede utilizar **agua de mar** para abastecer las **necesidades de consumo humano y agricultura** en zonas costeras, al tiempo que se reduce la presión sobre las fuentes de agua dulce.

Además de la desalinización, se debe fomentar la **captación de aguas lluvias** como una estrategia viable y sostenible para complementar el suministro de agua, especialmente en las **zonas rurales** de la región. La construcción de **sistemas de captación** en áreas como **Rancagua, Codegua y San Vicente** permitiría reducir la dependencia de fuentes de agua superficiales y subterráneas, especialmente durante la temporada de sequía. Los sistemas de **colectores de aguas lluvias** pueden ser implementados en **viviendas rurales** y en instalaciones agrícolas para satisfacer las necesidades de **consumo doméstico y riego agrícola**.

El **monitoreo inteligente** también es una herramienta crucial para gestionar de manera más eficiente los recursos hídricos. La **red hidrométrica de la región**, que incluye estaciones de monitoreo en las **cuencas de Río Maipo, Río Rapel y Costeras Rapel – E. Nilahue**, debe ser fortalecida con tecnologías de **sensores de alta precisión** que permitan medir en tiempo

real el **caudal de los ríos**, el **nivel de los embalses** y la **calidad del agua** en las distintas fuentes hídricas de la región. Estos sistemas de **monitoreo remoto** permitirán optimizar la distribución del agua, además de proporcionar datos para ajustar las políticas de **gestión hídrica** en función de la **variabilidad climática** y de la demanda.

La **protección de los ecosistemas acuáticos** y la **restauración de los caudales ecológicos** en las cuencas del **Río Maipo** y **Río Rapel** es esencial para mantener la **calidad del agua** y la **biodiversidad** en la región. El **caudal ecológico** se ha visto afectado por la **extracción excesiva de agua** para riego agrícola, la minería y el consumo urbano, lo que ha provocado una reducción en los **niveles de agua** en ríos y humedales cruciales. Esta situación ha afectado la capacidad de los ecosistemas acuáticos para cumplir con su función de **purificación de agua**, **recarga de acuíferos** y **protección de la biodiversidad**.

Es imperativo que las políticas de **gestión hídrica** incluyan la **preservación de los caudales ecológicos** establecidos en la **cuenca del Río Maipo (BNA 057)**, **Río Rapel (BNA 060)** y **Río Claro** en la **provincia de Cachapoal**. La **restauración de humedales** en áreas como **San Fernando** y **Colchagua**, que son cruciales para la **regulación hídrica**, debe ser una prioridad dentro del plan de **gestión ambiental**. Esto también implica la **revegetación de las riberas** y la restauración de áreas degradadas por la actividad agrícola e industrial, para garantizar que los humedales mantengan su función de **purificación natural del agua**.

El **monitoreo y evaluación constante de la calidad del agua** es esencial para **gestionar de manera efectiva los recursos hídricos** en la región del **Libertador Bernardo O'Higgins**. La **red hidrométrica** en las cuencas de **Río Maipo**, **Río Rapel** y **Costeras Rapel – E. Nilahue** debe ser fortalecida con **tecnologías de monitoreo en tiempo real**. El **monitoreo de caudales ecológicos** y la calidad del agua en tiempo real permitirá ajustar las políticas de distribución de agua y detectar posibles **contaminantes** en los cuerpos de agua, como metales pesados, nitratos o residuos industriales.

7.2.3 Análisis de capacidad limitada

En este escenario, la Región de O'Higgins mantiene un equilibrio entre la oferta y la demanda de agua sin un incremento significativo en la brecha de seguridad hídrica. Sin embargo, la capacidad de respuesta es limitada, lo que deja a la región vulnerable ante cambios imprevistos, como crisis económicas, climáticas o institucionales.

Las principales limitaciones provienen de restricciones económicas para implementar reformas en infraestructura, falta de inversión en tecnologías hídricas innovadoras y debilidades en la gestión institucional. Aunque se han identificado iniciativas estratégicas en materia de infraestructura hídrica y gobernanza del agua, su implementación es insuficiente o se encuentra rezagada.

La provisión y gestión del recurso hídrico en la Región de O'Higgins enfrenta desafíos estructurales que comprometen la seguridad del abastecimiento tanto en entornos urbanos como rurales. En ciudades como Rancagua, San Fernando y Rengo, la infraestructura de distribución de agua potable se encuentra bajo una presión creciente debido a la expansión demográfica y a una red de alcantarillado que no ha sido modernizada conforme a las exigencias actuales. Paralelamente, en las provincias de Colchagua y Cardenal Caro, las comunas rurales como Pichidegua, Marchigüe y Litueche presentan dificultades críticas de acceso a agua potable segura, con estimaciones que indican que entre un 10,4% y un 10,8% de las viviendas rurales carecen de conexión adecuada al suministro de agua. Esta deficiencia impacta no solo la salud pública, sino también la viabilidad económica y social de las comunidades afectadas.

El problema de la eficiencia en la distribución es particularmente alarmante en la región, donde se registra una pérdida de hasta un 42% del agua potable en el sistema de distribución, con puntos críticos en localidades como Boca de Rapel (BNA 061), Coinco (BNA 060), La Punta (BNA 057) y Quinta de Tilcoco (BNA 060), donde las pérdidas superan el 60%. Por otro lado, las comunas costeras como Navidad (BNA 061) y Pichilemu (BNA 061) han conseguido mantener pérdidas por debajo del 20%, evidenciando una disparidad significativa en la eficiencia del suministro. Estas diferencias ponen en relieve la necesidad urgente de inversión en la modernización de la infraestructura hídrica y la implementación de sistemas de monitoreo avanzados para optimizar el uso del recurso y minimizar el desperdicio.

En cuanto al saneamiento, el 90% de la población urbana en Rancagua y San Fernando cuenta con acceso a sistemas de alcantarillado, mientras que en sectores rurales como Lolol y Pumanque esta cifra se reduce al 30%. La carencia de infraestructura sanitaria en estas localidades no solo afecta la calidad de vida de los habitantes, sino que también contribuye a la contaminación de cuerpos de agua superficiales y subterráneos, exacerbando la crisis hídrica en las cuencas del Río Rapel (BNA 060) y el Río Cachapoal (BNA 057). Para mitigar estos impactos, resulta imperativo ampliar la cobertura de alcantarillado en zonas rurales y reforzar las estrategias de manejo de aguas residuales, garantizando que su tratamiento sea adecuado para prevenir afectaciones ambientales y sanitarias.

La actividad agrícola es el principal usuario del recurso hídrico en la Región de O'Higgins, con una demanda creciente que se proyecta aumentará un 32% hacia 2055. La expansión de la superficie cultivable en los valles del Cachapoal (BNA 057) y Colchagua (BNA 060), junto con el crecimiento de la producción frutícola en comunas como San Vicente de Tagua Tagua y Peumo, han intensificado la presión sobre la disponibilidad de agua en la región. En particular, la cuenca del Tinguiririca (BNA 060) ha experimentado una mayor tecnificación

agrícola, lo que, aunque positivo en términos de productividad, requiere de un uso más eficiente del recurso para evitar conflictos de disponibilidad en el futuro.

La eficiencia del uso del agua en la agricultura es un factor clave que requiere atención inmediata. Aunque la eficiencia media de aplicación de riego en la región se estima en un 72%, la heterogeneidad entre cuencas es notable. En la cuenca del Río Rapel (BNA 060), la eficiencia se sitúa en solo un 66%, mientras que en las cuencas Costeras Rapel – Estero Nilahue (BNA 061), alcanza el 75%. La reducción de las pérdidas por infiltración y evaporación en los 5.900 km de canales de riego identificados en la región, en particular en la cuenca del Río Rapel, es una prioridad para optimizar el uso del recurso hídrico y mejorar la resiliencia del sector agrícola ante eventos climáticos extremos.

Para abordar estos desafíos, se requiere la modernización de la infraestructura de riego en comunas agrícolas como Nancagua y Palmilla, con un enfoque en la implementación de sistemas de riego tecnificado que permitan maximizar la eficiencia en la aplicación del agua. La construcción de nuevos embalses y la regulación de caudales en la cabecera del Río Claro (BNA 060) podrían contribuir a la estabilidad del suministro en períodos de sequía, permitiendo un almacenamiento estratégico del recurso para enfrentar eventos climáticos adversos con mayor resiliencia.

Otra estrategia crucial para garantizar la sostenibilidad del sector agrícola es la diversificación de cultivos. La reconversión hacia especies menos dependientes del agua contribuiría a reducir la presión sobre los recursos hídricos y a aumentar la adaptabilidad del sector ante las variaciones climáticas. Asimismo, la implementación de incentivos para la adopción de tecnologías de riego eficiente, como el riego por goteo y sensores de humedad del suelo, permitiría una mejor gestión del recurso, minimizando las pérdidas y asegurando la productividad en el largo plazo.

La gobernanza del agua en el sector agrícola también debe fortalecerse. La formalización de Organizaciones de Usuarios de Agua (OUAs) en las provincias de Cachapoal y Colchagua, y la consolidación de acuerdos de distribución en la Junta de Vigilancia del Cachapoal, permitirán una administración más equitativa y eficiente del recurso. La capacitación de los productores en el uso de tecnologías de monitoreo y gestión del agua facilitará la implementación de estrategias de optimización y reducirá la conflictividad en torno al acceso al recurso.

El impacto del cambio climático sobre la disponibilidad hídrica en la región es otro aspecto que no puede ignorarse. Se prevé que el aumento de las temperaturas y la disminución de las precipitaciones incrementarán la volatilidad del régimen hídrico, exacerbando los períodos de escasez y requiriendo de una planificación proactiva para mitigar sus efectos.

La implementación de estrategias de adaptación, tales como la gestión integral del suelo, el desarrollo de variedades de cultivos resistentes a la sequía y la promoción de prácticas agrícolas regenerativas, será clave para mantener la estabilidad del sector en un contexto de mayor incertidumbre climática.

En conclusión, la Región de O'Higgins enfrenta un panorama complejo en términos de seguridad hídrica, tanto para el abastecimiento humano como para el uso agrícola. La modernización de la infraestructura, el fortalecimiento de la gobernanza del recurso y la implementación de estrategias de eficiencia hídrica serán esenciales para garantizar un manejo sustentable del agua en las próximas décadas. Sin estas acciones, el crecimiento económico y la estabilidad social de la región estarán comprometidos por una crisis hídrica de consecuencias cada vez más severas.

7.2.4 Análisis de avance sostenible y resiliente

La Región de O'Higgins ha implementado un modelo avanzado de gobernanza hídrica basado en la gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH), logrando un equilibrio entre la disponibilidad y la demanda del recurso, al tiempo que mitiga los efectos de la sobreexplotación, el déficit de infraestructura y la vulnerabilidad climática. Este avance ha sido posible gracias a la sinergia entre políticas públicas innovadoras, inversiones en infraestructura estratégica y una consolidada estructura institucional de gobernanza del agua. Como resultado, la región ha fortalecido su seguridad hídrica, beneficiando a los sectores de consumo humano, agrícola, industrial y ambiental, con un enfoque de sustentabilidad a largo plazo.

La transformación del sistema hídrico regional ha estado anclada en una modernización integral de la infraestructura, la diversificación de fuentes de abastecimiento, la tecnologización del riego y la rehabilitación de ecosistemas hídricos estratégicos. Estas acciones han permitido reducir la vulnerabilidad de la región ante eventos extremos y mejorar la equidad en la distribución del recurso.

Uno de los pilares esenciales de esta transformación ha sido la optimización y diversificación de fuentes hídricas. La desalinización ha cobrado protagonismo con la operatividad de la primera planta en Pichilemu, en la cuenca Costeras Rapel (BNA 061), y la proyección de una segunda infraestructura en la misma cuenca con una capacidad de 3000 L/s. Estas infraestructuras han reducido la presión sobre los acuíferos y cuerpos de agua superficiales, asegurando el abastecimiento urbano e industrial en la provincia de Cardenal Caro. De manera complementaria, la cosecha de aguas lluvias ha sido implementada en ocho comunas, con 326 sistemas de captación instalados en localidades rurales de las provincias de Cachapoal y Colchagua, fortaleciendo el suministro para pequeños productores agrícolas y comunidades vulnerables.

La recarga artificial de acuíferos ha sido otro componente clave en la estrategia de gestión hídrica, destacándose la implementación de un programa piloto en la cuenca del río Cachapoal (BNA 060), lo que ha permitido incrementar la disponibilidad del recurso subterráneo. Paralelamente, se han impulsado medidas para reducir las pérdidas en la distribución de agua potable urbana, que en 2022 alcanzaban un 42%, con valores críticos superiores al 60% en Boca de Rapel, Coinco, La Punta y Quinta de Tilcoco. La modernización de las redes de conducción y la incorporación de tecnologías de monitoreo en tiempo real han permitido mitigar esta problemática, optimizando la eficiencia en la distribución del recurso.

El fortalecimiento de la infraestructura hídrica ha sido esencial para la regulación y distribución equitativa del recurso. La ampliación y modernización del embalse Rapel en la cuenca del río Rapel (BNA 060) y del embalse Convento Viejo en la cuenca del río Tinguiririca (BNA 060) han incrementado la capacidad de almacenamiento y regulación del recurso, mitigando los efectos de la variabilidad climática. Asimismo, la expansión del sistema de alcantarillado y saneamiento ha permitido reducir la brecha de acceso a estos servicios en las provincias de Cachapoal, Colchagua y Cardenal Caro, beneficiando especialmente a las comunidades rurales donde la cobertura se encontraba entre un 10% y un 50%.

En el sector agrícola, la modernización de los canales de riego ha sido prioritaria, con la rehabilitación de 5.900 km de infraestructura, reduciendo pérdidas por filtración y evaporación. La cuenca del río Rapel (BNA 060) ha sido el foco principal de esta iniciativa, dado que concentra aproximadamente el 93% de la red de canales de riego en la región. Además, la implementación de planes maestros de drenaje en Rancagua y Machalí ha sido fundamental para reducir el riesgo de inundaciones y mejorar la gestión de aguas pluviales en zonas urbanas.

La eficiencia en el uso del recurso hídrico ha sido uno de los ejes de la estrategia regional. Se ha logrado un incremento significativo en la eficiencia de riego en la agricultura, pasando del 72% en 2023 a un 85% proyectado para 2055, gracias a la incorporación de tecnologías de riego de alta eficiencia en viñedos y cultivos de alto valor agregado. La sobreexplotación del recurso, que oscilaba entre un 26% y 34% en sectores rurales de Cachapoal y Colchagua, ha sido mitigada mediante la adopción de estrategias de manejo del recurso y la implementación de regulaciones más estrictas. Además, el uso de aguas residuales tratadas ha sido promovido en la agricultura e industria, reduciendo la presión sobre las fuentes hídricas convencionales.

La protección y conservación de los ecosistemas acuáticos han sido prioridades centrales. Se ha fortalecido el marco normativo para garantizar caudales ecológicos en los ríos Cachapoal y Tinguiririca, asegurando la funcionalidad de humedales y ecosistemas

ribereños. Además, se han implementado regulaciones estrictas para controlar la contaminación por agroquímicos y fomentar prácticas agrícolas sostenibles, minimizando los impactos negativos sobre la calidad del agua. La red de monitoreo ambiental ha sido expandida para prevenir la contaminación industrial y minera, asegurando la preservación de la calidad del recurso hídrico para todas las actividades productivas y el consumo humano.

CAPÍTULO 8 PROPUESTA DE PROSPECTIVA DE REQUERIMIENTOS DE INFRAESTRUCTURA HÍDRICA

8.1 SEGURIDAD HÍDRICA EN LA REGIÓN: ESTADO DEL ARTE

La región del Libertador Bernardo O'Higgins se distingue por la presencia del sistema hidrográfico Río Rapel y sus afluentes Cachapoal y Tinguiririca, ubicados en la cuenca Río Rapel (BNA 060). En estas cuencas se concentra tanto la demanda hídrica como el desarrollo socioeconómico de la región. Las demandas consuntivas para el año 2023 se distribuyen de acuerdo a la Figura 8.1-1. El sector agrícola presenta la mayor demanda seguido del sector minero, mientras que se proyecta un aumento del 33% en las demandas consuntivas hacia el año 2055, atribuible principalmente a la expansión agrícola^{7 8} y a la baja eficiencia en el riego, que se estima en un 71% promedio regional. Este incremento genera una presión significativa en las cuencas Río Rapel (BNA 060) y Costeras R. Rapel – E. Nilahue (BNA 061).

De manera simultánea, se espera una reducción generalizada de los caudales en las cuencas regionales, siendo Costeras R. Rapel – E. Nilahue (BNA 061) la cuenca más afectada con una disminución del 26%. El balance hídrico estructural (Tabla 8.1-1) evidencia que las cuencas Río Maipo (BNA 057) y Río Rapel (BNA 060) presentan un déficit hídrico estructural. Este déficit se caracteriza por cuencas con recursos donde la demanda no supera la oferta disponible con un 85% de probabilidad de excedencia, sin embargo, presentan restricciones tanto en sus fuentes superficiales como subterráneas, lo que las vuelve especialmente vulnerables a los efectos del cambio climático. Entre los desafíos de Seguridad Hídrica (SH) para la región⁹, la sostenibilidad del suministro de agua potable enfrenta considerables presiones. En las zonas urbanas, si bien la cobertura alcanza un 96,4%, las pérdidas de los sistemas de distribución promedian¹⁰ un 44%, especialmente en las cuencas Río Maipo (BNA 057) y Río Rapel (BNA 060). Sumado a las proyecciones de aumento de población en la región, se visualizan desafíos en la garantía de la

⁷ Asociado a un aumento de superficies de viñas y parronales.

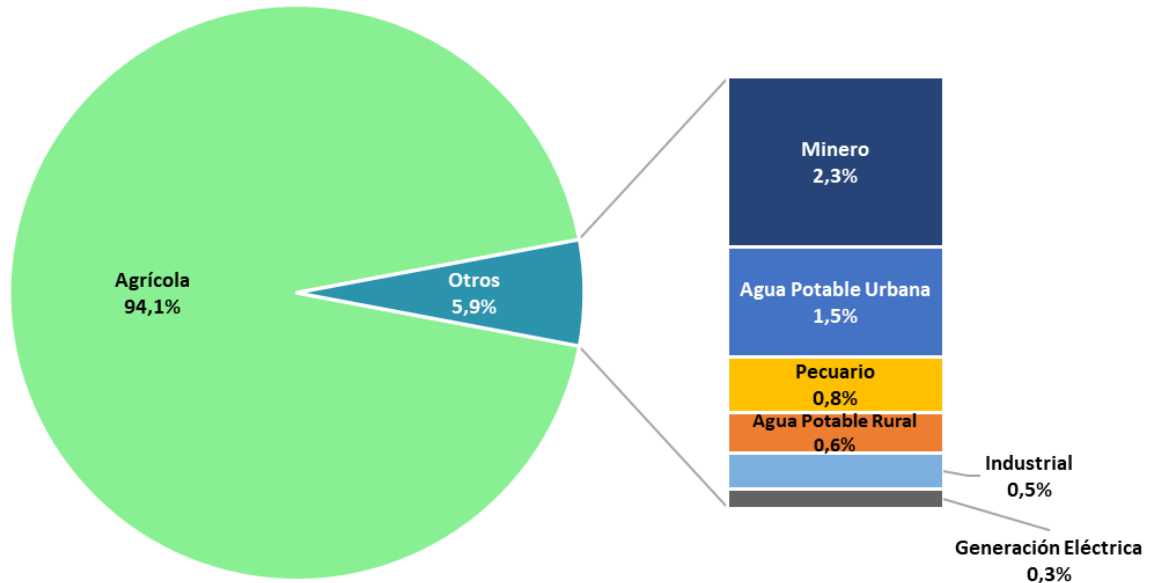
⁸ Censos Agropecuarios de los años 1997, 2007 y 2021 (INE, 2007; INE, 2021)

⁹ Entendidos como las brechas o problemáticas relacionadas indirectamente a la disponibilidad de agua, las cuales dificultan el cumplimiento de los objetivos de SH.

¹⁰ Para el periodo comprendido entre 2012 -2022.

cobertura de agua potable urbana. En las áreas rurales, aproximadamente el 10% de las viviendas no tienen acceso a agua potable, mientras que se observan periodos de sobreexplotación de los recursos hídricos rurales de hasta 34%, además la falta de información afecta hasta el 24,5% de las viviendas rurales, situación que limita el desarrollo de estrategias integrales. Por otra parte, el 50% de la población rural con acceso a agua potable carece de sistemas de alcantarillado, siendo las cuencas Río Maipo (BNA 057) y Río Rapel (BNA 060) las más afectadas. En cuanto a la promoción de iniciativas orientadas a incrementar la eficiencia y el uso sostenible del agua la región se encuentra en una situación favorable, con eficiencias de riego que varían entre el 66% y 75%, sin embargo, existen oportunidades que deben ser abordadas para disminuir aún más estas brechas. En particular la cuenca Río Rapel (BNA 060) enfrenta desafíos en materias de producción sostenible, ya que concentra el 93% de la red de canales regionales y presenta menores eficiencias de riego, en comparación con las otras cuencas de la región. Además, se proyecta un incremento en la demanda de agua para riego, industria manufacturera y minería, por lo que se deben implementar tecnologías innovadoras y eficientes. En cuanto a la diversificación de la matriz hídrica, la región cuenta con obras multipropósito para uso de fuentes no convencionales en las cuencas Río Rapel (BNA 060) y Costeras R. Rapel- E. Nilahue (BNA 061).

La calidad del agua constituye un desafío crítico para la región. Debido a su intensa actividad agrícola, la cuenca Río Rapel (BNA 060) presenta altos niveles de contaminación por agroquímicos, con concentraciones de nitratos mayores a 50mg/L. De igual forma, se observa un gran deterioro de la calidad de agua en todas las cuencas de la región, atribuido a descargas de aguas servidas (cobertura de alcantarillado menor al 70%) y a la carencia de sistemas de tratamiento de aguas residuales. Además, se observan riesgos de contaminación por relaves abandonados y grandes presiones a los recursos hídricos debido al uso intensivo de éstos en la región. Por otra parte, todas las cuencas exhiben una protección ecosistémica crítica, con una cobertura de conservación de humedales que no supera el 5% de su superficie, evidenciando la necesidad de implementar medidas de conservación más efectivas. Todas las cuencas de la región exhiben alta vulnerabilidad a eventos extremos asociados a precipitaciones intensas, debido a la insuficiencia de los sistemas de defensa fluvial, lo que agrava los impactos ante eventos de crecidas. En particular, la cuenca Río Rapel se encuentra en una condición crítica con respecto al manejo de remociones en masa o deslizamientos. Por su parte, la cuenca Río Maipo (BNA 057) no cuenta con plan de drenaje de aguas lluvias, lo que la hace especialmente vulnerable frente a estos fenómenos.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 8.1-1 Distribución de demanda total regional (%), por uso - año 2023

Tabla 8.1-1 Balance Hídrico Estructural actual de la región de O'Higgins

Código BNA	Cuenca	Balance Hídrico ¹¹	Restricciones		Estado Balance Unificado ¹²
			Superficiales	Subterráneas	
057	Río Maipo	Con recursos	Sí	Sí	Déficit hídrico estructural
060	Río Rapel	Con recursos	Sí	Sí	Déficit hídrico estructural
061	Costeras Rapel-E. Nilahue	Con recursos	No	Sí	Estrés hídrico

Fuente: Elaboración propia.

8.2 EL FUTURO EXISTE EN EL POTENCIAL DEL PRESENTE: POLÍTICAS PÚBLICAS E INNOVACIONES

En la región de O'Higgins se han implementado Planes Estratégicos de Gestión Hídrica (PEGH) específicamente para las cuencas Río Maipo (BNA 057) y Río Rapel (BNA 060). Paralelamente, en el ámbito productivo se han formulado Planes de Riego orientados a promover un uso eficiente y sostenible de los recursos hídricos destinados al riego en las cuencas mencionadas anteriormente. En función de estos antecedentes, identifica la necesidad de extender el desarrollo de instrumentos de gestión, como 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 Nacional.

¹¹ 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.

¹² 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.

El fortalecimiento de la gestión hídrica requiere la integración de soluciones innovadoras 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, mejoramiento de riberas y reforestación, complementadas con tecnologías avanzadas para el monitoreo, caracterización de infraestructura y disponibilidad hídrica.

8.3 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. En la región de O'Higgins, actores como Gobierno Regional, SEREMI MIANGRI, SEREMI Minería, INDAP, CNR, SISS, ESSBIO, CONAF, CODELCO, CODEPRA, OUAs¹³, empresas ligadas al agro y la minería, asociaciones de agricultores e hidroeléctricas, desempeñan roles clave. Aunque el MOP destaca por su capacidad técnica, enfrenta desafíos como la fragmentación organizativa y falta de continuidad en políticas. Es esencial fortalecer la articulación local, fomentar la confianza y asegurar una gobernanza colaborativa y resiliente, adaptada a realidades territoriales.

8.4 FRENTE A LA INCERTIDUMBRE: VISIÓN COMÚN PARA LA RESILIENCIA

La visión estratégica del Plan Nacional de Infraestructura Pública 2025-2055 prioriza la resiliencia 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. Se busca garantizar el derecho humano al agua y al saneamiento, fomentando un desarrollo equitativo y resiliente. En la región de O'Higgins, la estrategia se centra en desarrollar una gestión integral de los recursos hídricos, que asegure el acceso equitativo y continuo al agua, así como a servicios de saneamiento. Busca garantizar la SH para consumo humano y riego agrícola, fomentando la productividad regional, la diversificación de fuentes de agua, y la protección y restauración de los ecosistemas. De igual modo, busca reducir la vulnerabilidad frente a eventos climáticos extremos y escasez hídrica, bajo un enfoque que garantice la sostenibilidad y la resiliencia.

¹³SEREMI Minagri: Secretaría Ministerial Regional del Ministerio de Agricultura; SEREMI Minagri: Secretaría Ministerial Regional del Ministerio de Minería; INDAP: Instituto de Desarrollo Agropecuario; CNR: Comisión Nacional de Riego; SISS: Superintendencia de Servicios Sanitarios; CONAF: Corporación Nacional Forestal; CODELCO: Corporación Nacional del Cobre; CODEPRA: Corporación de Desarrollo y Protección del Embalse Rapel; OUAs: Organizaciones de Usuarios de Agua.

8.5 MEGATENDENCIAS Y SUS POTENCIALES CONSECUENCIAS: ESCENARIOS DE DESARROLLO

La región enfrenta cuatro escenarios contrastantes. En un escenario de *Estancamiento Crítico*, la región se encuentra en una situación de crisis hídrica grave. La sobreexplotación de las fuentes superficiales y subterráneas alcanza niveles alarmantes (34% sobre la tasa de recarga natural de acuíferos), lo que deriva en un deterioro constante de los recursos hídricos y pone en riesgo la disponibilidad de agua para consumo humano, uso agrícola y los ecosistemas acuáticos. El aumento exponencial de la demanda de agua potable, debido al crecimiento demográfico y la expansión de las actividades económicas, incrementa las brechas de acceso a servicios de agua potable y saneamiento. De igual forma, intensifica la exposición a riesgos por contaminantes y limita la capacidad de las instituciones locales para garantizar el acceso. La infraestructura y tecnologías del sector agrícola presentan limitaciones graves, los métodos ineficientes y obsoletos utilizados, aumentan la presión sobre los recursos hídricos y reducen la productividad de uno de los pilares fundamentales de la economía regional. La creciente demanda del sector minero y otras industrias agudiza conflictos con el sector agrícola, lo que deriva en una competencia directa por el acceso al agua, dando lugar a restricciones en el acceso, pérdida de empleos y reducción de la competitividad de las industrias. La falta de tecnologías para reúso de aguas recrudescen esta situación. La degradación de los ecosistemas acuáticos provoca una inestabilidad ecológica que puede derivar en la pérdida irreversible de ecosistemas y sus servicios ecosistémicos claves para la región. En un escenario de *Desafío Gestionable*, los desafíos de SH se incrementan como resultado la expansión demográfica urbana, el acceso limitado a fuentes de abastecimiento de agua, la insuficiente capacidad de tratamiento de aguas servidas y los efectos del cambio climático. En este escenario la región desarrolla medidas correctivas y de contención, que incluyen el incremento en la capacidad de distribución de agua, fortalecimiento de sistemas de tratamiento de aguas servidas, implementación de un proyecto de desalinización en Pichilemu y la optimización de los sistemas de riego. Las respuestas institucionales no logran dar solución a las brechas regionales, por lo que se requiere del fortalecimiento de modelos de gestión, que aseguren la coordinación entre actores y la integración de todos los sistemas dependientes de los recursos hídricos. En un escenario de *Capacidad Limitada*, si bien se evitan incrementos abruptos en los desafíos de SH regionales, las limitaciones institucionales, económicas y de infraestructura existentes resultan insuficientes para garantizar la sostenibilidad del suministro a largo plazo, acentuando la presión sobre los recursos hídricos y la vulnerabilidad regional. Finalmente, en un escenario de *Avance Sostenible*, se logra estabilidad mediante un modelo avanzado de gobernanza hídrica basado en la gestión integrada de los recursos hídricos. Incorpora políticas públicas innovadoras, inversiones en infraestructura estratégica y una consolidada estructura institucional. Por medio de programas de inversión sostenidos en el tiempo, la región implementa proyectos de modernización integral de infraestructura que consideran la diversificación de fuentes de abastecimiento, sistemas de riego con innovación tecnológica,

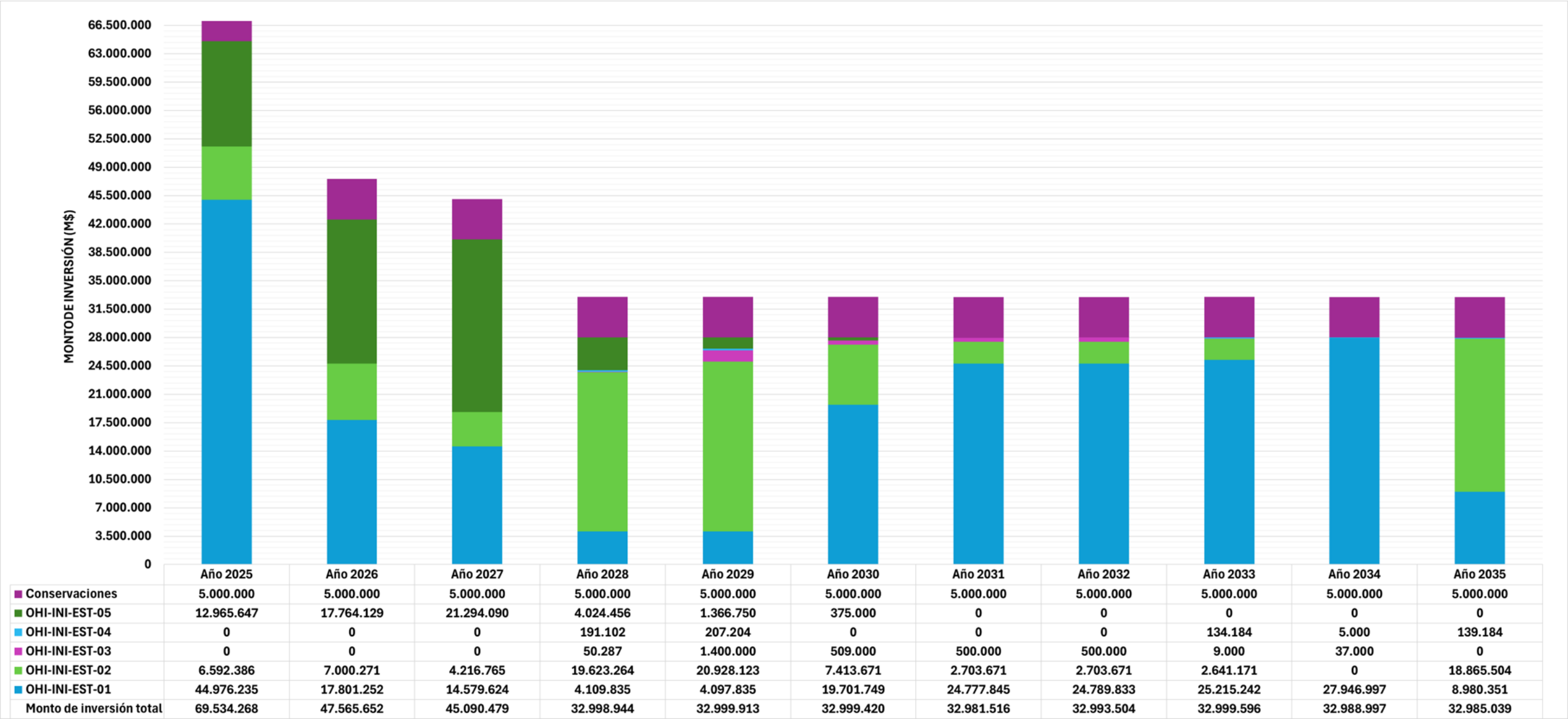
sistemas de monitoreos y regulación, restauración de ecosistemas y la aplicación de normativas para la regularización y redistribución de los recursos hídricos. Estas acciones han permitido reducir la vulnerabilidad de la región ante eventos extremos, mejorar la equidad en la distribución del recurso y garantizar la sostenibilidad de los recursos hídricos a largo plazo.

8.6 ADAPTACIÓN COMO CAMINO PARA NAVEGAR LA INCERTIDUMBRE

El desarrollo de una planificación estratégica integral y sostenible es clave para abordar los desafíos regionales mencionados en los acápite anteriores. 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 considere las particularidades de la región, 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 soluciones efectivas en todos los territorios.

8.7 SOLUCIONES SINÉRGICAS PARA PROBLEMAS COMPLEJOS: INICIATIVAS ESTRATÉGICAS

Para abordar los desafíos hídricos regionales, se han desarrollado Iniciativas Estratégicas (IE), entendidas como un conjunto de acciones diversificadas que incluyen inversiones en infraestructura, medidas de gestión y propuestas de políticas públicas. Las IE buscan solucionar problemas territoriales y contribuir al cumplimiento de la SH regional en función de una visión de desarrollo sostenible con pertinencia local. Las IE han sido priorizadas de acuerdo a los desafíos de la región, en la Figura 8.7-1 se presenta su distribución.



Leyenda	Descripción iniciativas
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 con énfasis en obras multipropósito diversificadas
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 con énfasis en cambios del patrón hidrológico
INI-EST-05	Sistema integral de infraestructura resiliente en cauces y quebradas para la seguridad territorial y protección de la población con énfasis en cambios del patrón hidrológico

Fuente: Elaboración propia.

* Las inversiones se encuentran en miles (M\$).

Figura 8.7-1 Inversión total distribuida por Iniciativas Estratégicas

Entre las IE más relevantes de la región, destaca la “Ampliación, Conservación y Mejoramiento Operacional y Tecnológico de SSR en Agua Potable”, orientada a garantizar el derecho al agua. Asimismo, la iniciativa “Sistema Integral de Infraestructura Resiliente en Cauces y Quebradas para la Seguridad Territorial y Protección de la Población, con Énfasis en Cambios del Patrón Hidrológico” tiene por objetivo minimizar los riesgos asociados eventos hidrometeorológicos extremos. Por último, la “Ampliación, Conservación y Mejoramiento Operacional y Tecnológico de SSR en Alcantarillado y Tratamiento de Aguas Servidas”, tiene por objetivo garantizar el saneamiento de los servicios sanitarios.

Estas iniciativas estratégicas se traducen en inversiones como:

- M\$ 16.763.000 de inversión para Diseño y Construcción de Sistemas de Agua Potable Rural en la región, con un beneficio para más de 8.000, lo que permitirá disminuir la brecha de accesibilidad al agua potable. Un 68% de la inversión se encuentra asignado a la cuenca Río Rapel (BNA 060), un 26% destinado a la cuenca Río Maipo (BNA 057) y un 6% asignado a la cuenca Costeras R. Rapel- E. Nilahue (BNA 061).
- M\$ 13.080.900 de inversión en Diseño, Construcción de Obras de Control Aluvional en Cauces y Quebradas, equivalente a 3 km de Protección de Riberas Frente a Riesgos Aluviales y 3 estudios de Diagnóstico de Comportamiento Aluvial, asignados a la cuenca Río Rapel (BNA 060).
- M\$ 48.909.300 de inversión para Diseño, Construcción de Obras de Mejoramiento, Reposición y Restauración de Defensas Fluviales, Manejo de Cauces y Riberas, equivalente a 15 km de Protección de Riberas Frente a Riesgos Fluviales y 2 estudios de Diagnostico del Comportamiento Fluvial. La inversión se encuentra asignada a la cuenca Río Rapel (BNA 060) y a inversiones con enfoque regional.
- M\$ 86.908.000 de inversión para Diseño, Construcción y Conservación de Obras de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias, equivalente a la construcción de 11 km de Colectores de Aguas Lluvias y al desarrollo de 3 Planes Maestro de Aguas Lluvias. La inversión está mayoritariamente asignada a la cuenca Río Rapel (BNA 060), seguida en prioridad por la cuenca Costeras R. Rapel- E. Nilahue (BNA 061).
- M\$ 249.555.500 de inversión para el Diseño y Construcción de Sistemas de Saneamiento Rural, con un beneficio para más de 150.000 personas, lo que permitirá reducir la brecha de acceso al tratamiento de aguas servidas y riesgos de contaminación biológica del agua. El 84% de la inversión se reúne en proyectos para la cuenca Río Rapel (BNA 060), un 13% asignado a la cuenca Costeras R. Rapel- E. Nilahue (BNA 061) y por último un 3% de la inversión está destinado a la cuenca Río Maipo (BNA 057).

8.8 MONITOREO Y ESTRATEGIAS DE CONTINGENCIA

El estudio aborda megatendencias globales como cambio climático, urbanización, intensificación agrícola y dinámicas demográficas, que redefinen la disponibilidad y demanda

de agua. Para enfrentar vulnerabilidades y oportunidades, se proponen cinco tipos de acciones anticipatorias: **Mitigación**, 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; 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 y la promoción de la gobernanza hídrica, reduciendo los conflictos socioambientales e incrementado la resiliencia de la región. Estas acciones, respaldadas por inversión en datos actualizados y participación multisectorial, robustecen la adaptabilidad frente a incertidumbres climáticas y presiones demográficas.

CAPÍTULO 9 BIBLIOGRAFÍA

- ACADES. (2023). *Proyectos de reúso y desalinización en Chile*. (A. C. A.G., Editor) Obtenido de Primer catastro de proyectos y plantas desalinizadoras de agua de mar: <https://www.acades.cl/proyectos/>
- Acuicultura, S. N. (2024). *DEPTO. GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN, ATENCIÓN DE USUARIOS Y ESTADÍSTICAS, SERNAPESCA*. Santiago.
- Acuicultura, S. N. (2024). *Dpto. Gestion de la Información, Atencion de Usuarios y Estadísticas Sectoriales*. Santiago.
- Acuicultura, S. N. (2024). *Gestion de la Informacion, Atencion Usuarios y Estadísticas Sectoriales, SERNAPESCA*. Santiago.
- BC. (2022). *Cuentas Nacionales*. Obtenido de https://si3.bcentral.cl/Siete/ES/Siete/Cuadro/CAP_CCNN/MN_CCNN76/CCNN2018_PIB_REGIONAL_N/637899740344107786
- BC. (2022). *Cuentas Nacionales*. Obtenido de https://si3.bcentral.cl/Siete/ES/Siete/Cuadro/CAP_CCNN/MN_CCNN76/CCNN2018_PIB_REGIONAL_N/637899740344107786
- BC. (2022). *Cuentas Nacionales*. Obtenido de https://si3.bcentral.cl/Siete/ES/Siete/Cuadro/CAP_CCNN/MN_CCNN76/CCNN2018_PIB_REGIONAL_N/637899740344107786
- BCN. (2023). *Clima y vegetación Región de Coquimbo*. Obtenido de <https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region4/clima.htm>
- BCN. (2023). *Clima y vegetación Región Libertador B. O'Higgins*. Obtenido de <https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region6/clima.htm>
- BCN. (2023). *Hidrografía Región Libertador B. O'Higgins*. Obtenido de <https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region6/hidrografia.htm>
- Bolados A., M., Roa A., S., & Aedo A., M.-V. (2023). Análisis de las brechas e iniciativas hídricas propuestas en los planes estratégicos de gestión hídrica (PEGH): un acercamiento a la gobernanza para su implementación. *Sequía y escasez hídrica: mejoras institucionales y regulatorias en materia de aguas: IV Jornadas del régimen jurídico de las aguas*, 520.
- CASEN. (2023). *Resumen de resultados: Pobreza por ingresos, pobreza multidimensional y distribución de los ingresos*.
- Celedón, N. D. (2023, Julio). Conseciones sanitarias: cómo se incertan en el actual modelo de gestión colectiva de las aguas. *Actualidad Jurídica*(N°48). Retrieved from

- <https://derecho.udd.cl/actualidad-juridica/files/2023/04/aj-47-concesiones-sanitarias-como-se-insertan-en-el-actual-modelo-de-gestion-colectiva-de-las-aguas-natalia-dasencich.pdf>
- CEN. (Enero de 2023). *Coordinador Electrico Nacional*. Obtenido de Reportes, Estadísticas y Plataformas de Uso Frecuente: <https://www.coordinador.cl/reportes-y-estadisticas/#Estadisticas>
- CNE. (2018). *Energía Maps - Centrales hidroeléctricas*. Obtenido de <https://energiamaps.cne.cl/#>
- CNR. (2020). *Mapa y Fichas de Infraestructura de Riego y Catastros - Levantamiento de información CNR*. Obtenido de <https://esiir.cnr.gob.cl/>
- CONAF. (2013). *Catastro de Usos de Suelo y Vegetación*.
- CONAF. (2019). *IDE-Minagri*. Obtenido de <https://ide.minagri.gob.cl/geoweb/2019/11/22/planificacion-catastral/>
- DGA. (1989). *Mapa Hidrogeológico de Chile*. Obtenido de <https://snia.mop.gob.cl/repositoriiodga/>
- DGA. (2013). *Levantamiento hidrogeológico en cuencas pluviales costeras en la región del Libertador General Bernardo O'Higgins y región del Biobío*.
- DGA. (2015). *DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA REGIÓN LIB. BERNARDO O'HIGGINS*.
- DGA. (2016). *Diagnóstico de la Calida de las Aguas Subterráneas de la Región Lib. Bernardo O'Higgins*. Obtenido de <https://snia.mop.gob.cl/sad/CQA5583.pdf>
- DGA. (2016). *Embalses - Inventarios*. Recuperado el 2024, de <https://dga.mop.gob.cl/estudiospublicaciones/mapoteca/Documents/Embalses.zip>
- DGA. (2017). *Estimación de la demanda actual, proyecciones futuras y caracterización de la calidad de los recursos hídricos en Chile*. Santiago, Chile. Obtenido de <https://bibliotecadigital.ciren.cl/server/api/core/bitstreams/d28ba07a-b472-4b6d-96db-628a3d3851e5/content>
- DGA. (2020). *Declaraciones de agotamiento de aguas superficiales*. Obtenido de <https://dga.mop.gob.cl/administracionrecursoshidricos/asuperficiales/Paginas/default.aspx>
- DGA. (2020). *Embalses - Inventarios*. Obtenido de <https://dga.mop.gob.cl/estudiospublicaciones/mapoteca/Documents/Embalses.zip>
- DGA. (2020). *Plan Estratégicos de Gestión Hídrica*.
- DGA. (2021). *PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA DEL MAIPO*.
- DGA. (2021). *Plan Estratégico de Gestión Hídrica en las cuencas Costeras entre Maipo y Rapel*.
- DGA. (2022). *Actualización Balance Hídrico Nacional*. Santiago.
- DGA. (2022). *Homologación del Cálculo Hidrológico para la Estimación de la Oferta Natural de Agua Histórica y Futura en Chile*. Santiago.
- DGA. (2022). *Plan Estratégico de Gestión Hídrica en la cuenca del Río Rapel*.

- DGA. (2022). *Planilla resumen, Decretos de Reserva de caudales a febrero 2022*. Obtenido de https://dga.mop.gob.cl/administracionrecursoshidricos/obras_estatales_y_reservas/Paginas/default.aspx
- DGA. (2022a). *PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA DEL RÍO RAPEL*. Santiago.
- DGA. (2023). *Áreas de restricción*. Obtenido de <https://dga.mop.gob.cl/Paginas/areasderestriccion.aspx>
- DGA. (Noviembre de 2023). *Catastro publico de aguas*. Obtenido de Derechos Concedidos XV : https://dga.mop.gob.cl/productosyservicios/derechos_historicos/Paginas/default.aspx
- DGA. (2023). *Decretos declaración zona de escasez vigentes*. Obtenido de <https://dga.mop.gob.cl/administracionrecursoshidricos/decretosZonasEscasez/Paginas/default.aspx>
- DGA. (2023). *Derechos de aprovechamiento de aguas registrados en DGA*. Obtenido de https://dga.mop.gob.cl/productosyservicios/derechos_historicos/Paginas/default.aspx
- DGA. (2023). *Mapoteca Digital*. Obtenido de <https://dga.mop.gob.cl/estudiospublicaciones/mapoteca/Paginas/Mapoteca-Digital.aspx>
- DGA. (2023). *Zonas de prohibición*. Obtenido de <https://dga.mop.gob.cl/Paginas/zonadeprohibicion.aspx>
- DGA. (2024). *Información Pluviométrica, Fluviométrica, Estado de embalses y Aguas Subterráneas*.
- DGOP. (2021). *Plan de Inversión en Iniciativas Hídricas 2020-2050*.
- Diario el Día . (2023). *Preocupa lento avance en proyectos de embalses ante extrema sequía en la región*. Recuperado el 08 de Enero de 2024, de <https://www.diarioeldia.cl/economia/2023/6/22/preocupa-lento-avance-en-proyectos-de-embalses-ante-extrema-sequia-en-la-region-102126.html>
- Dictuc. (2021). *Metodología para Priorización de Cuencas Hidrográficas para Elaboración de Normas Secundarias de Calidad Ambiental u otros Instrumentos de Gestión relacionados a Calidad del Agua*.
- DIRPLAN. (2012). *Metodología de evaluación socioeconómica ex ante de planes territoriales de infraestructura y gestión de recurso hídrico — MOP*. Santiago.
- DIRPLAN. (2024). *Estudio básico: Análisis integral Plan Director de Infraestructura 2025-2055*. Santiago.
- DOH. (2021). *Listado de Sistemas de Agua Potable Rural en Chile*. Obtenido de <https://datos.gob.cl/dataset/listado-de-sistemas-de-agua-potable-rural-en-chile>
- DOH. (2023). *Listado de Servicios Sanitarios Rurales* . Santiago, Chile.
- EM-DAT. (2024). *The international disaster database*. Obtenido de <https://www.emdat.be/>

- ERIDANUS. (2018). *Recopilación histórica y representación espacial de eventos asociados a problemas de exceso hídrico: inundaciones, aluviones y tsunamis*.
- ESSBIO. (2023). *Essbio*. Obtenido de <https://www.essbio.cl/planes-desarrollo>
- GORE O'Higgins. (2011). *Estrategia Regional de Desarrollo 2011 - 2020*.
- GORE O'Higgins. (2019). *Estrategia Regional de Innovación 2019 - 2027*.
- INDH. (2020). *Mapa de Conflictos socioambientales*. Obtenido de <https://mapaconflictos.indh.cl/#/conflicto/20651>
- INE. (1997). *Censo Nacional Agropecuario*. Santiago.
- INE. (2007). *VII Censo Nacional Agropecuario y Forestal*.
- INE. (2017). *Censo de Población y Vivienda*. Obtenido de Resultados CENSO 2017: <http://resultados.censo2017.cl/>
- INE. (2017). *Resultados Censo 2017*. Obtenido de <http://resultados.censo2017.cl/>
- INE. (2021). *VIII Censo Nacional Agropecuario y Forestal*. Santiago, Chile. Obtenido de <https://www.ine.gob.cl/censoagropecuario>
- Larraín, S., & Poo, P. (2010). *Conflictos por el agua en Chile: Entre los derechos humanos y las reglas del Mercado*.
- Lempert, R. (2019). Robust Decision Making (RDM). En V. Marchau, W. Walker, P. Bloemen, & S. Popper, *Decision Making under Deep Uncertainty*. Springer, Cham.
- Minería, S. N. (2022). *Anuario de la Minería de Chile, SERNAGEOMIN*. Santiago: <https://www.sernageomin.cl/anuario-de-la-mineria-de-chile/>.
- MOP. (2012). *Plan Regional de Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico al 2021, Región de O'Higgins*. Obtenido de https://planeamiento.mop.gob.cl/planes/regional/Paginas/detalle_prigrh.aspx?item=9
- MOP. (2019). *Análisis de inversión en infraestructura y Gestión Hídrica 2020 - 2050*. Santiago.
- MOP. (2020). *Programa de Gestión Territorial para Zonas Rezagadas 2020-2027*.
- ODEPA. (2022). *Catastros Frutícolas*. Santiago, Chile.
- PNUD . (2023). *Medición de la Pobreza Multidimensional en Chile* . En MIDESO, *Encuesta Casen 2022*. Obtenido de <https://observatorio.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/storage/docs/casen/2022/Informe%20IPM%20-%20PNUD%20-%20CASEN%202022.pdf>
- SENAPRED. (2023). *Servicio Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres*. Obtenido de <https://bibliogrdsenapred.gob.cl/handle/2012/21/recent-submissions?offset=0>
- SEREMI. (2020). *Plan Regional de Recursos Hídricos años 2020-2029*. Obtenido de https://www.goreohiggins.cl/images/docs/2020/plan_recursos_hidricos_2020%E2%80%932029.pdf
- SERNAGEOMIN. (2022). Obtenido de *Anuario de la Minería de Chile* : <https://www.sernageomin.cl/anuario-de-la-mineria-de-chile/>
- SERNAGEOMIN. (2022). *Catastro de Depósito de Relaves*. Obtenido de <https://www.sernageomin.cl/datos-publicos-deposito-de-relaves/>

- SERNATUR. (Febrero de 2024). *Big data para el turismo interno*. Obtenido de Principales destinos turísticos: <https://www.sernatur.cl/dataturismo/big-data-turismo-interno/>
- SICVIR. (2020). *Sistema de Indicadores de Calidad de Vida Rural*. Obtenido de <https://www.ine.gob.cl/herramientas/portal-de-mapas/sicvir>
- Siddiqi, A., Eriqat, F., & Diaz Anadon, L. (2016). Formulating Expectations for Future Water Availability through Infrastructure Development Decisions in Arid Regions. *Systems Engineering*. doi:10.1002/sys.21337
- SIFAC II, S. (2023). *Superintendencia de Servicios Sanitarios*. Obtenido de SISS: <https://www.siss.gob.cl/586/w3-article-7247.html>
- SiSS. (2019). *PTAS en operación*. Obtenido de <https://www.siss.gob.cl/586/w3-propertyvalue-6409.html>
- SiSS. (2022). *Informe de Gestión del Sector Sanitario 2022*. Obtenido de https://www.siss.gob.cl/586/articles-22969_recurso_1.pdf
- SISS. (2023). *Informe de coberturas sanitarias 2022*. Santiago. Obtenido de https://www.siss.gob.cl/586/articles-22927_recurso_1.pdf
- SISS. (2023). *Informe de gestión del sector sanitario 2022*. Santiago. Retrieved from https://www.siss.gob.cl/586/articles-22969_recurso_1.pdf
- SiSS. (2023). *Territorios Operacionales*. Obtenido de <https://sit.siss.gob.cl/>
- Subdere. (2023). *División Política Administrativa 2023*. Obtenido de <https://www.geoportal.cl/geoportal/catalog/36391/Divisi%C3%B3n%20Pol%C3%ADtica%20Administrativa%202023>
- Vitale, J., & Puebla, P. (2017). Aplicación de la prospectiva estratégica a la gestión integrada del recurso hídrico. En *Desafíos del agua para la región Latinoamericana* (págs. 80-93). Santiago: Fundación Chile.
- Walker, W. E., Marchau, V. A., & Kwakkel, J. H. (2019). Dynamic Adaptive Planning (DAP). En V. A. Marchau, W. E. Walker, P. J. Bloemen, & S. W. Popper, *Decision Making under Deep Uncertainty: From Theory to Practice*. Cham: Springer.