

**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 METROPOLITANA

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	10
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
2.1.2	Clima	18
2.1.3	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	23
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	30
2.2.9	Acuícola	31
2.2.10	Caudal de reserva para turismo y protección ambiental	31
2.2.11	Análisis de demanda total en la región	32
2.3	ANÁLISIS DE OFERTA HÍDRICA	35
2.3.1	Oferta hídrica	35
2.3.2	Eventos extremos	47
2.3.3	Calidad de aguas	48
CAPÍTULO 3	ANÁLISIS DE INFRAESTRUCTURA HÍDRICA	50

3.1	INFRAESTRUCTURA HIDRICA Y NUEVAS FUENTES EXISTENTES	50
3.1.1	Infraestructura hídrica existente al año 2023	50
3.1.2	Infraestructura hídrica propuesta en cartera pública existente	65
CAPÍTULO 4	BRECHAS HÍDRICAS	74
4.1	BRECHAS DE BALANCE HÍDRICO	74
4.2	BRECHAS ESTRATÉGICAS	80
4.2.1	Brechas de Información	80
4.2.2	Brechas de seguridad hídrica para el derecho humano al agua, saneamiento y consumo humano de subsistencia	82
4.2.3	Brechas de seguridad para la producción sostenible y eficiencia hídrica	84
4.2.4	Brechas de seguridad hídrica para la conservación y preservación de los ecosistemas	86
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	92
4.3.1	Desarrollo matriz OAI	92
4.3.2	Identificación de brechas de infraestructura	100
CAPÍTULO 5	IDENTIFICACIÓN DE INICIATIVAS DE INFRAESTRUCTURA, INNOVADORAS Y DE GESTIÓN	103
5.1	IDENTIFICACIÓN DE INICIATIVAS ESTRATÉGICAS	103
5.2	TIPOLOGÍAS DE PROYECTOS	105
5.3	CONFORMACIÓN DE LA CARTERA DE PRE/INVERSIONES	107
5.4	DETERMINACIÓN DE COSTOS UNITARIOS DE TIPOOGÍAS DE PROYECTOS	112
5.5	VALORIZACIÓN DE INICIATIVAS ESTRATÉGICAS	116
5.6	ESTIMACIÓN DE BENEFICIOS PARA LA MATRIZ HÍDRICA	116
5.6.1	Beneficios de Inversiones	116
5.6.2	Incidencia en Matriz Hídrica	121
CAPÍTULO 6	EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA Y PRIORIZACIÓN DE LAS INICIATIVAS	125
6.1	EVALUACIÓN MULTICRITERIO	125
6.2	EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA	128
6.3	PRIORIZACIÓN Y CARTERA DE INVERSIONES	129
CAPÍTULO 7	PROPUESTA DE ESCENARIOS DE DESARROLLO	134
7.1	SELECCIÓN DE FACTORES CRÍTICOS PARA LA TOMA DE DECISIÓN	134

7.1.1	Contexto regional y áreas de intervención prioritarias	135
7.1.2	Factores críticos regionales	137
7.2	PROPUESTA DE ESCENARIOS DE DESARROLLO	139
7.2.1	Análisis de estancamiento crítico	139
7.2.2	Análisis de desafío gestionable	141
7.2.3	Análisis de capacidad limitada	143
7.2.4	Análisis de avance sostenible y resiliente	145
CAPÍTULO 8	PROPUESTA DE PROSPECTIVA DE REQUERIMIENTOS DE INFRAESTRUCTURA	
HÍDRICA	148	
8.1	SEGURIDAD HÍDRICA EN LA REGIÓN: ESTADO DEL ARTE	148
8.2	EL FUTURO EXISTE EN EL POTENCIAL DEL PRESENTE: POLÍTICAS PÚBLICAS E INNOVACIONES	150
8.3	GOBERNANZA PARA EL FUTURO DESEADO: EL ROL DEL MOP Y ACTORES CLAVE	151
8.4	FRENTE A LA INCERTIDUMBRE: VISIÓN COMÚN PARA LA RESILIENCIA	151
8.5	MEGATENDENCIAS Y SUS POTENCIALES CONSECUENCIAS: ESCENARIOS DE DESARROLLO	152
8.6	ADAPTACIÓN COMO CAMINO PARA NAVEGAR LA INCERTIDUMBRE	153
8.7	SOLUCIONES SINÉRGICAS PARA PROBLEMAS COMPLEJOS: INICIATIVAS ESTRATÉGICAS	153
8.8	MONITOREO Y ESTRATEGIAS DE CONTINGENCIA	156
CAPÍTULO 9	BIBLIOGRAFÍA	157

FIGURAS

Figura 2.1-1	Hidrografía de la región Metropolitana de Santiago	16
Figura 2.1-2	Distribución geográfica áreas protegidas, humedales y sitios prioritarios de región Metropolitana de Santiago	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	33
Figura 2.2-5	Distribución de demanda total consuntiva regional (Mm ³ /año), por uso – actual y proyectada	34
Figura 2.2-6	Distribución de demanda total consuntiva no extractiva y no consuntiva regional (Mm ³ /año), por uso – actual y proyectada	35
Figura 2.3-1	Cuencas y subcuencas de la región Metropolitana de Santiago según clasificación DARH	36
Figura 2.3-2	Ubicación geográfica de los DAA superficiales en la región Metropolitana de Santiago, por tipología.....	38
Figura 2.3-3	Restricciones de uso sobre fuentes superficiales, región Metropolitana de Santiago	39
Figura 2.3-4	Zonas con decretos de escasez históricos por comuna, región Metropolitana de Santiago	40
Figura 2.3-5	Ubicación geográfica de los DAA subterráneas en la región Metropolitana de Santiago, por tipología.....	44
Figura 3.1-1	Distribución de viviendas en región Metropolitana 2017	55
Figura 3.1-2	Distribución de viviendas rurales con acceso a servicios básicos, según la fuente de obtención de agua	56
Figura 3.1-3	Acceso a la red de agua potable según indicador BS12 en las viviendas rurales de la región Metropolitana.....	57

Figura 3.1-4	Cobertura de sistemas de alcantarillado de la población rural de la región Metropolitana según indicador BS13	58
Figura 3.1-5	Cobertura de sistemas de alcantarillado de la población rural para el año 2022	59
Figura 3.1-6	Infraestructura principal asociada a los recursos hídricos de la región Metropolitana de Santiago.....	61
Figura 3.1-7	Red hidrométrica de la región de Metropolitana	64
Figura 4.1-1	Probabilidad de excedencia sobre la curva de oferta, de la demanda actual y futura, cuenca BNA 057.....	76
Figura 4.1-2	Indicadores de disponibilidad hídrica para el año 2025 en la región Metropolitana	77
Figura 4.1-3	Variación de indicadores de disponibilidad hídrica proyectada por año en la región de Metropolitana	79
Figura 4.2-1	Resumen de Brechas Estratégicas por Cuenca Región Metropolitana.....	91
Figura 4.3-1	Distribución geográfica de iniciativas catastradas sin ejecutar en periodo 2010-2022, asociadas a brechas de seguridad hídrica en la región Metropolitana	98
Figura 5.1-1	Diagrama de flujo Iniciativas Estratégicas.....	104
Figura 5.2-1	Diagrama Composición Iniciativas Estratégicas	105
Figura 5.3-1	Diagrama Estructura Iniciativas Estratégica, Tipología de Proyectos y Cartera de Pre/Inversiones.....	107
Figura 5.3-2	Diagrama de Composición de Cartera de Pre/inversión.....	108
Figura 6.3-1	Diagrama de proceso para la generación de la cartera de inversión	130
Figura 6.3-2	Composición de la cartera de inversión por tipología de proyecto para la región Metropolitana	131
Figura 6.3-3	Cartera de inversión por tipo de iniciativa estratégica para la región Metropolitana	132
Figura 6.3-4	Cartera de inversión por tipo de fuente de inversión para la región Metropolitana	133
Figura 8.1-1	Distribución de demanda total regional (%), por uso - año 2023.....	150
Figura 8.7-1	Inversión total distribuida por Iniciativas Estratégicas	154

TABLAS

Tabla 2.2-1	Estimación demanda hídrica Agua Potable Urbana actual y futura - Cuencas BNA región Metropolitana	20
Tabla 2.2-2	Estimación demanda hídrica en áreas Agua Potable Rural actual y futura, por cuenca BNA región Metropolitana	22
Tabla 2.2-3	Proyección de la población rural en áreas APR - Cuencas BNA región Metropolitana	23
Tabla 2.2-4	Estimación demanda hídrica en áreas sin APR actual y futura, por cuenca BNA región Metropolitana	23
Tabla 2.2-5	Proyección de población en áreas sin APR actual y futura, por cuenca BNA región Metropolitana	23
Tabla 2.2-6	Estimación demanda hídrica Agrícola actual y futura – Cuencas BNA Región Metropolitana	24
Tabla 2.2-7	Estimación demanda hídrica consuntiva generación eléctrica actual y futura – Cuencas BNA Región Metropolitana	26
Tabla 2.2-8	Estimación demanda hídrica no consuntiva generación eléctrica actual y futura – Cuencas BNA Región Metropolitana	26
Tabla 2.2-9	Estimación demanda hídrica minera actual y futura – Cuencas BNA Región Metropolitana	27
Tabla 2.2-10	Estimación demanda hídrica industrial actual y futura – Cuencas BNA región Metropolitana	29
Tabla 2.2-11	Estimación demanda hídrica forestal actual y futura – Cuencas BNA región Metropolitana	30
Tabla 2.2-12	Estimación demanda hídrica Pecuaria actual y futura – Cuencas BNA región Metropolitana	30
Tabla 2.2-13	Estimación demanda hídrica acuícola actual y futura – Cuencas BNA región Metropolitana	31
Tabla 2.2-14	Caudales de Reserva para protección ambiental – Cuencas BNA región Metropolitana	32
Tabla 2.2-15	Resumen de demandas consuntivas – Cuencas BNA región Metropolitana.	33
Tabla 2.3-1	Oferta hídrica actual y proyectada de agua superficial en región Metropolitana	41

Tabla 2.3-2	Escorrentía total y glaciar en periodo histórico 1985-2015.....	42
Tabla 2.3-3	Oferta hídrica actual de agua subterránea en la región	46
Tabla 2.3-4	Oferta hídrica actual y proyectada de agua subterránea en la 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 Metropolitana, periodo 1912-2017	48
Tabla 2.3-7	Cuencas afectadas por eventos extremos en la región Metropolitana, 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 Metropolitana.....	52
Tabla 3.1-3	Planes maestros de aguas lluvias tramitados para la región Metropolitana de Santiago	62
Tabla 3.1-4	Estaciones de monitoreo de la región Metropolitana	63
Tabla 3.1-5	Iniciativas clasificadas según tipología y estrategia de acción.....	65
Tabla 3.1-6	Iniciativas según tipologías y características básicas	66
Tabla 3.1-7	Iniciativas con estado de ejecución.....	67
Tabla 3.1-8	Iniciativas planificadas dentro de los planes de desarrollo de las empresas sanitarias para la región Metropolitana	67
Tabla 3.1-9	Planes maestros de aguas lluvias proyectados para la región Metropolitana de Santiago	72
Tabla 3.1-10	Inversión histórica MOP 2015-2023 según estrategias de acción	72
Tabla 4.1-1	Brechas Hídricas por Cuenca Región de Metropolitana	78
Tabla 4.2-1	Brechas Estratégicas de Consumo Humano por cuenca región Metropolitana	83
Tabla 4.2-2	Brechas Estratégicas de Desarrollo Económico por cuenca región Metropolitana	85
Tabla 4.2-3	Brechas Estratégicas de conservación y preservación de los ecosistemas, por Cuenca Región Metropolitana.....	87
Tabla 4.2-4	Brechas Estratégicas resiliencia frente a amenazas asociadas a eventos extremos por Cuenca Región Metropolitana	89
Tabla 4.3-1	Tipología de iniciativas asociadas a resolver brechas estratégicas en la región Metropolitana	95
Tabla 4.3-2	Tipología de iniciativas asociadas a resolver brechas estratégicas en la región Metropolitana (continuación)	96
Tabla 4.3-3	Universo y metas de infraestructura según tipología en la región Metropolitana	102
Tabla 5.1-1	Iniciativas Estratégicas	105
Tabla 5.2-1	Tipologías de Proyectos por Iniciativas Estratégicas	106
Tabla 5.3-1	Criterios para la determinación de las iniciativas a proyectar RM-INI-EST-01	109

Tabla 5.3-2	Criterios para la determinación de las iniciativas a proyectar RM-INI-EST-02 ..	109
Tabla 5.3-3	Criterios para la determinación de las iniciativas a proyectar RM-INI-EST-03 ..	110
Tabla 5.3-4	Criterios para la determinación de las iniciativas a proyectar RM-INI-EST-04 ..	111
Tabla 5.3-5	Criterios para la determinación de las iniciativas a proyectar RM-INI-EST-05 ..	111
Tabla 5.4-1	Precios Unitarios de Tipologías de Proyectos según Etapa MDSyF	112
Tabla 5.5-1	Costos totales propuesta por IE para dar respuesta a las brechas identificadas	116
Tabla 5.6-1	Criterios para la estimación de beneficios por Inversión (General)	118
Tabla 5.6-2	Criterios para la estimación de beneficios Matriz Hídrica	122
Tabla 6.1-1	Criterios de Evaluación de Inversiones y valorización para su priorización	127
Tabla 8.1-1	Balance Hídrico Estructural actual de la región Metropolitana.....	150

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

A continuación, se presenta una breve introducción al estudio y el marco estratégico desarrollado para la región Metropolitana de Santiago 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 prospectiva de requerimientos de inversión, así como también iniciativas de política pública, programas de inversión innovadores y/o medidas de gestión necesarias promover una mayor seguridad hídrica en la región Metropolitana de Santiago.

Para lo anterior, se desarrolla un diagnóstico actual y prospectivo de los principales sectores de demanda hídrica del país para el período 2025-2055, incluyendo también un análisis histórico de los niveles de precipitación y eventos climáticos extremos. Esto, en conjunto 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 son definidas 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 disponibilidades hídricas. 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 Metropolitana busca contar con un sistema de servicios de infraestructura con foco en sus ciudadanos y el desarrollo territorial, con un enfoque sostenible que permita equilibrar las dimensiones sociales, económicas y ambientales, contando con el capital humano, recursos físicos y tecnológicos adecuados para una gestión eficiente en los plazos comprometidos.

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), el Plan de Riego de la cuenca Río Maipo (DGA, 2016), los Planes Estratégicos de Gestión Hídrica (PEGHs) desarrollados dentro de la región (DGA, 2021), Planes de Estrategias Regionales del Gobierno Regional de Santiago (GORE Santiago, 2021) y por último el inventario de planes del Ministerio de Obras Públicas (MOP, 2023). El detalle del análisis realizado se presenta en el Anexo 09.05.02.

1.2.2 Objetivo estratégico general

Garantizar el acceso universal, equitativo y sostenible a los servicios básicos de infraestructura, particularmente en comunidades urbanas y rurales marginadas, mediante la provisión de servicios de agua potable y saneamiento de alta calidad, que permitan mejorar la calidad de vida en general, asegurar el derecho humano al agua y la provisión de recursos hídricos para procesos productivos. Para esto se desarrollarán sistemas integrales, eficientes, resilientes y sostenibles que mejoren la distribución y el almacenamiento del recurso hídrico, que promuevan su uso sostenible, su reutilización y la identificación de nuevas fuentes en función del fomento a la investigación y las capacidades tecnológicas. Este objetivo considera el impulso de una transición socioecológica justa mediante

proyectos multipropósitos, soluciones basadas en la naturaleza, monitoreo de los recursos y planificación del territorio, que posibiliten el desarrollo integral del entorno, así como también el desarrollo agrícola competitivo de la región, la preservación de los ecosistemas, la restauración de las fuentes de agua y áreas degradadas, y la resiliencia frente desastres y eventos climáticos extremos, favoreciendo así las capacidades adaptativas del territorio.

1.2.3 Objetivos estratégicos específicos

1. Asegurar el acceso universal a los servicios básicos de infraestructura, en particular en comunidades urbanas y rurales marginadas y desatendidas. Esto incluye garantizar el derecho humano al agua mediante la provisión de servicios de agua potable y saneamiento suficientes, seguros, aceptables, accesibles y asequibles. Se busca brindar infraestructura de calidad para reducir las disparidades territoriales, promover la equidad social y la igualdad de oportunidades y mejorar la calidad de vida en general, con un enfoque de género. Las prioridades incluyen apoyar a los asentamientos rurales más pequeños, mejorar el acceso a los servicios básicos y desarrollar infraestructura estratégica para fomentar el crecimiento sostenible en estas áreas. Además, establece estándares mínimos de calidad y cobertura para la infraestructura de abastecimiento de agua potable rural y acelerar su aprobación, al tiempo que se fortalecen las capacidades de gestión y tecnológicas.
2. Garantizar el acceso universal a servicios de agua y saneamiento de alta calidad, equitativos y sostenibles. Priorizar el desarrollo de iniciativas de saneamiento y la reutilización de aguas residuales urbanas y rurales puede mejorar el bienestar de la comunidad, proteger la calidad ambiental y crear nueva disponibilidad de agua en áreas con escasez de agua, contribuyendo a una economía circular del agua. Además, el objetivo enfatiza la investigación e identificación de recursos hídricos nuevos y existentes para permitir una gestión y uso eficiente, sostenible y asequible del agua, al tiempo que se garantiza la calidad para diversas aplicaciones. Además, pretende mejorar la calidad, la sostenibilidad a largo plazo y la administración de los servicios básicos en las zonas rurales, y abordar y prevenir la segregación social urbana.
3. Mejorar la infraestructura hídrica, la eficiencia en la distribución y el almacenamiento de agua para proveer de agua dulce a los procesos productivos, generando sinergias en los territorios e impulsando proyectos multipropósito que maximicen los beneficios y oportunidades para el desarrollo integral del entorno. También se busca optimizar el uso del agua, permitiendo aumentar la superficie irrigada y el número de participantes en las actividades

agrícolas, con el objetivo de desarrollar alternativas agrícolas competitivas para mantener el creciente desarrollo agrícola de la región.

4. Impulsar una transición socioecológica justa para la gestión sostenible de los recursos hídricos a nivel de cuenca. Esto implica fomentar prácticas, tecnologías y menores requerimientos de producción para conciliar el consumo de agua en los diversos sectores de demanda con la disponibilidad de agua a nivel de cuenca, promoviendo así un balance hídrico sostenible. Además, busca fomentar la investigación e identificación de fuentes de agua nuevas y existentes para permitir una gestión y calidad del agua eficiente, sostenible y asequible en diversos usos.
5. Promover la preservación de los ecosistemas mediante un enfoque descentralizado y equilibrado que adapte los servicios de infraestructura, los sistemas económicos productivos y los asentamientos a las capacidades de cada territorio. Desarrollar infraestructura hídrica multipropósito y soluciones basadas en la naturaleza para proteger y restaurar fuentes de agua, fortaleciendo los servicios ecosistémicos críticos. Integrar la biodiversidad y los servicios ecosistémicos en la planificación y regulación del uso del suelo rural para equilibrar la conservación con las necesidades humanas de seguridad hídrica. Incentivar la restauración de áreas degradadas y establecer objetivos de mejora ambiental para las ciudades, priorizando la eficiencia de los recursos hídricos y asegurando la calidad para la flora y fauna de la región.
6. Evaluar los sistemas naturales como soporte fundamental en la planificación y diseño de intervenciones territoriales, e integrar este componente en políticas sectoriales específicas, normatividad y planes especiales, generando conciencia sobre su valor y la necesidad de protección, restauración, reparación y remediación. Para ello es clave la medición y monitoreo de las variables ambientales que caracterizan los servicios ecosistémicos, y la promoción de prácticas de construcción sustentable en la planificación. También promueve el inventario, caracterización y difusión de información sobre las condiciones del suelo y los cambios de uso del suelo, para anticipar y mitigar los riesgos potenciales de alteración o degradación de sus funciones.
7. Establecer estándares esenciales de infraestructura para reducir la vulnerabilidad a eventos climáticos extremos, promover infraestructura resiliente y considerar factores socioeconómicos en los esfuerzos de adaptación. Se pretende enfatizar la necesidad de proteger a la población de los peligros relacionados con el clima, invertir en soluciones ecológicas y

basadas en la naturaleza y asegurar la compatibilidad de la infraestructura. Además, el estudio destaca la importancia de colaborar con instituciones académicas para habilitar medidas de adaptación y mitigación. También se enfatiza la incorporación de la gestión del riesgo de desastres en la generación de infraestructura resiliente para proteger el territorio y las personas de los efectos del cambio climático, salvaguardando la infraestructura crítica. Estas medidas tienen como objetivo reducir los riesgos relacionados con el agua al mitigar y compensar los posibles impactos ambientales y sociales negativos.

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 en términos físicos, climáticos y socio-económicos. El detalle de este trabajo se presenta de en el Anexo 09.01 del presente estudio.

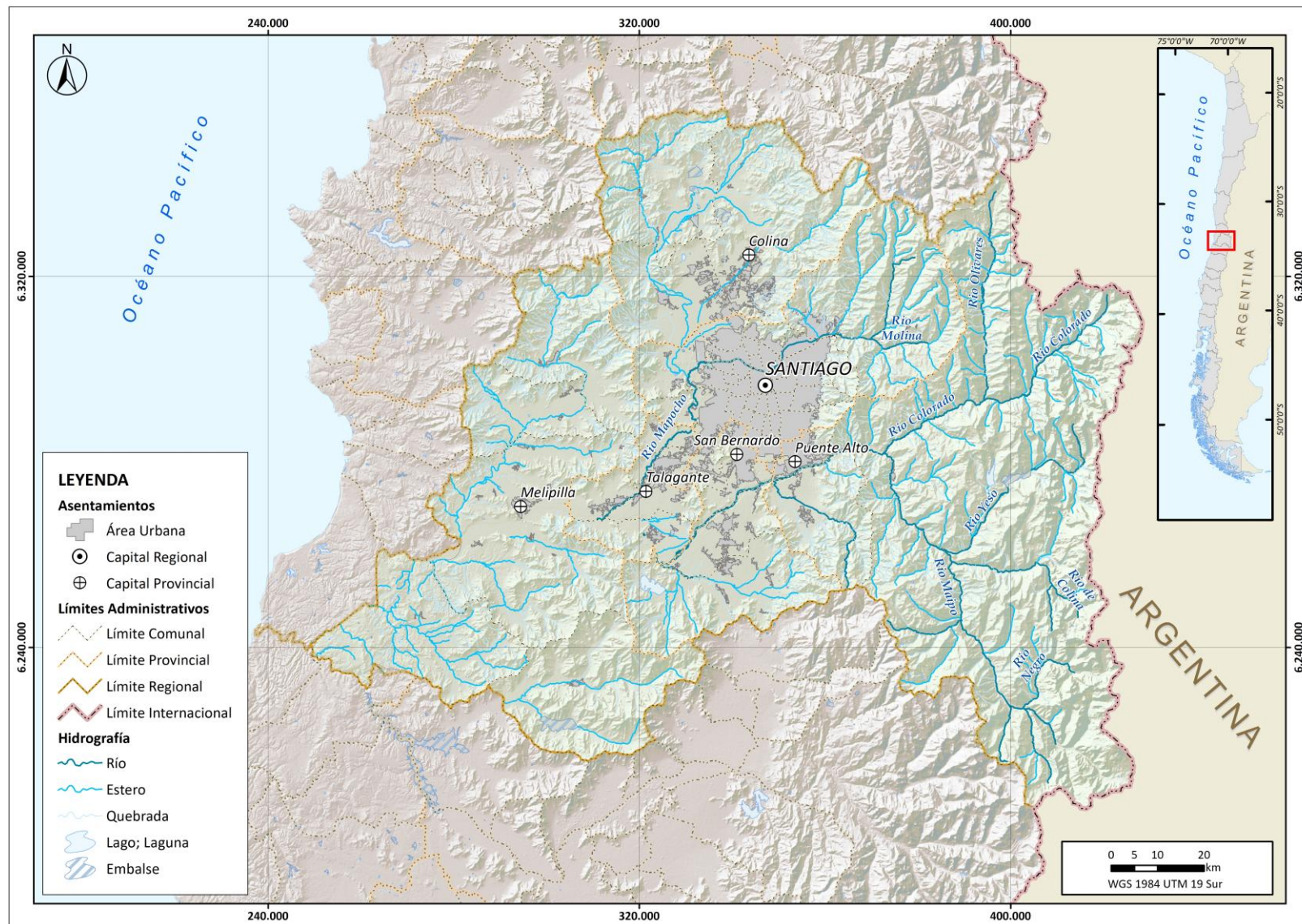
2.1.1 Dimensión física

En la región Metropolitana de Santiago, se encuentran tres unidades fisiográficas principales que caracterizan gran parte del país. La Cordillera de Los Andes destaca con alturas superiores a los 6.000 metros sobre el nivel del mar (msnm) y cabeceras de grandes cuencas hidrográficas. La hidrografía de la región se presenta en la Figura 2.1-1. La Depresión Intermedia, alberga casi en su totalidad la ciudad de Santiago, caracterizándose por ser un plano ligeramente inclinado hacia el oeste. La Cordillera de la Costa, más antigua que la de Los Andes y de menor extensión, exhibe relieves suaves con alturas máximas de 1.990 msnm (cerro de Lo Aguirre), drenando hacia la Depresión Intermedia mediante cortos esteros. El sistema colector de aguas superficiales más importante es la cuenca del río Maipo, que atiende alrededor del 70% de la demanda actual de agua potable y cerca del 90% de las demandas de regadío en la región Metropolitana, además de ser aprovechado intensivamente para la generación hidroeléctrica (BCN, 2023).

En cuanto a la distribución del uso de suelo en la Región Metropolitana, se estima que una parte significativa se categoriza como praderas y matorrales, con un porcentaje considerable destinado a terreno agrícola (CONAF, 2019).

Finalmente, en el ámbito ambiental, se encuentran las áreas protegidas tales como la Reserva Nacional Roblería del Cobre de Loncha, Parque Nacional Río Clarillo y Monumento Natural El Morado, así como el recientemente declarado Parque Nacional Glaciares de Santiago según el Registro Nacional de Áreas Protegidas (RNAP) del Ministerio de Medio

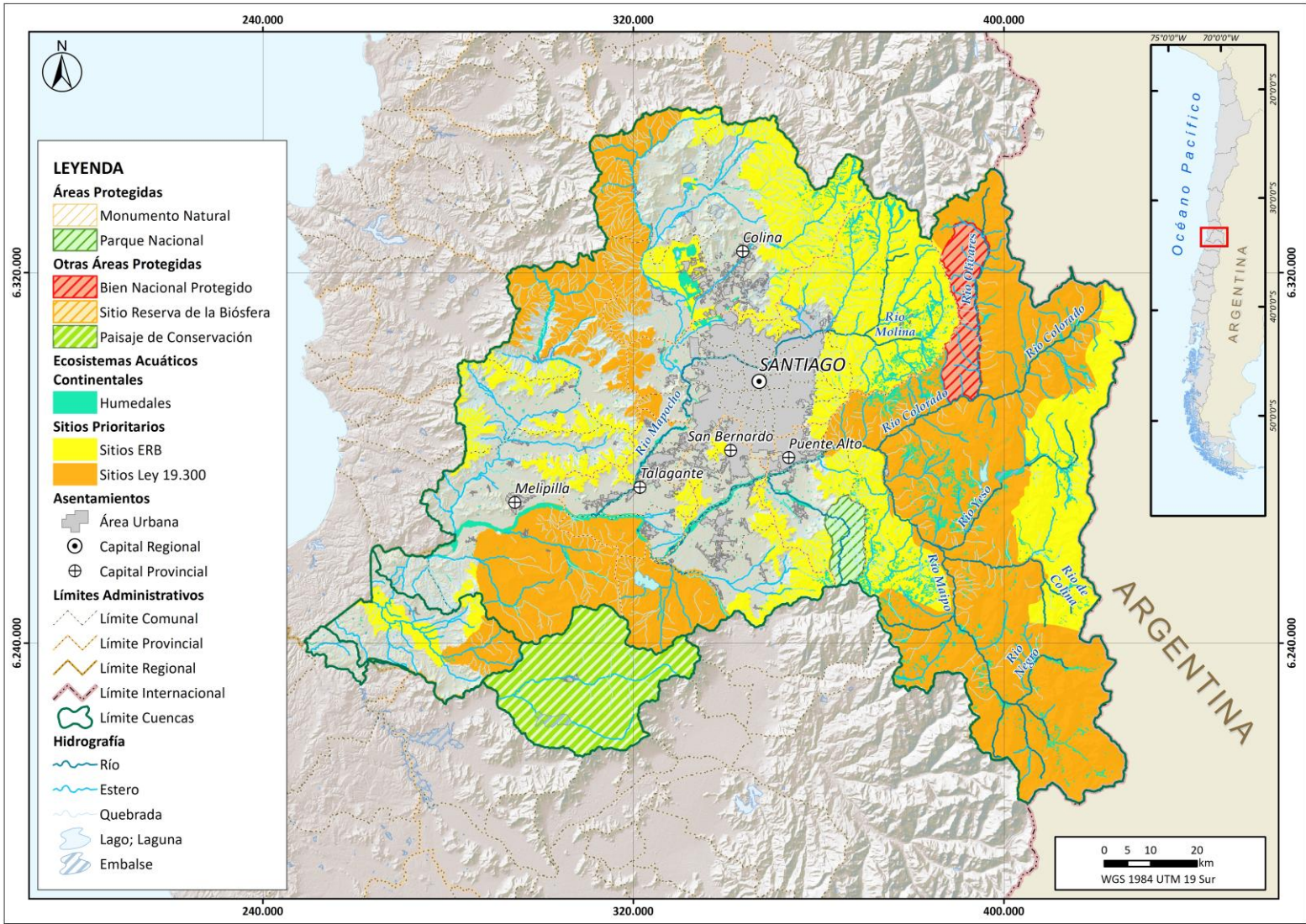
Ambiente (MMA) (ver Figura 2.1-2). No obstante, la protección de humedales en la Región Metropolitana es críticamente insuficiente, considerando que los porcentajes de protección a este tipo de ecosistema son inferiores al 4% en todas las cuencas de la región. Esta situación refleja una alta criticidad en la brecha de degradación y pérdida de servicios ecosistémicos provistos por humedales (ver sección 4.2.4).



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

Figura 2.1-1

Hidrografía de la región Metropolitana de Santiago



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.1-2 Distribución geográfica áreas protegidas, humedales y sitios prioritarios de región Metropolitana de Santiago

2.1.2 Clima

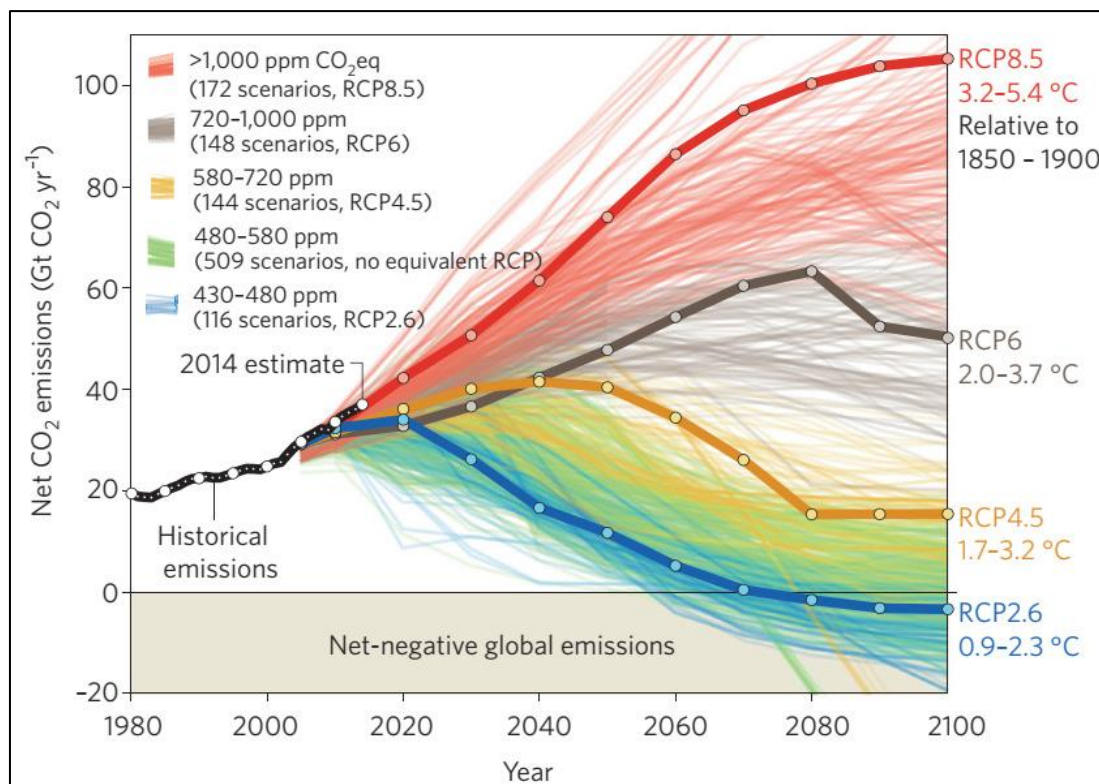
La región Metropolitana presenta una variedad de climas, siendo predominante el tipo "mediterráneo", con una estación seca prolongada y un invierno lluvioso. La temperatura media anual es de 13,9°C, siendo enero el mes más cálido y julio el más frío. Las precipitaciones anuales alcanzan un promedio de 356,2 mm, con variaciones notables entre la costa, la depresión intermedia y la cordillera de los Andes, generando líneas bioclimáticas distintivas en la región central de Chile. Las precipitaciones pueden variar considerablemente de un año a otro, y en algunas zonas, como Colina y Santiago, se experimentan climas más áridos debido a la influencia de la cordillera costera, que limita la penetración de las condiciones marítimas (BCN, 2023).

La Cordillera de la Costa y la distancia al mar son factores determinantes en la configuración del clima regional, que se caracteriza por una estación seca prolongada y un invierno marcado. Las precipitaciones se concentran en los meses de mayo a agosto, con un promedio anual de 369,5 mm en Santiago. Las diferencias climáticas locales se deben al relieve, siendo áreas al este de la Cordillera de la Costa más secas debido a su efecto de biombo climático.

En el Anexo 09.01 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 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 MIROC-ESM. Mayor información sobre los GCM seleccionados se presenta en Anexo 09.01.

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



Fuente: (Fuss, et al., 2014)

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

2.1.3 Dimensión socioeconómica y cultural

La región Metropolitana tiene una superficie de 15.403,2 km². De acuerdo a las proyecciones del Censo de Población y Vivienda hasta el año 2035 estiman una población total de 8.844.243 habitantes, lo que representa un aumento del 24,34% respecto al censo de 2017 (INE, 2017). La población estará compuesta por un 50,26% de mujeres y un 49,74% de hombres, con una estructura poblacional regresiva, donde la mayoría se encontrará en el rango de edades entre 25 y 64 años. En términos de distribución geográfica, el 96,3% de la población residirá en áreas urbanas y el 3,7% en áreas rurales. Respecto a los pueblos originarios, destaca la presencia del pueblo Mapuche, que representa aproximadamente el 88,5% de la población indígena en la región (INE, 2017).

En cuanto a la dimensión socioeconómica, el Producto Interno Bruto (PIB) de la Región Metropolitana alcanzó los \$99.978 mil millones de pesos en 2022, lo que corresponde al 38,07% del PIB nacional. Las principales actividades económicas incluyen los servicios financieros y empresariales (21%), seguidos por los servicios personales (15%) y el comercio (14,6%). En menor medida, el sector minero representa el 1,5% del PIB regional, mientras que el sector de electricidad, gas, agua y gestión de desechos contribuye con el 1,8%, y el sector agropecuario-silvícola con el 0,9% (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 Metropolitana 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) (BC, 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 09.02.

Tabla 2.2-1 Estimación demanda hídrica Agua Potable Urbana actual y futura - Cuencas BNA región Metropolitana

Cód. Cuenca	Cuenca	Demanda (Mm ³ /año)				
		2022	2025	2035	2045	2055
057	Río Maipo	608.875	623.573	664.230	694.925	719.863
058	Costeras entre Río Maipo y Río Rapel	0	0	0	0	0
060	Río Rapel	0	0	0	0	0
Total		608.875	623.573	664.230	694.925	719.863

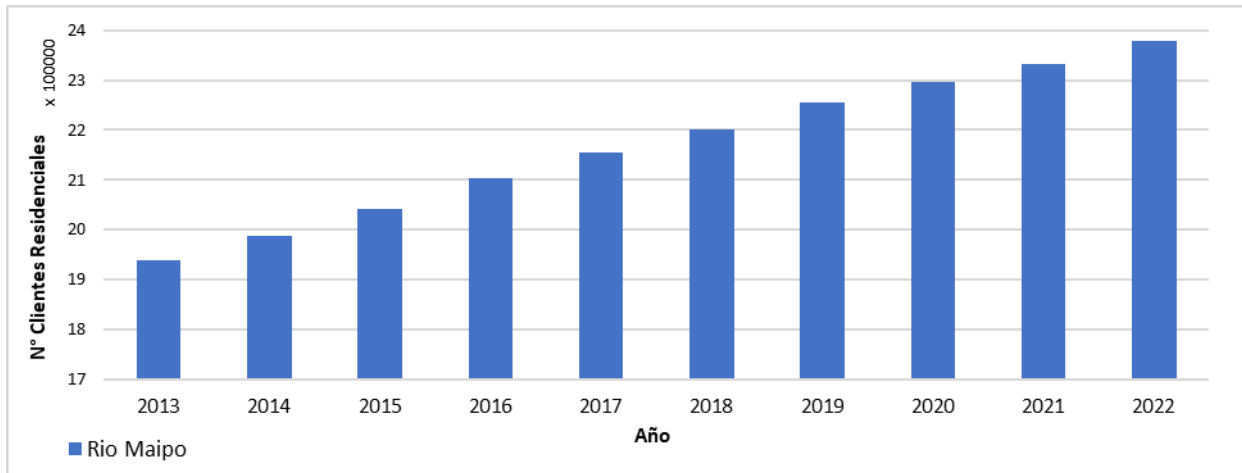
Fuente: Elaboración propia en base a SISS (2023).

Según se desprende de la Tabla 2.2-1, la proyección futura muestra una tendencia al alza en la cuenca del Río Maipo (código BNA 057) en donde operan los sistemas de producción de agua potable de la región.

En relación a lo anterior, se identifica que el mayor número de clientes corresponde a Clientes Residenciales lo que representan el 92,6% del total de clientes en la región. Respecto a la tasa de crecimiento, en los últimos 10 años, los clientes residenciales

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

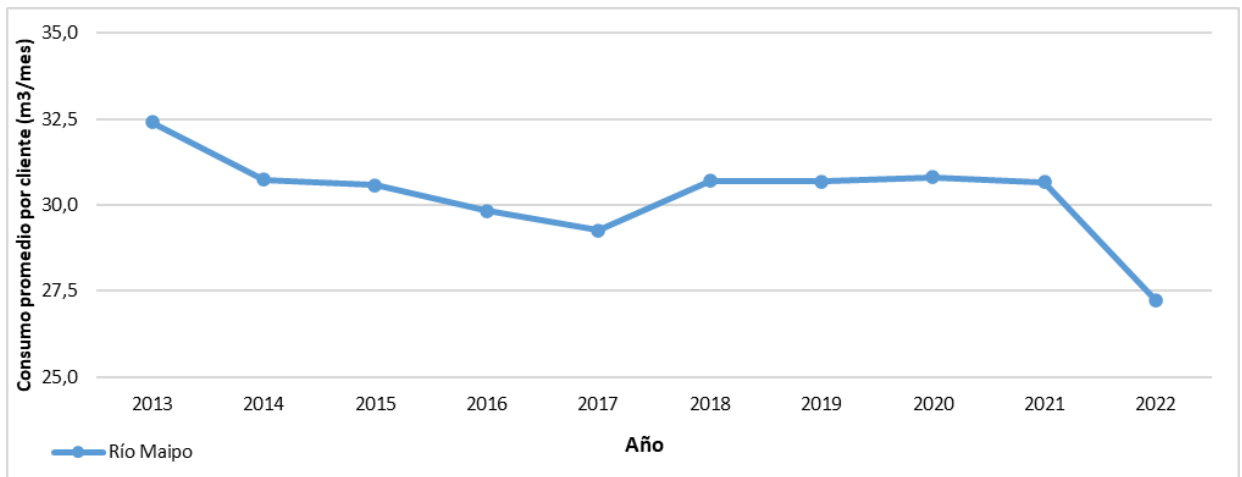
presentan en promedio un aumento en la tasa de crecimiento de un 0,3%. En la Figura 2.2-1 se muestra la distribución de clientes residenciales para las cuencas de la región Metropolitana para los años 2013 y 2022.



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, se observa una leve tendencia a la baja en el consumo mensual promedio por cliente residencial en la cuenca del Río Maipo (código BNA 057). La Figura 2.2-2 presenta el comportamiento del consumo mensual promedio por cliente para el periodo 2013-2022.



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 Metropolitana.

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 09.02.

Tabla 2.2-2 Estimación demanda hídrica en áreas Agua Potable Rural actual y futura, por cuenca BNA región Metropolitana

Cód. Cuenca	Cuenca	Demanda (Mm3/año)				
		2022	2025	2035	2045	2055
057	Río Maipo	16.345	16.658	19.140	19.562	19.763
058	Costeras entre Maipo y Rapel	377	384	508	519	524
060	Río Rapel	492	502	534	545	551
Total		17.214	17.544	20.182	20.626	20.838

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

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 Maipo, en donde se concentra la mayor población.

En la Tabla 2.2-3 se presenta la proyección de la población rural en áreas APR en las cuencas de la región Metropolitana, donde se observa un incremento de alrededor de un 26% para las cuencas Costeras entre Maipo y Rapel (código BNA 058) y un 10% para las cuencas del Río Maipo (código BNA 057) y el 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 APR - Cuencas BNA región Metropolitana

Cód. Cuenca	Cuenca	Población rural en áreas con APR (hab)				
		2022	2025	2035	2045	2055
057	Río Maipo	206.376	210.330	223.026	227.948	230.290
058	Costeras entre Maipo y Rapel	6.895	7.027	8.964	9.162	9.256
060	Río Rapel	8.999	9.171	9.713	9.927	10.029
Total		222.270	226.529	241.703	247.037	249.575

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

Por otra parte, la Tabla 2.2-4 presenta la proyección de demanda futura para las áreas sin presencia de sistemas APR, donde se observa una proyección del 8% de aumento en el consumo para el año 2055 en las cuencas de la región.

Tabla 2.2-4 Estimación demanda hídrica en áreas sin APR actual y futura, por cuenca BNA región Metropolitana

Cód. Cuenca	Cuenca	Demanda hídrica Áreas sin APR (Mm3/año)				
		2022	2025	2035	2045	2055
057	Río Maipo	1.440	1.457	1.521	1.555	1.571
058	Costeras entre Maipo y Rapel	17	18	18	19	19
060	Río Rapel	2	2	2	2	2
Total		1.459	1.477	1.541	1.576	1.592

Fuente: Elaboración propia.

En este sentido, se presenta por último la Tabla 2.2-5 donde se observa la proyección de la población rural en áreas sin APR, con un aumento del 8% al año 2055 en relación a la población actual.

Tabla 2.2-5 Proyección de población en áreas sin APR actual y futura, por cuenca BNA región Metropolitana

CÓD. Cuenca	Cuenca	Población rural en áreas sin APR (hab)				
		2022	2025	2035	2045	2055
057	Río Maipo	78.884	79.853	83.353	85.192	86.067
058	Costeras entre Maipo y Rapel	947	959	1.001	1.023	1.034
060	Río Rapel	125	127	132	135	137
Total		79.956	80.939	84.486	86.351	87.238

Fuente: Elaboración propia.

2.2.3 Agrícola

Para estimar la demanda de agua para riego agrícola en la región Metropolitana, 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; INE, 1997), 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 (DGA, 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 09.02.

**Tabla 2.2-6 Estimación demanda hídrica Agrícola actual y futura – Cuencas BNA
Región Metropolitana**

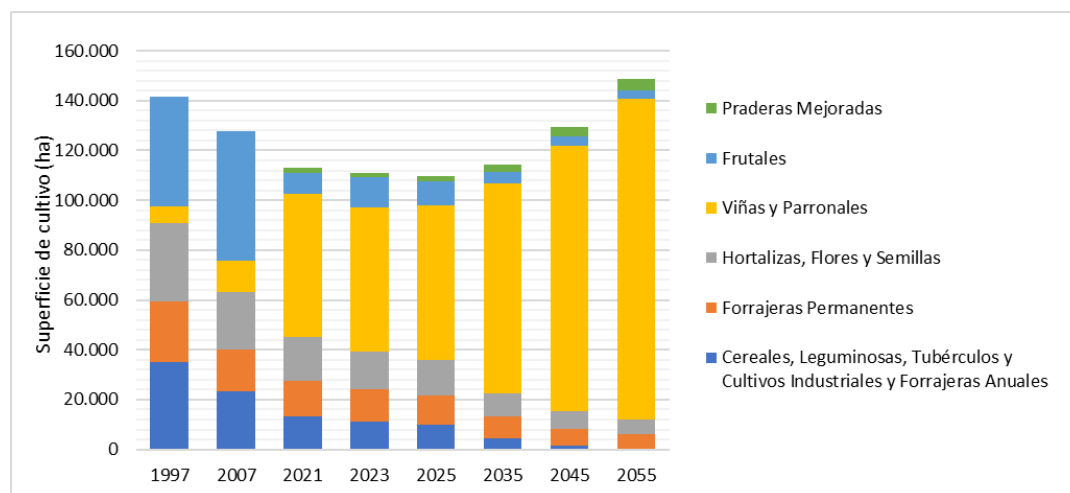
Cód. Cuenca	Cuenca	Demanda (Mm ³ /año)				
		2023	2025	2035	2045	2055
057	Río Maipo	2.260.871	2.067.590	2.211.226	2.300.639	2.647.546
058	Costeras entre Maipo y Rapel	103.618	110.449	160.527	199.092	254.943
060	Río Rapel	60.225	59.785	84.659	102.585	131.437
Total		2.424.714	2.237.824	2.456.412	2.602.316	3.033.926

Fuente: Elaboración propia.

Según se desprende de la Tabla 2.2-6 se espera en la región un incremento del 25% 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). Es importante destacar que las variaciones en la demanda, tanto al alza como a la baja, en el periodo comprendido entre los años 2023 y 2055 en una misma cuenca, se deben a las áreas registradas en los Censos Agropecuarios de los años 1997, 2007 y 2021 (INE, 2007; INE, 2021; INE, 1997), las cuales fueron sujetas a análisis de tendencia. En estos censos no se evidencia una tendencia lineal en las áreas de riego a lo largo de los años, lo cual se refleja en la proyección futura.

Los datos recopilados en los Censos Agropecuarios de los años 1997, 2007 y 2021 (INE, 2007; INE, 2021; INE, 1997), muestran un cambio significativo en las áreas destinadas a diferentes tipos de cultivos durante el periodo 2007-2021. Se observa una reducción de la superficie dedicada a frutales y un aumento 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.



Fuente: Elaboración propia.

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 1.301.793 Mm³, con una tendencia creciente hasta alcanzar los 3.347.589 Mm³ para el año 2055. Esto representa un aumento del 157% 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, 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.

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

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

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, 2022), 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 09.02.

Tabla 2.2-7 Estimación demanda hídrica consuntiva generación eléctrica actual y futura – Cuencas BNA Región Metropolitana

Cód. Cuenca	Cuenca	Demanda (Mm ³ /año)				
		2023	2025	2035	2045	2055
057	Río Maipo	8.406	5.580	3.248	1.248	1.248
058	Costeras entre Maipo y Rapel	0	0	0	0	0
060	Río Rapel	0	0	0	0	0
Total		8.406	5.580	3.248	1.248	1.248

Fuente: Elaboración propia.

Según se desprende de la Tabla 2.2-7, la demanda hídrica consuntiva para la generación eléctrica se concentra en la cuenca Río Maipo, donde se albergan distintas termoeléctricas. Las proyecciones futuras indican una disminución en esta demanda, en línea con la tendencia a la baja observada en los datos históricos de generación eléctrica en los últimos años.

Tabla 2.2-8 Estimación demanda hídrica no consuntiva generación eléctrica actual y futura – Cuencas BNA Región Metropolitana

Cód. Cuenca	Cuenca	Demanda (Mm ³ /año)				
		2023	2025	2035	2045	2055
057	Río Maipo	1.094.459	2.242.326	1.161.655	727.445	598.575
058	Costeras entre Maipo y Rapel	0	0	0	0	0
060	Río Rapel	0	0	0	0	0
Total		1.094.459	2.242.326	1.161.655	727.445	598.575

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 2.2-8 muestra en general una reducción en la demanda hídrica no consuntiva en el periodo 2023-2055, similar a la tendencia a la baja observada en la demanda consuntiva. Lo anterior se asocia, de igual forma, a la tendencia a la baja observada en los datos históricos

de generación eléctrica en los últimos años. Respecto a los valores presentados en la Tabla 2.2-8 cabe mencionar que las variaciones en la demanda, tanto al alza como a la baja, en el periodo comprendido entre los años 2023 y 2055, se deben a las producciones históricas las cuales fueron sujetas a análisis de tendencia. En estos registros no se evidencia una tendencia lineal a lo largo de los años, lo cual se refleja en la proyección futura.

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. Junto con lo anterior fueron consideradas también las faenas mineras que hacen uso de agua de mar desalada para incorporar a sus procesos.

Para actualizar los datos de producción, se utilizó el último el “Anuario de Estadísticas del Cobre y Otros Minerales” (COCHILCO, 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 09.02.

Tabla 2.2-9 Estimación demanda hídrica minera actual y futura – Cuencas BNA Región Metropolitana

Cód. Cuenca	Cuenca	Demanda (Mm ³ /año)				
		2023	2025	2035	2045	2055
057	Rio Maipo	29.954	39.037	44.875	50.523	55.446
058	Costeras entre Maipo y Rapel	0	0	0	0	0
060	Rio Rapel	4.401	5.651	6.210	6.702	7.139
Total		34.355	44.688	51.085	57.225	62.585

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 de cobre y oro, que sirvió como base para calcular las proyecciones de demanda. Se estima que para el año 2055, la demanda podría aumentar en un 82% con respecto al nivel registrado en 2023.

Es importante mencionar que la metodología utilizada ha considerado, para la producción de cobre, los valores históricos de consumo unitario de agua continental por tonelada de mineral procesado, los cuales están disponibles en el “Anuario de Estadísticas del Cobre y

Otros Minerales". A pesar de que se proyecta un aumento en la producción de cobre, la demanda hídrica no aumenta significativamente debido a la tendencia a la baja en el consumo unitario de agua continental por tonelada de mineral.

El incremento más significativo en la demanda de agua se debe a la producción de oro. Para calcular esta demanda hídrica, dada la falta de información actualizada disponible, se ha empleado una tasa de consumo constante hasta el año 2055 conforme al promedio regional especificado en el Decreto 743 (MOP, 2005). Esta tasa invariable junto con el incremento proyectado en la producción de oro resulta en un aumento de la demanda hasta el año 2055.

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. Esta perspectiva cobra mayor relevancia dado el contexto de severa sequía que afecta a la región, lo cual está impulsando el desarrollo de proyectos mineros que requieren el uso de agua de mar como principal recurso (COCHILCO, 2023).

Hasta la fecha, de acuerdo al informe Infraestructura Hídrica Compartida de COCHILCO (2023), se identifican en la región un proyecto perteneciente a la compañía minera Anglo American el cual podría iniciar operaciones en el año 2027.

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

(acápito 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 (SIFAC II, 2010). 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 09.02.

Tabla 2.2-10 Estimación demanda hídrica industrial actual y futura – Cuencas BNA región Metropolitana

Cód. Cuenca	Cuenca	Demanda (Mm ³ /año)				
		2023	2025	2035	2045	2055
057	Río Maipo	25.254	26.863	34.904	42.946	50.988
058	Costeras entre Maipo y Rapel	0	0	0	0	0
060	Río Rapel	0	0	0	0	0
Total		25.254	26.863	34.904	42.946	50.988

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 102% 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 11,6% del PIB regional. Además, tuvo un incremento de un 64% 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 año 2009 de la Corporación Nacional Forestal (CONAF). Las superficies plantas consideradas corresponden a especies forestales exóticas. Estas superficies 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 09.02.

Tabla 2.2-11 Estimación demanda hídrica forestal actual y futura – Cuencas BNA región Metropolitana

Cód. Cuenca	Cuenca	Demanda (Mm ³ /año)				
		2023	2025	2035	2045	2055
057	Río Maipo	56.684	57.741	61.590	66.426	66.426
058	Costeras entre Maipo y Rapel	42.157	42.528	43.960	45.590	45.590
060	Rio Rapel	0	0	0	0	0
Total		98.841	100.269	105.550	112.016	112.016

Fuente: Elaboración propia.

Según se desprende de la Tabla 2.2-11, la proyección de la demanda hídrica forestal indica una leve tendencia al alza. Esta tendencia está influenciada por factores como el cambio en la superficie de bosques y plantaciones, así como por las tendencias históricas en el uso de la tierra. Cabe mencionar que, la demanda estimada en el presente acápite corresponde 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, 2007; INE, 2021; INE, 1997), 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 09.02.

Tabla 2.2-12 Estimación demanda hídrica Pecuaria actual y futura – Cuencas BNA región Metropolitana

Cód. Cuenca	Cuenca	Demanda (Mm ³ /año)				
		2023	2025	2035	2045	2055
057	Río Maipo	17.386	18.252	22.730	25.044	28.479
058	Costeras entre Maipo y Rapel	9.268	9.842	12.738	14.196	16.794
060	Rio Rapel	0	0	0	0	0
Total		26.654	28.094	35.468	39.240	45.273

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 09.02.

Tabla 2.2-13 Estimación demanda hídrica acuícola actual y futura – Cuencas BNA región Metropolitana

Cód. Cuenca	Cuenca	Demanda (Mm ³ /año)				
		2023	2025	2035	2045	2055
057	Río Maipo	4.999.711	5.026.833	3.121.296	1.422.538	1.422.538
058	Costeras entre Maipo y Rapel	0	0	0	0	0
060	Río Rapel	0	0	0	0	0
Total		4.999.711	5.026.833	3.121.296	1.422.538	1.422.538

Fuente: Elaboración propia.

Según se desprende de la Tabla 2.2-13, la proyección de la demanda acuícola no muestra una tendencia definida al alza o a la baja. Lo anterior se debe a que la estimación de demanda futura se fundamenta en las tendencias productivas de la serie histórica utilizando proyecciones a través del uso de Series de Tiempo (SdT). Esta herramienta permite considerar el comportamiento histórico de la variable basal en la estimación del comportamiento futuro. Dado que, la tendencia productivas historias no presentan una tendencia al alza o a la baja definida se presentan fluctuaciones en la proyección de demanda.

2.2.10 Caudal de reserva para turismo y protección ambiental

La demanda hídrica de caudal de reserva en la región Metropolitana se asocia a los sitios prioritarios para la conservación de la diversidad biológica, SNASPE y Ramsar. Una vez identificado cada uno de ellos, se identifica la estación fluviométrica de referencia de la red hidrométrica de la DGA en cada caso. 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 09.02.

En la región se ha estimado un caudal de reserva para las siguientes áreas de conservación: Sitios Prioritarios Altos del Río Maipo (SP1-049), Río Olivares - Río Colorado – Tupungato (SP1-048), El Morado (SP1-050), Río Clarillo (SP2-105), Cordón de Cantillana (SP1-047), Contrafuerte Cordillerano (SP2-106), Alto de la Cuenca del Mapocho (SP2-10) y Chacabuco–Peldehue (SP2-104).

Para la región Metropolitana, no hay planificaciones actuales o futuras de nuevos sitios prioritarios, es por esto que solo se presenta el caudal actual de reserva para la región. El detalle se observa en la Tabla 2.2-14.

Tabla 2.2-14 Caudales de Reserva para protección ambiental – Cuencas BNA región Metropolitana

Caudal de reserva para protección ambiental (MMm ³)													
Cuenca	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Rio Maipo	1.200	811	504	365	331	367	374	344	371	495	833	1.254	7.249

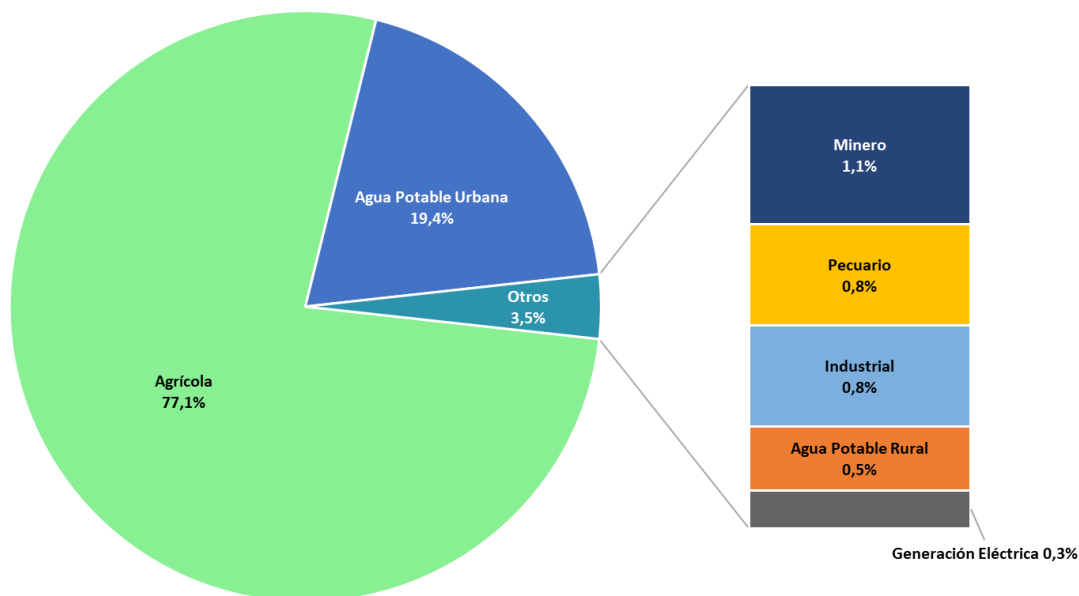
Fuente: Elaboración propia.

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 la demanda hídrica consuntiva en la región Metropolitana en el año 2023, destacando el sector agrícola como el principal demandante consuntivo de agua para usos productivos, seguido del uso de agua potable urbana. El resumen de las demandas se presenta en el Anexo 09.02.



Fuente: Elaboración propia.

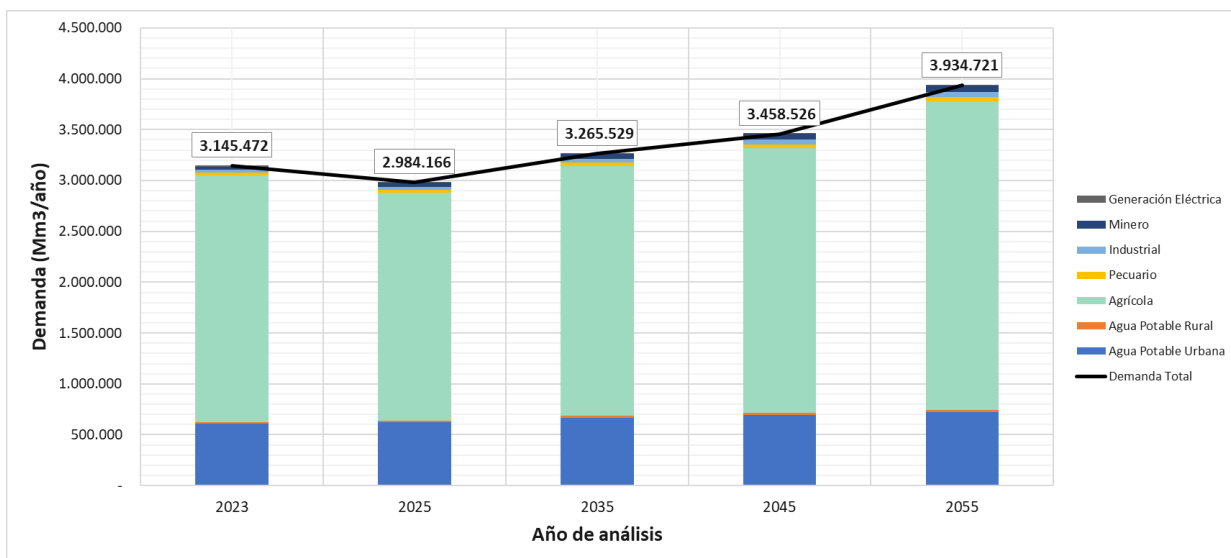
Figura 2.2-4 Distribución de demanda consuntiva total regional (%), por uso - año 2023

En la Tabla 2.2-15 y la 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 25% de las demandas totales en el periodo 2023-2055; asociado principalmente al sector agrícola que corresponde a un 77% del aumento de la demanda consuntiva total, seguido por el uso de agua potable urbana que corresponde al 14% del aumento de la demanda consuntiva total.

Tabla 2.2-15 Resumen de demandas consuntivas – Cuencas BNA región Metropolitana

Cód. Cuenca	Cuenca	Demanda (Mm ³ /año)				
		2023	2025	2035	2045	2055
057	Río Maipo	2.967.091	2.797.553	3.000.353	3.134.887	3.523.333
058	Costeras entre Maipo y Rapel	113.263	120.675	173.773	213.807	272.261
060	Río Rapel	65.118	65.938	91.403	109.832	139.127
Total		3.145.472	2.984.166	3.265.529	3.458.526	3.934.721

Fuente: Elaboración propia.

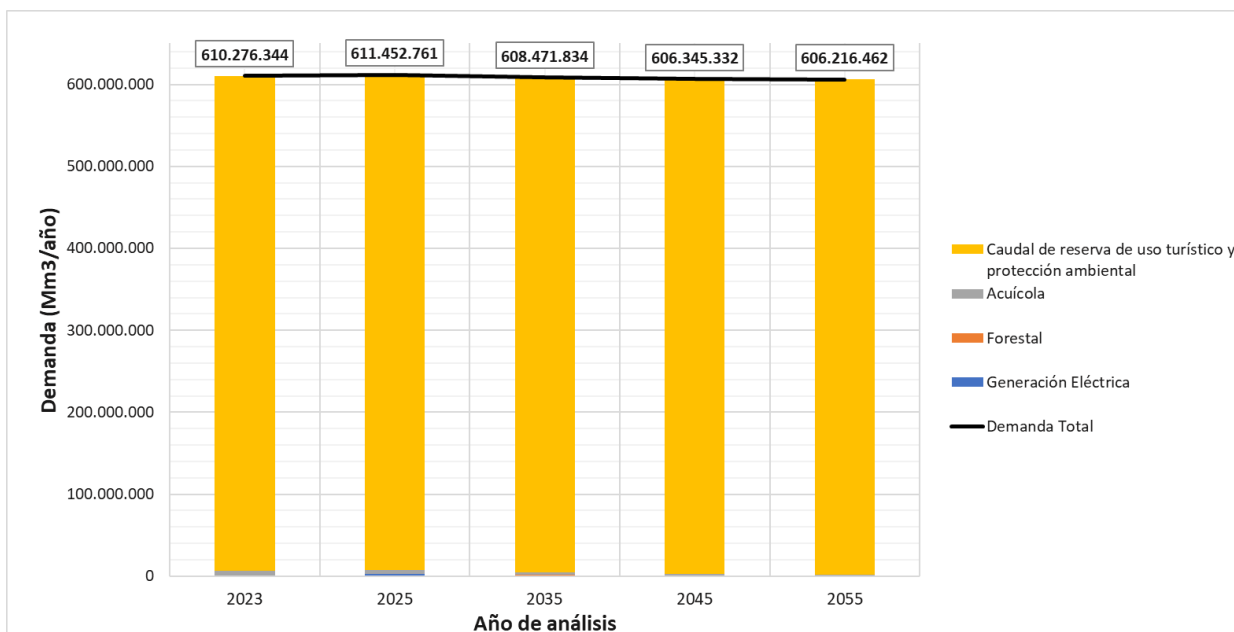


Fuente: Elaboración propia.

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

i. 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, acuícola y generación eléctrica poseen demandas 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.

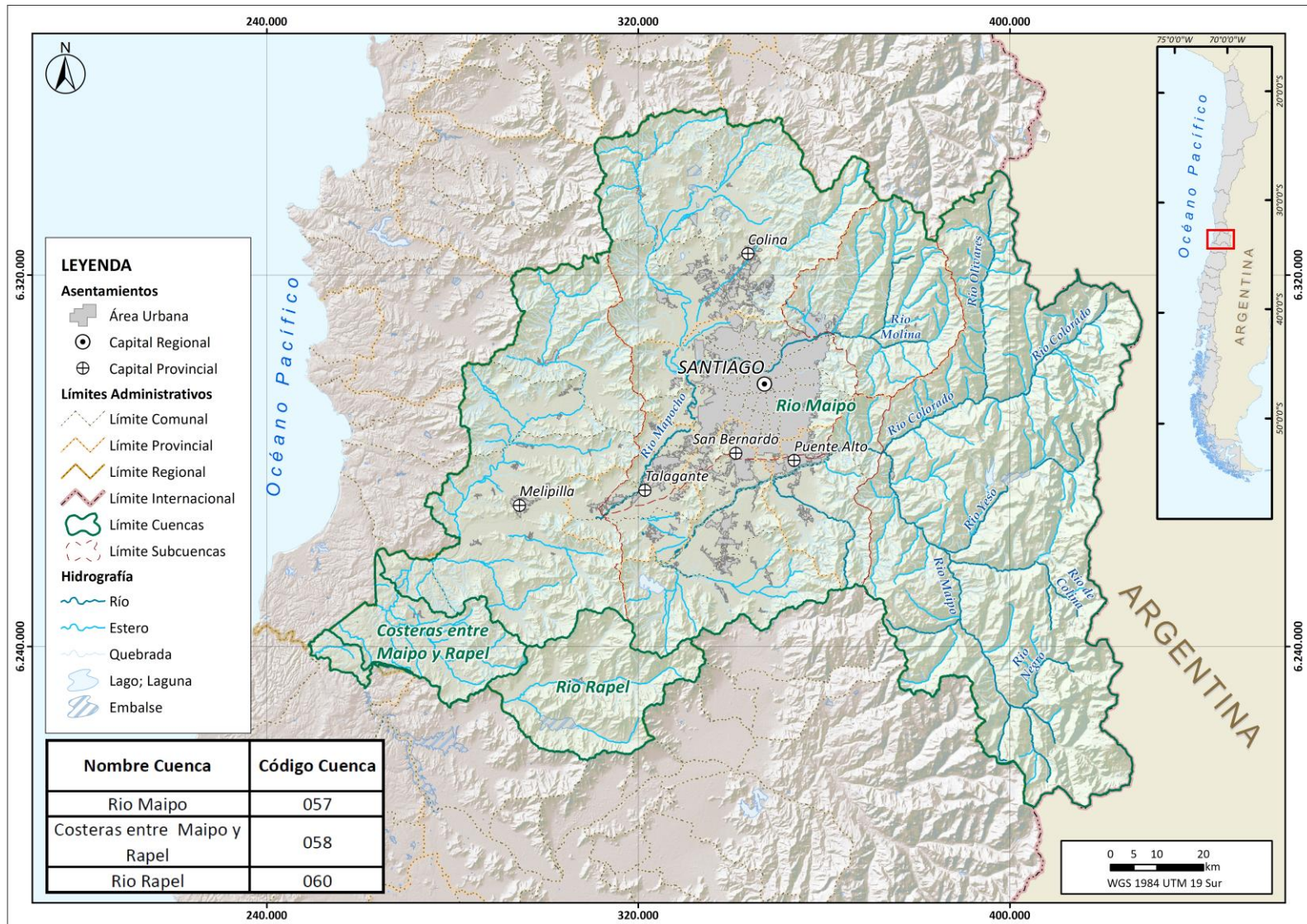
Fuente: Elaboración propia.

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 oferta física hídrica por cuenca de acuerdo a la clasificación del Banco Nacional de Aguas (BNA) en la región Metropolitana de Santiago, incluyendo la identificación de DAA actuales, las restricciones de uso vigentes, y el análisis de caudales y recargas. La clasificación de cuencas hidrográficas BNA se presenta en la Figura 2.3-1.



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

Figura 2.3-1 Cuencas y subcuencas de la región Metropolitana de Santiago según clasificación DARH

2.3.1.1 Agua superficial

i. Derechos de aprovechamiento superficiales concedidos

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

En base a los antecedentes revisados, se tiene que en la región Metropolitana de Santiago existen 2.175 DAA superficiales registrados en CPA, equivalente a un caudal aproximado de 254.188,5 litros por segundo constituidos⁴. La distribución de los DAA de acuerdo con el 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 09.03.

ii. Restricciones de uso sobre fuentes superficiales

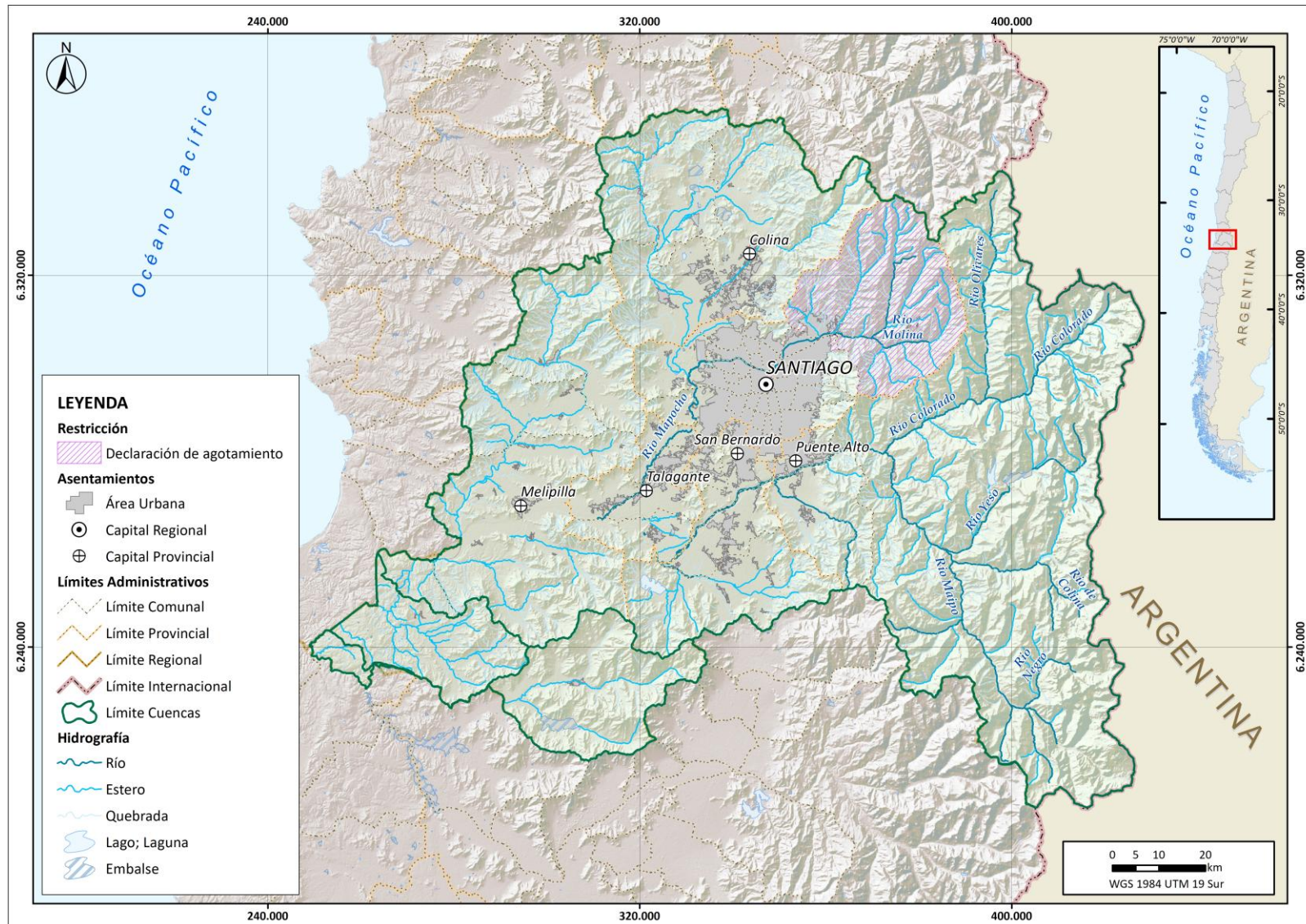
Para obtener una comprensión completa de los desafíos relacionados con la escasez de agua que han surgido en la región Metropolitana de Santiago, se detallan a continuación las limitaciones respecto al uso del agua, tanto actuales como futuras, en sus distintas formas de protección para fuentes de agua superficiales. Se revisan las restricciones para el uso de DAA definidas por la Dirección General de Aguas (DGA) para fuentes superficiales, incluyendo declaraciones de agotamiento de aguas superficiales, decretos de reserva y decretos de escasez hídrica. Además, se consideran las áreas de restricción de aguas subterráneas y las zonas de prohibición de su uso.

Se destaca que la escasez hídrica se ha vuelto significativa en la región desde 2014, y desde 2019 hasta la actualidad se ha declarado escasez hídrica en toda la región. Es relevante mencionar que el decreto vigente en la región Metropolitana es el N°251 del 20 de diciembre de 2023, con fecha de caducidad el 20 de diciembre de 2024, aplicable en la Provincia de Chacabuco, específicamente en la Comuna de Til Til.

La distribución temporal y espacial de los decretos de escasez hídrica se presenta en la Figura 2.3-4. Mayor detalle respecto a las restricciones y a la distribución temporal a nivel comunal de los decretos declarados dentro del periodo analizado se presentan en el Anexo 09.03.

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.

Figura 2.3-2 Ubicación geográfica de los DAA superficiales en la región Metropolitana de Santiago, por tipología



Fuente: Elaboración propia en base a DGA MENDELEY CITATION PLACEHOLDER 0.

Figura 2.3-3 Restricciones de uso sobre fuentes superficiales, región Metropolitana de Santiago

Figura 2.3-4 Zonas con decretos de escasez históricos por comuna, región Metropolitana de Santiago

iii. 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 esorrentía 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 09.03.01.

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 valor más pequeño, como un criterio conservador.

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

Cód. Cuenca	Cuenca	Q ₈₅ actual (Mm ³ /año)	Q ₈₅ proyectado (Mm ³ /año)
057	Río Maipo	4.163.517	3.714.110
058	Costeras entre Maipo y Rapel	126.995	122.338

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 río Maipo con una disminución porcentual de 10,8%.

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 (DGA, 2022). En este, se presenta (en tablas) el aporte de escorrentía glaciar histórico a nivel de cuenca y la variación porcentual 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 (m³/s)	Q glaciar (m³/s)
057	Río Maipo	216,0	14,53
058	Costeras entre Maipo y Rapel	7,38	0,0

Fuente: Elaboración propia.

Además, el GCM MIROC-ESM proyecta una disminución de aproximadamente 7,32 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.

2.3.1.2 Agua subterránea

i. Derechos de aprovechamiento subterráneos concedidos

A continuación, se presenta la identificación de los derechos de aprovechamiento de aguas (DAA) subterráneos otorgados en la región Metropolitana de Santiago. Para el análisis se utilizó la base de datos "Derechos_Concedidos_XIII_Región " (DGA, 2023) del Catastro Público de Aguas (CPA).

En base a los antecedentes revisados, se tiene que en la región Metropolitana de Santiago existen 7.017 DAA subterráneos registrados en CPA, equivalente a un caudal aproximado de 139.019,1 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 09.03.

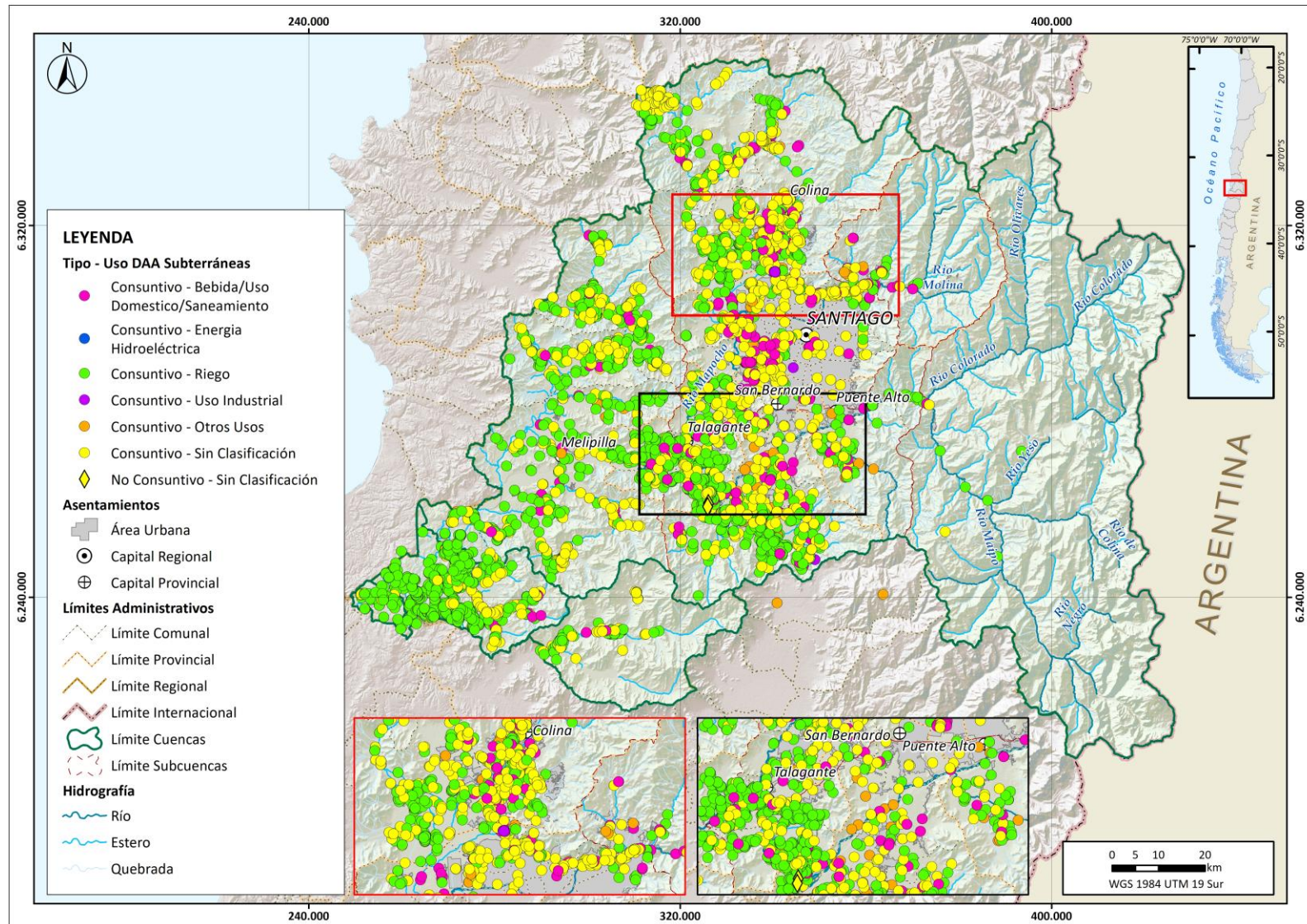
ii. Restricciones de uso sobre fuentes subterráneas

Para comprender completamente los desafíos relacionados con la escasez de agua en la Región Metropolitana de Santiago, se detallan a continuación las limitaciones respecto al uso del agua, tanto actuales como futuras, en sus distintas formas de protección para fuentes de agua subterráneas, en un periodo de análisis de 11 años (2012-2023).

Se revisan las restricciones para el uso de DAA definidas por la Dirección General de Aguas para fuentes superficiales, entre las que se encuentran áreas de restricción de aguas subterráneas y zonas de prohibición de aguas subterráneas.

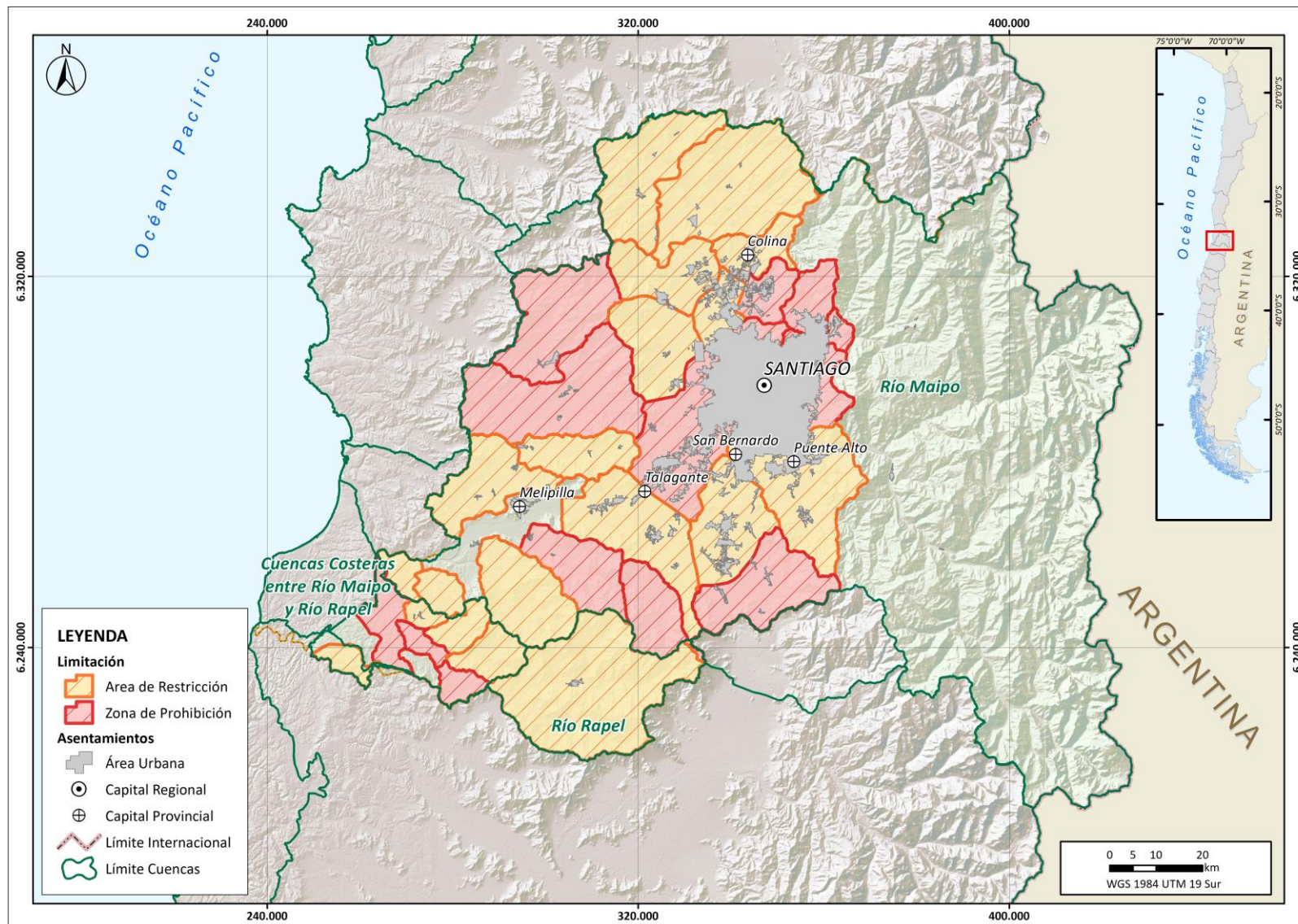
A partir del análisis del Anexo 09.03, se puede observar que existen áreas de restricción y zonas de prohibición específicas en la Región Metropolitana. Estas restricciones están destinadas a proteger áreas críticas de recursos hídricos subterráneos de la sobreexplotación y contaminación.

Además, se proporciona información sobre los decretos de reserva y de escasez hídrica en la región Metropolitana, que desempeñan un papel fundamental en la protección de las aguas subterráneas.



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

Figura 2.3-5 Ubicación geográfica de los DAA subterráneos en la región Metropolitana de Santiago, por tipología



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

Figura 2.3-1 Restricciones de uso sobre fuentes subterráneas, región Metropolitana de Santiago

iii. 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 4.2.1ii

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

Cód. Cuenca	Cuenca	Recarga (l/s)	Fuente
057	Río Maipo	54.000	Plan Estratégico de Gestión Hídrica en la Cuenca de Maipo (DGA, 2021)
058	Costeras entre Maipo y Rapel	1.259	Plan Estratégico de Gestión Hídrica en las cuencas Costeras entre Maipo y Rapel (DGA, 2021)

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 (MIROC-ESM) 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 4.2.1ii.

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

Cód. Cuenca	Cuenca	Recarga histórica (l/s)	Variación de precipitación (%)	Recarga Proyectada (l/s)
057	Río Maipo	54.000	-12,3	47.345
058	Costeras entre Maipo y Rapel	1.259	-7,8	1.160

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

Es posible observar que, ante la baja de precipitación proyectada por el GCM seleccionado como escenario desfavorable, se prevé un descenso de la recarga equivalente. Además, considerar que la recarga es una variable que se evalúa de manera constante para un periodo, por lo que se utiliza el valor promedio de los periodos histórico y futuro. En el Anexo 09.03 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 2% en el caso de la cuenca más crítica. Por otro lado, para el caso de las sequías, en todas las cuencas se proyecta un pequeño aumento en los años con sequía en comparación al periodo histórico (ver Anexo 09.03.02).

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

Cód. Cuenca	Nombre Cuenca	1985-2015 (mm/d)	2025-2055 (mm/d)	Variación (%)
057	Rio Maipo	90,3	109,4	21,2
058	Costeras entre Maipo y Rapel	90,1	107,1	18,9

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 (2019) en la zona Central de Chile (30° 38°S), donde se obtuvieron variaciones proyectadas de la isoterma 0°C.

En relación a los eventos extremos históricos, en base a Eridanus (2018), SENAPRED (2023) y la data base internacional de desastres (2024) 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 Metropolitana, periodo 1912-2017

Tipo	1912-2007 (95 años)	2008-2017 (9 años)
Inundaciones	742	219
Aluvión	3	3

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

En base a SENAPRED (2023), en el periodo 2017-2023, se observan ochenta y siete (87) sistemas frontales los cuales han provocado inundaciones de escala reducida y daños menores a viviendas. Por otra parte, se presenta también siete (7) eventos de remoción en masa.

En relación a las inundaciones y aluviones catastrados por SENAPRED (2023) y EM DATA (2024), se observa alrededor de veinte y ocho (28) inundaciones ocurridas entre los años 2017 y 2023 afectando a la cuenca del Río Maipo (código BNA 057) 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 Metropolitana, periodo 2017-2023

Cód. cuenca	Cuenca	Inundación	Aluvión
057	Río Maipo	X	
058	Costeras entre Maipo y Rapel		
060	Río Rapel		

Nota: Cuencas afectadas en rojo.

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

2.3.3 Calidad de aguas

La calidad de las aguas en las diferentes cuencas de la región se ha evaluado principalmente a partir de los Planes Estratégicos de Gestión Hídrica (PEGH) disponibles:

La cuenca Río Maipo (código BNA 057), presenta variaciones significativas según las subcuencas analizadas. En el alto Maipo, se identificaron altas concentraciones de sulfatos y otros metales asociados a actividades mineras, como la extracción de cal y yeso. En el Maipo medio, se observaron desviaciones por descargas de RILes industriales y agroindustriales, así como por contaminación difusa de aguas servidas y uso de plaguicidas. En el Maipo bajo, persisten problemas con metales como cobre, manganeso y hierro, influenciados por actividades industriales y descargas de residuos líquidos. Las subcuencas del Mapocho alto y bajo muestran preocupaciones similares, incluyendo la contaminación

por actividades mineras e industriales, afectando tanto las aguas superficiales como las subterráneas (DGA, 2021).

La cuenca Costeras entre Maipo y Rapel (código BNA 058), se puede caracterizar por la información disponible del estero Yali en Bucalemu. Los principales parámetros evaluados incluyen pH neutro a básico (7-8), conductividad específica variando entre 100-700 mhos/cm, y concentraciones bajas de sulfato (< 30 mg/l) y cloruro (< 100 mg/l). No se observan tendencias significativas o cambios alarmantes en los parámetros monitoreados a lo largo del tiempo, indicando una ausencia de problemas importantes de contaminación. Sin embargo, se han registrado incumplimientos puntuales a las normativas de agua potable y riego en parámetros como hierro, manganeso, aluminio, arsénico, plomo, cadmio, mercurio y molibdeno, posiblemente debido a los límites de detección del método analítico utilizado. Los parámetros monitoreados mensualmente incluyen coliformes fecales, cloruro, aceites y grasas, DBO5, poder espumógeno, sólidos suspendidos totales (SST), nitrógeno Kjeldahl, caudal, pH y temperatura del efluente (DGA, 2021).

- En la cuenca del Río Rapel (Código BNA 060), los datos indican que las aguas del acuífero Alhué se clasifican como bicarbonatadas cálcicas ($\text{HCO}_3\text{--Ca}^{2+}$). Se han registrado concentraciones elevadas de sulfatos, níquel, cromo, manganeso, hierro y otros contaminantes. Además, en la unidad hidrogeológica superficial de baja permeabilidad, se observan niveles elevados de nitrato; sin embargo, estos no superan los límites establecidos por la Norma NCh409/2005, especialmente en pozos situados en áreas de alta vulnerabilidad (DGA, 2022).

CAPÍTULO 3 ANÁLISIS DE INFRAESTRUCTURA HÍDRICA

3.1 INFRAESTRUCTURA HIDRICA 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.

3.1.1.1 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 el Yeso, con una capacidad de almacenamiento de 220 hm³, y el embalse Rungue, con una capacidad de 1,7 hm³, ambos ubicados en la cuenca del río Maipo. Según el mismo boletín, el volumen de almacenamiento histórico promedio mensual es de 187 hm³ para

el embalse el Yeso (86% de su capacidad) y 0,1 hm³ para el embalse Rungue (6% de su capacidad).

3.1.1.2 Centrales para la generación eléctrica

Se registran diecisiete (17) centrales hidroeléctricas en la Región Metropolitana de Santiago, con una potencia total instalada de 296,69 MW, según datos proporcionados por la Comisión Nacional de Energía (CNE) en 2018 y 2023 (CNE, 2018; CNE, 2023). Algunas de las principales centrales incluyen la central Florida en La Florida, con una potencia de 28,5 MW, y la central Alfalfal en San José de Maipo, con una potencia de 178 MW, ambas operadas por AES Gener S.A. Además, otras centrales destacadas son la central Maitenes en San José de Maipo, con una potencia de 31 MW, y la central Queltehues, también en San José de Maipo, con una potencia de 49 MW, ambas operadas por AES Gener S.A.

3.1.1.3 Infraestructuras de distribución y sistemas de riego

En la región Metropolitana se identifican aproximadamente 3.860 km de canales, ubicados principalmente en la cuenca Río Maipo, donde se concentra aproximadamente el 97% de la red total. En otras cuencas de la región la presencia de canales es menor. Mayor detalle respecto a la infraestructura de distribución se encuentra en el Anexo 09.01.

3.1.1.4 Obras de abastecimiento de agua potable y tratamiento de aguas servidas

i. Zonas urbanas

En la región Metropolitana de Santiago se identifican treinta (30) concesionarias sanitarias operando en sesenta y cinco (65) territorios operacionales, según datos recopilados por el Sistema de Información de Servicios Sanitarios (SISS) (2023). Asimismo, se cuenta con cuarenta y un (41) plantas de tratamiento de aguas servidas (PTAS) en la región.

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 cambio en la 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° territorios operacionales	Producción 2022 (m3/año)	Aumento al 2055 (%)
057	Río Maipo	65	929.741.026	12%
058	Costeras entre Maipo y Rapel	0	0	0%
060	Río Rapel	0	0	0%

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 Metropolitana

Concesión	Plan de Desarrollo	Alcance
Aguas Andina	Buin-Maipo-Linderos-Paine-Alto Jahuel	Buin, Maipo, Linderos, Paine y Alto Jahuel
	Calera de Tango	Calera de Tango
	Gran Santiago	Santiago, Las Condes, Providencia, Ñuñoa, La Florida, La Granja, La Cisterna, La Reina, San Miguel, Conchalí, Renca, Quilicura, Quinta Normal, Pudahuel, Cerro Navia, Lo Prado, Estación Central, San Joaquín, San Ramón, La Pintana, Macul, Peñalolén, Huechuraba, Recoleta, Independencia, Vitacura5, El Bosque, Pedro Aguirre Cerda, Lo Espejo y Cerrillos
	La Rinconada de Maipú	La Rinconada
	Pirque	Pirque
	Curacaví	Curacaví
	Isla Maipo	Isla de Maipo
	Melipilla	Melipilla
	San Gabriel	San Gabriel
	San José de Maipo	San José de Maipo
	Talagante	Talagante
	Valdivia de Paine	Valdivia de Paine
	El Canelo - Las Vertientes – La Obra	El Canelo - Las Vertientes – La Obra
	Peñaflor - Malloco	Peñaflor - Malloco
	Padre Hurtado	Padre Hurtado
	El Monte – El Paico	El Monte – El Paico

Concesión	Plan de Desarrollo	Alcance
Aguas Manquehue	Alto Lampa	Alto Lampa
	Chamisero	Loteo El Chamisero
	Valle Grande III	Valle Grande III
	Chicureo	Ciudad de Chicureo
	Aguas Manquehue	Los Trapenses (comuna de Lo Barnechea) y 714 ha corresponden al sistema Santa María de Manquehue (comunas de Vitacura y Huechuraba).
Aguas Cordillera	Aguas Cordillera	Gran parte de las comunas de Vitacura, Lo Barnechea y Las Condes
Aguas San Isidro	Huertos Familiares	Tiltil
	Padre Hurtado	Sector de la comuna Padre Hurtado
	Pintor Pablo Burchard	Sector de la comuna Padre Hurtado
	Aires de Maipo	Sector de Isla de Maipo
	Altos de Cantillana	Sector de Isla de Maipo
	Altos de Cantillana 2	Sector de Isla de Maipo
	Parcela 7, Lote B Quilicura	Sector de la comuna de Quilicura
Aguas de Colina	Santa Elena de Colina	Santa Elena de Colina
Aguas Santiago Norte	Hacienda Batuco - Lampa	Hacienda Batuco, comuna de Lampa
	Santa Teresa – Lampa	Santa Teresa, comuna de Lampa
	Reina Norte, Colina	Reina Norte, comuna de Colina
	Santa María, Maipú	Santa María, comuna de Maipú
	El Recuerdo, Maipú	El Recuerdo, comuna de Maipú
	El Cerrillo, San Bernardo	El Cerrillo, comuna San Bernardo
SMAPA	SMAPA	Maipú – Los Bosquinos – Las Lomas
EMAPAL	EMAPAL	Lomas de Lo Aguirre, comuna de Pudahuel
Sacyr Agua Chacabuco	Colina	Colina - Esmeralda
	Ayres de Chicureo	Ayres de Chicureo
Sacyr Aguas Lampa	Lampa	Lampa
Sacyr Aguas Santiago	Valle Alegre	Pan de Azúcar
	Lo Barnechea	Lo Barnechea
	Valle Escondido	Valle Escondido
	Pan de Azúcar	Pan de Azúcar
	Los Álamos	Los Álamos
SEPRA	SEPRA	Lo Prado
NOVAGUAS	NOVAGUAS	Valle Grande
BCC	BCC	Loteo Santo Tomás
COSSBO	COSSBO	Sector Torres de San Borja, comuna de Santiago
EAPSA	Melipilla Norte	Melipilla Norte

Concesión	Plan de Desarrollo	Alcance
SELAR	Lara Pinta	Lara Pinta
Aguas San Pedro	San Luís Norte	San Luis Norte
	Estación - Buín	Estación Buin
Agua de Las Lilas	Las Lilas	Las Lilas
Izarra Aguas	Izarra de Lo Aguirre	Izarra de Lo Aguirre
La Leonera	La Leonera	La Leonera

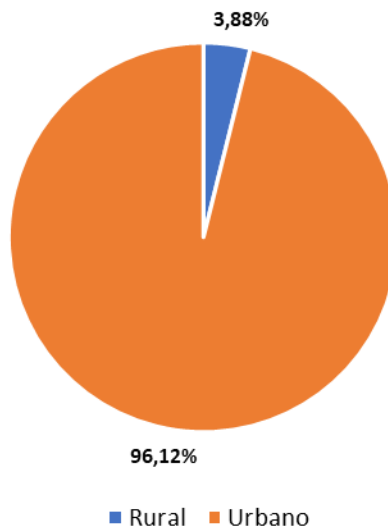
Fuente: Elaboración propia en base a SISS (2023).

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 Metropolitana, en las áreas concesionadas, alcanza un 97,5%.

ii. Zonas rurales

De acuerdo a los catastros más recientes el 3,88% del total de viviendas registradas en el censo de población (INE, 2017) en la región Metropolitana, corresponde a zonas rurales. Esto resulta equivalente a 92.339 viviendas y 263.498 habitantes (ver Figura 3.1-1).



Fuente: INE (2017)

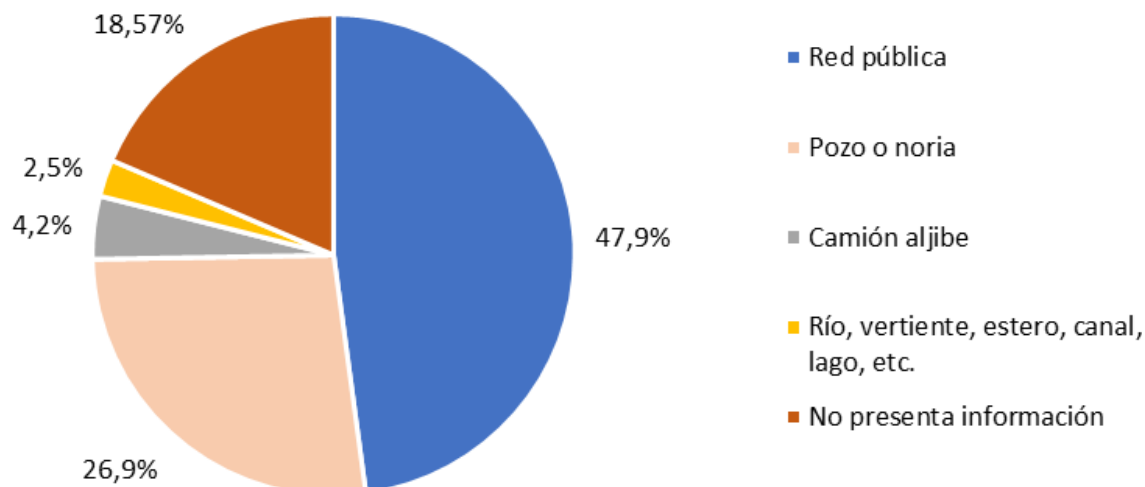
Figura 3.1-1 Distribución de viviendas en región Metropolitana 2017

Del total de hogares en zonas rurales en la región Metropolitana, se ha identificado que un 18,6% no presenta información en relación a las fuentes de abastecimiento en base a los datos del censo de población (INE, 2017). En este contexto, se presenta un breve análisis respecto al estado del agua potable y saneamiento actual y futuro en las áreas rurales de la región Metropolitana.

a) Agua Potable

De acuerdo a los datos presentados en el último censo de población y vivienda (INE, 2017), del 81,4% de los hogares en zona rural con un acceso aceptable a servicios básicos, un 47,9% (44.191) 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).

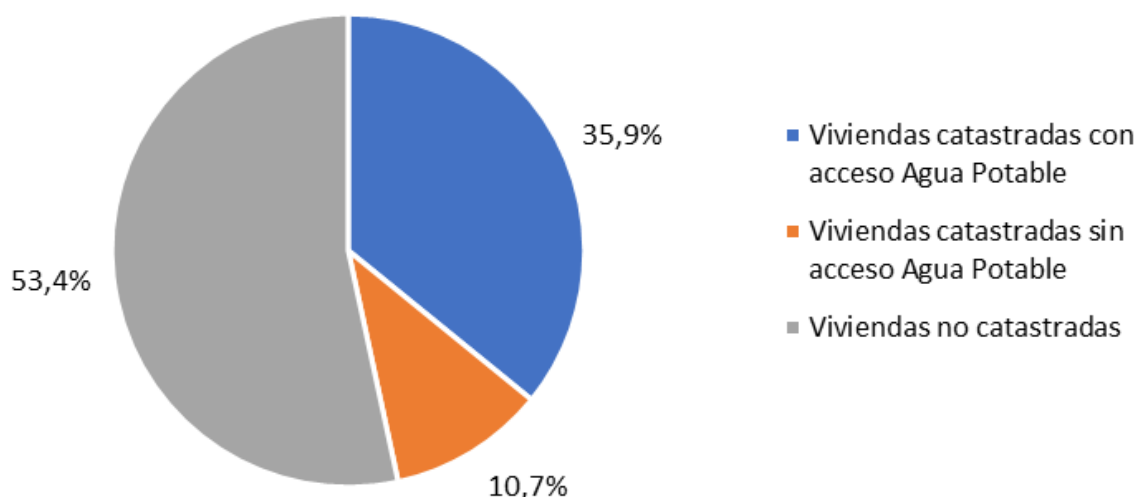
Figura 3.1-2 Distribución de viviendas rurales con acceso a servicios básicos, según la fuente de obtención de agua

Por otra parte, el Sistema de Indicadores de Calidad de Vida Rural (SICVIR) 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.

Este indicador BS12 relacionado al porcentaje de viviendas conectadas a la red de agua potable, considera once (11) de las cincuenta y dos (52) comunas de la región. Las cuales concentran el 46,6% (43.034 viviendas) del total de las viviendas rurales de la región (92.339 viviendas).

Bajo los datos otorgados por el indicador, un 35,9% (33.117) de las viviendas rurales de la región poseen conexión a la red de agua potable, mientras que un 10,7% (9.917) no cuenta con acceso a la red pública de agua potable (ver Figura 3.1-4).

A modo de resumen, se identifica que un 46,6% de las viviendas rurales ha sido catastrada, en base estos datos un 10,7% del total de viviendas rurales informa que no presenta acceso a la red de agua potable. Por último, se concluye además que, el indicador BS12 presenta una brecha de información del 53,4% del total de las viviendas rurales de la región Metropolitana.



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

Figura 3.1-3 Acceso a la red de agua potable según indicador BS12 en las viviendas rurales de la región Metropolitana

Por otra parte, la Dirección de Obras Hidráulicas, en adelante DOH (DOH, 2021), presenta un listado con ciento noventa y seis (196) Servicios Sanitarios Rurales (SSR) para la región Metropolitana distribuidos en sistemas básicos (4,59%), semiconcentrados (6,12%) y concentrados (89,29%), los cuales abastecen a treinta y siete (37) comunas de la región. Dentro del listado de SSR y en base al total de población rural regional (263.498 habitantes), existe un número estimado de 282.282 beneficiarios, número que sobrepasa en un 7,01% al total de población rural regional. 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.

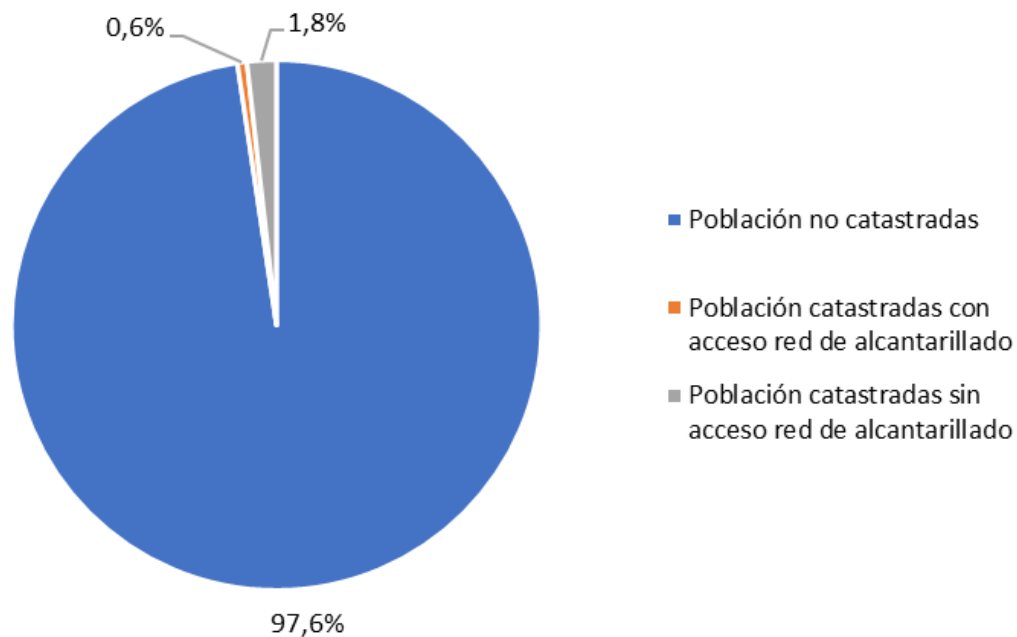
Por último, la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SiSS, 2022) igualmente presenta un listado de SSR para la región, con un total de sesenta y tres (63) sistemas distribuidos en diecisiete (17) comunas. Estos sistemas de agua potable rural abastecen aproximadamente al 73,2% de la población rural (192.750 beneficiarios), dejando una brecha de información de un 26,9% (70.748 habitantes).

b) Saneamiento

De acuerdo a los datos presentados en el indicador BS13 (SICVIR, 2020) el cual considera solo la comuna de Tilti de las cincuenta y dos (52) existentes en la región metropolitana, concentrando solo el 2,4% (6.242 habitantes) del total de la población rural de la región.

Bajo los datos otorgados por el indicador, un 0,6% (1.533 habitantes) de la población rural total de la región, presenta acceso a la red de alcantarillado, mientras que un 1,8% (4.709 habitantes) no cuenta con acceso a la red de alcantarillado.

A modo de resumen, se presenta la Figura 3.1-4, donde se identifica que un 2,4% de la población rural total regional ha sido catastrada, de acuerdo a estos datos, un 1,8% no presenta acceso a la red de alcantarillado. Por último, además se presenta una brecha de información del 97,6% de la población rural de la región Metropolitana.



(*): El valor presentado es en base a la comuna asociada al indicador-

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 de la región Metropolitana según indicador BS13

Por otra parte, de acuerdo al listado de Sistemas Sanitarios Rurales de la SiSS (2022), se menciona que del total de SSR presentes en la región un 6,5% (17.112 beneficiarios), presenta servicio de alcantarillado y un 28,3% (74.446 beneficiarios) cuenta con servicio de alcantarillado y plantas de tratamiento de aguas (ver Figura 3.1-5).

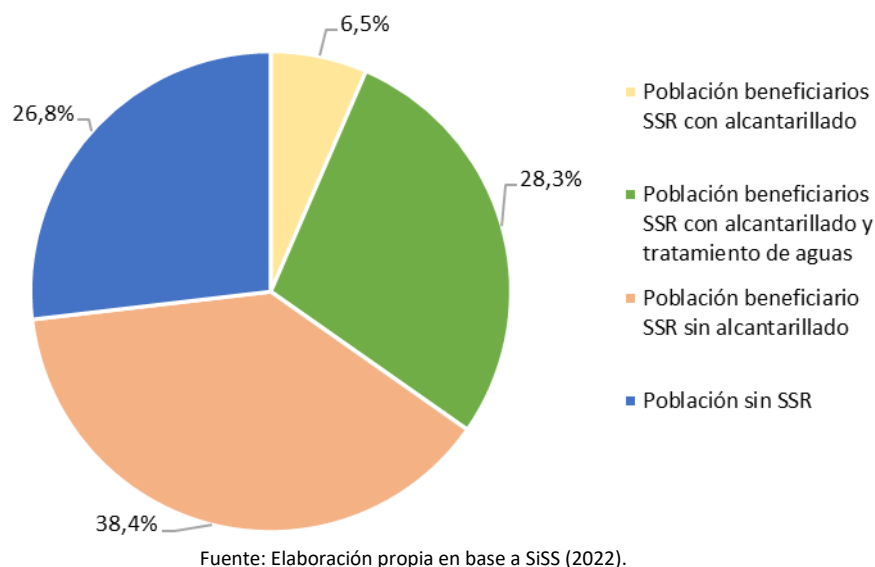


Figura 3.1-5 Cobertura de sistemas de alcantarillado de la población rural para el año 2022

A modo de conclusión se desprende preliminarmente que de la población catastrada un 38,4% no cuenta con alcantarillado, mientras que se presenta además una brecha de información cercana al 27% de la población rural total de la región Metropolitana.

Los detalles del análisis se pueden observar en profundidad en el Anexo 09.02.

3.1.1.5 Pozos

Se identificaron un total de 4.779 pozos de extracción en la región Metropolitana, de los cuales un 51,87% es de uso riego, seguido de un 40,9% de uso sin clasificación.

3.1.1.6 Infraestructura hídrica para uso de fuentes no convencionales

i. Acuíferos profundos

En la región no existen proyectos relacionados acuíferos profundos.

ii. Recarga artificial de acuíferos

Según lo que se indica en el PEGH en la Cuenca del Maipo (DGA, 2021), la región metropolitana no es atractiva para la recarga artificial de acuíferos ya que son pobres hidrogeológicamente, con rellenos sedimentarios de baja potencia, napas poco profundas y conexiones prácticamente directas a cauces superficiales. Por otro lado, el sector norte del río Maipo, en la cuenca que recibe el mismo nombre, se visualiza como una zona atractiva para potenciar esta iniciativa.

iii. Desalinización

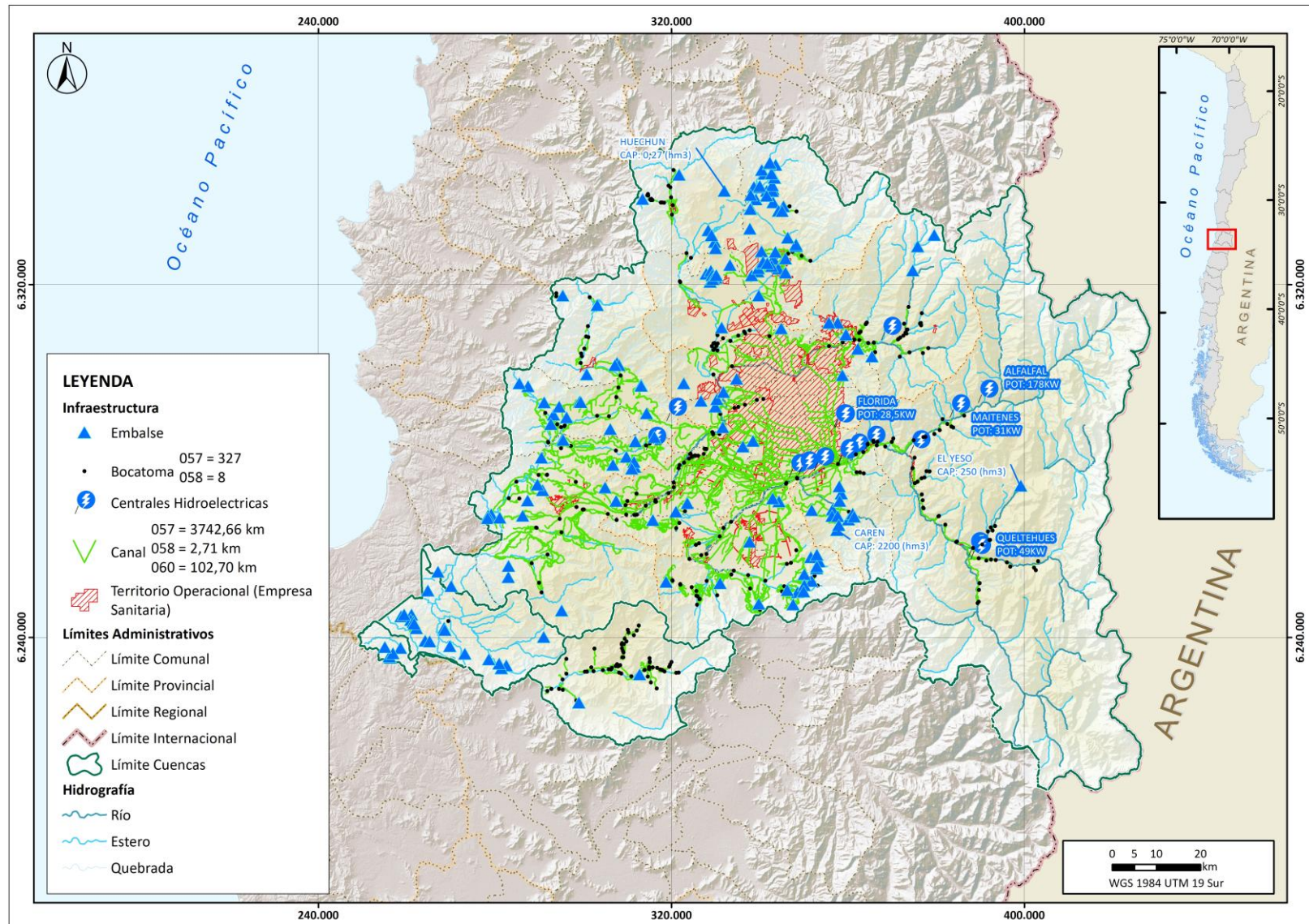
En la región Metropolitana no se han implementado plantas desalinizadoras a gran escala (DGA, 2021). De acuerdo al informe “Infraestructura Hídrica Compartida” de COCHILCO (2023), Anglo American cuenta con un proyecto futuro denominado Los Bronces Integrado, el cual incluye una planta desalinizadora que pretende transportar 500 l/s de agua desalada desde la Desaladora Aguas Pacífico, ubicada en la cuenca Costeras Ligua–Aconcagua, hasta la localidad Quilapilún, en la cuenca Río Maipo. Este proyecto tiene como propósito abastecer la minera Los Bronces y las comunas de Tiltil y Colina.

iv. Cosecha de aguas lluvia

En la región Metropolitana no existen obras de cosechas de aguas lluvias.

v. Uso de aguas servidas tratadas

En la cuenca del Maipo existen plantas de tratamiento de aguas servidas correspondientes a Aguas Andinas, cuyas descargas de agua se vierten nuevamente al río Mapocho de forma natural, para ser posteriormente captadas por canales de riego (DGA, 2021).



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

Figura 3.1-6 Infraestructura principal asociada a los recursos hídricos de la región Metropolitana de Santiago

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

Dentro de la región Metropolitana se han identificado obras relacionadas con crecidas y contaminación de sistemas hídricos, las cuales están orientadas en mitigar efectos de fenómenos naturales y actividad humana.

A partir de lo anterior, 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 Metropolitana de Santiago

Nombre	Localidad	Cuenca BNA	Decreto
Plan Maestro de Aguas Lluvias Gran Santiago	Quilicura, Huechuraba, Conchalí, Recoleta, Independencia, Lo Barnechea, Vitacura, Las Condes, La Reina, Peñalolén, Providencia, Renca, Pudahuel, Cerro Navia, Santiago, Quinta Normal, Lo Prado, Ñuñoa, Macul, San Joaquín, San Miguel, Pedro Aguirre Cerda, Estación Central, Cerrillos, Maipú, Lo Espejo, La Cisterna, San Ramón, La Granja, La Florida, La Pintana, El Bosque, San Bernardo, Puente Alto	Río Maipo (57)	D.S. N°1900 del 31-10-2002
Plan Maestro de Aguas Lluvias Provincia Chacabuco	Colina, Lampa y Til-Til, con SCDUC Santa Elena, Quilapilún, Casas de Chacabuco, Lipingue, Estación Colina, Batuco, Tapihue Polpaico, Huertos Familiares, Rungue, Montenegro y Sol de Septiembre del PRMS 1997	Río Maipo (57) y Río Aconcagua (54)	D.S. N° 2068 del año 2002

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

En la región Metropolitana se han implementado diversas infraestructuras para las diferentes crecidas y los riesgos que estas pueden ocasionar. La Quebrada Macul, cuenta con siete piscinas para controlar las crecidas y disminuir los riesgos aguas abajo. Así también, la Quebrada San Ramon cuenta con piscinas y un sistema piloto en alerta (DGA, 2021).

En el estudio PEGH en la Cuenca de Maipo (DGA, 2021), se señala que las subcuencas Río Mapocho bajo, Río Maipo medio y Río Maipo bajo también cuentan con defensas fluviales para aquellas áreas susceptibles a inundaciones.

No obstante lo anterior, en la cuenca del Río Maipo, principalmente en el Gran Santiago, en las últimas décadas se han desarrollado procesos de urbanización, aumentando la superficie impermeable y quitando espacios a las áreas verdes que ayudan a mitigar las inundaciones funcionando como áreas de drenaje natural de las aguas. La impermeabilización de estos suelos aporta a que se generen problemas de escorrentía y drenaje de las aguas lluvia provocando inundaciones cada vez que existe un sistema frontal (Universidad de Chile, 2015). Es necesario fortalecer la infraestructura para enfrentar las situaciones de emergencia y desastres naturales, así como para garantizar la sostenibilidad y calidad de vida de una población en constante crecimiento dentro de la región (GORE Santiago, 2021).

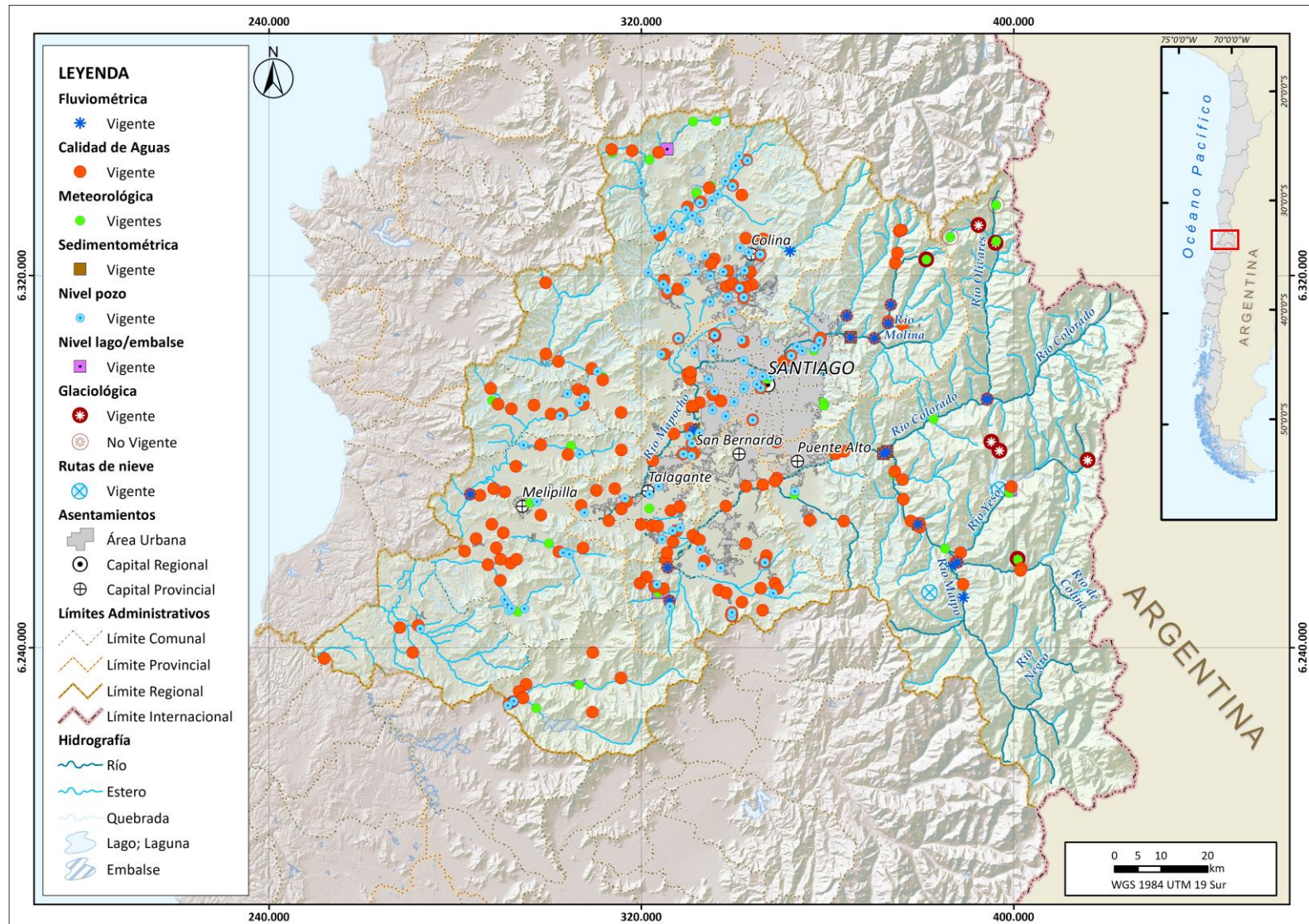
3.1.1.8 Red hidrométrica

De acuerdo a la información publicada por DGA (2023), en la región Metropolitana se encuentran 372 estaciones de monitoreo vigentes que constituyen la red hidrométrica de la región. En la Tabla 3.1-4 se muestra en detalle el tipo de estación presente en la región y su estado, en el Anexo 09.01 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. Se observa que la infraestructura de monitoreo se concentra en la cuenca Río Maipo.

Tabla 3.1-4 Estaciones de monitoreo de la región Metropolitana

Tipo de Estación	Vigentes	Suspendidas
Calidad de Aguas	179	0
Fluviométrica	21	0
Meteorológica	48	0
Nivel de pozo	106	0
Sedimentométrica	6	0
Nivel de lagos y embalses	3	0
Glaciológica	7	2
Rutas de nieve	2	0
Total	372	2

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 de Metropolitana

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 Metropolitana entre los años 2010 y 2022 detalladas en el anexo 09.04.

3.1.2.1 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 3.1-5.

Tabla 3.1-5 Iniciativas clasificadas según tipología y estrategia de acción

Tipología	Estrategias de acción	N° de iniciativas
Infraestructura hídrica estructural	Redes hidrométricas	8
	Producción-distribución de agua potable y tratamiento aguas servidas	11
	Defensa fluvial y aluvional	2
	Desalinización	1
	Infraestructura de riego	13
	Infraestructura de distribución de agua	4
	Obras de acumulación de agua	3
	Reúso de aguas residuales	4
	Redes de aguas lluvias	7
	Captación de aguas	1
	Trasvase de aguas	2
	Drenaje de aguas	2
	Control de erosión	0
	Recarga de acuíferos	13
	Conservación de riberas	6
Infraestructura hídrica no estructural	Estudio hidrológico o hidrogeológico para disponibilidad hídrica	5
	Análisis sistemas glaciares y periglaciares	1
	Estudio calidad de agua superficial y subterránea	5
	Estudio obras de recarga artificial de acuíferos	6
	Conservación y restauración de riberas y cauces	5

Tipología	Estrategias de acción	N° de iniciativas
	Comportamiento morfodinámico e hidrodinámico de humedales	5
	Estudios obras de acumulación de agua	2
	Estudios de riesgo fluvial y aluvional	1
	Conservación obras de riego	0
	Estudio sistemas de riego	4
	Estudios contaminación de aguas	1
	Estudios de saneamiento	1
	Estudios de aguas lluvias	6
	Estudio obras de distribución de aguas	2
	Estudios de desalación	1
	Análisis de red hidrométrica y plataformas de información	17
	Estudio de reúso de aguas	0
	Diagnóstico de OUA y DAA	0
	Estudios para abastecimiento de agua potable	0
Medidas de gestión	Creación de capital humano	12
	Análisis situación legal DAA	0
	Fortalecimiento y formalización de OUA	4
	Reservas de agua	1
	Manejo de quebradas	0
	Manejo riesgos de contaminación de aguas	2
	Manejo de normas ambientales e hídricas	7
	Planes y políticas	16

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 3.1-6.

Tabla 3.1-6 Iniciativas según tipologías y características básicas

Tipología	Características básicas			
	Identificación del problema	Monto asociado	Responsable de la iniciativa	Fecha de ejecución
Infraestructura hídrica estructural	67	36	41	35
Infraestructura hídrica no estructural	60	31	32	31
Medidas de gestión	22	15	17	14

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 3.1-7 se presentan las iniciativas que contienen información acerca del estado de su ejecución.

Tabla 3.1-7 Iniciativas con estado de ejecución

Tipología	Estrategia de acción	N° de iniciativas	Estado
Infraestructura hídrica estructural	Infraestructura de riego	1	Factibilidad
	Obras de acumulación de agua	1	Perfil
	Defensa fluvial y aluvional	2	Factibilidad (1), Perfil (1)
	Conservación de riberas	1	Diseño
Infraestructura hídrica no estructural	Estudios de aguas lluvias	1	Perfil
Medidas de gestión	Planes y políticas	1	Diseño

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 3.1-8 se presentan los planes de desarrollo de empresas sanitarias presentes en la región por implementar.

Tabla 3.1-8 Iniciativas planificadas dentro de los planes de desarrollo de las empresas sanitarias para la región Metropolitana

Empresa	Vigencia plan	Alcance zonal	Infraestructura estructural planificadas
Aguas Andinas S.A.	2019	Buín – Maipo – Linderos – Paine – Alto Jahuel	Ampliación PTAS, captaciones, aumento de capacidad PTAS, obras de distribución, obras de almacenamiento y potabilización, mejoramientos en la red de distribución de AP, refuerzo de colectores, renovación de red de AS
		Calera de Tango	Captaciones y obras de almacenamiento y potabilización
		Gran Santiago	Mejoramientos en la red de distribución de AP, captaciones, mitigación eventos extremos, reposición y conservación PTAP, ampliación PTAP, obras de almacenamiento y potabilización, ampliación PEAP, obras de distribución, refuerzo de red de AS, refuerzo de colectores, ampliación PTAS
		Curacaví	Captaciones, ampliación PTAP, mejoramientos en la red de distribución de AP y ampliación PTAS
		Isla Maipo	Nueva PEAS, refuerzo de colectores y ampliación PTAS
		Melipilla	Captaciones, ampliación PEAP y reposición y conservación PEAP

Empresa	Vigencia plan	Alcance zonal	Infraestructura estructural planificadas
		Talagante	Ampliación PTAS, obras de distribución, mejoramientos en la red de distribución de AP
	2020	Pirque	Renovación PEAS, renovación de red de AS y refuerzo de colectores
		San Gabriel	Ampliación PTAS
		San José de Maipo	Obras de distribución y obras de almacenamiento y potabilización
		Tiltill	Captaciones y ampliación PTAS
		Valdivia de Paine	Obras de almacenamiento y potabilización, ampliación PTAS y obras de disposición de residuos
		El Canelo – Las Vertientes – La Obra	Nueva PTAS y obras de disposición de residuos
	2022	Peñaflor – Malloco	Reposición e inclusión de equipos PTAP, obras de almacenamiento y potabilización, ampliación PEAP, mejoramientos en la red de distribución de AP y renovación de red de AS
		Padre Hurtado	Reposición e inclusión de equipos PTAP, captaciones y mejoramientos en la red de distribución de AP
		El Monte – El Paico	Captaciones, aumento de capacidad PTAP, mejoramientos en la red de distribución de AP, obras de distribución y refuerzo de colectores
Alto Manquehue S.A.	2019	Santa María de Manquehue – Los Trapenses	Captaciones, ampliación PTAS, reposición e inclusión de equipos PTAP, obras de distribución, obras de almacenamiento y potabilización, ampliación PEAP, mejoramientos en la red de distribución de AP, refuerzo de red de AS y renovación de red de AS
	2020	Loteo El Chamisero	Ampliación PEAP, obras de almacenamiento y potabilización, obras de distribución y mejoramientos en la red de distribución de AP
		Valle Grande III	Ampliación PEAP, obras de almacenamiento y potabilización y ampliación PEAS

Empresa	Vigencia plan	Alcance zonal	Infraestructura estructural planificadas
		Ciudad de Chicureo	Ampliación PTAP, captaciones, reposición e inclusión de equipos PTAP, obras de almacenamiento y potabilización, ampliación PEAP, obras de distribución, mejoramientos en la red de distribución de AP y refuerzo de red de AS
	2023	Alto Lampa	Captaciones, aumento de capacidad PTAP, obras de distribución, obras de almacenamiento y potabilización y renovación de red de AS
Aguas Cordillera S.A.	2019	Parte de Vitacura, Lo Barnechea y Las Condes	Captaciones, mejoramientos PTAP, reposición e inclusión de equipos PTAP, obras de almacenamiento y potabilización, obras de distribución, mejoramientos en la red de distribución de AP, refuerzo de red de AS y renovación de red de AS
Aguas de Colina S.A.	2019	Valle Santa Elena de Colina	Obras de almacenamiento y potabilización, captaciones, ampliación PEAP, obras de distribución, refuerzo de colectores y aumento de capacidad PTAS
Aguas de Las Lilas S.A.	2021	Fundo Las Lilas	Captaciones, aumento de capacidad PEAP, obras de distribución, mantención PTAP, obras de almacenamiento y potabilización, renovación PEAS, renovación de red de AS, mejoramiento PTAS y obras de disposición de residuos
Aguas San Pedro S.A.	2020	San Luis – Brisas Norte	Obras de almacenamiento y potabilización, ampliación PEAP, obras de distribución y refuerzo de colectores
Aguas Santiago Norte S.A.	2021	Hacienda Batuco, Lampa	Ampliación PTAP, obras de almacenamiento y potabilización, obras de distribución, ampliación PEAS y ampliación PTAS
		Reina Norte, Colina	Captaciones, ampliación PEAP, obras de distribución, obras de almacenamiento y potabilización, ampliación PTAS
		El Cerrillo, San Bernardo	Captaciones, obras de distribución, obras de almacenamiento y potabilización, ampliación PEAP, refuerzo de colectores, ampliación PEAS y ampliación PTAS

Empresa	Vigencia plan	Alcance zonal	Infraestructura estructural planificadas
		El Recuerdo, Maipú	Ampliación PEAP, ampliación PTAP, obras de almacenamiento y potabilización, obras de distribución y ampliación PTAS
	2020	Santa María, Maipú	Captaciones, ampliación PEAP, obras de distribución, ampliación PTAP, obras de almacenamiento y potabilización, refuerzo de colectores y ampliación PTAS
	2023	Santa Teresa, Lampa	Captaciones, obras de distribución, ampliación PTAP, obras de almacenamiento y potabilización, ampliación PEAP, refuerzo de colectores y ampliación PTAS
BBC S.A.	2021	Loteo Santo Tomás	Captaciones, obras de distribución, construcción PEAP, reposición e inclusión de equipos PTAP, obras de almacenamiento y potabilización, mejoramientos en la red de distribución de AP, mejoramiento PTAS y aumento de capacidad PTAS
COSSBO S.A.	2016	Sector Torres de San Borja, Santiago	Mejoramientos en la red de distribución de AP, obras de distribución y captaciones
Agua San Isidro S.A.	2020	Tiltill	Captaciones, obras de distribución, obras de almacenamiento y potabilización, aumento de capacidad PEAP, mejoramiento PTAS
		Sector de la comuna de Padre Hurtado	Captaciones, aumento de capacidad PTAP
	2018	Sector de la comuna de Padre Hurtado	Captaciones, refuerzo de colectores, aumento de capacidad PTAS, obras de distribución, obras de almacenamiento y potabilización, ampliación PEAP, aumento de capacidad PTAS, obras de distribución
	2021	Sector de la comuna de Isla de Maipo	Reposición e inclusión de equipos PTAP y obras de distribución
	2023	Sector de la comuna de Quilicura	Captaciones, obras de distribución, reposición e inclusión de equipos PTAP y reposición equipos PEAS
Izarra Aguas S.A.	2022	Izarra de lo Aguirre	Aumento de capacidad PEAS y reposición equipos PEAS
EAPSA S.A.	2022	Melipilla Norte	Reposición e inclusión de equipos PTAP, obras de distribución, obras de

Empresa	Vigencia plan	Alcance zonal	Infraestructura estructural planificadas
			almacenamiento y potabilización y reposición equipos PEAS
Sacyr Agua Chacabuco S.A.	2019	Colina - Esmeralda	Captaciones, reposición e inclusión de equipos PTAP, mejoramientos en la red de distribución de AP, obras de almacenamiento y potabilización, renovación de red de AS y obras de disposición de residuos
	2020	Ayres de Chicureo	Obras de almacenamiento y potabilización
Sacyr Aguas Lampa S.A.	2019	Lampa	Captaciones, mejoramientos en la red de distribución de AP, aumento de capacidad PEAP, obras de almacenamiento y potabilización, obras de distribución y aumento de capacidad PTAS
Sacyr Aguas Santiago S.A.	2019	Los Álamos	Captaciones, aumento de capacidad PEAP y reposición equipos PEAS
	2020	Lo Barnechea	Captaciones, aumento de capacidad PTAP, aumento de capacidad PEAP y obras de distribución
		Valle Escondido	Obras de almacenamiento y potabilización
		Pan de Azúcar	Aumento de capacidad PTAP, captaciones, obras de almacenamiento y potabilización, obras de distribución, aumento de capacidad PEAS y aumento de capacidad PTAS
	2022	Valle Alegre	Aumento de capacidad PEAP, aumento de capacidad PEAS y aumento de capacidad PTAS
SELAR S.A.	2021	Hacienda Urbana Lara Pinta	Captaciones, reposición e inclusión de equipos PTAP, mejoramientos en la red de distribución de AP, obras de almacenamiento y potabilización, renovación de red de AS, reposición equipos PTAS y ampliación PTAS
SMAPA S.A.	2019	Maipú – Los Bosquinos – Las Lomas	Captaciones, reposición e inclusión de equipos PTAP, obras de distribución, obras de almacenamiento y potabilización, mejoramientos en la red de distribución de AP, renovación de red de AS, refuerzo de colectores y obras de disposición de residuos

Fuente: Elaboración en base a SISS (2024).

Por último, en la Tabla 3.1-9 se consideran los planes maestros de aguas lluvias proyectadas y en desarrollo para la región.

Tabla 3.1-9 Planes maestros de aguas lluvias proyectados para la región Metropolitana de Santiago

Nombre	Localidad	Cuenca BNA	Decreto	Estado decreto
Plan Maestro de Aguas Lluvias Buin y Paine	Buin y Paine	Río Maipo (57)	s/i	Con decreto de fondos para licitar por segunda vez

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

3.1.2.2 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 09.04.

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

Tipología	Estrategias de acción	Programa	N° iniciativas	Inversión	
				Miles \$ cada año	Miles \$ año 2023
Infraestructura hídrica estructural	Producción-distribución de agua potable y tratamiento aguas servidas	APR concentrado	172	55.946.767	69.086.569
		APR semi concentrado	62	16.086.887	18.666.072
		Ampliación y mejoramiento de servicios existentes de APR	51	30.228.927	33.418.770
	Infraestructura de riego	Conservación obras de riego	8	658.604	878.167
	Defensa fluvial y aluvional	Control aluvional	21	5.839.482	6.992.945
	Redes de aguas lluvias	Conservación de obras de aguas lluvias	29	19.530.316	24.119.236
		Evacuación y drenaje de aguas lluvias	62	79.128.692	102.070.358
Infraestructura hídrica no estructural	Estudio obras de distribución de aguas	Obras medianas de riego	2	506.784	688.748

Tipología	Estrategias de acción	Programa	N° iniciativas	Inversión	
				Miles \$ cada año	Miles \$ año 2023
	Conservación y restauración de riberas y cauces	Conservación de riberas (defensas fluviales)	43	27.240.110	31.679.250
		Manejo de cauces	4	154.612	215.040
Medidas de gestión	Planes y políticas	Estudios	2	187.927	267.372

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 09.05 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).

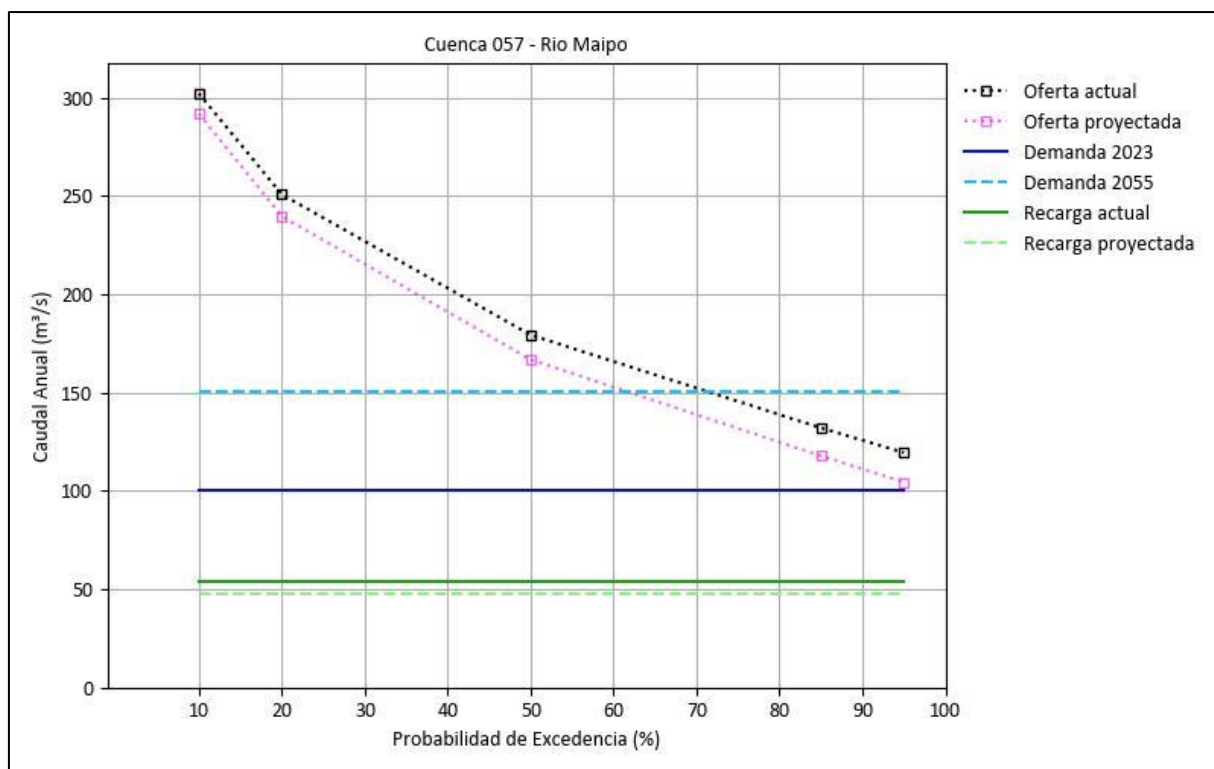
Clasificación final: En el caso de existir dos (2) tipos de restricción (superficial y subterráneo) en la cuenca, esta se define inmediatamente como **cuenca crítica**. En el caso de existir un (1) tipo de restricción (superficial o subterráneo) en la cuenca, la clasificación definida en el *Criterio 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 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**, lo que se puede observar en la Figura 4.1-1 para la cuenca del río Maipo (BNA 057). No obstante, se debe considerar que actualmente todas las cuencas de la región poseen

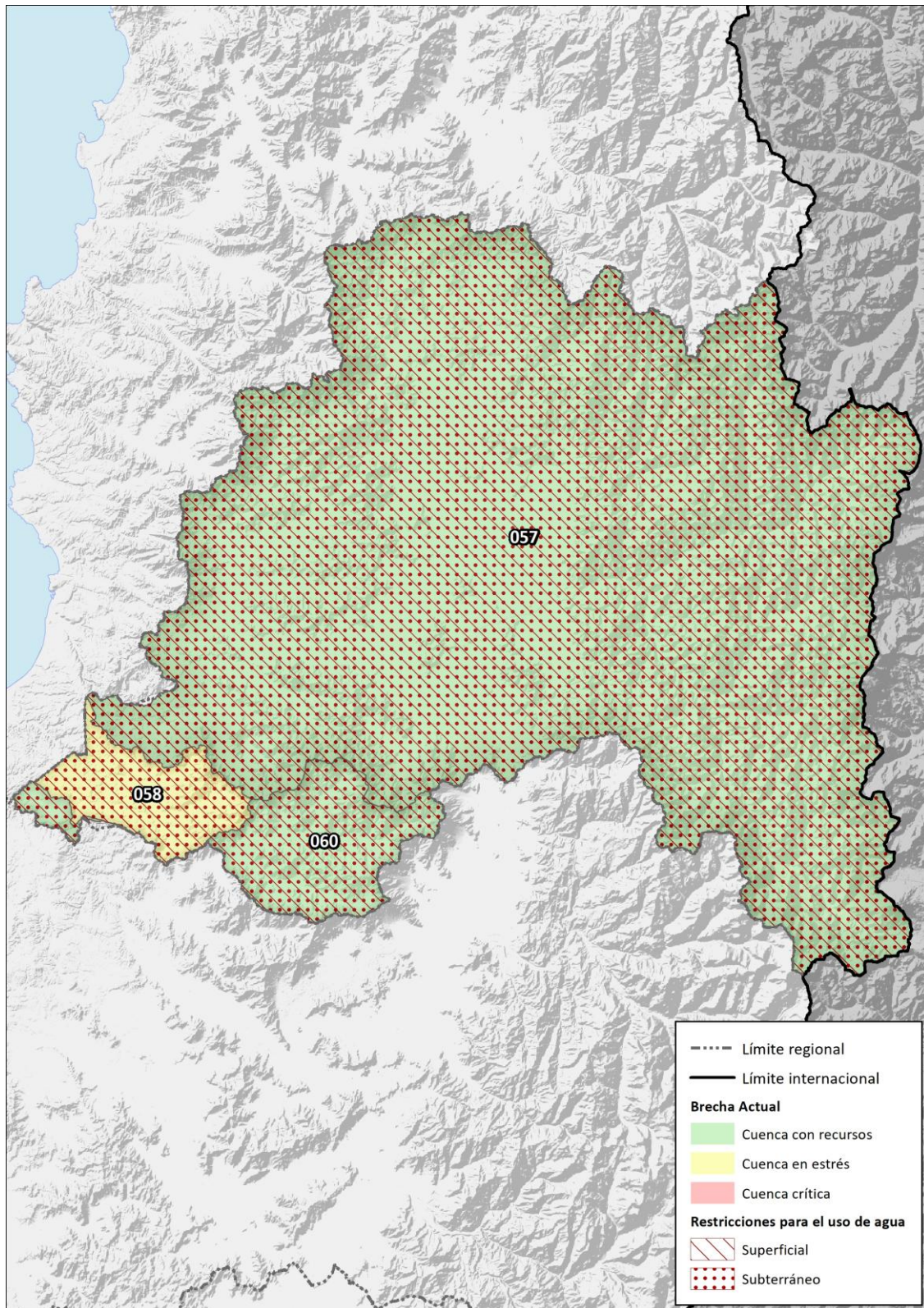
⁶ En base al Balance Hídrico Nacional (DGA, 2018)

restricciones tanto para el uso de aguas superficiales como para aguas subterráneas, por lo que finalmente se reclasifican a **cuenclas críticas** (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 057



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.1-2 **Indicadores de disponibilidad hídrica para el año 2025 en la región Metropolitana**

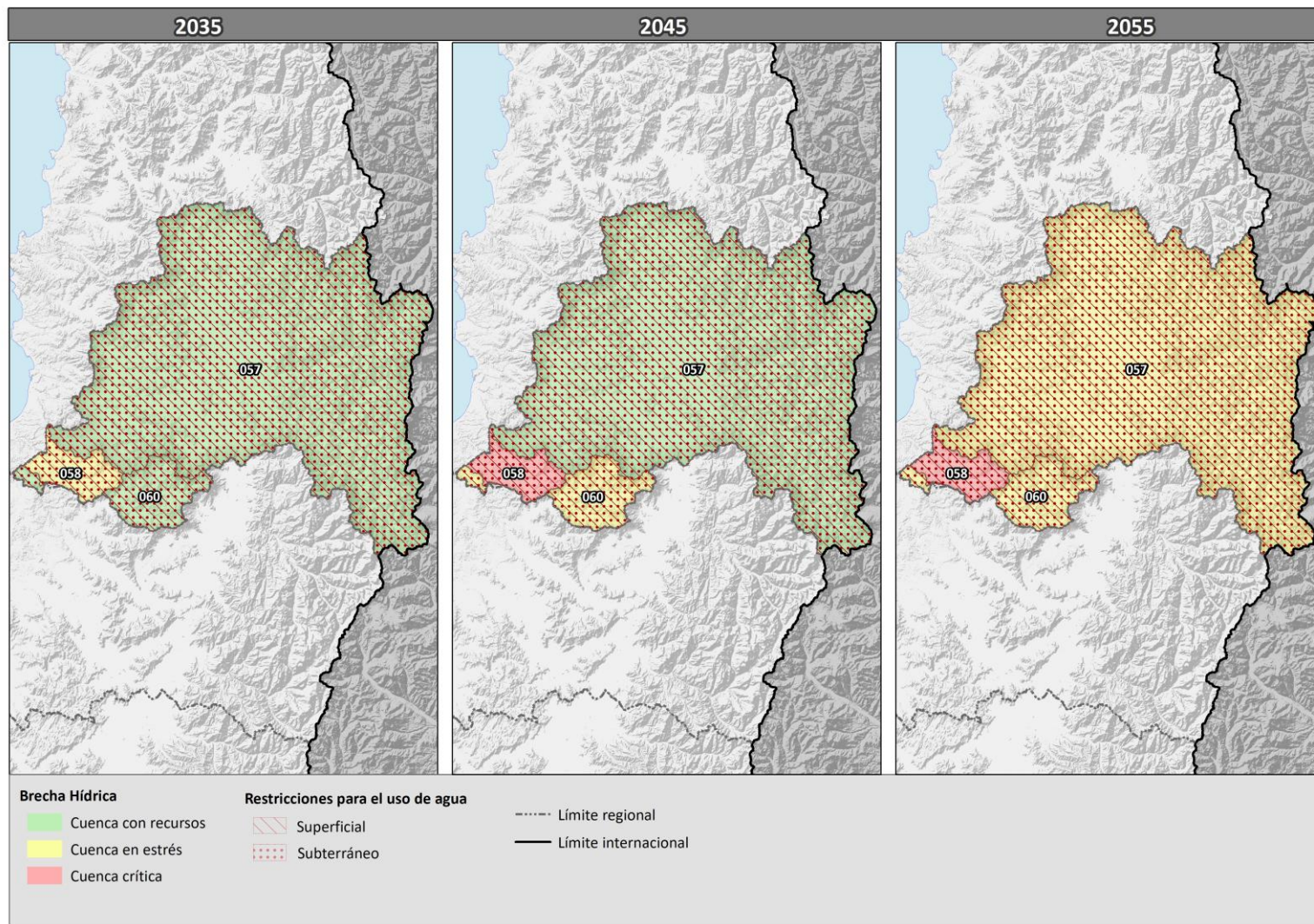
Tabla 4.1-1 Brechas Hídricas por Cuenca Región de Metropolitana

Código BNA	Nombre Cuenca	2025	2035	2045	2055
057	Rio Maipo	Crítica	Crítica	Crítica	Crítica
058	Costeras entre Maipo y Rapel	Crítica	Crítica	Crítica	Crítica
060	Rio Rapel	Crítica	Crítica	Crítica	Crítica

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4.1-1 se aprecia que todas las cuencas se encuentran en una situación crítica al año 2025, sin haber una mayoría mejora en las ventanas futuras. Sin embargo, según el balance hídrico de la cuenca, el estado de las cuencas es con recursos, pero al considerar 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 estarán siempre presentes, se consideran de igual forma para las ventanas lejanas, lo que se puede ver en la Figura 4.1-3.

Complementario a lo anterior es importante mencionar que una fuerte importante de los recursos hídricos utilizados en las cuencas corresponden a recursos subterráneos, los que permiten acortar la brecha hídrica de interpretar solo el cruce de oferta y demanda. Además, es importante destacar que 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, se visualiza una situación más crítica en lo que respecta a recursos hídricos en la cuenca del Río Maipo (Código BNA 057), la cual ha experimentado diversos decretos de sequía y restricciones subterráneas en los últimos años.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.1-3 Variación de indicadores de disponibilidad hídrica proyectada por año en la región de Metropolitana

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.

i. Para caracterización de infraestructura:

- No se posee información en relación a las fuentes de abastecimiento de agua de entre un 19% y un 53,4% de las viviendas rurales.
- No se posee información en relación a las fuentes de abastecimiento de agua de alrededor del 27% de la población rural.
- No se posee información en relación al acceso de red de alcantarillado de alrededor de entre el 27% y el 96% de la población rural.
- No se posee real conocimiento de la situación de acceso al agua potable y alcantarillado en las áreas rurales de la región, ya que los indicadores presentan sesgo de información al dejar a comunas 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 existen catastros de SSR actualizados y generalizados para la región, que contengan la información necesaria para identificar concretamente el porcentaje de población rural con acceso a agua potable y alcantarillado
- Insuficiente información respecto a disponibilidad de agua en acuíferos
- 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.
- Déficit de red hidrométrica operativa y consolidada
- Carencia de conocimientos y métodos de implementación de soluciones basadas en ecosistemas para adaptarse al cambio climático (Santis, 2016).
- 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.

ii. Para caracterización de oferta - demanda

- Desconocimiento de los titulares de DAA.
- Déficit de estaciones y metodologías de muestreo de calidad de aguas.
- Brecha informativa en cuanto a los consumos reales de cada sector.
- 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
- GCM seleccionado como escenario desfavorable no permite realizar todos los análisis. Además, existen limitaciones en estos GCM, aclarados en el mismo estudio que los realizó (DGA, 2022). Por ejemplo, el periodo de tiempo considerado o el hecho de solo haber usado 4 GCM en el estudio.
- No se presentan catastros a nivel regional y comunal con la totalidad de eventos extremos ocurridos.
- 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 Metropolitana

Justificación regional	Brechas Estratégicas Generales	Brechas Estratégicas Específicas Regionales	Indicador	Rango	Clasificación (qué tan crítica es la brecha)	Río Maipo	Costeras entre Maipo y Rapel	Río Rapel
Se demuestran periodos de sobreexplotación de recursos hídricos rurales de entre un7,01%. Paradójicamente, se estima además que entre un 10,7% y un 33,6% de las viviendas rurales catastradas no acceden al agua potable, y que, la brecha de información abarca de entre el 18,6% y el 53,4% del total de viviendas rurales (ver acápite 2.2.1)	Población de localidades rurales desconcentradas y semiconcentrados sin servicios de agua potable	Falta de acceso universal a los servicios básicos de infraestructura, especialmente en comunidades urbanas y rurales marginadas y desatendidas, para garantizar el derecho humano al agua y reducir las disparidades territoriales. Insuficiente infraestructura estratégica y capacidades de gestión para cumplir con los estándares mínimos de calidad y cobertura en el abastecimiento de agua potable rural y acelerar su aprobación.	Porcentaje de cobertura de la red de agua potable rural o comunidades urbanas marginadas, 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 1,8% y un 38,4% de la población rural no posee acceso a alcantarillado, presentándose además una brecha de información de entre el 26,8% y el 97,6% 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 desconcentrados	Insuficiente infraestructura estratégica y capacidades de gestión para cumplir con los estándares mínimos de calidad y cobertura en el abastecimiento de agua potable rural y acelerar su aprobación.	Porcentaje de cobertura de la población saneada por alcantarillado rural o urbano respecto al total de la población de la comuna.	Cobertura menor a o igual a 30% Cobertura mayor a 30% y menor a 50% Cobertura mayor o igual a 50%	Alta =4 Media =2 Baja =1	2	4	4
La proyección de la población rural en áreas APR en las cuencas de la región Metropolitana, presenta un incremento de alrededor de un 26% para las cuencas Costeras entre Maipo y Rapel (código BNA 058) y un 10% para las cuencas del Río Maipo (código BNA 057) y el Río Rapel (código BNA 060) para el año 2055, respecto de la población actual. Para las áreas sin presencia de sistemas APR, se observa una proyección del 8% de aumento para el año 2055 en las cuencas de 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	4	4
Se identifica que el mayor número de clientes dentro de las áreas concesionadas en la región Metropolitana corresponde a Clientes Residenciales lo que representan el 92,6% 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 aumento en la tasa de crecimiento de un 0,3%.	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	N/A	N/A
Para el año 2022 se estimó un promedio de pérdidas por distribución de un 31,8% a nivel regional; las pérdidas más altas se registraron en la localidad de San Gabriel, Valle Escondido y Las Lomas de Maipú (más de un 80% de pérdidas), mientras que las localidades de Santa María de Manquehue, Valle Grande Etapa III, Hacienda Batuco, Valle Grande, Lo Barnechea, Los Álamos de Colina y Larapinta se mantuvieron bajo un 10% de pérdidas. (ver Anexo 05.02 Demanda futura)	Deterioro en el sistema de distribución de agua potable (pérdidas)		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	2	N/A	N/A
En la región no se identifican proyectos de fuentes no convencionales de agua para el consumo humano a escalas relevantes	Insuficientes incentivos para uso de fuentes no convencionales de agua para el consumo humano a escalas relevantes	Falta de acceso universal a servicios de agua y saneamiento de alta calidad, equitativos y sostenibles, especialmente en zonas rurales y áreas con escasez. Falta de investigación e identificación de recursos hídricos nuevos y existentes para permitir una gestión eficiente, sostenible y asequible del agua.	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	4	4

N/A: Evaluación de la brecha no aplica a la cuenca. s/i: La cuenca no cuenta con suficiente información para evaluar el indicador.
 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 Metropolitana

Justificación regional	Brechas Estratégicas Generales	Brechas Estratégicas Específicas Regionales	Indicador	Rango	Clasificación (qué tan crítica es la brecha)	Río Maipo	Costeras entre Maipo y Rapel	Río Rapel
En la región Metropolitana, la eficiencia de aplicación de riego promedio estimada para el año 2023 es del 74%. Esta eficiencia varía entre un 86% y un 53%, siendo la cuenca Costeras entre Maipo y Rapel la que presenta el valor más alto, y la cuenca Río Maipo el valor más bajo. Esta disparidad en la eficiencia de aplicación de riego, entre cuencas sugiere la necesidad de promover mejoras en la gestión del agua con el fin de aumentar la productividad de los cultivos y mitigar los impactos del cambio climático (mayor detalle en el Anexo 09.02)	Déficit en tecnificación del riego y modernización de sistemas de control de heladas.	Falta de fomento de prácticas y tecnologías que permitan conciliar el consumo de agua con la disponibilidad en los sectores de demanda, promoviendo un balance hídrico sostenible.	Eficiencia de aplicación de riego (%) (año 2023)	Eficiencia de riego ≤ 50% 50% < Eficiencia de riego < 80% Eficiencia de riego ≥ 80%	Alta =4 Media =2 Baja =1	2	1	1
En la región Metropolitana se identifican aproximadamente 3.860 km de canales, ubicados principalmente en la cuenca Río Maipo, donde se concentra aproximadamente el 97% 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 09.01).	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 10 y el 50% de los canales de la región. Concentra menos del 10% de los canales de la región.	Alta =4 Media =2 Baja =1	4	1	1
Según la tendencia histórica, se prevé que la demanda hídrica agrícola en la región Metropolitana aumentará en un 25% para el año 2055. A pesar de que en los últimos 14 años se ha observado un cambio significativo hacia la reducción de cultivos frutales y aumento de viñas y parronales, los cuales muestran una mejor adaptación a condiciones de estrés hídrico en comparación con otros frutales, 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.	-	Variación porcentual ponderada de la demanda hídrica agrícola (Periodo 2023-2055)	Variación ponderada de la demanda ≥ 16% 2% < Variación ponderada de la demanda < 16% Variación ponderada de la demanda ≤ 2%	Alta =4 Media =2 Baja =1	4	2	2
En la región Metropolitana, 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.).	-	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	1	4	4
En la región Metropolitana, 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 91% 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 acápite 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	Falta de fomento de prácticas y tecnologías que permitan conciliar el consumo de agua con la disponibilidad en los sectores de demanda, promoviendo un balance hídrico sostenible.	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 ≥ 80% 5% < Variación ponderada de la demanda < 80% Variación ponderada de la demanda ≤ 5%	Alta =4 Media =2 Baja =1	4	1	2
Según el boletín "Información Pluviométrica, Fluvimétrica, Estado de Embalses y Aguas Subterráneas" de abril de 2024 de la DGA, los principales embalses en la región son el embalse el Yeso, con una capacidad de almacenamiento de 220 hm³, y el embalse Rungue, con una capacidad de 1,7 hm³, ambos ubicados en la cuenca del río Maipo. Según el mismo boletín, el volumen de almacenamiento histórico promedio mensual es de 187 hm³ para el embalse el Yeso (86% de su capacidad) y 0,1 hm³ para el embalse Rungue (6% de su capacidad). Hasta la fecha de elaboración de este estudio, no se dispone de información sobre el volumen actual embalsado de otras obras de acumulación menores. Sin embargo, las proyecciones de la oferta hídrica superficial indican una tendencia a la baja hasta el año 2055, lo que podría resultar en una reducción de los volúmenes embalsados (ver acápite 2.3.1.1 del estudio para más detalle). Estos datos sugieren la necesidad de diversificar las fuentes de agua y planificar la gestión del recurso hídrico a largo plazo.	Disminución de aportes superficiales a obras de acumulación.	-	Disminución de la oferta hídrica superficial (Periodo 2025-2055).	Disminución de la oferta hídrica superficial ≥ 10% 3 % < variación de la oferta hídrica superficial <10% Disminución de la oferta hídrica superficial ≤ 3%	Alta =4 Media =2 Baja =1	4	2	1
En la región Metropolitana se observa una escasez de obras multipropósito destinadas a asegurar el suministro de agua mediante fuentes no convencionales, así como de proyectos futuros en esta línea. Actualmente, solo se ha identifica un proyecto futuro de desaladora perteneciente a la empresa Anglo american, el cual tiene como objetivo transportar 500 l/s de agua desalada desde la desaladora Aguas Pacífico, ubicada en la cuenca Costeras Ligua–Aconcagua, hasta la localidad Quilapilún, en la cuenca Río Maipo. En las demás cuencas, no se han identificado obras en funcionamiento ni proyectos futuros hasta el momento (mayor detalle en acápite 3.1.1.5 del estudio).	Insuficientes incentivos para uso de fuentes no convencionales de agua para el desarrollo de actividades productivas a escalas relevantes.	Falta de investigación e identificación de fuentes de agua nuevas y existentes para una gestión eficiente, sostenible y asequible del agua en diversos usos. Falta de proyectos multipropósito que generen sinergias territoriales y maximicen los beneficios para el desarrollo integral del entorno. Falta de mejora en la infraestructura hídrica para asegurar la eficiencia en la distribución y almacenamiento de agua en los procesos productivos.	Presencia de obras o proyectos multipropósito para el abastecimiento de agua desde fuentes no convencionales	No existen 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	2	4	4

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 comprometa la integridad de los ecosistemas acuáticos y terrestres en la región.

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

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 Metropolitana

Justificación regional	Brechas Estratégicas Generales	Brechas Estratégicas Específicas Regionales	Indicador	Rango	Clasificación (qué tan crítica es la brecha)	Río Maipo	Costeras entre Maipo y Rapel	Río Rapel
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 metropolitana se caracteriza por su alta densidad poblacional y proximidad a áreas industriales de la región lo que intensifica los problemas de contaminación en este sentido.	Escaso manejo de contaminantes y pasivos ambientales en agricultura	Falta de restauración de áreas degradadas y de objetivos de mejora ambiental para las ciudades, priorizando la eficiencia de los recursos hídricos.	Calidad de agua, 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	1	4
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 la región metropolitana es altamente poblada, las descargas de aguas servidas afectan a las áreas rurales. Además, la escasez es una característica de la región debido a la alta demanda del agua urbana	Deterioro de la calidad de aguas debido a las descargas de aguas servidas desde localidades rurales sin servicios de saneamiento		% de 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, lo cual sugiere una mayor probabilidad de exposición de los relaves mineros en desuso a eventos hidrolimáticos extremos. Aunque la región metropolitana no es una zona principalmente minera, hay una influencia que se visualiza en el mapa de relaves especialmente en las cuencas del Río Maipo y del Río Rapel con mayor actividad en la región.	Riesgos de contaminación de las aguas por parte de sector industrial y minero asociado a eventos de crecidas e inundaciones		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	2	4
La región presenta un uso intensivo de sus recursos naturales, con fines agrícolas, mineros e industriales. Esto afecta a los ecosistemas acuáticos, el cual se ve agravado por la variabilidad climática y los flujos hidrológicos, el que tiene consecuencias en la calidad de agua y en la biodiversidad de los ecosistemas. Esta presión especialmente en esta región se ve agravada por el crecimiento urbano.	Ecosistemas adyacentes a sistemas acuáticos afectadas por cambio de uso de suelo o uso productivo intensivo	Falta de integración de la biodiversidad y servicios ecosistémicos en la planificación y regulación del uso del suelo rural para equilibrar la conservación con las necesidades humanas de seguridad hídrica.	Tasa de deforestación en función de la demanda forestal. (Dda25 - Dda35)/Dda25 (%)	Alta criticidad: Tasa de variación demanda forestal mayor al 2%. Media criticidad: Tasa de variación demanda forestal entre 0% y 2%. Baja criticidad: Tasa de variación demanda forestal negativa o menor al 0%.	Alta =4 Media =2 Baja =1	1	1	N/A
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 eutrofización. Para una gestión sostenible se debe avanzar en normativa específica en protección ambiental más allá d la protección de la salud humana (normas primarias de calidad ambiental) En este sentido, en la región, podría afectar a lagunas y humedales urbanos como el humedal Baticu o el estero Las Cruces	Ausencia de norma secundaria de calidad de aguas superficiales	Falta de medición y monitoreo de variables ambientales que caractericen los servicios ecosistémicos para asegurar su protección y restauración.	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	2	2
La falta de normas secundarias de aguas subterráneas es fundamental para prevenir la contaminación de los acuíferos, que cobran más importancia en zonas áridas 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	Falta de medición y monitoreo de variables ambientales que caractericen los servicios ecosistémicos para asegurar su protección y restauración.	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	2	2
Aunque en esta región hay más inversión e infraestructura avanzada para realizar monitoreo y comparando 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	Falta de medición y monitoreo de variables ambientales que caractericen los servicios ecosistémicos para asegurar su protección y restauración.	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	1
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	Falta de integración de la biodiversidad y servicios ecosistémicos en la planificación y regulación del uso del suelo rural para equilibrar la conservación con las necesidades humanas de seguridad hídrica. Falta de evaluación e integración de los sistemas naturales como soporte fundamental en la planificación y diseño de intervenciones territoriales y su inclusión en políticas sectoriales, normatividad y planes especiales. Falta de inventario y caracterización del suelo y de información sobre los cambios de uso del suelo para anticipar y mitigar riesgos de degradación de sus funciones.	Comparación de lo obtenido en la oferta hídrica y caudal de protección ambiental como: Oferta Hídrica / Caudal de Protección Ambiental	Alta Criticidad: Oferta hídrica menor al 40% del caudal ambiental necesario. Media Criticidad: Oferta hídrica entre 40% y 75% del caudal ambiental necesario. Baja Criticidad: Oferta hídrica mayor al 75% del caudal ambiental necesario.	Alta =4 Media =2 Baja =1	2	N/A	N/A
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 humana. 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	Falta de desarrollo de infraestructura hídrica multipropósito y de soluciones basadas en la naturaleza para proteger y restaurar las fuentes de agua y fortalecer los servicios ecosistémicos críticos.	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

N/A: Evaluación de la brecha no aplica a la cuenca. s/i: La cuenca no cuenta con suficiente información para evaluar el indicador.
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 4.2-4 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.

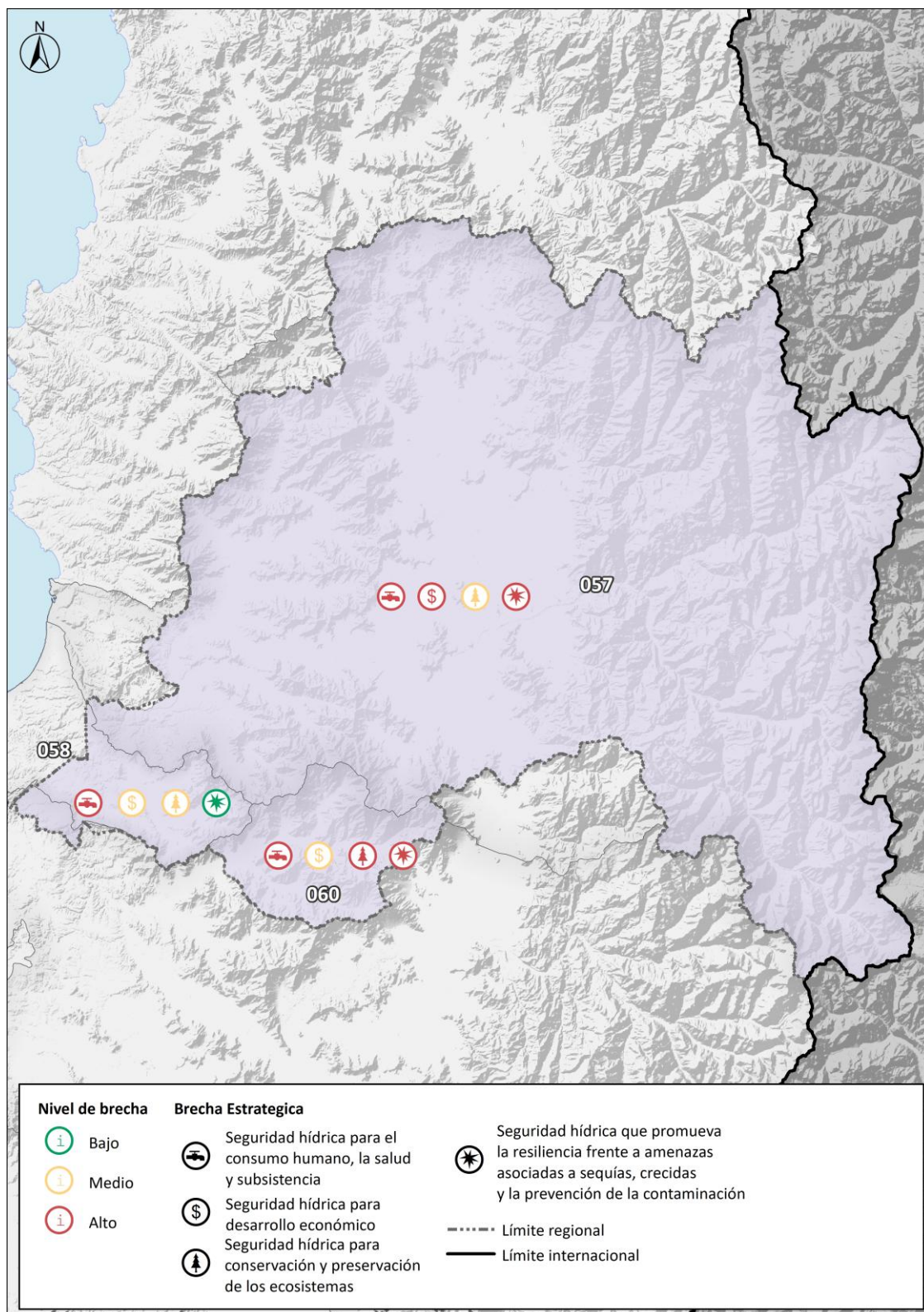
Tabla 4.2-4 Brechas Estratégicas resiliencia frente a amenazas asociadas a eventos extremos por Cuenca Región Metropolitana

Justificación regional	Brechas Estratégicas Generales	Brechas Estratégicas Específicas Regionales	Indicador	Rango	Clasificación (qué tan crítica es la brecha)	Río Maipo	Costeras entre Maipo y Rapel	Río Rapel
En la región Metropolitana se han implementado diversas infraestructuras para las diferentes crecidas y los riesgos que estas pueden ocasionar. La Quebrada Macul, cuenta con siete piscinas para controlar las crecidas y disminuir los riesgos aguas abajo. Así también, la Quebrada San Ramon cuenta con piscinas y un sistema piloto en alerta (DGA, 2021). En el estudio PEGH en la Cuenca de Maipo (DGA, 2021), se señala que las subcuencas Río Mapocho bajo, Río Maipo medio y Río Maipo bajo también cuentan con defensas fluviales para aquellas áreas susceptibles a inundaciones. No obstante, lo anterior, en la cuenca del Río Maipo, principalmente en el Gran Santiago, en las últimas décadas se han desarrollado procesos de urbanización, aumentando la superficie impermeable y quitando espacios a las áreas verdes que ayudan a mitigar las inundaciones funcionando como áreas de drenaje natural de las aguas. La impermeabilización de estos suelos aporta a que se generen problemas de escorrentía y drenaje de las aguas lluvia generando inundaciones cada vez que se presencia un sistema frontal (Universidad de Chile, 2015).	Baja efectividad de sistemas de drenaje de aguas lluvia	Falta de estándares esenciales de infraestructura para reducir la vulnerabilidad a eventos climáticos extremos y promover infraestructura resiliente" compatible con los factores socioeconómicos. Falta de inversión en soluciones ecológicas y basadas en la naturaleza para proteger a la población de los peligros relacionados con el clima. Insuficiente colaboración con instituciones académicas para habilitar medidas de adaptación y mitigación y la gestión del riesgo de desastres en la generación de infraestructura resiliente.	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	N/A
En la región Metropolitana se han implementado diversas infraestructuras para las diferentes crecidas y los riesgos que estas pueden ocasionar. La Quebrada Macul, cuenta con siete piscinas para controlar las crecidas y disminuir los riesgos aguas abajo. Así también, la Quebrada San Ramon cuenta con piscinas y un sistema piloto en alerta (DGA, 2021). En el estudio PEGH en la Cuenca de Maipo (DGA, 2021), se señala que las subcuencas Río Mapocho bajo, Río Maipo medio y Río Maipo bajo también cuentan con defensas fluviales para aquellas áreas susceptibles a inundaciones. No obstante, lo anterior, en la cuenca del Río Maipo, principalmente en el Gran Santiago, en las últimas décadas se han desarrollado procesos de urbanización, aumentando la superficie impermeable y quitando espacios a las áreas verdes que ayudan a mitigar las inundaciones funcionando como áreas de drenaje natural de las aguas. La impermeabilización de estos suelos aporta a que se generen problemas de escorrentía y drenaje de las aguas lluvia generando inundaciones cada vez que se presencia un sistema frontal (Universidad de Chile, 2015).	Aumento del impacto de eventos de crecida asociado a precipitaciones intensas.	Falta de estándares esenciales de infraestructura para reducir la vulnerabilidad a eventos climáticos extremos y promover infraestructura resiliente" compatible con los factores socioeconómicos. Falta de inversión en soluciones ecológicas y basadas en la naturaleza para proteger a la población de los peligros relacionados con el clima. Insuficiente colaboración con instituciones académicas para habilitar medidas de adaptación y mitigación y la gestión del riesgo de desastres en la generación de infraestructura resiliente.	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	4	1	1
Dentro de la región se presencian ciertas obras de resiliencia ligadas alo se observa infraestructura de resiliencia, tales como defensas fluviales y piscinas de control de crecidas, sin embargo, gran parte de la infraestructura existente cuenta con planes desactualizados a la realidad actual de la región y su crecimiento urbano y poblacional. por lo que es necesario fortalecer la infraestructura para enfrentar situaciones de emergencia y desastres naturales, así como para garantizar la sostenibilidad y calidad de vida de una población en constante crecimiento en la región (GORE Metropolitano, 2021)	Aumento del impacto por eventos de deslizamientos de tierra sobre infraestructura y poblaciones.	Falta de estándares esenciales de infraestructura para reducir la vulnerabilidad a eventos climáticos extremos y promover infraestructura resiliente" compatible con los factores socioeconómicos. Falta de inversión en soluciones ecológicas y basadas en la naturaleza para proteger a la población de los peligros relacionados con el clima. Insuficiente colaboración con instituciones académicas para habilitar medidas de adaptación y mitigación y la gestión del riesgo de desastres en la generación de infraestructura resiliente.	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. o 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	1	1

N/A: Evaluación de la brecha no aplica a la cuenca. s/i: La cuenca no cuenta con suficiente información para evaluar el indicador.
 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 Metropolitana

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

4.3.1.1 Objetivos

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

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

- Asegurar el acceso universal a los servicios básicos de infraestructura, en particular en comunidades urbanas y rurales marginadas y desatendidas. Esto incluye garantizar el derecho humano al agua mediante la provisión de servicios de agua potable y saneamiento suficientes, seguros, aceptables, accesibles y asequibles. Se busca brindar infraestructura de calidad para reducir las disparidades territoriales, promover la equidad social y la igualdad de oportunidades y mejorar la calidad de vida en general, con un enfoque de género. Las prioridades incluyen apoyar a los asentamientos rurales más pequeños, mejorar el acceso a los servicios básicos y desarrollar infraestructura estratégica para fomentar el crecimiento sostenible en estas áreas. Además, establece estándares mínimos de calidad y cobertura para la infraestructura de abastecimiento de agua potable rural y acelerar su aprobación, al tiempo que se fortalecen las capacidades de gestión y tecnológicas.
- Garantizar el acceso universal a servicios de agua y saneamiento de alta calidad, equitativos y sostenibles. Priorizar el desarrollo de iniciativas de saneamiento y la reutilización de aguas residuales urbanas y rurales puede mejorar el bienestar de la comunidad, proteger la calidad ambiental y crear nueva disponibilidad de agua en áreas con escasez de agua, contribuyendo a una economía circular del agua. Además, el objetivo enfatiza la investigación e identificación de recursos hídricos nuevos y existentes para permitir una gestión y uso eficiente, sostenible y asequible del agua, al tiempo que se garantiza la calidad para diversas aplicaciones. Además, pretende mejorar la calidad, la sostenibilidad a largo plazo y la

administración de los servicios básicos en las zonas rurales, y abordar y prevenir la segregación social urbana.

ii. Dimensión para la producción sostenible y eficiencia hídrica

- Mejorar la infraestructura hídrica, la eficiencia en la distribución y el almacenamiento de agua para proveer de agua dulce a los procesos productivos, generando sinergias en los territorios e impulsando proyectos multipropósito que maximicen los beneficios y oportunidades para el desarrollo integral del entorno. También se busca optimizar el uso del agua, permitiendo aumentar la superficie irrigada y el número de participantes en las actividades agrícolas, con el objetivo de desarrollar alternativas agrícolas competitivas para mantener el creciente desarrollo agrícola de la región.
- Impulsar una transición socioecológica justa para la gestión sostenible de los recursos hídricos a nivel de cuenca. Esto implica fomentar prácticas, tecnologías y menores requerimientos de producción para conciliar el consumo de agua en los diversos sectores de demanda con la disponibilidad de agua a nivel de cuenca, promoviendo así un balance hídrico sostenible. Además, busca fomentar la investigación e identificación de fuentes de agua nuevas y existentes para permitir una gestión y calidad del agua eficiente, sostenible y asequible en diversos usos.

iii. Dimensión para la conservación y preservación de los ecosistemas

- Promover la preservación de los ecosistemas mediante un enfoque descentralizado y equilibrado que adapte los servicios de infraestructura, los sistemas económicos productivos y los asentamientos a las capacidades de cada territorio. Desarrollar infraestructura hídrica multipropósito y soluciones basadas en la naturaleza para proteger y restaurar fuentes de agua, fortaleciendo los servicios ecosistémicos críticos. Integrar la biodiversidad y los servicios ecosistémicos en la planificación y regulación del uso del suelo rural para equilibrar la conservación con las necesidades humanas de seguridad hídrica. Incentivar la restauración de áreas degradadas y establecer objetivos de mejora ambiental para las ciudades, priorizando la eficiencia de los recursos hídricos y asegurando la calidad para la flora y fauna de la región.
- Evaluar los sistemas naturales como soporte fundamental en la planificación y diseño de intervenciones territoriales, e integrar este componente en políticas sectoriales específicas, normatividad y planes especiales, generando conciencia sobre su valor y la necesidad de protección, restauración, reparación y remediación. Para ello es clave la medición y monitoreo de las variables ambientales que caracterizan los servicios ecosistémicos, y la promoción de prácticas de construcción sustentable en la planificación. También promueve el

inventario, caracterización y difusión de información sobre las condiciones del suelo y los cambios de uso del suelo, para anticipar y mitigar los riesgos potenciales de alteración o degradación de sus funciones.

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

- Establecer estándares esenciales de infraestructura para reducir la vulnerabilidad a eventos climáticos extremos, promover infraestructura resiliente y considerar factores socioeconómicos en los esfuerzos de adaptación. Se pretende enfatizar la necesidad de proteger a la población de los peligros relacionados con el clima, invertir en soluciones ecológicas y basadas en la naturaleza y asegurar la compatibilidad de la infraestructura. Además, el estudio destaca la importancia de colaborar con instituciones académicas para habilitar medidas de adaptación y mitigación. También se enfatiza la incorporación de la gestión del riesgo de desastres en la generación de infraestructura resiliente para proteger el territorio y las personas de los efectos del cambio climático, salvaguardando la infraestructura crítica. Estas medidas tienen como objetivo reducir los riesgos relacionados con el agua al mitigar y compensar los posibles impactos ambientales y sociales negativos.

4.3.1.2 Acciones o Iniciativas 2010-2022

En análisis de las iniciativas estratégicas de inversión en la región Metropolitana (ver acápite 3.1.2) se identificaron un total de 181 iniciativas entre 2010 y 2022, distribuidas en consumo humano, desarrollo económico, conservación de recursos hídricos 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, desalinización, infraestructura de riego, infraestructura de distribución de agua, obras de acumulación de agua, drenaje de aguas, reúso de aguas residuales, redes de aguas lluvias, captación de aguas, trasvase de aguas, recarga de acuíferos y conservación de riberas. 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 Metropolitana

Objetivos y problemas identificados en la región (O)		Tipo de iniciativas necesarias para alcanzar objetivos (A)		
Dimensión SH	Objetivos regionales específicos	Infraestructura estructural	Infraestructura no estructural	Medidas de Gestión
D1. Derecho humano al agua, saneamiento y consumo humano de subsistencia	Asegurar el acceso universal a los servicios básicos de infraestructura, en particular en comunidades urbanas y rurales marginadas y desatendidas. Esto incluye garantizar el derecho humano al agua mediante la provisión de servicios de agua potable y saneamiento suficientes, seguros, aceptables, accesibles y asequibles. Se busca brindar infraestructura de calidad para reducir las disparidades territoriales, promover la equidad social y la igualdad de oportunidades y mejorar la calidad de vida en general, con un enfoque de género. Las prioridades incluyen apoyar a los asentamientos rurales más pequeños, mejorar el acceso a los servicios básicos y desarrollar infraestructura estratégica para fomentar el crecimiento sostenible en estas áreas. Además, establece estándares mínimos de calidad y cobertura para la infraestructura de abastecimiento de agua potable rural y acelerar su aprobación, al tiempo que se fortalecen las capacidades de gestión y tecnológicas.	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	
		Conservación y restauración de riberas y cauces Control de erosión	Conservación y restauración de riberas y cauces	Manejo de quebradas
	Garantizar el acceso universal a servicios de agua y saneamiento de alta calidad, equitativos y sostenibles. Priorizar el desarrollo de iniciativas de saneamiento y la reutilización de aguas residuales urbanas y rurales puede mejorar el bienestar de la comunidad, proteger la calidad ambiental y crear nueva disponibilidad de agua en áreas con escasez de agua, contribuyendo a una economía circular del agua. Además, el objetivo enfatiza la investigación e identificación de recursos hídricos nuevos y existentes para permitir una gestión y uso eficiente, sostenible y asequible del agua, al tiempo que se garantiza la calidad para diversas aplicaciones. Además, pretende mejorar la calidad, la sostenibilidad a largo plazo y la administración de los servicios básicos en las zonas rurales, y abordar y prevenir la segregación social urbana.	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	Mejorar la infraestructura hídrica, la eficiencia en la distribución y el almacenamiento de agua para proveer de agua dulce a los procesos productivos, generando sinergias en los territorios e impulsando proyectos multipropósito que maximicen los beneficios y oportunidades para el desarrollo integral del entorno. También se busca optimizar el uso del agua, permitiendo aumentar la superficie irrigada y el número de participantes en las actividades agrícolas, con el objetivo de desarrollar alternativas agrícolas competitivas para mantener el creciente desarrollo agrícola de la región.	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
	Impulsar una transición socioecológica justa para la gestión sostenible de los recursos hídricos a nivel de cuenca. Esto implica fomentar prácticas, tecnologías y menores requerimientos de producción para conciliar el consumo de agua en los diversos sectores de demanda con la disponibilidad de agua a nivel de cuenca, promoviendo así un balance hídrico sostenible. Además, busca fomentar la investigación e identificación de fuentes de agua nuevas y existentes para permitir una gestión y calidad del agua eficiente, sostenible y asequible en diversos usos.	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

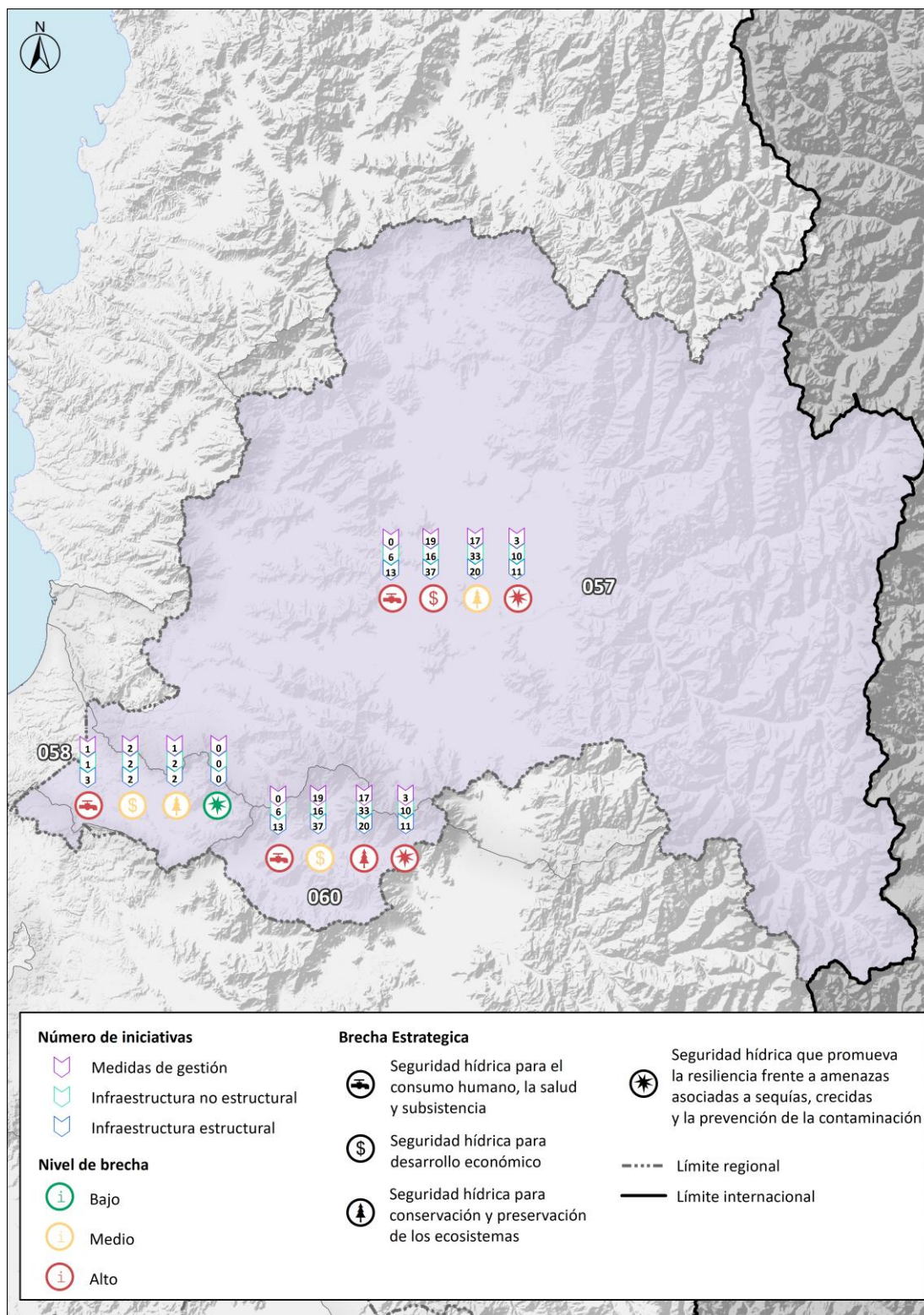
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.3-2 Tipología de iniciativas asociadas a resolver brechas estratégicas en la región Metropolitana (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	Promover la preservación de los ecosistemas mediante un enfoque descentralizado y equilibrado que adapte los servicios de infraestructura, los sistemas económicos productivos y los asentamientos a las capacidades de cada territorio. Desarrollar infraestructura hídrica multipropósito y soluciones basadas en la naturaleza para proteger y restaurar fuentes de agua, fortaleciendo los servicios ecosistémicos críticos. Integrar la biodiversidad y los servicios ecosistémicos en la planificación y regulación del uso del suelo rural para equilibrar la conservación con las necesidades humanas de seguridad hídrica. Incentivar la restauración de áreas degradadas y establecer objetivos de mejora ambiental para las ciudades, priorizando la eficiencia de los recursos hídricos y asegurando la calidad para la flora y fauna de la región.	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
	Evaluar los sistemas naturales como soporte fundamental en la planificación y diseño de intervenciones territoriales, e integrar este componente en políticas sectoriales específicas, normatividad y planes especiales, generando conciencia sobre su valor y la necesidad de protección, restauración, reparación y remediación. Para ello es clave la medición y monitoreo de las variables ambientales que caracterizan los servicios ecosistémicos, y la promoción de prácticas de construcción sustentable en la planificación. También promueve el inventario, caracterización y difusión de información sobre las condiciones del suelo y los cambios de uso del suelo, para anticipar y mitigar los riesgos potenciales de alteración o degradación de sus funciones.		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	Establecer estándares esenciales de infraestructura para reducir la vulnerabilidad a eventos climáticos extremos, promover infraestructura resiliente y considerar factores socioeconómicos en los esfuerzos de adaptación. Se pretende enfatizar la necesidad de proteger a la población de los peligros relacionados con el clima, invertir en soluciones ecológicas y basadas en la naturaleza y asegurar la compatibilidad de la infraestructura. Además, el estudio destaca la importancia de colaborar con instituciones académicas para habilitar medidas de adaptación y mitigación. También se enfatiza la incorporación de la gestión del riesgo de desastres en la generación de infraestructura resiliente para proteger el territorio y las personas de los efectos del cambio climático, salvaguardando la infraestructura crítica. Estas medidas tienen como objetivo reducir los riesgos relacionados con el agua al mitigar y compensar los posibles impactos ambientales y sociales negativos.	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
			Analisis sistemas glaciares y periglaciares	Manejo de quebradas Manejo de normas ambientales e hídricas Planes y políticas

Fuente: Elaboración propia.

Considerando lo anterior, en la Figura 4.2-1 se presenta un resumen del número de iniciativas catastradas, que por diferentes razones aún no se han ejecutado (ver acápite 3.1.2 y detalles en el Anexo 09.04), y que pudiesen resolver alguna de las diferentes brechas de seguridad hídrica identificadas en el Capítulo 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 Metropolitana

4.3.1.3 Incertidumbres

i. Sobre factores técnicos y disponibilidad de información

Las incertidumbres que pueden afectar la implementación de las iniciativas estratégicas en la región Metropolitana se obtienen a partir de la revisión de la cartera de proyectos y sus fichas BIP. Se identifican diversas falencias técnicas que han contribuido a observaciones y solicitudes de corrección, estas observaciones destacan la importancia de una preparación exhaustiva y rigurosa de los proyectos para asegurar su aprobación y la obtención de los recursos necesarios para su implementación. A continuación, se detallan algunas de las correcciones solicitadas a proyectos realizados en la región Metropolitana. En el proyecto de construcción de obras fluviales en el río Mapocho, se les requiere a los ejecutantes remitir el perfil del proyecto, corregir el resumen ejecutivo del estudio de diseño, y proporcionar toda la planimetría y especificaciones técnicas visadas por la DOH. Además, se les solicita un presupuesto detallado, un cronograma de actividades, y la certificación de participación ciudadana, junto con una revisión de la ficha IDI. Para el proyecto de embalse y trasvase en el Valle de Popeta, la contraparte recomienda una etapa de prefactibilidad, destacando la necesidad de aumentar la disponibilidad hídrica para riego, con una evaluación social que incluye la expansión de la superficie de riego y una TIR del 11.03%. En la construcción de obras de aguas lluvias en Melipilla, se actualizan observaciones enfatizando la necesidad de desarrollar el perfil del proyecto según la metodología de formulación y evaluación de proyectos de evacuación y drenaje de aguas lluvias, además se requiere información sobre la pertinencia del ingreso al SEA. Finalmente, para el diagnóstico del plan maestro de aguas lluvias de Buin y Paine, la contraparte recomienda ejecutar el estudio para obtener la información necesaria para la formulación del plan maestro, con un plazo de ejecución de 20 meses.

ii. Sobre factores socioambientales

En el contexto de 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.

De acuerdo con el documento “Conflictos por el agua en Chile: Entre los derechos humanos y las reglas del Mercado” (Larraín & Poo, 2010), el consumo de agua potable en la región Metropolitana es significativamente alto, mientras que la privatización de la gestión del agua ha provocado la concentración de recursos en manos de consorcios

transnacionales. Esta situación ha influido en las tarifas, provocando conflictos asociados a la distribución y acceso al agua, especialmente en áreas rurales y periféricas.

Uno de los casos más destacados es el Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo, planeado por AES Gener en la comuna de San José de Maipo, que afectará los ríos Volcán, Yeso y Colorado. Este proyecto, que incluye la construcción de dos centrales hidroeléctricas y diversas obras de regulación, alterará significativamente el caudal del río Maipo, impactando negativamente en los ecosistemas y en las actividades económicas locales, como la agricultura y el turismo. La empresa Aguas Andinas se opone al proyecto debido a la competencia por el agua potable, que abastece a 6 millones de habitantes dentro de la región.

Otro conflicto relevante se desarrolla en la comunidad de San José de Maipo, donde la empresa HYDROWAC pretende construir los proyectos hidroeléctricos San José 1 y San José 2 en el Estero San José. Esta intervención secaría el estero desde Tres Esteros hasta el río Maipo, afectando el riego y el suministro de agua potable para aproximadamente 400 familias. La comunidad, liderada por diversas organizaciones, ha desarrollado una campaña de oposición con apoyo técnico y legal.

En San Pedro de Melipilla, según Larraín y Poo (2010) la sobreexplotación de los acuíferos por grandes empresas agroindustriales ha provocado una grave escasez de agua, afectando a más de 1.500 familias que dependen de camiones aljibe para abastecerse. Empresas como Ariztía y Agrosuper poseen derechos de agua desproporcionados en relación a la comunidad, lo que ha provocado un deterioro en la calidad de vida de las personas y en la economía local. La falta de intervención estatal ha agravado la crisis, y las comunidades organizadas han denunciado la situación sin recibir soluciones efectivas.

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.

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 09.05.

En la Tabla 4.3-3 se presenta el universo y las metas por tipología utilizadas para definir la cartera asociada a las iniciativas estratégicas. En el Anexo 09.07, se presenta el detalle por tipo de inversión.

Tabla 4.3-3 Universo y metas de infraestructura según tipología en la región Metropolitana

Código TP	Tipología de Proyecto (TdP)	N° inversiones	Universo	Metas
1-1	Diseño, Construcción de Sistemas de Agua Potable Rural	25	Población sin Abastecer 2055	-
1-2	Ampliación y/o Mejoramiento de Servicios Existentes de Agua Potable Rural	46	Población sin Abastecer 2055	-
1-3	Implementación de Sistemas Operacionales de Telemetría y Control en Sistemas de Agua Potable Rural	3	Total de APR existentes y Proyectados 2055	-
1-4	Diseño, Construcción de Alcantarillado y Tratamiento de Aguas Servidas en Servicios Sanitarios Rurales	33	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	19	Planes de Recursos Hídricos y Riego según Vigencia	-
2-2	Diseño y Construcción de Plantas Desaladoras y Desalinizadoras	2	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	27	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	20	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	10	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	11	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	24	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	7	Cuantificado según número de inversiones	-
3-2	Diseño, Construcción e Implementación de Tecnologías en Estaciones de Calidad de Aguas en Cuencas	11	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	2	Cuantificado según número de inversiones	-
3-5	Diseño, Construcción e Implementación de Tecnologías en Pozos de Observación	6	Cuantificado según número de inversiones	-
3-6	Desarrollo e Implementación de una Gestión Integrada de Recursos Hídricos en Cuencas	38	Cuantificado según número de inversiones	-
4-1	Conservación, Restauración y Protección de Humedales, Riberas y Cauces	21	-	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	14	Priorizar ejecución de estudios	-
5-1	Diseño, Construcción de Obras de Control Aluvional en Cauces y Quebradas	10	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	26	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	37	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

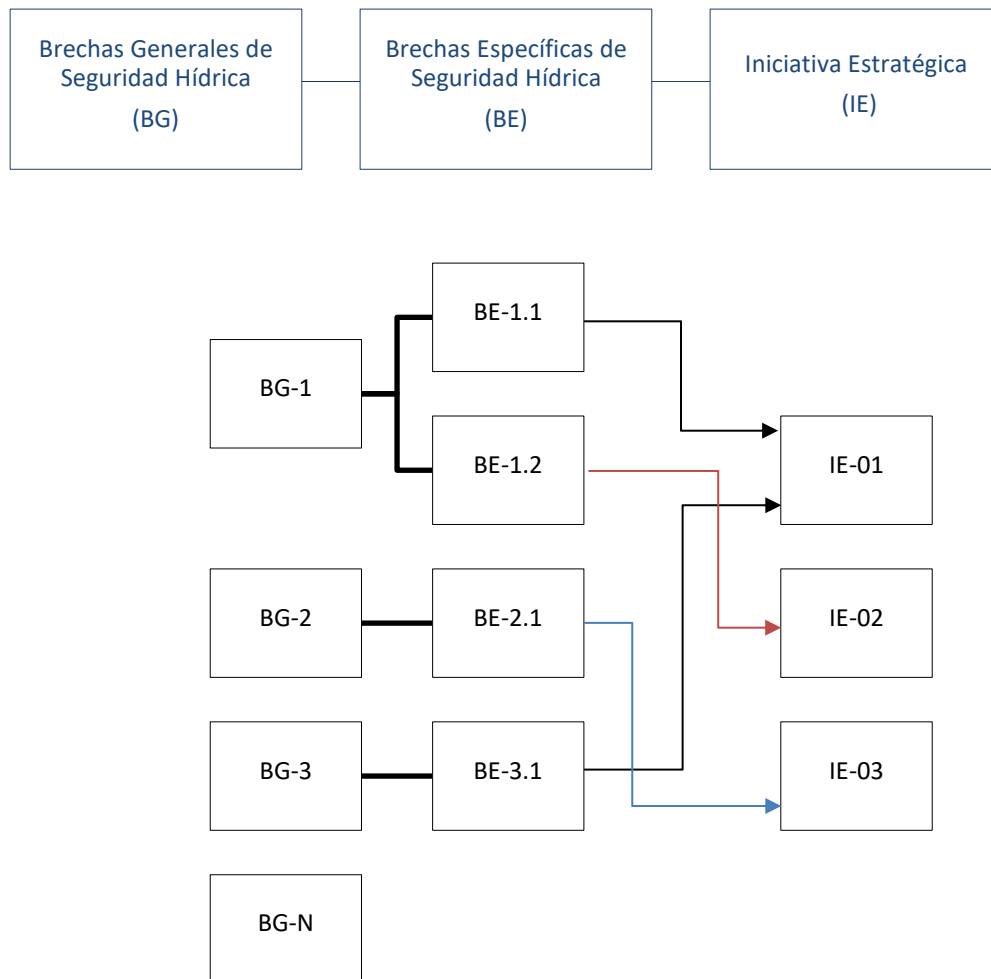
En el presente acápite se identifican las iniciativas estratégicas y sus carpetas de pre/inversión hídrica a considerar en una planificación prospectiva a 2055.

En el Anexo 09.07 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 (RM), *INI – EST* la abreviación de “Iniciativas Estratégica” y *NN* un número correlativo.

Para esta región se han identificado las siguientes iniciativas estratégicas:

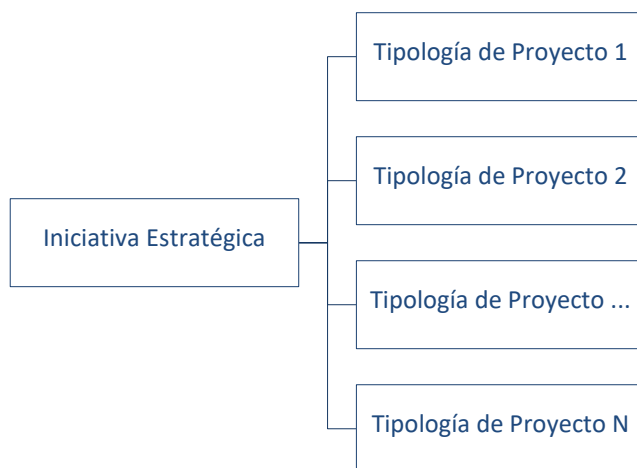
Tabla 5.1-1 Iniciativas Estratégicas

Iniciativas Estratégicas	Código Iniciativa Estratégica
Ampliación, conservación y mejoramiento operacional y tecnológico de SSR en agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas servidas	RM-INI-EST-01
Fuentes de abastecimiento sustentables para consumo humano y riego	RM-INI-EST-02
Implementación de un sistema de seguimiento y monitoreo integral, asociado a una gestión integrada de cuencas	RM-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	RM-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	RM-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 Metropolitana las Tipologías de proyectos son los presentados en la Tabla 5.2-1.

Tabla 5.2-1 Tipologías de Proyectos por Iniciativas Estratégicas

RM-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
RM-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
RM-INI-EST-03	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
RM-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
RM-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.

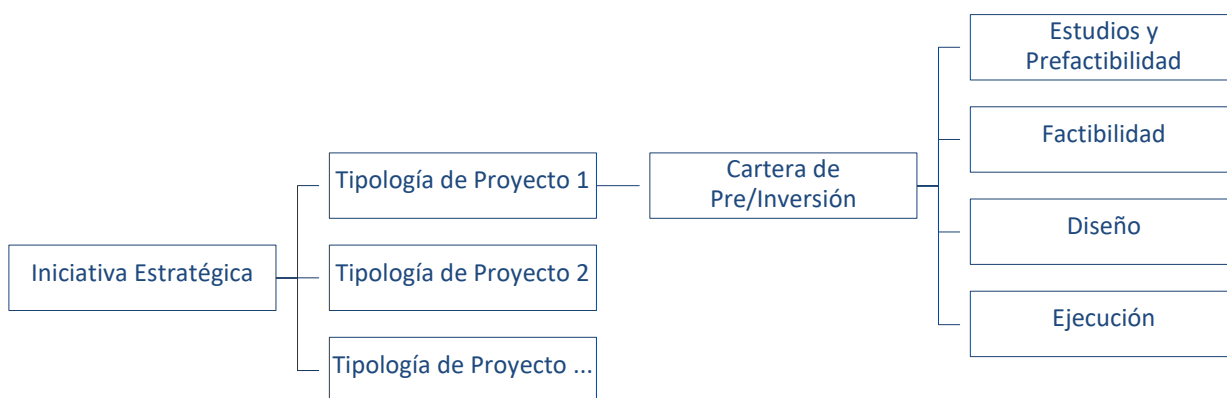


Figura 5.3-1 Diagrama Estructura Iniciativas Estratégica, Tipología de Proyectos y Cartera de Pre/Inversiones

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. 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 (RM), “IE” el número correlativo de la Iniciativa estratégica, “TP” la tipología de proyecto a la que pertenece y NN un número de correlativo.

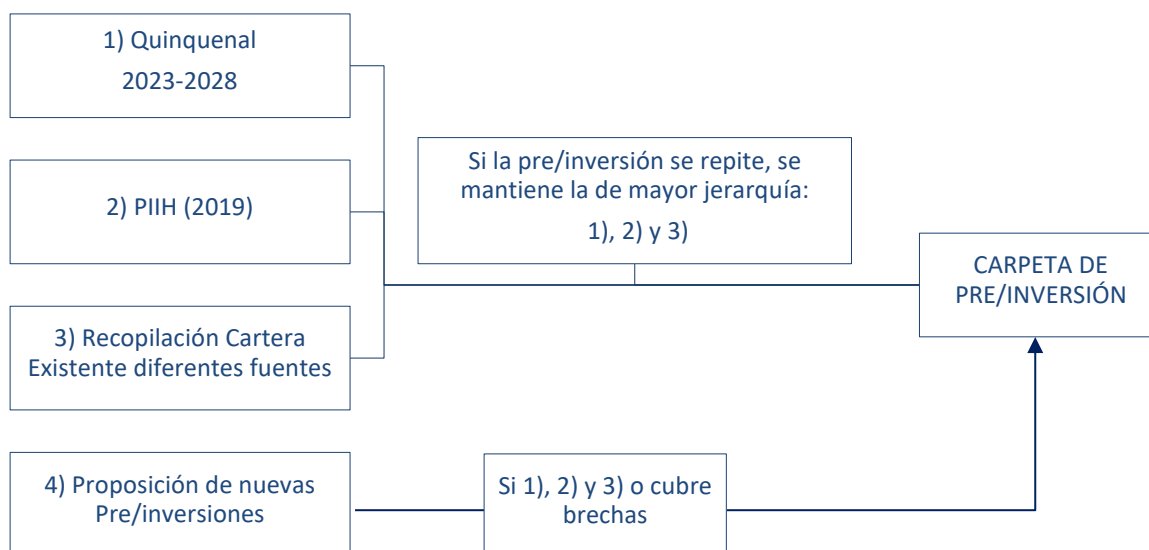


Figura 5.3-2 Diagrama de Composición de Cartera de Pre/inversión

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 RM-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 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 09.07.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.3-2 Criterios para la determinación de las iniciativas a proyectar RM-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 RM-INI-EST-03

Código	Descripción Tipología	Criterios para la determinación de las iniciativas a proyectar
3-1	Diseño, Construcción e Implementación de Tecnologías en Estaciones Fluviométricas 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 09.07). 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 Fluviométrica. 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 09.07
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 09.07.
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 RM-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 RM-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
64	NE-3-01				Estudio Definición de franjas de restricción y Prohibición por riesgo de inundación, erosión u otro	Ejecución	350.000	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
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 Drenaje de Aguas Lluvias	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
89	ES-5-03				Construcción Estero/Canal de Aguas Lluvias, Ciudad de	Diseño	300.000	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
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 09.07.

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\$)
RM-INI-EST-01	107	601.584.598
RM-INI-EST-02	113	515.305.933
RM-INI-EST-03	68	36.516.375
RM-INI-EST-04	35	74.937.466
RM-INI-EST-05	73	188.523.768
TOTAL	396	1.416.868.141

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:
 - Mas 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 09.07.

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	Incidenia
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 09.07.

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 SOCIOECONÓMICA Y PRIORIZACIÓN DE LAS INICIATIVAS

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 Saneamiento [D1 - AS] Media Baja [8]: Iniciativas vinculadas a Conservación [D3] Media Baja [8]: Iniciativas vinculadas a Resiliencia [D4] Baja [6]: 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 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] Media Baja [8]: 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] Baja [6]: 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.

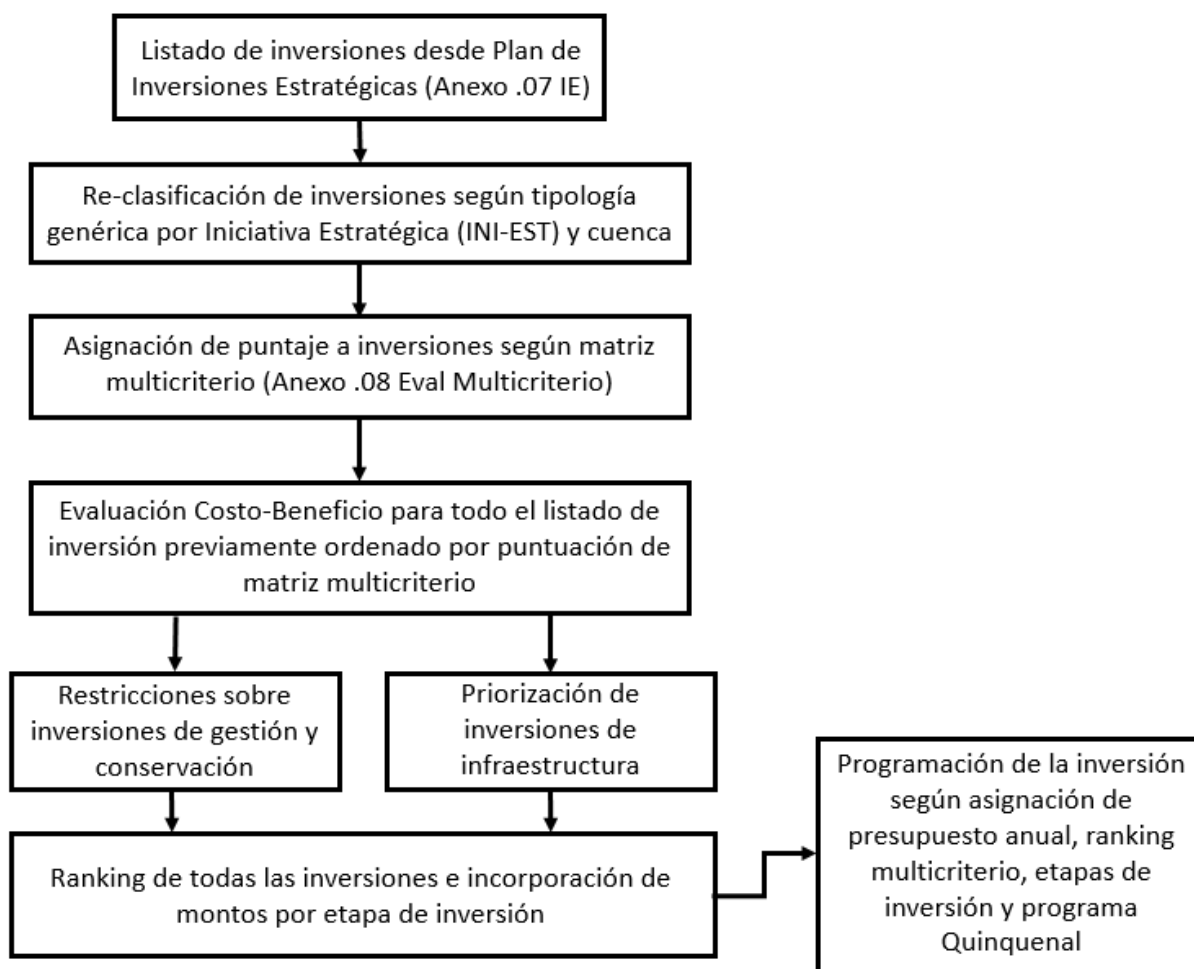
6.3 PRIORIZACIÓN Y CARTERA DE INVERSIONES

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 de Metropolitana, este equivale a \$10.000.000 (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 \$35.750.000 (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.

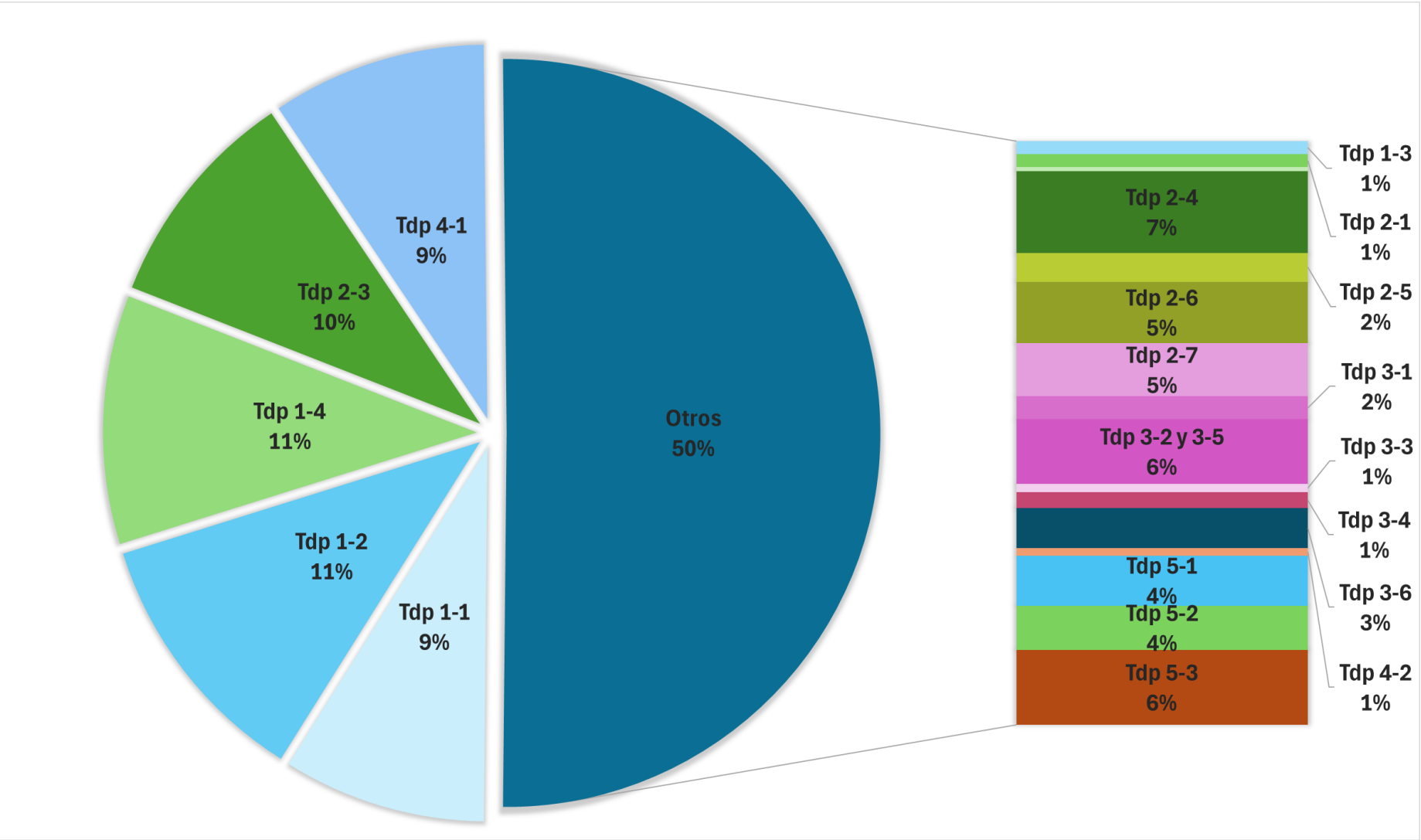
Para una revisión más detallada del procedimiento utilizado, en la Figura 6.3-1 se presenta un diagrama del proceso de priorización multicriterio y la generación de la cartera de inversión desarrollada para cada región.



Fuente: Elaboración propia

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

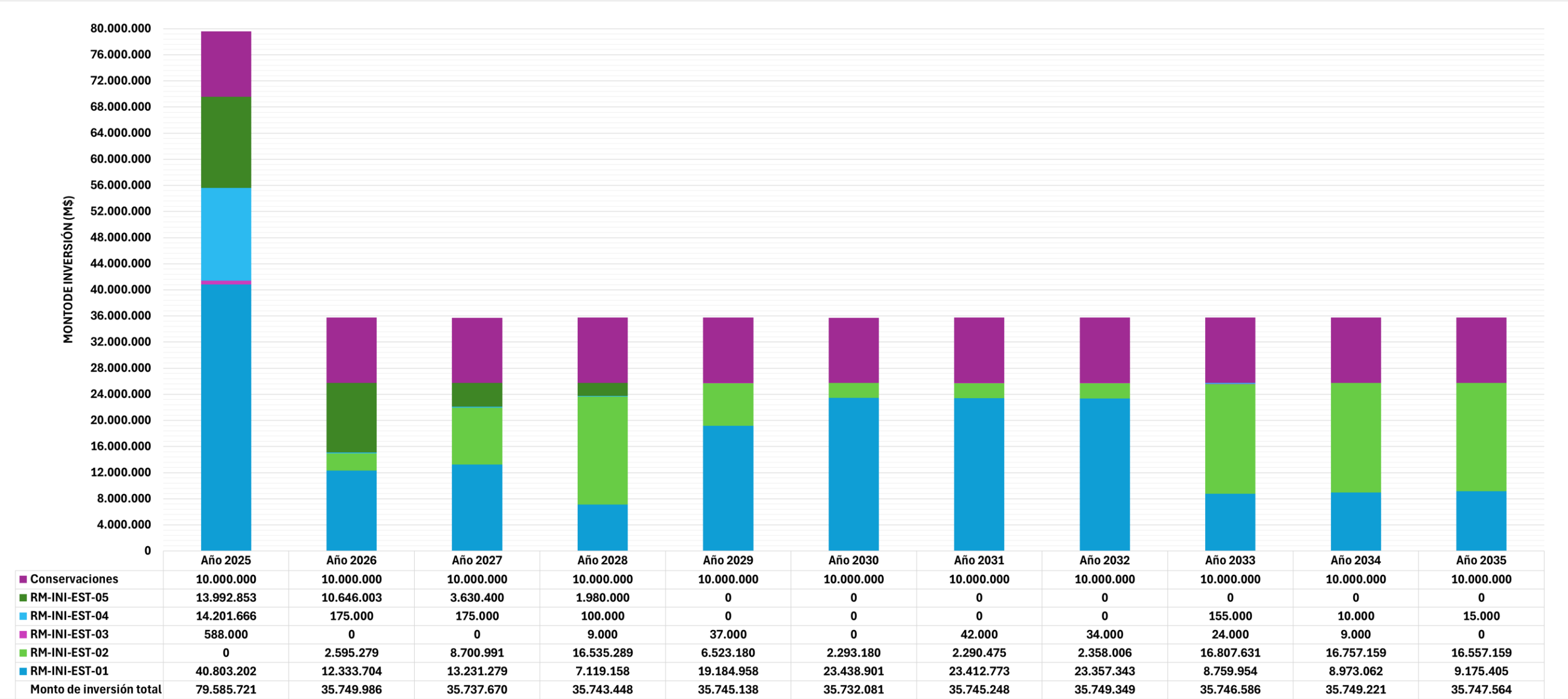
Finalmente, en la Figura 6.3-2 se presenta la cartera de inversión por tipología de proyecto, con su respectiva cantidad y porcentaje. En la Figura 6.3-3 se presenta la cartera de inversiones por cada iniciativa estratégica en la que se desarrollan. En la Figura 6.3-4 se presenta la cartera de inversiones 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 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
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

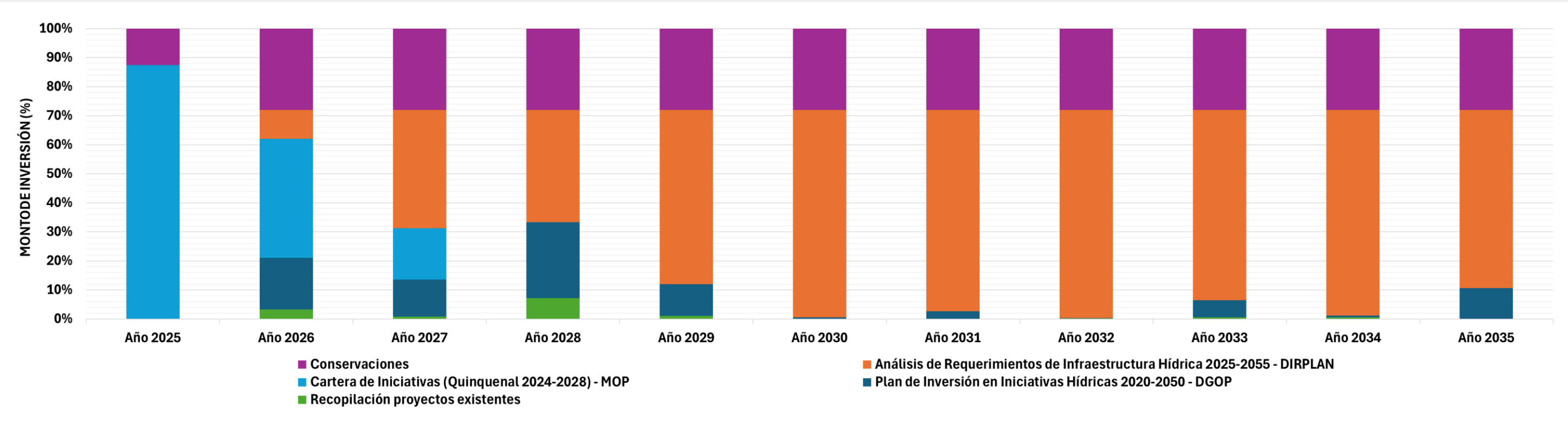
Figura 6.3-2 Composición de la cartera de inversión por tipología de proyecto para la región Metropolitana



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 la calidad del agua
INI-EST-03	Implementación de un sistema de seguimiento y monitoreo integral, asociado a una gestión integrada de cuencas nacionales y transnacionales
INI-EST-04	Obras y medidas de protección y recuperación de sistemas ecosistémicos naturales, basadas en la naturaleza con énfasis en prevenir desertificación y erosión
INI-EST-05	Sistema integral de infraestructura resiliente en cauces y quebradas para la seguridad territorial y protección de la población, además del manejo de los flujos excedentes del invierno altiplánico

Fuente: Elaboración propia

Figura 6.3-3 Cartera de inversión por tipo de iniciativa estratégica para la región Metropolitana



Fuente: Elaboración propia

Figura 6.3-4 Cartera de inversión por tipo de fuente de inversión para la región Metropolitana

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, Eriqat, & 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 Metropolitana de Santiago es el principal centro urbano, económico y político de Chile, concentrando el 40% de la población nacional. Se compone de seis provincias: Santiago, Chacabuco, Cordillera, Maipo, Melipilla y Talagante, con una fuerte concentración demográfica en el Área Metropolitana de Santiago (AMS), mientras que las zonas rurales presentan una menor densidad de población. Para el año 2035, se proyecta que la población alcance los 8,84 millones de habitantes, con un crecimiento del 24% respecto a 2017, lo que ejercerá una mayor presión sobre la infraestructura y los recursos hídricos. Comunas como Lampa, Quilicura y Colina están registrando tasas de crecimiento elevadas, mientras que otras más centrales, como Pedro Aguirre Cerda, San Ramón y Lo Espejo, muestran un decrecimiento poblacional.

El acceso a agua potable es alto en las zonas urbanas de la región, con una cobertura del 98% de las viviendas conectadas a la red pública, aunque algunas provincias han experimentado leves reducciones. En Talagante la cobertura disminuyó de 92% a 90%. En contraste, en la Provincia de Chacabuco, donde se encuentran comunas como Colina, la cobertura mejoró, aumentando de 88% a 90% en el mismo período. Sin embargo, en las zonas rurales de la región, donde la población representa el 4% del total regional, la cobertura de agua potable es desigual. Un 11% de las viviendas rurales no tiene acceso a la red pública, dependiendo de fuentes alternativas como pozos y camiones aljibe, lo que evidencia una brecha crítica de abastecimiento.

En términos de saneamiento, la Región Metropolitana presenta un alto nivel de cobertura en las áreas urbanas, pero con brechas significativas en sectores rurales. Según datos del Sistema de Indicadores de Calidad de Vida Rural (SICVIR), la comuna de Tiltil, en la Provincia de Chacabuco, refleja que solo el 1% de la población rural tiene acceso a la red de alcantarillado, mientras que el 2% carece completamente de este servicio, utilizando fosas sépticas o sistemas informales de disposición de aguas servidas. En cuanto a las zonas urbanas, el 97% de la población de la región cuenta con alcantarillado, pero la sobrecarga de los sistemas de tratamiento de aguas servidas genera riesgos de contaminación, particularmente en la cuenca del río Maipo (BNA 057), donde se vierten aguas residuales tratadas que son reutilizadas en riego agrícola.

El panorama hídrico de la región enfrenta serios desafíos debido a la sobreexplotación de fuentes y el cambio climático. El río Maipo (BNA 057) es la principal fuente de abastecimiento, cubriendo cerca del 70% de la demanda de agua potable urbana y el 90%

del riego agrícola en la región. La demanda de agua potable en esta cuenca aumentará de 609Mm³ en 2022 a 720Mm³ en 2055, reflejando un crecimiento del 18%. En zonas rurales, la demanda proyectada para 2055 es de 21 Mm³, con un aumento del 21% respecto a 2022. La eficiencia en la distribución del agua potable presenta desafíos, ya que el 36% de las viviendas rurales están conectadas a la red, mientras que el 11% depende de sistemas informales o está en riesgo de abastecimiento.

El sector agrícola es el principal consumidor de agua en la región, representando el 77% del aumento total de la demanda consuntiva proyectada para 2055. Actualmente, la demanda hídrica agrícola en la cuenca del río Maipo es de 2.261 Mm³/año, y se espera que llegue a 2.647 Mm³/año en 2055, con un incremento del 17%. La eficiencia del riego es baja, con un promedio del 55% de eficiencia, lo que indica pérdidas significativas de agua en canales y sistemas de riego tradicionales. Los sectores con mayor crecimiento en consumo son los cultivos de viñas y parronales, cuya demanda aumentará en un 157% entre 2023 y 2055 debido a la expansión de la superficie cultivada y al incremento en las tasas de evapotranspiración producto del cambio climático.

El sector industrial también presenta un aumento sostenido en el consumo de agua, pasando de 25 Mm³ en 2023 a 51 Mm³ en 2055, lo que representa un crecimiento del 102%. La eficiencia del uso del agua en la industria varía según el sector, con la manufactura y la agroindustria mostrando los mayores consumos. La minería, concentrada en la cuenca del río Maipo (BNA 057), aumentará su demanda de 30 Mm³ en 2023 a 55 Mm³ en 2055, lo que equivale a un crecimiento del 82%. La eficiencia en el uso del agua en minería ha mejorado con el uso de recirculación en procesos productivos, pero aún depende en gran medida de fuentes de agua continental, con un consumo unitario de 0,8 m³ por tonelada de material procesado.

La vulnerabilidad de la Región Metropolitana ante eventos climáticos extremos se ha incrementado en los últimos años. Desde 2008 hasta 2023, se han emitido 80 decretos de escasez hídrica, reflejando la intensificación de la sequía. Se proyecta una reducción del 11% en la escorrentía del río Maipo para 2055, lo que agravará la disponibilidad hídrica. Además, entre 1977 y 2023, se registraron 20.561 incendios forestales, lo que pone en riesgo las zonas periurbanas y las fuentes de agua. La infraestructura para la gestión de inundaciones y crecidas es limitada, con solo dos embalses relevantes en la región: El Yeso (220 Hm³) y Rungue (1,7 Hm³), los cuales operan en niveles críticos durante periodos de sequía.

En términos de planificación territorial, solo 8 comunas han actualizado sus Planes Reguladores Comunes (PRC) en los últimos 10 años, mientras que otras, como San Ramón y La Pintana, tienen regulaciones desactualizadas desde 1952. Esta falta de actualización limita la capacidad de respuesta a la expansión urbana y la sobrecarga de infraestructura

hídrica. En términos de infraestructura de monitoreo, la red hidrométrica cuenta con 372 estaciones de medición, con una alta concentración en la cuenca del río Maipo (BNA 057), pero con cobertura insuficiente en las provincias de Melipilla y Talagante.

Para abordar estos desafíos, se requiere una estrategia integral que incluya la modernización de la infraestructura hídrica, la mejora en la eficiencia del riego agrícola, la diversificación de fuentes de agua, y la actualización de los instrumentos de planificación territorial. La implementación de proyectos de reutilización de aguas residuales en la cuenca del Maipo, el desarrollo de infraestructura multipropósito y la promoción de tecnologías de riego eficiente pueden contribuir a reducir la presión sobre los recursos hídricos. La transición hacia un modelo de gestión hídrica sostenible en la Región Metropolitana dependerá de la capacidad de integrar soluciones basadas en la naturaleza, optimizar la eficiencia en el uso del agua y fortalecer la gobernanza del recurso a nivel regional.

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 demanda hídrica en la Región Metropolitana se proyecta al alza en todas las áreas de consumo, con un crecimiento del 25% al año 2055, liderado por el sector agrícola (77% del incremento) y el consumo de agua potable urbana (14% del incremento total). La cuenca del río Maipo (BNA 057), que abastece el 70% del agua potable urbana y el 90% del agua de riego agrícola, enfrentará un aumento en la demanda de 608,87 Mm³ en 2022 a 719,86 Mm³ en 2055. En paralelo, la oferta hídrica proyectada muestra una disminución del caudal de 10,8% para el río Maipo debido a la reducción de precipitaciones y la menor escorrentía glaciar proyectada. Esta situación incrementará la competencia por el recurso entre distintos sectores económicos y urbanos, obligando a tomar decisiones estratégicas sobre priorización de usos, infraestructura de almacenamiento y reutilización de aguas residuales. La eficiencia en el uso del agua es otro desafío crítico. En el sector agrícola, que es el principal consumidor de agua en la región, se registra una eficiencia promedio del 55%, lo que significa que casi la mitad del recurso se pierde por sistemas de riego ineficientes. En el sector industrial, el uso del agua aumentará en un 102% entre 2023 y 2055, principalmente en manufactura y agroindustria. La minería en la cuenca del río Maipo también incrementará su consumo en un 82%, pasando de 29,95 Mm³ en 2023 a 55,45 Mm³ en 2055. Este crecimiento, sin mejoras en la eficiencia y sin diversificación de fuentes, generará un escenario de mayor presión sobre la

gestión del recurso, requiriendo inversiones en desalación, recarga artificial de acuíferos y optimización del uso en sectores productivos.

- **Vulnerabilidad frente al aumento de eventos extremos:** la Región Metropolitana enfrenta un proceso acelerado de desertificación y disminución de precipitaciones, con una reducción sostenida de la disponibilidad de agua superficial y subterránea. Entre 2008 y 2023, se han emitido 80 decretos de escasez hídrica, lo que evidencia la creciente recurrencia de periodos secos. Los modelos climáticos proyectan un aumento de la temperatura y una disminución del caudal en las principales fuentes hídricas de la región, afectando tanto la disponibilidad de agua potable como los sectores productivos que dependen del recurso. Además de la sequía, la región está expuesta a eventos extremos como inundaciones y aluviones, que han generado más de 331 episodios entre 1970 y 2014, afectando infraestructura crítica. En los últimos años, los incendios forestales han aumentado en frecuencia e intensidad, con 20.561 eventos entre 1977 y 2023, lo que impacta directamente en la capacidad de recarga de los acuíferos y en la conservación de cuencas estratégicas. La reducción de la cobertura vegetal en zonas altas de la cuenca del Maipo compromete la regulación hídrica, aumentando el riesgo de erosión y pérdida de suelos fértiles.

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” [RM-INI-EST-01].
- “Fuentes de abastecimiento sustentables para consumo humano y riego” [RM-INI-EST-02].
- “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” [RM-INI-EST-05].

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 Metropolitana 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 en la Región Metropolitana de Santiago se ha agudizado debido a la creciente asimetría entre la oferta y la demanda de agua. Este fenómeno, resultado de una conjunción de presiones demográficas, intensificación de actividades productivas, deterioro del marco regulatorio y alteraciones climáticas, ha llevado a una situación de vulnerabilidad estructural en la gestión del recurso hídrico. En este contexto, el estancamiento crítico en la seguridad hídrica afecta de manera transversal los sectores económicos, sociales y ambientales, revelando la urgencia de reformas políticas y tecnológicas que permitan revertir la trayectoria de degradación actual.

Desde una perspectiva económica, la crisis hídrica impacta de manera diferenciada a los sectores productivos. La actividad agrícola, en particular en las provincias de Melipilla y Chacabuco, se encuentra en un estado de vulnerabilidad creciente. Se proyecta un incremento del 25% en la demanda de agua para riego en la cuenca del río Maipo (BNA 057) hacia 2055. No obstante, la infraestructura de riego presenta graves deficiencias en

eficiencia y distribución, lo que reduce la disponibilidad efectiva del recurso. La conversión productiva hacia cultivos con menor requerimiento hídrico y la adopción de tecnologías de riego de alta eficiencia constituyen estrategias indispensables para mitigar este impacto.

El sector industrial y minero, particularmente concentrado en la provincia de Santiago, enfrenta una crisis paralela debido al creciente conflicto por la asignación del recurso hídrico. Se estima un aumento del 91% en la demanda de agua industrial hacia 2055, lo que generará tensiones con el abastecimiento de agua potable y el riego agrícola. En comunas como Quilicura, San Bernardo y Pudahuel, la ausencia de regulaciones rigurosas en el control de extracciones y la ineficiencia en la reutilización del recurso han exacerbado el problema. Este contexto, sumado a la elevación en los costos de producción asociados a la escasez hídrica, podría derivar en un éxodo industrial y en la pérdida de dinamismo económico regional.

En el ámbito urbano, las repercusiones de la crisis hídrica son especialmente severas en las comunas periféricas de la Región Metropolitana, como Lampa, Quilicura, San Bernardo y Puente Alto. En las áreas rurales de la provincia de Talagante, los sistemas de Agua Potable Rural (APR) presentan una capacidad limitada, dependiendo en muchos casos del abastecimiento por camiones aljibe. Mientras tanto, en zonas urbanas como Peñalolén y La Florida, la infraestructura de saneamiento se encuentra en un estado crítico, con redes de alcantarillado obsoletas y una cobertura insuficiente en sectores de expansión urbana. Esta situación no solo compromete la continuidad del suministro, sino que también incrementa los riesgos sanitarios asociados a la proliferación de enfermedades transmitidas por agua contaminada. En la provincia de Chacabuco, comunas como Colina y Tiltil presentan una deficitaria cobertura de alcantarillado, lo que agrava los problemas de contaminación y saneamiento.

El deterioro ambiental asociado a la crisis hídrica también se manifiesta en la degradación de ecosistemas acuáticos esenciales para la regulación hidrológica regional. La reducción de caudales en ríos y lagunas ha acelerado la desertificación de humedales como Batuco, lo que impacta la biodiversidad y compromete la capacidad de estos ecosistemas para mitigar eventos climáticos extremos. La carencia de un marco regulatorio actualizado para el control de vertimientos industriales y agroquímicos ha contribuido al deterioro de la calidad del agua en diversas cuencas, con consecuencias negativas para la población y los ecosistemas asociados.

Desde una perspectiva de gobernanza, la fragmentación institucional y la obsolescencia del marco normativo han obstaculizado la implementación de soluciones estructurales. La falta de coordinación entre organismos competentes ha generado una gestión desarticulada, en la que la asignación de derechos de agua responde a lógicas de corto plazo sin una

planificación de largo alcance. La ausencia de participación ciudadana en los procesos de decisión ha intensificado el malestar social y ha derivado en conflictos en torno a la distribución del recurso hídrico.

Para abordar esta problemática, es imperativo adoptar estrategias de mitigación y adaptación basadas en criterios científicos y de sostenibilidad. En primer lugar, la modernización de la infraestructura hídrica debe priorizarse, mediante la construcción de embalses y reservorios que permitan la regulación interanual de los recursos hídricos. Además, la recarga artificial de acuíferos debe consolidarse como un pilar de la gestión hídrica en la región, con el fin de asegurar la sostenibilidad de las fuentes subterráneas. La modernización de la red de riego también es crucial, ya que actualmente el 97% de la infraestructura de distribución de agua para riego en la cuenca del Maipo presenta filtraciones y pérdidas significativas. La eficiencia en el riego, que oscila entre un 53% en la cuenca del Maipo y un 86% en la cuenca de Costeras entre Maipo y Rapel (BNA 058), requiere la implementación de tecnologías avanzadas de optimización del agua.

Finalmente, la gobernanza del agua debe reformularse a partir de una estructura institucional robusta que garantice la gestión integral del recurso. La creación de una Agencia Metropolitana del Agua permitiría coordinar esfuerzos y establecer políticas hídricas coherentes con las necesidades territoriales. Asimismo, la implementación de regulaciones más estrictas para el uso industrial y agrícola del agua, junto con la promoción de mecanismos de reutilización, contribuiría a una mejor asignación y conservación del recurso hídrico en la región. La participación activa de la ciudadanía en la toma de decisiones debe fomentarse a través de espacios de deliberación y mecanismos de transparencia que aseguren una distribución equitativa y sostenible del agua en la Región Metropolitana.

7.2.2 Análisis de desafío gestionable

La Región Metropolitana de Santiago enfrenta una crisis hídrica cada vez más aguda, impulsada por la conjunción de factores estructurales y coyunturales. Entre los elementos determinantes se encuentran el crecimiento demográfico sostenido, la expansión urbana sin planificación hídrica adecuada, la disminución de la disponibilidad de recursos hídricos y las consecuencias del cambio climático. En términos específicos, se proyecta una reducción del 10,8% en la disponibilidad del caudal del río Maipo (BNA 057) y una disminución del 12,3% en la recarga de los acuíferos en la provincia de Chacabuco, lo que genera impactos severos en el abastecimiento de agua potable en comunas como Puente Alto, La Florida y Santiago Centro. Simultáneamente, la producción agrícola en áreas rurales como Melipilla, Paine y Buin enfrenta restricciones severas que comprometen su viabilidad económica.

La capacidad de respuesta de la región aún permite implementar medidas de adaptación y mitigación que eviten una crisis mayor. Sin embargo, es imperativo desarrollar estrategias de resiliencia estructurales que combinen reformas institucionales, mejoras en la eficiencia del consumo y modernización de infraestructuras hídricas.

Dentro de las soluciones de mayor impacto se encuentra la modernización y expansión de infraestructura hídrica clave, incluyendo la optimización de embalses estratégicos como El Yeso (San José de Maipo) y Rungue (Tiltil), ambos fundamentales para la regulación del recurso hídrico en épocas de déficit. Asimismo, se requiere fortalecer obras multipropósito que integren el uso del recurso en los sectores agrícola, industrial y energético. En esta línea, la implementación de defensas fluviales y mecanismos de control de crecidas en ríos como el Maipo y el Mapocho es fundamental para minimizar los efectos de eventos extremos que afectan tanto zonas urbanas densamente pobladas como sectores rurales con infraestructura más vulnerable.

La diversificación de las fuentes de abastecimiento de agua constituye otro pilar de la estrategia de adaptación. La implementación de recarga artificial en los acuíferos del río Maipo (BNA 057) permitiría mitigar el impacto del descenso de la oferta hídrica, mientras que la reutilización de aguas servidas tratadas en comunas con alta actividad industrial como San Bernardo y Lampa facilitaría una reducción de la presión sobre fuentes convencionales. Adicionalmente, la desalinización, aunque con limitaciones económicas y ambientales, aparece como una alternativa viable en el mediano plazo, como lo demuestra el proyecto de Anglo American que busca transportar 500 l/s de agua desalada desde la cuenca Costeras Ligua–Aconcagua (BNA 058) hasta Quilapilún.

El acceso al agua potable y saneamiento requiere un enfoque diferenciado para áreas urbanas y rurales. En el caso de las zonas rurales, es imperativo fortalecer los Servicios Sanitarios Rurales (SSR) en localidades como Alhué y María Pinto, asegurando infraestructura de almacenamiento y distribución eficiente. En las ciudades, la reducción de pérdidas en la red de distribución debe convertirse en una prioridad, dado que las fugas alcanzan un 31,8%, con cifras críticas en comunas como Maipú y La Pintana. La instalación de sistemas de monitoreo en tiempo real y la modernización de las redes de conducción permitirían un ahorro significativo del recurso.

El uso eficiente del agua es un componente clave para la sostenibilidad hídrica regional. En el sector agrícola, la eficiencia en la aplicación del riego sigue siendo altamente variable, con valores que oscilan entre un 86% en la cuenca Costeras entre Maipo y Rapel (BNA 058) y un 53% en la cuenca del Maipo (BNA 057). La tecnificación del riego, con énfasis en sistemas de goteo y automatización de la gestión hídrica, permitiría incrementar la productividad sin aumentar el consumo. Por otro lado, en la industria manufacturera y

minera, la implementación de procesos de producción con menor requerimiento hídrico se vuelve una necesidad estratégica para sostener la competitividad del sector sin comprometer la seguridad hídrica de la región.

Desde la perspectiva ecológica, la conservación y restauración de ecosistemas hídricos resulta fundamental para la resiliencia del sistema. La protección de humedales estratégicos como Batuco y el Estero Las Cruces en la provincia de Chacabuco contribuiría a la regulación del caudal y la calidad del agua, mientras que la implementación de caudales ecológicos en ríos clave permitiría preservar su función hidrológica y ecológica.

El fortalecimiento del monitoreo hidrológico es otro eje de acción ineludible. La ampliación de la red de estaciones de medición de calidad y cantidad de agua en ríos y acuíferos de la región permitiría generar datos precisos y en tiempo real, facilitando la toma de decisiones basada en evidencia. Una plataforma de acceso público que integre estos datos fortalecería la transparencia y la capacidad de gestión de los actores involucrados en la planificación hídrica.

En el contexto del cambio climático, la planificación territorial debe incorporar criterios de sostenibilidad hídrica, evitando la urbanización en zonas de recarga de acuíferos y estableciendo restricciones a proyectos de alto consumo en áreas con estrés hídrico, como Colina y Peñaflor. Asimismo, la gobernanza del agua debe fortalecerse mediante una mayor integración entre el sector público y privado, asegurando una gestión coordinada y equitativa del recurso.

En síntesis, la seguridad hídrica de la Región Metropolitana de Santiago dependerá de la capacidad de implementar medidas estructurales de adaptación que incluyan inversiones estratégicas, reformas institucionales y el fortalecimiento de la eficiencia en todos los niveles de uso del agua. Sin una acción concertada y oportuna, la crisis hídrica en la región no solo se intensificará, sino que tendrá repercusiones significativas en la viabilidad socioeconómica y ambiental a mediano y largo plazo.

7.2.3 Análisis de capacidad limitada

El manejo de los recursos hídricos en la Región Metropolitana de Santiago enfrenta limitaciones estructurales significativas, lo que compromete la estabilidad del suministro de agua y pone en riesgo la sostenibilidad ambiental y socioeconómica. Aunque se observa una relativa estabilidad en la seguridad hídrica, persisten vulnerabilidades sistémicas que, de no ser abordadas con urgencia, podrían derivar en una crisis hídrica de gran magnitud.

Uno de los problemas más apremiantes es la brecha en la provisión de agua potable y saneamiento en las zonas rurales de la región. A pesar de avances en infraestructura, una

proporción significativa de la población, particularmente en la Provincia de Chacabuco, incluyendo las comunas de Tiltil y Colina, carece de acceso a una red de abastecimiento confiable. Las estimaciones indican que entre un 10,7% y un 33,6% de las viviendas rurales en la cuenca del Río Maipo (BNA 057) no están conectadas a un sistema de distribución formal, lo que obliga a muchas comunidades a depender de fuentes informales como pozos y camiones aljibe. La calidad del agua en estas fuentes no está garantizada, lo que incrementa la incidencia de enfermedades hídricas y compromete la calidad de vida de la población más vulnerable, incluyendo niños y adultos mayores.

El déficit en redes de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales también es una problemática persistente en la región, particularmente en las provincias de Melipilla y Talagante, donde entre un 1,8% y un 38,4% de la población rural no dispone de acceso a infraestructura de saneamiento adecuada. Esta carencia contribuye a la contaminación de los cuerpos de agua superficiales y subterráneos debido al vertido no tratado de aguas servidas. La ausencia de un tratamiento efectivo no solo genera impactos sanitarios adversos, sino que también degrada los ecosistemas acuáticos y reduce la capacidad de los cuerpos de agua para servir como fuentes seguras de abastecimiento.

A nivel urbano, las deficiencias en la eficiencia del sistema de distribución de agua potable agravan la situación hídrica. Actualmente, las pérdidas en la red de distribución alcanzan un alarmante 31,8%, con valores que superan el 80% en sectores como San Gabriel, Valle Escondido y Las Lomas de Maipú. Estas ineficiencias incrementan la presión sobre los recursos hídricos disponibles y encarecen el costo de provisión del servicio. La falta de modernización y mantenimiento de la infraestructura, sumada a una gestión subóptima del recurso, compromete la sostenibilidad del suministro urbano en el largo plazo.

El impacto del crecimiento urbano no planificado también se refleja en la vulnerabilidad ante eventos climáticos extremos. La proliferación de superficies impermeabilizadas en comunas como Puente Alto y La Pintana ha reducido la capacidad de infiltración del agua, lo que ha intensificado el riesgo de inundaciones y escorrentías descontroladas. Aunque existen obras de infraestructura destinadas al control de estos eventos, como defensas fluviales y evacuadores de aguas lluvias en el Gran Santiago, su alcance es insuficiente para mitigar eficazmente los riesgos asociados a precipitaciones extremas.

En lo que respecta a la demanda hídrica en sectores productivos, se proyecta un incremento del 91% en el consumo de agua en la industria y la minería para el año 2055, con una presión particular sobre la cuenca del Río Maipo (BNA 057). Este crecimiento exacerba la competencia por el recurso, lo que podría generar conflictos entre usuarios y afectar la seguridad hídrica de sectores que dependen del agua para consumo humano y riego agrícola. Además, la actividad minera, especialmente en el yacimiento de Los Bronces en Lo

Barnechea, plantea un riesgo significativo debido a la posible filtración de residuos mineros y su impacto en la calidad del agua del Río Mapocho.

El sector agrícola también enfrenta desafíos en términos de eficiencia en el uso del agua. La eficiencia del riego en la región oscila entre un 53% y un 86%, siendo particularmente baja en la cuenca de las Costeras entre Maipo y Rapel (BNA 058). La persistencia de sistemas de irrigación ineficientes, sumada a la falta de adopción de tecnologías avanzadas como el riego por goteo, limita la capacidad del sector para adaptarse a condiciones hídricas más restrictivas. Además, el cambio en los patrones de cultivo, con un aumento de especies menos resistentes a la sequía, podría incrementar la presión sobre los recursos hídricos en el futuro.

Desde una perspectiva climática, las proyecciones indican una reducción del 10,8% en el caudal del Río Maipo y una disminución del 12,3% en la recarga de acuíferos en Pudahuel y Curacaví. Estos cambios afectan la disponibilidad de agua tanto para consumo humano como para actividades económicas, lo que podría derivar en restricciones hídricas más severas. Adicionalmente, la degradación de ecosistemas acuáticos se ha convertido en una problemática crítica, con menos del 4% de los humedales en la región bajo alguna forma de protección efectiva. La destrucción de estos ecosistemas limita la capacidad de regulación natural del agua y agrava la vulnerabilidad ante sequías prolongadas.

Ante este panorama, resulta imperativo desarrollar estrategias de gestión hídrica basadas en principios de eficiencia, sustentabilidad y equidad. La modernización de la infraestructura de distribución, la implementación de tecnologías avanzadas de riego, la protección de los ecosistemas hídricos y el establecimiento de mecanismos de gobernanza adaptativa son medidas esenciales para garantizar la resiliencia hídrica de la Región Metropolitana en las décadas venideras.

7.2.4 Análisis de avance sostenible y resiliente

La Región Metropolitana de Santiago enfrenta desafíos crecientes en la gestión del recurso hídrico debido a la intensificación del cambio climático, el crecimiento demográfico y la diversificación de las demandas socioeconómicas. En este contexto, la implementación de estrategias avanzadas ha permitido la estabilización de la brecha de seguridad hídrica mediante el fortalecimiento de la capacidad de respuesta ante eventos extremos y la consolidación de un sistema de gestión sostenible. Este marco de desarrollo prioriza la infraestructura resiliente, la diversificación de fuentes hídricas y la adopción de tecnologías de optimización del recurso, con un enfoque territorial diferenciado entre áreas urbanas y rurales.

Las intervenciones en infraestructura hídrica han sido desplegadas estratégicamente en cuencas de alto impacto, incluyendo la Cuenca del Río Maipo (Código BNA 057), la Cuenca del Río Mapocho (Código BNA 0572) y la Cuenca del Río Rapel (Código BNA 060), con una focalización especial en comunas de alta vulnerabilidad hídrica como Melipilla, Curacaví y Paine. La planificación territorial ha diferenciado las necesidades urbanas, como en la Provincia de Santiago, de aquellas propias de entornos rurales, como en las Provincias de Talagante y Chacabuco, permitiendo así la implementación de soluciones adaptadas a cada contexto.

El abastecimiento de agua potable en zonas urbanas ha sido garantizado mediante la modernización de plantas de tratamiento y la optimización de redes de distribución en comunas como Maipú, La Florida y Puente Alto, beneficiando a más de 1,5 millones de habitantes. En áreas rurales, la expansión y tecnificación de los sistemas de Agua Potable Rural (APR) en localidades como Alhué y San Pedro ha mejorado la calidad y estabilidad del suministro, reduciendo la intermitencia del acceso. Paralelamente, el saneamiento ha sido objeto de mejoras sustantivas con la ampliación de plantas de tratamiento en San Bernardo y Lampa, mitigando la contaminación de cuerpos de agua superficiales y subterráneos.

En términos de almacenamiento y regulación del recurso, la expansión del Embalse Convento Viejo en la Cuenca del Rapel y la optimización del Embalse El Yeso en la Cuenca del Maipo han incrementado la resiliencia del sistema hídrico frente a la variabilidad climática. Simultáneamente, la implementación de recarga artificial de acuíferos en el Acuífero de Batuco y el Acuífero de Casablanca ha reducido la presión sobre las reservas subterráneas, garantizando su sostenibilidad a largo plazo. Estas iniciativas han contribuido a mantener la estabilidad de los caudales ecológicos y asegurar la continuidad de la provisión hídrica para múltiples usos.

La eficiencia en el uso del agua ha sido optimizada mediante estrategias diferenciadas según el sector de consumo. En el ámbito agrícola, la implementación de sistemas de riego por goteo en más de 10.000 hectáreas en Isla de Maipo y Buin ha reducido el consumo de agua en un 35 %, contribuyendo a la sostenibilidad del sector. En el ámbito industrial, la adopción de tecnologías de recirculación y reúso en polos como el Parque Industrial de Quilicura y la Zona Industrial de San Bernardo ha permitido disminuir el consumo en un 40 %, consolidando un modelo de producción más eficiente. En el consumo residencial, las comunas de Providencia y Las Condes han desarrollado programas de eficiencia hídrica que han reducido el uso per cápita de agua potable en un 25 %.

El monitoreo y control en tiempo real del recurso hídrico ha sido potenciado con la instalación de estaciones hidrométricas en puntos clave, como el Río Clarillo (Código BNA 057020) y el Río Mapocho en Los Almendros (Código BNA 057200). Esta red ha mejorado

significativamente la capacidad de predicción y respuesta ante eventos extremos, como sequías prolongadas o precipitaciones torrenciales, permitiendo una gestión adaptativa basada en evidencia científica.

La conservación de ecosistemas estratégicos ha sido un pilar fundamental en la planificación hídrica regional. La protección de humedales en Batuco y Laguna de Aculeo, así como la implementación de estrategias de conservación en la cuenca alta del Río Maipo para la preservación de glaciares, han asegurado la estabilidad de las fuentes naturales de agua y la regulación del ciclo hidrológico. Estas acciones han sido complementadas con programas de manejo sostenible que han incorporado a comunidades locales en la protección de estos ecosistemas, promoviendo la educación ambiental y mecanismos de incentivo para su conservación.

Desde la perspectiva de gobernanza, la consolidación de estructuras organizativas en torno a la gestión del recurso ha permitido una distribución equitativa y eficiente del agua. La formalización de asociaciones de usuarios en las Cuencas del Mapocho y Maipo ha facilitado la articulación entre distintos actores, minimizando conflictos y promoviendo una gestión basada en la cooperación. La formulación de políticas públicas con un enfoque de equidad hídrica ha garantizado la priorización del acceso al agua como un derecho humano fundamental, asegurando el cumplimiento de caudales ecológicos para la biodiversidad y la estabilidad de los ecosistemas asociados.

El desarrollo de energías renovables en sinergia con la gestión hídrica ha fortalecido la autosuficiencia energética del sistema. La integración de pequeñas centrales hidroeléctricas en el Río Yeso y el Río Colorado ha maximizado el aprovechamiento del recurso de forma sostenible, contribuyendo a la diversificación de la matriz energética y generando beneficios económicos adicionales para las comunidades locales.

La Región Metropolitana de Santiago ha logrado posicionarse como un modelo de gestión hídrica resiliente, donde la infraestructura modernizada, las tecnologías avanzadas, las políticas inclusivas y la participación ciudadana han permitido una optimización del recurso en términos de eficiencia y equidad. Este enfoque integral ha consolidado una gobernanza que equilibra las necesidades humanas con la conservación del ecosistema, asegurando la sostenibilidad del recurso hídrico para las generaciones futuras.

CAPÍTULO 8 PROPUESTA DE PROSPECTIVA DE REQUERIMIENTOS DE INFRAESTRUCTURA HÍDRICA

8.1 SEGURIDAD HÍDRICA EN LA REGIÓN: ESTADO DEL ARTE

La región Metropolitana se distingue por el Río Maipo como su principal sistema fluvial, el cual da nombre a la cuenca hidrográfica que alberga casi en su totalidad a la ciudad de Santiago. La cuenca Río Maipo (BNA 057) concentra la mayor demanda hídrica 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 por el uso para agua potable urbana, mientras que se proyecta un aumento del 25% en las demandas consuntivas hacia el año 2055, atribuible principalmente a la expansión agrícola^{7 8}, y al aumento en el uso de agua potable urbana. Este incremento genera una presión significativa en las cuencas Costeras entre R. Maipo – R. Rapel (BNA 058) y Río Rapel (BNA 060).

De manera simultánea, se espera una reducción generalizada de los caudales en las cuencas regionales, siendo la más afectada Río Maipo (BNA 057), con un descenso de 11%. El balance hídrico estructural (Tabla 8.1-1) evidencia que todas las cuencas presentan un déficit hídrico estructural, lo que las vuelve especialmente vulnerables a los efectos del cambio climático. En particular, para la cuenca Costeras entre R. Maipo – R. Rapel (BNA 058), este déficit se debe a que la demanda supera la oferta disponible con un 50% de probabilidad de excedencia, junto con restricciones en sus fuentes subterráneas. Entre los desafíos de Seguridad Hídrica (SH) para la región⁹, la sostenibilidad del suministro de agua potable enfrenta considerables presiones. En las zonas urbanas, las pérdidas de los sistemas de distribución alcanzan un promedio¹⁰ del 30%, mientras que el crecimiento poblacional proyectado en las zonas rurales, se estima en un 26%, esta situación genera un escenario de alta incertidumbre respecto a la

⁷ Asociado a un aumento del 25% de la demanda hídrica de superficies de viñas y parronales, debido al incremento de las superficies de estos cultivos, aumento de las tasas evapotranspirativas y una reducción de la superficie dedicada a frutales.

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

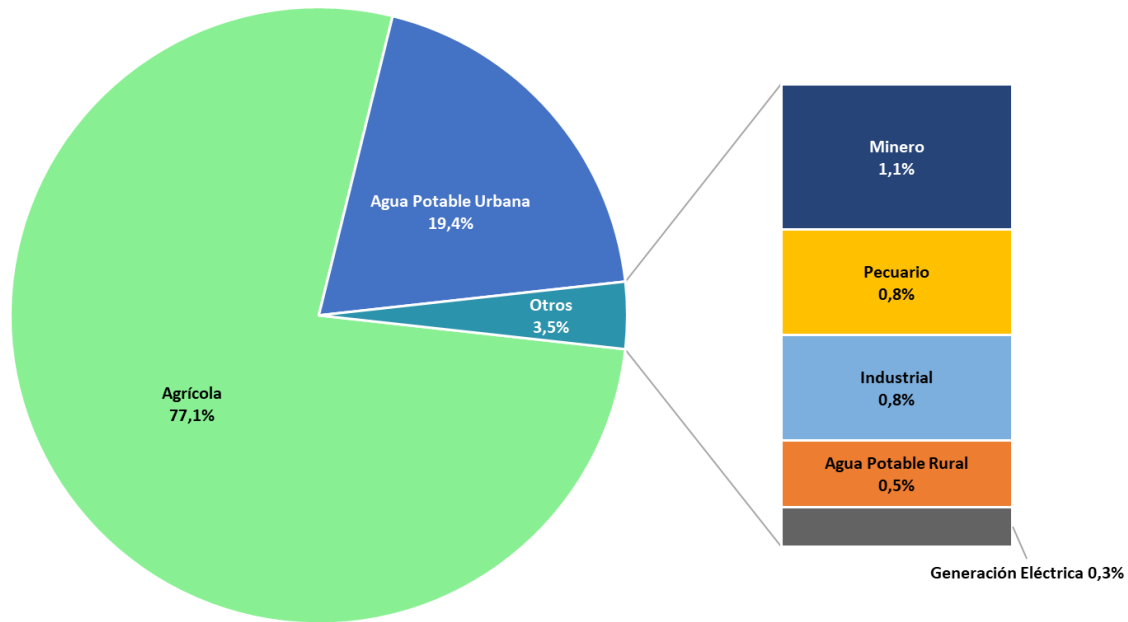
⁹ Entendidos como las brechas o problemáticas relacionadas indirectamente a la disponibilidad de agua, las cuales dificultan el cumplimiento de los objetivos de SH.

¹⁰ Para el periodo comprendido entre 2012 -2022.

garantía de la cobertura de agua potable urbana. En las áreas rurales, entre el 10% y 37% de las viviendas no tienen acceso a agua potable, mientras que se observan periodos de sobreexplotación de los recursos hídricos rurales de 7%, además la falta de información afecta hasta el 53,4% de las viviendas rurales, situación que limita el desarrollo de estrategias integrales. Por otra parte, el 38% de la población rural con acceso a agua potable carece de sistemas de alcantarillado. 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 53% y 86%, sin embargo, de acuerdo a la proyección de aumento en la demanda hídrica agrícola mencionado anteriormente, se requiere promover la conservación de canales para minimizar las pérdidas, particularmente en la cuenca Río Maipo (BNA 057) que concentra 97% de la red regional. Se observan limitaciones en torno a las OUs¹¹, solo se registran JV, CA, AC y CAS para la cuenca Río Maipo (BNA 057). La región enfrenta limitaciones significativas en la diversificación de la matriz hídrica. La infraestructura hídrica multipropósito es insuficiente, ya que solo se observa la planificación de un proyecto para uso de fuentes no convencionales en la cuenca Río Maipo (BNA 057).

La calidad del agua representa un problema crítico para las cuencas de 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 al límite permitido. 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 a brechas de información con respecto a la oferta hídrica disponible y el caudal de protección ambiental para las cuencas Río Maipo (BNA 057) y Río Rapel (BNA 060). Por otra parte, se observa un bajo nivel de protección ecosistémica en todas las cuencas de la región, no alcanzan el 5% de protección de superficie de humedales, evidenciando la necesidad de medidas de conservación más efectivas. En particular, la cuenca Río Maipo (BNA 057) exhibe una alta vulnerabilidad a eventos extremos asociados a precipitaciones intensas, debido a la insuficiencia de los sistemas de defensa fluvial y aluvial, lo que agrava los impactos ante eventos de crecidas. Además, la urbanización creciente de la cuenca Río Maipo (BNA 057) ha incrementado la superficie impermeable, reduciendo así las áreas de drenaje, por lo cual se requieren sistemas de drenajes efectivo que puedan contrarrestar esta situación.

¹¹ OUs: Organizaciones de Usuarios de Agua, JV: Juntas de Vigilancia, CA: Comunidades de Aguas, AC: Asociaciones de Canalistas, CAS: Comunidades de Aguas Subterráneas.



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 Metropolitana

Código BNA	Cuenca	Balance Hídrico ¹²	Restricciones		Estado Balance Unificado ¹³
			Superficiales	Subterráneas	
057	Río Maipo	Con recursos	Sí	Sí	Déficit hídrico estructural
058	Costeras entre R. Maipo – R. Rapel	Déficit hídrico estructural	No	Sí	Déficit hídrico estructural
060	Río Rapel	Con recursos	Sí	Sí	Déficit hídrico estructural

Fuente: Elaboración propia.

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

En la región Metropolitana se han implementado Planes Estratégicos de Gestión Hídrica (PEGH) específicamente para todas las cuencas de la región. 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 Río Maipo (BNA 057) y Río Rapel (BNA 060). A partir de lo anterior, se identifica la necesidad de extender el desarrollo de instrumentos de gestión, como Planes Estratégicos de Recursos Hídricos en Cuencas

¹² 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.

¹³ 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.

(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.

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 Metropolitana, actores como el Gobierno Regional, SISS, CONAF, CNR, INDAP, OUAs¹⁴, empresas sanitarias, empresas agrícolas, mineras 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 Metropolitana, la estrategia se centra en desarrollar un sistema integral de infraestructura de recursos hídricos, que asegure el acceso equitativo y sostenible a los servicios básicos de infraestructura, la provisión de servicios de agua potable y saneamiento, y la provisión de recursos hídricos para procesos productivos. Este sistema considera la transición socioecológica justa como impulso para el desarrollo de proyectos multipropósitos, monitoreo de los recursos, soluciones basadas en la naturaleza, reutilización e identificación de nuevas fuentes. Con énfasis en el desarrollo de los territorios, la productividad agrícola, preservación de los ecosistemas, restauración y la resiliencia frente a desastres.

¹⁴SISS: Superintendencia de Servicios Sanitarios; CONAF: Corporación Nacional Forestal; CNR: Comisión Regional de Riego; INDAP: Instituto Nacional de Desarrollo Agropecuario; 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 aguda. La capacidad limitada de los sistemas de agua potable genera gran dependencia de camiones aljibes, comprometiendo la capacidad del suministro en las áreas rurales y periféricas de la región. La infraestructura de saneamiento se encuentra en un estado crítico, debido a la infraestructura obsoleta y cobertura insuficiente de los servicios, lo que acrecienta riesgos sanitarios y de contaminación. El incremento en la demanda agrícola (+25%) y las deficiencias en la infraestructura hídrica posicionan a la actividad agrícola en un estado de vulnerabilidad creciente. La ausencia de regulaciones rigurosas en el control de extracciones, la ineficiencia en los sistemas y la falta de infraestructura, acentúan conflictos por la asignación del recurso hídrico, entre el sector industrial, minero y agrícola. El incremento de los costos asociados a la escasez hídrica deriva en la pérdida de competitividad y productividad regional. La carencia de un marco regulatorio actualizado compromete la calidad y capacidad de los ecosistemas para mitigar eventos climáticos extremos y regular el ciclo hidrológico. La fragmentación institucional y obsolescencia del marco normativo obstaculizan la implementación de soluciones estructurales en la región, generando una gestión desarticulada con lógicas que ofrecen soluciones de corto plazo e insostenibles. En un escenario de *Desafío Gestionable*, los desafíos de SH se incrementan como resultado del crecimiento demográfico sostenido, la expansión urbana sin planificación hídrica, el aumento en la demanda de los sectores productivos, la disminución de la disponibilidad de los recursos hídricos y las consecuencias del cambio climático. La capacidad de respuesta de la región permite implementar medidas de adaptación y mitigación, que logran evitar una crisis mayor, sin embargo, se requiere desarrollar estrategias estructurales resilientes que logren dar soluciones integrales a los desafíos de la región. En un escenario de *Capacidad Limitada*, el estado de seguridad hídrica en la región presenta relativa estabilidad, sin incrementos sustanciales. No obstante, las limitaciones estructurales significativas en la gestión hídrica, perpetúan vulnerabilidades sistemáticas como las brechas en la provisión de servicios de agua potable y saneamiento, y la deficiente respuesta de la región frente a eventos climáticos extremos. Si esta capacidad de respuesta se mantiene a largo plazo y los desafíos no son abordados con urgencia, la región puede entrar en un estado de crisis hídrica grave. En un escenario de *Avance Sostenible*, se logra estabilizar las brechas de seguridad hídrica mediante la implementación de estrategias avanzadas y la consolidación de un sistema de gestión sostenible. El plan prioriza la modernización y construcción de infraestructura resiliente, con un enfoque territorial diferenciado entre áreas urbanas y rurales. Por medio de programas de inversión sostenidos en el tiempo y el fortalecimiento de la gobernanza hídrica, la región implementa infraestructura hídrica

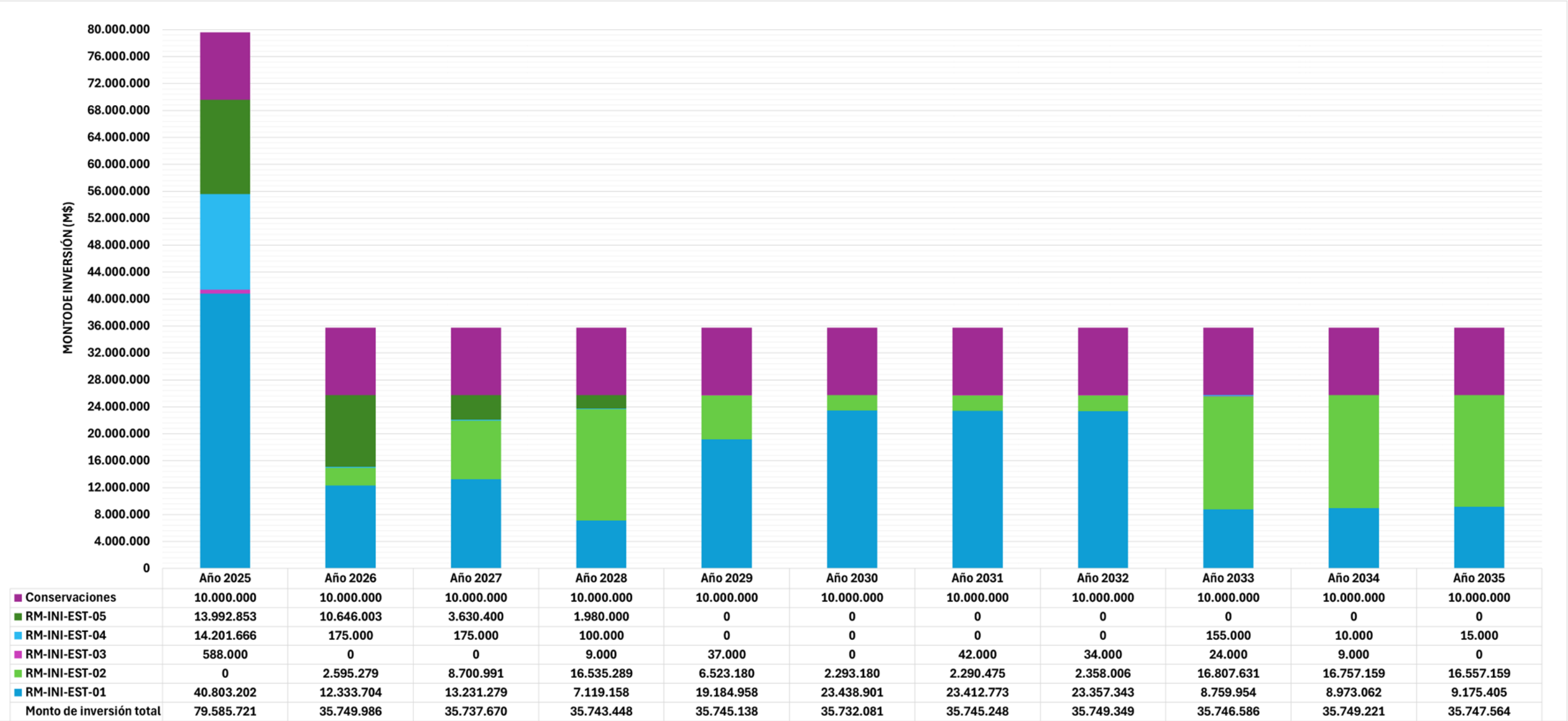
eficiente, sistemas de monitoreo continuos y programas de conservación de ecosistemas, que le permiten asegurar la sostenibilidad del recurso hídrico a largo plazo.

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 acápites 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 la calidad del agua
INI-EST-03	Implementación de un sistema de seguimiento y monitoreo integral, asociado a una gestión integrada de cuencas nacionales y transnacionales
INI-EST-04	Obras y medidas de protección y recuperación de sistemas ecosistémicos naturales, basadas en la naturaleza con énfasis en prevenir desertificación y erosión
INI-EST-05	Sistema integral de infraestructura resiliente en cauces y quebradas para la seguridad territorial y protección de la población, además del manejo de los flujos excedentes del invierno altiplánico

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 “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. La iniciativa “Implementación de un Sistema de Seguimiento y Monitoreo Integral” tiene como objetivo fortalecer la gestión de cuencas mediante información hidrométrica actualizada, facilitando una planificación eficiente y soluciones adaptadas a los problemas de calidad y acceso al agua. Por último, la iniciativa “Obras y Medidas de Protección y Recuperación de Sistemas Ecosistémicos Naturales, Basadas en la Naturaleza” se encuentra orientada a fortalecer la conservación y recuperación de humedales, cauces y riberas asegurando la provisión de servicios ecosistémicos.

Estas iniciativas estratégicas se traducen a inversiones como:

- M\$ 181.089.000 de inversión para Diseño y Construcción de Sistemas de Agua Potable Rural en la región, con un beneficio para más de 87.000 personas, lo que permitirá disminuir la brecha de accesibilidad al agua potable. La inversión se encuentra asignada principalmente a la cuenca Río Maipo (BNA 057).
- M\$ 344.301.700 de inversión para el Diseño y Construcción de Sistemas de Saneamiento Rural, con un beneficio para más de 227.000 personas, lo que permitirá reducir la brecha de acceso al tratamiento de aguas servidas y riesgos de contaminación biológica del agua. El 94% de la inversión se reúne en proyectos para la cuenca Río Maipo (BNA 057) y un 6% restante asignado equitativamente a las cuencas Costeras entre R. Maipo – R. Rapel (BNA 058) y Río Rapel (BNA 060).
- M\$ 28.536.400 de inversión para el Diseño, Construcción e Implementación de Tecnologías en Estaciones Hidrométricas, donde más del 90% del monto total está destinado a estaciones para el monitoreo de calidad de agua distribuido, principalmente, en las cuencas Río Maipo (BNA 057) y Río Rapel (BNA 060).
- M\$ 74.037.500 de inversión para el Diseño, Construcción e Implementación de Medidas de Conservación, Restauración y Protección de Humedales, Riberas y Cauces, equivalente a la Construcción de 4 km de Áreas Verdes de Flora Nativa, el Mejoramiento de 15 km de Riberas y/o Orillas Naturales, la Construcción de Obras de Regulación e Infiltración con un aporte de más de 83.000 m³ de recarga y la Construcción Sistema Urbanos de Drenaje Sostenibles (SUDS) con un aporte de más de 19.000 m³ de recarga al año.
- M\$ 900.000 de inversión en Estudios de Regulación Hídrica y Gestión de Suelos, equivalente a 1 estudios de Erosión y Arrastre de Sedimentos, 5 estudios de Manejo de Normas Ambientales e Hídricas, Reservas de agua, Planes y Políticas, 1 estudio de Definición de Franjas de Restricción y 2 estudios de Reforestación en sectores con riesgo de erosión. El 77% de la inversión se concentra en estudios con enfoque regional.

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

- Aguas del Valle. (2018). Obtenido de Aguas del Valle:
<https://www.aguasdellvalle.cl/empresas/nosotros/plan-de-desarrollo-vigente/>
- Aguas La Serena. (2021). *Aguas La Serena*. Obtenido de <https://www.alser.cl/plan.php>
- 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 Metropolitana de Santiago*. Obtenido de
<https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region13/clima.htm>
- BCN. (2023). *Hidrografía Región Metropolitana de Santiago*. Obtenido de
<https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region13/hidrografia.htm>
- BIG DATA ULS. (2023). *Embalses Región de Coquimbo, BigData ULS 2022*. Obtenido de
<https://bigdatauls.userena.cl/dashboards/embalses-region-de-coquimbo/>
- 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 insertan 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. (2022). Reportes, Estadísticas y Plataformas de Uso Frecuente.
<https://www.coordinador.cl/reportes-y-estadisticas/>.
- CNE. (2018). *Energía Maps - Centrales hidroeléctricas*. Obtenido de
<https://energiamaps.cne.cl/#>
- CNE. (2023). *Energía Mps - Centrales Hidroeléctricas* . Obtenido de
<https://energiamaps.cne.cl/#>

- CNR. (2016). Planes de Riego, Elqui, Límari y Choapa-Quilimarí.
- CNR. (2020). *Mapa y Fichas de Infraestructura de Riego y Catastros - Levantamiento de información CNR*. Obtenido de <https://esiir.cnr.gob.cl/>
- COCHILCO. (2022). *Anuario de la Minería de Chile*. Santiago.
- COCHILCO. (2023). *Infraestructura Hídrica Compartida*.
- CONAF. (2019). Capa en ARCGIS de uso de Suelo. <https://sit.conaf.cl/>.
- DGA. (1989). *Mapa Hidrogeológico de Chile*. Obtenido de <https://snia.mop.gob.cl/repositoriiodga/>
- DGA. (2016). *Diagnóstico de la Calidad de las Aguas Subterráneas de la Región Metropolitana - Complementario Diagnóstico Plan Maestro de Recursos Hídricos Región Metropolitana de Santiago*. Obtenido de <https://snia.mop.gob.cl/sad/CQA5649.pdf>
- DGA. (2016). *Estudio Básico: Diagnóstico para desarrollar Plan de Riego en cuenca del Maipo*.
- 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 Estratégico de Gestión Hídrica en la Cuenca del Aconcagua*. Obtenido de <https://snia.mop.gob.cl/repositoriiodga/handle/20.500.13000/125414>
- DGA. (2020). Plan Estratégicos de Gestión Hídrica.
- DGA. (2021). *Mapoteca Digital*. Obtenido de <https://dga.mop.gob.cl/estudiospublicaciones/mapoteca/Paginas/Mapoteca-Digital.aspx>
- DGA. (2021). *Plan Estratégico de Gestión Hídrica en la Cuenca de Maipo*. Obtenido de <https://snia.mop.gob.cl/repositoriiodga/handle/20.500.13000/125473>
- DGA. (2021). Plan Estratégico de Gestión Hídrica en las cuencas Costeras entre Maipo y Rapel.
- DGA. (2021b). PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA DEL MAIPO.
- 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*. Santiago.
- 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. (2023). *Áreas de restricción*. Obtenido de <https://dga.mop.gob.cl/Paginas/areasderestriccion.aspx>
- DGA. (Noviembre de 2023). *Catastro publico de aguas*. Obtenido de 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>
- DGOP. (2021). *Plan de Inversión en Iniciativas Hídricas 2020-2050*.
- 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. (2021). *Plan de Inversión en Iniciativas Hídricas 2020-2050*.
- 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*.
- Fuss, S., Canadell, J., Peters, G., Tavoni, M., Andrew, R., Ciais, P., & Yamagata, Y. (2014). Betting on negative emissions. *Nature climate change*, 850-853.
- GORE Santiago. (2021). *Estrategias de desarrollo regional*.
- INE. (1997). *Censo Nacional Agropecuario*.
- 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.

- Mardones, P. (2019). *IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA ALTURA DE LA ISOTERMA 0°C SOBRE CHILE CENTRAL*. Santiago .
- MOP. (2005). *Ley Chile*. Obtenido de :<http://www.leychile.cl/N?i=245204&f=2005-12-16&p=>
- MOP. (2012). *Plan Regional de Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico al 2021, Región Metropolitana de Santiago*. Obtenido de https://planeamiento.mop.gob.cl/planes/regional/Paginas/detalle_prigrh.aspx?item=8
- MOP. (2019). *Análisis de inversión en infraestructura y Gestión Hídrica 2020-2050*.
- MOP. (2023). *Inventario de Planes 2023*. Obtenido de <https://planeamiento.mop.gob.cl/planes-y-estudios/inventario-de-planes/>
- MOP. (2023). *Inversión Historica MOP 1986-2023*.
- 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>
- RETC. (s.f.). <https://retc.mma.gob.cl/books/informe-consolidado-de-emisiones-y-transferencias-de-contaminantes-del-retc-2021-2/>.
- S.A., A. A. (2023). *Reporte Integrado*. <https://www.aguasandinasinversionistas.cl/~media/Files/A/Aguas-IR-v2/2023/reporte/Reporte%20Integrado%20Aguas%20Andinas%202022%201.pdf>.
- Sanitarios, S. d. (2010). *SIFAC II*. Santiago: <https://www.siss.gob.cl/586/w3-article-7247.html>.
- SENAPRED. (2023). *Servicio Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres*. Obtenido de <https://bibliogrdsenapred.gob.cl/handle/2012/21/recent-submissions?offset=0>
- SERNAGEOMIN. (2022). *Catastro de Depósito de Relaves*. Obtenido de <https://www.sernageomin.cl/datos-publicos-deposito-de-relaves/>
- SERNAPESCA. (s.f.). *Departamento de Gestión de la información, Atención de usuarios y estadísticas sectoriales*.
- SICVIR. (2020). *Sistema de Indicadores de Calidad de Vida Rural*. Obtenido de <https://www.ine.gob.cl/herramientas/portal-de-mapas/sicvir>
- Siddiqi, A., Ereiqat, 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
- SiSS . (2023). *Planes de Desarrollo Históricos*. Obtenido de <http://www.siss.gob.cl/appsiss/historico/w3-propertyvalue-3698.html>
- SiSS. (2019). *PTAS en operación*. Obtenido de <https://www.siss.gob.cl/586/w3-propertyvalue-6409.html>
- SiSS. (2022). *Servicios Sanitarios Rurales*. Obtenido de <https://www.siss.gob.cl/586/w3-propertyvalue-7244.html>

- 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/>
- SISS. (2024). Planes de desarrollo vigentes. <https://www.siss.gob.cl/586/w3-propertyvalue-6399.html>.
- Subdere. (2023). *División Política Administrativa 2023*. Obtenido de <https://www.geoportal.cl/geoportal/catalog/36391/Divisi%C3%B3n%20Pol%C3%ADtica%20Administrativa%202023>
- Universidad de Chile. (2015). *Uchile Noticias*. Obtenido de [uchile.cl: https://uchile.cl/noticias/113800/por-que-las-lluvias-afectan-tanto-la-infraestructura-en-santiago](https://uchile.cl/noticias/113800/por-que-las-lluvias-afectan-tanto-la-infraestructura-en-santiago)
- 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.