

**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 ANTOFAGASTA

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	25
2.2.4	Generación eléctrica	28
2.2.5	Minero	28
2.2.6	Industrial	30
2.2.7	Forestal	31
2.2.8	Pecuario	32
2.2.9	Acuícola	33
2.2.10	Caudal de reserva de uso turístico y protección ambiental	33
2.2.11	Análisis de demanda total en la región	34
2.3	ANÁLISIS DE OFERTA HÍDRICA	36
2.3.1	Oferta Hídrica	36
2.3.2	Eventos extremos	48
2.3.3	Calidad de Aguas	50
CAPÍTULO 3	ANÁLISIS DE INFRAESTRUCTURA HÍDRICA	53

3.1	INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA Y NUEVAS FUENTES EXISTENTES	53
3.1.1	Infraestructura hídrica existente al año 2023	53
3.1.2	Infraestructura hídrica propuesta en cartera pública existente	68
CAPÍTULO 4	BRECHAS HÍDRICAS	72
4.1	BRECHAS DE BALANCE HÍDRICO	72
4.2	BRECHAS ESTRATÉGICAS	78
4.2.1	Brechas de información	78
4.2.2	Brechas de seguridad hídrica para el derecho humano al agua, saneamiento y consumo humano de subsistencia	79
4.2.3	Brecha de seguridad para la producción sostenible y eficiencia hídrica	83
4.2.4	Brechas de seguridad hídrica para la conservación y preservación de los ecosistemas	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	89
4.2.6	Resumen de brechas estratégicas	91
4.3	BRECHAS DE INFRAESTRUCTURA	93
4.3.1	Desarrollo matriz OAI	93
4.3.2	Identificación de brechas de infraestructura	103
CAPÍTULO 5	IDENTIFICACIÓN DE INICIATIVAS DE INFRAESTRUCTURA, INNOVADORAS Y DE GESTIÓN	105
5.1	IDENTIFICACIÓN DE INICIATIVAS ESTRATÉGICAS	105
5.2	TIPOLOGÍAS DE PROYECTOS	107
5.3	CONFORMACIÓN DE LA CARTERA DE PRE/INVERSIONES	109
5.4	DETERMINACIÓN DE COSTOS UNITARIOS DE TIPOLOGÍAS DE PROYECTOS	115
5.5	VALORIZACIÓN DE INICIATIVAS ESTRATÉGICAS	119
5.6	ESTIMACIÓN DE BENEFICIOS PARA LA MATRIZ HÍDRICA	119
5.6.1	Beneficios de Inversiones	119
5.6.2	Incidencia en Matriz Hídrica	124
CAPÍTULO 6	EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA Y PRIORIZACIÓN DE LAS INICIATIVAS	128
6.1	EVALUACIÓN MULTICRITERIO	128
6.2	EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA	131
6.3	PRIORIZACIÓN Y CARTERA DE INVERSIONES	132
CAPÍTULO 7	PROPUESTAS DE ESCENARIOS DE DESARROLLO	137
7.1	SELECCIÓN DE FACTORES CRÍTICOS PARA LA TOMA DE DECISIÓN	137

7.1.1	Contexto regional y áreas de intervención prioritarias	138
7.1.2	Factores críticos regionales	139
7.2	PROPUESTA DE ESCENARIOS DE DESARROLLO	140
7.2.1	Análisis de estancamiento crítico	141
7.2.2	Análisis de desafío gestionable	143
7.2.3	Análisis de capacidad limitada	145
7.2.4	Análisis de avance sostenible y resiliente	147
CAPÍTULO 8	PROPUESTA DE PROSPECTIVA DE REQUERIMIENTOS DE INFRAESTRUCTURA HÍDRICA	150
8.1	SEGURIDAD HÍDRICA EN LA REGIÓN: ESTADO DEL ARTE	150
8.2	EL FUTURO EXISTE EN EL POTENCIAL DEL PRESENTE: POLÍTICAS PÚBLICAS E INNOVACIONES	153
8.3	GOBERNANZA PARA EL FUTURO DESEADO: EL ROL DEL MOP Y ACTORES CLAVE	153
8.4	FRENTE A LA INCERTIDUMBRE: VISIÓN COMÚN PARA LA RESILIENCIA	154
8.5	MEGATENDENCIAS Y SUS POTENCIALES CONSECUENCIAS: ESCENARIOS DE DESARROLLO	154
8.6	ADAPTACIÓN COMO CAMINO PARA NAVEGAR LA INCERTIDUMBRE	155
8.7	SOLUCIONES SINÉRGICAS PARA PROBLEMAS COMPLEJOS: INICIATIVAS ESTRATÉGICAS	155
8.8	MONITOREO Y ESTRATEGIAS DE CONTINGENCIA	158
CAPÍTULO 9	BIBLIOGRAFÍA	160

FIGURAS

Figura 2.1-1	Hidrografía de la región de Antofagasta	16
Figura 2.1-2	Distribución geográfica áreas protegidas, humedales y sitios prioritarios de la región de Antofagasta	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	22
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	27
Figura 2.2-4	Distribución de demanda total regional (%), por uso - año 2023.....	34
Figura 2.2-5	Distribución de demanda total consuntiva no extractiva y no consuntiva regional (Mm ³ /año), por uso – actual y proyectada	36
Figura 2.3-1	Cuencas y subcuencas de la región de Antofagasta según clasificación BNA37	
Figura 2.3-2	Ubicación geográfica de los DAA superficiales en la región de Antofagasta, por tipología	39
Figura 2.3-3	Restricciones de uso sobre fuentes superficiales, región de Antofagasta	40
Figura 2.3-4	Ubicación geográfica de los DAA subterráneas en la región de Antofagasta, por tipología	45
Figura 2.3-5	Restricciones de uso sobre fuentes subterráneas, región de Antofagasta ...	46
Figura 3.1-1	Distribución de viviendas en región de Antofagasta 2017	57
Figura 3.1-2	Distribución de hogares en zonas rurales con acceso a servicios básicos, según la fuente de obtención de agua.....	58
Figura 3.1-3	Acceso a la red de agua potable según indicador BS12 en las viviendas rurales de la región de Antofagasta	59
Figura 3.1-4	Cobertura de sistemas de alcantarillado de la población rural de la región de Antofagasta, según indicador BS13	60
Figura 3.1-5	Cobertura de sistemas de alcantarillado de la población rural para el año 2022	60
Figura 3.1-6	Infraestructura principal asociada a los recursos hídricos de la región de Antofagasta	64

Figura 3.1-7	Red hidrométrica de la región de Antofagasta	67
Figura 4.1-1	Probabilidad de excedencia sobre la curva de oferta, de la demanda actual y futura, cuenca BNA 027	74
Figura 4.1-2	Indicadores de disponibilidad hídrica para el año 2025 en la región de Antofagasta	75
Figura 4.1-3	Variación de indicadores de disponibilidad hídrica proyectada por año en la región de Antofagasta	77
Figura 4.2-1	Resumen de Brechas Estratégicas por Cuenca Región de Antofagasta.....	92
Figura 4.3-1	Distribución geográfica de iniciativas catastradas sin ejecutar en periodo 2010-2022, asociadas a brechas de seguridad hídrica en la región de Antofagasta	99
Figura 5.1-1	Diagrama de flujo Iniciativas Estratégicas.....	106
Figura 5.2-1	Diagrama Composición Iniciativas Estratégicas	107
Figura 5.3-1	Diagrama Estructura Iniciativas Estratégica, Tipología de Proyectos y Cartera de Pre/Inversiones.....	110
Figura 5.3-2	Diagrama de Composición de Cartera de Pre/inversión.....	111
Figura 6.3-1	Diagrama de proceso para la generación de la cartera de inversión	133
Figura 6.3-2	Composición de la cartera de inversión por tipología de proyecto para la región de Antofagasta	134
Figura 6.3-3	Cartera de inversión por tipo de iniciativa estratégica para la región de Antofagasta	135
Figura 6.3-4	Cartera de inversión por tipo de fuente de inversión para la región de Antofagasta	136
Figura 8.1-1	Distribución de demanda total regional (%), por uso - año 2023.....	152
Figura 8.7-1	Inversión total distribuida por Iniciativas Estratégicas	156

TABLAS

Tabla 2.2-1	Estimación demanda Agua Potable Urbana actual y futura– Cuencas BNA región Antofagasta	20
Tabla 2.2-2	Estimación demanda hídrica Agua Potable Rural actual y futura, por cuenca BNA región de Antofagasta	23
Tabla 2.2-3	Proyección de la población rural en áreas con APR – Cuencas BNA región Antofagasta	24
Tabla 2.2-4	Estimación demanda hídrica en áreas rurales sin APR actual y futura – Cuencas BNA región Antofagasta	25
Tabla 2.2-5	Proyección de la población rural en áreas sin APR – Cuencas BNA región Antofagasta	25
Tabla 2.2-6	Estimación demanda hídrica Agrícola actual y futura – Cuencas BNA Región Antofagasta	26
Tabla 2.2-7	Estimación demanda hídrica Minera actual y futuro – Cuencas BNA Región Antofagasta	29
Tabla 2.2-8	Estimación demanda hídrica Industrial actual y futura – Cuencas BNA Región Antofagasta	31
Tabla 2.2-9	Estimación demanda hídrica Forestal actual y futura – Cuencas BNA Región Antofagasta	32
Tabla 2.2-10	Estimación demanda hídrica Pecuaria actual y futuro – Cuencas BNA Región Antofagasta	33
Tabla 2.2-11	Caudales de Reserva para protección ambiental – Cuencas BNA Región Antofagasta	34
Tabla 2.2-12	Resumen de demandas consuntivas – Cuencas BNA región de Antofagasta	35
Tabla 2.3-1	Oferta hídrica actual y proyectada de agua superficial en la región de Antofagasta	42
Tabla 2.3-2	Escorrentía total y glaciación en periodo histórico 1985-2015.....	43
Tabla 2.3-3	Oferta hídrica actual de agua subterránea en la región de Antofagasta.....	47
Tabla 2.3-4	Oferta hídrica actual y proyectada de agua subterránea en la región Antofagasta	48
Tabla 2.3-5	Precipitación Máxima en 24 Horas para T = 20 años	49

Tabla 2.3-6	Eventos extremos históricos en la región de Antofagasta, periodo 1912-2017	50
Tabla 2.3-7	Cuencas afectadas por eventos extremos en la región de Antofagasta, periodo 2017-2023	50
Tabla 3.1-1	Producción de agua y número de territorios operacionales por cuenca	55
Tabla 3.1-2	Planes de desarrollo vigentes según concesión en la región de Antofagasta ..	56
Tabla 3.1-3	Catastro de plantas y proyectos de desalinización en la región de Antofagasta	62
Tabla 3.1-4	Planes maestros de aguas lluvias tramitados para la región de Valparaíso ..	65
Tabla 3.1-5	Obras de tramo colector presentes en la región de Antofagasta	65
Tabla 3.1-6	Obras de control aluvional presentes en la región de Antofagasta	66
Tabla 3.1-7	Estaciones de monitoreo de la región de Antofagasta	66
Tabla 3.1-8	Iniciativas clasificadas según tipología y estrategia de acción	68
Tabla 3.1-9	Iniciativas según tipologías y características básicas	69
Tabla 3.1-10	Iniciativas planificadas dentro de los planes de desarrollo de las empresas sanitarias para la región de Antofagasta	70
Tabla 3.1-11	Inversión histórica MOP 2015-2023 según estrategias de acción	71
Tabla 4.1-1	Brechas Hídricas por Cuenca Región de Antofagasta	76
Tabla 4.2-1	Brechas Estratégicas de Consumo Humano por Cuenca Región de Antofagasta	81
Tabla 4.2-2	Brechas Estratégicas de Consumo Humano por Cuenca Región de Antofagasta (continuación)	82
Tabla 4.2-3	Brechas Estratégicas de Desarrollo Económico por Cuenca Región de Antofagasta	84
Tabla 4.2-4	Brechas Estratégicas de Desarrollo Económico por Cuenca Región de Antofagasta (continuación)	85
Tabla 4.2-5	Brechas Estratégicas de conservación y preservación de los ecosistemas, por Cuenca Región de Antofagasta	87
Tabla 4.2-6	Brechas Estratégicas de conservación y preservación de los ecosistemas, por Cuenca Región de Antofagasta (continuación)	88
Tabla 4.2-7	Brechas Estratégicas resiliencia frente a amenazas asociadas a eventos extremos por Cuenca Región de Antofagasta	90
Tabla 4.3-1	Tipología de iniciativas asociadas a resolver brechas estratégicas en la región de Antofagasta	96
Tabla 4.3-2	Tipología de iniciativas asociadas a resolver brechas estratégicas en la región de Antofagasta (continuación)	97
Tabla 4.3-3	Universo y metas de infraestructura según tipología en la región de Antofagasta	104
Tabla 5.1-1	Iniciativas Estratégicas	107

Tabla 5.2-1	Tipologías de Proyectos por Iniciativas Estratégicas	108
Tabla 5.3-1	Criterios para la determinación de las iniciativas a proyectar ANT-INI-EST-01	112
Tabla 5.3-2	Criterios para la determinación de las iniciativas a proyectar ANT-INI-EST-02	112
Tabla 5.3-3	Criterios para la determinación de las iniciativas a proyectar ANT-INI-EST-03 y ANT-INI-EST-06.....	113
Tabla 5.3-4	Criterios para la determinación de las iniciativas a proyectar ANT-INI-EST-04	114
Tabla 5.3-5	Criterios para la determinación de las iniciativas a proyectar ANT-INI-EST-05	114
Tabla 5.4-1	Precios Unitarios de Tipologías de Proyectos según Etapa MDSyF	115
Tabla 5.5-1	Costos totales propuesta por IE para dar respuesta a las brechas identificadas	119
Tabla 5.6-1	Criterios para la estimación de beneficios por Inversión (General)	121
Tabla 5.6-2	Criterios para la estimación de beneficios Matriz Hídrica	125
Tabla 6.1-1	Criterios de Evaluación de Inversiones y valorización para su priorización	130
Tabla 8.1-1	Balance Hídrico Estructural actual de la región de Antofagasta.....	152

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

A continuación, se presenta una breve introducción al estudio y el marco estratégico desarrollado para la región de Antofagasta 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 de Antofagasta.

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, se define una imagen objetivo donde la región de Antofagasta “[...] se destaca por su matriz productiva diversificada, con la minería como actividad relevante y con un importante desarrollo de energías renovables, turismo y comercio exterior y servicios logísticos, apoyados por la innovación y el emprendimiento continuo.” La cual “[...] cuenta con un manejo eficiente y sostenible del recurso hídrico, que permite abastecer a la población y a las distintas actividades productivas que se desarrollan en los territorios, con una adecuada cobertura de servicios básicos en las áreas rurales, aisladas y rezagadas. La región ha logrado recuperar y gestionar [...] el borde costero y las áreas protegidas por su riqueza natural, con un sistema de gestión de riesgos de desastres que permite preparar y proteger a la comunidad, mejorando la resiliencia del territorio.”

A continuación, se presenta el objetivo general y los objetivos estratégicos regionales los cuales se han definido a partir de la revisión y análisis del Estudio de Análisis Integral Desarrollado para el Plan Director 2025-2055 (DIRPLAN, 2024), los Planes de Riego de la región (CNR, 2017), los Planes Estratégicos de Gestión Hídrica (PEGHs) desarrollados dentro de la región (DGA, 2020), Planes de Estrategias Regionales del Gobierno Regional de Antofagasta (GORE Antofagasta, 2022), y por último el inventario de planes del Ministerio de Obras Públicas (MOP, 2023). El detalle del análisis realizado se presenta en el Anexo 03.05.02.

1.2.2 Objetivo estratégico general

Fortalecer la seguridad hídrica regional a través de un modelo de gestión integral y colaborativa que garantice el derecho humano al agua. Esto implica mejorar la cobertura y calidad de los sistemas de agua potable y saneamiento rural, priorizando soluciones para aumentar la capacidad de almacenamiento, tratamiento y distribución, y promover el

desarrollo de tecnologías sostenibles de producción de agua, como la recarga artificial de acuíferos y la desalinización. Asimismo, se implementará una gestión integrada, eficiente y resiliente de los recursos hídricos que apoye el desarrollo económico sostenible de sectores estratégicos, a través de infraestructura multipropósito, reutilización de aguas y prácticas productivas eficientes, todo ello sustentado en la generación de información hídrica robusta, la conservación de la biodiversidad y los ecosistemas, y el fortalecimiento de la gestión de riesgos de desastres.

1.2.3 Objetivos estratégicos específicos

1. Garantizar el derecho humano al agua mediante servicios de infraestructura y gestión hídrica que aseguren el acceso al agua potable y al saneamiento adecuado para todas las comunidades, especialmente aquellas en zonas aisladas y rezagadas, tanto en áreas urbanas como rurales. Esto implica mejorar la cobertura de sistemas de agua potable rural y saneamiento, desarrollar infraestructura social que beneficie a los habitantes, y gestionar el recurso hídrico de manera eficiente y sostenible, considerando las necesidades de género y la diversidad de contextos territoriales. Se priorizarán soluciones para mejorar las capacidades de almacenamiento, tratamiento del agua, y sistemas de distribución/conducción, asegurando la provisión adecuada de agua potable para mejorar la calidad de vida y fortalecer la resiliencia de las comunidades frente a la creciente demanda de agua.
2. Reducir la vulnerabilidad de las personas ante riesgos socio-naturales promoviendo iniciativas de saneamiento, y el desarrollo de tecnologías para producción sustentable de agua potable a través de la investigación y la identificación de nuevas fuentes hídricas; en particular, se evaluará la implementación de recargas artificiales de acuíferos, y la exploración de alternativas como la desalinización del agua de mar y la captura de evaporación de piscinas de salmuera.
3. Impulsar el desarrollo económico sostenible de la región en sectores estratégicos como la minería y la agricultura, sin comprometer la disponibilidad de agua, especialmente en zonas de escasez. Para ello, se promoverá una gestión integrada de los recursos hídricos, basada en la eficiencia, la sostenibilidad y la resiliencia al cambio climático. Se implementarán infraestructuras hídricas multipropósito, incluyendo sistemas de acumulación, como la construcción de estanques y la impermeabilización de tranques existentes, que permitan aprovechar fuentes de agua no convencionales, como la cosecha de aguas lluvias durante el invierno altiplánico. Se fomentará la reutilización de aguas servidas tratadas, se evaluará la recarga artificial de acuíferos y se impulsará la desalinización para usos agrícolas e industriales, siempre con un enfoque sostenible y respetuoso con el medio ambiente.
4. Impulsar una transición socioecológica justa hacia una gestión sostenible del agua a nivel de cuencas, que permita el desarrollo de ventajas tecnológicas ligadas a los recursos naturales y la formación de capital humano. Para lograrlo, se promoverán

prácticas productivas eficientes que reduzcan los requerimientos de agua, modernizando los sistemas de riego existentes e incorporando tecnologías de precisión, como la telemetría, para optimizar su uso. Se fomentará la mejora de la infraestructura de captación y conducción, con modificaciones y mejoras en canales y bocatomas, considerando la tecnificación de riego en equilibrio con el aspecto cultural. Se impulsará la investigación e innovación en tecnologías para la producción sostenible de agua industrial, y se facilitará la transferencia tecnológica a pequeños agricultores para mejorar la eficiencia hídrica en cultivos.

5. Asegurar una distribución equitativa y sostenible de los servicios de infraestructura, los sistemas económicos productivos y los asentamientos, en armonía con las aptitudes y capacidades territoriales, protegiendo la biodiversidad y los ecosistemas acuáticos. Esto implica fomentar el uso sostenible del suelo, su conservación y recuperación, implementando prácticas que eviten la desertificación y la erosión. Se incentivará la restauración de áreas degradadas, incluyendo humedales urbanos, y la gestión hídrica integral para controlar la contaminación y mitigar los efectos negativos de aguas ricas en boro y arsénico, priorizando la calidad del agua para consumo humano y riego; se investigarán y validarán tecnologías de abatimiento eficientes para el tratamiento de aguas, incluyendo sistemas convencionales y no convencionales. Se implementarán medidas para mitigar el impacto de pasivos mineros en la agricultura. La conservación de la rica biodiversidad de la región, incluyendo sus parques nacionales, reservas y monumentos naturales, será un pilar fundamental en la toma de decisiones, reconociendo el valor de los servicios ecosistémicos que proveen los salares y humedales altoandinos.
6. Fortalecer la seguridad hídrica mediante un modelo de gobernanza colaborativa entre el sector público, privado y la ciudadanía. Este modelo se basará en la generación de información hídrica robusta y accesible, que permita una gestión integrada y eficiente de los recursos hídricos. Para ello, se propone optimizar la red de monitoreo hidrometeorológico, incorporando nuevas estaciones de medición de caudales, niveles freáticos y calidad de agua, especialmente en cuencas prioritarias, zonas de humedales y áreas con datos limitados; y profundizar el conocimiento hidrogeológico de las cuencas, incluyendo la interacción entre aguas superficiales y subterráneas, la dinámica de recarga y descarga, y la caracterización de acuíferos que sustentan ecosistemas sensibles como Sistemas Vegetacionales Azonales Hídrico Terrestres (SVAHTs).
7. Fortalecer la resiliencia territorial y reducir la vulnerabilidad frente a eventos climáticos extremos y amenazas socio-naturales. Para lograrlo, se implementarán medidas que promuevan la gestión sostenible del suelo, el uso eficiente de los recursos hídricos y la integración de medidas de resiliencia desde la concepción de infraestructuras. Se buscará potenciar las soluciones basadas en la naturaleza, como la infraestructura verde, complementando las tradicionales, para mejorar la capacidad de adaptación de los ecosistemas locales. Se fortalecerá el sistema de gestión de riesgos de desastres,

incluyendo la construcción de obras de control y mitigación aluvional, para proteger a la población y la infraestructura existente, considerando la vulnerabilidad y resiliencia de cada zona, especialmente en áreas propensas a lluvias intensas, crecidas y aluviones.

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 03.01 del presente estudio.

2.1.1 Dimensión física

La Región de Antofagasta se caracteriza por su relieve, que incluye la Cordillera de la Costa, la Depresión Intermedia y la Cordillera Principal. La Cordillera de la Costa, con una altura promedio de 2.000 m, se extiende como un macizo ancho. La transición hacia la Depresión Intermedia se representa en el desierto de Atacama, entre el río Loa y las sierras Vicuña Mackenna, del Muerto y Peñafiel. Por su parte, la Cordillera Principal presenta un plano inclinado de relleno volcánico entre las cotas de 1.500 y 3.000 msnm. Los yacimientos metalíferos se distribuyen en tres franjas metalogénicas coincidentes con las unidades geomorfológicas mayores: la Cordillera de la Costa, la Cordillera de Domeyko y la Cordillera Principal (MOP, 2012).

En cuanto al drenaje, destaca el río Loa como el único que desemboca en el mar en la región. Su régimen fluvionival permite mantener un caudal constante durante todo el año, siendo aprovechado para la agricultura, la minería y el consumo humano en ciudades como Calama, Antofagasta y Chuquicamata. Al sur del río Loa se encuentra el salar de Atacama, separando la Cordillera de los Andes de la precordillera de Domeyko. Los principales cursos de agua provienen del norte, como el río San Pedro y el río Vilama, que abastecen a los oasis y poblados de la cuenca. La hidrografía de la región se presenta en la Figura 2.1-1.

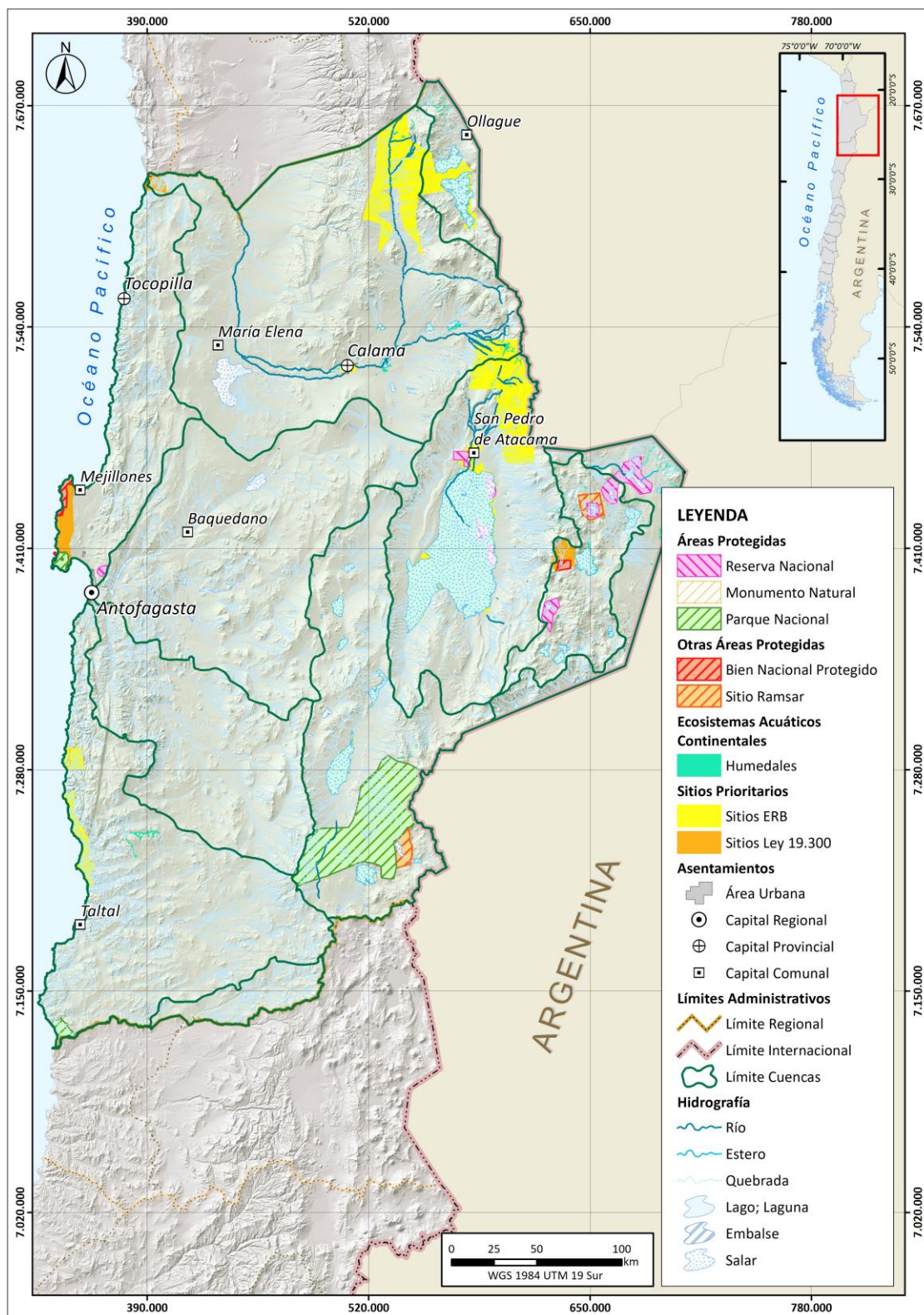
La Región de Antofagasta cuenta con diversas áreas de conservación administradas por la Corporación Nacional Forestal (CONAF), que contribuyen a la protección de la biodiversidad y al desarrollo sostenible de la región. Entre estas áreas se destacan la Reserva Nacional Los Flamencos y la Reserva Nacional La Chimba, que albergan una rica variedad de flora y fauna

característica del desierto de Atacama (ver Figura 2.1-2). Sin embargo, la protección de humedales en la región de Antofagasta muestra una situación variada. Las cuencas Fronterizas Salar Michincha y Río Loa, Río Loa, Costeras entre Río Loa y Quebrada Caracoles, Endorreicas entre Salar de Atacama y Vertiente del Pacífico, Quebrada Caracoles, Quebrada La Negra, Costeras entre Q. La Negra y Q. Pan de Azúcar, y Costeras entre Q. Pan de Azúcar y Río Salado presentan una alta criticidad, con porcentajes inferiores al 2% en la protección de humedales. Por otro lado, las cuencas Endorreica entre Fronterizas y Salar de Atacama, y Salar de Atacama tienen una criticidad media con porcentajes de protección de humedales que varían entre 5% y 13%. Por su parte, la cuenca Fronterizas entre Salar de Atacama y Socompa tiene una criticidad baja, la cual cuenta con 49% de protección de humedales. Esta evaluación subraya la necesidad de mejorar la gestión y protección de los humedales, salares u otro tipo de ecosistema acuático, para mitigar los impactos negativos en los recursos hídricos y los servicios ecosistémicos (ver acápite 4.2.4).



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

Figura 2.1-1 Hidrografía de la región de Antofagasta



Fuente: Elaboración propia en base a CONAF.

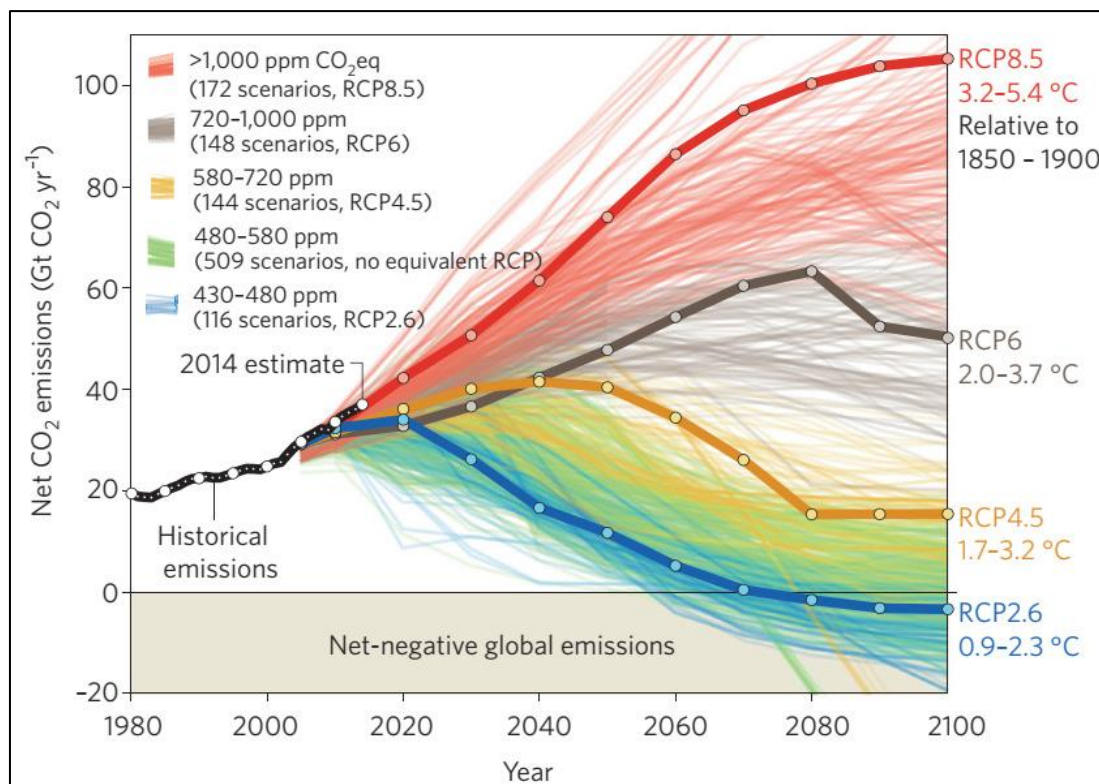
Figura 2.1-2 Distribución geográfica áreas protegidas, humedales y sitios prioritarios de la región de Antofagasta

2.1.2 Clima

La Región de Antofagasta se caracteriza por su marcada aridez, manifestada plenamente en la zona intermedia, donde el Desierto de Atacama define el paisaje natural. Se identifican cuatro subtipos climáticos desérticos a lo largo de la región: desértico costero nuboso en la costa, desértico interior en la franja intermedia, desértico marginal de altura entre 2.000 y 3.500 metros sobre el nivel del mar, y estepa de altura sobre los 3.500 metros. Estos subtipos presentan características climáticas específicas, como sequedad atmosférica, amplitud térmica y escasas precipitaciones. Más detalles sobre la distribución y características específicas de estos climas se pueden encontrar en el Anexo 03.01, en donde se presenta la clasificación climática de Köppen-Geiger; además de los diagramas ombrotérmicos 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 es el CSIRO-Mk3-6-1. Mayor información sobre los GCM seleccionados se presenta en Anexo 03.01.

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



Fuente: Havlik et al., (2014).

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

2.1.3 Dimensión socioeconómica y cultural

La región de Antofagasta se sitúa en la macrozona norte del país y tiene un área de 126.044 km². Antofagasta representa el 3,46% de la población nacional con 607.534 habitantes. y corresponde a la segunda región de la Macrozona Norte con mayor crecimiento poblacional en el periodo intercensal 2002-2017 y a la tercera a nivel país, con una variación porcentual del 22,99% (INE, 2017). Esta población representa el 2,06% de la población nacional y se compone de 51,85% hombres y 48,15% a mujeres. Del total regional, un 94,1% corresponde al área urbana y un 5,9% al área rural (INE, 2017).

El Producto Interno Bruto (PIB) de la Región de Antofagasta consignado por el Banco Central de Chile (referencia) al año 2022, corresponde a \$31.583 mil millones de pesos, representando el 12,03% a nivel nacional. En términos sectoriales, se destaca la minería (74,5%), seguida por construcción (4,6%) y servicios financieros y empresariales (4,6%). Respecto al sector electricidad, gas, agua y gestión de desechos, este alcanza un 1,2% del PIB regional, mientras que el sector agropecuario-silvícola tiene un 0% de participación (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 de Antofagasta 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 ($Mm^3/año$).

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 03.02.

Tabla 2.2-1 Estimación demanda Agua Potable Urbana actual y futura– Cuencas BNA región Antofagasta

Cód. Cuenca	Cuencas	Demanda ($Mm^3/año$)				
		2022	2025	2035	2045	2055
021	Río Loa	10.610	10.725	11.029	11.164	11.216
022	Costeras R. Loa - Q. Caracoles	18.025	18.225	19.536	20.551	21.424
023	Fronterizas Salares Atacama - Socompa	0	0	0	0	0
024	Endorreica entre Fronterizas y Salar Atacama	0	0	0	0	0
025	Salar de Atacama	0	0	0	0	0
026	Endorreicas Salar Atacama - Vertiente Pacifico	0	0	0	0	0
027	Quebrada Caracoles	5.281	5.338	5.727	6.031	6.295
028	Quebrada la Negra	3.042	3.076	3.297	3.467	3.614
029	Costeras entre Q. la Negra y Q. Pan de Azúcar	2.073	2.094	2.240	2.355	2.454
Total		39.031	39.458	41.829	43.568	45.003

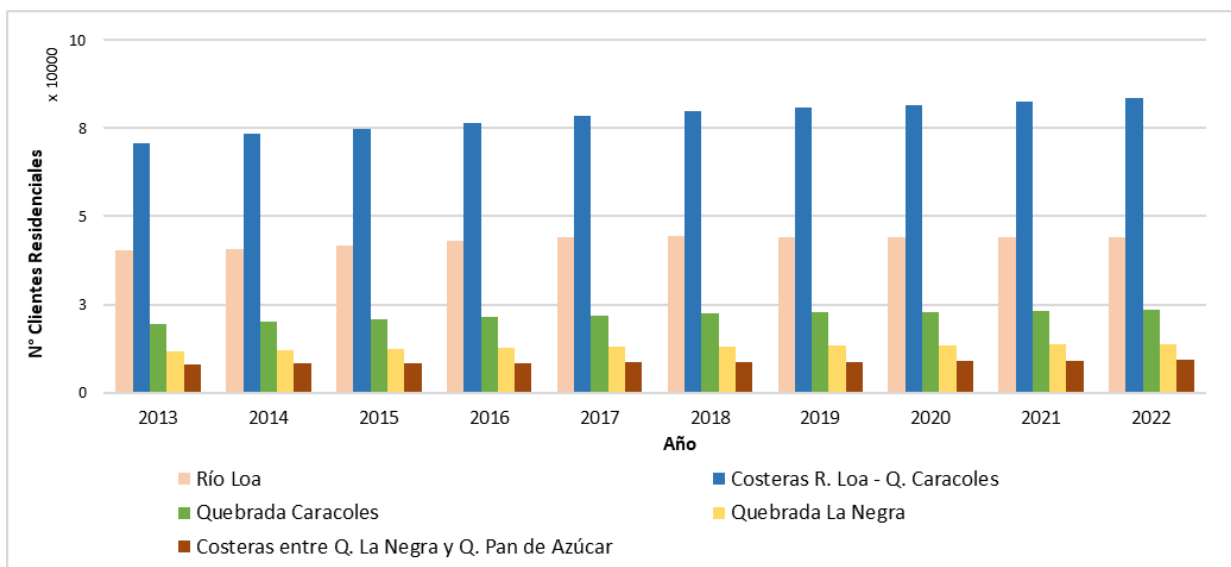
Fuente: Elaboración propia en base a SISS (2023).

Según se desprende de la Tabla 2.2-1, la proyección futura muestra una tendencia al alza en todas las cuencas, asociada al aumento de la población urbana que demanda el recurso hídrico en las cuencas. Asimismo, se observa que la mayor demanda se concentra en las cuencas Costeras R. Loa – Q. Caracoles (Código cuenca N°022) y Río Loa (Código cuenca

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

N°021), en donde opera el sistema de producción de agua potable Gran Sistema Norte, que abastece a la mayor población de la región.

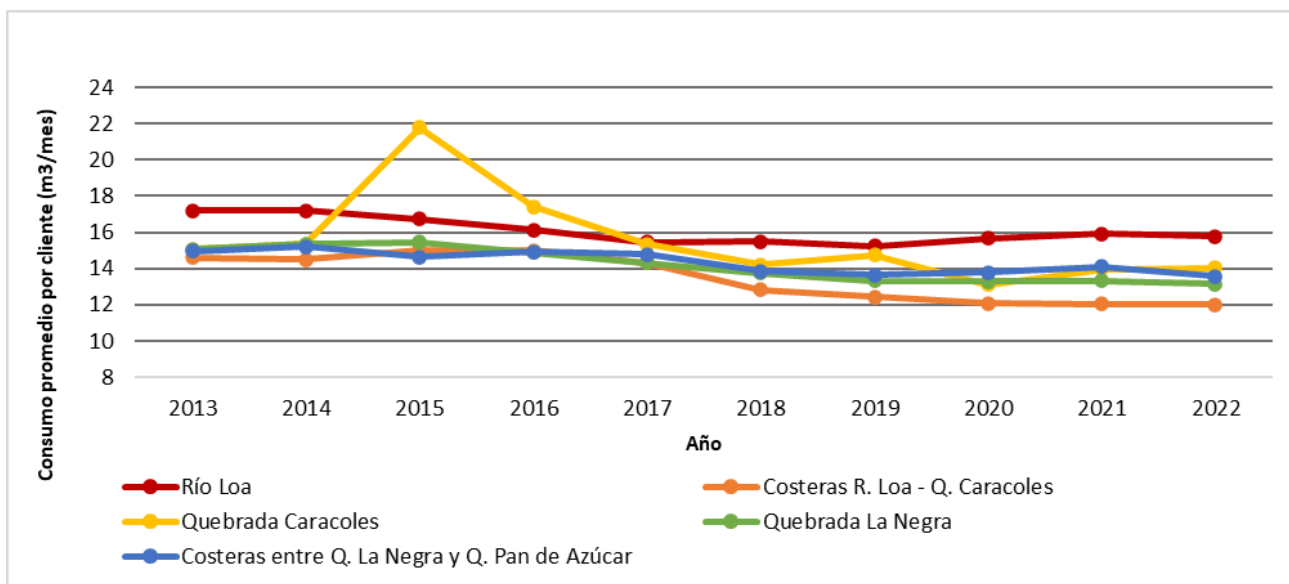
En relación a lo anterior, se identifica que el mayor número de clientes corresponde a Clientes Residenciales los que representan el 95,9% del total de clientes de la región. Respecto a la tasa de crecimiento, en los últimos 10 años, los clientes residenciales presentan en promedio un aumento de un 0,02%. En la Figura 2.2-1 se muestra la distribución de Clientes Residenciales por cuenca entre los años 2013 y 2022.



Fuente: SISS (2022)

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

En relación al consumo mensual promedio, se observa una leve baja a nivel general en la última década, siendo las cuencas Costeras Río Loa – Quebrada Caracoles (código BNA 022) aquella que presenta una baja más notoria a partir del año 2018 (Figura 2.2-2).



Fuente: SISS (2022).

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

En cuanto a las fuentes de abastecimiento, estas son de carácter superficial, subterráneo y marino, donde las principales captaciones se realizan en el río Loa en la alta cordillera para el abastecimiento de las comunas de Antofagasta, Mejillones, Calama y Tocopilla.

En el caso de Taltal, esta comuna se abastece mediante pozos situados en el sector de Agua Verde; mientras que las captaciones de agua de mar mediante plantas desaladoras abastecen al 60% del agua potable requerida en la ciudad de Antofagasta y el 100% de la ciudad de Mejillones (Aguas Antofagasta, 2024).

2.2.2 Agua potable rural

A continuación, se presenta la estimación de la demanda de agua potable rural actual (2022) y proyectada de los Servicios Sanitarios Rurales (SSR) de las cuencas de la región de Antofagasta.

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 03.02.

Cabe destacar que las cuencas Fronterizas Salares Atacama – Socompa y la cuenca Endorreica entre Fronterizas y Salar Atacama no presentan valores de demanda de agua potable rural debido a que no se presenta población permanente habitando estas zonas. Por otra parte, las cuencas costeras Quebrada Pan de Azúcar – Río Salado, si bien en su mayoría corresponden a la región de Atacama, una pequeña porción se encuentra dentro de la región de Antofagasta.

Tabla 2.2-2 Estimación demanda hídrica Agua Potable Rural actual y futura, por cuenca BNA región de Antofagasta

Cód. Cuenca	Cuencas	Demanda (Mm³/año)				
		2022	2025	2035	2045	2055
020	Fronterizas Salar Michincha - R. Loa	16	16	17	17	18
021	Río Loa	350	356	440	448	451
022	Costeras R. Loa - Q. Caracoles	0	0	38	39	39
023	Fronterizas Salares Atacama - Socompa	0	0	0	0	0
024	Endorreica entre Fronterizas y Salar Atacama	0	0	0	0	0
025	Salar de Atacama	544	553	576	586	590
026	Endorreicas Salar Atacama - Vertiente Pacífico	0	0	98	99	100
027	Quebrada Caracoles	0	0	177	180	181
028	Quebrada La Negra	0	0	40	41	41
029	Costeras entre Q. La Negra y Q. Pan de Azúcar	29	29	63	65	65
031	Costeras Q. Pan de Azúcar - R. Salado	0	0	3	3	3
Total		939	954	1.452	1.478	1.488

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 a excepción de las cuencas Fronterizas Salares Atacama – Socompa (código BNA 023) y la cuenca Endorreica entre Fronterizas y Salar de Atacama (código BNA 024), donde no se presenta población rural permanente. La tendencia al alza, se asocia un 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 Salar de Atacama, en donde se concentra la mayor población.

En la Tabla 2.2-3 se presenta la proyección de la población rural con APR en las cuencas de la región de Antofagasta, donde se observa un incremento en la población rural para el año 2055 respecto de la población actual de un 5% para las cuencas Costeras R. Loa – Q. Caracoles (código BNA 022) y un 7% para las cuencas Fronterizas Salar Michincha – R. Loa (código BNA 020), Río Loa (código BNA 021), cuenca del Salar del Atacama (código BNA 025) y cuencas Costeras entre Q. La Negra y Q. Pan de Azúcar (código BNA 029).

Tabla 2.2-3 Proyección de la población rural en áreas con APR – Cuencas BNA región Antofagasta

Cód. Cuenca	Cuencas	Población rural áreas con APR (hab)				
		2022	2025	2035	2045	2055
020	Fronterizas Salar Michincha - R. Loa	298	303	316	322	324
021	Río Loa	5.490	5.587	5.820	5.924	5.964
022	Costeras R. Loa - Q. Caracoles	572	572	590	600	605
023	Fronterizas Salares Atacama - Socompa	0	0	0	0	0
024	Endorreica entre Fronterizas y Salar Atacama	0	0	0	0	0
025	Salar de Atacama	9.936	10.111	10.534	10.721	10.794
026	Endorreicas Salar Atacama - Vertiente Pacífico	0	0	0	0	0
027	Quebrada Caracoles	0	0	0	0	0
028	Quebrada La Negra	0	0	0	0	0
029	Costeras entre Q. La Negra y Q. Pan de Azúcar	465	473	493	502	505
031	Costeras Q. Pan de Azúcar - R. Salado	0	0	0	0	0
Total		16.761	17.046	17.753	18.068	18.192

Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, la Tabla 2.2-4 presenta la proyección de demanda futura para las áreas sin presencia de APR, donde se observa una proyección del 7% de aumento en el consumo para el año 2055 en las cuencas Fronterizas Salar Michincha – Río Loa (código BNA 020), Río Loa (código BNA 021), cuencas Costeras Río Loa – Quebrada Caracoles (código BNA 022), cuencas Endorreicas Salar de Atacama – Vertiente Pacífico (código BNA 026), Quebrada Caracoles (código BNA 027), Quebrada La Negra (código BNA 028), cuencas Costeras entre Quebrada La Negra y Quebrada Pan de Azúcar (código BNA 029) y Costeras Pan de Azúcar – Río Salado (código BNA 031).

Tabla 2.2-4 Estimación demanda hídrica en áreas rurales sin APR actual y futura – Cuencas BNA región Antofagasta

Cód. Cuenca	Cuenca	Demanda hídrica áreas sin APR (Mm3/año)				
		2022	2025	2035	2045	2055
020	Fronterizas Salar Michincha - R. Loa	0	0	0	0	0
021	Rio Loa	68	69	72	73	74
022	Costeras R. Loa - Q. Caracoles	9	9	10	10	10
023	Fronterizas Salares Atacama - Socompa	0	0	0	0	0
024	Endorreica entre Fronterizas y Salar Atacama	0	0	0	0	0
025	Salar de Atacama	0	0	0	0	0
026	Endorreicas Salar Atacama - Vertiente Pacifico	97	98	102	104	105
027	Quebrada Caracoles	175	177	185	188	189
028	Quebrada La Negra	40	41	43	43	44
029	Costeras entre Q. La Negra y Q. Pan de Azúcar	33	33	35	35	35
031	Costeras Q. Pan de Azúcar - R. Salado	3	3	3	3	3
Total		427	432	450	458	461

Fuente: Elaboración propia.

Por último, en relación a las áreas de la región que no cuentan con APR, la Tabla 2.2-5 presenta el aumento de población al año 2055 de un 7% en relación a la población actual.

Tabla 2.2-5 Proyección de la población rural en áreas sin APR – Cuencas BNA región Antofagasta

Cód. Cuenca	Cuencas	Población rural en áreas sin APR (hab)				
		2022	2025	2035	2045	2055
20	Fronterizas Salar Michincha - R. Loa	20	20	21	21	22
21	Río Loa	3.750	3.792	3.951	4.021	4.048
22	Costeras R. Loa - Q. Caracoles	512	517	539	549	552
23	Fronterizas Salares Atacama - Socompa	0	0	0	0	0
24	Endorreica entre Fronterizas y Salar Atacama	0	0	0	0	0
25	Salar de Atacama	0	0	0	0	0
26	Endorreicas Salar Atacama - Vertiente Pacifico	5.331	5.390	5.616	5.715	5.755
27	Quebrada Caracoles	9.608	9.715	10.122	10.301	10.372
28	Quebrada La Negra	2.212	2.236	2.330	2.371	2.388
29	Costeras entre Q. La Negra y Q. Pan de Azúcar	1.797	1.817	1.893	1.926	1.939
31	Costeras Q. Pan de Azúcar - R. Salado	173	175	182	186	187
Total		23.402	23.664	24.654	25.091	25.263

Fuente: Elaboración propia.

2.2.3 Agrícola

Para estimar la demanda de agua para riego agrícola en la región de Antofagasta, 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 del 2022 (DGA U. d., 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 03.02.

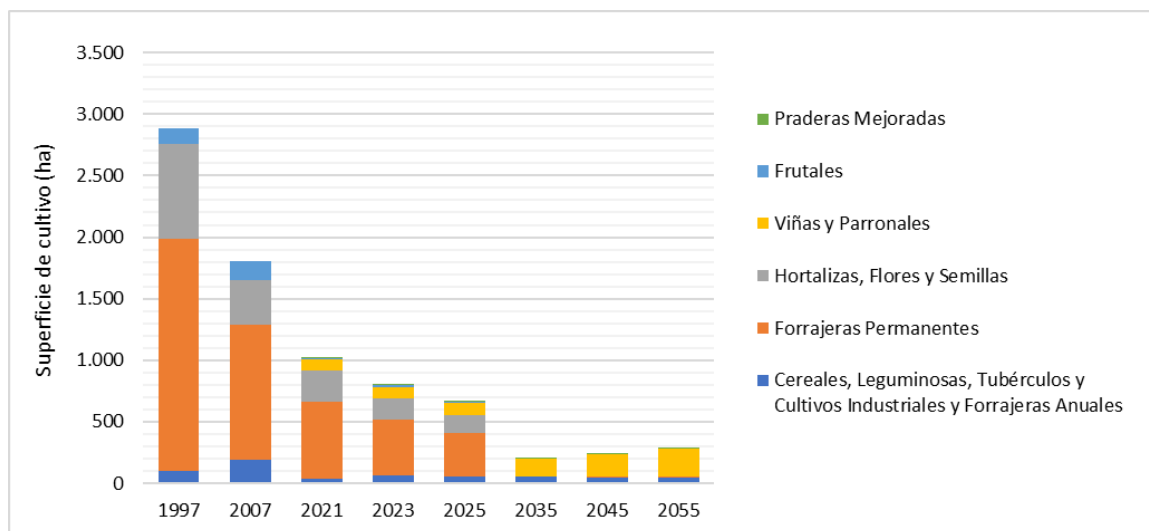
**Tabla 2.2-6 Estimación demanda hídrica Agrícola actual y futura – Cuencas BNA
Región Antofagasta**

Cód. Cuenca	Cuenca	Demanda (Mm ³ /año)				
		2023	2025	2035	2045	2055
020	Fronterizas Salar Michincha - R. Loa	987	1.096	157	154	151
021	Río Loa	10.708	9.420	1.451	1.401	1.316
022	Costeras R. Loa - Q. Caracoles	9	9	8	7	7
023	Fronterizas Salares Atacama-Socompa	2.405	2.418	477	552	624
024	Endorreica entre Fronterizas y Salar Atacama	3.093	3.099	615	710	789
025	Salar de Atacama	10.626	9.940	2.002	2.355	2.621
026	Endorreicas Salar Atacama-Vertiente Pacífico	82	94	113	137	154
027	Quebrada Caracoles	898	758	222	240	254
028	Quebrada la Negra	170	183	235	286	331
029	Costeras entre Q. la Negra y Q. Pan de Azúcar	396	425	574	726	877
031	Costeras Q. Pan de Azúcar- R. Salado	155	167	227	288	352
Total		29.529	27.609	6.081	6.856	7.476

Fuente: Elaboración propia.

Según los datos de la Tabla 2.2-6, se proyecta una reducción del 75% en la demanda de agua en la región durante el periodo 2023-2055. Este descenso en la demanda se atribuye a una disminución de la superficie de cultivo proyectada, la cual se fundamenta en los registros de los Censos Agropecuarios de los años 1997, 2007 y 2021 (INE, 2007; INE, 2021; INE, 1997). 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, las cuales fueron sujetas a análisis de tendencia. En estos censos no se evidencia una tendencia lineal en las áreas de riego por cuenca a lo largo de los años, lo cual se refleja en la proyección futura.

En la Figura 2.2-3 se muestra la superficie por tipo de cultivo catastrada en los últimos tres censos (años 1997, 2007 y 2021), junto con la proyección de la superficie para los años 2023 a 2055.



Fuente: Elaboración propia en base a INE (1997), INE (2007) e INE (2021).

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

Se observa en la Figura 2.2-3 que la agricultura en la región de Antofagasta actualmente (2023) se manifiesta principalmente a través del cultivo de forrajes permanentes. Las proyecciones indican que la superficie destinada a este tipo de cultivo disminuirá, mientras que los cultivos de viñas y parronales aumentará, consolidándose como los más extensos para el año 2055.

En lo que respecta a la demanda hídrica actual (año 2023) se destacan los cultivos de forrajes permanentes como los principales consumidores de agua. Para el año 2055 se espera que el mayor demandante sean los cultivos de viñas y parronales representado el 80% del total de la demanda hídrica.

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

2.2.4 Generación eléctrica

Según los datos proporcionados por el Coordinador Eléctrico Nacional (CEN, 2023), en la región de Antofagasta no hay instalaciones de generación eléctrica que empleen recursos hídricos continentales en sus operaciones de producción.

2.2.5 Minero

Se estimó la demanda hídrica ejercida por las principales faenas mineras identificadas (toda ella de tipo consuntiva), pertenecientes a la minería metálica, representada por las producciones de cobre y oro y minería no metálica, representada por las producciones de compuestos de Yodo, Nitratos, Litio y Potasio. Los resultados se presentan en la Tabla 2.2-7 indicando los volúmenes anuales demandados.

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, ya sea de manera completa o parcial, en sus procesos. Por consiguiente, este estudio incluye la proyección de la demanda de agua desalada por parte de las faenas mineras que tienen unidades de desalación en fase de operación o en construcción. Esta proyección de demanda de agua desalada se sustrajo del cálculo de la demanda total estimada. Por lo tanto, la demanda presentada en la Tabla 2.2-7 representa únicamente una estimación de la demanda hídrica continental.

Para actualizar los datos de producción a la actualidad, se utilizó el último “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 03.02.

Tabla 2.2-7 Estimación demanda hídrica Minera actual y futuro – Cuencas BNA Región Antofagasta

Cód. Cuenca	Cuencas	Demanda (Mm³/año)				
		2023	2025	2035	2045	2055
020	Fronterizas Salar Michincha - R. Loa	0	0	0	0	0
021	Rio Loa	30.837	25.644	21.224	20.790	19.196
022	Costeras R. Loa- Q. Caracoles	1.274	1.039	852	877	898
023	Fronterizas Salares Atacama-Socompa	0	0	0	0	0
024	Endorreica entre Fronterizas y Salar Atacama	0	0	0	0	0
025	Salar de Atacama	3.327	3.723	4.005	6.460	7.901
026	Endorreicas Salar Atacama-Vertiente Pacifico	2.336	1.134	1.134	1.134	1.134
027	Quebrada Caracoles	12.601	9.669	9.172	10.484	10.819
028	Quebrada la Negra	829	948	1308	1551	1938
029	Costeras entre Q. la Negra y Q. Pan de Azúcar	888	576	294	302	310
031	Costeras Q. Pan de Azúcar- R. Salado	0	0	0	0	0
Total		52.092	42.733	37.989	41.598	42.196

Fuente: Elaboración propia.

La proyección futura de la demanda de agua en la región, como se evidencia en la Tabla 2.2-7 muestra una tendencia descendente en general. Esta reducción no se atribuye a una disminución de la producción minera, sino más bien a las proyecciones basadas en la tendencia histórica del consumo unitario de agua continental por tonelada de mineral de cobre procesado, el cual ha mostrado una tendencia a la baja en los últimos años. Es importante destacar que, en relación con la minería metálica, el cobre representó el 76% de la producción en el año 2022, consolidándose como el mineral principal de la región según el informe COCHILCO de (2022).

Respecto a los valores presentados en la Tabla 2.2-7, 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 en una misma cuenca, 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.

Los datos coinciden con las proyecciones de la Comisión Chilena del Cobre, que sitúa a la región de Antofagasta como líder en producción cuprífera hacia el 2030 (COCHILCO, 2019). Además, la minería actualmente constituye el 75% del PIB regional, según el Banco Central, destacándose como las principales actividades económicas (BC, 2022).

Se debe considerar que las proyecciones de demanda estimadas están sujetas a cierta incertidumbre debido, principalmente, a la expectativa de que en el futuro el uso de agua de mar aumente significativamente. 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,

2018). En la actualidad se identifican seis (6) plantas desalinizadoras en funcionamiento y cuatro (4) proyectos futuros. El detalle de estas plantas se presenta en el acápite 3.1.1.7.

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 (SISS, 2022) 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 (RECT) de la Superintendencia del Medio Ambiente asociado a las unidades fiscalizables.

Respecto al SIFAC II, no fueron consideradas aquellas industrias con servicio de agua potable, esto dado que dicha demanda forma parte de la demanda de agua potable urbana (acápite 2.2.1). En consecuencia, han sido consideradas desde el SIFAC II solo aquellas industrias que utilizan la red de alcantarillado de aguas servidas y extraen agua desde unas fuentes distintas a la red de agua potable. Los resultados se presentan en la Tabla 2.2-8 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 03.02.

**Tabla 2.2-8 Estimación demanda hídrica Industrial actual y futura – Cuencas BNA
Región Antofagasta**

Cód. Cuenca	Cuenca	Demanda (Mm ³ /año)				
		2023	2025	2035	2045	2055
020	Fronterizas Salar Michincha - R. Loa	0	0	0	0	0
021	Rio Loa	0	0	0	0	0
022	Costeras R. Loa- Q. Caracoles	11.771	12.264	14.726	17.188	17.681
023	Fronterizas Salares Atacama-Socompa	0	0	0	0	0
024	Endorreica entre Fronterizas y Salar Atacama	0	0	0	0	0
025	Salar de Atacama	0	0	0	0	0
026	Endorreicas Salar Atacama-Vertiente Pacifico	0	0	0	0	0
027	Quebrada Caracoles	0	0	0	0	0
028	Quebrada la Negra	0	0	0	0	0
029	Costeras entre Q. la Negra y Q. Pan de Azúcar	0	0	0	0	0
031	Costeras Q. Pan de Azúcar- R. Salado	0	0	0	0	0
Total		11.771	12.264	14.726	17.188	17.681

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con los datos presentados en la Tabla 2.2-8, 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 50% 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 2,5% del PIB regional. Además, tuvo un incremento de un 42% 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 2014 de la Corporación Nacional Forestal (CONAF). Fueron consideradas únicamente las superficies plantadas con especies forestales exóticas las cuales, posteriormente, fueron relacionadas con las necesidades hídricas evapotranspirativas, mediante las precipitaciones anuales de cada subcuenca de la región. Los resultados se presentan en la Tabla 2.2-9, 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 03.02.

**Tabla 2.2-9 Estimación demanda hídrica Forestal actual y futura – Cuencas BNA
Región Antofagasta**

Cód. Cuenca	Cuenca	Demanda (Mm ³ /año)				
		2023	2025	2035	2045	2055
020	Fronterizas Salar Michincha - R. Loa	0	0	0	0	0
021	Río Loa	46,87	46,95	47,13	47,49	47,82
022	Costeras R. Loa - Q. Caracoles	0,99	0,99	0,99	1,00	1,01
023	Fronterizas Salares Atacama-Socompa	0	0	0	0	0
024	Endorreica entre Fronterizas y Salar Atacama	0	0	0	0	0
025	Salar de Atacama	1.311	1.314	1.318	1.329	1.338
026	Endorreicas Salar Atacama-Vertiente Pacifico	7,66	7,67	7,70	7,76	7,81
027	Quebrada Caracoles	0	0	0	0	0
028	Quebrada la Negra	0,84	0,84	0,84	0,85	0,86
029	Costeras entre Q. la Negra y Q. Pan de Azúcar	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
031	Costeras Q. Pan de Azúcar- R. Salado	0	0	0	0	0
Total		1.368	1.370	1.375	1.386	1.396

Fuente: Elaboración propia.

Según se desprende de la Tabla 2.2-9, 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 plantaciones forestales, así como por las tendencias históricas en el uso de la tierra. Entre las plantaciones forestales se destaca el Tamarugo y el algarrobo.

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, 2007 y 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 2.2-10, 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 03.02.

**Tabla 2.2-10 Estimación demanda hídrica Pecuaria actual y futuro – Cuencas BNA
Región Antofagasta**

Cód. Cuenca	Cuenca	Demanda (Mm ³ /año)				
		2023	2025	2035	2045	2055
020	Fronterizas Salar Michincha- R. Loa	3,00	3,10	3,60	3,84	4,23
021	Río Loa	71,76	77,20	104,42	118,04	120,73
022	Costeras R. Loa-Q. Caracoles	22,15	21,69	19,39	18,23	16,25
023	Fronterizas Salares Atacama-Socompa	5,63	5,86	7,03	7,63	8,20
024	Endorreica entre Fronterizas y Salar Atacama	6,61	6,87	8,19	8,86	9,32
025	Salar de Atacama	11,46	11,56	12,78	13,75	15,29
026	Endorreicas Salar Atacama-Vertiente Pacífico	0,07	0,07	0,09	0,10	0,11
027	Quebrada Caracoles	1,79	1,90	2,42	2,69	3,06
029	Costeras entre Q. la Negra y Q. Pan de Azúcar	2,43	2,62	3,55	4,02	4,75
031	Costeras Q. Pan de Azúcar- R. Salado	0	0	0	0	0
Total		124,91	130,86	161,47	177,17	181,94

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los datos presentados en la Tabla 2.2-10, se observa una tendencia general al aumento de la demanda hídrica a nivel de cuenca durante el periodo comprendido entre los años 2023 y 2055. Esta demanda está principalmente asociada a especies como la porcina y avícola.

2.2.9 Acuicola

Según la información proporcionada por Sernapesca, no se registra actualmente una demanda de agua relacionada con la producción acuícola (Sernapesca, 2024).

2.2.10 Caudal de reserva de uso turístico y protección ambiental

El caudal de reserva de uso turístico y protección ambiental se ha determinado en aquellas estaciones de la red fluviométrica de la DGA cercanas y potencialmente representativas del flujo de agua mínimo asociado a áreas de conservación existentes en las cuencas, presentadas en la Figura 2.1-2. 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 03.02.

En la región se ha estimado un caudal de reserva para las siguientes áreas de conservación: Sitio Prioritario Oasis de Quillagua (SP1-005) y Sitio Prioritario Oasis de Calama (SP2-019) en la cuenca Río Loa, Sitio Prioritario Ayllus de San Pedro de Atacama (SP2-023) y Sitio Prioritario Salar de Atacama (SP2-016) en la cuenca Salar de atacama.

Para la región de Antofagasta, 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. Los resultados se observan en la Tabla 2.2-11.

Tabla 2.2-11 Caudales de Reserva para protección ambiental – Cuencas BNA Región Antofagasta

Caudal de reserva para protección ambiental (Mm3)													
Cuenca	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Río Loa	5.340	5.471	4.665	3.691	3.984	3.889	3.981	3.945	3.698	3.821	3.764	4.291	50.540
Salar de Atacama	719	672	773	788	814	811	867	897	888	847	674	699	9.449
Total	6.059	6.143	5.438	4.479	4.798	4.700	4.848	4.842	4.586	4.668	4.438	4.990	59.989

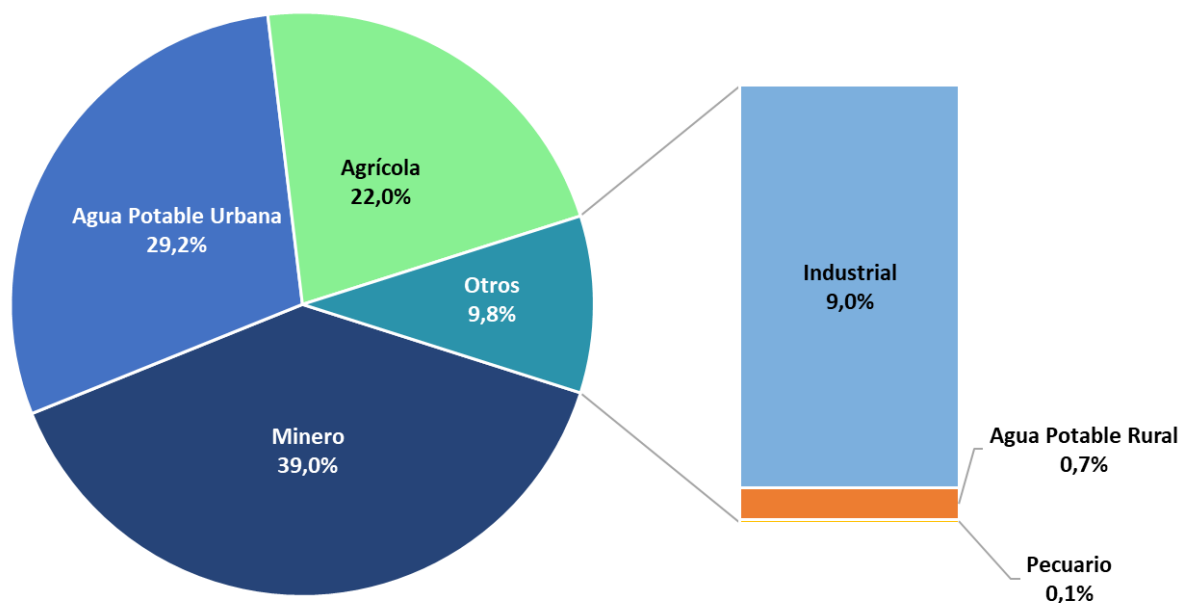
Fuente: Elaboración propia.

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-, se presenta el total de demanda hídrica consuntiva en la región de Antofagasta, destacando el sector minero, agua potable urbana y agrícola como los principales demandantes de agua de uso consuntivo. El resumen de las demandas se presenta en el Anexo 03.02.



Fuente: Elaboración propia.

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

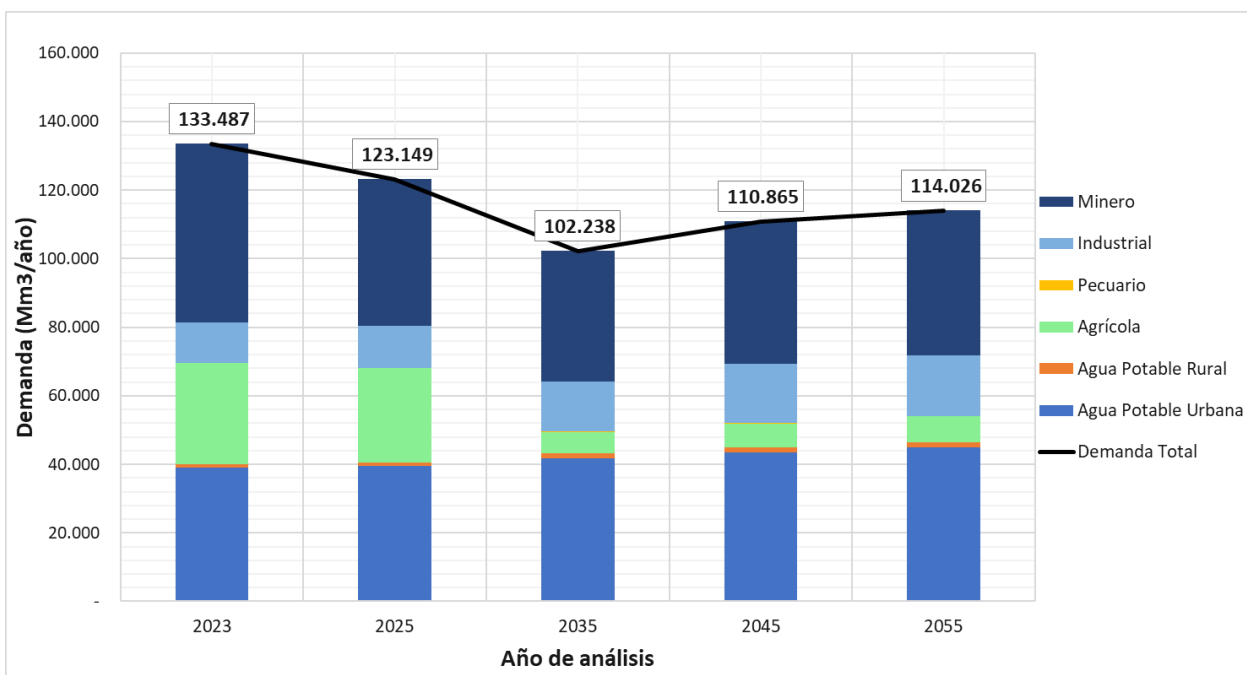
En la Tabla 2.2-12 y Figura 2.2-5 se presentan las demandas consuntivas proyectadas por uso, para toda la región. En esta última se puede observar que, dadas las condiciones base utilizadas para la estimación de las demandas en los acápite anteriores, se espera una disminución aproximadamente del 15% en las demandas totales durante el periodo 2023-

2055; esta disminución se encuentra principalmente asociada a una reducción del 75% de la demanda agrícola y a un 19% de reducción en el sector minero. Por otra parte, se espera un aumento en la demanda de agua potable urbana y en el sector industrial.

Tabla 2.2-12 Resumen de demandas consuntivas – Cuencas BNA región de Antofagasta

Cód. Cuenca	Cuenca	Demanda (Mm ³ /año)				
		2023	2025	2035	2045	2055
020	Fronterizas Salar Michincha - R. Loa	1.006	1.115	178	175	173
021	Río Loa	52.577	46.222	34.248	33.921	32.300
022	Costeras R. Loa - Q. Caracoles	31.101	31.559	35.179	38.680	40.065
023	Fronterizas Salares Atacama - Socompa	2.411	2.424	484	560	632
024	Endorreica entre Fronterizas y Salar Atacama	3.100	3.106	623	719	798
025	Salar de Atacama	14.508	14.228	6.596	9.415	11.127
026	Endorreicas Salar Atacama - Vertiente Pacífico	2.418	1.228	1.345	1.370	1.388
027	Quebrada Caracoles	18.782	15.767	15.300	16.938	17.552
028	Quebrada La Negra	4.041	4.207	4.880	5.345	5.924
029	Costeras entre Q. La Negra y Q. Pan de Azúcar	3.388	3.127	3.175	3.452	3.711
031	Costeras Q. Pan de Azúcar - R. Salado	155	167	230	291	355
Total		133.487	123.149	102.238	110.865	114.026

Fuente: Elaboración propia.

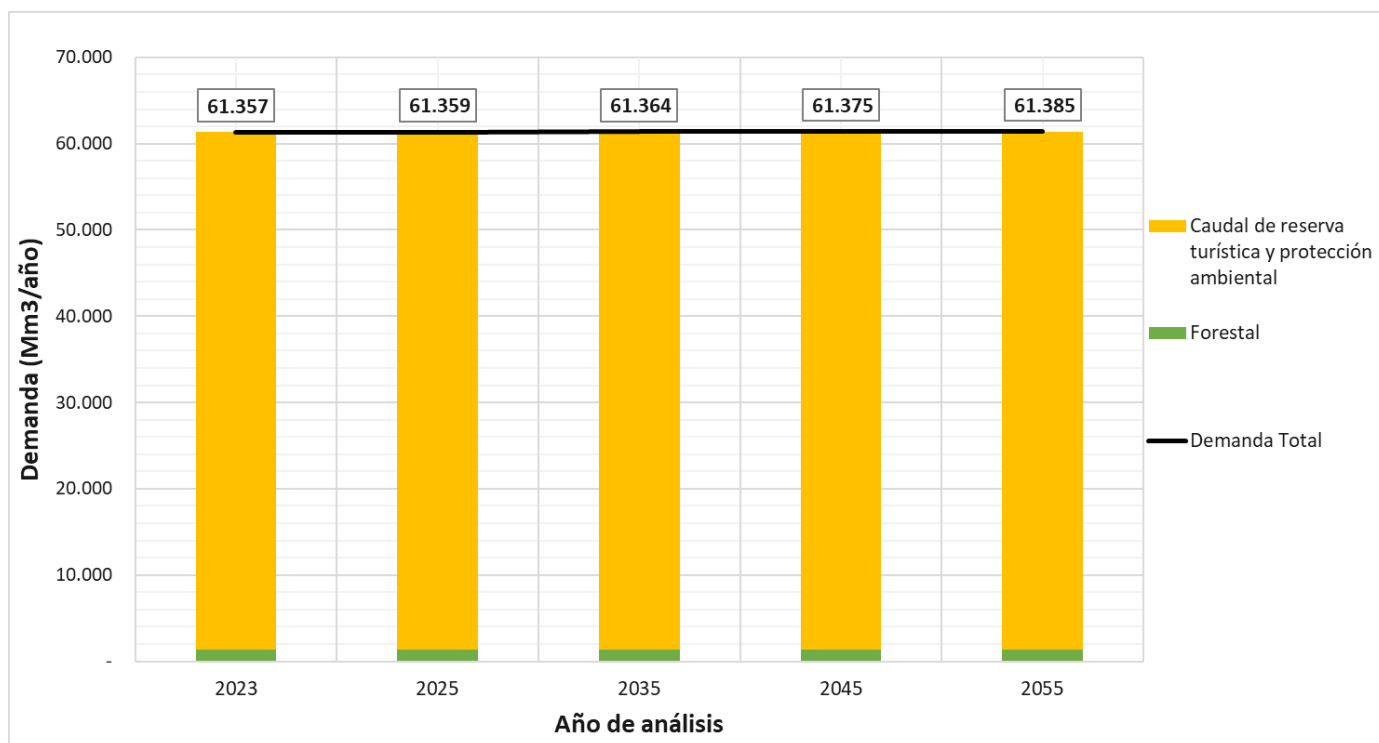


Fuente: Elaboración propia.

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 2.2-5 se presenta la proyección de las demandas consuntivas no extractivas y no consuntivas para la región, donde el caudal de reserva para uso turístico y protección ambiental destaca por su mayor demanda frente al sector forestal.



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 2.2-5 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 de Antofagasta, 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.

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 de Antofagasta. Para el análisis se utilizó la base de datos "Derechos_Concedidos_II_Región " (DGA, 2023) del Catastro Público de Aguas (CPA).

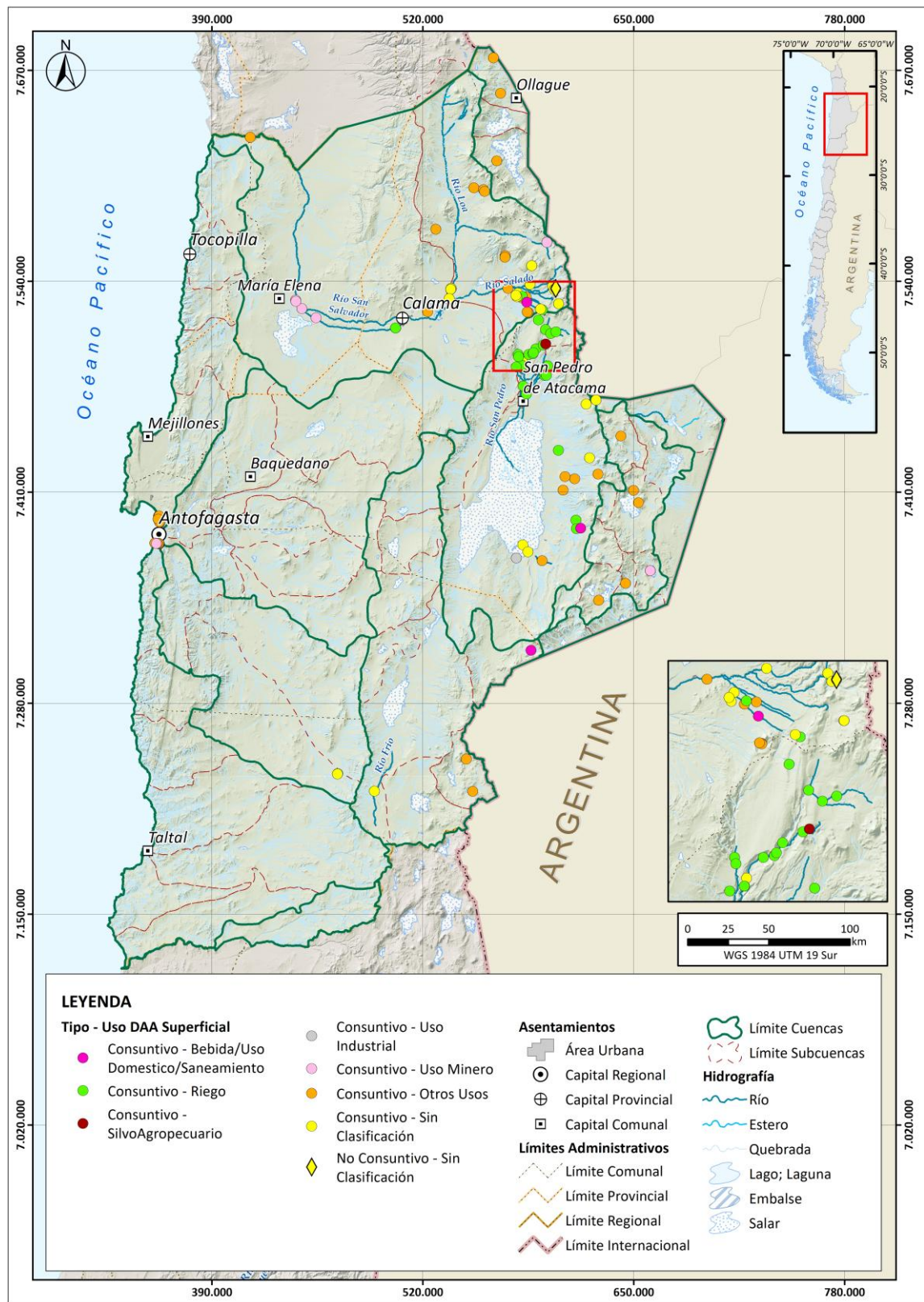
En base a los antecedentes revisados, se tiene que en la Región de Antofagasta existen 479 DAA superficiales registrados en CPA, con un caudal equivalente de 12.248.888 Mm³/año constituido. La distribución de los DAA de acuerdo al tipo de uso se presenta en la Figura 2.3-2. La caracterización de los DAA según tipo de solicitud o tipo de ejercicio, se presentan en el Anexo 03.03.

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, se detallan a continuación las limitaciones respecto al uso del agua actual y futura en sus distintas formas de protección para fuentes de agua superficiales, en un periodo de análisis de 11 años (2012-2023). Para esto se revisan las restricciones para el uso de DAA definidas por Dirección General de Aguas para fuentes superficiales, entre las que se encuentran; i) Declaración de agotamiento de aguas superficiales; ii) Decretos de reserva; y iii) Decretos de escasez hídrica.

Las declaraciones de agotamiento de aguas superficiales para la región de Antofagasta incluyen al Río Loa y sus afluentes (Resolución DGA N°197 del 24 de enero de 2000), el Río San Pedro y sus afluentes (Resolución DGA N°44 del 11 de mayo de 2016) y el Río Vilama y sus afluentes (Resolución DGA N°03 del 12 de abril de 2017). No se han dictado decretos de reserva de aguas superficiales en la región, y actualmente no hay decretos de escasez vigentes ni históricos.

En la Figura 2.3-3 se presentan las restricciones vigentes para aguas superficiales. 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 03.03.





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

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

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 escurrentía 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 03.03.01.

Es importante mencionar que, si bien se dispone de valores para diferentes periodos de excedencia, la oferta hídrica superficial se asocia al caudal de 85% de probabilidad de excedencia en régimen natural, de modo de asegurar la cantidad de agua disponible para la gran mayoría de años. Asimismo, a partir de la selección del GCM representativo de la región se obtuvieron las curvas de excedencia para el periodo futuro, definido como la ventana 2025-2055.

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

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

Cód. Cuenca	Cuenca	Q₈₅ actual (Mm³/año)	Q₈₅ proyectado (Mm³/año)
020	Fronterizas Salar Michincha - R. Loa	19.866	25.600
021	Río Loa	53.563	68.813
022	Costeras R. Loa - Q. Caracoles	1.219	1.830
023	Fronterizas Salares Atacama-Socompa	16.047	19.218
024	Endorreica entre Fronterizas y Salar Atacama	18.748	25.103
025	Salar de Atacama	22.427	28.383
026	Endorreicas Salar Atacama-Vertiente Pacífico	1.762	1.813
027	Quebrada Caracoles	2.025	2.932
028	Quebrada la Negra	101	137
029	Costeras entre Q. la Negra y Q. Pan de Azúcar	1.659	2.673

Fuente: Elaboración propia.

Es posible observar que en todas las cuencas se prevé un aumento de los caudales de 85% de probabilidad de excedencia, situación que se proyecta en los 4 GCM del Balance Hídrico Nacional. Sin embargo, si se proyecta una disminución de los caudales de menor probabilidad de excedencia.

Además, importante tener en consideración la posible incidencia de los cambios proyectados en glaciares en el ciclo hidrológico, por lo que para estimar este efecto se considerarán los resultados presentados en el Balance Hídrico Nacional. En este, se presenta (en tablas) el aporte de escorrentía glaciar histórico a nivel de cuenca y la variación de escorrentía glaciar proyectada por los GCM a nivel de latitud. A partir de esta información es que se determina la afectación de los cambios en los glaciares en el ciclo hidrológico. En la Tabla 2.3-2 se muestra el caudal medio del periodo 1985-2015 y el aporte glaciar a este, según lo reportado en el informe final del Balance Hídrico Nacional (DGA, 2022).

Tabla 2.3-2 Escorrentía total y glaciar en periodo histórico 1985-2015.

Cód. Cuenca	Cuenca	Q total (m³/s)	Q glaciar (m³/s)
020	Fronterizas Salar Michincha - R. Loa	0,75	0,00
021	Río Loa	3,42	0,06
022	Costeras R. Loa - Q. Caracoles	0,11	0,00
023	Fronterizas Salares Atacama-Socompa	0,52	0,00
024	Endorreica entre Fronterizas y Salar Atacama	1,68	0,00
025	Salar de Atacama	1,73	0,00
026	Endorreicas Salar Atacama-Vertiente Pacífico	0,14	0,00
027	Quebrada Caracoles	0,12	0,00
028	Quebrada la Negra	0,11	0,00
029	Costeras entre Q. la Negra y Q. Pan de Azúcar	0,11	0,00

Fuente: Elaboración propia.

Además, el GCM CSIRO-Mk3-6-1 proyecta una disminución de aproximadamente 0,0 m³/s del caudal glaciar (la variación es prácticamente nula), obtenido del mismo informe final.

2.3.1.2 Agua subterránea

i. Derechos de aprovechamiento subterráneos concedidos

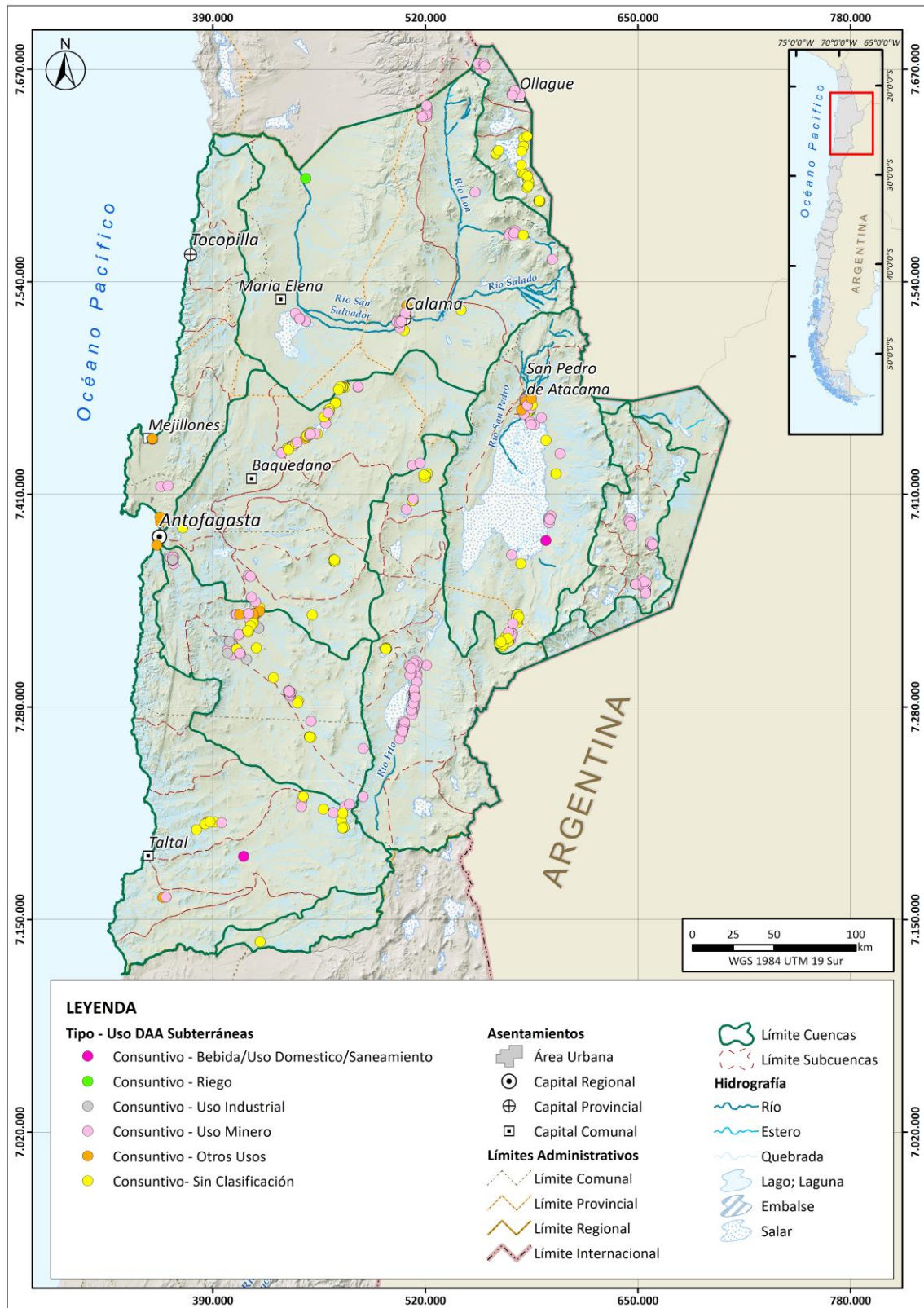
A continuación, se presenta la identificación de los derechos de aprovechamiento de aguas (DAA) subterráneos otorgados en la región de Antofagasta. Para el análisis se utilizó la base de datos "Derechos_Concedidos_II_Región " (DGA, 2023) del Catastro Público de Aguas (CPA).

En base a los antecedentes revisados, se tiene que en la Región de Antofagasta existen 521 DAA subterráneos registrados en CPA, equivalente a un caudal aproximado de 444.594 Mm³/año constituidos. La distribución de los DAA de acuerdo al tipo de uso se presenta en la Figura 2.3-4. La caracterización de los DAA según tipo de solicitud o tipo de ejercicio, se presentan en el Anexo 03.03.

ii. Restricciones de uso sobre fuentes subterráneas

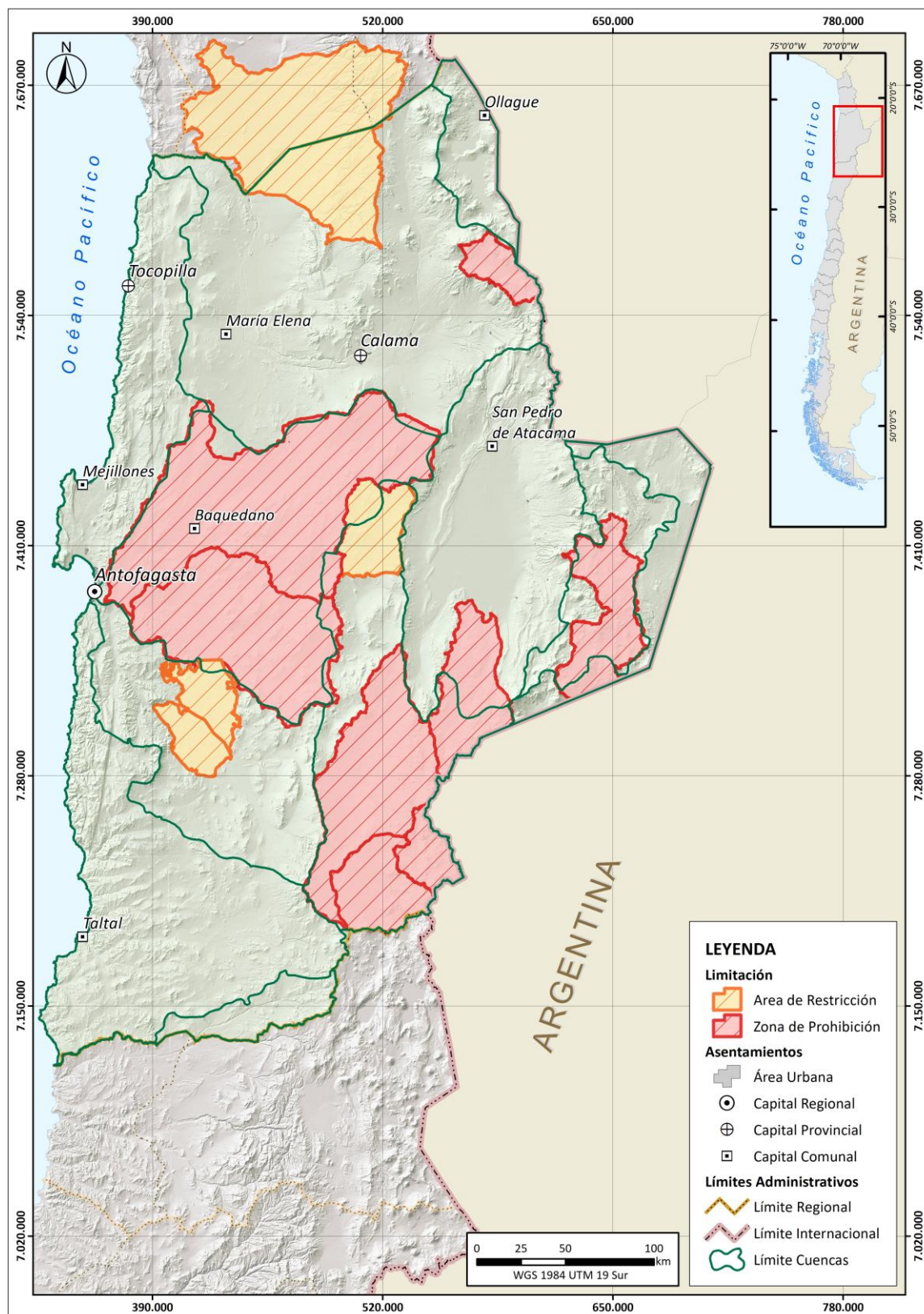
Para obtener una comprensión completa de los desafíos relacionados con la escasez de agua que han surgido en la región, se detallan a continuación las limitaciones respecto al uso del agua actual y futura en sus distintas formas de protección para fuentes de agua subterráneas, en un periodo de análisis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

Las áreas de restricción dentro de la región de Antofagasta incluyen sectores como Aguas Blancas, Rosario y Salar de Elvira – Laguna Seca, con resoluciones específicas detalladas en el Anexo 03.03. Por otro lado, las zonas de prohibición abarcan áreas como C2, Puna de Atacama Sur, Salar de Aguas Calientes y Laguna La Azufrera, entre otras. En la Figura 2.3-5 se presentan las restricciones vigentes para aguas subterráneas. Mayor detalle respecto a las restricciones y a la distribución temporal a nivel comunal de restricciones declaradas dentro del periodo analizado se presentan en el Anexo 03.03.



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

Figura 2.3-4 Ubicación geográfica de los DAA subterráneos en la región de Antofagasta, por tipología



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

Figura 2.3-5 Restricciones de uso sobre fuentes subterráneas, región de Antofagasta

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 4.2.1.

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

Cód. Cuenca	Cuenca	Recarga (l/s)	Fuente
020	Fronterizas Salar Michincha - R. Loa	-	-
021	Río Loa	1958	Plan Estratégico de Gestión Hídrica en La Cuenca de Loa (DGA, 2021)
022	Costeras R. Loa- Q. Caracoles	-	-
023	Fronterizas Salares Atacama-Socompa	455	Diagnóstico Plan Estratégico para la Gestión de los Recursos Hídricos, Región de Antofagasta (DGA, 2012)
024	Endorreica entre Fronterizas y Salar Atacama	1115	Plan Estratégico de Gestión Hídrica en la Cuenca Endorreica entre Fronterizas y Salar de Atacama (DGA, 2022)
025	Salar de Atacama	6922	Desarrollo de Herramientas para el Análisis de Salares y Cuencas Costeras y su Aplicación para el desarrollo del PEGH en La Cuenca del Salar de Atacama (DGA, 2021)
026	Endorreicas Salar Atacama-Vertiente Pacífico	1115	Plan Estratégico de Gestión Hídrica en Cuencas Endorreicas Salar de Atacama - Vertiente del Pacífico (DGA, 2022)
027	Quebrada Caracoles	446	Plan Estratégico de Gestión Hídrica en la Cuenca Quebrada Caracoles (DGA, 2022)
028	Quebrada la Negra	-	-
029	Costeras entre Q. la Negra y Q. Pan de Azúcar	-	-

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 (CSIRO-Mk3-6-1) 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 Antofagasta

Cód. Cuenca	Cuenca	Recarga histórica (l/s)	Variación de precipitación (%)	Recarga Proyectada (l/s)
020	Fronterizas Salar Michincha - R. Loa	-	-44,1	-
021	Río Loa	1.958	-40,5	1.165
022	Costeras R. Loa - Q. Caracoles	-	-30,5	-
023	Fronterizas Salares Atacama-Socompa	455	-25,0	341
024	Endorreica entre Fronterizas y Salar Atacama	1.115	-21,8	872
025	Salar de Atacama	6.922	-28,9	4.923
026	Endorreicas Salar Atacama-Vertiente Pacífico	1.115	-23,3	855
027	Quebrada Caracoles	446	-28,5	319
028	Quebrada la Negra	-	-31,4	-
029	Costeras entre Q. la Negra y Q. Pan de Azúcar	-	-29,1	-

Fuente: Elaboración propia

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. Finalmente, es importante mencionar que no existen fuentes disponibles para todas las cuencas, de modo de estimar la recarga, lo que se menciona también en el acápite 4.2.1. En el Anexo 03.03 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 (que no necesariamente es el que caracteriza los eventos extremos futuros), 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). A partir de los resultados obtenidos, se observa que se prevé una disminución general de los eventos de alta precipitación (aunque un estudio específico para la región es requerido). Por otro lado, para el caso de las sequías, en todas las cuencas se proyecta un aumento en los años con sequía en comparación al periodo histórico (ver Anexo 03.03.02).

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

Cód. Cuenca	Cuenca	1985-2015 (mm/d)	2025-2055 (mm/d)	Variación (%)
020	Fronterizas Salar Michincha-R.Loa	14.1	15.6	10.4
021	Rio Loa	10.1	10.1	-0.1
022	Costeras R.Loa-Q.Caracoles	10.1	5.5	-46.1
023	Fronterizas Salares Atacama-Socompa	23.2	22.5	-3.2
024	Endorreica entre Fronterizas y Salar Atacama	28.2	30.1	6.6
025	Salar de Atacama	16.9	17.4	3.0
026	Endorreicas Salar Atacama-Vertiente Pacifico	18.7	15.5	-17.0
027	Quebrada Caracoles	16.5	13.7	-16.5
028	Quebrada la Negra	21.0	18.3	-12.6
029	Costeras entre Q. la Negra y Q. Pan de Azúcar	18.0	14.4	-20.3

Fuente: Elaboración propia.

Es importante tener en consideración que los eventos extremos no se deben únicamente al efecto de la intensidad de precipitación, sino que son producto de la sinergia de distintos fenómenos climáticos y geográficos. En este sentido, aspectos como la duración y distribución temporal de la tormenta, fisiografía, humedad del suelo y superficie pluvial pueden llegar a afectar la intensidad de un evento extremo. Al respecto, uno de los aspectos que pueden llegar a tener un mayor impacto es el área pluvial, correspondiente a la superficie que principalmente genera la escorrentía efectiva que deriva en la crecida. Esta superficie pluvial está determinada por el cruce entre la cuenca aporte total a un punto y la posición de la línea de nieve o isoterma 0°C. Por lo tanto, a partir de los eventos observados en el último tiempo, resulta importante tener en consideración que variaciones de la isoterma 0°C pueden provocar un efecto sinérgico que aumente la intensidad de la crecida antes eventos de precipitación, por lo que resulta necesario tomar este aspecto en cuenta.

Este tipo de análisis debiera realizarse a escala de cuenca para lograr una correcta estimación, como lo fue el estudio realizado por Mardones y Garreaud (2020) en la zona Central de Chile (30° 38°S), donde se obtuvieron variaciones proyectadas de la isoterma 0°C. En particular, la región de Antofagasta se encuentra aproximadamente entre las latitudes 21° S y 26° S, por lo que no se dispone de un antecedente con una estimación de la variación de la línea de nieve a futuro.

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

Tabla 2.3-6 Eventos extremos históricos en la región de Antofagasta, periodo 1912-2017

Tipo	1912-2007 (95 años)	2008-2017 (9 años)
Inundaciones	98	37
Aluvión	30	23

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

En base a SENAPRED (2023), en el periodo 2017-2023, se observan siete (7) sistemas de baja presión activa, los cuales han provocado daños mayores a 30 viviendas, dejando alrededor de 60 damnificados y unos 150 afectados aproximadamente. Por otra parte, se presenta también un evento de remoción en masa el cuales no presenta daños.

En relación a las inundaciones y aluviones catastrados por SENAPRED (2023) y EM DATA (2024), se observan dos (2) inundaciones ocurridas entre los años 2017 y 2019 afectando a las cuencas Costeras Río Loa - Quebrada Caracoles (código BNA 022), Salar de Atacama (código BNA 025), Quebrada Caracoles (código BNA 027), Quebrada La Negra (código BNA 028) y cuencas Costeras entre Quebrada la Negra y Quebrada Pan de Azúcar (código BNA 029). 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 de Antofagasta, periodo 2017-2023

Cód. Cuenca	Cuenca	Inundación	Aluvión
020	Fronterizas Salar Michincha - R. Loa		
021	Río Loa		
022	Costeras R. Loa - Q. Caracoles	x	
023	Fronterizas Salares Atacama-Socompa		
024	Endorreica entre Fronterizas y Salar Atacama		
025	Salar de Atacama	x	x
026	Endorreicas Salar Atacama-Vertiente Pacifico	x	
027	Quebrada Caracoles	x	x
028	Quebrada la Negra	x	
029	Costeras entre Q. la Negra y Q. Pan de Azúcar	x	

Nota: Cuencas afectadas en rojo.

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

2.3.3 Calidad de Aguas

En la región de Antofagasta, la calidad del agua se ve significativamente influenciada por la geología local, resultando en niveles naturalmente altos de ciertos elementos como arsénico, boro, cloruro, molibdeno, mercurio y salinidad. De acuerdo a la metodología del Plan de Riego para la región de Antofagasta, Informe final del año 2017 y desarrollado por

Amphos 21, la calidad del agua de la región se caracteriza por los siguientes parámetros: en la cuenca del río Loa, la conductividad eléctrica varía desde 1.190 $\mu\text{mhos/cm}$ en la represa de Lequena hasta 6.133 $\mu\text{mhos/cm}$ en Escorial, cerca de Calama; los niveles de boro oscilan entre 5,03 mg/l en Lequena y 16,91 mg/l en el Pozo Chiu-Chiu, mientras que los niveles de arsénico fluctúan entre 0,17 mg/l en la salida del embalse Conchi y 1,8 mg/l en el Sifón de Ayquina. El cloruro también presenta variaciones significativas, desde 163,98 mg/l en Lequena hasta 1.908,6 mg/l en el Pozo Chiu-Chiu.

En la cuenca del Salar de Atacama, los datos indican que la conductividad eléctrica en el río San Pedro en Cuchabrache es de 3,103 $\mu\text{mhos/cm}$, con niveles de boro de 2.51 mg/l, arsénico de 0,21 mg/l, y cloruro de 763,3 mg/l. En el río Vilama en Vilama, la conductividad eléctrica es de 2.686 $\mu\text{mhos/cm}$, con boro a 11,03 mg/l, arsénico a 0,58 mg/l, y cloruro a 567,7 mg/l. Estas mediciones reflejan una alta variabilidad en los parámetros de calidad del agua, influenciada por la geología local y el uso intensivo de los recursos hídricos para la agricultura, minería y consumo humano.

La siguiente información se resume de los respectivos *Planes Estratégicos de Gestión Hídrica* (DGA, 2020) elaborados por cuenca, proporcionando una visión general sobre la situación actual y las características específicas de la calidad del agua en esta región:

- La calidad de aguas de la cuenca del Río Loa (código BNA 021), se evaluó a través de datos medidos por DGA y monitoreados por CODELCO que revela una composición predominantemente clorurada sódica/potásica. En la parte alta del río Loa, las aguas muestran una composición más equilibrada, pero esta se vuelve claramente clorurada sódica/potásica hacia aguas abajo, especialmente después de la confluencia con el río Salado, que aporta altas concentraciones de arsénico (As). Metales como cobre, cromo y zinc se encuentran dentro de los límites normativos, en cambio arsénico, molibdeno y mercurio superan los límites en todas las estaciones, así como cloruros y sulfatos también exceden las normas en gran parte de la cuenca. Parámetros físico-químicos como el pH, conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales aumentan hacia aguas abajo, superando los límites normativos desde Calama hasta la desembocadura. Las mediciones indican que el arsénico, boro, cloruros y sulfatos presentan valores elevados en toda la cuenca, incrementándose hacia la parte baja del río.
- Para caracterizar la calidad de aguas de la cuenca Endorreica entre Fronterizas y Salar de Atacama (código BNA 024), se llevó a cabo un estudio de Calidad de Agua que abarcó el Salar de Tara, Salar de Pujsa, Salar de Aguas Calientes 1, 2 y 3, entre otros. Se han considerado varios componentes, tales como HCO_3 , Cl^- , SO_4 , NO_3 , B, As, Na, Li, Ca, Mg y STD. Los principales factores limitantes para el riego en la región son la salinidad, el boro y el arsénico. Se ha observado que la calidad natural del agua varía desde buena en el

sector altiplánico fronterizo hasta regular en el sector precordillerano del Salar de Atacama. Se ha encontrado que la presencia de altos niveles de arsénico en algunas fuentes de agua impide su uso para consumo humano, y la presencia de boro en otras fuentes limita su uso para la actividad agrícola. Las tesis de hidrogeoquímica en ambientes salinos han revelado la composición química de aguas superficiales y subterráneas. Estos estudios, mediante muestreos y análisis, han identificado los componentes clave que restringen su uso para consumo humano y actividades agrícolas

- Con respecto a la calidad de aguas del Salar de Atacama (código BNA 025), se evaluó a través de estaciones de monitoreo de la DGA y SQM, revelando que la distribución espacial de estas estaciones está concentrada en la zona marginal y en el borde este de la cuenca, dificultando un análisis exhaustivo de las fuentes superficiales para riego o uso potable. La caracterización hidroquímica, basada en las normas chilenas de agua potable y riego, indica que las principales fuentes de contaminación son las actividades agrícolas y las aguas servidas domiciliarias, aunque las concentraciones elevadas de elementos perjudiciales como nutrientes y pesticidas son atribuibles principalmente a la geoquímica natural del agua en la cuenca. Las estaciones de monitoreo tanto superficiales como subterráneas muestran que no existen normas secundarias de calidad ambiental debido a estas condiciones naturales.
- Quebrada Caracoles (código BNA 027), la calidad de agua se ha evaluado a partir de los registros históricos de la estación "Agua Potable Antofagasta (CA)" desde 1993 hasta 2020. La escasez de pozos limita la caracterización detallada de la calidad fisicoquímica del agua. Los análisis indican que los parámetros de boro, cloruro, conductividad eléctrica, molibdeno y sodio exceden los límites establecidos por las normas NCh 1.333 y NCh 409 para riego y consumo humano. Las fuentes de contaminación identificadas incluyen actividades mineras y la falta de fiscalización adecuada, lo que resulta en incumplimientos graves y persistentes sin sanciones ni medidas de remediación ambiental efectivas. Esto evidencia una brecha significativa en el control y gestión de los recursos hídricos en la región.
- Para las siguientes cuencas al no tener planes estratégicos de gestión hídrica, se dificulta el acceso a la información para caracterizarlas: Fronterizas Salar Michincha y Río Loa, (código BNA 020); Costeras entre Río Loa y Quebrada Caracoles (código BNA 022); Fronterizas entre Salar de Atacama y Socompa (código BNA 023); Endorreicas entre Salar de Atacama y Vertiente del Pacífico (código BNA 026); Quebrada La Negra (código BNA 028); Costeras entre Quebrada la Negra y Quebrada Pan de Azúcar (código BNA 029); Costeras entre Quebrada Pan de Azúcar y Río Salado (código BNA 031).

CAPÍTULO 3 ANÁLISIS DE INFRAESTRUCTURA HÍDRICA

3.1 INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA 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

Dentro de la región de Antofagasta, se registra un (1) embalse en la cuenca del río Loa, específicamente en la comuna de Calama, cuenca del Río Loa, llamado Conchi. Este embalse tiene una capacidad de 23 hm³ y se utiliza para riego, según DGA (2021). De acuerdo a los datos recopilados de la Universidad de la Serena (ULS), la región cuenta con un único embalse según confirma DGA, que, a febrero de 2023, el Embalse Conchi se encontraba a un 59% de su capacidad total de 22 millones de m³ (BIG DATA ULS, 2023).

Es relevante mencionar que, aunque no hay centrales hidroeléctricas en funcionamiento, históricamente existieron dos tranques para uso minero: el tranque Santa Fe y el tranque Sloman. Actualmente, el tranque Santa Fe ha sido desmantelado, mientras que el tranque Sloman ha sido declarado Monumento Histórico por Decreto Supremo el 15 de enero de 1980 (DGA, 2021).

3.1.1.2 Centrales para la generación eléctrica

No se identifican actualmente centrales hidroeléctricas dentro de la región de Antofagasta.

3.1.1.3 Infraestructura de distribución

Se identificaron ciento ocho (108) bocatomas y 353,18 kilómetros lineales de extensión en canales ubicados en la cuenca del Salar de Atacama, que abarca el 54% del total, y la cuenca del Río Loa, que representa el 46%. En las otras cuencas de la región no se identifican canales. Además, destaca la presencia de la represa El Salado, resultado de una colaboración entre el Estado de Chile y la Chile Exploration Company. Esta represa tiene como objetivo desviar las aguas salobres del río Salado para prevenir el aumento de salinidad en el río Loa y mitigar así su impacto en la agricultura regional, especialmente en los cultivos de alfalfa y maíz. Esta infraestructura, gestionada por CODELCO, dirige las aguas del río Salado hacia Chuquicamata mediante un túnel de conducción (DGA, 2021).

3.1.1.4 Infraestructura minera

En la región de Antofagasta, se identifican doce (12) obras de depósito de relaves activas. En la región de Antofagasta, se han identificado doce obras de depósito de relaves activas distribuidas en diversas comunas y gestionadas por distintas empresas mineras. Estas obras incluyen embalses, filtrados, espesados y tranques de relave, y están destinadas principalmente a la gestión de recursos como el cobre, oro, plata y molibdeno. Entre las empresas involucradas se encuentran Cía. Minera Zaldívar, Altonorte, Minera Escondida Ltda., Minera Meridian, Mantos Cooper, Cía. Minera Centinela, SCM Sierra Gorda, Minera Spence, CODELCO, Minera Las Cenizas S.A. y Minera Guanaco SpA.

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

i. Zonas urbanas

En la región de Antofagasta se identifica una concesión de agua potable con siete (7) territorios operacionales en las localidades de Antofagasta, Baquedano, Mejillones, Sierra Gorda, Calama, Tocopilla y Taltal. Esta concesión abarca un área total de 38,44 km²

en Antofagasta como el territorio más extenso. En cuanto al tratamiento de aguas servidas, se registran nueve (9) plantas de tratamiento (PTAS) operadas por diferentes empresas sanitarias. De estas, cinco (5) cuentan con puntos de descarga continentales, mientras que las restantes cuatro (4) tienen puntos de descarga al mar. Estos sistemas de tratamiento incluyen diversas tecnologías, desde lodos activados hasta emisarios submarinos, para asegurar la adecuada gestión de las aguas residuales en la región (25) territorios operacionales.

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

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

Cód. Cuenca	Cuencas	N° de Territorios Operacionales	Producción 2022 (m3/año)	Aumento al 2055 (%)
020	Fronterizas Salar Michincha - R. Loa	0	0	0%
021	Río Loa	1	14.833.766	6%
022	Costeras R. Loa - Q. Caracoles	3	27.038.803	13%
023	Fronterizas Salares Atacama - Socompa	0	0	0%
024	Endorreica entre Fronterizas y Salar Atacama	0	0	0%
025	Salar de Atacama	0	0	0%
026	Endorreicas Salar Atacama - Vertiente Pacifico	0	0	0%
027	Quebrada Caracoles	3	7.741.759	14%
028	Quebrada La Negra	1	4.498.014	14%
029	Costeras entre Q. La Negra y Q. Pan de Azúcar	1	2.981.099	15%

Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, se presenta 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 de Antofagasta

Concesión	Plan de Desarrollo	Alcance
Aguas Antofagasta	Gran Sistema Norte	Antofagasta
		Calama
		Tocopilla
		Mejillones
		Taltal
		Sierra Gorda
		Baquedano

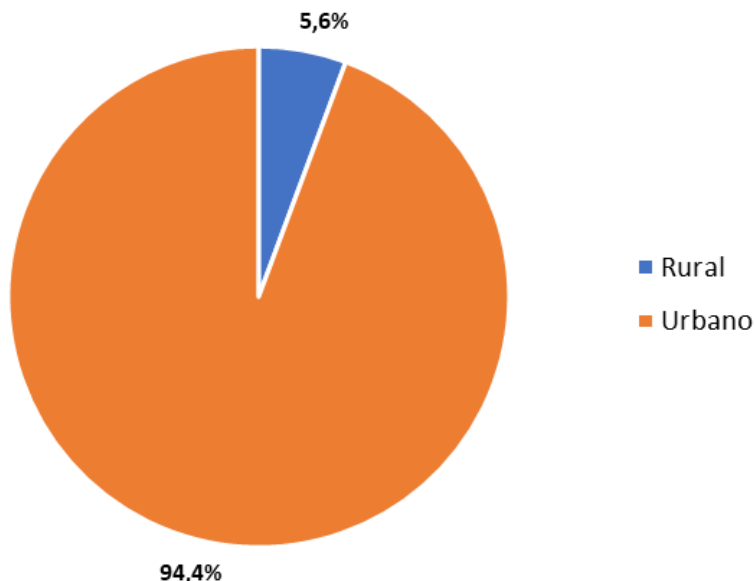
Fuente: Elaboración propia en base a Aguas Antofagasta (2019)

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 de Antofagasta, en las áreas concesionadas, alcanza un 95,7%.

ii. Zonas rurales

De acuerdo a los catastros más recientes el 5,6% del total de viviendas registradas en el censo de población (INE, 2017) en la región de Antofagasta, corresponde a zonas rurales. Esto resulta equivalente a 11.090 viviendas y aproximadamente 35.786 habitantes (ver Figura 3.1-1).



Fuente: (INE, 2017)

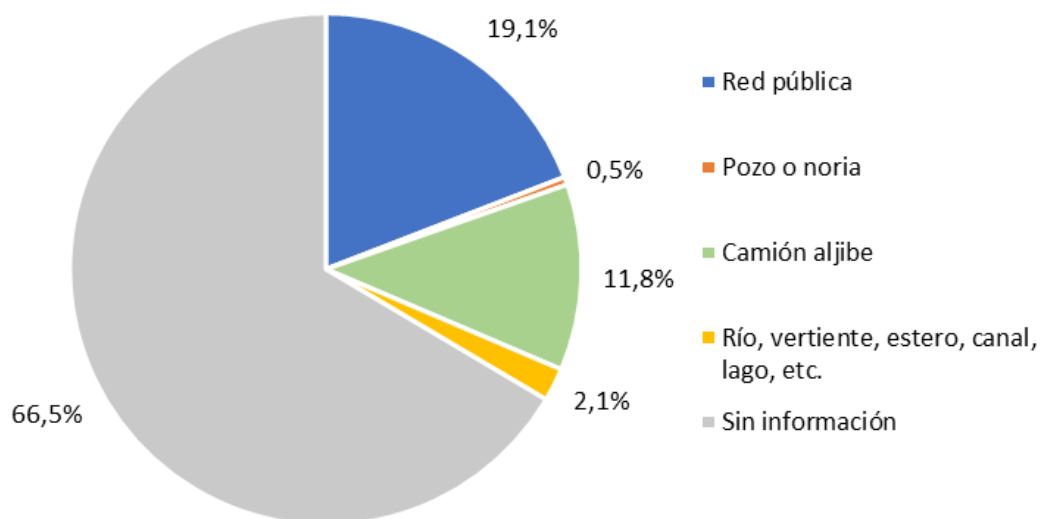
Figura 3.1-1 Distribución de viviendas en región de Antofagasta 2017

Del total de hogares en zonas rurales se ha identificado que un 66,5% no presenta información en relación a las fuentes de abastecimiento en base a los datos del censo de población (INE, 2017). Bajo este contexto, se presenta un breve análisis respecto al estado del agua potable y saneamiento actual y futuro en la región de Antofagasta.

a) Agua Potable

De acuerdo a los datos presentados en el último censo de población y vivienda (INE, 2017), del 33,5% de los hogares catastrados en zona rural con un acceso aceptable a servicios básicos, un 19,1% (4.501) cuenta con abastecimiento desde una red pública de agua³, mientras que un 11,8% se abastece a través de camión aljibe (ver Figura 3.1-2).

³ Incluye hogares abastecidos por Servicios Sanitarios Rurales (SSR) o acogidos al Artículo 52 bis del Decreto Fuerza Ley N°382/1988 del Ministerio de Obras Públicas.



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

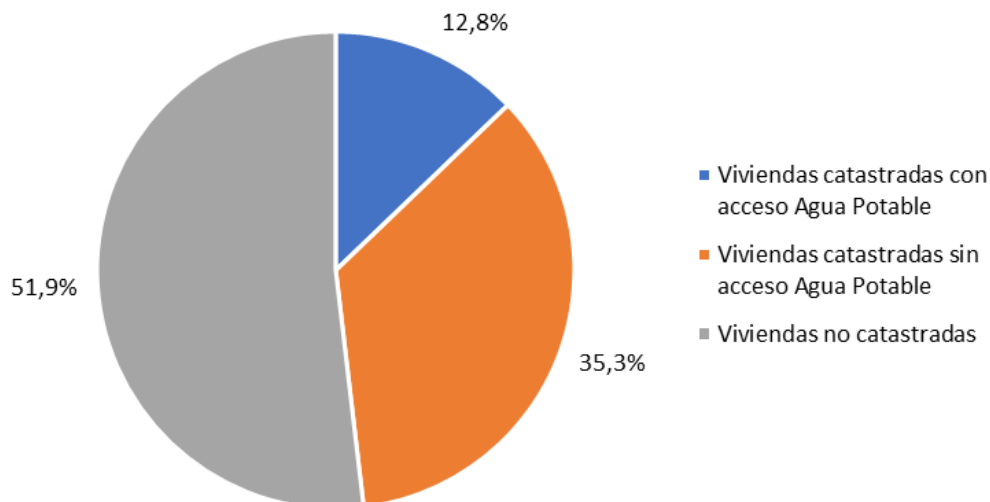
Figura 3.1-2 Distribución de hogares en zonas rurales con acceso a servicios básicos, según la fuente de obtención de agua

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

El indicador BS12, relacionado al porcentaje de viviendas conectadas a la red de agua potable, considera las viviendas rurales de siete (7) de las nueve (9) comunas de la región, concentrando el 48,1% del total de la población rural de la región.

Bajo los datos otorgados por el indicador, un 12,8% (1.633 viviendas) del total de las viviendas rurales de la región de Antofagasta posee conexión a la red de agua potable, mientras que un 35,3% (4.493 viviendas) no cuenta con acceso a la red pública de agua potable. (ver Figura 3.1-3).

A modo de resumen, en base al indicador BS12 de SICVIR (2020) se identifica que un 40,1% de las viviendas rurales de la región han sido catastradas, un 35,3% informan que no presentan acceso a la red de agua potable. Por último, se concluye que existe una brecha de información del 51,9% del total de las viviendas rurales de la región de Antofagasta.



Fuente: Elaboración propia en base a INE (2017; 2020)

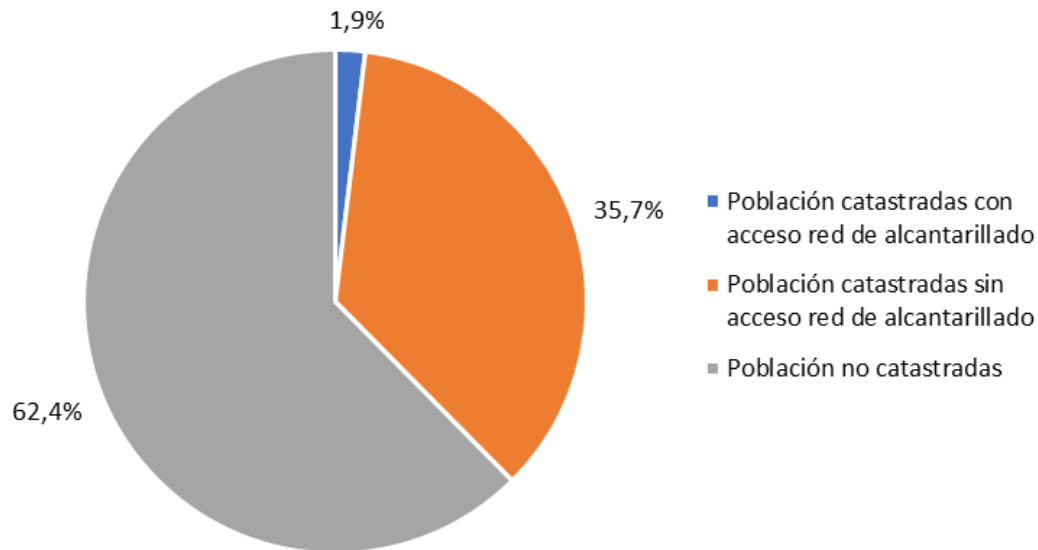
Figura 3.1-3 Acceso a la red de agua potable según indicador BS12 en las viviendas rurales de la región de Antofagasta

En cuanto a los Servicios Sanitarios Rurales (SSR) la Dirección de Obras Hidráulicas (2021), a partir de ahora DOH, presenta un listado con quince (15) Servicios Sanitarios Rurales para la región de Antofagasta, los cuales abastecen a seis (6) de las nueve (9) comunas de la región. Estas seis (6) comunas poseen una población rural de 17.276 habitantes, lo cual representa el 48,3% del total de población rural de la región. Dentro del listado de SSR y en base al total de población, solo existe un número estimado de 13.607 beneficiarios (38%), distribuidos en sistemas básicos (13,33%), semiconcentrados (33,33%) y concentrados (53,33%), revelando un déficit de abastecimiento de agua potable del 61,9% (22.179 habitantes).

Por último, la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS, 2022) al igual que la DOH presenta un listado de SSR, no obstante, en este listado se encuentran tres (3) SSR de tipo concentrado, los cuales abastecen a dos (2) comunas de la región con un total de 10.825 beneficiarios, lo que corresponde a un 30,3% del total de la población rural de la región de Antofagasta

b) Saneamiento

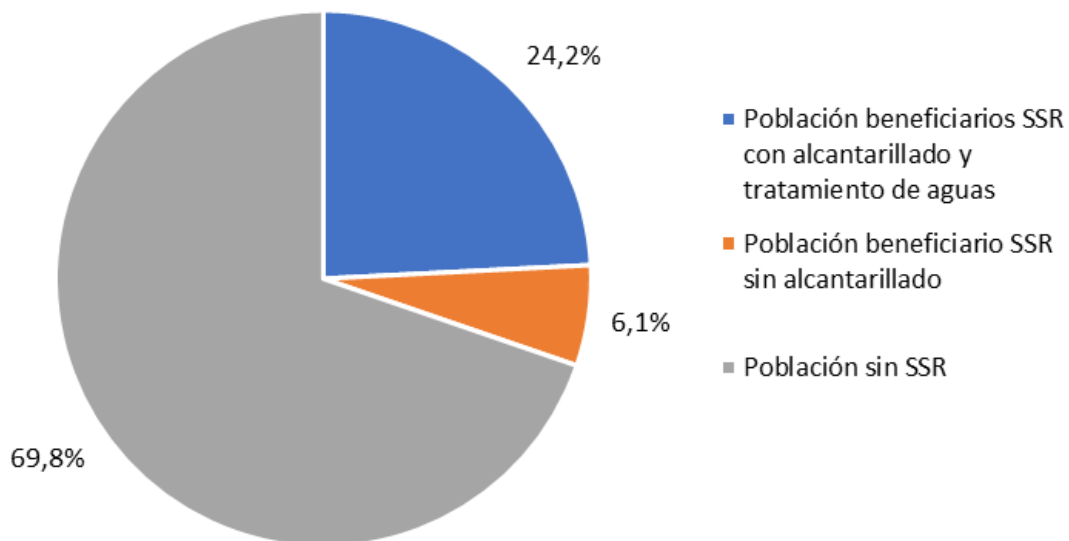
De acuerdo a los datos presentados en el indicador BS13 de SICVIR (2020) el cual considera cuatro (4) de las nueve (9) comunas de la región, concentrando el 37,6% del total de la población rural de la región. Se observa que el saneamiento por alcantarillado rural abarca un porcentaje del 1,9% (ver Figura 3.1-4).



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

Figura 3.1-4 Cobertura de sistemas de alcantarillado de la población rural de la región de Antofagasta, según indicador BS13

Por otra parte, de acuerdo al listado de Sistemas Sanitarios Rurales de la (SISS, 2022), se menciona que del total de beneficiarios SSR de la región un 24,2% (8.655 beneficiarios), presenta servicio de alcantarillado y plantas de tratamiento de aguas (ver Figura 3.1-5).



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

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

A modo de conclusión se desprende preliminarmente que de la población catastrada un 6,1% no cuenta con alcantarillado, mientras que se presenta una brecha de información cercana al 69,8% de la población rural total de la región de Antofagasta.

3.1.1.6 Pozos

Se identificó un total de 473 pozos de extracción en la región de Antofagasta, en donde un 52,85% son de uso para bebida/doméstico, seguido de un 38% de uso sin clasificación según DGA (2023).

3.1.1.7 Infraestructura hídrica para uso de fuentes no convencionales

i. Acuíferos profundos

En la cuenca del Río Loa, tras exploraciones profundas mediante técnicas geofísicas de Transiente Electromagnéticos y Audiomagnetotelúrico (AMT) realizadas el año 2016 en la comuna de María Elena, se determina la existencia de un estrato conductor profundo que podría constituir un acuífero de buena calidad. Esto se deduce debido a que los valores de resistividad indican una alta permeabilidad y porosidad, con espesor variable y ascendente en profundidad a medida que el perfil se desplaza al centro de la cuenca (95 m a 220 m), confinado y desconectado del acuífero superior, por medio de un estrato de gran espesor con resistividad asociadas a arcillas y yeso de baja a nula permeabilidad (DGA, 2021).

ii. Recarga artificial de acuíferos

Dentro de la región de Antofagasta, en el sector del Salar de Punta Negra, en la Cuenca Endorreicas Salar de Atacama – Vertiente Pacífico, se identifica la recarga artificial de vegas al margen del salar a través de inyección de agua para recuperar el caudal original de las vertientes. Esta medida se lleva a cabo a partir de año 2000 como medida de remediación por parte de Minera Escondida; sin embargo, en el año 2012 se concluyó que el caudal óptimo de recarga es de 9,6 l/s de media.

Actualmente la situación se encuentra regulada por medio del Acuerdo de Conciliación entre el Consejo de Defensa del Estado (CDE), la Comunidad Indígena Atacameña de Peine y la empresa minera.

Por otra parte, en el “Plan Estratégico de Gestión Hídrica en la Cuenca quebrada Caracoles” (DGA, 2022), se plantea la necesidad de realizar un estudio específico de recarga del acuífero para cuantificar los efectos de la incorporación de agua salada en la cuenca, así contar con información específica de la cantidad de agua inyectada por esta nueva fuente y el efecto que podría tener en el balance hídrico de la cuenca.

iii. Desalinización

La región de Antofagasta cuenta con once (11) plantas desaladoras para abordar de manera sustentable la demanda industrial y minera, además de dos (2) plantas desalinizadoras con tecnología de osmosis inversa para el abastecimiento de agua potable.

Actualmente la región de Antofagasta tiene una capacidad de desalinización de 6.388 l/s y se cataloga como la región con mayor crecimiento en operación (Vicuña et al., 2022). La capacidad actual de desalinización destinada a minería corresponde al 7.167 l/s, al uso potable 1.128 l/s y al sector industrial 347 l/s, según lo publicado por ACADES en su página oficial en el año 2023.

En la Tabla 3.1-3 se presentan las plantas y proyectos de desalinización presentes en la Región de Antofagasta, con su uso, capacidad (l/s) y su actual estado.

Tabla 3.1-3 Catastro de plantas y proyectos de desalinización en la región de Antofagasta

Proyecto	Cuenca	Destino	Capacidad (l/s)	Estado
Angamos	Costeras Río Loa-Quebrada Caracoles	Industrial	56	En operación
Desaladora Tocopilla	Costeras Río Loa-Quebrada Caracoles	Agua Potable	75	En operación
Escondida y ampliaciones EWS y EWSE	Costeras entre Quebrada la Negra y Quebrada Pan de Azúcar	Minería	3.858	En operación
Spence Growth Option (SGO)	Costeras Río Loa-Quebrada Caracoles	Minería	1000	En operación
Michilla	Costeras Río Loa-Quebrada Caracoles	Minería	70	En operación
CTT Tocopilla	Costeras Río Loa-Quebrada Caracoles	Industrial	22	En operación
Distrito Centinela	Costeras Río Loa-Quebrada Caracoles	Minería	50	En operación
Mejillones	Costeras Río Loa-Quebrada Caracoles	Industrial	30	En operación
Minera Sierra Gorda	Costeras Río Loa-Quebrada Caracoles	Minería	63	En operación
Tocopilla	Costeras Río Loa-Quebrada Caracoles	Industrial	25	En operación
Minera Antucoya	Costeras Río Loa-Quebrada Caracoles	Minería	30	En operación
Mejillones	Costeras Río Loa-Quebrada Caracoles	Industrial	56	En operación
Planta Desaladora Norte	Costeras Río Loa-Quebrada Caracoles	Agua Potable	1.053	En operación

Proyecto	Cuenca	Destino	Capacidad (l/s)	Estado
Desaladora Distrito Norte	Costeras Río Loa-Quebrada Caracoles	Minería	1956	Evaluación ambiental aprobada y con perspectivas de licitación
Distrito Minero Centinela Etapas I y II	Costeras Río Loa-Quebrada Caracoles	Minería	140	Evaluación ambiental aprobada y con perspectivas de licitación
Ampliación Angamos	Costeras Río Loa-Quebrada Caracoles	Industrial	158	En evaluación preliminar
Desaladora Antofagasta	Costeras Río Loa-Quebrada Caracoles	Agua Potable	634	En construcción o prontas a entrar en operación
Cramsa	Costeras entre Quebrada la Negra y Quebrada Pan de Azúcar	Multipropósito	8000	En evaluación preliminar
El Abra Mill Project	Costeras Río Loa-Quebrada Caracoles	Minería	-	Factibilidad
Marimaca	Costeras Río Loa-Quebrada Caracoles	Minería	-	Prefactibilidad

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

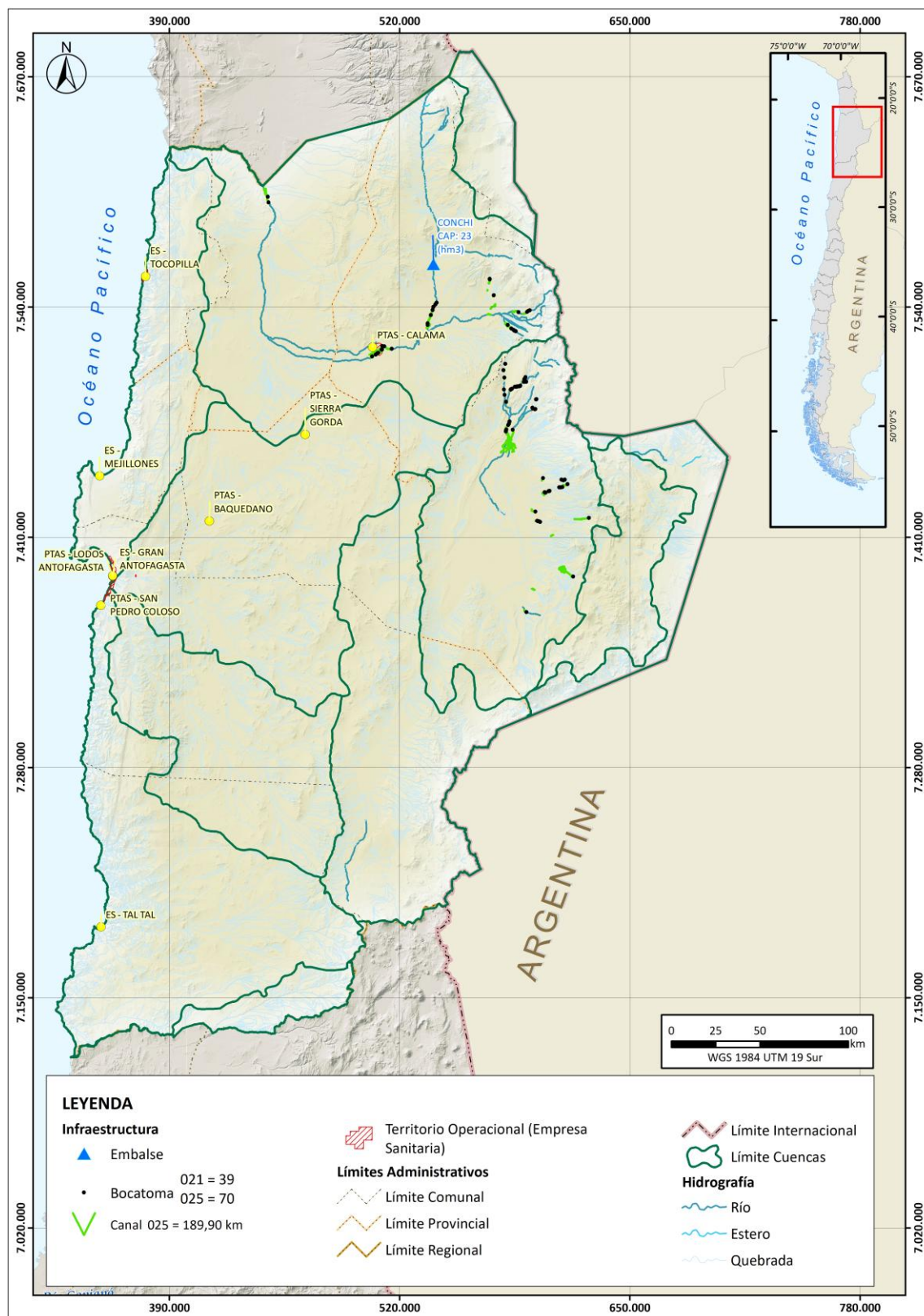
iv. Cosecha de aguas lluvia

En la Región de Antofagasta no existen obras destinadas a la cosecha de aguas lluvias. Sin embargo, en el “Plan Estratégico de Gestión Hídrica en la Cuenca Quebrada Caracoles” (DGA, 2022), se menciona la necesidad futura de recursos hídricos con preferencia en el consumo humano para implementar nuevas fuentes para el aprovechamiento de aguas a través de la cosecha de aguas lluvias.

Se considera la revisión de fuentes externas actualizadas en etapas posteriores para enriquecer la información.

v. Uso de aguas servidas tratadas

Dentro de la región se identifica un convenio tripartito realizado entre Aguas Antofagasta Grupo Epm en colaboración con el Gobierno Regional de Antofagasta y la empresa concesionaria Servicios Sanitarios S.A. (ECONSSA) para combatir la escasez hídrica de la región. El convenio consiste en el tratamiento y reúso de las aguas servidas en ciudades costeras de la región, ubicadas en las cuencas Costeras entre Quebrada la Negra y Quebrada Pan de Azúcar y Costeras Río Loa-Quebrada Caracoles, liberando así aguas continentales, las cuales tras su procesamiento permitirán a las industrias resolver sus propios problemas de producción.



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

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

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

En la Región de Antofagasta se pueden reconocer defensas fluviales en base a gaviones, encauzamiento de cauces o enrocados. Sin embargo, estas obras no son suficientes, ya que se requieren estudios complementarios de manejo de cauces (DGA, 2021).

En base a la actualización de plan maestro de evacuación y drenaje de aguas lluvias de Antofagasta (DOH, 2022), se presenta la existencia de tres (3) colectores de aguas lluvias construidos, correspondiendo al del sector Salar del Carmen, a lo largo de la Av. Salvador Allende, y a la descarga del colector La Negra.

Se consideran los planes maestros de aguas lluvias con estado tramitado para la región presentados en la Tabla 3.1-5.

Tabla 3.1-4 Planes maestros de aguas lluvias tramitados para la región de Valparaíso

Nombre	Localidad	Cuenca BNA	Decreto
Plan Maestro de Aguas Lluvias Antofagasta ¹	Antofagasta	Costeras R. Loa - Q Caracoles (22) Quebrada Caracoles (27), Cuenca Quebrada la Negra (28) y Costeras entre Q. la Negra y Q. Pan de Azúcar (29)	s/i

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

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

En la Tabla 3.1-5 se presentan los tramos colectores presentes en la región.

Tabla 3.1-5 Obras de tramo colector presentes en la región de Antofagasta

Nombre obra	Estado	Cuenca BNA
Colector Universidad de Antofagasta, Colector Jardín Del Sur, Colector Roca Roja y Colector Huascar	Proyectado	Costeras entre Q. la Negra y Q. Pan de Azúcar
Colector La Chimba, Colector La Roca, Colector Club Hípico, Colector Ñandu, Colector Bonilla, Colector Ongolmo, Colector Farellones, Colector Salar Del Carmen, Colector La Cadena, Colector El Ancla y Colector Uribe		Costeras R. Loa - Q. Caracoles
Colector Salar Del Carmen, Colector La Cadena, Colector El Ancla, Colector Uribe, Colector Uribe - El Toro, Colector El Toro, Colector Toro – Caliche y Colector Caliche		Quebrada Caracoles
Colector Caliche, Colector Argentina y Colector Universidad de Antofagasta		Quebrada la Negra

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

Por último, en la Tabla 3.1-6 se presentan las obras de control aluvional presentes en la región.

Tabla 3.1-6 Obras de control aluvional presentes en la región de Antofagasta

Nombre obra	Estado	Cuenca BNA
Baquedano, Baquedano-Afl Norte, Salar del Carmen-Afl 3, Salar del Carmen-Afl 2, Salar Del Carmen-Afl 1, La Cadena-Afl 1, El Ancla, La Cadena, La Cadena-Afl 3 y La Cadena-Afl 4	Existente	Quebrada Caracoles
Farellones		Costeras R. Loa - Q. Caracoles
Jardines del Sur, Jardines del Sur – Afl Sur	Proyectado	Costeras entre Q. la Negra y Q. Pan de Azúcar
La Chimba y Bonilla		Costeras R. Loa - Q. Caracoles
El Toro, Riquelme-Alf Tramo Superior, Baquedano, Uribe, El Toro-Alf Sur y Riquelme		Quebrada Caracoles

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

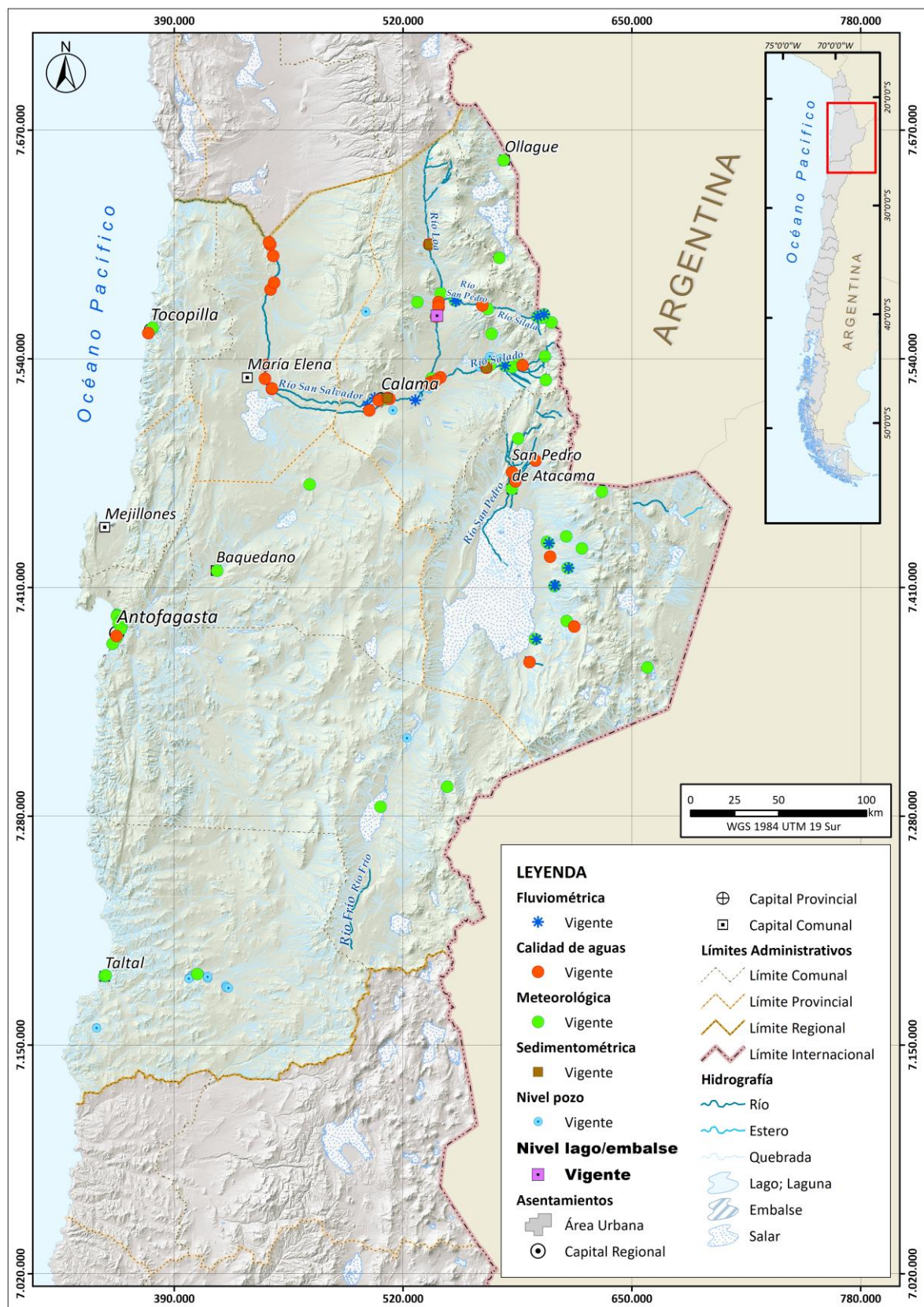
3.1.1.9 Red Hidrométrica

De acuerdo a DGA (2023), en la región de Antofagasta se encuentran 157 estaciones de monitoreo vigentes que constituyen la red hidrométrica de la región. En la Tabla 3.1-7 se muestra en detalle el tipo de estación presente en la región y su estado, en el Anexo 03.01 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 Loa.

Tabla 3.1-7 Estaciones de monitoreo de la región de Antofagasta

Tipo de Estación	Vigentes	Suspendidas
Calidad de Aguas	33	0
Fluviométrica	31	0
Meteorológica	58	0
Nivel de pozo	32	0
Sedimentométrica	3	0
Nivel de lago y embalses	0	0
Glaciológica	0	0
Rutas de nieve	0	0
Total	157	0

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



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

Figura 3.1-7 Red hidrométrica de la región de Antofagasta

3.1.2 Infraestructura hídrica propuesta en cartera pública existente

A continuación, se exponen las propuestas identificadas en diversos estudios y planes para la región de Antofagasta entre los años 2010 y 2022 detalladas en el anexo 03.04.

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 “Plan de Inversión en Iniciativas Hídricas, 2021” (MOP, 2021), 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 3.1-8.

Tabla 3.1-8 Iniciativas clasificadas según tipología y estrategia de acción

Tipología	Estrategias de acción	N° de iniciativas
Infraestructura hídrica estructural	Redes hidrométricas	22
	Producción-distribución de agua potable y tratamiento aguas servidas	5
	Defensa fluvial y aluvional	5
	Desalinización	0
	Infraestructura de riego	4
	Infraestructura de distribución de agua	2
	Obras de acumulación de agua	3
	Reúso de aguas residuales	0
	Redes de aguas lluvias	0
	Captación de aguas	0
	Trasvase de aguas	0
	Drenaje de aguas	0
	Control de erosión	0
	Recarga de acuíferos	1
	Conservación de riberas	1
Infraestructura hídrica no estructural	Estudio hidrológico o hidrogeológico para disponibilidad hídrica	12
	Análisis sistemas glaciares y periglaciares	0
	Estudio calidad de agua superficial y subterránea	2
	Estudio obras de recarga artificial de acuíferos	0

Tipología	Estrategias de acción	N° de iniciativas
	Conservación y restauración de riberas y cauces	4
	Comportamiento morfodinámico e hidrodinámico de humedales	3
	Estudios obras de acumulación de agua	1
	Estudios de riesgo fluvial y aluvional	2
	Conservación obras de riego	4
	Estudio sistemas de riego	1
	Estudios contaminación de aguas	1
	Estudios de saneamiento	0
	Estudios de aguas lluvias	0
	Estudio obras de distribución de aguas	1
	Estudios de desalación	0
	Análisis de red hidrométrica y plataformas de información	9
	Estudio de reúso de aguas	4
	Diagnóstico de OUA y DAA	0
	Estudios para abastecimiento de agua potable	3
Medidas de gestión	Creación de capital humano	22
	Análisis situación legal DAA	2
	Fortalecimiento y formalización de OUA	2
	Reservas de agua	0
	Manejo de quebradas	0
	Manejo riesgos de contaminación de aguas	2
	Manejo de normas ambientales e hídricas	4
	Planes y políticas	9

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. Las iniciativas según tipologías y las características básicas se presentan en la Tabla 3.1-9.

Tabla 3.1-9 Iniciativas según tipologías y características básicas

Tipología	Características básicas			
	Identificación del problema	Monto asociado	Responsable de la iniciativa	Fecha de ejecución
Infraestructura hídrica estructural	19	24	20	24
Infraestructura hídrica no estructural	35	38	32	19
Medidas de gestión	40	41	38	24

Fuente: Elaboración propia.

En el caso de la región de Antofagasta, no hay ninguna iniciativa que contenga información acerca del estado de su ejecución.

En la Tabla 3.1-10 se presentan los planes de desarrollo de empresas sanitarias presentes en la región por implementar.

Tabla 3.1-10 Iniciativas planificadas dentro de los planes de desarrollo de las empresas sanitarias para la región de Antofagasta

Empresa	Vigencia plan	Alcance zonal	Infraestructura estructural planificadas
Aguas Antofagasta S.A.	2024	Antofagasta	Ampliación capacidad de producción de AP, obra de almacenamiento y potabilización, obras de distribución y mejoramientos en la red de distribución de AP
		Calama	Ampliación capacidad de producción de AP, mejoramientos en la red de distribución de AP, nuevas obras de distribución de AP, renovación de red de AS, refuerzo de colectores
		Mejillones	Aumento de capacidad PTAP, mejoramientos en la red de distribución de AP, nuevas obras de distribución de AP y reemplazo de alcantarillado
		Taltal	Aumento de capacidad PTAP, mejoramientos en la red de distribución de AP, nuevas obras de distribución de AP y reemplazo de alcantarillado
		Tocopilla	Mejoramientos en la red de distribución de AP, nuevas obras de distribución de AP, reemplazo de alcantarillado y reposición equipos PTAS
		Sierra Gorda	Reposición e inclusión de equipos PEAP, mejoramientos en la red de distribución de AP y reemplazo de alcantarillado
		Baquedano	Reposición e inclusión de equipos PTAP y aumento de capacidad PTAP

Fuente: Elaboración en base a SISS (2023)

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

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 3.1-11 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 03.04.

Tabla 3.1-11 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	28	5.002.133	5.726.832
		APR semi concentrado	16	4.035.434	4.686.257
		Ampliación y mejoramiento de servicios existentes de APR	6	826.473	875.853
		Alcantarillado y saneamiento rural	2	286.779	286.779
	Infraestructura de riego	Conservación obras de riego	30	14.989.489	17.301.139
	Defensa fluvial y aluvional	Control aluvional	47	30.887.795	39.666.987
		Conservación aluvional	12	4.203.141	5.884.418
Infraestructura hídrica no estructural	Conservación y restauración de riberas y cauces	Conservación de riberas (defensas fluviales)	32	16.514.225	20.028.661
	Estudios de riesgo fluvial y aluvional	Estudios	2	72.761	100.426
	Análisis de red hidrométrica y plataformas de información	Análisis	2	39.991	56.542
Medidas de gestión	Planes y políticas	Estudios	1	52.000	74.947

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 03.05 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 superficial⁴ 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:

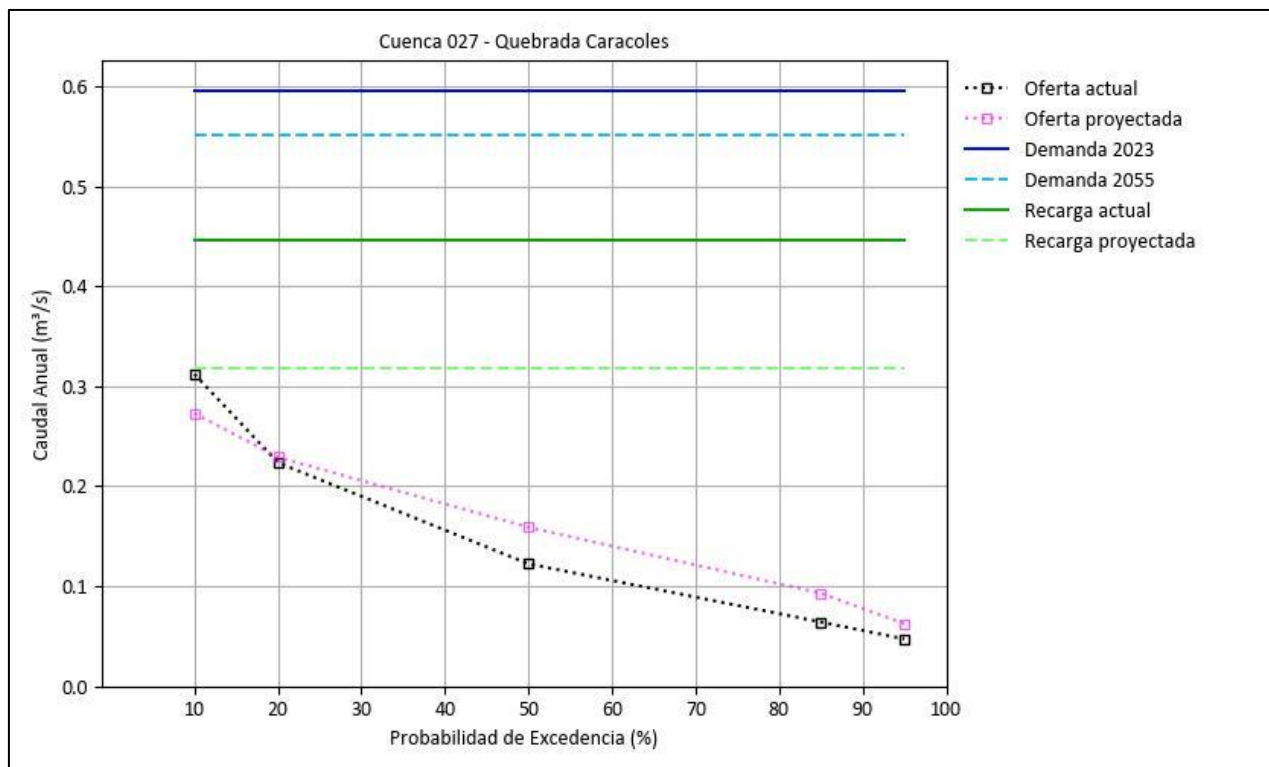
Criterio 1 = cuenca con recursos
Criterio 2 = decreto de escasez vigente
Clasificación final = cuenca en estrés

Para la situación actual de la región, en la Figura 4.1-2 se observan 3 cuencas consideradas **cuencas críticas**, es decir, donde la demanda total supera la oferta disponible con una probabilidad de excedencia del 50%, lo que se puede observar en la Figura 4.1-1 para la cuenca Quebrada Caracoles (BNA 027). Por otra parte, en la misma figura se muestra que hasta 6 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**

⁴ En base al Balance Hídrico Nacional (DGA, 2018)

disponibles. No obstante, se debe considerar que cuatro (4) de estas cuencas⁵ actualmente poseen restricciones, ya sea para el uso de aguas superficiales como para aguas subterráneas, por lo que finalmente se reclasifican a **cuencas en estrés o críticas** (ver Tabla 4.1-1).

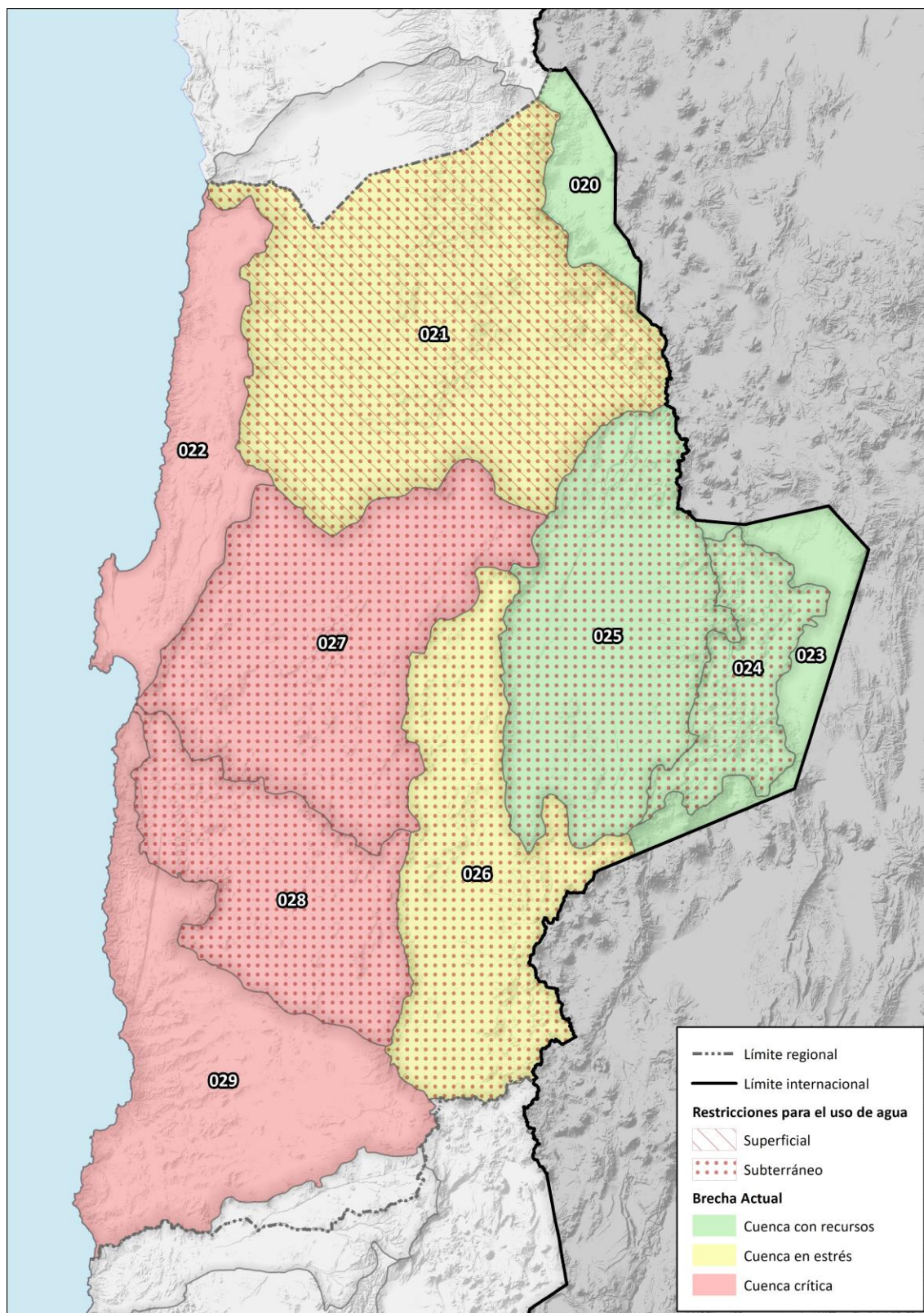
Finalmente, las dos (2) cuencas restantes, Costeras e Islas entre Tercera Región y Q. Los Choros (código BNA 040) y Costeras entre R. Los Choros y R. Elqui (código BNA 042), si bien fueron clasificadas como **cuencas con recursos** dado que su demanda total no supera la oferta disponible con una probabilidad de excedencia del 85%, actualmente poseen restricciones para aguas superficiales (ver Figura 4.1-2), por lo que finalmente se reclasifican a **cuencas en estrés** (ver Tabla 4.1-1).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.1-1 Probabilidad de excedencia sobre la curva de oferta, de la demanda actual y futura, cuenca BNA 027

⁵ BNA 021 Río Loa; BNA 024 Endorreica entre Fronterizas y Salar Atacama; BNA 025 Salar de Atacama; BNA 026 Endorreicas Salar Atacama-Vertiente Pacífico



Fuente: Elaboración propia

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

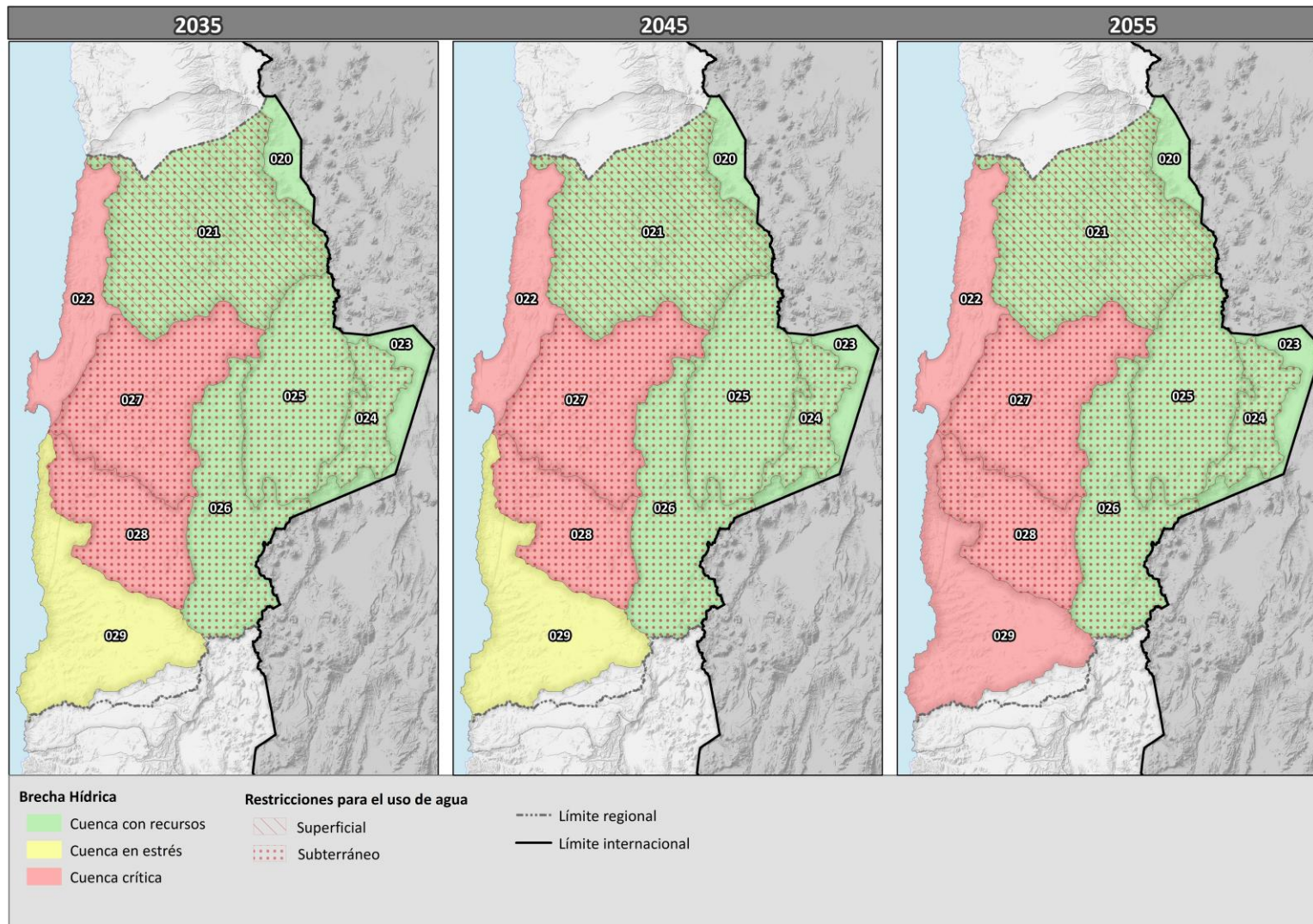
Tabla 4.1-1 Brechas Hídricas por Cuenca Región de Antofagasta

Código BNA	Nombre Cuenca	2025	2035	2045	2055
020	Fronterizas Salar Michincha-R. Loa	Con recursos	Con recursos	Con recursos	Con recursos
021	Rio Loa	Crítica	Crítica	Crítica	Crítica
022	Costeras R. Loa-Q. Caracoles	Crítica	Crítica	Crítica	Crítica
023	Fronterizas Salares Atacama-Socompa	Con recursos	Con recursos	Con recursos	Con recursos
024	Endorreica entre Fronterizas y Salar Atacama	En estrés	En estrés	En estrés	En estrés
025	Salar de Atacama	En estrés	En estrés	En estrés	En estrés
026	Endorreicas Salar Atacama-Vertiente Pacifico	En estrés	En estrés	En estrés	En estrés
027	Quebrada Caracoles	Crítica	Crítica	Crítica	Crítica
028	Quebrada la Negra	Crítica	Crítica	Crítica	Crítica
029	Costeras entre Q. la Negra y Q. Pan de Azúcar	En estrés	En estrés	En estrés	Crítica

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4.1-1 se aprecia que casi todas las cuencas se encuentran en una situación de estrés o crítica al año 2025, salvo las cuencas BNA 020 y 023, donde algunas cuencas mejoran en las ventanas futuras. Este mejoramiento se debe a que, según el balance hídrico de la cuenca, el estado de las cuencas es con recursos, pero que si se consideran las restricciones superficiales o subterráneas existentes (las cuales están en algunas cuencas de la región), la situación es crítica. Sin embargo, si bien estas restricciones no son estarán siempre presentes, se consideran de igual forma para las ventanas lejanas, lo que se puede ver en la Figura 4.1-3.

Sin embargo, a pesar de lo anterior es importante mencionar que gran parte 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. En este sentido, existe una brecha de información en varias de estas cuencas, donde no existe un estudio específico que defina la magnitud de las recargas en ellas. Además, es importante destacar que muchas de estas cuencas han experimentado diversas sequías intensas desde el año 2014, lo que puede no verse reflejado en un análisis de caudales que considera el periodo 1985-2015. En vista de lo presentado anteriormente, es posible decir que hay cuencas que presentan brechas de información para el completo entendimiento de la situación hídrica.



Fuente: Elaboración propia

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

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 entre un 52% y 67% de las viviendas rurales regional.
- No se posee información en relación a las fuentes de abastecimiento de agua entre un 62% y 70% de la población rural regional.
- No se posee información en relación al acceso a la red de alcantarillado de entre un 62% y 70% de la población rural regional.
- No se posee real conocimiento de la situación de acceso al agua potable rural debido a que los indicadores no presentan información de las comunas de Antofagasta y Calama.
- No se posee real conocimiento de la situación de acceso y cobertura a la red de alcantarillado rural debido a que los indicadores no presentan información de las comunas de Antofagasta, Ollagüe, San Pedro de Atacama, María Elena y Calama.

- 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.
- Insuficiente información respecto a disponibilidad de agua en acuíferos
- 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).
- 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 cuenta con información de calidad de aguas para siguientes cuencas: Fronterizas Salar Michincha y Río Loa, (código BNA 020); Costeras entre Río Loa y Quebrada Caracoles (código BNA 022); Fronterizas entre Salar de Atacama y Socompa (código BNA 023); Endorreicas entre Salar de Atacama y Vertiente del Pacífico (código BNA 026); Quebrada La Negra (código BNA 028); Costeras entre Quebrada la Negra y Quebrada Pan de Azúcar (código BNA 029); Costeras entre Quebrada Pan de Azúcar y Río Salado (código BNA 031).

ii. Para caracterización de la oferta-demanda:

- 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 y 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.

Tabla 4.2-1 Brechas Estratégicas de Consumo Humano por Cuenca Región de Antofagasta

Justificación regional	Brechas Estratégicas Generales	Brechas Estratégicas Específicas Regionales	Indicador	Rango	Clasificación (qué tan crítica es la brecha)	Fronterizas Salar Michincha y Río Loa	Río Loa	Costeras entre Río Loa y Quebrada Caracoles	Fronterizas entre Salar de Atacama y Socompa	Endorreica entre Fronterizas y Salar de Atacama	Salar de Atacama	Endorreicas entre Salar de Atacama y Vertiente del Pacífico	Quebrada Caracoles	Quebrada La Negra	Costeras entre Quebrada la Negra y Quebrada Pan de Azúcar	Costeras entre Quebrada Pan de Azúcar y Río Salado
Se estima además que entre un 14,4% y un 35,3% de las viviendas rurales catastradas no acceden al agua potable, y que, la brecha de información abarca de entre el 35,3% y el 66,2% del total de viviendas rurales (ver acápite 3.1.1.4i)	Población de localidades rurales desconcentradas y semiconcentradas sin servicios de agua potable	Falta de servicios de infraestructura y gestión hídrica que aseguren el acceso al agua potable y al saneamiento adecuado para todas las comunidades, especialmente en zonas aisladas y rezagadas, tanto en áreas urbanas como rurales.	Porcentaje de cobertura de la red de agua potable rural respecto del total de viviendas de la cuenca.	Cobertura menor a o igual a 70% Cobertura mayor a 70% y menor a 85% Cobertura mayor o igual a 85	Alta =4 Media =2 Baja =1	4	4	4	4	4	4	4	1	4	4	4
Se estima que entre un 6,1% y 35,7% de la población rural no posee acceso a alcantarillado. Además, se presenta una brecha de información de entre el 62,4% y el 69,8% (ver acápite 3.1.1.4 ii)	Déficit en la cobertura del servicio de saneamiento y tratamiento en APR concentrados, semiconcentrados y desconcentrados	Falta de servicios de infraestructura y gestión hídrica que aseguren el acceso al agua potable y al saneamiento adecuado para todas las comunidades, especialmente en zonas aisladas y rezagadas, tanto en áreas urbanas como rurales.	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	4	4	4	4	4	4	4	1	4	4	4
La proyección de la población rural con APR en las cuencas de la región de Antofagasta, muestra un incremento en la población rural para el año 2055 respecto de la población actual de un 5% para las cuencas Costeras R. Loa – Q. Caracoles (código BNA 022) y un 7% para las cuencas Fronterizas Salar Michincha – R. Loa (código BNA 020), Río Loa (código BNA 021), cuenca del Salar del Atacama (código BNA 025) y cuencas Costeras entre Q. La Negra y Q. Pan de Azúcar (código BNA 029). La proyección para las áreas sin presencia de APR, presenta un 7% de aumento en la población para el año 2055 en las cuencas Fronterizas Salar Michincha – Río Loa (código BNA 020), Río Loa (código BNA 021), cuencas Costeras Río Loa – Quebrada Caracoles (código BNA 022), cuencas Endorreicas Salar de Atacama – Vertiente Pacífico (código BNA 026), Quebrada Caracoles (código BNA 027), Quebrada La Negra (código BNA 028), cuencas Costeras entre Quebrada La Negra y Quebrada Pan de Azúcar (código BNA 029) y Costeras Pan de Azúcar – Río Salado (código BNA 031). (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	4	1	4	1	1	4	1	1	1	2	1
El mayor número de clientes de APU corresponde a clientes residenciales (96,02%), los que presentaron un descenso promedio en la tasa de crecimiento de un 0,01% en los últimos 10 años. No obstante, el enlentecimiento del crecimiento, se observa un aumento de clientes en la última década, lo que, sumado a las proyecciones de población del censo de población y vivienda, se proyecta un aumento de clientes y consumo de agua potable urbana en la región.	Aumento de la demanda de agua potable urbana asociada a un incremento de la población		Tasa de crecimiento Demanda Urbana promedio por cuenca ((Dda35 - Dda25)/Dda25) (acápite 2.2.1)	Alta Criticidad = Tasa de crecimiento mayor a 8% Alta Criticidad = Tasa de crecimiento menor a 8% y mayor a 4% Baja Criticidad = Tasa de crecimiento menor a 4%	Alta =4 Media =2 Baja =1	N/A	1	2	N/A	N/A	N/A	N/A	2	2	2	N/A

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.

Tabla 4.2-2 Brechas Estratégicas de Consumo Humano por Cuenca Región de Antofagasta (continuación)

Justificación regional	Brechas Estratégicas Generales	Brechas Estratégicas Específicas Regionales	Indicador	Rango	Clasificación (qué tan crítica es la brecha)	Fronterizas Salar Michincha y Río Loa	Río Loa	Costeras entre Río Loa y Quebrada Caracoles	Fronterizas entre Salar de Atacama y Socompa	Endorreica entre Fronterizas y Salar de Atacama	Salar de Atacama	Endorreicas entre Salar de Atacama y Vertiente del Pacífico	Quebrada Caracoles	Quebrada La Negra	Costeras entre Quebrada la Negra y Quebrada Pan de Azúcar	Costeras entre Quebrada Pan de Azúcar y Río Salado
Para el año 2022 se estimó un promedio de pérdidas por distribución de un 27,5% a nivel regional; las pérdidas más altas se registraron en la localidad de Tocopilla (más de un 40% de pérdidas), mientras que solo las localidades de Sierra Gorda y Baquedano se mantuvieron bajo un 20% de pérdidas. (ver Anexo 05.02 Demanda futura)	Deterioro en el sistema de distribución de agua potable (pérdidas)	Carencia de soluciones para mejorar las capacidades de almacenamiento, tratamiento del agua y sistemas de distribución/conducción, lo que compromete la provisión adecuada de agua potable y la resiliencia de las comunidades frente a la creciente demanda de agua. Falta de servicios de infraestructura y gestión hídrica que aseguren el acceso al agua potable y al saneamiento adecuado para todas las comunidades, especialmente en zonas aisladas y rezagadas, tanto en áreas urbanas como rurales.	Porcentaje de pérdidas por efecto de fugas	Perdidas 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	N/A	2	4	2	2	2	2	1	2	2	2
La región de Antofagasta cuenta con dos (2) plantas desalinizadoras con tecnología de osmosis inversa para el abastecimiento de agua potable y un (1) proyecto en elaboración.	Insuficientes incentivos para uso de fuentes no convencionales de agua para el consumo humano a escalas relevantes	Insuficiencia en la investigación y la identificación de nuevas fuentes hídricas, como recargas artificiales de acuíferos, desalinización de agua de mar y captura de evaporación de piscinas de salmuera.	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	1	4	4	4	4	4	4	2	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 Brecha de seguridad para la producción sostenible y eficiencia hídrica

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

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

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

En la Tabla 4.2-3 y 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.

Tabla 4.2-3 Brechas Estratégicas de Desarrollo Económico por Cuenca Región de Antofagasta

Justificación regional	Brechas Estratégicas Generales	Brechas Estratégicas Específicas Regionales	Indicador	Rango	Clasificación (qué tan crítica es la brecha)	Fronterizas Salar Michinchá y Río Loa	Río Loa	Costeras entre Río Loa y Quebrada Caracoles	Fronterizas entre Salar de Atacama y Socompa	Endorreica entre Fronterizas y Salar de Atacama	Salar de Atacama	Endorreicas entre Salar de Atacama y Vertiente del Pacífico	Quebrada Caracoles	Quebrada La Negra	Costeras entre Quebrada la Negra y Quebrada Pan de Azúcar	Costeras entre Quebrada Pan de Azúcar y Río Salado
En la región de Antofagasta, la eficiencia de aplicación de riego promedio estimada para el año 2023 es del 45%. Esta eficiencia varía entre un 81% y un 25%, siendo la cuenca "Costeras entre Q. la Negra y Q. Pan de Azúcar" la que presenta el valor más alto, y la cuenca "Costeras Q. Pan de Azúcar-R. Salado" el valor más bajo. Esta disparidad en la eficiencia 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 Anexo 03.02)	Déficit en tecnificación del riego y modernización de sistemas de control de heladas	Falta de prácticas productivas eficientes que reduzcan los requerimientos de agua, afectando la modernización de los sistemas de riego e impidiendo la incorporación de tecnologías de precisión, como la telemetría. Insuficiente investigación e innovación en tecnologías para la producción sostenible de agua industrial, lo que retrasa la transferencia tecnológica a pequeños agricultores para mejorar la eficiencia hídrica en cultivos.	Eficiencia de aplicación de riego (%) (año 2023)	Eficiencia de riego ≤ 45% 45% < Eficiencia de riego < 70% Eficiencia de riego ≥ 70%	Alta =4 Media =2 Baja =1	4	4	4	4	4	4	2	2	2	1	4
En la región de Antofagasta se identifican 353 km de canales, ubicados en la cuenca del Salar de Atacama, que abarca el 54% del total, y la cuenca del Río Loa, que representa el 46%. En las otras cuencas de la región no se identifican canales. 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 el Anexo 03.01).	Deterioro en el sistema de distribución de agua para riego	Deficiencia en la infraestructura de captación y conducción, lo que limita las modificaciones y mejoras en canales y bocatomas, y dificulta la tecnificación del riego en equilibrio con el aspecto cultural.	Longitud total de canales de riego y presencia de otras obras de riego menores.	Concentra más del 45% de los canales de la región y obras para riego. Concentra entre el 15 y el 45% de los canales de la región y obras para riego. Concentra menos del 15% de los canales de la región y obras para riego.	Alta =4 Media =2 Baja =1	1	4	1	1	1	4	1	1	1	1	1
Según la tendencia histórica, se prevé que la demanda hídrica agrícola en la región de Antofagasta disminuya en un 75% para el año 2055. Esta disminución se debe principalmente a la disminución de la superficie cultivada en muchas de las cuencas. Si bien, 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 fomentar la investigación y el desarrollo de cultivos más resistentes a la sequía y menos dependientes del riego. Esto permitirá fomentar la agricultura en la región (mayor detalle en el acápite 2.2.3 del estudio).	Aumento de la demanda de agua para riego debido a superficies de cultivo con uso intensivo de agua	Falta de prácticas productivas eficientes que reduzcan los requerimientos de agua, afectando la modernización de los sistemas de riego e impidiendo la incorporación de tecnologías de precisión, como la telemetría. Insuficiente investigación e innovación en tecnologías para la producción sostenible de agua industrial, lo que retrasa la transferencia tecnológica a pequeños agricultores para mejorar la eficiencia hídrica en cultivos.	Variación porcentual ponderada de la demanda hídrica agrícola (Período 2023-2055)	Aumento de la demanda agrícola ≥ 10% 1% < Aumento de la demanda agrícola < 10% Aumento de la demanda agrícola ≤ 1%	Alta =4 Media =2 Baja =1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1
En la región de Antofagasta, actualmente se identifican únicamente Comunidades de Aguas (CA). No se ha identificado la presencia de Juntas de Vigilancia (JV), Comunidades de Aguas Subterráneas (CAS) y Asociaciones de Canalistas (AC). Estas Organizaciones de Usuarios de Aguas (OUAs) están ubicadas en las cuencas Río Loa y Salar de Atacama. En cuanto a las demás cuencas, no se han detectado OUAs.	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	4	4	4	4	4	4	4	4	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.

Tabla 4.2-4 Brechas Estratégicas de Desarrollo Económico por Cuenca Región de Antofagasta (continuación)

Justificación regional	Brechas Estratégicas Generales	Brechas Estratégicas Específicas Regionales	Indicador	Rango	Clasificación (qué tan crítica es la brecha)	Fronterizas Salar Michincha y Río Loa	Río Loa	Costeras entre Río Loa y Quebrada Caracoles	Fronterizas entre Salar de Atacama y Socompa	Endorreica entre Fronterizas y Salar de Atacama	Salar de Atacama	Endorreicas entre Salar de Atacama y Vertiente del Pacífico	Quebrada Caracoles	Quebrada La Negra	Costeras entre Quebrada la Negra y Quebrada Pan de Azúcar	Costeras entre Quebrada Pan de Azúcar y Río Salado
El principal sector económico de la región corresponde al sector minero. De acuerdo a la estimación de demanda proyectada se estima que esta podría disminuir, a nivel regional, en aproximadamente un 21%. Esta disminución no se atribuye a una disminución de la producción minera, sino más bien a las proyecciones basadas en la tendencia histórica del consumo unitario de agua continental por tonelada de mineral de cobre procesado el cual ha mostrado una tendencia a la baja en los últimos años. Es relevante notar que solo en dos cuencas de la región se observa un aumento de la demanda (Salar de Atacama y Quebrada Negra). Este aumento de la demanda se debe, por un lado, al incremento en la producción de minerales distintos al cobre y, por otro lado, al valor del consumo unitario de agua continental por tonelada de mineral procesado. Este último ha sido considerado constante en los cálculos de proyección de demanda debido a la falta de información actualizada sobre su variabilidad (mayor detalle en el acápite 2.2.5 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	Carencia de una gestión integrada de los recursos hídricos basada en la eficiencia, la sostenibilidad y la resiliencia al cambio climático, lo que dificulta la disponibilidad de agua en sectores estratégicos como la minería y la agricultura en zonas de escasez.	Variación porcentual de la demanda hídrica del principal sector productivo (Sector minero, período 2023-2055)	Aumento de la demanda minera ≥ 80% 40 < Aumento de la demanda minera < 80% Aumento de la demanda minera ≤ 40%	Alta =4 Media =2 Baja =1	1	1	1	1	1	4	1	1	4	1	1
En la región de Antofagasta se encuentra un único embalse, el embalse Conchí, ubicado en la cuenca del río Loa. Hasta febrero de 2023, este embalse mantenía un nivel de almacenamiento del 59,1% de su capacidad total, equivalente a 22 millones de metros cúbicos. Según indican las fuentes de información, el principal uso de este embalse en la región es el riego, alcanzando una utilización del 100% con este propósito. Estos datos sugieren la necesidad de diversificar las fuentes de agua y planificar la gestión del recurso hídrico a largo plazo (mayor detalle en el acápite 3.1.1.1 del estudio).	Disminución de aportes superficiales a grandes obras de acumulación (embalses)	-	Nivel de almacenamiento	No se identifican embalses o nivel de almacenamiento ≤ 50% 40 % < Nivel de almacenamiento < 70% Nivel de almacenamiento ≥ 70%	Alta =4 Media =2 Baja =1	4	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4
En la región de Antofagasta a se han implementado diversas obras multipropósito destinadas a garantizar el suministro de agua mediante fuentes no convencionales, así como proyectos futuros en esta línea. Estas obras abarcan la recarga artificial de acuíferos, la instalación de desaladoras, el aprovechamiento de aguas lluvias y la reutilización de aguas servidas, distribuidas en 5 cuencas de la región. En las demás cuencas, no se han identificado obras en funcionamiento ni proyectos futuros hasta el momento (mayor detalle en el acápite 3.1.1.7 del estudio).	Insuficientes incentivos para uso de fuentes no convencionales de agua para el desarrollo de actividades productivas a escalas relevantes	Falta de infraestructuras hídricas multipropósito, tales como sistemas de acumulación, incluyendo la construcción de estanques y la impermeabilización de tranques existentes, lo que afecta el aprovechamiento de fuentes de agua no convencionales, como la cosecha de aguas lluvias durante el invierno altiplánico. Insuficiencia en la reutilización de aguas servidas tratadas y en la evaluación de la recarga artificial de acuíferos, lo cual limita la capacidad de mitigar la escasez hídrica en áreas vulnerables. Falta de implementación de sistemas de desalinización para usos agrícolas e industriales, afectando el equilibrio entre el desarrollo económico sostenible y la protección ambiental en la región.	Presencia de obras multipropósito para el abastecimiento de agua desde fuentes no convencionales	No existen proyectos para uso de fuentes no convencionales. Se planifica la implementación de obras multipropósito para uso de fuentes de agua no convencionales. Existe al menos una obra multipropósito para el uso de fuentes no convencionales.	Alta =4 Media =2 Baja =1	4	1	1	4	4	4	1	2	4	1	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.

4.2.4 Brechas de seguridad hídrica para la conservación y preservación de los ecosistemas

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

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

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

A continuación, en las Tabla 4.2-5 y Tabla 4.2-6, 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.

Tabla 4.2-5 Brechas Estratégicas de conservación y preservación de los ecosistemas, por Cuenca Región de Antofagasta

Justificación regional	Brechas Estratégicas Generales	Brechas Estratégicas Específicas Regionales	Indicador	Rango	Clasificación (qué tan crítica es la brecha)	Fronterizas Salar Michincha y Río Loa	Río Loa	Costeras entre Río Loa y Quebrada Caracoles	Fronterizas entre Salar de Atacama y Socompa	Endorreica entre Fronterizas y Salar de Atacama	Salar de Atacama	Endorreicas entre Salar de Atacama y Vertiente del Pacífico	Quebrada Caracoles	Quebrada La Negra	Costeras entre Quebrada la Negra y Quebrada Pan de Azúcar	Costeras entre Quebrada Pan de Azúcar y Río Salado
Aunque la agricultura en la Región de Antofagasta es limitada, prácticas ineficientes en el uso de agroquímicos en los oasis y áreas de cultivo, como en San Pedro de Atacama, pueden llevar a la contaminación de los frágiles ecosistemas, particularmente en las zonas cercanas a los humedales.	Escaso manejo de contaminantes y pasivos ambientales en agricultura	Impacto negativo de pasivos mineros en la agricultura, y falta de medidas para su adecuada mitigación.	Calidad de agua respecto a la presencia del parámetro boro, arsénico, cloruros o sulfatos (acápite 2.3.3)	Alta criticidad: Presencia de al menos dos elementos en altas cantidades (Boro / Arsénico / Cloruros / Sulfatos) Media criticidad: Presencia de al menos un elemento en altas cantidades (Boro / Arsénico / Cloruros / Sulfatos). Baja criticidad: Sin presencia de elementos evaluado.	Alta =4 Media =2 Baja =1	s/i	4	s/i	s/i	4	1	s/i	4	s/i	s/i	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. Las ciudades mineras de la región, como Calama y Antofagasta, enfrentan problemas de calidad del agua debido a la combinación de la contaminación industrial y las deficiencias en el saneamiento.	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	4	4	4	4	1	4	4	4
La Región de Antofagasta es una de las más importantes en términos de actividad minera, con grandes yacimientos de cobre y litio ubicados en cuencas como la del Salar de Atacama. La demanda hídrica en esta región es extremadamente alta, lo que incrementa el riesgo de contaminación de los recursos hídricos. Contamos con información detallada sobre los relaves mineros en desuso o abandonados, lo que permite evaluar la brecha en términos de su potencial impacto contaminante, especialmente durante eventos hidrolimáticos extremos.	Riesgos de contaminación de las aguas por parte de sector industrial y minero asociado a eventos de crecidas e inundaciones	Insuficiente gestión hídrica integral para controlar la contaminación, especialmente ante la presencia de aguas ricas en boro y arsénico, afectando la calidad del agua destinada al consumo humano y riego.	Relaves en desuso en la Cuenca.	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	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
La Región de Antofagasta enfrenta una fuerte presión sobre sus ecosistemas acuáticos debido a la minería a gran escala y la extracción de recursos. La escasez de agua y la alta demanda para las actividades industriales exacerban los efectos sobre la calidad del agua y la biodiversidad, especialmente en zonas como el Salar de Atacama.	Ecosistemas adyacentes a sistemas acuáticos afectadas por cambio de uso de suelo o uso productivo intensivo	Carencia de prácticas sostenibles en el uso del suelo, su conservación y recuperación, lo que aumenta la vulnerabilidad ante la desertificación y erosión y dificulta la restauración de áreas degradadas, incluidos humedales urbanos.	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	N/A	1	2	N/A	N/A	1	1	N/A	2	2	N/A
La ausencia de normas secundarias de calidad ambiental en las aguas superficiales en la región de Antofagasta no permite la protección adecuada de los cuerpos de agua que sufren por la contaminación minera. La Cuenca del Salar de Atacama, un ecosistema único, se ve particularmente afectada por la falta de regulaciones específicas que controlen la calidad del agua, fundamental para la preservación de especies endémicas.	Ausencia de norma secundaria de calidad de aguas superficiales	-	Existencia de Norma Secundaria de Aguas Superficiales	Alta criticidad: Cuenta con Norma Secundaria de Aguas Superficiales Media criticidad: No Cuenta con Norma Secundaria de Aguas Superficiales	Alta =4 Media =2 Baja =1	s/i	2	s/i	4	4	1	4	4	4	s/i	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.

Tabla 4.2-6 Brechas Estratégicas de conservación y preservación de los ecosistemas, por Cuenca Región de Antofagasta (continuación)

Justificación regional	Brechas Estratégicas Generales	Brechas Estratégicas Específicas Regionales	Indicador	Rango	Clasificación (qué tan crítica es la brecha)	Fronterizas Salar Michincha y Río Loa	Río Loa	Costeras entre Río Loa y Quebrada Caracoles	Fronterizas entre Salar de Atacama y Socompa	Endorreica entre Fronterizas y Salar de Atacama	Salar de Atacama	Endorreicas entre Salar de Atacama y Vertiente del Pacífico	Quebrada Caracoles	Quebrada La Negra	Costeras entre Quebrada la Negra y Quebrada Pan de Azúcar	Costeras entre Quebrada Pan de Azúcar y Río Salado
Esta región, con su intensa actividad minera, depende en gran medida de los acuíferos. La falta de normas secundarias para aguas subterráneas aumenta el riesgo de contaminación por metales pesados, lo que podría afectar tanto el consumo humano como la biodiversidad local.	Ausencia de norma secundaria de calidad de aguas subterráneas (OCDE, 2016)	-	Existencia de Norma Secundaria de Aguas Subterráneas	Alta criticidad: Cuenta con Norma Secundaria de Aguas Subterráneas Media criticidad: No Cuenta con Norma Secundaria de Aguas Subterráneas	Alta =4 Media =2 Baja =1	4	2	4	4	4	4	4	4	4	1	4
La Región de Antofagasta presenta desafíos significativos en el monitoreo de la calidad del agua y la hidrometría, debido a las condiciones extremas del desierto y la falta de infraestructura adecuada, lo que afecta la frecuencia y precisión del monitoreo.	Deficiente monitoreo de parámetros relevantes de calidad de aguas e hidrometría	Carencia de nuevas estaciones de medición de caudales, niveles freáticos y calidad de agua en cuencas prioritarias, zonas de humedales y áreas con datos limitados, lo que impide una adecuada monitorización y gestión de los recursos hídricos.	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), Complementado con número de estaciones fluviométricas y medición de niveles en pozos	Alta criticidad: Menos de 10 parámetros monitoreados y sin estaciones fluviométricas o sin medición de niveles en pozos Media criticidad: Entre 20 a 30 parámetros monitoreados o con al menos 1 estación fluviométrica o 1 medición de niveles de pozos Baja criticidad: Más de 40 parámetros monitoreados y/o con dos o más estaciones fluviométricas o con más de dos pozos monitoreados	Alta =4 Media =2 Baja =1	s/i	1	s/i	4	4	1	4	4	4	1	4
En la Región de Antofagasta, la capacidad de los ecosistemas para regular y mejorar la calidad del agua se ve afectada por la insuficiencia del caudal ambiental en los humedales de salares, cruciales para la estabilidad hídrica en un entorno desértico.	Pérdida de capacidad natural de los ecosistemas para mejorar la calidad ambiental de las aguas superficiales.	Deficiencia en el conocimiento hidrogeológico de las cuencas, incluyendo la interacción entre aguas superficiales y subterráneas, la dinámica de recarga y descarga, y la caracterización de acuíferos que sustentan ecosistemas sensibles como los Sistemas Vegetacionales Azonales Hídrico Terrestres (SVAHTs).	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	s/i	1	s/i	s/i	s/i	1	s/i	s/i	s/i	s/i	s/i
En la Región de Antofagasta, los humedales del salar de Atacama y la laguna Tuyajto son cruciales para la regulación hídrica y la biodiversidad en un entorno desértico. La insuficiencia del caudal ambiental y la extracción de agua para la minería están afectando negativamente estos ecosistemas, lo que amenaza su capacidad para mantener la calidad del agua y los servicios que ofrecen.	Degradación y pérdida de servicios ecosistémicos provistos por humedales, salares u otro tipo de ecosistema acuático	Deficiencia en el conocimiento hidrogeológico de las cuencas, incluyendo la interacción entre aguas superficiales y subterráneas, la dinámica de recarga y descarga, y la caracterización de acuíferos que sustentan ecosistemas sensibles como los Sistemas Vegetacionales Azonales Hídrico Terrestres (SVAHTs).	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	1	2	2	4	4	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 4.2-7 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.

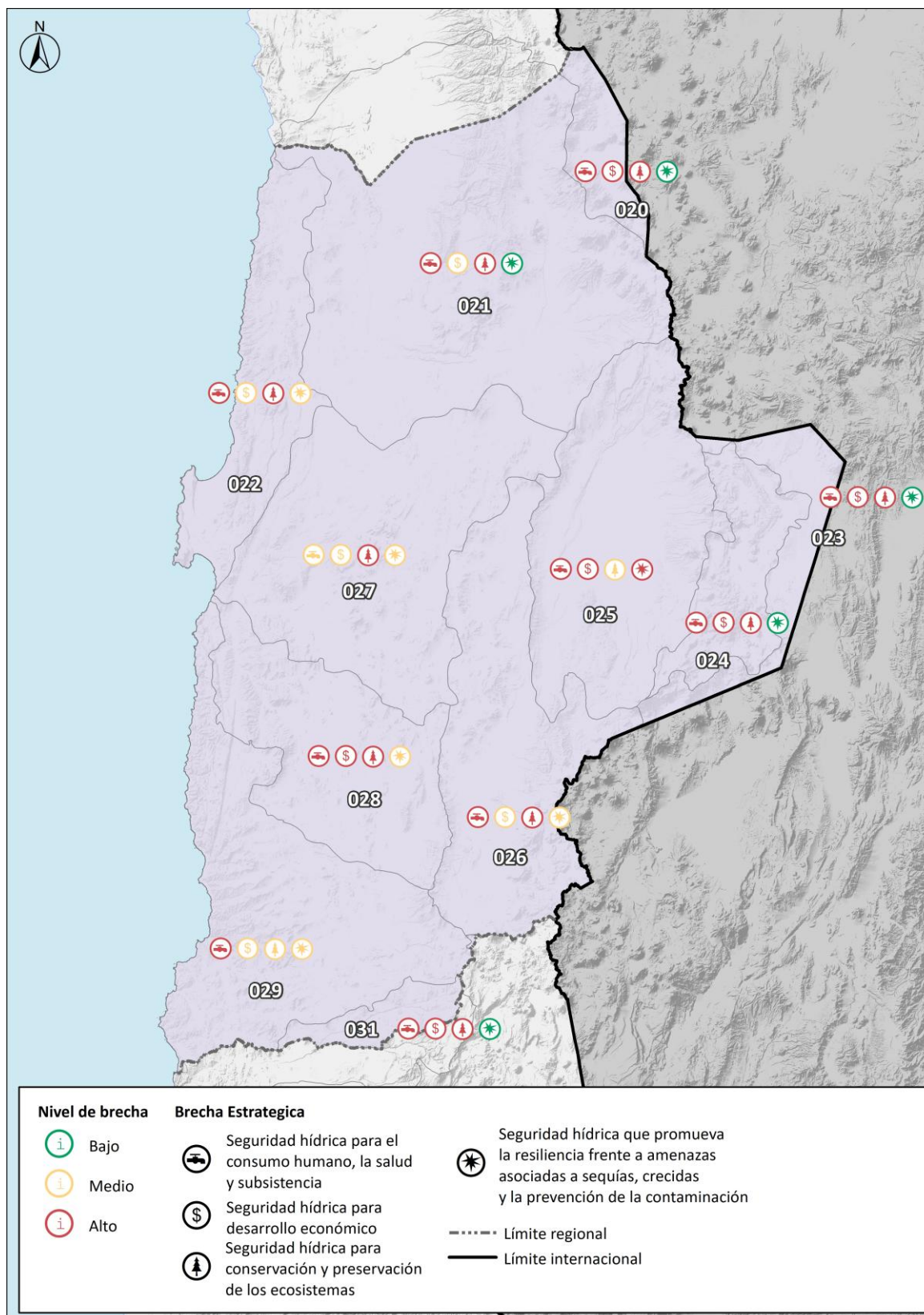
Tabla 4.2-7 Brechas Estratégicas resiliencia frente a amenazas asociadas a eventos extremos por Cuenca Región de Antofagasta

Justificación regional	Brechas Estratégicas Generales	Brechas Estratégicas Específicas Regionales	Indicador	Rango	Clasificación (qué tan crítica es la brecha)	Fronterizas Salar Michincha y Río Loa	Río Loa	Costeras entre Río Loa y Quebrada Caracoles	Fronterizas entre Salar de Atacama y Socompa	Endorreica entre Fronterizas y Salar de Atacama	Salar de Atacama	Endorreicas entre Salar de Atacama y Vertiente del Pacífico	Quebrada Caracoles	Quebrada La Negra	Costeras entre Quebrada la Negra y Quebrada Pan de Azúcar	Costeras entre Quebrada Pan de Azúcar y Río Salado
Se observan planes de riesgos de desastre, incendios, tsunami y remoción en masa, en cuanto a plan maestro de aguas lluvias, se presenta una actualización del plan maestro de evacuación y drenaje de aguas lluvias para el año 2022, donde se proponen una serie de inversiones y soluciones principalmente para proyectos de áreas urbanas en una relación prioritaria.	Baja efectividad de sistemas de drenaje de aguas lluvia	-	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	2	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1
En la Región de Antofagasta se pueden reconocer defensas fluviales en base a gaviones, encauzamiento de cauces o enrocados. Sin embargo, estas obras no son suficientes, ya que se requieren estudios complementarios de manejo de cauces (DGA, 2021). En base a la actualización de plan maestro de evacuación y drenaje de aguas lluvias de Antofagasta (DOH, 2022), se presenta la existencia de tres (3) colectores de aguas lluvias construidos, correspondiendo al del sector Salar del Carmen, a lo largo de la Av. Salvador Allende, y a la descarga del colector La Negra.	Aumento del impacto de eventos de crecida asociado a precipitaciones intensas.	Necesidad de fortalecimiento del sistema de gestión de riesgos de desastres, incluyendo la construcción de obras de control y mitigación aluvional, para proteger adecuadamente a la población y la infraestructura existente en áreas propensas a lluvias intensas, crecidas y aluviones. Falta de potenciación de soluciones basadas en la naturaleza, como la infraestructura verde, que son esenciales para complementar las medidas tradicionales y mejorar la capacidad de adaptación de los ecosistemas locales	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	1	1	4	1	1	4	4	4	4	4	1
En la Región de Antofagasta se pueden reconocer defensas fluviales en base a gaviones, encauzamiento de cauces o enrocados. Sin embargo, estas obras no son suficientes, ya que se requieren estudios complementarios de manejo de cauces (DGA, 2021). En base a la actualización de plan maestro de evacuación y drenaje de aguas lluvias de Antofagasta (DOH, 2022), se presenta la existencia de tres (3) colectores de aguas lluvias construidos, correspondiendo al del sector Salar del Carmen, a lo largo de la Av. Salvador Allende, y a la descarga del colector La Negra.	Aumento del impacto por eventos de deslizamientos de tierra sobre infraestructura y poblaciones.	Necesidad de fortalecimiento del sistema de gestión de riesgos de desastres, incluyendo la construcción de obras de control y mitigación aluvional, para proteger adecuadamente a la población y la infraestructura existente en áreas propensas a lluvias intensas, crecidas y aluviones. Falta de potenciación de soluciones basadas en la naturaleza, como la infraestructura verde, que son esenciales para complementar las medidas tradicionales y mejorar la capacidad de adaptación de los ecosistemas locales	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	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1

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 de Antofagasta

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

- Garantizar el derecho humano al agua mediante servicios de infraestructura y gestión hídrica que aseguren el acceso al agua potable y al saneamiento adecuado para todas las comunidades, especialmente aquellas en zonas aisladas y rezagadas, tanto en áreas urbanas como rurales. Esto implica mejorar la cobertura de sistemas de agua potable rural y saneamiento, desarrollar infraestructura social que beneficie a los habitantes, y gestionar el recurso hídrico de manera eficiente y sostenible, considerando las necesidades de género y la diversidad de contextos territoriales. Se priorizarán soluciones para mejorar las capacidades de almacenamiento, tratamiento del agua, y sistemas de distribución/conducción, asegurando la provisión adecuada de agua potable para mejorar la calidad de vida y fortalecer la resiliencia de las comunidades frente a la creciente demanda de agua.
- Reducir la vulnerabilidad de las personas ante riesgos socio-naturales promoviendo iniciativas de saneamiento, y el desarrollo de tecnologías para producción sustentable de agua potable a través de la investigación y la identificación de nuevas fuentes hídricas; en particular, se evaluará la implementación de recargas artificiales de acuíferos, y la exploración de alternativas como la desalinización del agua de mar y la captura de evaporación de piscinas de salmuera.

ii. Dimensión para la producción sostenible y eficiencia hídrica

- Impulsar el desarrollo económico sostenible de la región en sectores estratégicos como la minería y la agricultura, sin comprometer la disponibilidad de agua,

especialmente en zonas de escasez. Para ello, se promoverá una gestión integrada de los recursos hídricos, basada en la eficiencia, la sostenibilidad y la resiliencia al cambio climático. Se implementarán infraestructuras hídricas multipropósito, incluyendo sistemas de acumulación, como la construcción de estanques y la impermeabilización de tranques existentes, que permitan aprovechar fuentes de agua no convencionales, como la cosecha de aguas lluvias durante el invierno altiplánico. Se fomentará la reutilización de aguas servidas tratadas, se evaluará la recarga artificial de acuíferos y se impulsará la desalinización para usos agrícolas e industriales, siempre con un enfoque sostenible y respetuoso con el medio ambiente.

- Impulsar una transición socioecológica justa hacia una gestión sostenible del agua a nivel de cuencas, que permita el desarrollo de ventajas tecnológicas ligadas a los recursos naturales y la formación de capital humano. Para lograrlo, se promoverán prácticas productivas eficientes que reduzcan los requerimientos de agua, modernizando los sistemas de riego existentes e incorporando tecnologías de precisión, como la telemetría, para optimizar su uso. Se fomentará la mejora de la infraestructura de captación y conducción, con modificaciones y mejoras en canales y bocatomas, considerando la tecnificación de riego en equilibrio con el aspecto cultural. Se impulsará la investigación e innovación en tecnologías para la producción sostenible de agua industrial, y se facilitará la transferencia tecnológica a pequeños agricultores para mejorar la eficiencia hídrica en cultivos.

iii. Dimensión para la conservación y preservación de los ecosistemas

- Asegurar una distribución equitativa y sostenible de los servicios de infraestructura, los sistemas económicos productivos y los asentamientos, en armonía con las aptitudes y capacidades territoriales, protegiendo la biodiversidad y los ecosistemas acuáticos. Esto implica fomentar el uso sostenible del suelo, su conservación y recuperación, implementando prácticas que eviten la desertificación y la erosión. Se incentivará la restauración de áreas degradadas, incluyendo humedales urbanos, y la gestión hídrica integral para controlar la contaminación y mitigar los efectos negativos de aguas ricas en boro y arsénico, priorizando la calidad del agua para consumo humano y riego; se investigarán y validarán tecnologías de abatimiento eficientes para el tratamiento de aguas, incluyendo sistemas convencionales y no convencionales. Se implementarán medidas para mitigar el impacto de pasivos mineros en la agricultura. La conservación de la rica biodiversidad de la región, incluyendo sus parques nacionales, reservas y monumentos naturales, será un pilar fundamental en la toma de decisiones, reconociendo el valor de los servicios ecosistémicos que proveen los salares y humedales altoandinos.
- Fortalecer la seguridad hídrica mediante un modelo de gobernanza colaborativa entre el sector público, privado y la ciudadanía. Este modelo se basará en la generación de información hídrica robusta y accesible, que permita una gestión integrada y eficiente

de los recursos hídricos. Para ello, se propone optimizar la red de monitoreo hidrometeorológico, incorporando nuevas estaciones de medición de caudales, niveles freáticos y calidad de agua, especialmente en cuencas prioritarias, zonas de humedales y áreas con datos limitados; y profundizar el conocimiento hidrogeológico de las cuencas, incluyendo la interacción entre aguas superficiales y subterráneas, la dinámica de recarga y descarga, y la caracterización de acuíferos que sustentan ecosistemas sensibles como Sistemas Vegetacionales Azonales Hídrico Terrestres (SVAHTs).

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

- Fortalecer la resiliencia territorial y reducir la vulnerabilidad frente a eventos climáticos extremos y amenazas socio-naturales. Para lograrlo, se implementarán medidas que promuevan la gestión sostenible del suelo, el uso eficiente de los recursos hídricos y la integración de medidas de resiliencia desde la concepción de infraestructuras. Se buscará potenciar las soluciones basadas en la naturaleza, como la infraestructura verde, complementando las tradicionales, para mejorar la capacidad de adaptación de los ecosistemas locales. Se fortalecerá el sistema de gestión de riesgos de desastres, incluyendo la construcción de obras de control y mitigación aluvional, para proteger a la población y la infraestructura existente, considerando la vulnerabilidad y resiliencia de cada zona, especialmente en áreas propensas a lluvias intensas, crecidas y aluviones.

4.3.1.2 Acciones o Iniciativas 2010 - 2022

En análisis de las iniciativas estratégicas de inversión en la región de Antofagasta (ver acápite 3.1.2) se identificaron un total de 131 iniciativas entre 2010 y 2022, distribuidas en conservación de recursos hídricos, consumo humano, desarrollo económico y resiliencia ante eventos extremos. Las iniciativas de infraestructura hídrica estructural corresponden, principalmente, a redes hidrométricas, producción y distribución de agua potable y tratamiento de aguas servidas, defensa fluvial y aluvional, infraestructura de riego, obras de acumulación de agua, recarga de acuíferos y conservación de riberas.

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 de Antofagasta

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
D1. Derecho humano al agua, saneamiento y consumo humano de subsistencia	Garantizar el derecho humano al agua mediante servicios de infraestructura y gestión hídrica que aseguren el acceso al agua potable y al saneamiento adecuado para todas las comunidades, especialmente aquellas en zonas aisladas y rezagadas, tanto en áreas urbanas como rurales. Esto implica mejorar la cobertura de sistemas de agua potable rural y saneamiento, desarrollar infraestructura social que beneficie a los habitantes, y gestionar el recurso hídrico de manera eficiente y sostenible, considerando las necesidades de género y la diversidad de contextos territoriales. Se priorizarán soluciones para mejorar las capacidades de almacenamiento, tratamiento del agua, y sistemas de distribución/conducción, asegurando la provisión adecuada de agua potable para mejorar la calidad de vida y fortalecer la resiliencia de las comunidades frente a la creciente demanda de agua.	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	N/A
		Infraestructura de distribución de agua	Estudio obras de distribución de aguas	N/A
	Reducir la vulnerabilidad de las personas ante riesgos socio-naturales promoviendo iniciativas de saneamiento, y el desarrollo de tecnologías para producción sustentable de agua potable a través de la investigación y la identificación de nuevas fuentes hídricas; en particular, se evaluará la implementación de recargas artificiales de acuíferos, y la exploración de alternativas como la desalinización del agua de mar y la captura de evaporación de piscinas de salmuera.	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	Impulsar el desarrollo económico sostenible de la región en sectores estratégicos como la minería y la agricultura, sin comprometer la disponibilidad de agua, especialmente en zonas de escasez. Para ello, se promoverá una gestión integrada de los recursos hídricos, basada en la eficiencia, la sostenibilidad y la resiliencia al cambio climático. Se implementarán infraestructuras hídricas multipropósito, incluyendo sistemas de acumulación, como la construcción de estanques y la impermeabilización de tranques existentes, que permitan aprovechar fuentes de agua no convencionales, como la cosecha de aguas lluvias durante el invierno altiplánico. Se fomentará la reutilización de aguas servidas tratadas, se evaluará la recarga artificial de acuíferos y se impulsará la desalinización para usos agrícolas e industriales, siempre con un enfoque sostenible y respetuoso con el medio ambiente.	Obras de acumulación de agua	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
		Trasvase de agua	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 hacia una gestión sostenible del agua a nivel de cuencas, que permita el desarrollo de ventajas tecnológicas ligadas a los recursos naturales y la formación de capital humano. Para lograrlo, se promoverán prácticas productivas eficientes que reduzcan los requerimientos de agua, modernizando los sistemas de riego existentes e incorporando tecnologías de precisión, como la telemetría, para optimizar su uso. Se fomentará la mejora de la infraestructura de captación y conducción, con modificaciones y mejoras en canales y bocatomas, considerando la tecnificación de riego en equilibrio con el aspecto cultural. Se impulsará la investigación e innovación en tecnologías para la producción sostenible de agua industrial, y se facilitará la transferencia tecnológica a pequeños agricultores para mejorar la eficiencia hídrica en cultivos.	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

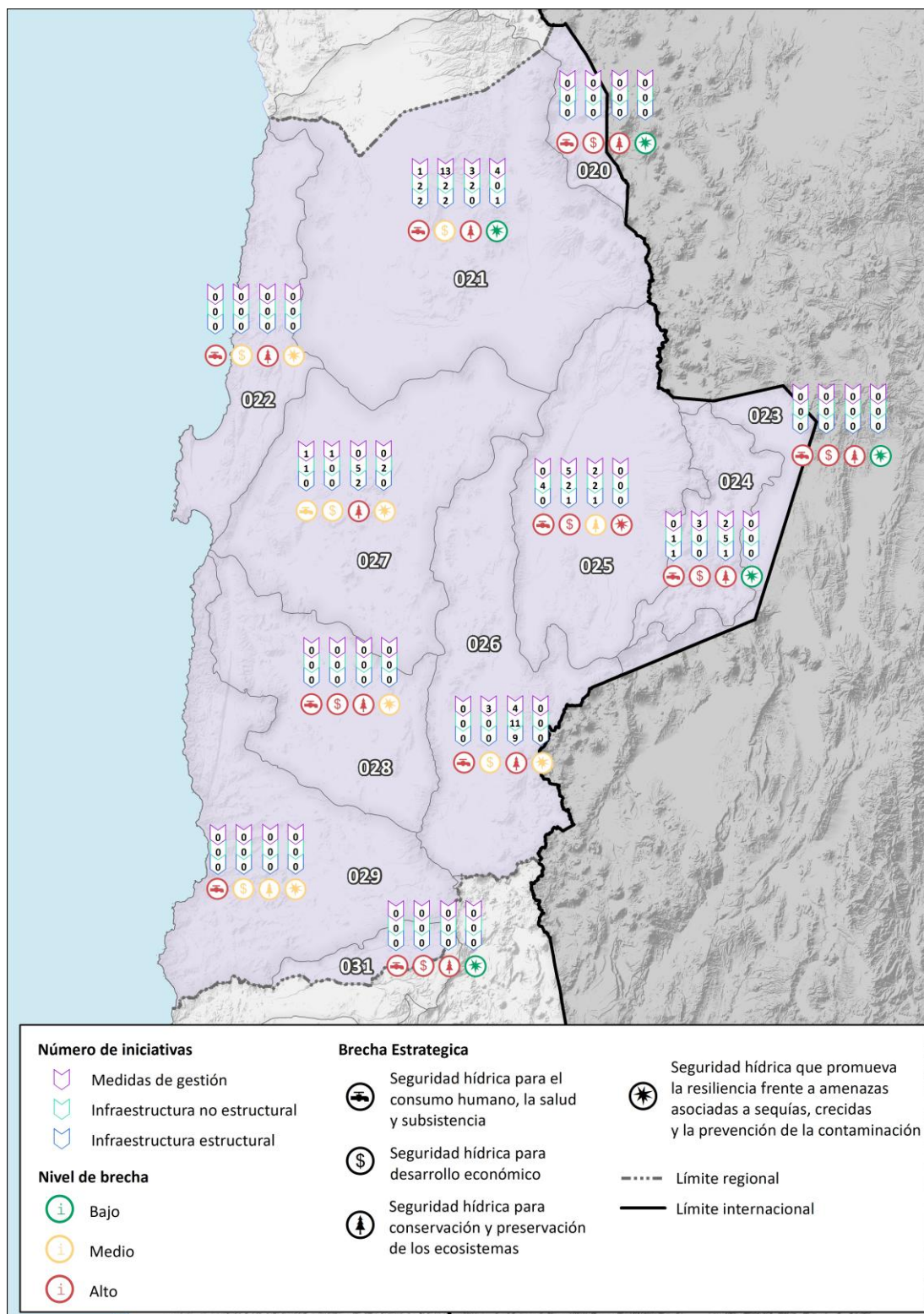
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.3-2 Tipología de iniciativas asociadas a resolver brechas estratégicas en la región de Antofagasta (continuación)

Objetivos y problemas identificados en la región (O)		Tipo de iniciativas necesarias para alcanzar objetivos (A)		
D3. Conservación y preservación de los ecosistemas	Asegurar una distribución equitativa y sostenible de los servicios de infraestructura, los sistemas económicos productivos y los asentamientos, en armonía con las aptitudes y capacidades territoriales, protegiendo la biodiversidad y los ecosistemas acuáticos. Esto implica fomentar el uso sostenible del suelo, su conservación y recuperación, implementando prácticas que eviten la desertificación y la erosión. Se incentivará la restauración de áreas degradadas, incluyendo humedales urbanos, y la gestión hídrica integral para controlar la contaminación y mitigar los efectos negativos de aguas ricas en boro y arsénico, priorizando la calidad del agua para consumo humano y riego; se investigarán y validarán tecnologías de abatimiento eficientes para el tratamiento de aguas, incluyendo sistemas convencionales y no convencionales. Se implementarán medidas para mitigar el impacto de pasivos mineros en la agricultura. La conservación de la rica biodiversidad de la región, incluyendo sus parques nacionales, reservas y monumentos naturales, será un pilar fundamental en la toma de decisiones, reconociendo el valor de los servicios ecosistémicos que proveen los salares y humedales altoandinos.	Reúso de aguas residuales	Estudio calidad de agua superficial. y subterránea. Estudios contaminación de aguas	Manejo riesgos de contaminación de aguas
		Saneamiento y tratamiento de aguas servidas	Estudio calidad de agua superficial. y subterránea. Estudios contaminación de aguas	Creación de capital humano Manejo riesgos de contaminación de aguas
		Reúso de aguas residuales	Estudio calidad de agua superficial. y subterránea. Estudios contaminación de aguas	Manejo de normas ambientales e hídricas Manejo riesgos de contaminación de aguas
		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
	Fortalecer la seguridad hídrica mediante un modelo de gobernanza colaborativa entre el sector público, privado y la ciudadanía. Este modelo se basará en la generación de información hídrica robusta y accesible, que permita una gestión integrada y eficiente de los recursos hídricos. Para ello, se propone optimizar la red de monitoreo hidrometeorológico, incorporando nuevas estaciones de medición de caudales, niveles freáticos y calidad de agua, especialmente en cuencas prioritarias, zonas de humedales y áreas con datos limitados; y profundizar el conocimiento hidrogeológico de las cuencas, incluyendo la interacción entre aguas superficiales y subterráneas, la dinámica de recarga y descarga, y la caracterización de acuíferos que sustentan ecosistemas sensibles como Sistemas Vegetacionales Azonales Hídrico Terrestres (SVAHTs).	Redes hidrométricas y telemedición	Estudio calidad de agua superficial. y subterránea. Estudios contaminación de aguas	Manejo de normas ambientales e hídricas Manejo riesgos de contaminación de aguas Reservas de agua
		Redes hidrométricas y telemedición	Estudio calidad de agua superficial. y subterránea. 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	Estudio 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	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

Fuente: Elaboración propia

Considerando lo anterior, en la Figura 4.3-1 se presenta un resumen del número de iniciativas catastradas en el acápite 3.1.2 y detalladas en el Anexo 03.04, 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 de Antofagasta

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 de Antofagasta se derivan, en parte, de los comentarios de las fichas BIP y del análisis de los estudios de prefactibilidad y de factibilidad de las iniciativas analizadas. En términos generales, se destacan aspectos como la falta de conocimiento sobre la situación hídrica en la región, la capacidad de almacenamiento y operación de embalses, y la necesidad de fortalecer la fiscalización del uso del recurso hídrico. Estos comentarios sugieren que se deben abordar ciertas preocupaciones y desafíos para garantizar el éxito de estas iniciativas.

Las principales incertidumbres que se derivan de la cartera de proyectos se centran en la viabilidad técnica y económica de las soluciones propuestas, así como en la efectividad a largo plazo de las medidas de protección y conservación de recursos hídricos. Además, existen interrogantes sobre la aceptación y adopción de nuevas prácticas por parte de diversos sectores, así como sobre el impacto real de los programas de educación ambiental. La coordinación y colaboración efectiva entre múltiples partes interesadas también plantea desafíos en la implementación exitosa de políticas de gestión integrada de recursos hídricos.

Entre las iniciativas presentadas, la creación de una mesa de gobernanza hídrica en el Salar de Atacama se destaca como una medida innovadora. Sin embargo, la incertidumbre general en la ejecución de estas iniciativas radica en la falta de información exhaustiva sobre las variables climáticas y la calidad del agua, lo que dificulta la toma de decisiones fundamentadas. La escasez de recursos financieros y técnicos puede obstaculizar la implementación efectiva de estas medidas, especialmente en áreas con limitaciones de recursos. Además, la integración de nuevas tecnologías puede requerir ajustes en los marcos regulatorios y la coordinación entre múltiples partes interesadas, lo que podría generar demoras en la implementación y aumentar la incertidumbre sobre los resultados esperados.

En el proyecto específico relacionado con el Estudio hidrogeológico SHAC Salar de Pajonales, se identifican inconvenientes técnicos como la falta de información hidrogeológica y de la interfaz salina. Además, se presenta la iniciativa 'Análisis de los mecanismos de evaporación y evaluación de los recursos hídricos en el Salar de Pajonales', que se enfoca en comprender los flujos de evaporación y evapotranspiración en el área. Sin embargo, la escasez de información meteorológica dificulta la implementación de este proyecto, lo que representa un desafío adicional para comprender y predecir los cambios en el comportamiento hidrológico de la zona.

Estas incertidumbres resaltan la importancia de abordar la falta de información y la necesidad de innovación en la gestión del agua para enfrentar los desafíos actuales y futuros. En resumen, en la región de Antofagasta, las incertidumbres relacionadas con las iniciativas estratégicas abarcan una amplia gama de aspectos, desde la falta de conocimiento sobre la situación hídrica en la región hasta la escasez de recursos financieros y técnicos para la implementación efectiva de proyectos. Además, la coordinación entre los diversos actores involucrados en la gestión hídrica y la ausencia de una política específica para la explotación sustentable de los recursos hídricos son desafíos adicionales que enfrenta la región. Sin embargo, la falta de información específica sobre las incertidumbres de las iniciativas individuales limita nuestra comprensión completa de los desafíos presentes en cada proyecto.

ii. Sobre factores socioambientales

Según la revisión de *Conflictos por el agua en Chile: Entre los derechos humanos y las reglas del mercado* (Larraín, 2010), en la región de Antofagasta los principales conflictos socioambientales se centran en la escasez de agua, especialmente crítica en los sectores agrícola y minero. La minería, vital para la economía regional y nacional, ha exacerbado esta crisis hídrica al concentrar derechos de agua, lo que ha resultado en la disminución de caudales, lagunas y humedales, agravando la desertificación. La protección de acuíferos, establecida por la Dirección General de Aguas en 1996, ha sido crucial para salvaguardar estos ecosistemas frágiles (Larraín, 2010). Los conflictos emblemáticos en la región de Antofagasta han sido diversos y han generado crisis ambientales y sociales de gran magnitud, que se revisan a continuación:

Conflicto de Soquimich en el Salar de Llamara, donde la actividad minera ha tenido un impacto significativo en la industria turística y la biodiversidad local (Larraín, 2010). Otro conflicto relevante se ha desarrollado en **Quillagua**, donde las comunidades indígenas han enfrentado a empresas mineras como Codelco Norte y Soquimich, resultando en la desecación y contaminación del río Loa, lo que ha puesto en peligro la subsistencia de la población local (Larraín, 2010). Además, el proyecto de extracción de agua en **Pampa Colorada**, impulsado por Minera Escondida, ha generado tensiones significativas con las comunidades locales e indígenas. Este enfrentamiento ha destacado las preocupaciones sobre los impactos ambientales y sociales de la minería en la región. La detención de este proyecto resalta la relevancia de la acción comunitaria en la protección del medio ambiente y en la defensa de los derechos de las poblaciones locales e indígenas (Larraín, 2010).

Un caso reciente es de Minera Escondida Ltda. (MEL), quien la SMA determinó el daño ambiental irreversible en las Vegas de Tilopozo, en el Salar de Atacama, con un impacto

significativo en las aguas subterráneas que sustentan el ecosistema en esa área. Se constató una reducción del nivel freático en el Sector de Tilopozo, superando el límite máximo aceptable desde el año 2005. Esta disminución afecta directamente a la Comunidad Indígena de Peine, que depende de las Vegas de Tilopozo para su sustento económico y usos tradicionales. El Salar de Atacama es un ecosistema de alto valor ambiental y turístico, y la cuenca donde se encuentra está protegida por diversas áreas bajo protección oficial. Sin embargo, las actividades productivas, especialmente la minería, ejercen presión sobre el ecosistema, lo que requiere una supervisión rigurosa por parte de la SMA. Además de Minera Escondida, otras empresas mineras en la zona, como Zaldívar, Albemarle y Soquimich, también han sido objeto de cargos por parte de la SMA debido a posibles impactos en el medio ambiente y las comunidades locales (SMA, 2022).

La extracción de litio en la región de Antofagasta ha generado diversos conflictos ambientales y sociales. Por cada tonelada de litio extraída se evaporan enormes cantidades de agua, lo que ha llevado a considerar la minería del litio en salares como una "minería del agua". Además, la expansión de la extracción de litio se presenta bajo un discurso verde relacionado con la lucha contra el cambio climático, lo que ha provocado un boom en la industria del litio, especialmente en el "Triángulo del litio" que abarca Chile, Bolivia y Argentina. En la región, la concentración de proyectos mineros de litio ha generado fuertes conflictos sociales con las comunidades locales, además, la minería de litio ha tenido impactos negativos en los ecosistemas locales, como el agotamiento y la contaminación de acuíferos, la pérdida de biodiversidad y la destrucción de humedales. La extracción de litio ha generado problemas graves como la sequía de ríos y vegas, así como la contaminación de lagunas. Estos impactos afectan tanto a la disponibilidad de agua para la siembra como a la vida de las comunidades locales (Cerutti, 2022).

La disputa entre Chile y Bolivia sobre las aguas del Silala, fue llevada a la corte internacional de Justicia (CIJ) y concluyó sin un claro vencedor. A lo largo del proceso, Bolivia modificó su postura inicial, aceptando la posición que tenía Chile de que el Silala corresponde a un curso de agua internacional regulado por el derecho internacional consuetudinario. La CIJ determinó que la disputa perdió su objeto inicial debido a la convergencia de posiciones, lo que llevó a una sentencia que no aclaró los derechos y obligaciones de cada país sobre las aguas del Silala. La CIJ reconoció el derecho soberano de Bolivia para dismantelar canales y restaurar bofedales, lo que podría afectar al uso de las aguas por ambos países. El fallo dejó insatisfecha a ambas partes y no promovió la cooperación bilateral, manteniendo la incertidumbre y tensiones en las relaciones (López, 2024).

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 guio 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 03.05.

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 03.07, se presenta el detalle por tipo de inversión.

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

Código TP	Tipología de Proyecto (TdP)	Nº inversiones	Universo	Metas
1-1	Diseño, Construcción de Sistemas de Agua Potable Rural	16	Población sin Abastecer 2055	-
1-2	Ampliación y/o Mejoramiento de Servicios Existentes de Agua Potable Rural	14	Población sin Abastecer 2055	-
1-3	Implementación de Sistemas Operacionales de Telemetría y Control en Sistemas de Agua Potable Rural	9	Total de APR existentes y Proyectados 2055	-
1-4	Diseño, Construcción de Alcantarillado y Tratamiento de Aguas Servidas en Servicios Sanitarios Rurales	18	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	11	Planes de Recursos Hídricos y Riego según Vigencia	-
2-2	Diseño y Construcción de Plantas Desaladoras y Desalinizadoras	3	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	2	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	4	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	11	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	0	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	10	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	15	Cuantificado según número de inversiones	-
3-2	Diseño, Construcción e Implementación de Tecnologías en Estaciones de Calidad de Aguas en Cuencas	13	Cuantificado según número de inversiones	-
3-3	Diseño, Construcción e Implementación de Tecnologías en Estaciones Meteorológicas	11	Cuantificado según número de inversiones	-
3-4	Diseño, Construcción e Implementación de Tecnologías en Estaciones de Monitoreo de Glaciares y Nieves	3	Cuantificado según número de inversiones	-
3-5	Diseño, Construcción e Implementación de Tecnologías en Pozos de Observación	8	Cuantificado según número de inversiones	-
3-6	Desarrollo e Implementación de una Gestión Integrada de Recursos Hídricos en Cuencas	14	Cuantificado según número de inversiones	-
4-1	Conservación, Restauración y Protección de Humedales, Riberas y Cauces	14	-	Rendimiento de avance a validar con región (1 km-año); OCAS: Rendimiento de avance 16 km-año
4-2	Medida de Gestión: Implementación de Norma Secundaria de Calidad	5	Priorizar ejecución de estudios	-
5-1	Diseño, Construcción de Obras de Control Aluvional en Cauces y Quebradas	4	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	2	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	2	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

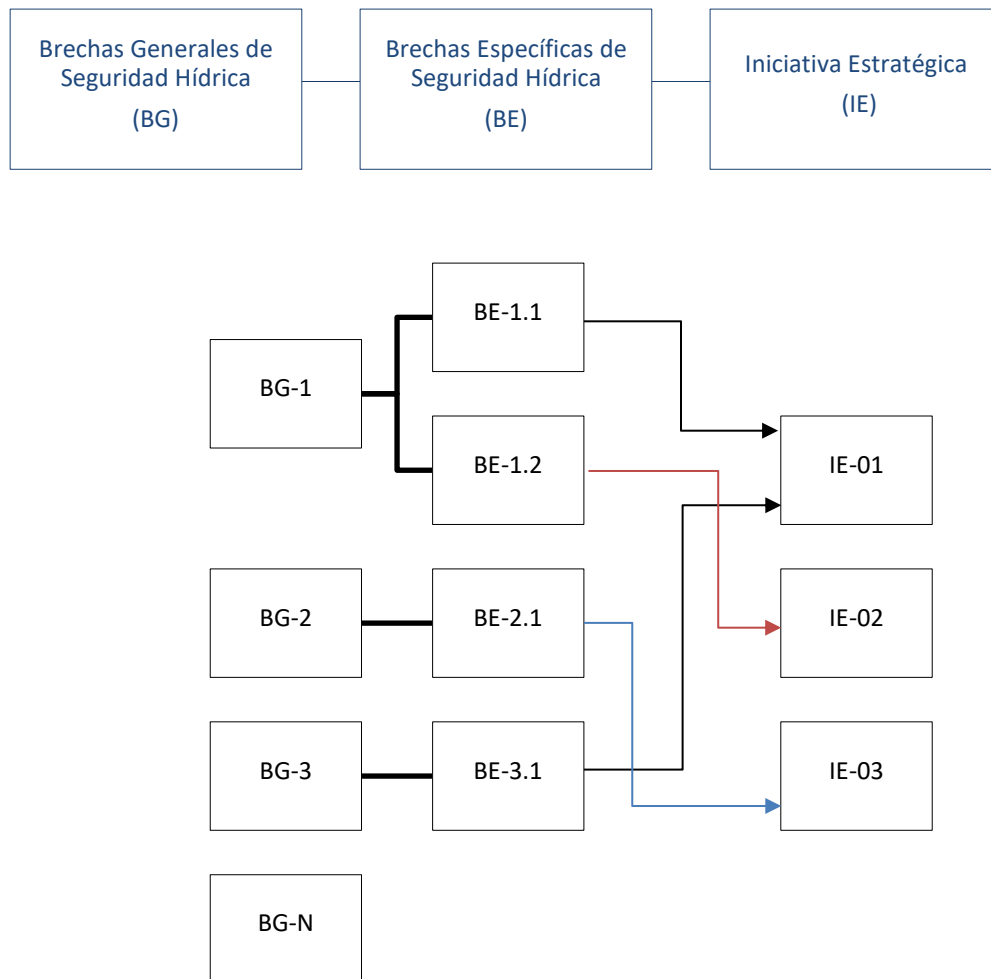
En el presente acápite se identifican las iniciativas estratégicas y sus carpetas de pre/inversión hídrica a considerar en una planificación prospectiva a 2055.

En el Anexo 03.07 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 (ANT), *INI – EST* la abreviación de “Iniciativas Estratégica” y *NN* un número correlativo.

Para esta región se han identificado las siguientes iniciativas estratégicas:

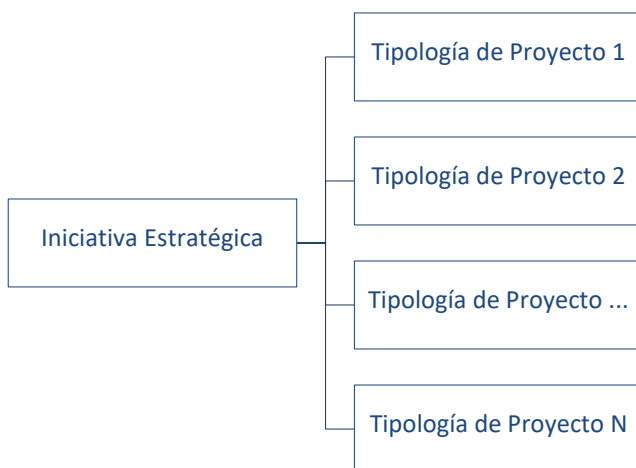
Tabla 5.1-1 Iniciativas Estratégicas

Iniciativas Estratégicas	Código Iniciativa Estratégica
Ampliación, conservación y mejoramiento operacional y tecnológico de SSR en agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas servidas con énfasis en la calidad del agua	ANT-INI-EST-01
Fuentes de abastecimiento sustentables para consumo humano y riego con énfasis en la calidad del agua	ANT-INI-EST-02
Implementación de un sistema de seguimiento y monitoreo integral, asociado a una gestión integrada de cuencas	ANT-INI-EST-03
Obras y medidas de protección y recuperación de sistemas ecosistémicos naturales, basadas en la naturaleza con énfasis en modelación integrada de recursos superficiales y subterráneos	ANT-INI-EST-04
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	ANT-INI-EST-05

Fuente: Elaboración propia

5.2 TIPOLOGÍAS DE PROYECTOS

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


Figura 5.2-1 Diagrama Composición Iniciativas Estratégicas

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

Tabla 5.2-1 Tipologías de Proyectos por Iniciativas Estratégicas

ANT-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
ANT-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
ANT-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
ANT-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
ANT-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

Se observa una falta de iniciativas innovadoras según el análisis del "Análisis de Inversión en Infraestructura y Gestión Hídrica" para el período 2020-2050. Las iniciativas de infraestructura hídrica identificadas se clasifican como no viables debido a diversos desafíos financieros, ambientales y regulatorios. Sin embargo, destaca una iniciativa que se puede destacar de dicho

listado denominada Termoeléctrica-Desaladora Tocopilla. Esta propuesta combina desalación con energías renovables no convencionales, como la solar o la eólica, lo que la hace innovadora y podría ser considerada si hay inversión.

Dentro de la cartera de iniciativas para la región presentada en el Anexo 03.04, se destacan algunas propuestas innovadoras, como el reúso de agua servida tratada, la recarga artificial de acuíferos y la promoción del uso de fuentes alternativas de abastecimiento. Además, se propone el desarrollo de políticas de gestión integrada de recursos hídricos a nivel de cuenca y la creación de una mesa de gobernanza hídrica en el Salar de Atacama. Asimismo, se sugieren dos iniciativas tecnológicas innovadoras:

- Programa de procesamiento y análisis de imágenes satelitales para monitorear la superficie de agua de los salares en la cuenca: Esta iniciativa propone utilizar tecnología de imágenes satelitales para monitorear los cambios en la superficie de agua de los salares, lo que podría ser útil para comprender mejor los patrones de fluctuación de agua en la región.
- Creación de una plataforma digital con información unificada y de fácil interpretación de los datos de monitoreo en la cuenca endorreica entre Fronterizas y Salar de Atacama: Esta propuesta integra tecnología para recopilar, analizar y presentar datos de manera accesible y comprensible para diferentes actores involucrados en la gestión del agua.

5.3 CONFORMACIÓN DE LA CARTERA DE PRE/INVERSIONES

Con las iniciativas estratégicas definidas en conjunto de sus tipologías de proyecto se procedió a conformar la cartera de preinversiones e inversiones de la región a nivel de cuencas. Es importante mencionar que cada iniciativa de inversión se somete a un proceso de etapas, las cuales se conforman de: 1) Estudio y/o Prefactibilidad, 2) Factibilidad, 3) Diseño y 4) Ejecución. Generalmente, los estudios y/o prefactibilidades corresponden a proyectos directores y/o de una espacialidad a nivel de cuenca, comuna, provincia o región, como son, por ejemplo, Los Planes Maestros de Aguas Lluvias, Los Planes de Manejo de Cauce, Los planes Integrales de Riego o los Planes Estratégicos de Gestión Hídrica, desde donde nace una serie de ideas y proyectos que se desarrollan posteriormente en las etapas de factibilidad, Diseño y Ejecución. En el caso de las conservaciones, sólo se considera la etapa de ejecución.

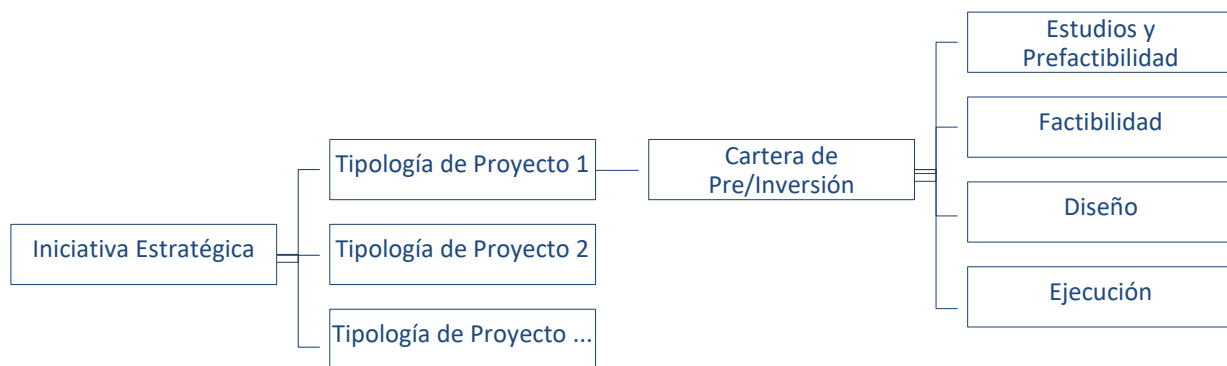


Figura 5.3-1 Diagrama Estructura Iniciativas Estratégica, Tipología de Proyectos y Cartera de Pre/Inversiones

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

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

Con esta información se consideraron los siguientes pasos:

1. Se agruparon las inversiones por tipología de proyecto
2. Se descartan las iniciativas repetidas bajo la siguiente priorización
 - a. Cartera Quinquenal: primera prioridad
 - b. Cartera PIIH: 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 (ANT), “IE” el numero correlativo de la Iniciativa estratégica, “TP” la tipología de proyecto a la que pertenece y NN un número de correlativo.

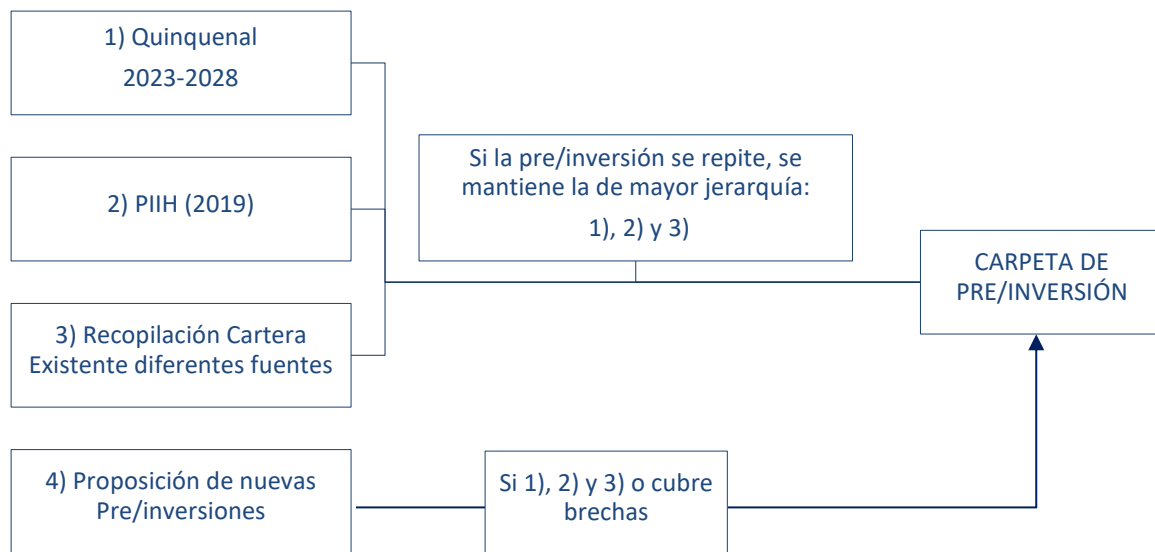


Figura 5.3-2 Diagrama de Composición de Cartera de Pre/inversión

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

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

Código	Descripción Tipología	Criterios para la determinación de las iniciativas a proyectar
1-1	Diseño, Construcción de Sistemas de Agua Potable Rural	A partir de proyección de Demanda APR sin abastecimiento, informada en el capítulo 2.2.2, se define el número total de arranques promedio de los sistemas de APR y cantidad por cuenca y comuna.
1-2	Implementación de Sistemas Operacionales de Telemetría y Control en Sistemas de Agua Potable Rural	No se proyectan ampliaciones al sistema, ya que el aumento se considera en 1.1.
1-3	Ampliación y/o Mejoramiento de Servicios Existentes de Agua Potable Rural	Se propone proyectar al menos un sistema de telemetría y Control por Cuenca
1-4	Diseño, Construcción de Alcantarillado y Tratamiento de Aguas Servidas en Servicios Sanitarios Rurales	A partir de Minuta "Estimación Brecha de SSR. RRP/18.08.2024" y proyección de nuevas APR en 1.1, se estima el total de proyectos a desarrollar para cubrir la brecha existente. Ver Anexo 03.07.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.3-2 Criterios para la determinación de las iniciativas a proyectar ANT-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 posee una condición de estrés hídrico o cuenca crítica, sin considerar las cuencas altiplánicas.

Código	Descripción Tipología	Criterios para la determinación de las iniciativas a proyectar
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.
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 ANT-INI-EST-03 y ANT-INI-EST-06

Código	Descripción Tipología	Criterios para la determinación de las iniciativas a proyectar
3-1	Diseño, Construcción e Implementación de Tecnologías en Estaciones Fluvimétricas en Cauces y/o Canales	Se proponen en puntos estratégicos antes o después de confluencias, zonas altas y desembocaduras, cubriendo los principales cauces y considerando cercanía de estaciones existentes (ver Anexo 03.07). Idealmente, que cada cuenca BNA tenga al menos una estación. Existen excepciones en las que no se justifica por tratarse de quebradas secas, cuencas muy pequeñas o bien ubicaciones muy poco accesibles (Campo de Hielo Sur, por ejemplo).
3-2	Diseño, Construcción e Implementación de Tecnologías en Estaciones de Calidad de Aguas en Cuencas	Superficial: en cada estación Fluvimétrica. Subterránea, al menos una en cada pozo de medición proyectado y en SHAC sin medición con igual condición de superficie que en 3.5
3-3	Diseño, Construcción e Implementación de Tecnologías en Estaciones Meteorológicas	Se proponen ubicaciones en áreas con poca cobertura de estaciones y que sea sean representativas de diversas zonas climáticas de Köppen para cada cuenca, considerando también la accesibilidad. Detalles en Anexo 03.07.
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,

Código	Descripción Tipología	Criterios para la determinación de las iniciativas a proyectar
		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 03.07.
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 ANT-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 ANT-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

Código	Descripción Tipología	Criterios para la determinación de las iniciativas a proyectar
		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

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
16	ES-2-09	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	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
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	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

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
				Plan de Seguimiento a Planes de Riego				
37	NE-4-02	2	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	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
39	ES-3-03				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 Fluviométrica, Cuenca	Factibilidad	10.000	no
48	ES-1-01.2				Construcción Estación Fluviométrica, Cuenca	Diseño	40.000	no
49	ES-1-01				Construcción Estación Fluviométrica, Cuenca	Ejecución	198.000	no
50	ES-1-01.1	3	3-2	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
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	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

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
61	NE-4-06			de Recursos Hídricos en Cuencas	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
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,	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

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
85	ES-4-04			Restauración o Conservación de Defensas Fluviales, Manejo de Cauces y Riberas	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
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 03.07.

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\$)
ANT-INI-EST-01	61	186.731.816
ANT-INI-EST-02	67	171.197.690
ANT-INI-EST-03	75	59.208.804
ANT-INI-EST-04	25	59.950.599
ANT-INI-EST-05	31	98.576.171
TOTAL	259	575.665.079

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 03.07.

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

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

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

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

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

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

Fuente: Elaboración propia

5.6.2 Incidencia en Matriz Hídrica

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

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

En la Tabla 5.6-2, se indican los metros cúbicos anuales por unidad según la variable determinada para valorizar la inversión e incidencia en la Matriz Hídrica el detalle se presenta en el Anexo 03.07.

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	Etapa	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	Incendencia	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 [14]: Iniciativas vinculadas a Consumo Humano [D1 -AP] Media Alta [9]: Iniciativas vinculadas a Desarrollo Económico [D2] Media [8] : Iniciativas vinculadas a Conservación [D3] Media Baja [7] : Iniciativas vinculadas a Resiliencia [D4] Baja [3]: Iniciativas vinculadas a Saneamiento [D1 - AS]	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 [14]: Se identifica como iniciativa necesaria para resolver brechas estratégicas para la dimensión de Consumo Humano [D1-AP] Media Alta [9]: Se identifica como iniciativa necesaria para resolver brechas estratégicas para la dimensión de Producción sostenible y eficiencia hídrica [D2] 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 [7]: 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 [3]: Se identifica como iniciativa necesaria para resolver brechas estratégicas para la dimensión de Saneamiento Y Reúso [D1-AS]	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 (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) es de 88%. Este ajuste busca mantener una equivalencia con la ponderación asignada al criterio de evaluación socioeconómica en la metodología multipropósito.

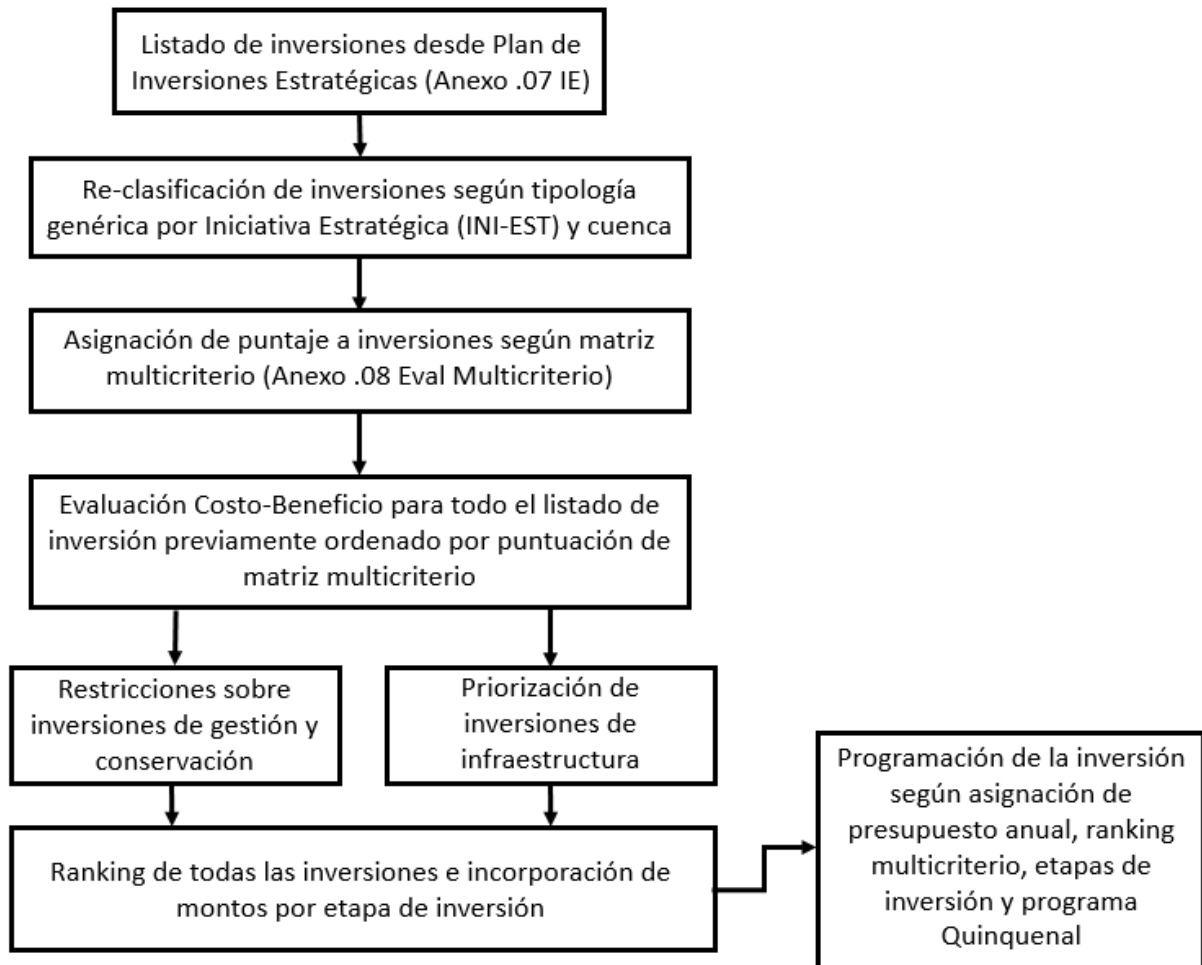
6.3 PRIORIZACIÓN Y CARTERA DE INVERSIONES

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 Antofagasta, este equivale a \$9.000.000 (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 \$22.000.000 (miles de pesos), el cual se obtiene a partir del promedio ajustado anual de la inversión histórica del MOP para esta región entre los años 2019-2023.
- En la programación se incluye el orden de las etapas que conforman una inversión, ordenándose de acuerdo a la siguiente priorización:
 1. Estudio y/o prefactibilidad
 2. Factibilidad
 3. Diseño
 4. Ejecución
- En el caso de las conservaciones, solo se considera la etapa de ejecución.
- En el caso de las inversiones o etapas de una iniciativa priorizada por el MOP que supere el monto anual regional, se han proyectado en la cartera sin sumarse a la inversión regional, presentándose de forma paralela, ajustadas al año en que debiesen ser ejecutadas si es que fuesen aprobadas por MIDESO, y según la duración propuesta en este estudio para los tipos de inversión correspondientes.

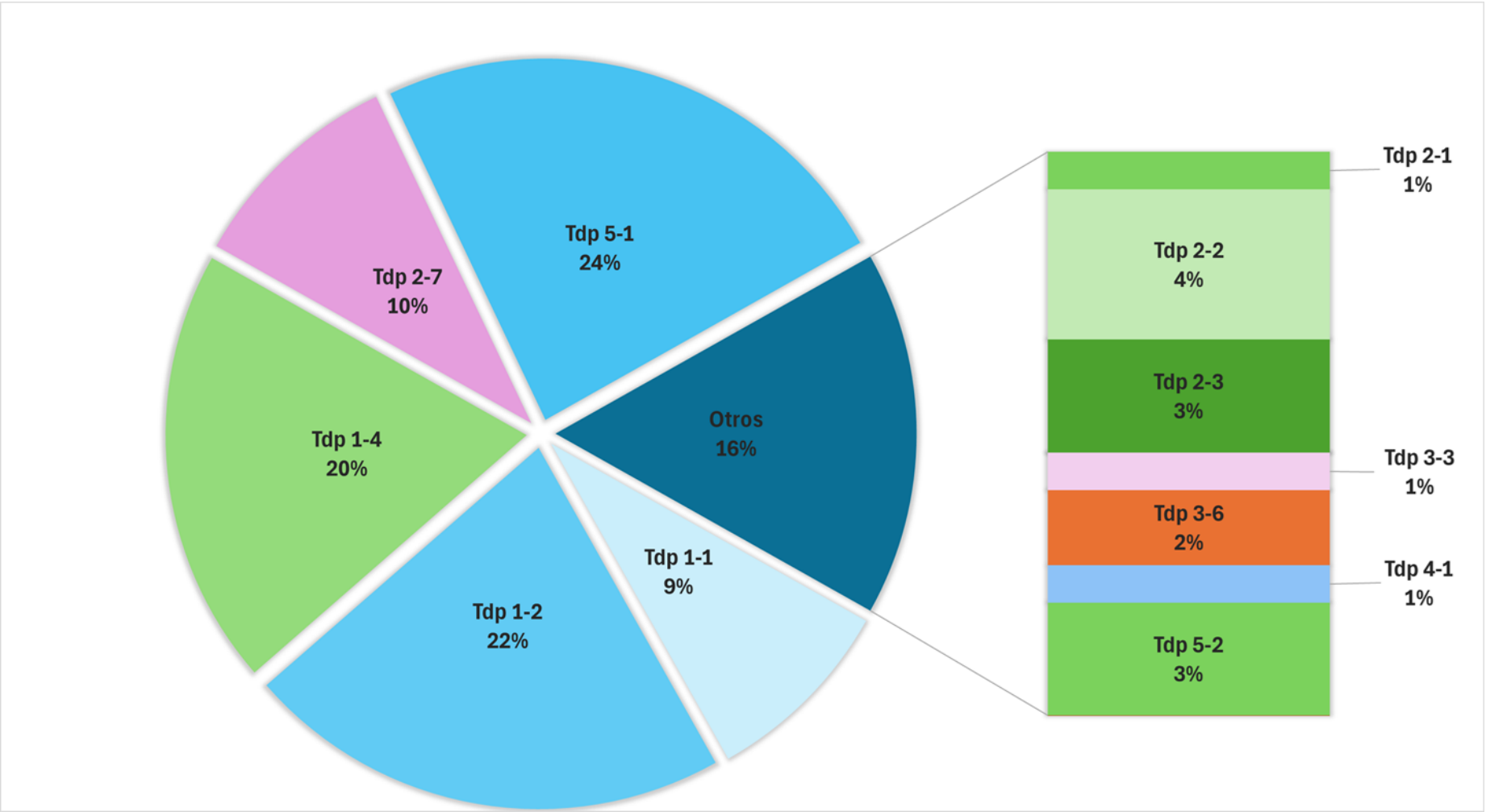
Para una revisión más detallada del procedimiento utilizado, en la Figura 6.3-1 se presenta un diagrama del proceso de priorización multicriterio y la generación de la cartera de inversión desarrollada para cada región.



Fuente: Elaboración propia

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

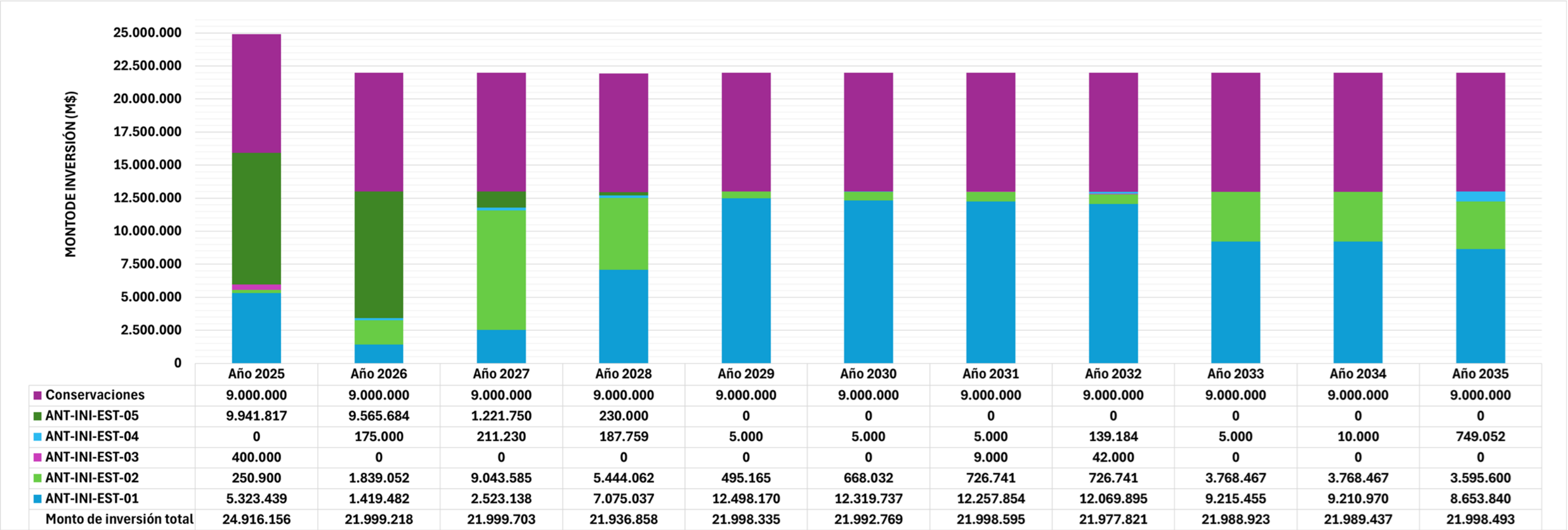
Finalmente, en la Figura 6.3-2 se presenta la cartera de inversión por tipología de proyecto, con su respectiva cantidad y porcentaje. En la Figura 6.3-3 se presenta la cartera de inversiones por cada iniciativa estratégica en la que se desarrollan. En la Figura 6.3-4 se presenta la cartera de inversiones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



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

Fuente: Elaboración propia

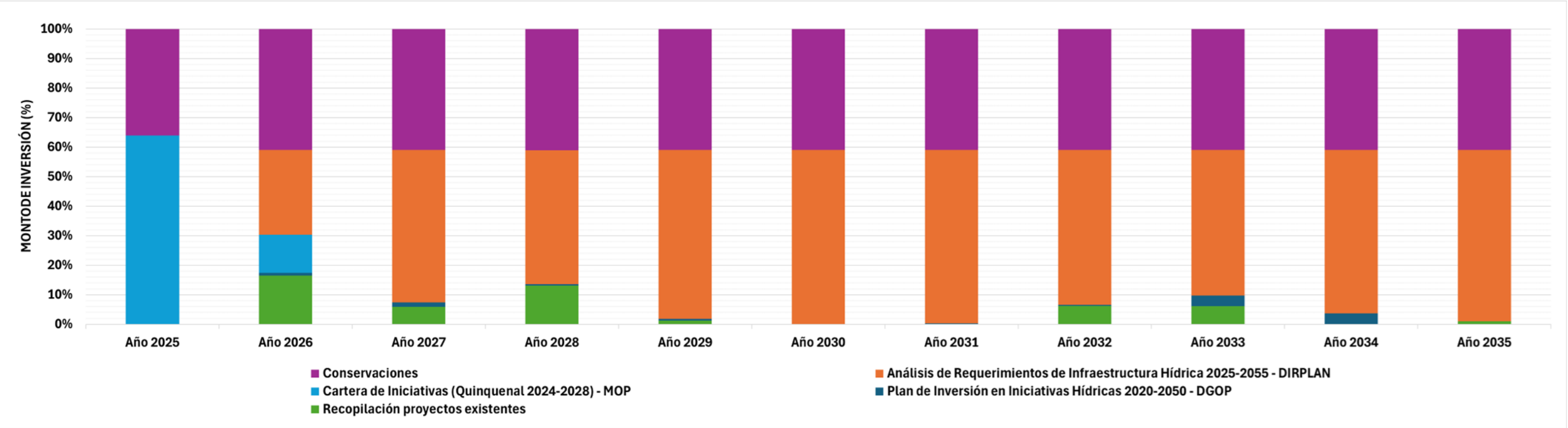
Figura 6.3-2 Composición de la cartera de inversión por tipología de proyecto para la región de Antofagasta



Leyenda	Descripción iniciativas
INI-EST-01	Ampliación, conservación y mejoramiento operacional y tecnológico de SSR en agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas servidas con énfasis en la calidad del agua
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
INI-EST-04	Obras y medidas de protección y recuperación de sistemas ecosistémicos naturales, basadas en la naturaleza con énfasis en modelación integrada de recursos superficiales y subterráneos
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

Nota: Las iniciativas adicionales a la inversión regional anual fueron ajustadas al año en que debiesen ser ejecutadas si es que fuesen aprobadas por MIDESO.
Fuente: Elaboración propia

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



Fuente: Elaboración propia

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

CAPÍTULO 7 PROPUESTAS DE ESCENARIOS DE DESARROLLO

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

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

7.1 SELECCIÓN DE FACTORES CRÍTICOS PARA LA TOMA DE DECISIÓN

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

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

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

7.1.1 Contexto regional y áreas de intervención prioritarias

La Región de Antofagasta enfrenta un complejo escenario hídrico marcado por su extrema aridez, la sobreexplotación de los recursos y una creciente demanda derivada del desarrollo urbano e industrial. La cuenca del río Loa (código BNA 021), la más extensa del país, junto con la cuenca endorreica del Salar de Atacama (código BNA 025) y la cuenca Quebrada Caracoles (código BNA 027), constituyen las principales fuentes de agua superficial. Sin embargo, la escasez de caudales y la dependencia de aguas subterráneas, especialmente en los acuíferos de Calama y San Pedro de Atacama, generan una alta vulnerabilidad hídrica.

En las áreas urbanas, el abastecimiento de agua potable en ciudades como Antofagasta, Calama, Tocopilla y Mejillones alcanza una cobertura del 96%, pero la calidad y continuidad del suministro se ven amenazadas por la contaminación por arsénico y la sobreexplotación de fuentes subterráneas. En las zonas rurales de la provincia de El Loa, donde se incluyen comunidades indígenas en Chiu Chiu, Caspana y Ayquina, el acceso al agua potable es más limitado. Solo una fracción de la población dispone de conexión a la red pública, mientras que un 12% depende de camiones aljibe, evidenciando una brecha significativa en infraestructura sanitaria.

El sector minero, concentrado en la cuenca del Loa y el Salar de Atacama, es el principal consumidor de agua, con altos niveles de extracción y baja eficiencia en su uso. En faenas como Chuquicamata y Escondida, el uso de agua fresca ha sido progresivamente reemplazado por agua desalada, alcanzando en algunos casos el 40% del suministro. Sin embargo, la infraestructura de transporte del recurso hacia el interior sigue siendo un desafío. La agricultura, limitada a oasis como San Pedro de Atacama y Peine, enfrenta problemas de contaminación por agroquímicos y salinización de suelos, además de una eficiencia de riego promedio del 35%, lo que genera un uso poco optimizado del recurso hídrico.

El saneamiento también presenta brechas críticas. En Calama, el sistema de alcantarillado cubre al 89% de la población, pero en localidades menores como Baquedano y Sierra Gorda la cobertura no supera el 60%, lo que provoca descargas de aguas servidas sin tratamiento que afectan las fuentes hídricas y los ecosistemas. En zonas rurales como Toconce y Río Grande, la ausencia de plantas de tratamiento genera riesgos sanitarios y ambientales, afectando directamente la calidad de vida de los habitantes.

Es fundamental fortalecer la red de monitoreo hidrometeorológico, incorporando estaciones en la cuenca del río Loa, el Salar de Tara y los humedales de los salares, para mejorar la gestión del recurso. Asimismo, se requiere avanzar en normativas que regulen la calidad del agua subterránea y en medidas de conservación de los ecosistemas asociados a fuentes hídricas, especialmente en la Pampa del Tamarugal y el Salar de Atacama.

La resiliencia ante eventos climáticos extremos es otro eje fundamental. Las lluvias estivales generan aluviones que afectan infraestructura y abastecimiento en localidades como Taltal y Tocopilla. Potenciar la infraestructura de control aluvional en quebradas como la de Paipote y la de Paposo, junto con soluciones basadas en la naturaleza, permitirá mitigar estos impactos, combinando obras tradicionales con estrategias de infiltración y recarga de acuíferos en las cuencas con mayor estrés hídrico.

La eficiencia en el uso del agua resulta clave para la sostenibilidad del recurso. En la industria, es imprescindible fomentar tecnologías de recirculación y reúso, reduciendo el consumo unitario de agua por tonelada de cobre procesado en al menos un 20% hacia 2050. En el consumo humano, se deben optimizar las redes de distribución y reducir pérdidas, que actualmente alcanzan un 30% en las ciudades de Antofagasta y Calama, priorizando inversiones en infraestructura para las comunidades más vulnerables. Un enfoque de gobernanza colaborativa, que involucre tanto a actores públicos como privados y a la ciudadanía, facilitará la implementación de estas acciones y contribuirá a una gestión hídrica más sostenible en la región.

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 dependencia del río Loa (código BNA 021) y de los acuíferos de Calama y San Pedro de Atacama para el abastecimiento de agua potable y actividades productivas representa un desafío crítico. La sobreexplotación de estas fuentes subterráneas y la disminución de caudales superficiales generan un alto riesgo de agotamiento del recurso. Esto exige medidas urgentes para diversificar las fuentes de agua, incluyendo el fortalecimiento de la desalación y la recarga artificial de acuíferos. Asimismo, la necesidad de mejorar la eficiencia del uso del agua en la minería, la agricultura y el consumo humano se vuelve fundamental para garantizar la sostenibilidad del recurso.
- **Impacto eventos climáticos extremos:** La región ya enfrenta una alta variabilidad climática con lluvias estivales que provocan aluviones en localidades como Taltal y

Tocopilla, afectando infraestructura crítica de abastecimiento y saneamiento. El aumento en la frecuencia e intensidad de estos eventos, junto con la reducción en la disponibilidad de agua en fuentes naturales como los salares y humedales, obliga a diseñar estrategias de adaptación. Esto implica mejorar la infraestructura de control aluvional en quebradas clave como Paipote y Paposo, fortalecer el monitoreo hidrometeorológico y desarrollar políticas de gestión del riesgo hídrico. Además, la conservación de ecosistemas estratégicos como la Pampa del Tamarugal y el Salar de Atacama es clave para mantener la resiliencia hídrica regional.

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, con énfasis en la calidad del agua” [ANT-INI-EST-01].
- “Fuentes de abastecimiento sustentables para consumo humano y riego con énfasis en la calidad del agua” [ANT-INI-EST-02].
- “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” [ANT-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 de Antofagasta 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 región de Antofagasta enfrenta un escenario de creciente precariedad hídrica, caracterizado por una segregación entre la disponibilidad del recurso y las demandas en aumento de sectores urbanos, industriales y rurales. Factores estructurales, como la sobreexplotación de los acuíferos del Río Loa (BNA 021) y el Salar de Atacama (BNA 025), combinados con presiones antrópicas y climáticas, han configurado una situación de vulnerabilidad extrema en la provisión de agua potable y saneamiento. Las ciudades de Antofagasta, Calama y Tocopilla presentan una demanda insostenible, mientras que las comunidades rurales en las provincias de El Loa y Antofagasta experimentan deficiencias críticas en infraestructura y acceso al agua.

El incremento de la presión sobre los recursos hídricos se vincula a un crecimiento poblacional proyectado del 24% para 2035 y a una expansión de la actividad minera, particularmente en la Quebrada La Negra (BNA 028) y en las explotaciones del Salar de Atacama. A pesar de la implementación de plantas desalinizadoras en Mejillones y Antofagasta, la tecnología no ha mitigado significativamente la dependencia del agua continental. La persistencia de extracciones intensivas desde fuentes subterráneas ha acelerado la degradación hidrogeológica de las principales cuencas, situando a la región en un umbral crítico de agotamiento hídrico.

Las disparidades en el acceso al agua son particularmente graves en el sector rural, donde entre un 14% y un 35% de las viviendas en localidades como San Pedro de Atacama y Sierra Gorda carecen de suministro regular de agua potable. Asimismo, entre un 6% y un 36% de la población rural no cuenta con infraestructura de alcantarillado, lo que agrava la carga

sanitaria y expone a las comunidades a riesgos epidemiológicos derivados de sistemas de saneamiento deficientes. La brecha de información en torno a la disponibilidad y calidad del agua limita la capacidad de diagnóstico y planificación de soluciones adaptativas.

El deterioro de la seguridad hídrica en Antofagasta conlleva implicancias profundas y multidimensionales. En el ámbito urbano, el incremento de racionamientos y la inestabilidad del suministro podría afectar de manera directa a centros como Calama y Antofagasta, reduciendo la capacidad de abastecimiento de agua potable para consumo humano y restringiendo la operatividad de sectores industriales críticos. En el sector extractivo, faenas de alta relevancia como Chuquicamata y Escondida enfrentarían limitaciones operativas debido a la competencia por el recurso hídrico, lo que podría derivar en disrupciones productivas y tensiones socioeconómicas.

El impacto en los ecosistemas es también significativo. La reducción de los caudales en el Salar de Atacama y la sobreexplotación de humedales altoandinos podrían ocasionar daños irreversibles en la biodiversidad regional. Se ha identificado un alto riesgo de contaminación en la cuenca del Río Loa y en la Quebrada Pan de Azúcar (BNA 029) debido a la presencia de relaves mineros en desuso, los cuales representan fuentes latentes de polución en caso de eventos meteorológicos extremos.

La mitigación de esta crisis requiere un enfoque integral basado en estrategias de resiliencia y optimización del recurso hídrico. La diversificación de fuentes de abastecimiento mediante la expansión de la infraestructura desalinizadora en Tocopilla y Mejillones es una prioridad inminente, al igual que el escalamiento de programas de reutilización de aguas residuales en el sector industrial. Se debe promover la modernización de la infraestructura de almacenamiento y conducción del agua, con un enfoque en la reducción de pérdidas en redes de distribución, las cuales alcanzan el 27,5% a nivel regional, superando el 40% en Tocopilla.

El fortalecimiento de la gobernanza hídrica es esencial. Es necesario el establecimiento de normativas ambientales más estrictas para la protección de ecosistemas acuáticos vulnerables y la implementación de planes de restauración ecológica en cuerpos hídricos impactados.

El impulso de innovaciones tecnológicas en la eficiencia hídrica también resulta imperativo. La adopción de tecnologías avanzadas de captación de agua de lluvia, el uso de sistemas de telemetría en redes de abastecimiento y la mejora de la infraestructura de riego en el Salar de Atacama podrían contribuir a una gestión más racional del recurso. La educación y sensibilización sobre el uso responsable del agua deben formar parte de un plan integral de gestión adaptativa, dirigido tanto a comunidades como a sectores productivos.

7.2.2 Análisis de desafío gestionable

La región de Antofagasta enfrenta una intensificación en cuanto a desafíos para garantizar la seguridad hídrica, un fenómeno multifactorial que involucra el crecimiento exponencial de la demanda, la expansión del sector minero, los efectos exacerbados del cambio climático y un sistema de infraestructura con deficiencias estructurales significativas. El crecimiento demográfico proyectado, especialmente en conglomerados urbanos como Antofagasta, Calama y Tocopilla, representa un desafío crítico para la gestión de los recursos hídricos, con implicaciones tanto en el suministro de agua potable como en los sistemas de saneamiento. Simultáneamente, las comunidades rurales dispersas en la provincia de El Loa y el interior de la provincia de Antofagasta enfrentan condiciones de vulnerabilidad hídrica más pronunciadas debido a la insuficiencia de infraestructuras de abastecimiento y tratamiento.

Las cuencas del Río Loa (BNA 021) y del Salar de Atacama (BNA 025) han sido epicentros de intensificación en la demanda hídrica, producto de la preponderancia de actividades mineras a gran escala, generando una presión considerable sobre los cuerpos de agua superficiales y subterráneos. En términos de eficiencia, el uso hídrico en minería mantiene valores en torno al 60%, con pérdidas sustanciales por evaporación y conducción, particularmente en los procesos de concentración y lixiviación. La extracción de salmueras en el Salar de Atacama ha sido objeto de controversia por su impacto en la dinámica hidrogeológica del ecosistema, afectando negativamente la recarga de humedales altoandinos como Soncor y Tara, cuya estabilidad depende de equilibrios hídricos delicados. En áreas urbanas, la eficiencia del consumo de agua potable presenta variaciones significativas. En Antofagasta y Calama, el índice de eficiencia se encuentra en un 45%, mientras que las pérdidas en la red de distribución alcanzan un 27%, evidenciando la urgencia de intervenciones en infraestructura de conducción y control de fugas. En Tocopilla, la situación es más crítica, con un 40% de pérdidas en la red, lo que sugiere una falla estructural en el sistema de saneamiento y abastecimiento. En contraste, localidades como Sierra Gorda y Baquedano, dentro de la cuenca costera entre Quebrada La Negra y Quebrada Pan de Azúcar (BNA 029), presentan pérdidas por debajo del 20%, lo que implica la viabilidad de replicar estrategias de optimización en otras zonas.

Frente a estos desafíos, la estrategia regional ha enfatizado la diversificación de fuentes hídricas, la optimización de la infraestructura existente y la implementación de tecnologías avanzadas de monitoreo. La tecnificación del riego en comunidades rurales como Peine y Socaire ha incrementado la eficiencia hídrica agrícola al 70%, en comparación con el 45% observado en sistemas tradicionales de riego. En Mejillones, la introducción de sistemas de reutilización de aguas grises en el ámbito industrial ha reducido la dependencia de fuentes convencionales, contribuyendo a la sostenibilidad de la producción.

La desalación ha emergido como una solución clave en la estrategia hídrica regional. Actualmente, Antofagasta y Tocopilla cuentan con dos plantas desalinizadoras operativas, y un tercer proyecto en Mejillones se encuentra en fase de desarrollo. En la cuenca costera entre Quebrada Caracoles y el Río Loa (BNA 022), se han promovido estrategias de cosecha de agua de lluvia durante el invierno altiplánico, con infraestructura de almacenamiento diseñada para comunidades como Chiu Chiu y Caspana. En paralelo, se ha avanzado en la evaluación de iniciativas de recarga artificial de acuíferos en la cuenca del Salar de Pajonales, donde registros hidrometeorológicos han evidenciado una disminución sostenida del nivel freático en los últimos veinte años.

La gobernanza del recurso hídrico ha sido fortalecida mediante la implementación de un modelo de gestión integrada de cuencas, con regulaciones más estrictas en áreas de alta fragilidad ecológica. En el Río Loa y la Vertiente Pacífico del Salar de Atacama (BNA 026), se han aplicado restricciones a la explotación de aguas subterráneas en proximidad de los humedales Soncor y Tara, con el objetivo de preservar sus funciones ecosistémicas. Asimismo, la modernización de los sistemas de monitoreo ha permitido la consolidación de una red de telemetría en localidades como Calama y San Pedro de Atacama, facilitando el control remoto de caudales y la detección temprana de anomalías en la disponibilidad hídrica.

En materia de gestión del riesgo, la implementación de obras de mitigación en la Quebrada de Caracoles, particularmente en las comunas de Taltal y Antofagasta, ha reducido la vulnerabilidad frente a eventos de crecidas e inundaciones. En paralelo, el monitoreo de las reservas subterráneas en las cuencas de Michincha y Loa ha permitido establecer umbrales de alerta ante descensos abruptos en los niveles piezométricos. Los estudios hidrogeológicos han demostrado la interdependencia entre los sistemas de recarga de los acuíferos y la disponibilidad de caudales superficiales, lo que ha permitido una planificación más precisa de la asignación del recurso.

A pesar de los avances, persisten desafíos sustanciales que requieren atención prioritaria. La escasez de agua potable en comunidades rurales como Quillagua y Camar continúa siendo un problema crítico, que exige una mayor inversión en sistemas de almacenamiento descentralizados y optimización de redes de distribución. En los humedales de Tilopozo y Pujsa, la creciente presión extractiva sobre las aguas subterráneas podría comprometer la sostenibilidad de estos ecosistemas, requiriendo la aplicación de medidas más restrictivas. En términos económicos, la tendencia al alza en los costos hídricos para el sector industrial y minero podría derivar en una disminución de la competitividad regional, haciendo imprescindible la consolidación de procesos de reciclaje y eficiencia en el consumo.

7.2.3 Análisis de capacidad limitada

La gestión hídrica en la Región de Antofagasta enfrenta una condición de estabilidad relativa, pero con fragilidades estructurales que comprometen su resiliencia ante fluctuaciones en la oferta y demanda del recurso. La escasez hídrica, característica del contexto hiperárido de la zona, no ha incrementado de manera abrupta, pero la presión ejercida por los sectores urbano-industrial y extractivo sobre los cuerpos de agua ha generado un estado de vulnerabilidad latente. Si bien el acceso al agua potable en conglomerados urbanos como Antofagasta, Calama, Tocopilla y Mejillones se sitúa en torno al 99%, la distribución espacial del recurso revela profundas disparidades, especialmente en localidades rurales como Socaire, Peine y Camar, emplazadas en la cuenca del Salar de Atacama (BNA 025), donde persisten limitaciones significativas en términos de disponibilidad, almacenamiento y calidad del suministro.

El crecimiento demográfico proyectado en zonas metropolitanas como Antofagasta y Calama implica una mayor presión sobre los sistemas de distribución y abastecimiento. En términos de cobertura, el acceso al agua potable rural evidencia una brecha estructural significativa, con déficits de entre el 14% y el 35% en viviendas catastradas. En lo que respecta a saneamiento, la brecha se amplía aún más, con niveles de acceso al alcantarillado que oscilan entre el 6% y el 36%, afectando particularmente a comunidades indígenas y localidades periféricas de la provincia de El Loa. Esta desigualdad en la infraestructura de servicios básicos subraya la urgencia de iniciativas para fortalecer la capacidad operativa de los Sistemas de Agua Potable Rural (APR) y mejorar la cobertura de saneamiento en áreas de difícil acceso.

En el ámbito productivo, la industria minera se posiciona como el principal demandante del recurso hídrico en la región. En la cuenca del río Loa (BNA 021), se ha observado una tendencia decreciente en el consumo unitario de agua continental por tonelada de mineral procesado, producto de la optimización de procesos y el incremento del uso de agua desalada. Sin embargo, la demanda absoluta del sector se mantiene elevada, especialmente en faenas situadas en la precordillera y el altiplano. A pesar de la operación de dos plantas desalinizadoras en la región y el desarrollo de un tercer proyecto, la dependencia de estos sistemas de abastecimiento introduce vulnerabilidades económicas y operativas, dado el alto costo energético y las externalidades ambientales asociadas a la desalación masiva.

La carencia de infraestructura estratégica para la regulación hídrica representa otra limitación crítica. La capacidad de almacenamiento en la cuenca del río Loa depende fundamentalmente del embalse Conchi, cuya capacidad de 22 Hm³, lo cual es insuficiente para garantizar la estabilidad del suministro ante escenarios de estrés hídrico prolongado.

A nivel agropecuario, la eficiencia de riego es marcadamente heterogénea, con valores que oscilan entre el 81% en la cuenca costera entre Quebrada La Negra y Quebrada Pan de Azúcar (BNA 029) y apenas el 25% en la cuenca costera entre Pan de Azúcar y el río Salado (BNA 031). La falta de modernización en los sistemas de conducción y distribución de agua exacerba las pérdidas del recurso y compromete la viabilidad de la actividad agrícola en las áreas de oasis y cultivos tradicionales.

Desde una perspectiva institucional, la gobernanza del agua en la región se ve obstaculizada por una fragmentación en las competencias y una escasa articulación entre los actores involucrados. La ausencia de Juntas de Vigilancia y Comunidades de Aguas Subterráneas genera vacíos en la gestión del recurso, limitando la capacidad de monitoreo y control sobre los cuerpos de agua subterráneos. En paralelo, las pérdidas en la red de distribución alcanzan un promedio del 27% a nivel regional, con extremos de más del 40% en Tocopilla, lo que denota ineficiencias sistémicas en la administración del agua potable y subraya la necesidad de modernización en los sistemas de distribución urbana.

Las limitaciones estructurales en la gestión hídrica de la Región de Antofagasta pueden derivar en una serie de impactos negativos de diversa índole. En el ámbito socioeconómico, las crisis hídricas localizadas podrían afectar de manera diferenciada a las comunidades rurales de la cuenca del Salar de Atacama y a los sectores productivos de la provincia de El Loa. La insuficiencia de infraestructura de almacenamiento y distribución podría ocasionar interrupciones en el suministro de agua potable, especialmente en zonas con redes frágiles, como Tocopilla, donde las tasas de pérdida en la distribución ya son críticas.

El alza en la demanda de agua, sumada a la ausencia de fuentes alternativas robustas, podría traducirse en un incremento sostenido de los costos de abastecimiento, afectando tanto a los hogares como a los sectores industriales. En un contexto de encarecimiento del recurso, la competitividad regional podría verse comprometida, incentivando la relocalización de inversiones hacia zonas con mayor estabilidad hídrica. Asimismo, la sobreexplotación de acuíferos podría conllevar efectos irreversibles sobre los ecosistemas altoandinos, deteriorando vegas, bofedales y humedales que constituyen reservas ecológicas clave para la biodiversidad de la región.

Desde una perspectiva socioambiental, el agravamiento de los conflictos por el acceso al agua es un riesgo latente, especialmente en un escenario de crisis prolongada. La competencia por el recurso entre la minería, la industria, la agricultura y el consumo humano podría intensificar las disputas por derechos de uso, generando inestabilidad en la gobernanza del agua. Además, el deterioro de la calidad del agua debido a la contaminación industrial y la carencia de regulaciones estrictas podría comprometer la seguridad sanitaria de las comunidades más vulnerables.

Ante este panorama, resulta imprescindible la implementación de estrategias integrales que fortalezcan la resiliencia hídrica de la región. La diversificación de las fuentes de agua debe ser una prioridad, impulsando la expansión de plantas desalinizadoras en Tocopilla y Antofagasta y promoviendo el desarrollo de sistemas innovadores de purificación y reutilización de aguas residuales en el sector industrial. En paralelo, la recarga artificial de acuíferos en la precordillera del río Loa y en el Salar de Atacama se presenta como una alternativa viable para asegurar la sostenibilidad del recurso en el largo plazo.

El refuerzo de la infraestructura de almacenamiento y distribución del agua es otra acción clave. La construcción de microtrancos en la cuenca del río Loa, combinada con proyectos de cosecha de aguas lluvias en la precordillera, permitirá optimizar la gestión del recurso y mitigar los efectos de la variabilidad climática. La implementación de sistemas de telemetría y monitoreo en tiempo real contribuirá a mejorar la eficiencia en la administración del agua y a prevenir crisis hídricas mediante una gestión más proactiva y basada en evidencia.

La conservación de los ecosistemas hídricos debe ocupar un rol central en las políticas de gestión. La restauración de humedales altoandinos y la declaración de caudales ecológicos mínimos en vegas y bofedales permitirá preservar la biodiversidad y garantizar la integridad de los servicios ecosistémicos asociados. Finalmente, el fortalecimiento de la institucionalidad en materia hídrica es fundamental.

7.2.4 Análisis de avance sostenible y resiliente

La región de Antofagasta ha consolidado un paradigma avanzado de gobernanza hídrica, fundamentado en la resiliencia y la sostenibilidad. La optimización del uso del recurso hídrico se ha basado en una arquitectura institucional robusta, la diversificación de fuentes de abastecimiento y la implementación de tecnologías avanzadas para la gestión del agua en contextos de aridez extrema. La planificación territorial adaptativa y la modernización de infraestructuras han permitido articular la demanda hídrica de la población, los sectores productivos y los ecosistemas estratégicos de la región.

El desarrollo de infraestructuras hídricas ha sido un componente central en la consolidación de este modelo. La expansión de la capacidad de desalinización mediante plantas de ósmosis inversa ha sido determinante en la configuración del sistema de abastecimiento. Actualmente, dos unidades operativas en Antofagasta y Mejillones (código BNA 022) y una tercera en desarrollo en Tocopilla (código BNA 029) han mitigado la dependencia de fuentes continentales, particularmente del Río Loa (código BNA 021) y los acuíferos del Salar de Atacama (código BNA 025). Este proceso ha sido complementado con la incorporación de sistemas de recarga controlada de acuíferos y la revalorización de aguas residuales tratadas para su uso en el sector industrial y agrícola.

En términos de eficiencia hídrica, las pérdidas en la red de distribución han sido reducidas sustancialmente mediante intervenciones en las infraestructuras de conducción y monitoreo. En las ciudades de Antofagasta, Calama y Tocopilla, se ha implementado un sistema de sensores inteligentes que permite la detección temprana de fugas, reduciendo las pérdidas hídricas del 27% en 2022 a niveles óptimos según estándares internacionales. En Sierra Gorda y Baquedano, donde las pérdidas eran inferiores al 20%, se han aplicado estrategias de prevención mediante infraestructura reforzada y monitoreo continuo.

La dotación de agua potable en zonas rurales ha sido una prioridad dentro del marco de equidad hídrica. Actualmente, entre un 14% y un 35% de las viviendas rurales carecen de acceso a agua potable, con brechas particularmente críticas en localidades de la provincia de El Loa, como Chiu-Chiu y Toconce. Para revertir esta situación, se ha ampliado la cobertura de los Sistemas de Agua Potable Rural (APR), incrementando la disponibilidad en cuencas estratégicas como el Salar de Atacama (código BNA 025) y Quebrada Caracoles (código BNA 027). En paralelo, en comunidades costeras de Paposo y Mejillones, se han implementado unidades compactas de desalinización para garantizar el suministro a localidades con limitaciones estructurales en el acceso al recurso.

En el ámbito del saneamiento, la región ha experimentado una transformación significativa en la gestión de aguas residuales. Entre un 6% y un 36% de la población rural aún no cuenta con alcantarillado, lo que ha impulsado la implementación de tecnologías de tratamiento descentralizado en comunas como Ollagüe y San Pedro de Atacama. Estos sistemas, basados en biofiltros y humedales artificiales, han permitido reducir los niveles de contaminación en cuerpos hídricos y mejorar la calidad del agua reintegrada al ambiente. En cuanto a la eficiencia en el uso del agua para riego, la región ha alcanzado un progreso sustancial. La eficiencia media de aplicación del agua en la agricultura es del 45%, con variaciones significativas entre cuencas. En la cuenca Costeras entre Quebrada La Negra y Quebrada Pan de Azúcar (código BNA 029), se ha alcanzado una eficiencia del 81%, mientras que en la cuenca Costeras Pan de Azúcar-Río Salado (código BNA 031), la eficiencia se encuentra en niveles críticos del 25%. Para revertir esta situación, se han implementado sistemas de riego tecnificado y proyectos de modernización en infraestructura de captación y conducción. La red de canales de riego, que se extiende por 353 km en la cuenca del Salar de Atacama y el Río Loa, ha sido objeto de rehabilitación para minimizar pérdidas por evaporación y filtración.

El sector minero, siendo la principal actividad económica de la región, ha sido sometido a un régimen de eficiencia hídrica más estricto. Se proyecta una reducción del 21% en la demanda hídrica del sector debido a la implementación de circuitos cerrados de recirculación y la optimización del uso del agua en procesos extractivos. Sin embargo, en las cuencas del Salar de Atacama y Quebrada Negra (código BNA 028), la demanda ha mostrado

un incremento asociado a la explotación de minerales distintos al cobre. Para mitigar los impactos, se ha promovido la integración de plantas desalinizadoras de uso exclusivo para la minería y la ampliación de programas de reutilización de agua industrial.

Desde una perspectiva ecológica, la región ha fortalecido su gobernanza ambiental a través de mecanismos de regulación más estrictos. La conservación de humedales y ecosistemas hídricos ha sido prioritaria, especialmente en zonas de alta sensibilidad como los salares de Atacama y Aguas Calientes. Se ha desarrollado un sistema de monitoreo continuo de calidad del agua en cuerpos superficiales y subterráneos, estableciendo umbrales normativos para la actividad industrial y extractiva.

En términos de resiliencia climática, la implementación de infraestructuras de mitigación de eventos extremos ha cobrado relevancia. Se han construido defensas aluvionales en sectores vulnerables y se ha fortalecido la capacidad de respuesta ante sequías mediante modelos de predicción avanzada. La integración de infraestructura verde en la planificación urbana y la rehabilitación de cuencas hidrográficas han permitido mejorar la capacidad de adaptación de los ecosistemas regionales.

CAPÍTULO 8 PROPUESTA DE PROSPECTIVA DE REQUERIMIENTOS DE INFRAESTRUCTURA HÍDRICA

8.1 SEGURIDAD HÍDRICA EN LA REGIÓN: ESTADO DEL ARTE

En la región de Antofagasta destaca el Río Loa como el principal recurso hídrico de la región. Las demandas hídricas de la región se sitúan predominantemente en la cuenca Río Loa (BNA 021) y en las zonas bajas de las cuencas Costeras R. Loa – Q. Caracoles (BNA 022), Q. Caracoles (BNA 027), Q. La Negra (BNA 028) y Costeras entre Q. La Negra – Q. Pan de Azúcar (BNA 029). Las demandas consuntivas para el año 2023 se distribuyen de acuerdo a la Figura 8.1-1. El sector minero presenta la mayor demanda. Se proyecta una disminución del 15% en las demandas consuntivas hacia el año 2055, asociado principalmente a la reducción del 75% de la demanda del sector agrícola⁶, seguido por una reducción en la demanda minera⁷ del 19%.

De manera simultánea, se prevé un aumento de los caudales en todas las cuencas regionales, siendo las más favorecidas las Costeras R. Loa – Q. Caracoles (BNA 022) y Costeras entre Q. La Negra – Q. Pan de Azúcar (BNA 029), con aumentos del 50% y 61%, respectivamente. El balance hídrico estructural (Tabla 8.1-1) evidencia que las cuencas Río Loa (BNA 021), Costeras R. Loa – Q. Caracoles (BNA 022), Salar de Atacama (BNA 025), Q. Caracoles (BNA 027) y Q. La Negra (BNA 028) presentan un déficit hídrico estructural, donde, a excepción de Costeras R. Loa – Q. Caracoles (BNA 022), todas las cuencas con déficit hídrico presentan al menos una restricción de uso en sus fuentes, lo que las vuelve especialmente vulnerables a los efectos del cambio climático. En particular, para las cuencas Costeras R. Loa – Q. Caracoles (BNA 022), Q. Caracoles (BNA 027) y Q. La Negra (BNA 028), el déficit se caracteriza por demandas que superan la oferta disponible con un 50% de probabilidad de excedencia. Entre los desafíos de Seguridad Hídrica (SH) para la región⁸, la sostenibilidad del suministro de agua potable enfrenta considerables presiones. En las zonas urbanas, si bien la cobertura alcanza un 95,9%, los sistemas de

⁶ Atribuible a las tendencias de disminución de la superficie de cultivo de forrajeras permanentes y frutales, proyección fundamentada en los registros de los Censos Agropecuarios de los años 1997, 2007 y 2021 (INE, 2007; INE, 2021).

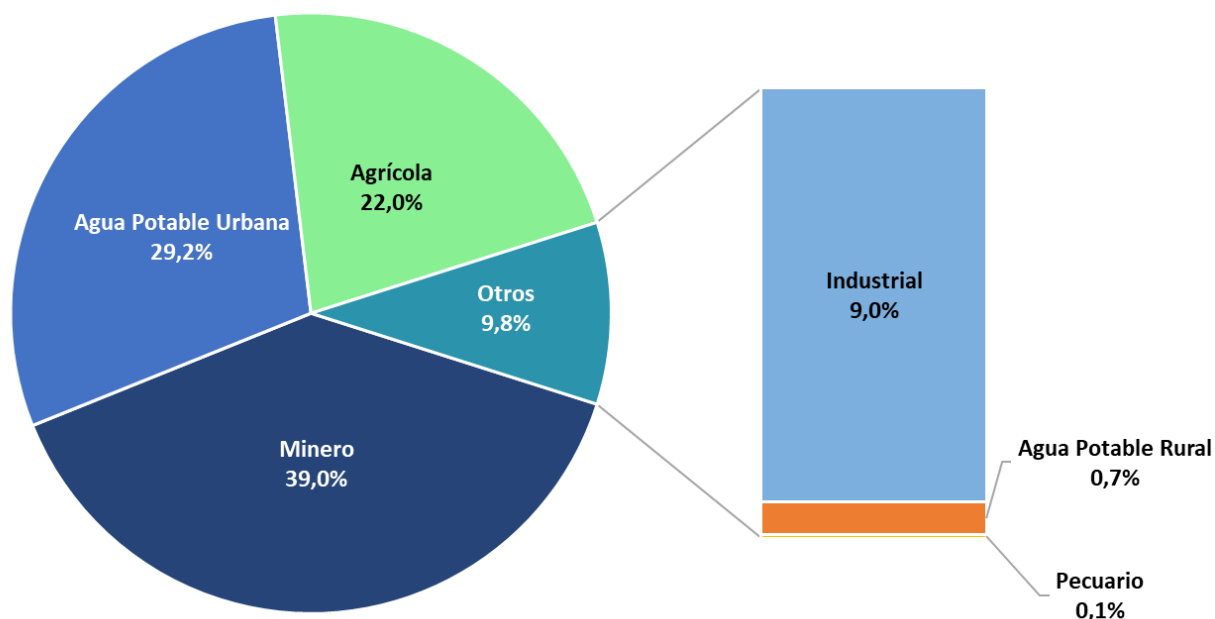
⁷ Basado en las tendencias históricas de reducción del consumo unitario de agua continental por tonelada mineral de cobre procesado.

⁸ Entendidos como brechas o problemáticas relacionadas indirectamente a la disponibilidad de agua, las cuales dificultan el cumplimiento de los objetivos de SH.

distribución registran pérdidas físicas del 28% en promedio⁹. En las áreas rurales, entre el 14% y 36% de las viviendas no tienen acceso a agua potable, mientras que la falta de información afecta hasta el 66,2% de las viviendas rurales, limitando el desarrollo de estrategias integrales. Además, entre un 6 y 36% de la población rural con acceso a agua potable carece de sistemas de alcantarillado. La región enfrenta limitaciones significativas en la promoción de iniciativas orientadas a incrementar la eficiencia y el uso sostenible del agua. Se estima la eficiencia de riego en un 45% en promedio, donde las cuencas Costeras Q. Pan de Azúcar – R. Salado (BNA 031) y Río Loa (BNA 021) presentan los valores más bajos. Se observan limitaciones en torno a las Organizaciones de Usuarios de Aguas, solo se observan Comunidades de Aguas para las cuencas Río Loa (BNA 021) y Salar de Atacama (BNA 025)¹⁰. Además, la infraestructura hídrica multipropósito es insuficiente, ya que solo la cuenca Río Loa (BNA 021) cuenta con proyectos. La calidad del agua representa un problema crítico en las cuencas Río Loa (BNA 021), Endorreicas entre Fronterizas y S. de Atacama (BNA 024), Q. Caracoles (BNA 027) y Costeras entre Q. Pan de Azúcar y R. Salado (031), debido a altos niveles de contaminación y erosión. De igual modo, todas las cuencas de la región, a excepción de Q. Caracoles (BNA 027), presentan deterioro en la calidad de las aguas debido a la baja cobertura de saneamiento de aguas servidas y residuales, por contaminación proveniente de la minería y a la baja infraestructura de monitoreo. La mayoría de las cuencas de la región exhiben una baja protección ecosistémica, menor al 5% de la superficie de humedales, a excepción de las cuencas Endorreicas entre Fronterizas – S. de Atacama (BNA 024), Salar de Atacama (BNA 025) y Fronteriza ente S. de Atacama – Socompa que presentan más de un 5% de protección. Esta situación evidencia la necesidad de medidas de conservación más efectivas. Las cuencas Costeras R. Loa – Q. Caracoles (BNA 022), Salar de Atacama (BNA 025), Endorreicas entre S. de Atacama y V. del Pacífico (BNA 026), Q. Caracoles (BNA 027), Q. La Negra (BNA 028) y Costeras entre E. La Negra – Q. Pan de Azúcar (BNA 029) presentan alta vulnerabilidad a eventos extremos como inundaciones y aluviones. Los sistemas de drenaje resultan insuficientes, lo que agrava los impactos de estos eventos.

⁹ Para el periodo comprendido entre 2012 -2022.

¹⁰ No se observan en la región Juntas de Vigilancia, Comunidades de Aguas Subterráneas y Asociaciones de Canalistas.



Fuente: Elaboración propia.

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

Tabla 8.1-1 Balance Hídrico Estructural actual de la región de Antofagasta

Código BNA	Cuenca	Balance Hídrico ¹¹	Restricciones		Estado Balance Unificado ¹²
			Superficiales	Subterráneas	
020	Fronterizas Salar Michincha-R. Loa	Con recursos	No	No	Con recursos
021	Rio Loa	Con recursos	Sí	Sí	Déficit hídrico estructural
022	Costeras R. Loa-Q. Caracoles	Déficit hídrico estructural	No	No	Déficit hídrico estructural
023	Fronterizas Salares Atacama-Socompa	Con recursos	No	No	Con recursos
024	Endorreica entre Fronterizas y Salar Atacama	Con recursos	No	Sí	Estrés hídrico
025	Salar de Atacama	Con recursos	Sí	Sí	Déficit hídrico estructural
026	Endorreicas Salar Atacama-Vertiente Pacífico	Con recursos	No	Sí	Estrés hídrico
027	Quebrada Caracoles	Déficit hídrico estructural	No	Sí	Déficit hídrico estructural
028	Quebrada la Negra	Déficit hídrico estructural	No	Sí	Déficit hídrico estructural

¹¹ El Balance Hídrico corresponde al contraste realizado entre la oferta superficial y la demanda, donde Déficit Hídrico Estructural corresponde a cuencas donde la demanda extractiva supera el caudal que se excede el 50% del tiempo; Estrés hídrico: la demanda extractiva es mayor que el caudal que se excede el 85% del tiempo; y Con recursos: la demanda no supera el caudal que se excede el 85% del tiempo.

¹² El Balance Hídrico Unificado combina el Balance Hídrico con las restricciones de uso de agua superficiales y subterráneas, si la cuenca posee restricciones su nivel de criticidad aumenta.

Código BNA	Cuenca	Balance Hídrico ¹¹	Restricciones		Estado Balance Unificado ¹²
			Superficiales	Subterráneas	
029	Costeras entre Q. la Negra y Q. Pan de Azúcar	Estrés hídrico	No	No	Estrés hídrico
031	Costeras Q. Pan de Azúcar – Río Salado	Con recursos	No	No	Con recursos

Fuente: Elaboración propia.

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

En la región de Antofagasta se han implementado Planes Estratégicos de Gestión Hídrica (PEGH) específicamente para las cuencas Endorreica entre Fronterizas – S. de Atacama (BNA 024), Salar de Atacama (BNA 025), Endorreicas S. Atacama – V. Pacífico (BNA 026) y Q. Caracoles (BNA 027). 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, los cuales se han desarrollado en todas las cuencas de la región. No obstante, se identifica la necesidad de extender o actualizar el desarrollo de estos instrumentos de gestión, como Planes Estratégicos de Recursos Hídricos en Cuencas (PERHC) y Planes de Riego, a aquellas cuencas que carecen de herramientas similares. Para un análisis más detallado, se recomienda consultar el Capítulo 3 del Informe Nacional.

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, y promoviendo soluciones sostenibles. En la región de Antofagasta, actores como el Gobierno Regional, SERNAGEOMIN, SEREMI MMA, SEA, CONAF, compañías de la industria minera, CODELCO, SONAMI, CONADI, CPA, Centros de Investigación y Aguas Antofagasta¹³, desempeñan roles clave. Aunque el MOP

¹³ SERNAGEOMIN: Servicio Nacional de Geología y Minería; SEREMI MMA: Secretaría Regional Ministerial Ministerio del Medio Ambiente; SEA: Servicio de Evaluación Ambiental; CONAF: Corporación Nacional Forestal; Industria Minera: Compuesta por Minera Escondida BHP, Sociedad Química y Minera de Chile SQM, Zaldivar, Compañía Minera del Pacífico, Dovalle Farmacéutica Minera de Chile y Cia., entre otros; CODELCO: Corporación Nacional del Cobre; SONAMI: Sociedad Nacional de Minería; CONADI: Corporación Nacional de Desarrollo Indígena;

destaca por su capacidad técnica, enfrenta desafíos como la fragmentación organizativa y falta de continuidad en políticas. Es esencial fortalecer la articulación local, fomentar la confianza y asegurar una gobernanza colaborativa y resiliente, adaptada a realidades territoriales.

8.4 FRENTE A LA INCERTIDUMBRE: VISIÓN COMÚN PARA LA RESILIENCIA

La visión estratégica del Plan Nacional de Infraestructura Pública 2025-2055 prioriza la resiliencia hídrica como un componente central de la gobernanza nacional frente a la crisis hídrica. Este enfoque reconoce el agua como un recurso estratégico para la población, la economía y la biodiversidad, promoviendo su gestión integrada y sostenible en respuesta a los desafíos climáticos y socioeconómicos. Se busca garantizar el derecho humano al agua y al saneamiento, fomentando un desarrollo equitativo y resiliente. En la región de Antofagasta, la estrategia se centra en desarrollar una gestión integral y colaborativa de los recursos hídricos, con especial énfasis en garantizar el derecho humano al agua, la conservación de los ecosistemas y el desarrollo económico. Busca desarrollar tecnologías sostenibles y resilientes para el abastecimiento de agua de la región, mediante infraestructura multipropósito y prácticas de uso eficiente, sustentado en información robusta y el fortalecimiento de la gestión de riesgos.

8.5 MEGATENDENCIAS Y SUS POTENCIALES CONSECUENCIAS: ESCENARIOS DE DESARROLLO

La región enfrenta cuatro escenarios contrastantes. Un escenario de *Estancamiento Crítico*, donde el aumento de la demanda hídrica de sectores urbanos (crecimiento poblacional +24% para 2035), rurales industriales y mineros, configuran una situación de vulnerabilidad extrema en la provisión de agua potable y saneamiento. La vulnerabilidad se exacerba por la sobreexplotación de los acuíferos, situando a la región en un umbral crítico de agotamiento hídrico. El sector minero enfrenta limitaciones operativas debido a la competencia por el recurso hídrico. La reducción de los caudales y sobreexplotación de humedales podrían ocasionar daños irreversibles en la biodiversidad, así como un alto riesgo de contaminación debido a la presencia de relaves mineros en desuso. En un escenario de *Desafío Gestionable*, los desafíos de seguridad hídrica se intensifican debido al crecimiento de la demanda hídrica, la expansión del sector minero y los efectos del cambio climático. La región mantiene su capacidad de respuesta institucional, conservando niveles de eficiencias (60% en minería, 45% eficiencia de riego), enfatizando en la diversificación de fuentes, la optimización de la infraestructura existente y la implementación de tecnologías avanzadas de monitoreo, sin embargo, persisten desafíos sustanciales que requieren atención prioritaria, como la presión sobre las aguas subterráneas y el alza en los costos hídricos para el sector industrial y minero. En un escenario de *Capacidad Limitada*, la gestión hídrica permite una estabilidad relativa,

CPA: Consejo de Pueblos Atacameños; Centros de Investigación: Centro de Investigación Tecnológica del Agua en el Desierto (CEITSAZA), Centro Regional de Estudios y Educación Ambiental (CREA), Centro Científico Tecnológico Región de Antofagasta (CICITEM).

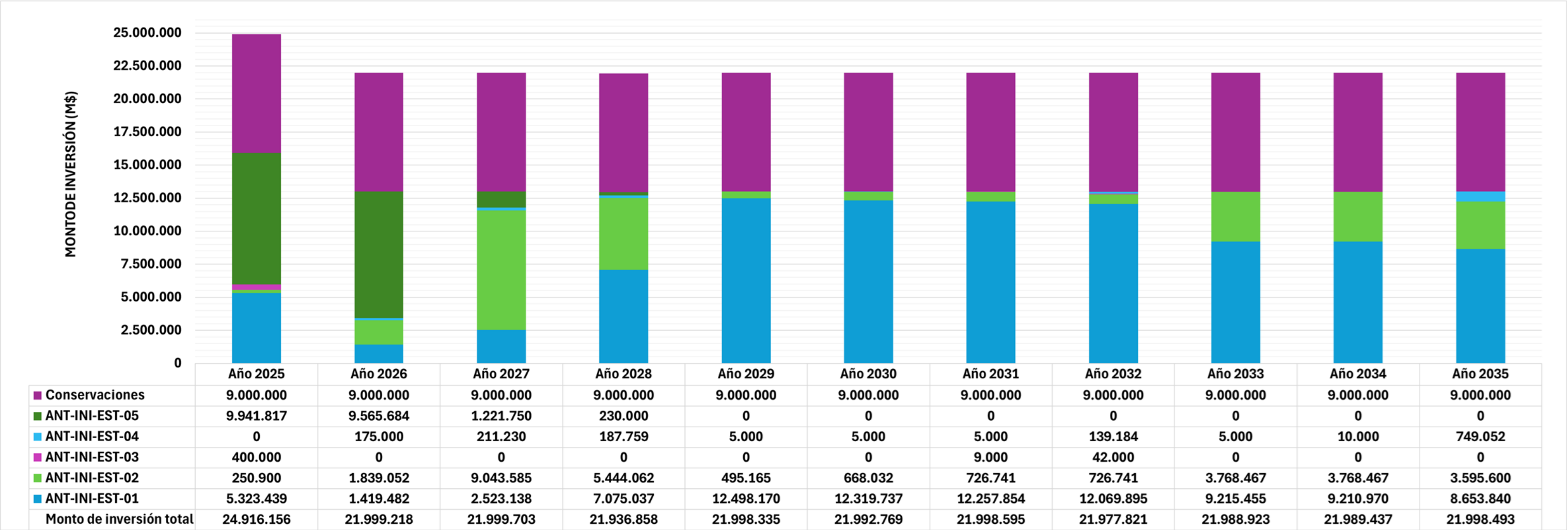
pero con fragilidades estructurales que comprometen la resiliencia de la región. La presión por los recursos hídricos ejercida por los sectores urbano-industrial y extractivo han generado una vulnerabilidad latente. Los desafíos de SH para consumo humano, saneamiento y desarrollo económico se acentúan. Los conflictos socioambientales por el acceso al agua se agudizan, debido a las limitaciones institucionales, fragmentación en las competencias y una escasa articulación entre los actores involucrados. Por último, en un escenario de *Avance Sostenible*, la región logra una gobernanza hídrica fundamentada en la resiliencia y sostenibilidad. Mediante la optimización de los recursos hídricos, la diversificación de fuentes, la implementación de tecnologías avanzadas, la recirculación de las aguas servidas y residuales, la planificación adaptativa y modernización de la infraestructura, se han logrado gestionar eficientemente las demandas hídricas de la región, lo que ha permitido reducir las pérdidas en la red de distribución, ampliar la dotación de servicios de agua potable y saneamiento, reducir los niveles de contaminación de los cuerpos de agua y conservar ecosistemas hídricos.

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 con énfasis en la calidad del agua
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
INI-EST-04	Obras y medidas de protección y recuperación de sistemas ecosistémicos naturales, basadas en la naturaleza con énfasis en modelación integrada de recursos superficiales y subterráneos
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 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 “Fuentes de Abastecimiento Sustentables para Consumo Humano y Riego” busca asegurar la calidad y disponibilidad del recurso hídrico. 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\$ 84.959.200 de inversión para Diseño y construcción de Sistemas de Agua Potable Rural en la región, con un beneficio para más de 25.000 personas, lo cual permitirá disminuir la brecha de accesibilidad al agua potable. La inversión se encuentra distribuida principalmente en las cuencas Q. Caracoles (BNA 027), que corresponde al 40% de la inversión para este ítem; la cuenca Endorreicas entre S. de Atacama y V. del Pacífico (BNA 026) con 22% de la inversión y la cuenca Río Loa (BNA 021) con un 16% de la inversión.

M\$ 4.090.000 de inversión para la Evaluación de Alternativas de Nuevas Fuentes de Abastecimiento de Agua para Consumo Humano y/o Riego, equivalente a 10 estudios de recursos hídricos, 3 estudios de riego y 1 estudio de nuevas tecnologías. El 23% de la inversión se centra en estudios a escala regional. Entre las cuencas destaca un 27% de inversión destinado a estudios para alternativas de nuevas fuentes en la cuenca Salar de Atacama (BNA 025) y un 16% de inversión destinado a la cuenca Río Loa (BNA 021).

M\$ 1.366.300 de inversión para el Diseño y Construcción de Plantas Desaladoras y Desalinizadoras, con un beneficio para 639 personas en las cuencas Costeras R. Loa – Q. Caracoles (BNA 022) y Costeras entre Q. La Negra – Q. Pan de Azúcar (BNA 029).

M\$ 40.236.300 de inversión para Incrementar la Eficiencia en el Uso del Agua a través del Fomento de Eficiencia Hídrica en Riego, beneficiando a más de 55 ha a nivel regional; y el Fomento de Eficiencia Hídrica en Agua Potable beneficiando a más de 40.000 personas, disminuyendo la demanda sobre la matriz hídrica.

M\$ 39.861.400 de inversión para el Diseño y Construcción de Obras para la Recuperación y Recarga de Acuíferos, equivalente a más de 29.000.000 m³ de volumen de recarga de agua, aumentando la oferta en la matriz hídrica. La inversión se encuentra distribuida entre las cuencas Q. Caracoles (BNA 027) y Q. La Negra (BNA 028) con un 32% de inversión cada una, Río Loa (BNA 021) con un 24% y Fronterizas Salar Michincha-R. Loa (BNA 020) con un 11% de la inversión para este ítem.

M\$ 53.664.700 de inversión para el Diseño, Construcción de Sistemas de Reutilización de Aguas Servidas para beneficiar a más de 240 hectáreas de riego en la región.

M\$ 310.000 de inversión para el Regularización de Derechos de Agua en Captaciones; la Promoción y Conformación de Organizaciones de Usuarios, y el Plan de Seguimiento a Planes de Riego.

M\$ 14.700.000 de inversión para el Diseño y Construcción de Grandes Obras de Riego que permitirán regular la oferta hídrica de 20 hm³/año y; M\$ 9.386.900 de inversión para el Diseño, Construcción de Obras Medianas de Riego, beneficiando a 1 hectárea en promedio.

M\$ 54.598.200 de inversión para el Diseño, Construcción e Implementación de Tecnologías en Estaciones Hidrométricas, donde más del 80% del monto total está destinado a estaciones para el monitoreo de calidad de agua distribuido, principalmente, en las cuencas Q. Caracoles (BNA 027), Salar de Atacama (BNA 025) y S. de Atacama y V. del Pacífico (BNA 026), con un 27%, 26% y 14% de inversión, respectivamente.

M\$ 59.010.600 de inversión para el Diseño, Construcción e Implementación de Medidas de Conservación, Restauración y Protección de Humedales, Riberas y Cauces, equivalente al Mejoramiento de 29 km de Riberas y/o Orillas Naturales, la Construcción de 4 km de Áreas Verdes de Flora Nativa, y la Construcción de 4 Obras de Regulación e Infiltración.

M\$ 940.000 de inversión en Estudios de Regulación Hídrica y Gestión de Suelos, equivalente a 7 estudios de Manejo de Normas Ambientales e Hídricas, Reservas de agua, Planes y Políticas; 2 estudios de Erosión y Arrastre de Sedimentos, 1 estudio de Definición de franjas de restricción y 1 estudio de Reforestación en Sectores con Riesgo de Erosión. El 66% de la inversión se concentra en la cuenca Río Loa (BNA 021), un 17% está asignado a la cuenca Salar de Atacama (BNA 025) y un 17% de la inversión tiene un 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 acuerdos binacionales para acuíferos transfronterizos, reforzando

la gobernanza, reduciendo los conflictos socioambientales e incrementado la resiliencia. Estas acciones, respaldadas por inversión en datos actualizados y participación multisectorial, robustecen la adaptabilidad frente a incertidumbres climáticas y presiones demográficas.

CAPÍTULO 9 BIBLIOGRAFÍA

- (CONAF), C. D. (2019). *Uso de Suelo, IDE MINAGRI, CONAF*.
- Abarca Silva, M. (2018). *Conformación del control del Agua Potable Rural (APR), a partir de la implementación de plantas desalinizadoras, según concepción del ciclo hidrosocial, en las localidades de Michilla y Paposo, Región de Antofagasta*. Santiago: Universidad de Chile: Facultad de Arquitectura y Urbanismo.
- ACADES. (2022). *Desalinización de agua de mar en la minería*. Obtenido de <https://www.acades.cl/wp-content/uploads/2023/04/ACADES-en-Expomin.pdf>
- Aguas Antofagasta. (2019). *Aguas Antofagasta*. Obtenido de <http://www3.aguasantofagasta.cl/documentacion.html>
- Aguas Antofagasta. (2024). *Aguas Antofagasta*. Obtenido de www.aguasantofagasta.cl
- BC. (2022). *Cuentas Nacionales*. Obtenido de https://si3.bcentral.cl/Siete/ES/Siete/Cuadro/CAP_CCNN/MN_CCNN76/CCNN2018_PIB_REGIONAL_N/637899740344107786
- BDE. (2022). *Cuentas Nacionales*. Obtenido de https://si3.bcentral.cl/Siete/ES/Siete/Cuadro/CAP_CCNN/MN_CCNN76/CCNN2018_PIB_REGIONAL_N/637899740344107786
- 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). Concesiones 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. (2023). *Reportes, Estadísticas y Plataformas de Uso Frecuente*. Santiago. Obtenido de <https://www.coordinador.cl/reportes-y-estadisticas/>.

- Cerutti, D. (2022). Cartografía del daño en el altiplano andino en torno a la minería del litio. *Revista Patagónica de Estudios Sociales*, 29 (28 Dossier).
- CNR. (2016). Planes de Riego, Elqui, Límari y Choapa-Quilimarí.
- CNR. (2017). *Estudio Básico: Diagnóstico para desarrollar Plan de Gestión de Riego en la región de Antofagasta*.
- CNR. (2020). *Mapa y Fichas de Infraestructura de Riego y Catastros - Levantamiento de información CNR*. Obtenido de <https://esiir.cnr.gob.cl/>
- COCHILCO. (2018). *Anuario de la Minería de Chile*. Obtenido de https://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2019/06/Libro_Anuario_2018_.pdf
- COCHILCO. (2019). *Anuario de la Minería de Chile*. Obtenido de https://www.sernageomin.cl/pdf/anuario_2019_act100720.pdf
- COCHILCO. (2022). *Agua en la minería del cobre*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://www.cochilco.cl/Listado%20temtico/Agua%20en%20la%20miner%C3%ADa%20del%20cobre.pdf>
- COCHILCO. (2023). *Infraestructura Hídrica Compartida*.
- CONAF. (s.f.). *Uso de Suelo, IDE MINAGRI*. 2019.
- DGA. (1989). *Mapa Hidrogeológico de Chile*. Obtenido de <https://snia.mop.gob.cl/repositorioldga/>
- DGA. (2012). Diagnóstico Plan Estratégico para la Gestión de los Recursos Hídricos, Región de Antofagasta. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/items/e66ea175-082b-4c9b-af0d-f62db3af9f08>.
- DGA. (2020). *Declaraciones de agotamiento de aguas superficiales*. Obtenido de <https://dga.mop.gob.cl/administracionrecursoshidricos/asuperficiales/Paginas/default.aspx>
- DGA. (2020). Planes Estratégicos de Gestión Hídrica. Chile.
- DGA. (2021). Desarrollo de Herramientas para el Análisis de Salares y Cuencas Costeras y su Aplicación para el desarrollo del PEGH en La Cuenca del Salar de Atacama.
- 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 Loa S.I.T. N° 472.
- DGA. (2021). *Plan Estratégico de Gestión Hídrica en la Cuenca del Loa*. Obtenido de <https://snia.mop.gob.cl/repositorioldga/handle/20.500.13000/125661>
- DGA. (2022). *Homologación del Cálculo Hidrológico para la Estimación de la Oferta Natural de Agua Histórica y Futura en Chile*. Santiago.
- DGA. (2022). *Homologación del Cálculo Hidrológico para la Estimación de la Oferta Natural de Agua Histórica y Futura en Chile*. Santiago.
- DGA. (2022). Plan Estratégico de Gestión Hídrica en Cuencas Endorreicas Salar de Atacama - Vertiente del Pacífico S.I.T. N° 501.

- DGA. (2022). Plan Estratégico de Gestión Hídrica en la Cuenca Endorreica entre Fronterizas y Salar de Atacama S.I.T. N° 499.
- DGA. (2022). *Plan Estratégico de Gestión Hídrica en la Cuenca Quebrada Caracoles*. Obtenido de <https://snia.mop.gob.cl/repositorioldga/handle/20.500.13000/126251>
- DGA. (2022). Plan Estratégico de Gestión Hídrica en la Cuenca Quebrada Caracoles S.I.T. N° 498.
- DGA. (2023). *Áreas de restricción*. Obtenido de <https://dga.mop.gob.cl/Paginas/areasderestriccion.aspx>
- DGA. (Noviembre de 2023). *Catastro publico de aguas*. Obtenido de Derechos Concedidos XV : https://dga.mop.gob.cl/productosyservicios/derechos_historicos/Paginas/default.aspx
- DGA. (2023). *Derechos de aprovechamiento de aguas registrados en DGA*. Obtenido de https://dga.mop.gob.cl/productosyservicios/derechos_historicos/Paginas/default.aspx
- DGA. (2023). *Mapoteca Digital*. Obtenido de <https://dga.mop.gob.cl/estudiospublicaciones/mapoteca/Paginas/Mapoteca-Digital.aspx>
- DGA. (2023). *Zonas de prohibición*. Obtenido de <https://dga.mop.gob.cl/Paginas/zonadeprohibicion.aspx>
- DGA, U. d. (2022). *Homologación del Cálculo Hidrológico para la Estimación de la Oferta Natural de Agua Histórica y Futura en Chile*. Santiago.
- 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. (2022). *Actualización Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias de Antofagasta*.
- 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*.
- GORE Antofagasta. (2020). *Gobierno Regional de Antofagasta*.

- GORE Antofagasta. (2022). *Estrategia regional de Innovación 2022-2028*. Obtenido de https://goreantofagasta.cl/goreantofagasta/site/artic/20220310/asocfile/20220310105133/libro_eri_gobierno_regional_de_antofagasta_.pdf
- GORE Atacama. (2020). *Estrategia regional de innovación*.
- INE . (2020). *Sistema de Indicadores de Calidad de Vida Rural*. Obtenido de <https://www.ine.gob.cl/herramientas/portal-de-mapas/sicvir>
- INE. (1997). VII Censo Nacional Agropecuario y Forestal.
- 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). *Censo Agropecuario*. Obtenido de <https://www.ine.gob.cl/estadisticas/economia/agricultura-agroindustria-y-pesca/censos-agropecuarios>
- INE. (2021). *VIII Censo Nacional Agropecuario y Forestal*. Santiago, Chile. Obtenido de <https://www.ine.gob.cl/censoagropecuario>
- Kennedy, F. (2024). *Red de Humedales de Antofagasta: El proyecto con el que Fundación Kennedy propone proteger todos los humedales urbanos de la ciudad*. Obtenido de <https://fundacionkennedy.cl/2024/01/10/red-de-humedales-de-antofagasta-el-proyecto-con-el-que-fundacion-kennedy-propone-proteger-todos-los-humedales-urbanos-de-la-ciudad/>
- Larraín, S. (2010). *Conflictos por el agua en Chile: Entre los derechos humanos y las reglas del mercado*. <http://biblioteca.cephum.org/handle/123456789/929>.
- Lempert, R. (2019). Robust Decision Making (RDM). En V. Marchau, W. Walker, P. Bloemen, & S. Popper, *Decision Making under Deep Uncertainty*. Springer, Cham.
- López, S. (2024). LA DISPUTA SOBRE LAS AGUAS DEL SILALA ENTRE CHILE Y BOLIVIA. COMENTARIO DE LA SENTENCIA DE LA CORTE INTERNACIONAL DE JUSTICIA DE FECHA 1 DE DICIEMBRE DE 2022. *Revista chilena de Derecho*, 205-230.
- Mardones y Garreaud. (2020). *Future Changes in the Free Tropospheric Freezing*.
- Minería, S. N. (2022). *Anuario de La Minera Chile*. Santiago: <https://www.sernageomin.cl/anuario-de-la-mineria-de-chile/>.
- MOP. (2012). *Plan Regional de Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico al 2021, Región de Antofagasta*. Obtenido de https://planeamiento.mop.gob.cl/planes/regional/Paginas/detalle_prigrh.aspx?item=4
- MOP. (2019). *Análisis de inversión en infraestructura y Gestión Hídrica 2020-2050*.
- MOP. (2021). *Análisis de Inversión en Infraestructura y Gestión Hídrica 2020 -2050*.
- MOP. (2021). *Plan Regional de Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico*.
- MOP. (2023). *Inventario de Planes 2023*. Obtenido de <https://planeamiento.mop.gob.cl/planes-y-estudios/inventario-de-planes/>

- MOP. (2023). *Inventario de Planes MOP 2023*. Obtenido de Plan de Infraestructura para Caletas Rurales de Coquimbo: https://planeamiento.mop.gob.cl/planes/inventarioplanes/Documents/Inventario_de_Planes_MOP_2023.pdf
- MOP. (2023). *Inversión Histórica periodo 1986-2023*.
- ODEPA. (2021). Obtenido de Resultados del VII Censo Agropecuario y Forestal: <https://www.odepa.gob.cl/contenidos-rubro/estadisticas/estadisticas-productivas/resultados-del-viii-censo-agropecuario-y-forestal>
- ODEPA. (2022). Catastros Frutícolas. Santiago, Chile.
- PIIH. (2021). Plan de Inversión en Iniciativas Hídricas 2020-2050. DGA.
- Publicas, M. d. (2018). Plan Chile 30/30. [/https://planeamiento.mop.gob.cl/Carpeta/sites/3/2023/05/plan_chile_3030.pdf](https://planeamiento.mop.gob.cl/Carpeta/sites/3/2023/05/plan_chile_3030.pdf).
- RECT. (2021). Informe Consolidado de Emisiones y Transferencias de Contaminantes del RETC 2021. <https://retc.mma.gob.cl/books/informe-consolidado-de-emisiones-y-transferencias-de-contaminantes-del-retc-2021-2/>.
- Sanitarios, S. d. (s.f.). *Información 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://bibliogrd.senapred.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. (2024). *Dpto Gestión de la Información, Atención al Usuario y Estadísticas Sectoriales*.
- SERNATUR. (Febrero de 2024). *Big data para el turismo interno*. Obtenido de Principales destinos turísticos: <https://www.sernatur.cl/dataturismo/big-data-turismo-interno/>
- Siddiqi, A., Eriqat, F., & Diaz Anadon, L. (2016). Formulating Expectations for Future Water Availability through Infrastructure Development Decisions in Arid Regions. *Systems Engineering*. doi:10.1002/sys.21337
- SIFAC II. (2022). SISS.
- SIFAC II,. (2023). *Sistema de Facturación Clientes y Coberturas* . Obtenido de SISS.
- SiSS. (2019). *PTAS en operación*. Obtenido de <https://www.siss.gob.cl/586/w3-propertyvalue-6409.html>
- SiSS. (2022). *Informe de Gestión del Sector Sanitario 2022*. Obtenido de https://www.siss.gob.cl/586/articles-22969_recurso_1.pdf
- SISS. (2022). *Servicios Sanitarios Rurales*. Obtenido de <https://www.siss.gob.cl/586/w3-propertyvalue-7244.html>
- SISS. (2022). *Sistema de Facturación Clientes y Coberturas SIFAC II* .
- SISS. (2022). *Superintendencia de Servicios Sanitarios*. Obtenido de <https://www.siss.gob.cl/586/w3-channel.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). Planes de desarrollo vigentes. <https://www.siss.gob.cl/586/w3-propertyvalue-6399.html>.
- SiSS. (2023). *Sistema de Gestión Unidad Información - Territorios Operacionales*. Obtenido de <https://sit.siss.gob.cl/>
- 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>.
- SMA. (2022). *Superintendencia del Medio Ambiente Chile*. Obtenido de <https://portal.sma.gob.cl/index.php/2022/03/10/sma-sanciona-a-minera-escondida-por-6-600-millones-tras-dano-ambiental/>
- Subdere. (2023). *División Política Administrativa 2023*. Obtenido de <https://www.geoportal.cl/geoportal/catalog/36391/Divisi%C3%B3n%20Pol%C3%ADtica%20Administrativa%202023>
- Valle, A. d. (2022). *Memorias anuales*. Obtenido de <https://www.aguasdelvalle.cl/personas/nosotros/inversionistas/informacion-financiera/memorias-anuales/>
- 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.