

**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 TARAPACÁ

REV. 0

Preparado para:



marzo de 2025

CONTENIDO

CAPÍTULO 1	INTRODUCCIÓN	9
1.1	INTRODUCCIÓN	9
1.2	MARCO ESTRATÉGICO REGIONAL	10
1.2.1	Visión objetivo	10
1.2.2	Objetivo estratégico general	11
1.2.3	Objetivos estratégicos específicos	11
CAPÍTULO 2	DIAGNÓSTICO ACTUAL Y PROYECTADO DEL DESARROLLO DEL SECTOR HÍDRICO DE LA REGIÓN	14
2.1	CARACTERIZACIÓN DE LA REGIÓN	14
2.1.1	Dimensión física	14
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	24
2.2.4	Generación eléctrica	27
2.2.5	Minero	28
2.2.6	Industrial	29
2.2.7	Forestal	30
2.2.8	Pecuario	30
2.2.9	Acuícola	31
2.2.10	Caudal de reserva de uso turístico y protección ambiental	32
2.2.11	Análisis de demanda total en la región	33
2.3	ANÁLISIS DE OFERTA HÍDRICA	35
2.3.1	Oferta hídrica	35
2.3.2	Eventos extremos	46
2.3.3	Calidad de aguas	48
CAPÍTULO 3	ANÁLISIS DE INFRAESTRUCTURA HÍDRICA	51

3.1	INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA Y NUEVAS FUENTES EXISTENTES	51
3.1.1	Infraestructura hídrica existente al año 2023	51
3.1.2	Infraestructura hídrica propuesta en cartera pública existente	63
CAPÍTULO 4	BRECHAS HÍDRICAS	68
4.1	BRECHAS DE BALANCE HÍDRICO	68
4.2	BRECHAS ESTRATÉGICAS	74
4.2.1	Brechas de Información	74
4.2.2	Brechas de seguridad hídrica para el derecho humano al agua, saneamiento y consumo humano de subsistencia	75
4.2.3	Brechas de seguridad para la producción sostenible y eficiencia hídrica	78
4.2.4	Brechas de seguridad hídrica para la conservación y preservación de los ecosistemas	80
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	83
4.2.6	Resumen de brechas estratégicas	85
4.3	BRECHAS DE INFRAESTRUCTURA	87
4.3.1	Desarrollo matriz OAI	87
4.3.2	Identificación de brechas de infraestructura	96
CAPÍTULO 5	IDENTIFICACIÓN DE INICIATIVAS DE INFRAESTRUCTURA, INNOVADORAS Y DE GESTIÓN	99
5.1	IDENTIFICACIÓN DE INICIATIVAS ESTRATÉGICAS	99
5.2	TIPOLOGÍAS DE PROYECTOS	101
5.3	CONFORMACIÓN DE LA CARTERA DE PRE/INVERSIONES	102
5.4	DETERMINACIÓN DE COSTOS UNITARIOS DE TIPOLOGÍAS DE PROYECTOS	108
5.5	VALORIZACIÓN DE INICIATIVAS ESTRATÉGICAS	112
5.6	ESTIMACIÓN DE BENEFICIOS PARA LA MATRIZ HÍDRICA	113
5.6.1	Beneficios de Inversiones	113
5.6.2	Incidencia en Matriz Hídrica	117
CAPÍTULO 6	EVALUACIÓN MULTICRITERIO Y SOCIOECONÓMICA	121
6.1	EVALUACIÓN MULTICRITERIO	121
6.2	EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA	124
6.3	PRIORIZACIÓN Y CARTERA DE INVERSIONES	125
CAPÍTULO 7	PROPUESTA DE ESCENARIOS DE DESARROLLO	130
7.1	SELECCIÓN DE FACTORES CRÍTICOS PARA LA TOMA DE DECISIÓN	130

7.1.1	Contexto regional y áreas de intervención prioritarias	131
7.1.2	Factores críticos regionales	132
7.2	PROPUESTA DE ESCENARIOS DE DESARROLLO	133
7.2.1	Análisis de estancamiento crítico	134
7.2.2	Análisis de desafío gestionable	136
7.2.3	Análisis de capacidad limitada	138
7.2.4	Análisis de avance sostenible y resiliente	140
	PROPUESTA DE PROSPECTIVA DE REQUERIMIENTOS DE INFRAESTRUCTURA	
HÍDRICA	143	
CAPÍTULO 8	143	
8.1	SEGURIDAD HÍDRICA EN LA REGIÓN: ESTADO DEL ARTE	143
8.2	EL FUTURO EXISTE EN EL POTENCIAL DEL PRESENTE: POLÍTICAS PÚBLICAS E INNOVACIONES	145
8.3	GOBERNANZA PARA EL FUTURO DESEADO: EL ROL DEL MOP Y ACTORES CLAVE	146
8.4	FRENTE A LA INCERTIDUMBRE: VISIÓN COMÚN PARA LA RESILIENCIA	146
8.5	MEGATENDENCIAS Y SUS POTENCIALES CONSECUENCIAS: ESCENARIOS DE DESARROLLO	147
8.6	ADAPTACIÓN COMO CAMINO PARA NAVEGAR LA INCERTIDUMBRE	147
8.7	SOLUCIONES SINÉRGICAS PARA PROBLEMAS COMPLEJOS: INICIATIVAS ESTRATÉGICAS	148
8.8	MONITOREO Y ESTRATEGIAS DE CONTINGENCIA	151
CAPÍTULO 9	BIBLIOGRAFÍA	152

FIGURAS

Figura 2.1-1	Hidrografía de la región de Tarapacá.....	16
Figura 2.1-2	Distribución geográfica áreas protegidas, humedales y sitios prioritarios de región de Tarapacá	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 con proyección hasta el año 2055	26
Figura 2.2-4	Distribución de demanda total consuntiva regional (%), por uso - año 2023	33
Figura 2.2-5	Distribución de demanda total consuntiva regional (Mm3/año), por uso – actual y proyectada	34
Figura 2.2-6	Distribución de demanda total consuntiva no extractiva y no consuntiva regional (Mm3/año), por uso – actual y proyectada	35
Figura 2.3-1	Cuencas y subcuencas de la región de Tarapacá según clasificación BNA	36
Figura 2.3-2	Ubicación geográfica de los DAA superficiales en la región de Tarapacá, por tipología	38
Figura 2.3-3	Restricciones de uso sobre fuentes superficiales, región de Tarapacá	39
Figura 2.3-4	Ubicación geográfica de los DAA subterráneas en la región de Tarapacá, por tipología	43
Figura 2.3-5	Restricciones de uso sobre fuentes subterráneas, región de Tarapacá	44
Figura 3.1-1	Distribución de viviendas en región de Tarapacá 2017	54
Figura 3.1-2	Distribución de hogares en zonas rurales con acceso a servicios básicos, según la fuente de obtención de agua.....	54
Figura 3.1-3	Acceso a la red de agua potable según indicador BS12 en las viviendas rurales de la región de Tarapacá	55
Figura 3.1-4	Cobertura de sistemas de alcantarillado de la población rural de la región de Tarapacá según indicador BS13.....	56

Figura 3.1-5	Infraestructura principal asociada a los recursos hídricos de la región de Tarapacá	60
Figura 3.1-6	Red hidrométrica de la región de Tarapacá.....	62
Figura 4.1-1	Probabilidad de excedencia sobre la curva de oferta, de la demanda actual y futura, cuenca BNA 017	70
Figura 4.1-2	Indicadores de disponibilidad hídrica para el año 2025 en la región de Tarapacá	71
Figura 4.1-3	Variación de indicadores de disponibilidad hídrica proyectada por año en la región de Tarapacá	73
Figura 4.2-1	Resumen de Brechas Estratégicas por Cuenca Región de Tarapacá	86
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 Tarapacá	93
Figura 5.1-1	Diagrama de flujo Iniciativas Estratégicas.....	100
Figura 5.2-1	Diagrama Composición Iniciativas Estratégicas.....	101
Figura 5.3-1	Diagrama Estructura Iniciativas Estratégica, Tipología de Proyectos y Cartera de Pre/Inversiones.....	103
Figura 5.3-2	Diagrama de Composición de Cartera de Pre/inversión.....	104
Figura 6.3-1	Diagrama de proceso para la generación de la cartera de inversión	126
Figura 6.3-2	Composición de la cartera de inversión por tipología de proyecto para la región de Tarapacá	127
	Cartera de inversión por tipo de iniciativa estratégica para la región de Tarapacá	128
	Cartera de inversión por tipo de fuente de inversión para la región de Tarapacá	129
Figura 8.1-1	Distribución de demanda total regional (%), por uso - año 2023.....	145
Figura 8.7-1	Inversión total distribuida por Iniciativas Estratégicas	149

TABLAS

Tabla 2.2-1	Estimación demanda Agua Potable Urbana actual y futura– Cuencas BNA región Tarapacá	20
Tabla 2.2-2	Estimación demanda hídrica Agua Potable Rural actual y futura– Cuencas BNA región Tarapacá	23
Tabla 2.2-3	Proyección de la población rural en áreas con APR – Cuencas BNA región Tarapacá	23
Tabla 2.2-4	Estimación demanda hídrica áreas rurales sin APR actual y futura– Cuencas BNA región Tarapacá	24
Tabla 2.2-5	Proyección de la población rural en áreas sin APR – Cuencas BNA región Tarapacá	24
Tabla 2.2-6	Estimación demanda hídrica Agrícola actual y futura – Cuencas BNA región de Tarapacá	25
Tabla 2.2-7	Estimación demanda hídrica generación eléctrica actual y futura– Cuencas BNA Región Tarapacá	27
Tabla 2.2-8	Estimación demanda hídrica minera actual y futura – Cuencas BNA Región Tarapacá	28
Tabla 2.2-9	Estimación demanda hídrica Forestal actual y futura – Cuencas BNA Región Tarapacá	30
Tabla 2.2-10	Estimación demanda hídrica Pecuaria actual y futura – Cuencas BNA Región Tarapacá	31
Tabla 2.2-11	Estimación demanda hídrica Acuícola actual y futura – Cuencas BNA región Tarapacá	32
Tabla 2.2-12	Caudales de Reserva para protección ambiental – Cuencas BNA región de Tarapacá	33
Tabla 2.2-13	Resumen de demandas consuntivas – Cuencas BNA región de Tarapacá	34
Tabla 2.3-1	Oferta hídrica actual y proyectada de agua superficial en región de Tarapacá	40
Tabla 2.3-2	Escorrentía total y glaciar en periodo histórico 1985-2015.....	41
Tabla 2.3-3	Oferta hídrica actual de agua subterránea en región	45
Tabla 2.3-4	Oferta hídrica actual y proyectada de agua subterránea en región	45
Tabla 2.3-5	Precipitación Máxima en 24 Horas para T = 20 años.....	46

Tabla 2.3-6	Eventos extremos históricos en la región de Tarapacá, periodo 1912-2017	47
Tabla 2.3-7	Cuencas afectadas por eventos extremos en la región de Tarapacá, periodo 2017-2023	47
Tabla 3.1-1	Producción de agua y número de territorios operacionales por cuenca	52
Tabla 3.1-2	Planes de desarrollo vigentes según concesión en la región de Tarapacá	53
Tabla 3.1-3	Estaciones de monitoreo de la región de Tarapacá	61
Tabla 3.1-4	Iniciativas clasificadas según tipología y estrategia de acción	63
Tabla 3.1-5	Iniciativas según tipologías y características básicas	64
Tabla 3.1-6	Iniciativas con estado de ejecución	65
Tabla 3.1-7	Iniciativas planificadas dentro de los planes de desarrollo de las empresas sanitarias para la región de Tarapacá	65
Tabla 3.1-8	Inversión histórica MOP 2015-2023 según estrategias de acción	66
Tabla 4.1-1	Brechas Hídricas por Cuenca Región de Tarapacá	72
Tabla 4.2-1	Brechas Estratégicas de Consumo Humano por Cuenca Región de Tarapacá	77
Tabla 4.2-2	Brechas Estratégicas de Desarrollo Económico por Cuenca Región de Tarapacá	79
Tabla 4.2-3	Brechas Estratégicas de conservación y preservación de los ecosistemas, por Cuenca Región de Tarapacá	81
Tabla 4.2-4	Brechas Estratégicas de conservación y preservación de los ecosistemas, por Cuenca Región de Tarapacá (continuación)	82
Tabla 4.2-5	Brechas Estratégicas resiliencia frente a amenazas asociadas a eventos extremos por Cuenca Región de Tarapacá	84
Tabla 4.3-1	Tipología de iniciativas asociadas a resolver brechas estratégicas en la región de Tarapacá	90
Tabla 4.3-2	Universo y metas de infraestructura según tipología en la región de Tarapacá	98
Tabla 5.1-1	Iniciativas Estratégicas	101
Tabla 5.2-1	Tipologías de Proyectos por Iniciativas Estratégicas	102
Tabla 5.3-1	Criterios para la determinación de las iniciativas a proyectar TAR-INI-EST-01	105
Tabla 5.3-2	Criterios para la determinación de las iniciativas a proyectar TAR-INI-EST-02	105
Tabla 5.3-3	Criterios para la determinación de las iniciativas a proyectar TAR-INI-EST-03 y TAR-INI-EST-06	106
Tabla 5.3-4	Criterios para la determinación de las iniciativas a proyectar TAR-INI-EST-04	108
Tabla 5.3-5	Criterios para la determinación de las iniciativas a proyectar TAR-INI-EST-05	108
Tabla 5.4-1	Precios Unitarios de Tipologías de Proyectos según Etapa MDSyF	109

Tabla 5.5-1	Costos totales propuesta por IE para dar respuesta a las brechas identificadas	113
Tabla 5.6-1	Criterios para la estimación de beneficios por Inversión (General)	114
Tabla 5.6-2	Criterios para la estimación de beneficios Matriz Hídrica	118
Tabla 6.1-1	Criterios de Evaluación de Inversiones y valorización para su priorización	123
Tabla 8.1-1	Balance Hídrico Estructural actual de la región de Tarapacá	145

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

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

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 2025-2050.

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.

La Región de Tarapacá, conocida por su actividad minera, turística, portuaria y paso fronterizo, posiciona la calidad de vida de las personas como foco de su desarrollo, relevando la visión ciudadana en un contexto de multiculturalidad y perspectiva de género. Tarapacá reconoce y gestiona sus recursos y riesgos, contribuyendo con prácticas productivas sostenibles y resilientes, considerando las vocaciones de cada territorio, incluyéndolas como variables estratégicas dentro de la planificación de servicios de infraestructura y gestión intersectorial.

Posee una matriz de desarrollo productivo diversificada, lo que se complementa con una ubicación geográfica estratégica, una eficaz plataforma de servicios y de logística, que contribuye a la integración regional, nacional e internacional a través de sistemas multimodales.

En relación al cambio climático, la Región genera procesos de adaptación e implementa medidas innovadoras, en la gestión de riesgo, la seguridad hídrica y la mitigación para preservar los servicios ecosistémicos naturales y el patrimonio natural y cultural, teniendo especial consideración en servicios de infraestructura que apoyen la seguridad de sus territorios urbanos y rurales.

En base a lo anterior, se presenta a continuación el objetivo estratégico general y los objetivos estratégicos específicos elaborados a partir de la revisión y análisis del Estudio de Análisis Integral Desarrollado para el Plan Director 2025-2055 (DIRPLAN, 2024), el Plan de Riego de la región (CNR, 2017), los Planes Estratégicos de Gestión Hídrica (PEGHs) desarrollados dentro de la región (DGA, 2021), los Planes Estratégicos Regionales del

Gobierno Regional de Tarapacá (GORE Atacama, 2020), el Plan Chile 30/30 (MOP, 2018), Plan de Infraestructura y Gestión de Recursos Hídricos al 2021 (PRIGRH) (MOP, 2012), y por último el Inventario de Planes del Ministerio de Obras Públicas (MOP, 2023). El detalle del análisis realizado se presenta en el Anexo 02.05.02.

1.2.2 Objetivo estratégico general

Fortalecer la seguridad hídrica en la región de Tarapacá mediante una gestión integral, robusta y eficiente de los recursos hídricos, tanto superficiales como subterráneos, a través de la implementación de infraestructura resiliente e innovadora, que esté en armonía con las dinámicas morfológicas y climáticas de la región. Se promoverá la tecnificación para habilitar nuevas fuentes de agua y mejorar el manejo del recurso hídrico. Además, se fomentará la participación activa de los diversos actores usuarios del agua en la gestión y optimización de su uso en los sistemas productivos, así como la capacitación en desarrollo local para prevenir, mitigar y adaptarse a los efectos del cambio climático.

1.2.3 Objetivos estratégicos específicos

1. Garantizar el acceso al agua potable y a un saneamiento adecuado, centrándose en satisfacer las diversas necesidades de los diferentes contextos territoriales y abordar los desafíos específicos de género. Además, generar procesos de adaptación e implementar medidas innovadoras de seguridad hídrica para consumo humano con énfasis en servicios de infraestructura para reforzar la resiliencia de los territorios urbanos y rurales. Proporcionar estos servicios de infraestructura críticos para mejorar las condiciones sanitarias y mejorar el acceso al agua potable y al alcantarillado contribuirá a mejorar la calidad de vida general en los asentamientos humanos de la región.
2. Desarrollar y expandir un sistema integral de producción y saneamiento sanitario urbano y rural en la región, mediante la implementación de tecnologías innovadoras en desalinización, potabilización y reciclaje de agua, complementado con la creación de proyectos que aprovechen las aguas de las crecidas del invierno altiplánico, con el fin de mejorar la cobertura, eficiencia y sostenibilidad de los recursos hídricos y de saneamiento en la región.
3. Desarrollar procesos adaptativos e innovadores que fortalezcan la seguridad hídrica, priorizando la mejora de infraestructuras esenciales para la protección de territorios urbanos y rurales. Además, optimizar la gestión del riego y potenciar la agricultura en las cuencas hídricas, impulsando un uso eficiente y sostenible del recurso hídrico mediante la implementación de nuevas

tecnologías y mecanismos para la captación, almacenamiento y distribución del agua.

4. Mejorar la infraestructura y gestión del sistema de riego en las quebradas, enfocándose en la renovación de canales, acequias y bocatomas, y la formación y coordinación de entidades con atribuciones en la gestión, regulación y resolución de conflictos sobre recursos hídricos, y promover la eficiencia en el uso del agua mediante la implementación de tecnologías de innovación avanzadas de riego, para un uso eficiente del recurso, aumentando la productividad agrícola.
5. Implementar procesos de adaptación y medidas innovadoras para mitigar riesgos y preservar los servicios ecosistémicos naturales y el patrimonio natural en la región, mediante la construcción de estanques acumuladores nocturnos, el desarrollo de estrategias efectivas para la prevención y control de la contaminación de pasivos ambientales, y la promoción de prácticas sostenibles que garanticen la integridad ecológica y la gestión eficiente de los recursos naturales.
6. Fortalecer los modelos de gobernanza colaborativa, como también la gestión y distribución de la información hídrica a través de mejoras en la cobertura, sistemas y métodos de medición, así como también, el fomento a nuevas tecnologías de riego para reducir pérdidas y mejorar la eficiencia, incorporando un análisis integral de los recursos hídricos subterráneos y su impacto en las fuentes naturales y sistemas ambientales. Desarrollar una gestión integral de las aguas subterráneas en Tarapacá que asegure la sostenibilidad de los acuíferos, considerando su capacidad de recarga, la calidad del agua y su impacto en los ecosistemas existentes, como vegas y bofedales. Esto mediante una planificación informada que contemple un conocimiento detallado del funcionamiento de estos sistemas hídricos y de la demanda ambiental en la región, promoviendo el monitoreo continuo de los acuíferos y la realización de estudios que garanticen la preservación y salud de los ecosistemas locales.
7. Desarrollar un enfoque integral y adaptativo en la gestión de riesgos relacionados con la infraestructura hídrica y el manejo de desastres, principalmente en las provincias de Iquique y Tamarugal, promoviendo la resiliencia mediante medidas de innovación. Esto incluye la identificación de áreas de riesgo, la creación de medidas de mitigación y prevención en colaboración con la comunidad, y el diseño de alternativas para la construcción de bocatomas definitivas y protección ante crecidas. Además, fortalecer los

sistemas de alerta y registro de eventos hidrológicos extremos (EHE) para reducir la vulnerabilidad regional frente a los impactos del cambio climático y mejorar la capacidad de respuesta y reconstrucción en situaciones de emergencia.

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

2.1 CARACTERIZACIÓN DE LA REGIÓN

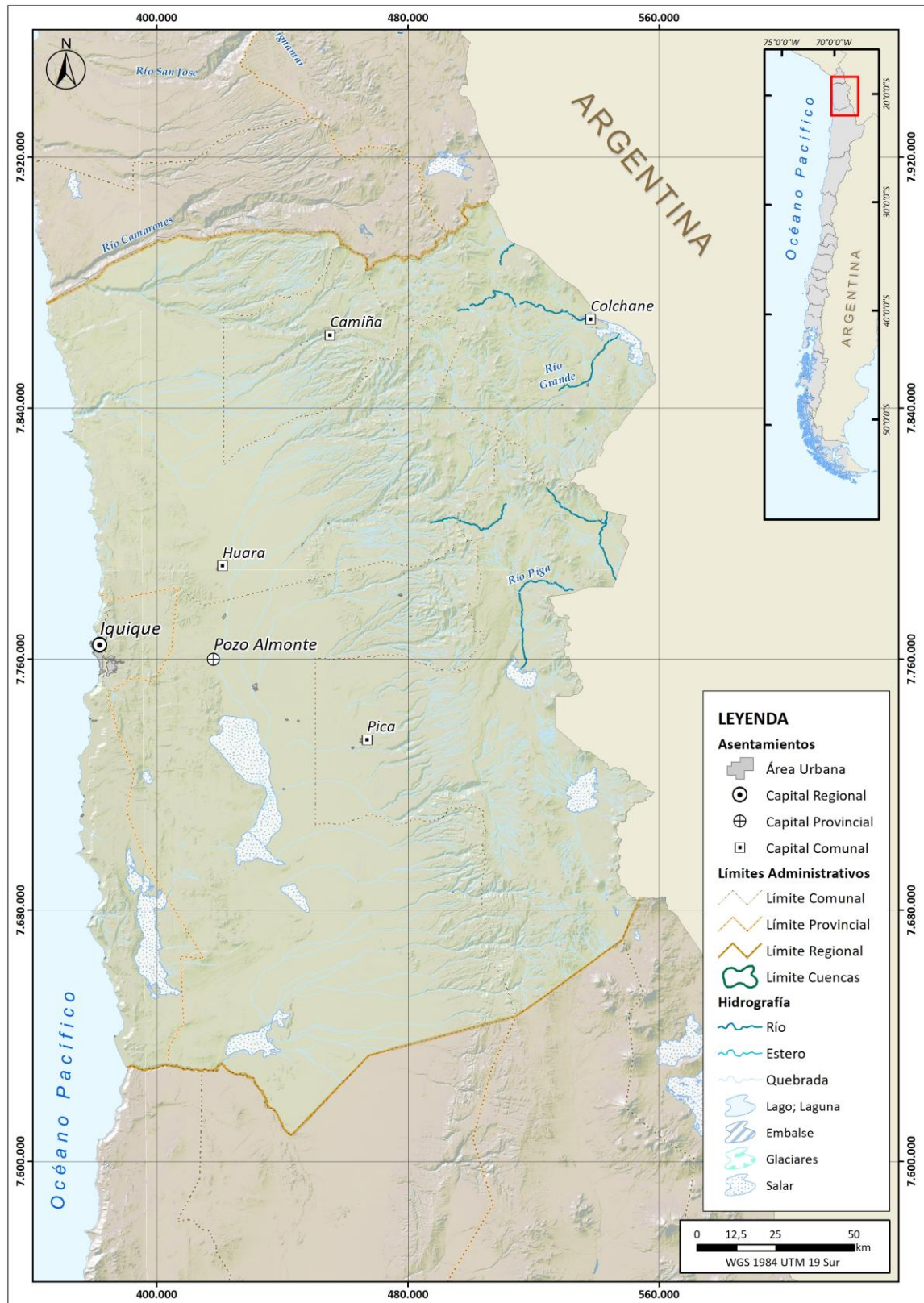
A continuación, se presentan las principales características de la región en términos físicos, climáticos y socio-económicos. El detalle de este trabajo se presenta de en el Anexo 02.01 del presente estudio.

2.1.1 Dimensión física

La Región de Tarapacá se encuentra en la zona geomorfológica denominada "Región septentrional de las planicies desérticas y cordilleras pre altiplánicas", que se divide en cuatro macro unidades: Planicie Litoral, Cordillera de la Costa, Depresión Intermedia y Cordillera de los Andes, donde se ubican el Salar del Huasco y el Salar de Coposa. La geomorfología está marcada por el Ciclo Andino, con formaciones geológicas desde el Jurásico Inferior hasta la actualidad, producto de la subducción de placas. En la Cordillera de la Costa, se observan rocas volcánicas e intrusivas, seguidas de secuencias sedimentarias. La Depresión Central, como una cuenca sin conexión al mar, alberga depósitos sedimentarios aluviales y salinos, incluyendo el Salar de Pintados y los depósitos de nitrato natural. Hacia el este, la Precordillera muestra un relieve elevado, resultado de fallas inversas y actividad tectónica neógena, con importantes yacimientos de minerales. En cuanto al drenaje, la región se caracteriza por cursos de agua esporádicos y endorreicos, destacando la Quebrada de Tana, la Quebrada de Tarapacá y la Quebrada de Aroma. En el altiplano, los ríos Isluga y Cariquima son los principales exponentes, perteneciendo al sistema endorreico (MOP, 2012). La hidrografía detallada se puede observar en la Figura 2.1-1.

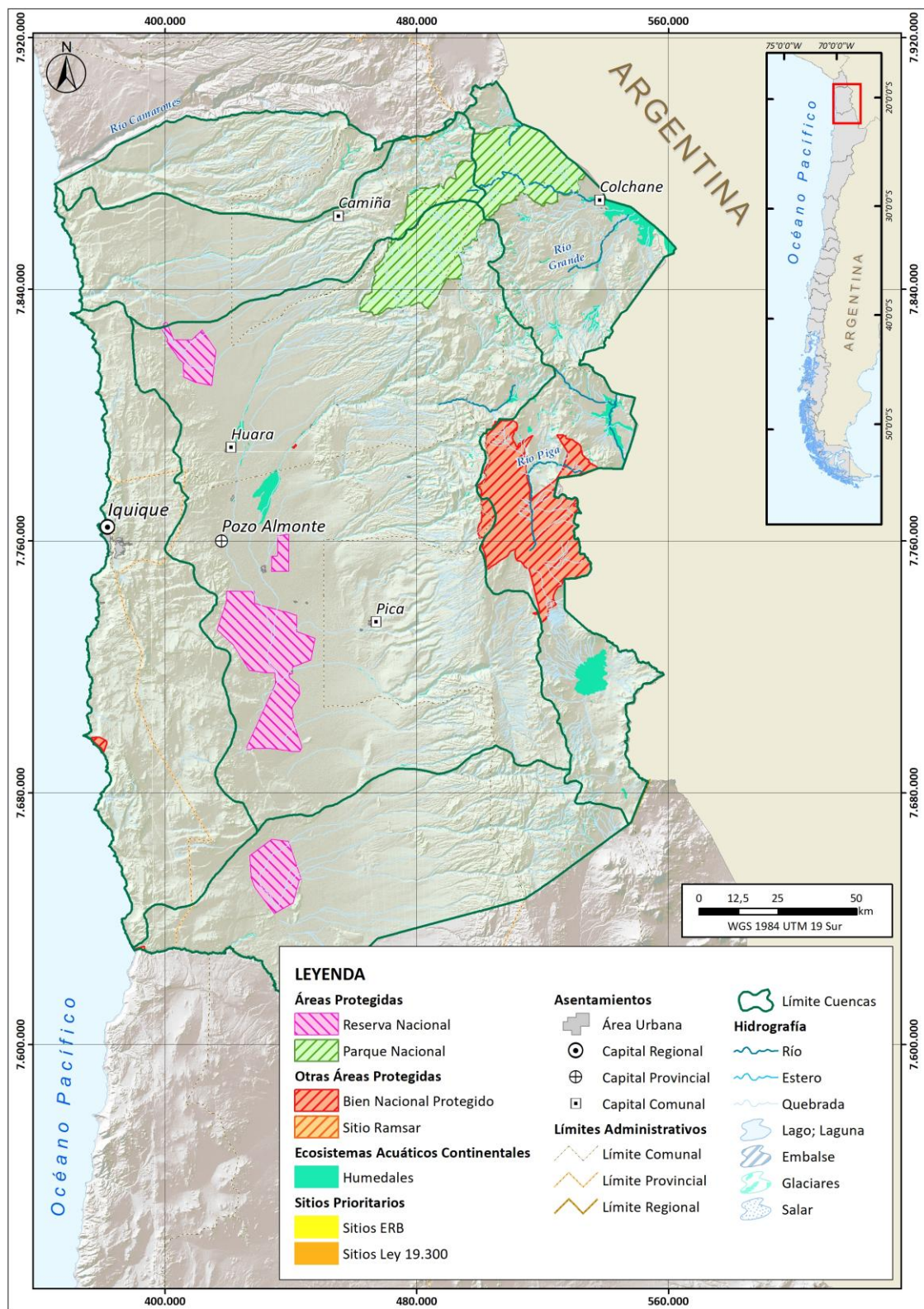
En el ámbito ambiental, la Región de Tarapacá también cuenta con áreas protegidas que abarcan diversos ecosistemas y niveles de biodiversidad, según el Registro Nacional de Áreas Protegidas (RNAP) del Ministerio de Medio Ambiente (MMA). Entre estas áreas se destacan el Parque Nacional Volcán Isluga y la Reserva Nacional Pampa del Tamarugal, que representan importantes reservas naturales en la región. Estas áreas ofrecen un refugio

vital para la flora y fauna local, así como oportunidades para la recreación al aire libre, la educación ambiental y la investigación científica, contribuyendo así a la conservación del patrimonio natural de Tarapacá. Sin embargo, la protección de humedales en la región de Tarapacá muestra una situación variada en cuanto a criticidad. Las cuencas Q. Río Camarones y Costeras Tilviche - Loa tienen una alta criticidad, con porcentajes de protección inferiores al 1%. Por otro lado, la cuenca Altiplánicas, Costeras R. Camarones – Pampa Tamarugal, Pampa Tamarugal y Río Loa tiene una criticidad media con porcentajes de protección de humedales que fluctúan entre 7% y 23%. Esta situación refleja una variada criticidad en la brecha de degradación y pérdida de servicios ecosistémicos provistos por humedales, salares u otro tipo de ecosistema acuático, evaluada en cada cuenca de la región (ver sección 4.2.4).



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

Figura 2.1-1 Hidrografía de la región de Tarapacá



Fuente: Elaboración propia.

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

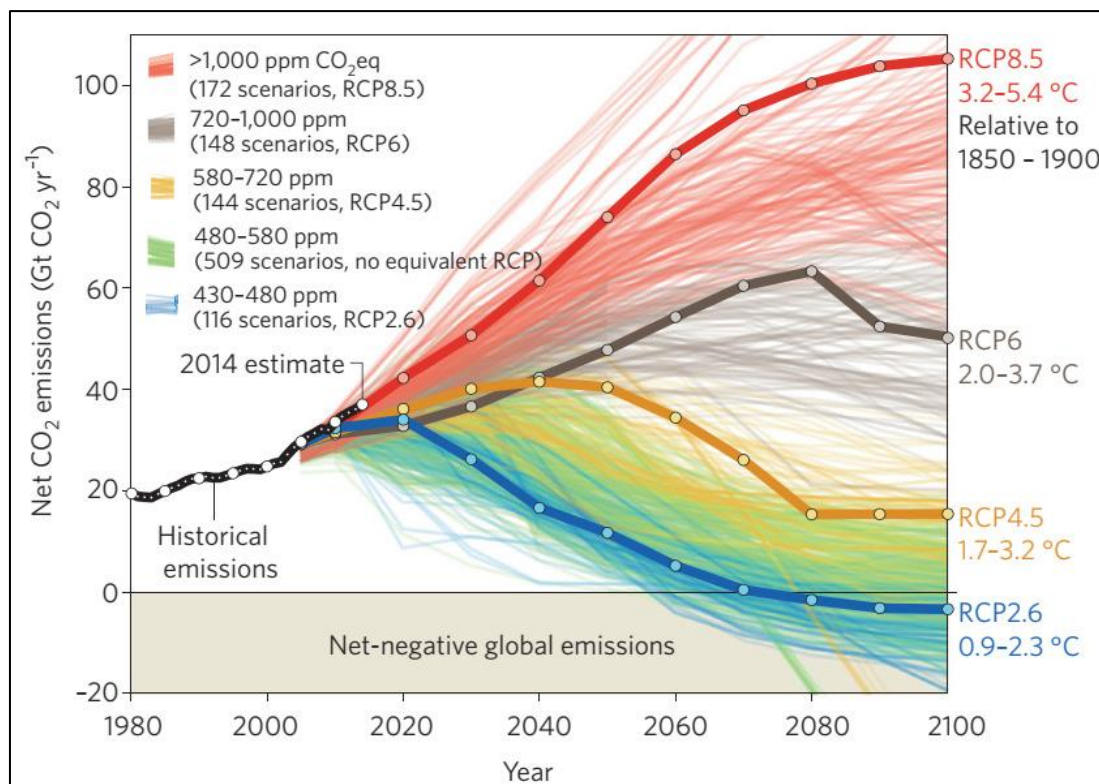
2.1.2 Clima

En la Región de Tarapacá se encuentran cuatro unidades de subtipos climáticos desérticos. En primer lugar, está el clima desértico costero nuboso, que se extiende a lo largo de toda la costa y se caracteriza por nieblas matinales conocidas como "camanchaca", generadas por la corriente fría de Humboldt, con una temperatura media anual de 18,1°C y escasas precipitaciones. Luego, se presenta el clima desértico interior en la pampa, sobre los 1.000 metros de altura, sin influencia oceánica, extremadamente árido con precipitaciones anuales de 0 mm y temperaturas medias de 18°C. Más hacia el interior se encuentra el clima desértico marginal de altura, sobre los 2.000 metros, con temperaturas más moderadas y lluvias escasas, fluctuando entre 50 y 100 mm anuales. Finalmente, en el altiplano por encima de los 3.000 metros de altura, predomina el clima de estepa de altura, con un aumento significativo en las precipitaciones, alcanzando hasta 300 mm de agua caída al año.

En el Anexo 02.01 se presenta la clasificación climática de Köppen-Geiger; además de los diagramas ombrotérmicos para cada cuenca de la región, calculados dentro del periodo histórico considerado 1985-2015, con información extraída del producto meteorológico CR2Met v2.5, asociado al estudio Homologación del cálculo hidrológico para la estimación de la oferta natural de agua histórica y futura en Chile (DGA, 2022).

Estos datos climáticos fueron obtenidos a partir de los resultados de las simulaciones 4 modelos de circulación general (GCM, por sus siglas en inglés) de la iniciativa CMIP-5¹ (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5), siendo ajustados a una escala espacial de 0,05° x 0,05° para Chile. Estos modelos poseen información histórica hasta el año 2005, por lo que, a partir de ese año, los resultados reportados corresponden a proyecciones. Los GCM utilizados corresponden a aquellos del escenario de emisiones RCP8.5, que supone la mayor tasa de emisiones hacia el futuro, siendo la más pesimista, pero que mejor predijeron lo ocurrido desde el año 2005 hasta el año 2014, como se puede ver en la Figura 2.1-3. El GCM representativo de la región corresponde al CSIRO-Mk3-6-1. Mayor información sobre los GCM seleccionados se presenta en Anexo 02.01.

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 Tarapacá, ubicada en la macrozona norte de Chile, abarca un área de 613.230 km². Según proyecciones del Censo de Población y Vivienda para el año 2035, se espera que su población alcance los 453.219 habitantes, lo que representaría un aumento del 37,11% en comparación con las cifras del censo de 2017 para el año 2019 (INE, 2017). Este crecimiento sería significativo, con un incremento de casi un 40% más de habitantes en la región. La estructura poblacional sería regresiva, con una proporción mayor de habitantes en el rango de 25 a 64 años en comparación con los extremos de edades. Además, la población se distribuiría mayormente en áreas urbanas, con un 93,8%, y en áreas rurales, con un 6,2% (INE, 2017).

El Producto Interno Bruto (PIB) de la Región de Tarapacá consignado por el Banco Central de Chile (BC) al año 2022, corresponde a \$7.585 mil millones de pesos, representando el 2,89% a nivel nacional. En términos sectoriales, se destaca la minería (41,3%), seguida por construcción (13,4%) e industria manufacturera (8,3%). Respecto al sector electricidad, gas, agua y gestión de desechos, este alcanza un 1,4% del PIB regional, mientras que el sector agropecuario-silvícola tiene un 0,1% 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 Tarapacá 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 02.02.

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

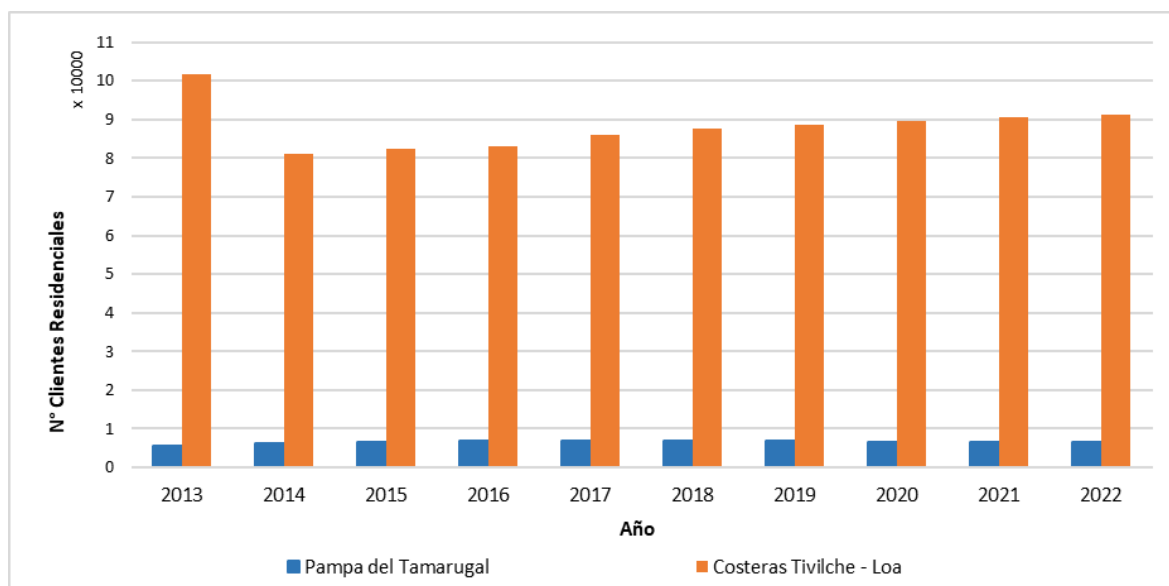
Cód. Cuenca	Cuenca	Demanda ($Mm^3/año$)				
		2022	2025	2035	2045	2055
010	Altiplánicas	0	0	0	0	0
015	Quebrada Río Camarones	0	0	0	0	0
016	Costeras Río Camarones - Pampa del Tamarugal	0	0	0	0	0
017	Pampa del Tamarugal	1.789	1.835	2.223	2.563	2.866
018	Costeras Tilviche - Loa	21.105	22.414	27.098	30.980	34.272
021	Río Loa	0	0	0	0	0
Total		22.894	24.249	29.321	33.543	37.138

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 asociada al aumento de la población urbana que demanda el recurso hídrico. Asimismo, se observa que la demanda se concentra en las cuencas Pampa del Tamarugal (Código cuenca N°017) y Costeras Tilviche – Loa (Código cuenca N°018), en donde opera el sistema de producción de agua potable Iquique – Alto Hospicio – Pozo Almonte, que abastece a la mayor población de la región.

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

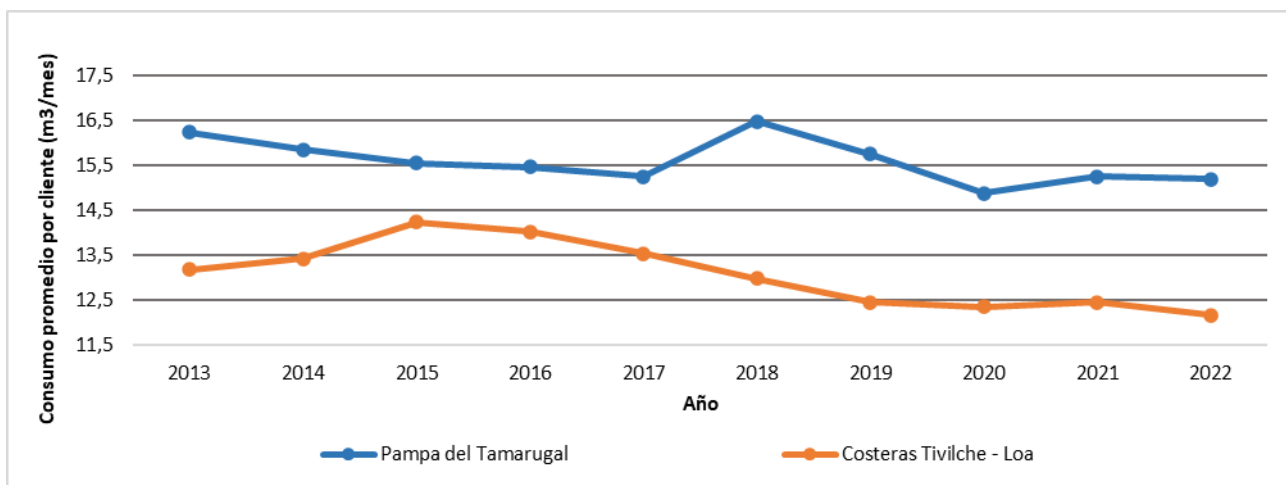
En relación a lo anterior, se identifica que el mayor número de clientes corresponde a Clientes Residenciales los que representan el 95,64% del total de clientes en la región. Respecto a la tasa de crecimiento, en los últimos 10 años, los Clientes Residenciales presentan en promedio un incremento en la tasa de crecimiento 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 (2023)

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

Junto con el aumento del número de clientes, se ha observado una leve tendencia a la baja en relación al consumo mensual promedio por cliente residencial (Figura 2.2-2). Cabe destacar que, la cuenca que más consumo promedio es la Pampa del Tamarugal (código BNA 017), mientras que las cuencas costeras Tivilche - Loa presenta una tendencia a la baja a partir del año 2015.



Fuente: SISS (2023)

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

En cuanto a las fuentes de abastecimiento, estas son de carácter mixto, es decir, corresponde a fuentes superficiales y subterráneas, siendo un 90% de fuentes de origen subterráneo (Aguas del Altiplano, 2022). El sistema de agua potable parte en la extracción de agua desde los pozos en plena Pampa del Tamarugal y luego es trasladada a Iquique utilizando una planta elevadora y estanques por más de 70 km a través del desierto (Aguas del Altiplano, 2022).

En este sentido, Aguas del Altiplano (2022) menciona diferentes medidas para mejorar la eficiencia y distribución del recurso hídrico, realizando inversiones para la mejora y actualización de redes de distribución y búsqueda para el desarrollo de nuevas fuentes como la desalinización.

2.2.2 Agua potable rural

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

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 las cuencas. 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 02.02.

Tabla 2.2-2 Estimación demanda hídrica Agua Potable Rural actual y futura– Cuencas BNA región Tarapacá

Cód. Cuenca	Cuenca	Demanda (Mm3/año)				
		2022	2025	2035	2045	2055
010	Altiplánicas	92	95	213	226	234
015	Quebrada Río Camarones	0	0	0	0	0
016	Costeras Río Camarones - Pampa del Tamarugal	69	71	130	138	143
017	Pampa del Tamarugal	340	352	511	542	560
018	Costeras Tilviche - Loa	131	136	234	248	256
021	Río Loa	19	20	48	51	52
Total		651	674	1.136	1.205	1.245

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

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

En la Tabla 2.2-3 se presenta la proyección de la población rural de áreas con APR en las cuencas de la región de Tarapacá, donde se observa un incremento en la población rural para el año 2055 respecto de la población actual de alrededor de un 49% en las cuencas Altiplánicas (código BNA 010) y un 61% en las cuencas Costeras Río Camarones – Pampa del Tamarugal (código BNA 016), mientras que para las cuencas Costeras Tilviche- Loa (código BNA 018) el incremento poblacional es de alrededor de un 42% en relación al actual, en Pampa del Tamarugal (código BNA 017) un 28% y en la cuenca del Río Loa (código BNA 021) un 20%.

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

Cód. Cuenca	Cuenca	Población rural áreas con APR (hab)				
		2022	2025	2035	2045	2055
010	Altiplánicas	1.773	1.836	3.144	3.333	3.445
015	Quebrada Río Camarones	0	0	0	0	0
016	Costeras Río Camarones - Pampa del Tamarugal	669	693	1.582	1.678	1.734
017	Pampa del Tamarugal	7.482	7.750	9.456	10.025	10.363
018	Costeras Tilviche - Loa	1.455	1.507	2.302	2.441	2.523
021	Río Loa	239	248	273	289	299
Total		11.618	12.034	16.757	17.766	18.365

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 19% de aumento en el consumo y

la población para el año 2055 en las cuencas Altiplánicas (código BNA 010), cuenca Pampa del Tamarugal (código BNA 017), cuencas Costeras Tilviche – Loa (código BNA 018) y la cuenca del Río Loa (código BNA 021).

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

Cód. Cuenca	Cuenca	Demanda Hídrica Áreas sin APR Actual y Futura (Mm3/año)				
		2022	2025	2035	2045	2055
010	Altiplanicas	39,8	40,8	45,0	47,7	49,3
015	Quebrada Río Camarones	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
016	Costeras Río Camarones - Pampa del Tamarugal	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
017	Pampa del Tamarugal	60,4	61,8	68,2	72,3	74,8
018	Costeras Tilviche - Loa	56,0	57,3	63,2	67,0	69,2
021	Río Loa	24,8	25,3	28,0	29,6	30,6
Total		181,0	185,2	204,3	216,6	223,9

Fuente: Elaboración propia.

Por último, en relación a las áreas de la región que no cuentan con APR, la Tabla 2.2-5 presenta las proyecciones de población rural para el año 2055.

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

CÓD. Cuenca	Cuenca	Población rural áreas sin APR (hab)				
		2022	2025	2035	2045	2055
010	Altiplánicas	2.182	2.233	2.463	2.611	2.699
015	Quebrada Río Camarones	0	0	0	0	0
016	Costeras Río Camarones - Pampa del Tamarugal	0	0	0	0	0
017	Pampa del Tamarugal	3.312	3.389	3.738	3.963	4.096
018	Costeras Tilviche - Loa	3.066	3.138	3.461	3.669	3.793
021	Río Loa	1.357	1.389	1.532	1.624	1.679
Total		9.918	10.148	11.193	11.867	12.267

Fuente: Elaboración propia.

2.2.3 Agrícola

Para estimar la demanda de agua para riego agrícola en la región de Tarapacá, 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, 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 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 02.02.

Tabla 2.2-6 Estimación demanda hídrica Agrícola actual y futura – Cuencas BNA región de Tarapacá

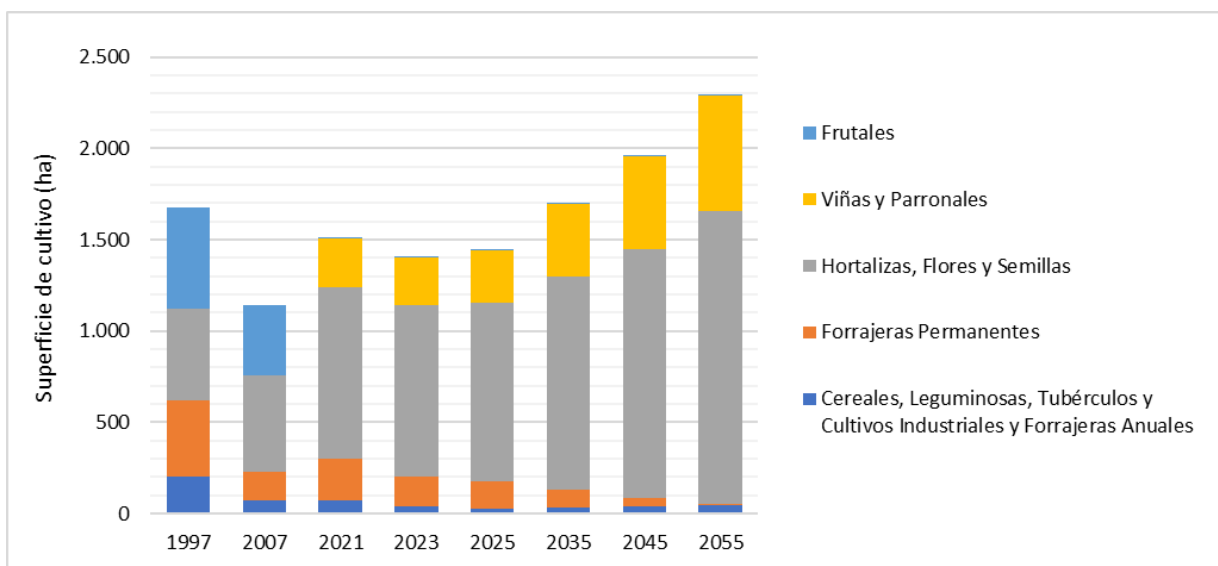
Cód. Cuenca	Cuenca	Demanda (Mm ³ /año)				
		2022	2025	2035	2045	2055
010	Altiplánicas	1.506	2.236	2.581	2.818	4.198
015	Q. Río Camarones	2.181	2.663	2.634	2.397	3.002
016	Costeras R. Camarones-Pampa del Tamarugal	3.907	4.310	3.857	3.314	3.843
017	Pampa del Tamarugal	11.568	13.644	15.906	18.041	21.073
018	Costeras Tilviche-Loa	3.082	3.254	3.690	4.142	4.652
021	Río Loa	3.400	3.991	4.652	5.497	6.254
Total		25.644	30.098	33.320	36.209	43.022

Fuente: Elaboración propia.

Según se desprende de la Tabla 2.2-6, se espera en la región un incremento del 68% en la demanda de agua para el período comprendido entre los años 2023 y 2055. El aumento previsto de la demanda, basado en datos censales históricos, se atribuye principalmente al aumento de la superficie cultivada de Hortalizas, Viñas y Parronales (Figura 2.2-3). Es importante destacar que las variaciones en la demanda, tanto al alza como a la baja, en el periodo comprendido entre los años 2023 y 2055 en una misma cuenca, se deben a las áreas registradas en los Censos Agropecuarios de los años 1997, 2007 y 2021, las cuales fueron sujetas a análisis de tendencia. En estos censos no se evidencia una tendencia lineal en las áreas de riego a lo largo de los años, lo cual se refleja en la proyección futura.

Los datos recopilados en los Censos Agropecuarios de los años 1997, 2007 y 2021 (INE, 2007; INE, 2021; INE, 1997), muestran un cambio en las áreas destinadas a diferentes tipos de cultivos durante el periodo 2007-2021. Se observa una reducción de la superficie dedicada a frutales y un aumento en la de viñas y parronales (Figura 2.2-3). Se estima que esta tendencia se mantendrá constante según las proyecciones hasta el año 2055. Este

cambio en el tipo de cultivo podría atribuirse a la mejor adaptación de las viñas y parronales a condiciones de estrés hídrico en comparación con otros frutales³.



Fuente: Elaboración propia.

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

En lo que respecta a la evolución de la demanda hídrica por tipo de cultivo, se destacan las hortalizas como uno de los principales consumidores de agua según las proyecciones que abarcan desde el año 2023 al 2055. Para el año 2023, se estima una demanda de 14.900 Mm³, con una tendencia creciente hasta alcanzar los 28.325 Mm³ para el año 2055. Esto representa un aumento del 90% en la demanda hídrica, consolidando a este cultivo como el de mayor necesidad de agua. Este aumento se debe a varios factores, por un lado, el cambio climático está afectando las tasas de evapotranspiración, lo que incrementa la cantidad de agua necesaria para mantener la productividad de los cultivos, siendo el principal factor, ya que la superficie del cultivo no cambia significativamente. La eficiencia en el uso del agua y las prácticas de riego juegan un papel crucial, así como la adopción de tecnologías de riego más eficientes, como el riego por goteo.

Además, de acuerdo a la información presentada en el Anexo 02.02, se observa una disminución significativa en los requerimientos de agua para los cultivos de forrajas permanentes y frutales atribuible principalmente a la reducción de la superficie cultivada durante el periodo 1997-2021 y su proyección al año 2055.

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

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

2.2.4 Generación eléctrica

A partir de los registros históricos de generación eléctrica obtenidos desde el Coordinador Eléctrico Nacional (CEN, 2024) se realizó una estimación de la demanda hídrica para la generación eléctrica en la región. Es importante destacar que todos los recursos hídricos requeridos para la generación eléctrica regional provienen del sector hidroeléctrico, lo que implica que su uso es del tipo no consuntivo. Los resultados se presentan en la Tabla 2.2-7, 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 02.02.

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

Cód. Cuenca	Cuenca	Demanda (Mm ³ /año)				
		2023	2025	2035	2045	2055
010	Altiplánicas	0	0	0	0	0
015	Q. Río Camarones	0	0	0	0	0
016	Costeras R. Camarones-Pampa del Tamarugal	0	0	0	0	0
017	Pampa del Tamarugal	0	0	0	0	0
018	Costeras Tilviche-Loa	40.406	41.931	43.016	44.856	44.842
021	Río Loa	0	0	0	0	0
Total		40.406	41.931	43.016	44.856	44.842

Fuente: Elaboración propia.

Según se desprende de la Tabla 2.2-7, la demanda de agua para la generación eléctrica se concentra en las cuencas Costeras Tilviche-Loa, donde se encuentra las centrales hidroeléctricas Santa Rosa, Toro 2, Alto Hospicio y Cavanha. Las proyecciones futuras indican un aumento en esta demanda, en línea con la tendencia al alza observada en los datos históricos de generación eléctrica en los últimos años.

Aunque se prevé un incremento en la demanda de agua hasta el año 2055, es relevante destacar que, según datos del Ministerio de Energía del año 2019, la generación eléctrica

regional alcanza un 100% a través de fuentes renovables, destacándose la energía solar y en menor medida la hidráulica (MINENERGIA, 2019).

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 del cobre y el resto a la minería no metálica, representada por las producciones de yodo y nitrato.

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 2.2-8 representa únicamente una estimación de la demanda hídrica continental.

Para actualizar los datos de producción a la actualidad, se utilizó el último “Anuario de la minería de Chile” correspondiente al año 2022 (SERNAGEOMIN, 2022a), 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 02.02.

Tabla 2.2-8 Estimación demanda hídrica minera actual y futura – Cuencas BNA Región Tarapacá

Cód. Cuenca	Cuenca	Demanda (Mm³/año)				
		2023	2025	2035	2045	2055
010	Altiplánicas	11.492	12.740	0	0	0
015	Q. Río Camarones	0	0	0	0	0
016	Costeras R. Camarones-Pampa del Tamarugal	295	325	386	469	516
017	Pampa del Tamarugal	17.237	18.564	21.827	26.219	28.854
018	Costeras Tilviche-Loa	19.510	21.654	2.642	3.061	3.345
021	Río Loa	44	0	0	0	0
Total		48.578	53.283	24.855	29.749	32.715

Fuente: Elaboración propia.

La proyección futura de la demanda de agua en la región, como se evidencia en la Tabla 2.2-8 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.

La estimación de la demanda también ha tenido en cuenta el proyecto de desalación en construcción por parte de la Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi. Según la información disponible, este proyecto se encuentra en la cuenca Costeras Tilviche-Loa y está programado para comenzar operaciones en 2026. Los resultados que se muestran en la Tabla 2.2-8 indican que, como resultado, se espera una reducción de la demanda en esta cuenca entre los años 2025 y 2035.

El aumento de la demanda en dos de las seis cuencas que integran la región se atribuye principalmente al aumento en la producción histórica de minerales de yodo y nitrato, que sirvió como base para calcular las proyecciones de demanda. Dada la falta de información respecto a la evolución del consumo unitario de agua continental por tonelada de mineral procesado se utilizaron los valores informados por el Decreto 743 (MOP, 2005).

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).

Actualmente, de acuerdo al informe Infraestructura Hídrica Compartida de COCHILCO (2023), existe una planta desalinizadora en operación perteneciente a Teck Quebrada Blanca con capacidad de 850 l/s y, tal como se mencionó anteriormente, una planta en construcción perteneciente a Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi con capacidad de 1.050 l/s.

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

Según la revisión de antecedentes llevada a cabo para este estudio, en la región de Tarapacá se han identificado únicamente industrias relacionadas con los sectores minero y agrícola.

Estas demandas han sido consideradas como parte de la estimación de la demanda minera (acápite 2.2.5) y agrícola (acápite 2.2.2).

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, 2014). 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 02.02.

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

Cód. Cuenca	Cuenca	Demanda (Mm ³ /año)				
		2023	2025	2035	2045	2055
010	Altiplánicas	0	0	0	0	0
015	Q. Río Camarones	50	50	50	51	51
016	Costeras R. Camarones-Pampa del Tamarugal	0	0	0	0	0
017	Pampa del Tamarugal	916	916	917	918	919
018	Costeras Tilviche-Loa	0	0	0	0	0
021	Río Loa	0	0	0	0	0
Total		966	966	967	969	970

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 bosques y plantaciones, así como por las tendencias históricas en el uso de la tierra.

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 02.02.

**Tabla 2.2-10 Estimación demanda hídrica Pecuaria actual y futura – Cuencas BNA
Región Tarapacá**

Cód. Cuenca	Cuenca	Demanda (Mm ³ /año)				
		2023	2025	2035	2045	2055
010	Altiplánicas	38,2	39,3	45,3	48,5	49,2
015	Q. Río Camarones	12,2	12,9	16,4	18,2	20,4
016	Costeras R. Camarones-Pampa del Tamarugal	14,6	15,1	18,0	19,6	20,6
017	Pampa del Tamarugal	48,1	50,6	63,1	69,4	64,8
018	Costeras Tilviche-Loa	16,2	17,4	23,3	26,2	29,6
021	Río Loa	0	0	0	0	0
Total		129,4	135,4	166,1	181,9	184,5

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 de camélidos, porcinos y equinos.

2.2.9 Acuícola

Para la estimación de la demanda acuícola en la región fueron localizados los centros acuícolas “en tierra” del Registro Nacional de Acuicultura (RNA), de los cuales fueron seleccionados exclusivamente aquellos en que la fuente hídrica utilizada no proviene de agua de mar, siendo considerados los que utilizan agua proveniente de río, estero, arroyo, pozo, vertiente, lago, laguna o canal (SERNAPESCA, 2024). Para la estimación de la demanda de agua dulce actual y futura, se determinó la producción de cada explotación por grupo de cultivo, luego las producciones, expresadas en toneladas anuales, se multiplicaron por una tasa de consumo de agua, característica de cada especie. Los resultados se presentan en la Tabla 2.2-11, indicando los volúmenes anuales demandados. El detalle de la metodología llevada a cabo se encuentra en el Anexo B del Informe Nacional, y las planillas de cálculo se encuentran en el Anexo 02.02.

Tabla 2.2-11 Estimación demanda hídrica Acuícola actual y futura – Cuencas BNA región Tarapacá

Cód. Cuenca	Cuencas	Demanda (Mm ³ /año)				
		2022	2025	2035	2045	2055
010	Altiplánicas	0	0	0	0	0
015	Q. Rio Camarones	0	0	0	0	0
016	Costeras R. Camarones-Pampa del Tamarugal	0	0	0	0	0
017	Pampa del Tamarugal	1.160	823	1.646	3.537	4.530
018	Costeras Tilviche-Loa	0	0	0	0	0
021	Río Loa	0	0	0	0	0
Total		1.160	823	1.646	3.537	4.530

Fuente: Elaboración propia.

Según se desprende de la Tabla 2.2-11, la proyección de la demanda acuícola no muestra una tendencia definida al alza o a la baja. Lo anterior se debe a que la estimación de demanda futura se fundamenta en las tendencias productivas de la serie histórica utilizando proyecciones a través del uso de Series de Tiempo (SdT). Esta herramienta permite considerar el comportamiento histórico de la variable basal en la estimación del comportamiento futuro. Dado que, la tendencia productiva histórica no presenta una trayectoria hacia el alza o a la baja definida, se presentan fluctuaciones en la proyección de demanda.

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 Tabla 2.2-12. 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 02.02.

En la región se ha estimado un caudal de reserva para las siguientes áreas de conservación: Santuario de la Naturaleza Salar de Huasco (WDPA-119) y Parque Nacional Volcán Isluga (WDAP-028) ambos ubicados en la cuenca Altiplánicas.

Para la región de Tarapacá, 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 2.2-12.

Tabla 2.2-12 Caudales de Reserva para protección ambiental – Cuencas BNA región de Tarapacá

Caudal de reserva para protección ambiental (Mm³)													
Cuenca	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Altiplánicas	2.044	2.089	1.965	1.702	1.961	2.068	2.012	1.801	1.685	1.824	1.709	1.846	22.707

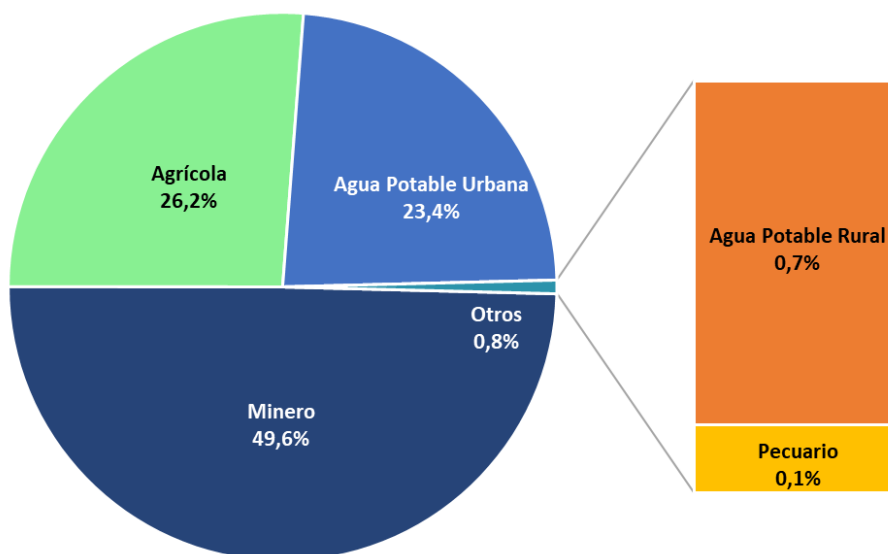
Fuente: Elaboración propia.

2.2.11 Análisis de demanda total en la región

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

i. Análisis de demanda extractiva total en la región

A continuación, en la Figura 2.2-4, se presenta la distribución del total de demanda hídrica consuntiva en la región de Tarapacá en el año 2023, destacando la importancia del sector minero y agrícola como los principales demandantes de uso consuntivo de agua para el sector productivo. El resumen de las demandas se presenta en el Anexo 02.02.



Fuente: Elaboración propia.

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

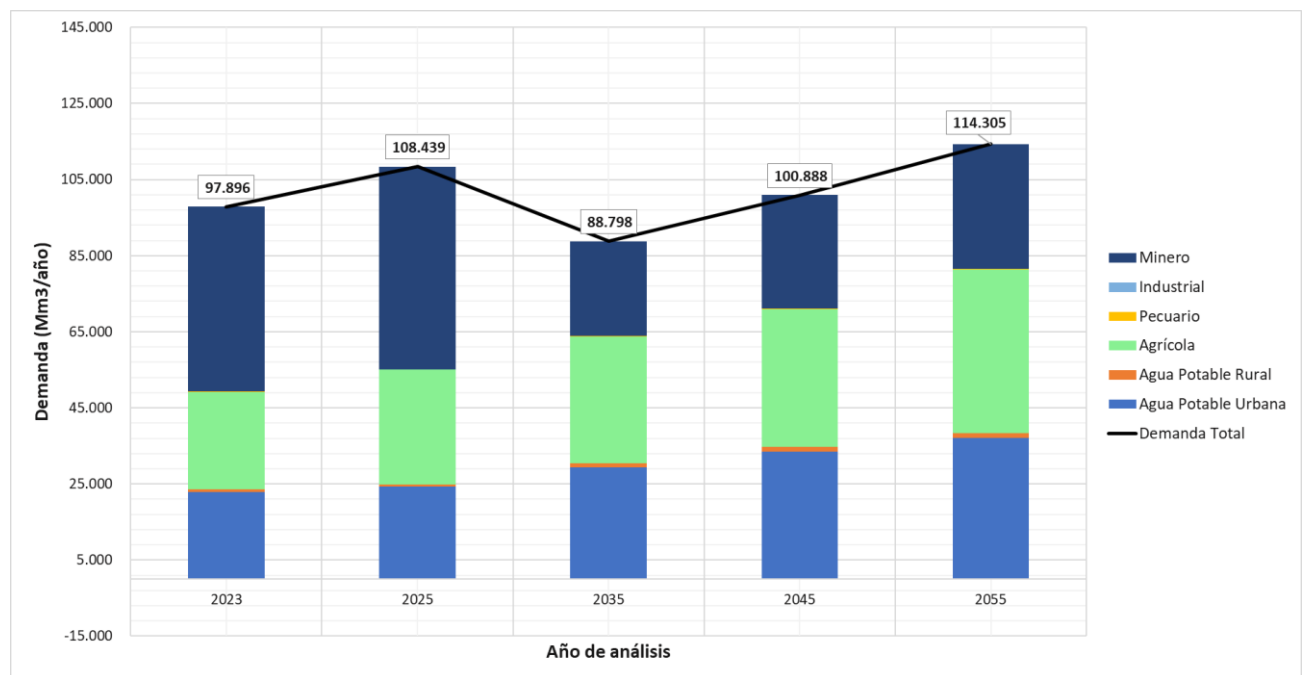
En la Tabla 2.2-13 y en la Figura 2.2-5 se presentan las demandas consuntivas proyectadas por uso, para toda la región. En esta última se puede observar que, dadas las condiciones base utilizadas para la estimación de las demandas en los acápite anteriores, se espera un aumento de aproximadamente un 17% de las demandas totales en el periodo 2023-2055. Este incremento se atribuye principalmente al aumento del 68% en la demanda agrícola y al incremento del 62% en la demanda de agua potable urbana durante el mismo periodo. El

sector minero es el único que muestra una disminución, con un descenso del 33% entre 2023 y 2055.

Tabla 2.2-13 Resumen de demandas consuntivas – Cuencas BNA región de Tarapacá

Cód. Cuenca	Cuenca	Demanda (Mm ³ /año)				
		2022	2025	2035	2045	2055
010	Altiplánicas	13.128	15.110	2.839	3.093	4.481
015	Quebrada Río Camarones	2.193	2.676	2.650	2.415	3.022
016	Costeras Río Camarones - Pampa del Tamarugal	4.286	4.721	4.391	3.941	4.523
017	Pampa del Tamarugal	30.982	34.446	40.530	47.434	53.418
018	Costeras Tilviche - Loa	43.844	47.475	33.687	38.457	42.555
021	Río Loa	3.463	4.011	4.700	5.548	6.306
Total		97.896	108.439	88.798	100.888	114.305

Fuente: Elaboración propia.

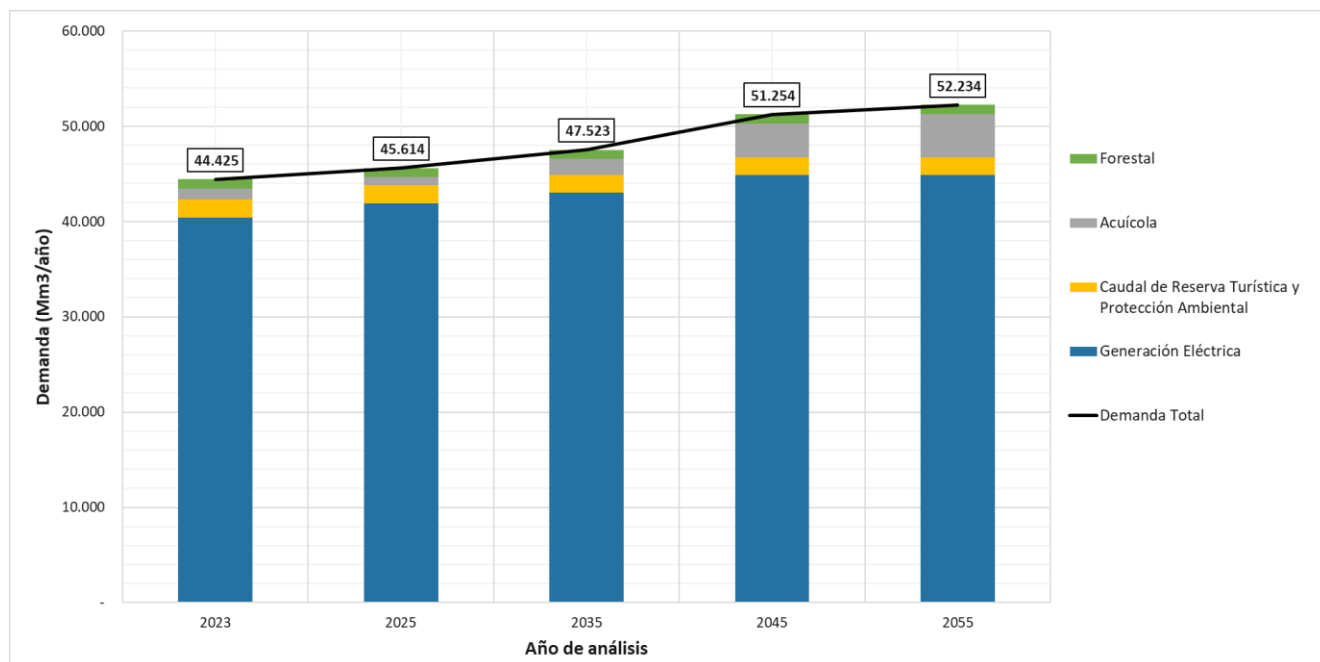


Fuente: Elaboración propia.

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

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

En la Figura 2.2-6 se presenta la proyección de las demandas consuntivas no extractivas y no consuntivas para la región. El sector de generación eléctrica destaca por su mayor demanda por sobre los demás usos, la cual se encuentra principalmente asociada a la cuenca Costeras Tilviche-Loa. Cabe señalar que el presente análisis no incorpora limitantes respecto a la disponibilidad física o legal de los DAA, actuales o futuros, en los cauces con hidroeléctricas.



Fuente: Elaboración propia.

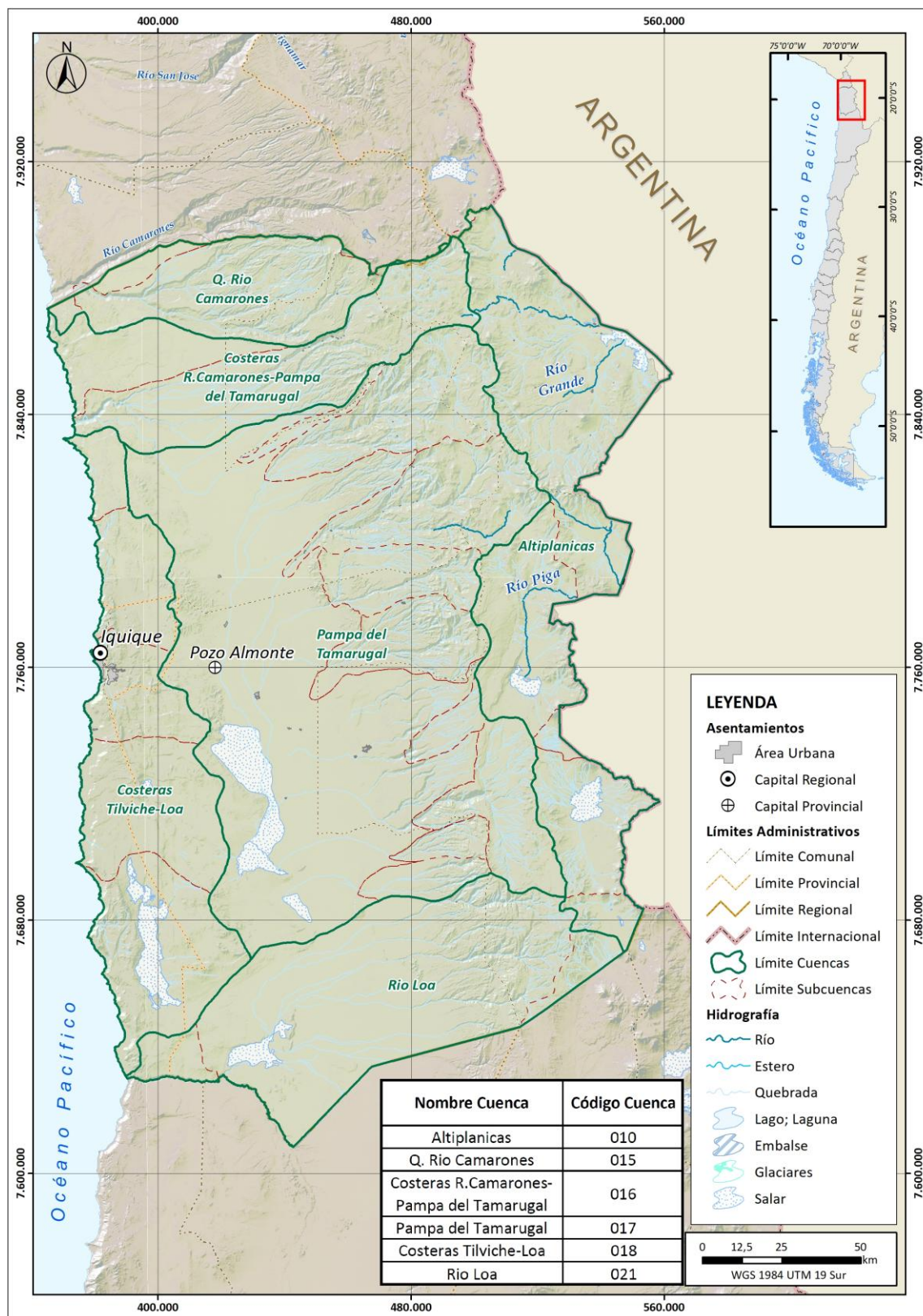
1. La demanda anual del caudal de reserva de uso turístico y protección ambiental fue calculada mediante el promedio de la demanda actual del año 2023.
2. Dado que no existen planificaciones actuales o futuras de nuevos sitios prioritarios, la demanda proyectada para el caudal de reserva de uso turístico y protección ambiental se considera como constante.

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

2.3 ANÁLISIS DE OFERTA HÍDRICA

2.3.1 Oferta hídrica

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



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

Figura 2.3-1 Cuencas y subcuencas de la región de Tarapacá según clasificación BNA

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

En base a los antecedentes revisados, se tiene que en la Región de Tarapacá existen 736 DAA superficiales registrados en CPA, de los cuales 343 DAA posee un caudal equivalente a de 247.242 Mm³/año constituidos⁴. La distribución de los DAA de acuerdo al tipo de uso se presenta en la Figura 2.3-2. La caracterización de los DAA según tipo de solicitud o tipo de ejercicio, se presentan en el Anexo 02.03.

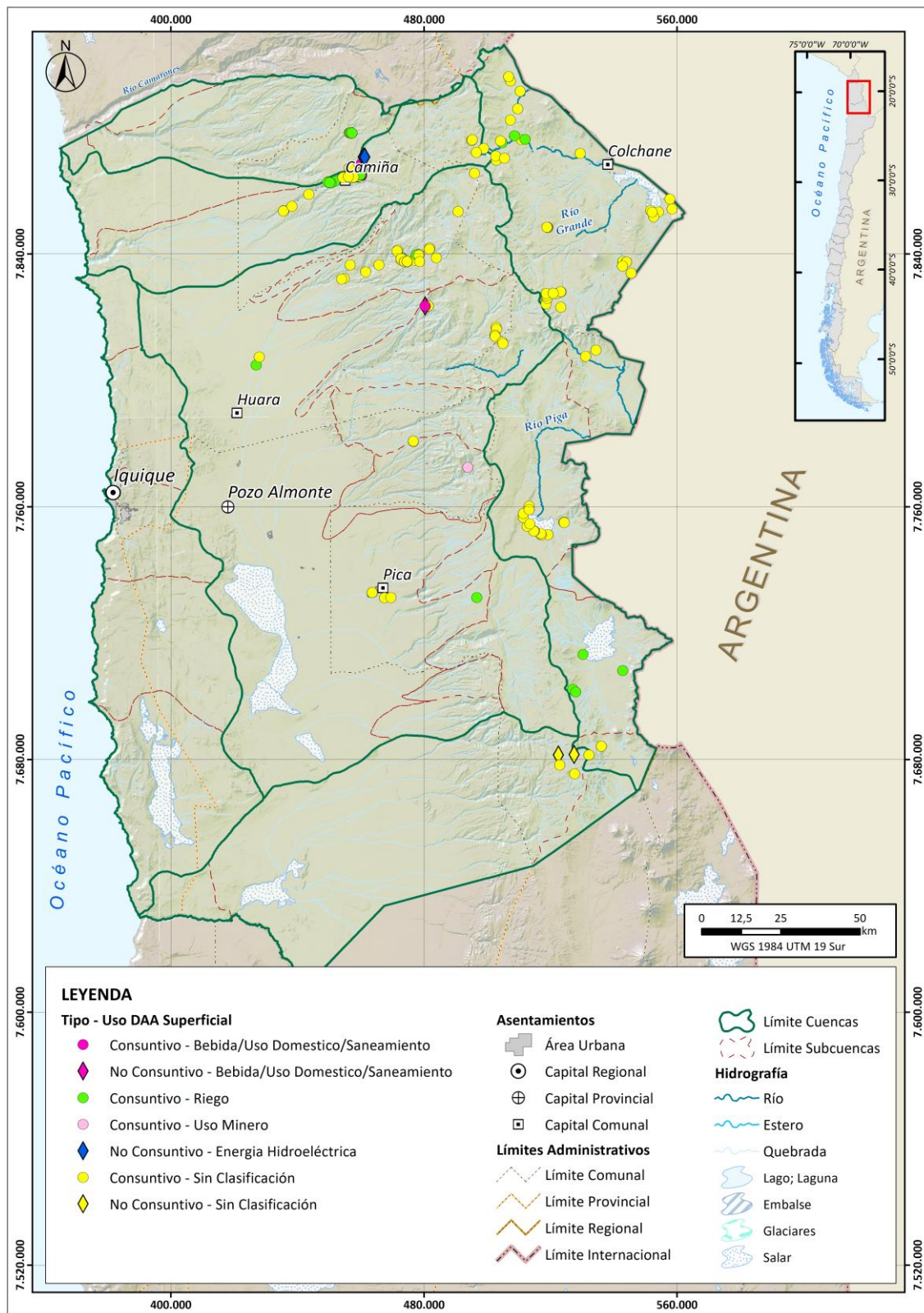
ii. Restricciones de uso sobre fuentes superficiales

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

En el caso de Tarapacá se identifica una declaración de agotamiento del Río Loa y sus Afluentes (Resolución DGA Exenta N°197 de fecha 14 de enero de 2000), esta cuenca es compartida con la región de Antofagasta. No se han dictado decretos de reserva ni decretos de escasez hídrica para aguas superficiales en la región.

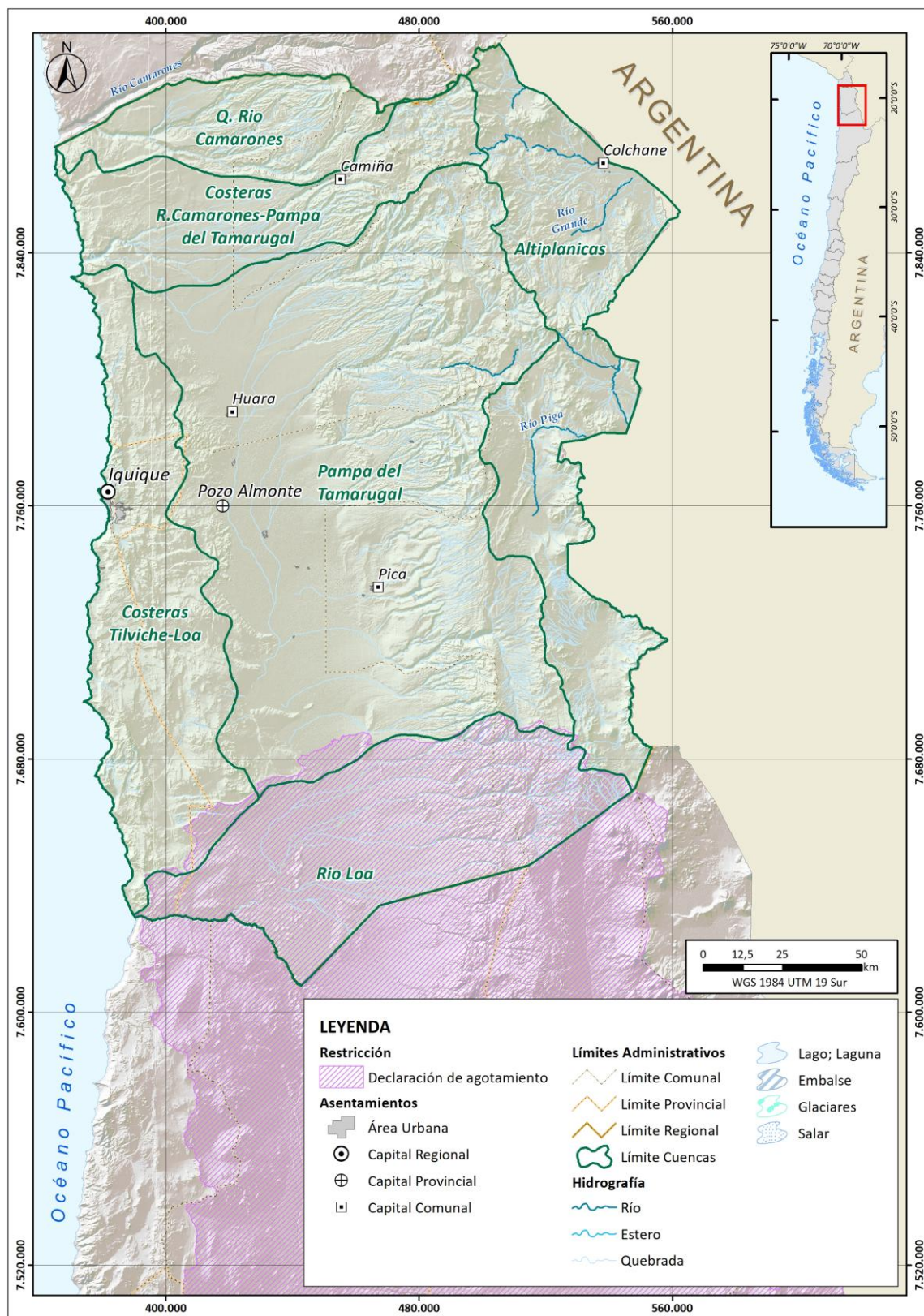
En la Figura 2.3-3 se presentan las restricciones vigentes para aguas superficiales. Mayor detalle respecto a las restricciones y a la distribución temporal a nivel comunal de los decretos declarados dentro del periodo analizado se presentan en el Anexo 02.03.

⁴ No se consideran los DAA cuyas unidades de caudal este expresada en acciones, quintiles u otros, ya que dichas conversiones variarán dependiendo de la prorrata de cada Organización de Usuarios de Agua. Estos DAA representan un 52% del caudal total de los DAA otorgados.



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

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



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

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

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 escorrentía disponible para cada cuenca, obtenida del modelo VIC generado en el Balance Hídrico Nacional (DGA, 2022).

Las curvas de oferta hídrica actual (periodo 1985-2015), obtenidas del Balance Hídrico Nacional, fueron calculadas a partir del análisis de frecuencia realizado a las series anuales de caudal. Asimismo, a partir de la selección del GCM representativo de la región se obtuvieron las curvas de excedencia para el periodo futuro, definido como la ventana 2025-2055. Tanto el análisis para la selección de GCM, como las curvas de oferta hídrica actual y proyectada para cada una de las cuencas que componen la región se presentan en el Anexo 02.03.01.

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

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

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

Cód. Cuenca	Cuenca	Q ₈₅ actual (Mm ³ /año)	Q ₈₅ proyectado (Mm ³ /año)
015	Q. Río Camarones	17.874	12.150
016	Costeras R. Camarones-Pampa del Tamarugal	9.674	9.003
017	Pampa del Tamarugal	27.948	24.965
018	Costeras Tilviche-Loa	241	365

Fuente: Elaboración propia.

Es posible observar que se prevé una disminución del caudal de 85% de probabilidad de excedencia en casi todas las cuencas, según el GCM seleccionado como escenario desfavorable. Bajo esta condición, las cuencas más afectadas serían Quebrada río Camarones y Pampa del Tamarugal con una disminución porcentual de 32% y 10,7%, respectivamente.

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

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

Cód. Cuenca	Cuenca	Q total (m³/s)	Q glaciar (m³/s)
015	Q. Río Camarones	0,99	0,07
016	Costeras R. Camarones-Pampa del Tamarugal	0,41	0,03
017	Pampa del Tamarugal	1,72	0,02
018	Costeras Tilviche-Loa	0,4	0,00

Fuente: Elaboración propia.

Además, el GCM CSIRO-Mk3-6-1 proyecta una disminución de aproximadamente 0,0 m³/s (la variación es muy pequeña), 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 Tarapacá. Para el análisis se utilizó la base de datos “Derechos_Concedidos_I_Region” (DGA, 2023) del Catastro Público de Aguas (CPA).

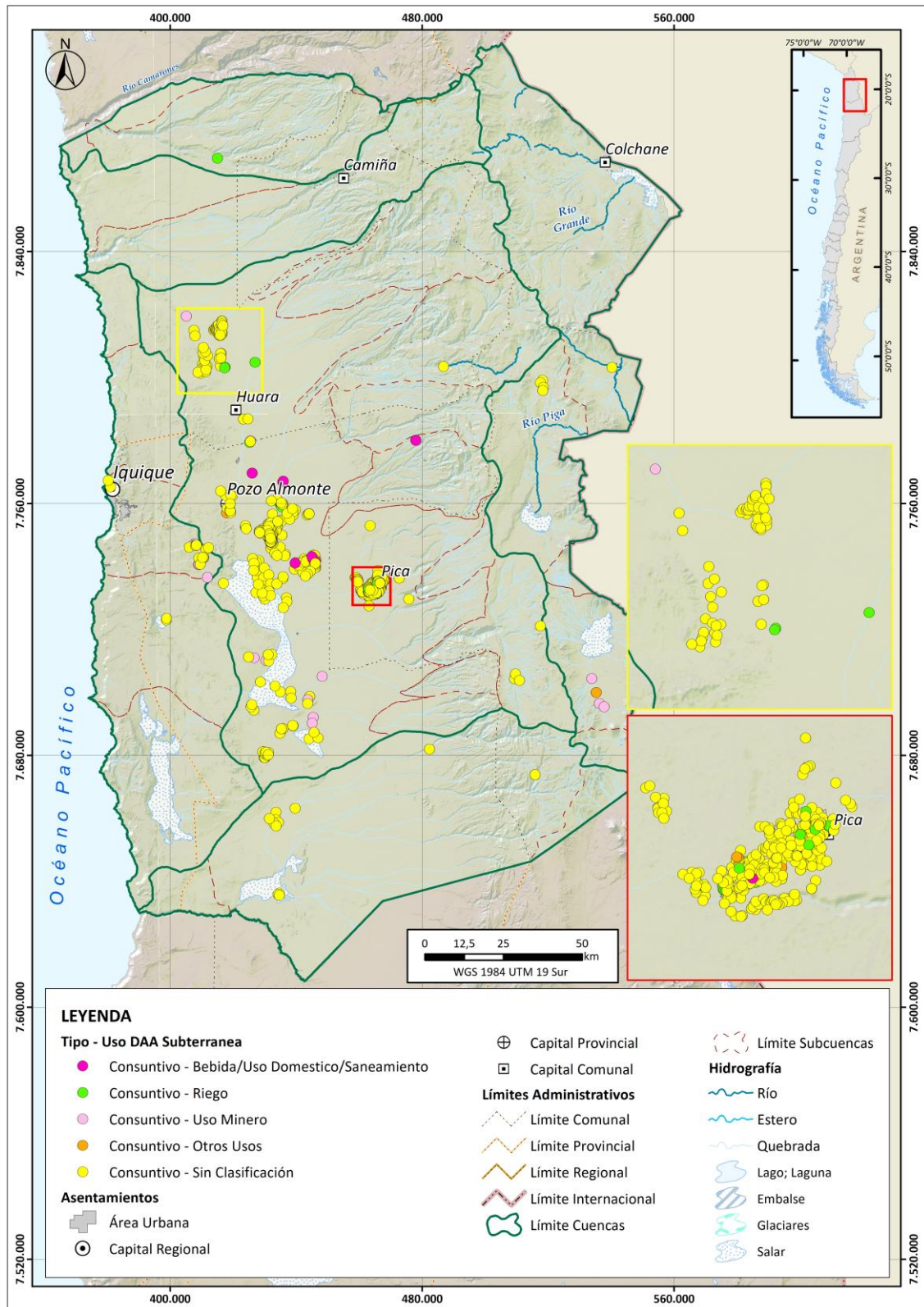
En base a los antecedentes revisados, se tiene que en la Región de Tarapacá existen 1.012 DAA subterráneos registrados en CPA, equivalente a un caudal aproximado de 160.377 Mm³/año constituidos La distribución de los DAA de acuerdo al tipo de uso se

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 02.03.

ii. Restricciones de uso sobre fuentes subterráneas

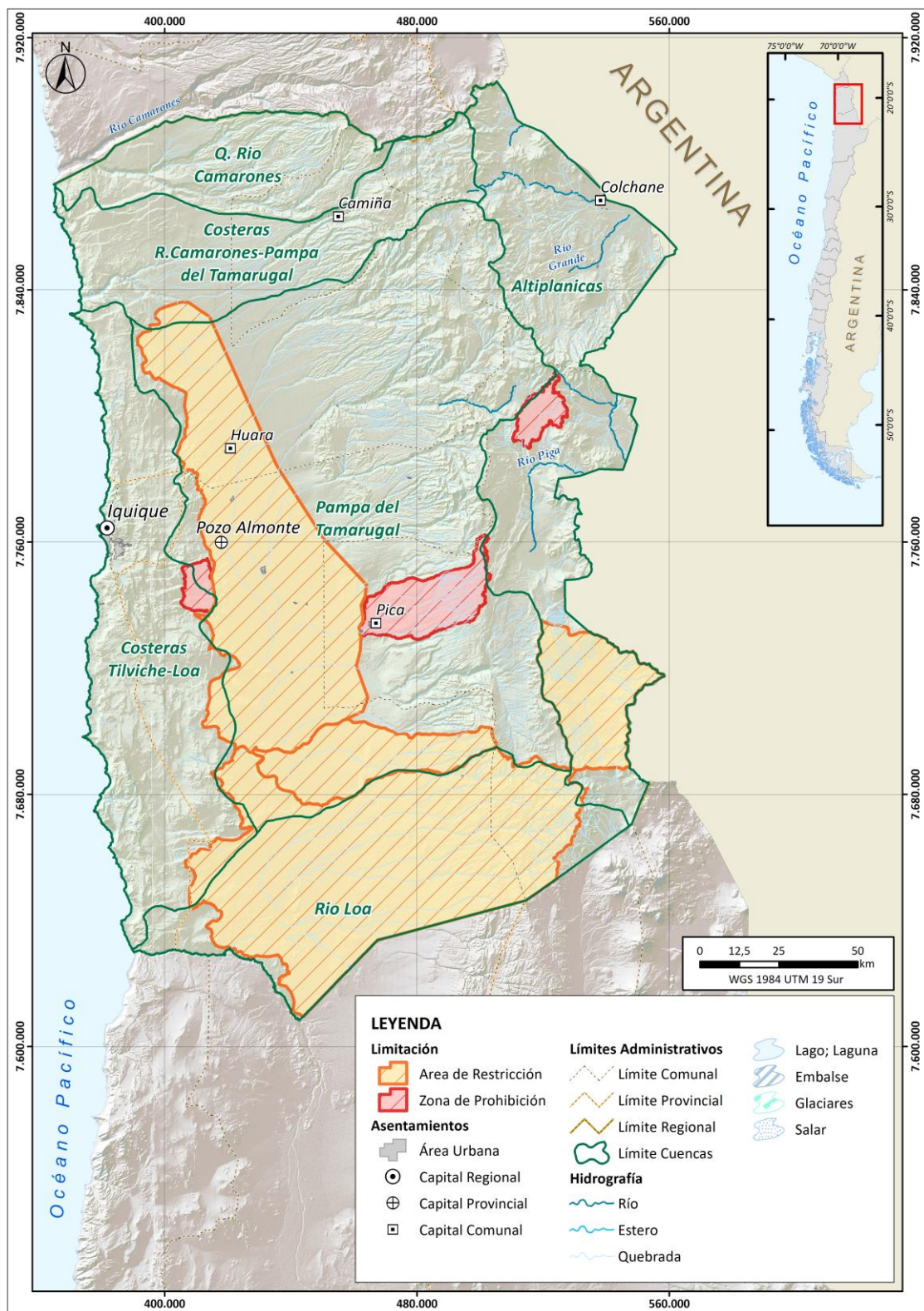
Para obtener una comprensión completa de los desafíos relacionados con la escasez de agua que han surgido en la región, se detallan a continuación las limitaciones respecto al uso del agua actual y futura en sus distintas formas de protección para fuentes de agua subterráneas, en un periodo de análisis 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.

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 02.03.



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

Figura 2.3-4 Ubicación geográfica de los DAA subterráneas en la región de Tarapacá, por tipología



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

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

iii. Oferta en la fuente

La oferta hídrica actual en lo que respecta a aguas subterráneas se obtuvo de distintos estudios realizados en las cuencas que componen la región. A partir de estos, en la Tabla 2.3-3 se presentan las recargas de los acuíferos para cada una de las cuencas. Es importante mencionar que no se disponen de referencias para todas las cuencas, siendo para el caso de esta región las más pequeñas. Esta brecha de información es comentada en el acápite 4.2.1ii.

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

Código Cuenca	Cuenca	Recarga (l/s)	Fuente
015	Q. Río Camarones	2.152	Diagnóstico Hidrogeológico del Acuífero del Río Camarones, Región de Arica y Parinacota (DGA, 2021)
016	Costeras R. Camarones-Pampa del Tamarugal	-	-
017	Pampa del Tamarugal	1.271	Plan Estratégico de Gestión Hídrica en la Cuenca de la Pampa del Tamarugal (DGA, 2021)
018	Costeras Tilviche-Loa	-	-

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 (IPSL-CM5A-LR) 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 región

Código Cuenca	Cuenca	Recarga histórica (l/s)	Variación de precipitación (%)	Recarga Proyectada (l/s)
015	Q. Río Camarones	2.152	-36,9	1.358
016	Costeras R. Camarones-Pampa del Tamarugal	-	-38,8	-
017	Pampa del Tamarugal	1.271	-41,4	744
018	Costeras Tilviche-Loa	-	-24,6	-

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

Es posible observar que, ante la baja de precipitación proyectada por el GCM seleccionado como escenario desfavorable, se prevé un descenso de la recarga equivalente. Además, considerar que la recarga es una variable que se evalúa de manera constante para un periodo, por lo que se utiliza el valor promedio de los periodos histórico y futuro. 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 4.2.1ii. En el Anexo 02.03 se presenta un análisis más extenso de la situación de la región, incluyendo las 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 un aumento en los eventos de gran magnitud de hasta un 20% en el caso de la cuenca más crítica. Por otro lado, para el caso de las sequías, en las cuencas de mayor tamaño se proyecta un aumento en los años con sequía en comparación al periodo histórico (ver Anexo 02.03.02).

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

Cod Cuenca	Nombre Cuenca	1985-2015 (mm/d)	2025-2055 (mm/d)	Variación (%)
015	Q. Rio Camarones	7.9	8.2	4.7
016	Costeras R. Camarones-Pampa del Tamarugal	6.0	7.2	20.1
017	Pampa del Tamarugal	5.8	6.6	15.1
018	Costeras Tilviche-Loa	3.5	1.7	-50.3

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 Tarapacá se encuentra aproximadamente entre las latitudes 19° S y 22° 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 Tarapacá, periodo 1912-2017

Tipo	1912-2007 (95 años)	2008-2017 (9 años)
Inundaciones	32	43
Aluvión	9	1

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

En base a SENAPRED (2023), en el periodo 2017-2023, se observan veinte y nueve (29) sistemas convectivo altiplánico, los cuales han afectado a alrededor de 57.500 habitantes de las diferentes comunas de la región, principalmente de Iquique y Alto Hospicio. Por otra parte, se presenta también un (1) evento de remoción en masa el año 2018 el cual no presenta daños.

En relación a las inundaciones y aluviones catastrados por SENAPRED (2023) y EM DATA (2024), se observa una (1) inundación ocurrida el año 2019 afectando a las cuencas Costeras Tilviche – Loa (código BNA 018) y un aluvión, afectando las cuencas de Pampa del Tamarugal (código BNA 017) y Cuencas Costeras Tilviche – Loa (Código BNA 018). 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 Tarapacá, periodo 2017-2023

Código BNA	Nombre Cuenca	Inundación	Aluvión
010	Altiplánicas		
015	Quebrada Río Camarones		
016	Costeras Río Camarones - Pampa del Tamarugal		
017	Pampa del Tamarugal		X
018	Costeras Tilviche - Loa	X	X

Nota: Cuencas afectadas en rojo.

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

2.3.3 Calidad de aguas

Según el estudio "Diagnóstico para Desarrollar Plan de Riego en la Región de Tarapacá" de la Comisión Nacional de Riego, la calidad del agua en la región de Tarapacá presenta variaciones significativas, caracterizadas por altos contenidos de sales, particularmente de boro, lo que constituye una restricción importante para su uso agrícola. Las aguas del Norte Grande se distinguen por valores elevados de conductividad eléctrica, reflejando una composición química con una alta concentración de sales, lo que afecta la relación suelo-planta y provoca problemas de salinidad, permeabilidad, toxicidad y otros. Estos desafíos son significativos para el desarrollo agrícola en la región y requieren estrategias específicas de manejo y tratamiento del agua para su utilización eficiente y sostenible en actividades agrícolas y otros usos.

De acuerdo con el Plan Maestro de recursos hídricos DGA (1992), las aguas superficiales en la región son mayormente frescas a levemente salobres, con una tendencia a ser más salobres en las aguas subterráneas de la Pampa del Tamarugal, Sur Viejo y Salar de Llamara. Por lo general, estas aguas, debido a su calidad natural, no cumplen con las normas de uso para agua potable ni riego. Destacan las aguas de las estaciones ubicadas en la desembocadura del Río Loa y en la Quebrada de Aroma en Ariqueña por superar ampliamente los límites de arsénico, boro y salinidad para uso en agua potable y riego. La región no presenta antecedentes sobre problemas de contaminación importante, pero las fuentes de contaminación difusa podrían representar focos de contaminación relevante, como los agroquímicos utilizados en la actividad agrícola o la potencial generación de drenaje ácido por pasivos ambientales mineros. Se sugiere implementar medidas que permitan su evaluación.

A continuación, se presenta la calidad de aguas de la región de Tarapacá en cada cuenca:

- Cuenca Altiplánica (código BNA 010), las cuencas altiplánicas de la Región de Tarapacá se caracterizan por presentar conductividad baja y pH neutro, con altas concentraciones de boro y arsénico. Las concentraciones de macroiones son normales, con predominio del cloruro de sodio (CNR, 2017).
- Cuenca del Río Camarones (código BNA 015), El río Camarones solo tiene estadísticas en Esquiña y en la desembocadura, las que muestran una conductividad alta y creciente y un pH alcalino. Los contenidos de boro y arsénico son muy altos y los macroiones están en niveles más bien moderados, con predominio del cloruro de sodio, el cual aumenta significativamente aguas abajo (CNR, 2017).

- Cuenca Costeras R. Camarones - Pampa del Tamarugal (código BNA 016), de acuerdo con la caracterización realizada por Plan Nacional de Riego (CNR, 2017)., se presentan las siguientes características:
 - Quebrada Tarapacá: Presenta características similares al río Camiña, aunque el pH es más alcalino y la concentración de arsénico es inferior.
 - Río Coscaya: Presenta una calidad similar a la de la quebrada Tarapacá, pero con concentraciones inferiores en boro y superiores en arsénico.
 - Río Collacagua: Las aguas presentan buena calidad, con baja conductividad y pH levemente alcalino. La concentración de boro es levemente alta.
 - Río Guatacondo: Presenta alta conductividad y pH alcalino. La concentración de boro es alta y la de arsénico levemente alta.

La calidad de las aguas superficiales en la cuenca de la Pampa del Tamarugal (código BNA 017), es variada y se monitorea en 17 estaciones, mayormente vertientes. Hidroquímicamente, las aguas presentan aniones como cloruros, sulfatos y bicarbonatos, y cationes principalmente sódicos y potásicos. Las aguas frescas a salobres en la zona precordillerana se vuelven más salobres en la pampa debido a la evaporación y disolución de sales. Según los registros históricos, aguas de la quebrada Tarapacá son sulfatadas cloruradas sódico-cálcicas, y las del río Coscaya son sulfatadas sódico-cálcicas. La mayoría de las aguas son cloruradas sódicas, con excepciones en las quebradas Tarapacá y Pica. Las concentraciones de arsénico, boro y pH superan las normas chilenas para consumo y riego, con algunas estaciones mostrando niveles de arsénico y boro hasta 10 veces superiores a los permitidos, lo que hace que estas aguas no sean aptas para consumo humano sin tratamiento previo.

- Cuenca Costeras Tilviche-Loa (código BNA 018), la calidad de las aguas en esta cuenca es altamente variable, las aguas suelen tener altas concentraciones de cloruros y sulfatos, también con la característica de alta concentración de arsénico.

El estudio "Alteración Hidrotermal y Geoquímica de las Aguas Termales en el Área de la Concesión Geotérmica Licancura III" (Maureira, 2013), aporta datos sobre la calidad del agua en esta área específica. La concesión Licancura III, ubicada en la Cordillera Occidental entre las regiones de Tarapacá y Arica y Parinacota, presenta un sistema geotermal con diversas manifestaciones termales y zonas de alteración hidrotermal. Las aguas termales de esta zona tienen un origen meteórico y muestran temperaturas en superficie de hasta 80°C, alcanzando temperaturas superiores a 180°C en profundidad. Las aguas se clasifican en sulfatadas y cloruradas, con altas concentraciones de sulfato cerca de los centros eruptivos (Cerro Pumire y Cerro Millacucho) y mayores concentraciones de cloruro en las zonas periféricas. Las aguas sulfatadas están asociadas a zonas de upflow cerca de las estructuras

volcánicas, mientras que las aguas cloruradas de alto flujo se encuentran en áreas de outflow distal.

El manejo de contaminantes en la agricultura, específicamente el nitrato, es crucial para la preservación ecosistémica. Se evaluó la brecha estratégica en el acápite 4.2.4 evaluando las concentraciones de nitrato, en donde si supera los 50 mg/L se considera de alta criticidad, entre 40 y 50 mg/L de media criticidad, y por debajo de 40 mg/L de baja criticidad, de acuerdo con recomendaciones de la OMS. Los datos muestran que las concentraciones de nitrato en las cuencas de Tarapacá están dentro de límites aceptables, con valores significativamente bajos en varias cuencas, como la Cuenca Costeras Río Camarones Pampa del Tamarugal y la Cuenca Fronterizas Salar Michincha. No obstante, hay una brecha de información en las cuencas Costeras Tilviche y Quebrada Camarones, sin datos sobre nitrato ni otros parámetros de calidad de agua en la DGA entre 2018 y 2024. Otra evaluación de brecha relacionada al monitoreo se utiliza esta misma información para evaluar la cobertura y los parámetros medidos y se asignaron valores de criticidad, concluyendo en una criticidad media en la evaluación general en la región para aguas subterránea y superficial.

- 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 (DGA, 2021a).

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 3.1-5.

3.1.1.1 Obras de acumulación

En la región de Tarapacá, actualmente no se han identificado proyectos de acumulación de agua.

3.1.1.2 Centrales para la generación eléctrica

Se identificaron cuatro (4) centrales hidroeléctricas dentro de la región de Tarapacá, con una capacidad de embalsamiento aproximada de 24.550 Hm³ para obras de acumulación mayores y medianas de acuerdo al Ministerio de Energía (2023).

3.1.1.3 Infraestructura de distribución y sistemas de riego

Se han identificado un total de 284 bocatomas y 305,26 kilómetros lineales de extensión en canales en la región de Tarapacá de acuerdo a CNR (2020). Las bocatomas se distribuyen en varias cuencas y comunas, con un mayor número en Camiña y una extensión significativa en Huara y Camiña. Por otro lado, la extensión total de los canales abarca diversas cuencas y comunas, destacando las cifras más altas en las cuencas Pampa del Tamarugal, seguido por la cuenca Altiplánicas y Costeras R. Camarones-Pampa del Tamarugal. En otras cuencas de la región la presencia de canales es menor o nula. La información detallada sobre estas estructuras se puede encontrar en el Anexo 02.01 del informe.

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

i. Zonas urbanas

En la región de Tarapacá, se han registrado nueve (9) concesiones de agua potable a la empresa Aguas del Altiplano, abarcando territorios operacionales en diversas localidades como Matilla, Alto Hospicio, Pozo Almonte, La Tirana, La Huayca, Iquique, Pica y Huara. Además, se han identificado siete (7) plantas de tratamiento de aguas servidas (PTAS), de las cuales cinco (5) descargan en cuerpos de agua continentales y dos (2) en el mar.

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	Cuenca	N° territorios operacionales	Producción 2022 (m3/año)	Aumento al 2055 (%)
010	Altiplánicas	0	0	0
015	Quebrada Río Camarones	0	0	0
016	Costeras Río Camarones - Pampa del Tamarugal	0	0	0
017	Pampa del Tamarugal	6	2.328.029	44%
018	Costeras Tilviche - Loa	3	30.027.080	41%
021	Río Loa	0	0	0
Total		0	32.355.109	41%

Fuente: Elaboración propia.

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

Tabla 3.1-2 Planes de desarrollo vigentes según concesión en la región de Tarapacá

Concesión	Plan de Desarrollo	Alcance
Aguas del Altiplano	Iquique	Iquique
	Alto Hospicio	Alto Hospicio
	Pica	Pica
	Huara	Huara
	Pozo Almonte	Pozo Almonte
	Matilla	Matilla
	La Huayca	La Huayca
	La Tirana	La Tirana
	Pisagua	Pisagua

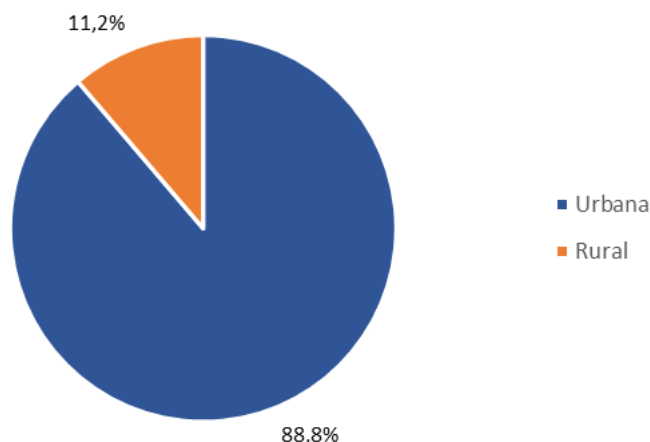
Fuente: Elaboración propia en base a Aguas del Altiplano (2023)

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

Bajo este contexto, y según los datos entregados en el Informe de Coberturas 2022 de la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS, 2023), las cifras de cobertura de agua potable y alcantarillado del sector sanitario en la región de Tarapacá, en las áreas concesionadas, alcanza un 92,2%.

ii. Zonas rurales

De acuerdo a los catastros más recientes el 11,24% del total de viviendas registradas en el censo de población (INE, 2017) en la región de Tarapacá, corresponde a zonas rurales. Esto resulta equivalente a 13.245 viviendas y aproximadamente 20.493 habitantes (ver Figura 3.1-1).



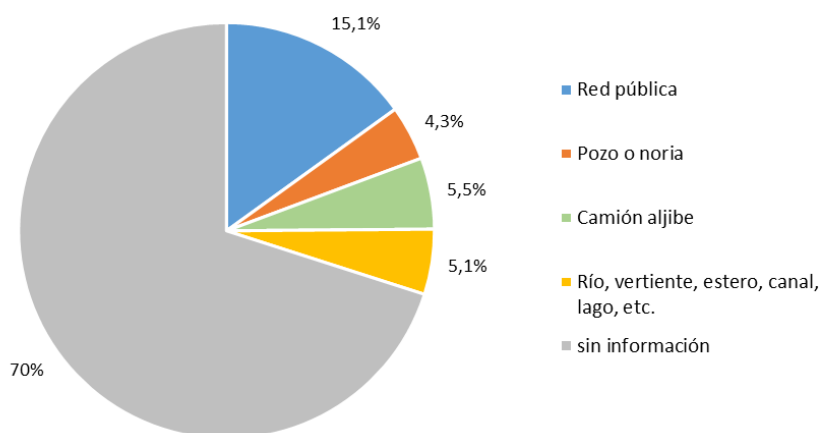
Fuente: INE (2017)

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

Del total de hogares en zonas rurales se ha identificado que un 70% no presenta información en relación a las fuentes de abastecimiento en base a los datos del censo de población (INE, 2017). Bajo este contexto, se presenta un breve análisis respecto al estado del agua potable y saneamiento en la región de Tarapacá.

a) Agua Potable

De acuerdo a los datos presentados en el último censo de población y vivienda (INE, 2017), del 30% de los hogares en zona rural con un acceso aceptable a servicios básicos, un 15% (1.996) cuenta con abastecimiento desde una red pública de agua⁵. (ver Figura 3.1-2).



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

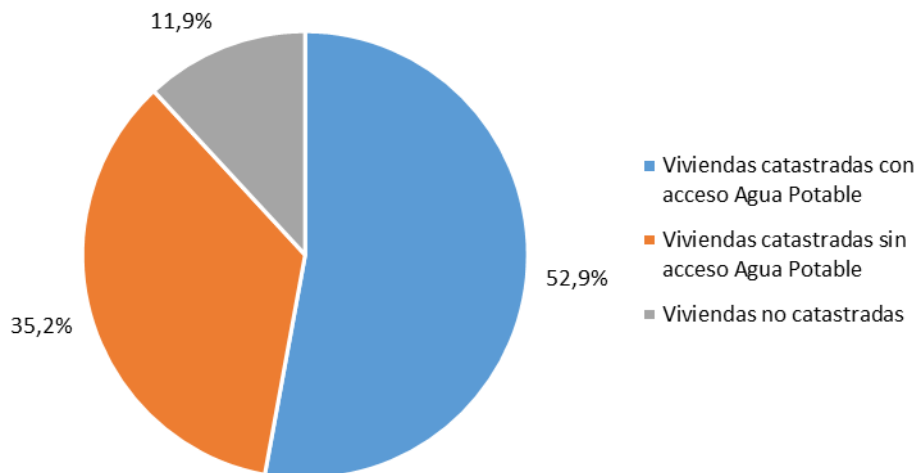
⁵ Incluye hogares abastecidos por Servicios Sanitarios Rurales (SSR) o acogidos al Artículo 52 bis del Decreto Fuerza Ley N°382/1988 del Ministerio de Obras Públicas.

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 (PNDR) 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 cinco (5) de las siete (7) comunas de la región, concentrando el 88,1% del total de las viviendas rurales de la región.

Bajo los datos otorgados por el indicador, un 52,9% (7.007 viviendas) rurales de la región presentan conexión a la red de agua potable, mientras que un 35,2% informa no tener acceso a la red de agua potable (ver Figura 3.1-3).

A modo de resumen, se identifica que un 88,1% de las viviendas rurales han sido catastradas, en base a estos datos, un 35,2% no presenta acceso a la red de agua potable. Por último, se concluye que el indicador BS12 presenta una brecha de información del 11,9% del total de las viviendas rurales de la región de Tarapacá.



Fuente: Elaboración propia en base a Censo poblacional (SISS, 2023) y SICVIR (2021).

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

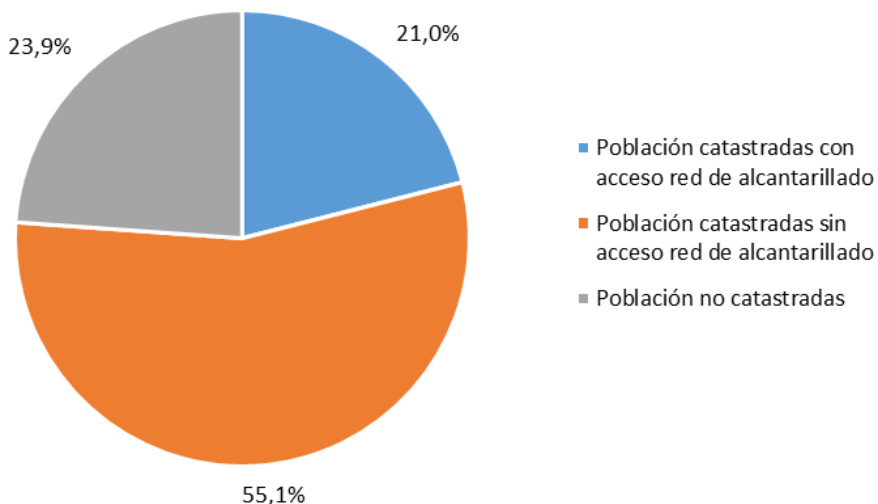
En cuanto a los Servicios Sanitarios Rurales (SSR) la Dirección de Obras Hidráulicas (2021), a partir de ahora DOH, presenta un listado con veintiún (21) Servicios Sanitarios Rurales para la región de Tarapacá, los cuales abastecen a cinco (5) de las siete (7) comunas de la región. Estas comunas concentran un 61,5% (12.618 habitantes) de la población rural regional.

En base al listado de SSR de la DOH (2023) un 51,4% (10.538 habitantes) presentan servicios de agua potable rural en sistemas concentrados y semi concentrados, un 10% (2.080 habitantes) no pertenece a una SSR. Por último, se presenta una brecha de información de un 38% (7.875 habitantes) de la población rural regional.

La Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS, 2023) al igual que la DOH presenta un listado de SSR; sin embargo, en este listado se encuentran tres (3) SSR, los cuales abastecen a tres (3) comunas de la región concentrando el 21,2% (4.347 habitantes) de la población rural regional, dejando una brecha de información de un 78,8% (16.146 habitantes).

b) Saneamiento

De acuerdo a los datos presentados en el indicador BS13 (SICVIR, 2020) el cual indica el porcentaje de población saneada por alcantarillado por comuna, considera cinco (5) de las siete (7) comunas de la región, concentrando el 76,1% del total de la población rural de la región. Se observa que el 21 % de la población rural se encuentra saneada por alcantarillado (ver Figura 3.1-4).



Fuente: Elaboración propia en base a Censo poblacional (SISS, 2023) y SICVIR (2021).

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

A modo de conclusión se desprende preliminarmente que de la población catastrada un 55,1% no cuenta con acceso a servicio de alcantarillado, mientras que se presenta además una brecha de información cercana al 23,9% de la población rural total de la región de Tarapacá.

Los detalles del análisis se pueden observar en profundidad en el Anexo 02.02.

3.1.1.5 Pozos

Se identificó un total de 1.331 pozos de extracción en la región de Tarapacá, de los cuales un 86% se identifica de uso sin clasificación seguido de un 7% de uso de riego, según DGA (2023).

3.1.1.6 Infraestructura hídrica para uso de fuentes no convencionales

i. Acuíferos profundos

Dentro de la región de Tarapacá no se identifican actualmente acuíferos profundos. Cabe destacar que dentro de la literatura se mencionan flujos subterráneos profundos provenientes de cuencas cerradas altiplánicas, aunque este fenómeno nunca ha sido probado.

ii. Recarga artificial de acuíferos

Dentro de la región de Tarapacá, se identifican dos (2) obras de recarga artificial de acuíferos, ambas surgen como medidas de mitigación frente a la extracción de aguas para la actividad minera del sector.

La primera obra, resulta por la operación del proyecto Pampa Hermosa de SQM, el cual se encuentra ubicado en la comuna de Pozo Almonte, provincia del Tamarugal. Este proyecto informa dentro de su RCA que durante la etapa de operación se considera la extracción de agua subterránea del acuífero del Salar de Llamara por un caudal de 124,7 l/s; y que, según se establece en la evaluación ambiental, en base al modelo hidrogeológico presentado, la extracción podría generar una disminución del nivel superficial de agua en Puquíos del Salar de Llamara. Por tanto, para abordar el impacto, se contempló como medida específica la implementación de una barrera hidráulica que consiste en la inyección de agua a través de pozos ubicados entre el sector de bombeo y los Puquíos, ubicados en la cuenca Río Loa (SQM, 2018).

Actualmente, en el mes de octubre de 2023 se aprobó un estudio de impacto ambiental, llamado “Modificación parcial del sistema de reinyección en los Puquíos de Llamara” presentado por SQM, el cual modifica la infraestructura y periodo de inyección del agua al acuífero contemplada en la medida de mitigación aprobada en la RCA N°890/2010, actualiza la regla operacional que permite decidir los caudales de inyección necesarios para mantener las condiciones de fisicoquímicas y de nivel del agua, que aseguren el normal funcionamiento del ecosistema acuático. Por otra parte, actualiza también el Plan de Alerta Temprana del Sistema Los Puquíos de Llamara y el Plan de Seguimiento Ambiental para las componentes hidrogeológica y biota acuática (SQM, 2023).

Por otra parte, la segunda obra corresponde a la inyección de agua a través de pozos de inyección en el sector de la vertiente Jachucoposa y Michincha, en la cuenca Altiplánicas, como medida de mitigación del caudal de las mismas, alimentando con agua subterránea recolectada desde el conjunto de pozos de extracción pertenecientes a Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi en la cuenca de Coposa.

iii. Desalinización

Dentro de la región de Tarapacá se identifican seis (6) plantas desaladoras, cuatro (4) de éstas corresponden a plantas de iniciativa gubernamental que tienen por objetivo la dotación de agua potable a las comunidades de los asentamientos pesqueros de esas caletas. La Planta Desaladora Caleta San Marcos, ubicada en la cuenca Costeras Tilviche - Río Loa, fue inaugurada por el Gobierno Regional de Tarapacá en el año 2022. Utiliza tecnología de ósmosis inversa para convertir agua de mar en agua potable, y así disminuir los problemas de escases hídrica. Esto fue publicado en la página oficial del SEP, Gobierno de Chile. Los dos (2) proyectos restantes se encuentran en construcción o prontos a operar, su uso está destinado principalmente a la minería.

Tabla 3.1.1-1 Plantas desaladoras de agua de mar en la región de Tarapacá

Proyecto	Cuenca	Destino	Estado
Caleta San Marcos	Costeras Tilviche – Río Loa	Agua Potable	En operación
Caleta Chanavaya	Costeras Tilviche – Río Loa	Agua Potable	En operación
Caleta Río Seco	Costeras Tilviche – Río Loa	Agua Potable	En operación
Caleta Chipana	Costeras Tilviche – Río Loa	Agua Potable	En operación
Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi	Costeras Tilviche – Río Loa	Minería	En construcción
Proyecto Quebrada Blanca Hipógeno	Costeras Tilviche – Río Loa	Minería	En operación

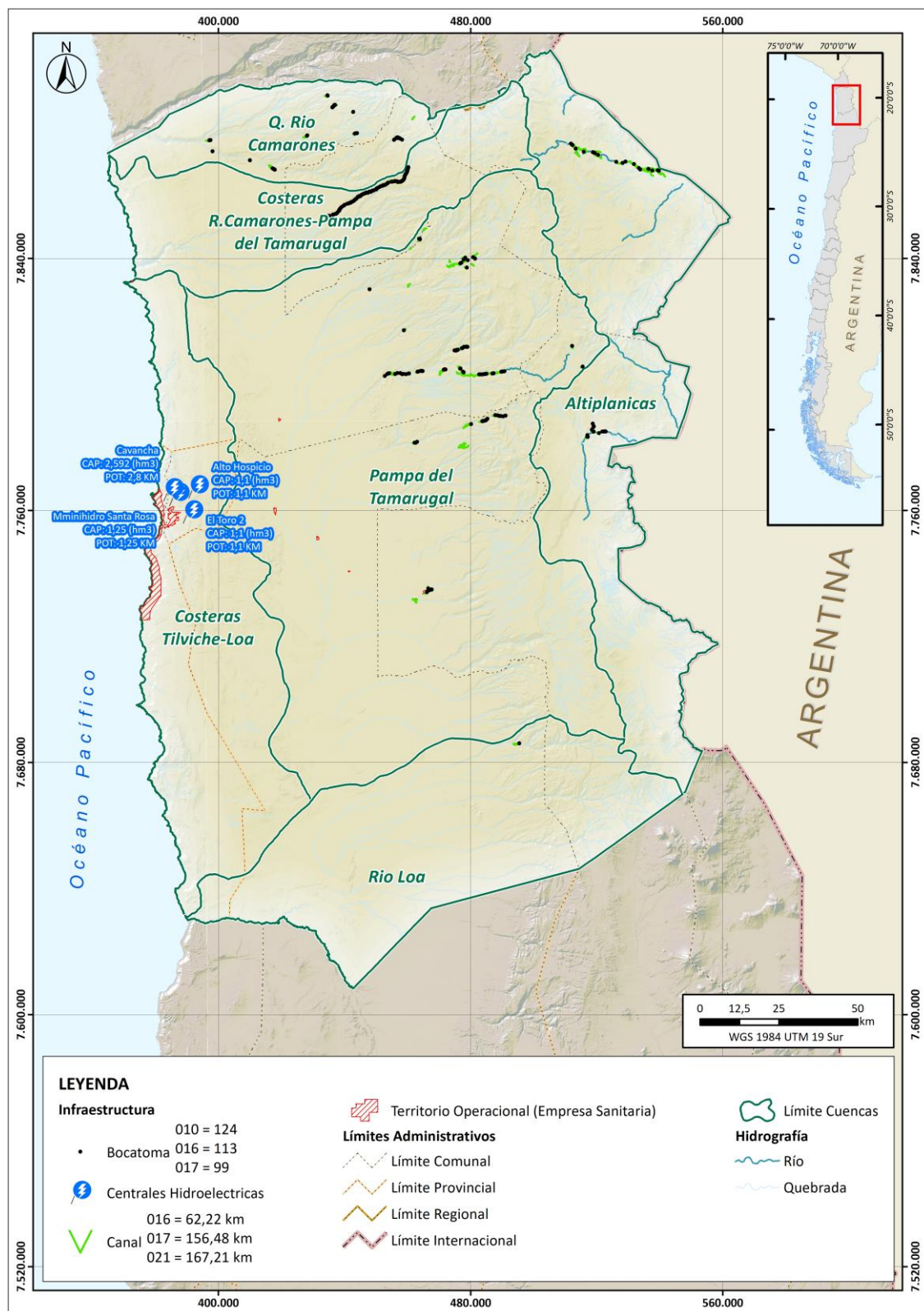
Fuente: Comisión Chilena del Cobre (2023) Subpesca (2019) Seremi (2013) Gobierno Regional Tarapacá (2022)

iv. Cosecha de aguas lluvia

En la Región de Tarapacá no se ha desarrollado tecnología que permita la cosecha de aguas lluvias.

v. Uso de aguas servidas tratadas

Dentro de la región de Tarapacá no se identifican obras de tratamiento y/o uso de aguas servidas, sin embargo, se considera como una de las nuevas fuentes de agua con mayor potencial dentro de las localidades con mayor número de población.



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

Figura 3.1-5 Infraestructura principal asociada a los recursos hídricos de la región de Tarapacá

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

En la región de Tarapacá hay ausencia de gestión preventiva de riesgos ante eventos extremos, no existe un plan de mitigación y planificación para enfrentar dicha emergencia y reconstrucción.

Por otra parte, existen iniciativas de acciones en cartera de inversiones públicas MIDESO categorizadas como obras menores de defensa fluvial, estas las cuales consisten en el control aluvional de crecidas. Ambas iniciativas proponen la conservación riberas de cauces naturales en la región de Tarapacá (DGA, 2021).

En el caso de la región de Tarapacá no hay planes maestros de aguas lluvias vigentes, tramos colectores ni obras aluvionales.

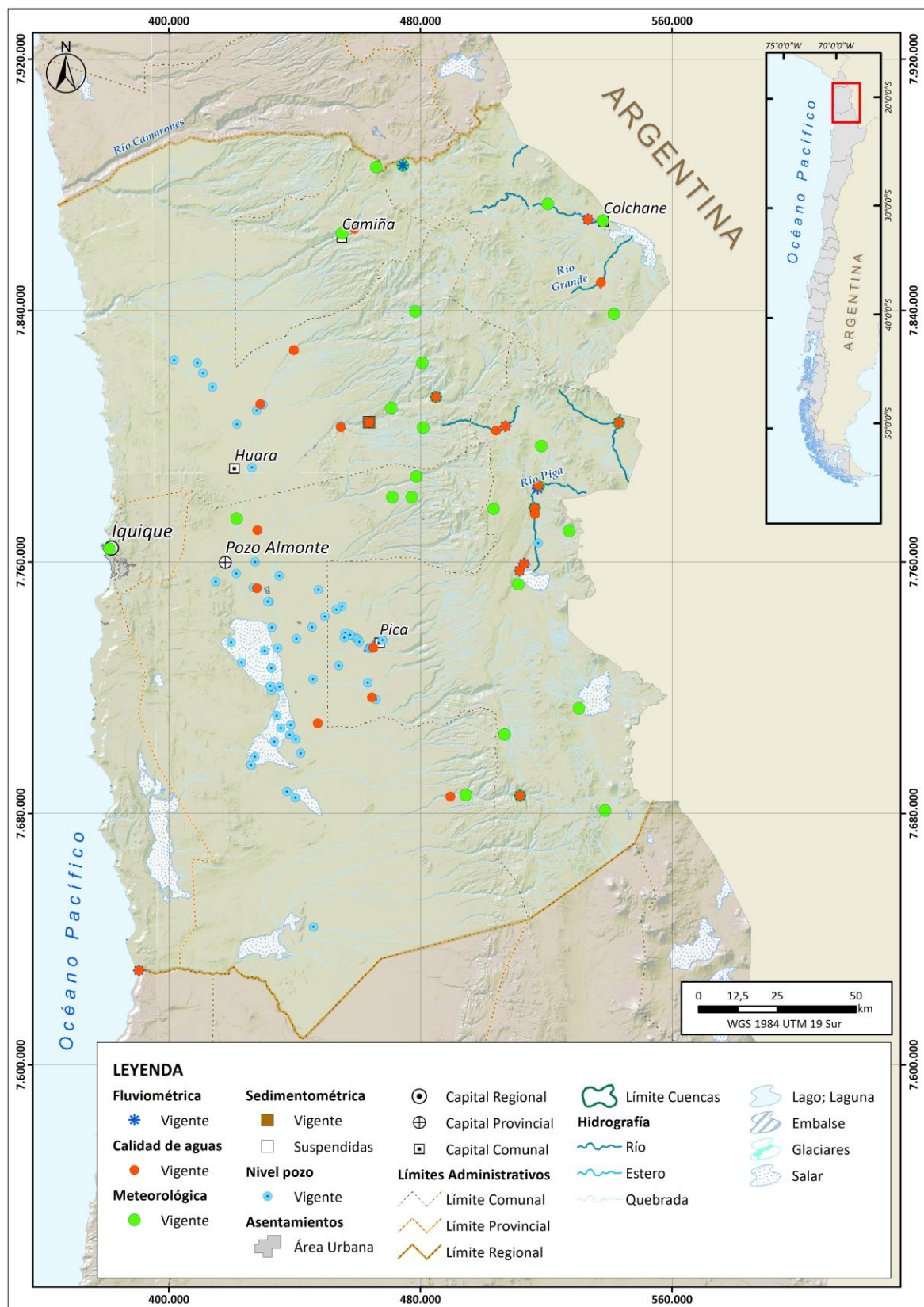
3.1.1.8 Red hidrométrica

De acuerdo a la información publicada por DGA (2023), en la región de Tarapacá se encuentran 129 estaciones de monitoreo vigentes que constituyen la red hidrométrica de la región. En la Tabla 3.1-3 se muestra en detalle el tipo de estación presente en la región y su estado, en el Anexo 02.01 se encuentra la distribución de la red por cuenca. En la Figura 3.1-6 se presenta la ubicación de la totalidad de estaciones de la red. La infraestructura de monitoreo se concentra en las cuencas Altiplánicas y Pampa del Tamarugal.

Tabla 3.1-3 Estaciones de monitoreo de la región de Tarapacá

Tipo de Estación	Vigentes	Suspendidas
Calidad de Aguas	24	0
Fluviométrica	13	0
Meteorológica	28	0
Nivel de pozo	63	0
Sedimentométrica	1	0
Nivel de lago y embalses	0	0
Glaciológica	0	0
Rutas de nieve	0	0
Total	129	0

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



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

Figura 3.1-6 Red hidrométrica de la región de Tarapacá

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 Tarapacá entre los años 2010 y 2022 detalladas en el anexo 02.04.

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

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

Las iniciativas catastradas se clasificaron según tres tipologías definidas y cada una de las tipologías tiene una estrategia de acción. Las iniciativas catastradas según la clasificación planteada se presentan en la Tabla 3.1-4.

Tabla 3.1-4 Iniciativas clasificadas según tipología y estrategia de acción

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

Tipología	Estrategias de acción	N° de iniciativas
	Comportamiento morfodinámico e hidrodinámico de humedales	0
	Estudios obras de acumulación de agua	2
	Estudios de riesgo fluvial y aluvional	1
	Conservación obras de riego	0
	Estudio sistemas de riego	0
	Estudios contaminación de aguas	0
	Estudios de saneamiento	1
	Estudios de aguas lluvias	0
	Estudio obras de distribución de aguas	0
	Estudios de desalación	0
	Análisis de red hidrométrica y plataformas de información	3
	Estudio de reúso de aguas	2
	Diagnóstico de OUA y DAA	0
	Estudios para abastecimiento de agua potable	2
Medidas de gestión	Creación de capital humano	17
	Análisis situación legal DAA	1
	Fortalecimiento y formalización de OUA	3
	Reservas de agua	0
	Manejo de quebradas	0
	Manejo riesgos de contaminación de aguas	0
	Manejo de normas ambientales e hídricas	2
	Planes y políticas	4

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 3.1-5.

Tabla 3.1-5 Iniciativas según tipologías y características básicas

Tipología	Características básicas			
	Identificación del problema	Monto asociado	Responsable de la iniciativa	Fecha de ejecución
Infraestructura hídrica estructural	15	14	17	12
Infraestructura hídrica no estructural	19	14	7	13
Medidas de gestión	26	27	22	27

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 3.1-6 se presentan las iniciativas que contienen información acerca del estado de su ejecución.

Tabla 3.1-6 Iniciativas con estado de ejecución

Tipología	Estrategia de acción	N° de iniciativas	Estado
Infraestructura hídrica estructural	Obras de acumulación de agua	3	Diseño (1), Prefactibilidad (1), Perfil (1)
	Conservación de riberas	2	Perfil (1), Ejecución (1)
Infraestructura hídrica no estructural	Estudios de saneamiento	1	Ejecución (1)
Medidas de gestión	Fortalecimiento y formalización de OUA	1	Ejecución (1)

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 3.1-7 se presentan los planes de desarrollo de empresas sanitarias presentes en la región por implementar.

Tabla 3.1-7 Iniciativas planificadas dentro de los planes de desarrollo de las empresas sanitarias para la región de Tarapacá

Empresa	Vigencia plan	Alcance zonal	Infraestructura estructural planificadas
Aguas del Altiplano S.A.	2022	Iquique	Reposición y conservación PEAP, aumento de capacidad PEAP, mejoramientos en la red de distribución de AP, obra de almacenamiento y potabilización, renovación de red de AS, refuerzo de colectores y aumento de capacidad PTAS
		Alto Hospicio	Mejoramientos en la red de distribución de AP, obras de distribución, refuerzo de colectores, renovación de red de AS y aumento de capacidad PEAS
		Pica	Mejoramientos en la red de distribución de AP, renovación de red de AS, aumento de capacidad PTAS y obras de disposición de residuos
		Huara	Mejoramientos en la red de distribución de AP y renovación de red de AS
		Pozo Almonte	Aumento de capacidad PTAP, mejoramientos en la red de distribución de AP, renovación de red de AS y aumento de capacidad PTAS

Empresa	Vigencia plan	Alcance zonal	Infraestructura estructural planificadas
		Matilla	Mejoramientos en la red de distribución de AP y construcción obras de capacidad PTAS
		La Huayca	Mejoramientos en la red de distribución de AP y construcción obras de capacidad PTAS
		La Tirana	Mejoramientos en la red de distribución de AP y renovación de red de AS
		Pisagua	Mejoramientos en la red de distribución de AP y construcción obras de capacidad PTAS

Fuente: Elaboración en base a (SISS, Planes de desarrollo vigentes, 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 3.1-8 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 02.04.

Tabla 3.1-8 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	22	5.926.137	7.490.031
		APR semi concentrado	24	5.256.713	6.636.837
		Ampliación y mejoramiento de servicios existentes de APR	15	5.996.339	6.667.733
		Conservación, mantención y ampliación de SSR existentes	4	715.437	744.948
	Infraestructura de riego	Conservación obras de riego	29	14.402.797	17.024.022

Tipología	Estrategias de acción	Programa	N° iniciativas	Inversión	
				Miles \$ cada año	Miles \$ año 2023
	Defensa fluvial y aluvional	Control aluvional	12	3.715.477	4.502.239
Infraestructura hídrica no estructural	Conservación y restauración de riberas y cauces	Conservación de riberas (defensas fluviales)	24	26.883.231	31.704.734

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 numérico) 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 02.05 se presentan los gráficos con las brechas para cada cuenca. La metodología utilizada para la clasificación se presenta en el Anexo B del Informe Nacional.

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

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

- **Criterio 1:** Se evalúa si la demanda total de la cuenca supera la oferta superficial⁶ en la misma considerando diferentes probabilidades de excedencia. Se considera una **cuenca crítica** aquella donde la demanda supera la oferta disponible con una probabilidad de excedencia del 50%; una **cuenca en estrés** se determina cuando la demanda supera la oferta disponible con una probabilidad de excedencia del 85%; y una **cuenca con recursos** es en la cual la demanda no supera la oferta disponible con una probabilidad de excedencia del 85%.
- **Criterio 2:** Se evalúa si en la actualidad existen restricciones para el uso de agua en la cuenca (declaraciones de agotamiento o decretos de escasez para la componente superficial, y, áreas de restricción o zonas de prohibición para la componente subterránea). Este criterio se aplica solo a la situación actual.

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

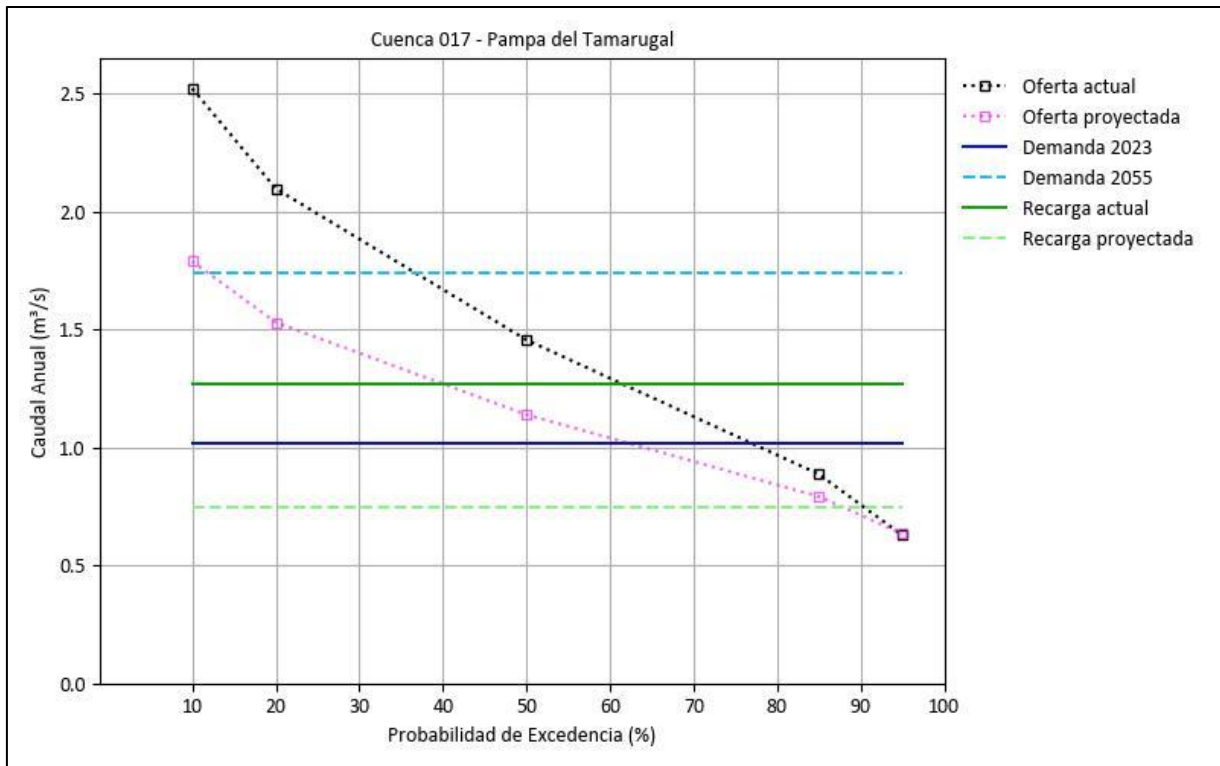
Criterio 1 = cuenca con recursos
Criterio 2 = decreto de escasez vigente
Clasificación final = cuenca en estrés

Para la situación actual de la región, en la Figura 4.1-2 se observa 1 cuenca (Costeras Tilviche-Loa, BNA 018) considerada **cuenca crítica**, es decir, donde la demanda total supera la oferta disponible con una probabilidad de excedencia del 50%.

Por otra parte, en la misma figura se muestra que hasta 3 cuencas se encuentran en una situación cuya demanda total no supera la oferta disponible con una probabilidad de excedencia del 85%, es decir son cuencas **con recursos hídricos disponibles**. No obstante, se

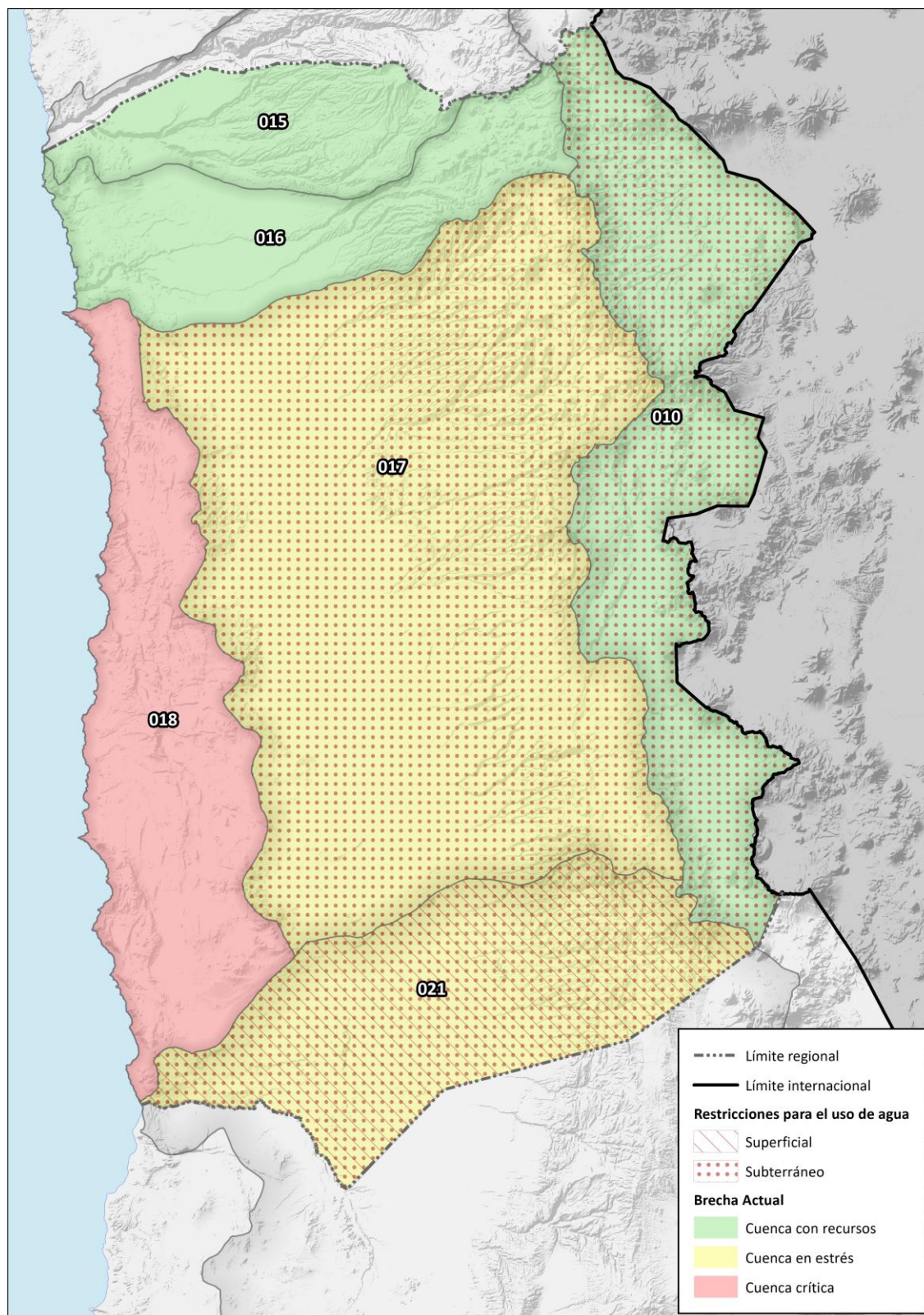
⁶ En base al Balance Hídrico Nacional (DGA, 2018)

debe considerar que dos de estas cuencas actualmente poseen restricciones para el uso de aguas superficiales como para aguas subterráneas, por lo que finalmente se reclasifican a **cuencas críticas**, lo que se puede observar en la Figura 4.1-1 para la cuenca Pampa del Tamarugal (BNA 017).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.1-1 Probabilidad de excedencia sobre la curva de oferta, de la demanda actual y futura, cuenca BNA 017



Fuente: Elaboración propia

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

Tabla 4.1-1 Brechas Hídricas por Cuenca Región de Tarapacá

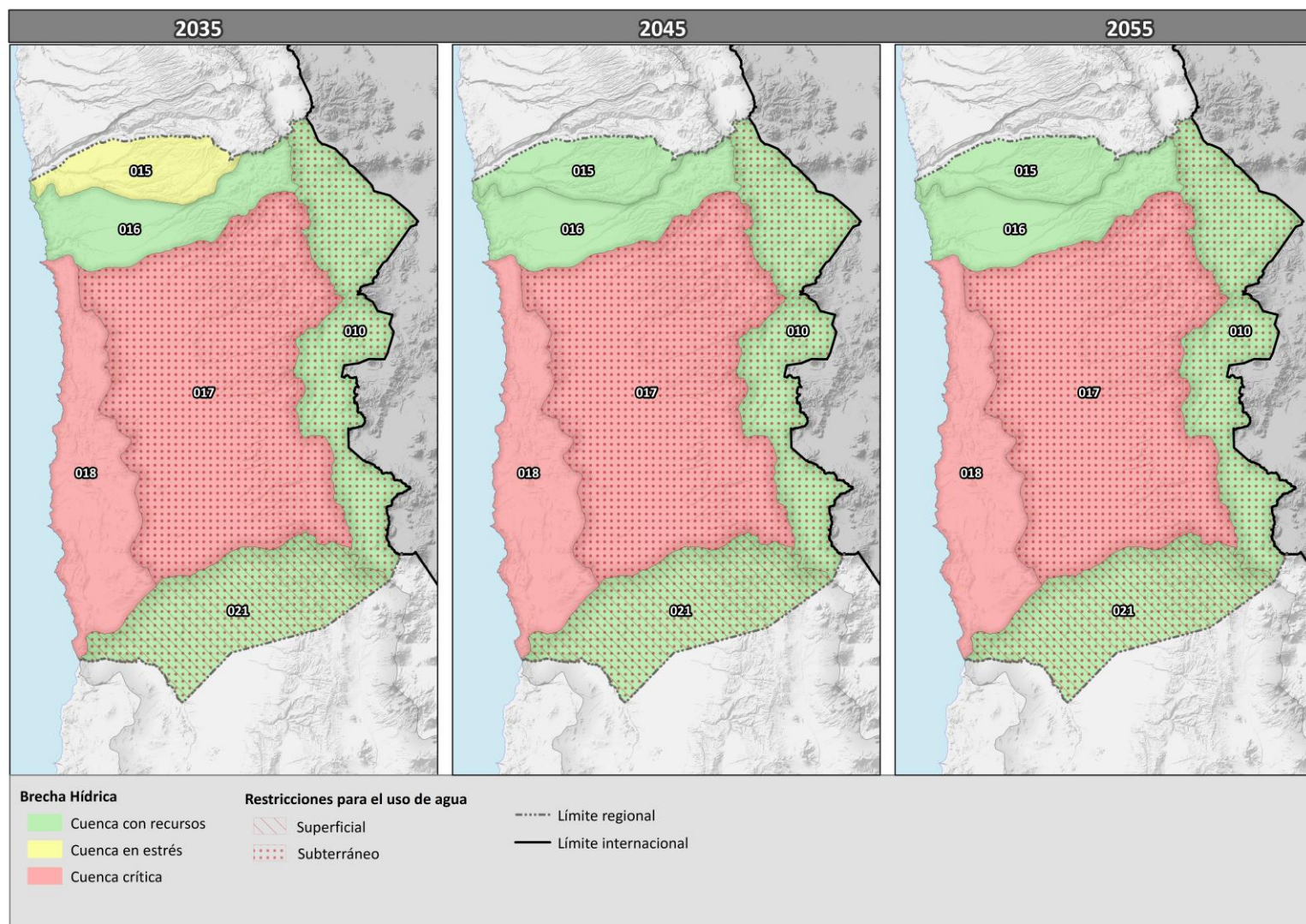
Código BNA	Nombre Cuenca	2025	2035	2045	2055
010	Altiplánicas	En estrés	En estrés	En estrés	En estrés
015	Q. Rio Camarones	En estrés	En estrés	Con recursos	Con recursos
016	Costeras R. Camarones-Pampa del Tamarugal	Con recursos	Con recursos	Con recursos	Con recursos
017	Pampa del Tamarugal	Crítica	Crítica	Crítica	Crítica
018	Costeras Tilviche-Loa	Crítica	Crítica	Crítica	Crítica
021	Rio Loa	Crítica	Crítica	Crítica	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, donde solo una mejora 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 algunas cuencas de la región), la situación es crítica. Si bien estas restricciones no estarán siempre presentes, se consideran de igual forma para las ventanas lejanas, lo que se puede ver en la Figura 4.1-3.

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. Mientras que, del resto de cuencas, se visualiza una situación más crítica en lo que respecta a recursos hídricos en las cuencas Pampa del Tamarugal (BNA 017) y Costeras Tilviche-Loa (BNA 018).



Fuente: Elaboración propia

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

4.2 BRECHAS ESTRATÉGICAS

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

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

4.2.1 Brechas de Información

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

i. Para caracterización de infraestructura:

- No se posee información en relación a las fuentes de abastecimiento de agua de entre un 12% y un 70% de las viviendas rurales.
- No se posee información en relación a las fuentes de abastecimiento de agua de entre un 38% y un 79% de la población rural.
- No se posee información en relación al acceso de red de alcantarillado de alrededor de aproximadamente el 24% de la población rural.
- No existen estudios o planes de reúso de aguas servidas.
- Se presentan brechas de información asociadas a la cobertura de agua potable rural, debido a que los indicadores utilizados dejan fuera de análisis a las comunas de Iquique y Alto Hospicio.
- Se presentan brechas de información asociadas a la cobertura de saneamiento rural, debido a que los indicadores utilizados dejan fuera de análisis a las comunas de Camiña, Colchane, Iquique y Alto Hospicio.

- 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).
- Se identifica una serie de brechas de información entorno al funcionamiento y gestión de las obras de acumulación de aguas, lo que repercute en el mal funcionamiento y distribución del recurso hídrico.
- No se cuenta con información actualizada sobre el estado de los canales de riego, lo cual podría llevar a una subestimación de la demanda hídrica.
- No se dispone de información detallada respecto al volumen embalsado de todos los embalses de la región. Esta falta de datos dificulta la evaluación precisa de la capacidad de almacenamiento hídrico disponible, así como la planificación efectiva para el manejo del recurso hídrico y la prevención de posibles crisis hídricas.

ii. Para caracterización de 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 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 Tarapacá

Justificación Regional	Brechas Estratégicas Generales	Brechas Estratégicas Específicas Regionales	Indicador	Rango	Clasificació n (qué tan crítica es la brecha)	Altiplánic as	Q. Rio Camar ones	Costeras R. Camarones- Pampa del Tamarugal	Pampa del Tamarugal	Costeras Tilviche- Loa	Rio Loa
Se estima además que entre un 14,9% y un 35,2% de las viviendas rurales catastradas no acceden al agua potable, y que, la brecha de información abarca de entre el 11,9% y el 70,5% del total de viviendas rurales (ver acápite 3.1.1.4i)	Población de localidades rurales desconcentradas y semiconcentradas sin servicios de agua potable	Insuficiencia en garantizar el acceso al agua potable y a un saneamiento adecuado que atienda las diversas necesidades de los diferentes contextos territoriales y desafíos específicos de género, lo que afecta la calidad de vida y la equidad en los servicios.	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
Se estima que alrededor del 55,1% de la población rural no posee acceso a alcantarillado. Además, se presenta una brecha de información de entre el 23,9% y el 78,8% (ver acápite 3.1.1.4 ii)	Déficit en la cobertura del servicio de saneamiento y tratamiento en APR concentrados, semiconcentrados y desconcentrados	Insuficiencia en garantizar el acceso al agua potable y a un saneamiento adecuado que atienda las diversas necesidades de los diferentes contextos territoriales y desafíos específicos de género, lo que afecta la calidad de vida y la equidad en los servicios.	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
La proyección de la población rural de áreas con APR en la región de Tarapacá presenta un incremento en la población rural para el año 2055 respecto de la población actual de alrededor de un 49% en las cuencas Altiplánicas (código BNA 010) y un 61% en las cuencas Costeras Río Camarones – Pampa del Tamarugal (código BNA 016), mientras que para las cuencas Costeras Tilviche- Loa (código BNA 018)el incremento poblacional es de alrededor de un 42% en relación al actual, en Pampa del Tamarugal (código BNA 017) un 28% y en la cuenca del Río Loa (código BNA 021) un 20%. Para las áreas sin presencia de APR, se observa una proyección del 19% de aumento en la población para el año 2055 en las cuencas Altiplánicas (código BNA 010), cuenca Pampa del Tamarugal (código BNA 017), cuencas Costeras Tilviche – Loa (código BNA 018) y la cuenca del Río Loa (código BNA 021). (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	1	1	1	2	2	2
El mayor número de clientes corresponde a Clientes Residenciales los que representan el 95,64% del total de clientes en la región. Respecto a la tasa de crecimiento, en los últimos 10 años, los Clientes Residenciales presentan en promedio un incremento en la tasa de crecimiento de un 0,02%. En base al comportamiento de la última década y las proyecciones de población del censo de población y vivienda, se observa un aumento de clientes y consumo de agua potable urbana en la región. Bajo la condición de sequía extrema que se vive en Tarapacá, es una situación que genera gran incertidumbre en cuanto a la garantía de la cobertura del recurso hídrico.	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) (acápites 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	N/A	N/A	4	4	N/A
Para el año 2022 se estimó un promedio de pérdidas por distribución de un 26,1% a nivel regional; las pérdidas más altas se registraron en la localidad de Pisagua (35% de pérdidas), mientras que solo las localidades de La Tirana y Pozo Almonte se mantuvieron bajo un 20% de pérdidas. (ver Anexo 05.02 Demanda futura)	Deterioro en el sistema de distribución de agua potable (pérdidas)	Necesidad de mejorar la provisión de servicios de infraestructura críticos para mejorar las condiciones sanitarias y el acceso al agua potable y al alcantarillado, esencial para elevar la calidad de vida en los asentamientos humanos de la región.	Porcentaje de pérdidas por efecto de fugas	Pérdidas mayor o igual a 40% Pérdidas menor a 40 y mayor a 20% Pérdidas menor o igual a 20%	Alta =4 Media =2 Baja =1	N/A	N/A	N/A	2	2	N/A
Dentro de la región de Tarapacá se identifican seis (6) plantas desaladoras, cuatro (4) de éstas corresponden a plantas de iniciativa gubernamental que tienen por objetivo la dotación de agua potable a las comunidades de los asentamientos pesqueros de esas caletas. La Planta Desaladora Caleta San Marcos, ubicada en la cuenca Costeras Tilviche - Río Loa, fue inaugurada por el Gobierno Regional de Tarapacá en el año 2022. Utiliza tecnología de ósmosis inversa para convertir agua de mar en agua potable, y así disminuir los problemas de escases hídrica.	Insuficientes incentivos para uso de fuentes no convencionales de agua para el consumo humano a escalas relevantes	Carencia de un sistema integral de producción y saneamiento sanitario urbano y rural que incorpore tecnologías innovadoras en desalinización, potabilización y reciclaje de agua, lo que limita la cobertura y eficiencia en el manejo de los recursos hídricos en la región. Falta de proyectos que aprovechen las aguas de las crecidas del invierno altiplánico, impidiendo una mejora sustancial en la sostenibilidad de los recursos hídricos y de saneamiento en la región.	Uso de fuentes no convencionales de agua en consumo humano	No existen proyectos para uso de fuentes no convencionales para consumo humano Se planifica la implementación de proyectos públicos multipropósito para uso de fuentes de agua no convencionales Existe al menos una obra multipropósito para el uso de fuentes no convencionales	Alta =4 Media =2 Baja =1	4	4	4	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

4.2.3 Brechas de seguridad para la producción sostenible y eficiencia hídrica

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

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

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

En la Tabla 4.2-2 se presentan las brechas estratégicas identificadas en la región y clasificadas para cada cuenca según el grado de criticidad de dicha brecha. El criterio es aplicado de acuerdo a una serie de indicadores que permiten establecer rangos de análisis cuantitativo para las brechas.

Tabla 4.2-2 Brechas Estratégicas de Desarrollo Económico por Cuenca Región de Tarapacá

Justificación Regional	Brechas Estratégicas Generales	Brechas Estratégicas Específicas Regionales	Indicador	Rango	Clasificación (qué tan crítica es la brecha)	Altiplánicas	Q. Rio Camarones	Costeras R. Camarones-Pampa del Tamarugal	Pampa del Tamarugal	Costeras Tilviche-Loa	Rio Loa
En la región de Tarapacá la eficiencia de aplicación de riego promedio estimada para el año 2023 es del 57%. Esta eficiencia varía entre un 65% y un 49%, siendo la cuenca "Costeras Tilviche-Loa" la que presenta el valor más alto, y la cuenca "Costeras R. Camarones-Pampa del Tamarugal" el valor más bajo. Esta disparidad en la eficiencia de aplicación de riego, entre cuencas, sugiere la necesidad de promover mejoras en la gestión del agua con el fin de aumentar la productividad de los cultivos y mitigar los impactos del cambio climático (mayor detalle en Anexo 02.02)	Déficit en tecnificación del riego y modernización de sistemas de control de heladas	Falta de promoción e implementación de tecnologías de innovación avanzadas en riego, lo que restringe la mejora de la eficiencia en el uso del agua y el aumento de la productividad agrícola en regiones críticas.	Eficiencia de aplicación de riego (%) (año 2023)	Eficiencia de riego ≤ 40% 40% < Eficiencia de riego < 60% Eficiencia de riego ≥ 60%	Alta =4 Media =2 Baja =1	2	2	2	2	1	2
En la región de Tarapacá se identifican aproximadamente 305 km de canales, ubicados principalmente en las cuencas Pampa del Tamarugal, Altiplánicas y Costeras R. Camarones-Pampa del Tamarugal, donde se concentra aproximadamente el 91% de la red total. En otras cuencas de la región la presencia de canales es menor o nula. Es fundamental mantener estos canales para minimizar las pérdidas de agua por filtración y evaporación, lo que a su vez mejora la eficiencia en la distribución del recurso hídrico (mayor detalle en Anexo 02.01).	Deterioro en el sistema de distribución de agua para riego	Deficiencias en la infraestructura y gestión del sistema de riego en las quebradas, incluyendo la necesidad de renovación de canales, acequias y bocatomas, lo que limita la eficacia y eficiencia del uso del agua en la agricultura.	Longitud total de canales de riego y presencia de otras obras de riego menores.	Concentra más del 30% de los canales de la región y obras para riego. Concentra entre el 10 y el 30% de los canales de la región y obras para riego. Concentra menos del 10% de los canales de la región y obras para riego.	Alta =4 Media =2 Baja =1	2	1	2	4	1	1
Según la tendencia histórica, se prevé que la demanda hídrica agrícola en la región de Tarapacá aumentará en un 68% para el año 2055. A pesar de que en los últimos 14 años se ha observado un cambio significativo hacia la reducción de cultivos frutales y el aumento de viñas y parronales, los cuales muestran una mejor adaptación a condiciones de estrés hídrico en comparación con otros frutales, aún es necesario, dadas las proyecciones, fomentar la investigación y el desarrollo de cultivos más resistentes a la sequía y menos dependientes del riego (mayor detalle en acápite 2.2.3 del estudio).	Aumento de la demanda de agua para riego debido a superficies de cultivo con uso intensivo de agua	Falta de promoción e implementación de tecnologías de innovación avanzadas en riego, lo que restringe la mejora de la eficiencia en el uso del agua y el aumento de la productividad agrícola en regiones críticas.	Variación porcentual ponderada de la demanda hídrica agrícola (Periodo 2023-2055)	Variación ponderada de la demanda ≥ 30% 10% < Variación ponderada de la demanda < 30% Variación ponderada de la demanda ≤ 10%	Alta =4 Media =2 Baja =1	2	1	1	4	1	2
En la región de Tarapacá, 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).	Descoordinación entre las instituciones con atribuciones en la gestión del agua de la cuenca (Juntas de vigilancia, organizaciones de usuarios, organismos del Estado, etc.).	Insuficiente formación y coordinación de entidades con atribuciones en la gestión, regulación y resolución de conflictos sobre recursos hídricos, afectando la capacidad para gestionar efectivamente los recursos hídricos en situaciones de disputa o escasez.	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
En la región de Tarapacá, la minería es la actividad económica predominante. Se estima que para el año 2055, la demanda de agua en este sector aumentará en un 14% respecto a los niveles del año 2023. Ante este panorama, resulta imprescindible implementar tecnologías innovadoras y eficientes para una gestión sostenible del recurso hídrico.	Déficit de modernización de tecnologías y optimización del uso a través de equipos y procesos para la eficiencia hídrica en la producción minera e industrial	-	Variación porcentual ponderada de la demanda hídrica de los principales sectores productivo (mayor aporte de PIB Regional) (Sector industrial y minero, periodo 2023-2055)	Variación ponderada de la demanda ≥ 60% 40 < Variación ponderada de la demanda < 60% Variación ponderada de la demanda ≤ 40%	Alta =4 Media =2 Baja =1	1	1	1	4	1	1
En la región de Tarapacá, actualmente no se identifican grandes obras de acumulación (embalses).	Disminución de aportes superficiales a grandes obras de acumulación (embalses)	-	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
En la región de Tarapacá 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 y la instalación de desaladoras, distribuidas en 3 cuencas de la región. En las demás cuencas, no se han identificado obras en funcionamiento ni proyectos futuros hasta el momento.	Insuficientes incentivos para uso de fuentes no convencionales de agua para el desarrollo de actividades productivas a escalas relevantes	Falta de optimización en la gestión del riego y en el fortalecimiento de la agricultura en las cuencas hídricas, lo que limita el desarrollo de un uso eficiente y sostenible del recurso hídrico. Carencia de implementación de nuevas tecnologías y mecanismos para la captación, almacenamiento y distribución del agua, restringiendo la capacidad de adaptación y mejora en la gestión de los recursos hídricos 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 proyectos multipropósito para uso de fuentes de agua no convencionales. Existe al menos una obra multipropósito para el uso de fuentes no convencionales.	Alta =4 Media =2 Baja =1	1	4	4	4	1	1

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

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

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

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

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

En la Tabla 4.2-3 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 conservación y preservación de los ecosistemas, por Cuenca Región de Tarapacá

Justificación Regional	Brechas Estratégicas Generales	Brechas Estratégicas Específicas Regionales	Indicador	Rango	Clasificación (qué tan crítica es la brecha)	Attiplánicas	Q. Rio Camarones	Costeras R. Camarones- Pampa del Tamarugal	Pampa del Tamarugal	Costeras Tilviche-Loa	Rio Loa
En la Región de Tarapacá, donde la agricultura se concentra en áreas como el Pampa del Tamarugal, el uso inadecuado de agroquímicos puede resultar en la contaminación de las escasas fuentes de agua subterránea y en la acumulación de contaminantes en suelos salinos, comprometiendo la sustentabilidad agrícola	Escaso manejo de contaminantes y pasivos ambientales en agricultura	Falta de desarrollo de estrategias efectivas para la prevención y control de la contaminación de pasivos ambientales	Calidad de agua respecto a la presencia del parámetro boro, arsénico, cloruros o sulfatos (acápíte 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	4	4	4	4	4	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. La escasez de agua en el desierto de Atacama aumenta la presión sobre los recursos hídricos, lo que agrava la situación de las descargas de aguas servidas, particularmente en ciudades como Iquique.	Deterioro de la calidad de aguas debido a las descargas de aguas servidas desde localidades rurales sin servicios de saneamiento	Falta de implementación de procesos de adaptación y medidas innovadoras para mitigar riesgos y preservar los servicios ecosistémicos naturales.	% 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
En la Región de Tarapacá, la actividad minera está concentrada principalmente en las cuencas de la Pampa del Tamarugal, donde se encuentran importantes yacimientos de cobre y otros minerales. La demanda hídrica en esta región es elevada debido a la industria minera. Con la información sobre la ubicación de los relaves mineros en desuso o abandonados, se evaluará la brecha de contaminación potencial de las fuentes de agua, considerando los riesgos asociados a eventos hidrolimáticos extremos.	Riesgos de contaminación de las aguas por parte de sector industrial y minero asociado a eventos de crecidas e inundaciones	Falta de desarrollo de estrategias efectivas para la prevención y control de la contaminación de pasivos ambientales	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
En la Región de Tarapacá, los sistemas acuáticos sufren presión constante por la intensa actividad minera y agrícola, además del aumento poblacional en áreas urbanas. La aridez de la región y la sobreexplotación de los recursos hídricos agravan esta situación, lo que repercute en la disponibilidad de agua y la salud de los ecosistemas.	Ecosistemas adyacentes a sistemas acuáticos afectadas por cambio de uso de suelo o uso productivo intensivo	Falta de implementación de procesos de adaptación y medidas innovadoras para mitigar riesgos y preservar los servicios ecosistémicos naturales.	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	2	N/A	1	N/A	N/A
La falta de normas secundarias de calidad ambiental en las aguas superficiales limita la capacidad de restaurar y proteger los humedales altoandinos, que son esenciales para la vida silvestre y las comunidades indígenas. La presión de actividades mineras en la región aumenta la necesidad de normativas que salvaguarden la calidad del agua en estos frágiles ecosistemas.	Ausencia de norma secundaria de calidad de aguas superficiales	-	Existencia de Norma Secundaria de Aguas Superficiales	Alta criticidad: Cuenta con Norma Secundaria de Aguas Superficiales Media criticidad: No Cuenta con Norma Secundaria de Aguas Superficiales	Alta =4 Media =2 Baja =1	2	2	2	2	2	2
La falta de normas secundarias de aguas subterráneas es fundamental para prevenir la contaminación de los acuíferos, que cobran más importancia en zonas áridas sin otra fuente de abastecimiento	Ausencia de norma secundaria de calidad de aguas subterráneas	Ausencia de un análisis integral de los recursos hídricos subterráneos y su impacto en las fuentes naturales y sistemas ambientales, lo que dificulta la protección y gestión sostenible de estos recursos vitales.	Existencia de Norma Secundaria de Aguas Subterráneas	Alta criticidad: Cuenta con Norma Secundaria de Aguas Subterráneas Media criticidad: No Cuenta con Norma Secundaria de Aguas Subterráneas	Alta =4 Media =2 Baja =1	2	2	2	2	2	2
En la Región de Tarapacá, los esfuerzos por monitorear la calidad de las aguas y la hidrometría son insuficientes, debido a las dificultades para implementar una red de monitoreo completa y adecuada, lo que limita la capacidad para detectar y responder a problemas de calidad del agua.	Deficiente monitoreo de parámetros relevantes de calidad de aguas e hidrometría	Carencias en la cobertura, sistemas y métodos de medición de la información hídrica, lo que impide una evaluación precisa del estado y uso 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)	Alta criticidad: Menos de 10 parámetros monitoreados Media criticidad: Entre 20 a 30 parámetros monitoreados Baja criticidad: Más de 40 parámetros monitoreados	Alta =4 Media =2 Baja =1	2	2	2	2	2	2

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 conservación y preservación de los ecosistemas, por Cuenca Región de Tarapacá (continuación)

Justificación Regional	Brechas Estratégicas Generales	Brechas Estratégicas Específicas Regionales	Indicador	Rango	Clasificación (qué tan crítica es la brecha)	Attiplánicas	Q. Rio Camarones	Costeras R. Camarones-Pampa del Tamarugal	Pampa del Tamarugal	Costeras Tilviche-Loa	Rio Loa
La Región de Tarapacá enfrenta una pérdida de capacidad natural en sus ecosistemas debido a la insuficiencia del caudal ambiental en los humedales de altura, los cuales son esenciales para la regulación hídrica y la calidad del agua en un área con alta aridez.	Pérdida de capacidad natural de los ecosistemas para mejorar la calidad ambiental de las aguas superficiales.	Insuficiencia en el monitoreo continuo de los acuíferos y en la realización de estudios que garanticen la preservación y salud de los ecosistemas locales. Deficiencia en la gestión integral de las aguas subterráneas en Tarapacá, lo que afecta la sostenibilidad de los acuíferos, considerando su capacidad de recarga y la calidad del agua, y su impacto en los ecosistemas existentes, como vegas y bofedales.	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	1	s/i	s/i	s/i	s/i	s/i
Los humedales en la Región de Tarapacá, como el humedal de la laguna de Cotacotani, son vitales para la regulación del agua y la preservación de la biodiversidad en un clima semiárido. La falta de caudal ambiental adecuado y la expansión de la minería están deteriorando estos ecosistemas, poniendo en riesgo sus servicios ecológicos esenciales.	Degradación y pérdida de servicios ecosistémicos provistos por humedales, salares u otro tipo de ecosistema acuático	Insuficiencia en el monitoreo continuo de los acuíferos y en la realización de estudios que garanticen la preservación y salud de los ecosistemas locales. Deficiencia en la gestión integral de las aguas subterráneas en Tarapacá, lo que afecta la sostenibilidad de los acuíferos, considerando su capacidad de recarga y la calidad del agua, y su impacto en los ecosistemas existentes, como vegas y bofedales.	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	2	4	2	2	4	2

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 4.2-5 se presentan las brechas estratégicas identificadas en la región y clasificadas para cada cuenca según el grado de criticidad de dicha brecha. El criterio es aplicado de acuerdo a una serie de indicadores que permiten establecer rangos de análisis cuantitativo para las brechas.

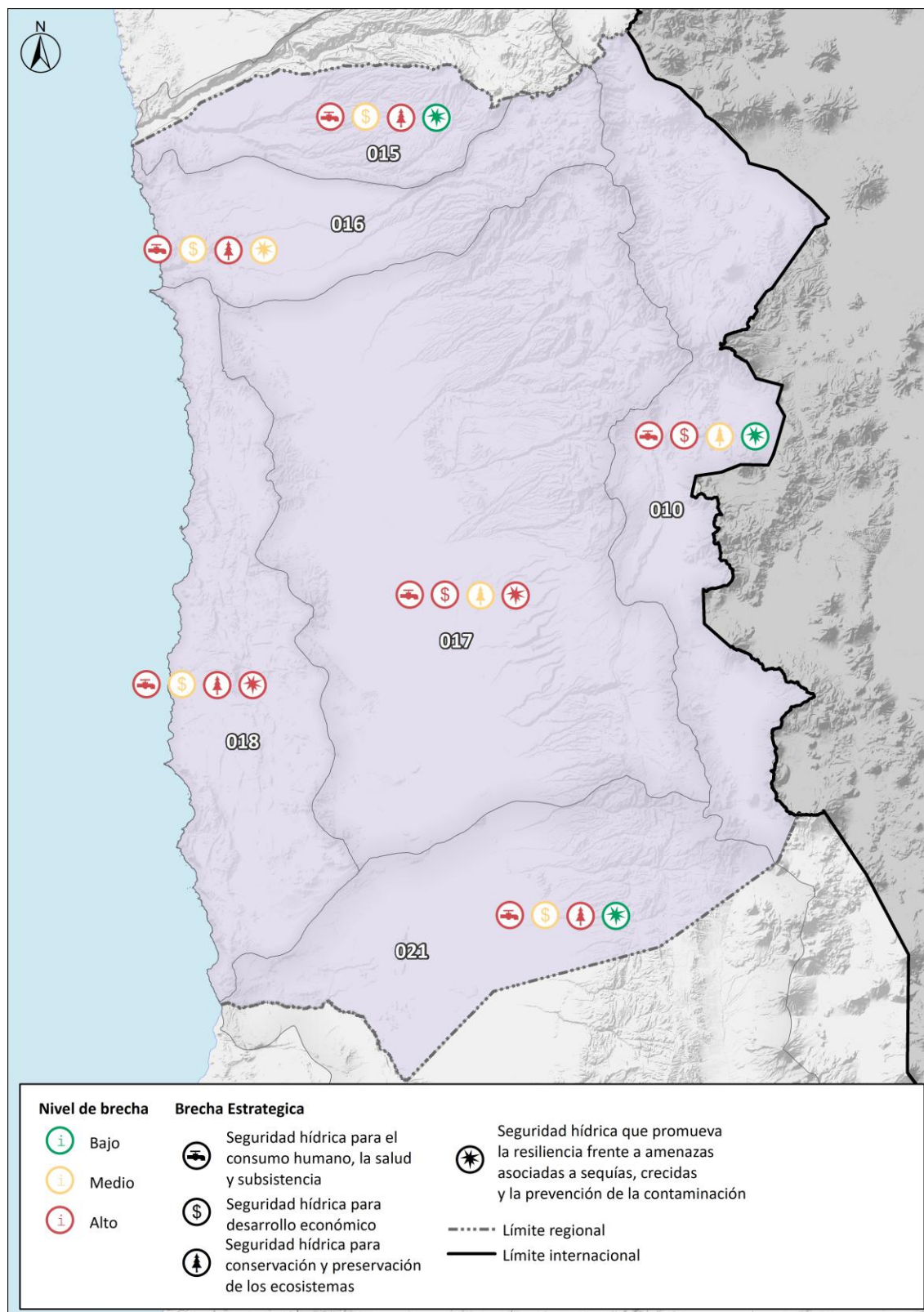
Tabla 4.2-5 Brechas Estratégicas resiliencia frente a amenazas asociadas a eventos extremos por Cuenca Región de Tarapacá

Justificación Regional	Brechas Estratégicas Generales	Brechas Estratégicas Específicas Regionales	Indicador	Rango	Clasificación (qué tan crítica es la brecha)	Altiplánicas	Q. Rio Camarones	Costeras R. Camarones- Pampa del Tamarugal	Pampa del Tamarugal	Costeras Tilviche- Loa	Rio Loa
Si bien se observan planes de riesgos de desastre, incendios, tsunami y remoción en masa. No se identifican dentro de la región planes maestros de aguas lluvias.	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	1	2	4	2	1	1
Dentro de la región solo existen obras de infraestructura de defensa fluvial en base a gaviones para disminuir el impacto de riadas o avalanchas sobre centros poblados o infraestructura, aun así, se presencian inundaciones y pérdida de abastecimiento de agua rural en algunas localidades. Se observan planes de riesgo como medidas a tomar en situación de riesgo, en ausencia de proyectos de infraestructura relacionada a la mitigación de eventos extremos de origen natural.	Aumento del impacto de eventos de crecida asociado a precipitaciones intensas.	Insuficiente identificación de áreas de riesgo y creación de medidas de mitigación y prevención, incluyendo el diseño de alternativas para la construcción de bocatomas definitivas, en colaboración con la comunidad, lo que compromete la efectividad en la protección ante eventos extremos y crecidas. Necesidad de mejorar los sistemas de alerta y registro de eventos hidrológicos extremos (EHE), lo cual es crucial para reducir la vulnerabilidad regional frente a los impactos del cambio climático y mejorar la capacidad de respuesta y reconstrucción.	Variación porcentual de las precipitaciones históricas y su proyección en relación a la densidad poblacional de la cuenca. Se incluye la afectación de zonas habitadas (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	1	2	4	1
Dentro de la región solo existen obras de infraestructura de defensa fluvial en base a gaviones para disminuir el impacto de riadas o avalanchas sobre centros poblados o infraestructura, aun así, se presencian inundaciones y pérdida de abastecimiento de agua rural en algunas localidades. Se observan planes de riesgo como medidas a tomar en situación de riesgo, en ausencia de proyectos de infraestructura relacionada a la mitigación de eventos extremos de origen natural.	Aumento del impacto por eventos de deslizamientos de tierra sobre infraestructura y poblaciones.	Insuficiente identificación de áreas de riesgo y creación de medidas de mitigación y prevención, incluyendo el diseño de alternativas para la construcción de bocatomas definitivas, en colaboración con la comunidad, lo que compromete la efectividad en la protección ante eventos extremos y crecidas. Necesidad de mejorar los sistemas de alerta y registro de eventos hidrológicos extremos (EHE), lo cual es crucial para reducir la vulnerabilidad regional frente a los impactos del cambio climático y mejorar la capacidad de respuesta y reconstrucción.	Variación porcentual de las precipitaciones históricas y su proyección en relación a la densidad poblacional de la cuenca. Se incluye la ocurrencia de eventos de inundación o aluvionales por cuenca (acápite 2.3.2)	Densidad poblacional >= 100 h/km2 y alta/media variabilidad porcentual de pp u Ocurrencia Histórica de eventos de inundación o aluvión. Densidad poblacional entre > 10h/km2 y <100 h/km² y media variabilidad porcentual de pp Densidad poblacional <10h/km2 y alta/media variabilidad porcentual de pp	Alta =4 Media =2 Baja =1	1	1	1	4	4	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 Tarapacá

4.3 BRECHAS DE INFRAESTRUCTURA

En este acápite se presenta las brechas relativas a las obras de infraestructura hídrica, para lo cual se presentan 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, 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 acceso al agua potable y a un saneamiento adecuado, centrándose en satisfacer las diversas necesidades de los diferentes contextos territoriales y abordar los desafíos específicos de género. Además, generar procesos de adaptación e implementar medidas innovadoras de seguridad hídrica para consumo humano con énfasis en servicios de infraestructura para reforzar la resiliencia de los territorios urbanos y rurales. Proporcionar estos servicios de infraestructura críticos para mejorar las condiciones sanitarias y mejorar el acceso al agua potable y al alcantarillado contribuirá a mejorar la calidad de vida general en los asentamientos humanos de la región
- Desarrollar y expandir un sistema integral de producción y saneamiento sanitario urbano y rural en la región, mediante la implementación de tecnologías innovadoras en desalinización, potabilización y reciclaje de agua, complementado con la creación de proyectos que aprovechen las aguas de las crecidas del invierno altiplánico, con el fin de mejorar la cobertura, eficiencia y sostenibilidad de los recursos hídricos y de saneamiento en la región.

ii. Dimensión para la producción sostenible y eficiencia hídrica

- Desarrollar procesos adaptativos e innovadores que fortalezcan la seguridad hídrica, priorizando la mejora de infraestructuras esenciales para la protección de territorios urbanos y rurales. Además, optimizar la gestión del riego y potenciar la agricultura en las cuencas hídricas, impulsando un uso eficiente y sostenible del recurso hídrico

mediante la implementación de nuevas tecnologías y mecanismos para la captación, almacenamiento y distribución del agua.

- Mejorar la infraestructura y gestión del sistema de riego en las quebradas, enfocándose en la renovación de canales, acequias y bocatomas, y la formación y coordinación de entidades con atribuciones en la gestión, regulación y resolución de conflictos sobre recursos hídricos, y promover la eficiencia en el uso del agua mediante la implementación de tecnologías de innovación avanzadas de riego, para un uso eficiente del recurso, aumentando la productividad agrícola.

iii. Dimensión para la conservación y preservación de los ecosistemas

- Implementar procesos de adaptación y medidas innovadoras para mitigar riesgos y preservar los servicios ecosistémicos naturales y el patrimonio natural en la región, mediante la construcción de estanques acumuladores nocturnos en la quebrada baja de Camiña, el desarrollo de estrategias efectivas para la prevención y control de la contaminación de pasivos ambientales, y la promoción de prácticas sostenibles que garanticen la integridad ecológica y la gestión eficiente de los recursos naturales.
- Fortalecer los modelos de gobernanza colaborativa, como también la gestión y distribución de la información hídrica a través de mejoras en la cobertura, sistemas y métodos de medición, así como también, el fomento a nuevas tecnologías de riego para reducir pérdidas y mejorar la eficiencia, incorporando un análisis integral de los recursos hídricos subterráneos y su impacto en las fuentes naturales y sistemas ambientales.
- Desarrollar una gestión integral de aguas subterráneas en Tarapacá que asegure la sostenibilidad de los acuíferos, considerando su capacidad de recarga, la calidad del agua y su impacto en los ecosistemas existentes, como vegas y bofedales. Esto mediante una planificación informada que contemple un conocimiento detallado del funcionamiento de estos sistemas hídricos y de la demanda ambiental en la región, promoviendo el monitoreo continuo de los acuíferos y la realización de estudios que garanticen la preservación y salud de los ecosistemas locales.

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

- Desarrollar un enfoque integral y adaptativo en la gestión de riesgos relacionados con la infraestructura hídrica y el manejo de desastres, principalmente en las provincias de Iquique y Tamarugal, promoviendo la resiliencia mediante medidas de innovación. Esto incluye la identificación de áreas de riesgo, la creación de medidas de mitigación y prevención en colaboración con la comunidad, y el diseño de alternativas para la construcción de bocatomas definitivas y protección ante crecidas. Además, fortalecer los sistemas de alerta y registro de eventos hidrológicos extremos (EHE) para reducir

la vulnerabilidad regional frente a los impactos del cambio climático y mejorar la capacidad de respuesta y reconstrucción en situaciones de emergencia.

4.3.1.2 Acciones o Iniciativas 2010 - 2022

En el análisis de las iniciativas estratégicas de inversión en la región de Tarapacá (ver acápite 3.1.2) se identificaron un total de 71 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. Cabe señalar que, en el caso de las iniciativas regionales, se han aplicado para todas las cuencas de la región.

Con el objetivo de vincular las iniciativas catastradas, con los objetivos estratégicos regionales, se presentan en la Tabla 4.3-1 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 Tarapacá

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 acceso al agua potable y a un saneamiento adecuado, centrándose en satisfacer las diversas necesidades de los diferentes contextos territoriales y abordar los desafíos específicos de género. Además, generar procesos de adaptación e implementar medidas innovadoras de seguridad hídrica para consumo humano con énfasis en servicios de infraestructura para reforzar la resiliencia de los territorios urbanos y rurales. Proporcionar estos servicios de infraestructura críticos para mejorar las condiciones sanitarias y mejorar el acceso al agua potable y al alcantarillado contribuirá a mejorar la calidad de vida general en los asentamientos humanos de la región.	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
	Desarrollar y expandir un sistema integral de producción y saneamiento sanitario urbano y rural en la región, mediante la implementación de tecnologías innovadoras en desalinización, potabilización y reciclaje de agua, complementado con la creación de proyectos que aprovechen las aguas de las crecidas del invierno altiplánico, con el fin de mejorar la cobertura, eficiencia y sostenibilidad de los recursos hídricos y de saneamiento en la región.	Desalinización Reúso de aguas residuales (grises/servidas/lluvia) Recarga artificial de acuíferos	Estudios de desalación Estudio de reúso de aguas Estudios de aguas lluvias Estudio obras de recarga artificial de acuíferos	Manejo de normas ambientales e hídricas Planes y políticas
D2. Producción sostenible y eficiencia hídrica	Mejorar la infraestructura y gestión del sistema de riego en las quebradas, enfocándose en la renovación de canales, acequias y bocatomas, y la formación y coordinación de entidades con atribuciones en la gestión, regulación y resolución de conflictos sobre recursos hídricos, y promover la eficiencia en el uso del agua mediante la implementación de tecnologías de innovación avanzadas de riego, para un uso eficiente del recurso, aumentando la productividad agrícola.	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
		N/A	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
	Desarrollar procesos adaptativos e innovadores que fortalezcan la seguridad hídrica, priorizando la mejora de infraestructuras esenciales para la protección de territorios urbanos y rurales. Además, optimizar la gestión del riego y potenciar la agricultura en las cuencas hídricas, impulsando un uso eficiente y sostenible del recurso hídrico mediante la implementación de nuevas tecnologías y mecanismos para la captación, almacenamiento y distribución del agua.	Obras de acumulación de agua Trasvase de aguas	Reglas de operación para embalses Estudios obras de acumulación de agua	Creación de capital humano Análisis situación legal DAA Fortalecimiento y formalización de OUA Planes y políticas
		Desalinización Reúso de aguas residuales (grises/servidas/lluvia) Recarga artificial de acuíferos	Estudios de desalación Estudio de reúso de aguas Estudios de aguas lluvias Estudio obras de recarga artificial de acuíferos	Manejo de normas ambientales e hídricas Planes y políticas

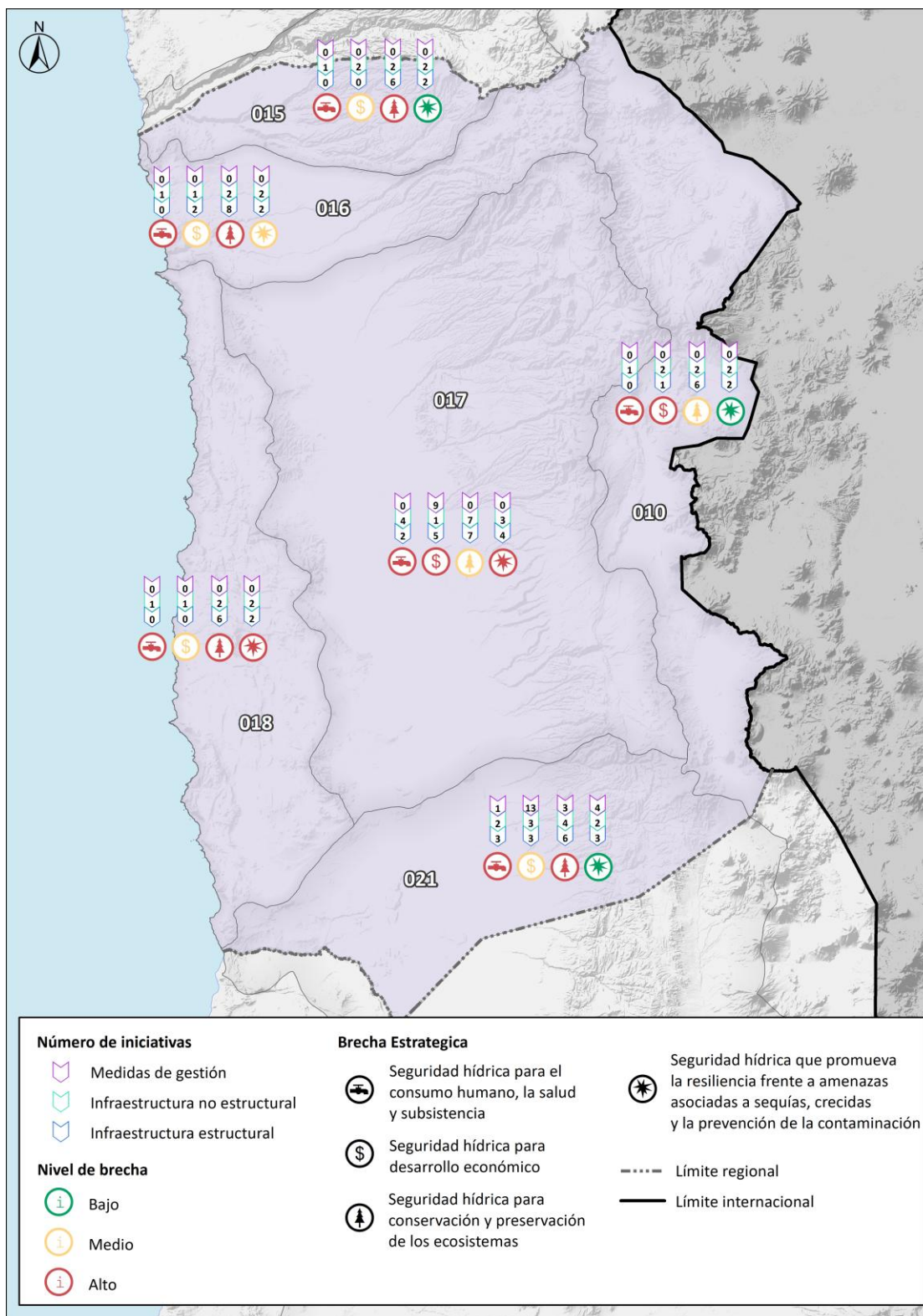
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.3-1 Tipología de iniciativas asociadas a resolver brechas estratégicas en la región de Tarapacá (Continuación)

Objetivos y problemas identificados en la región (O)		Tipo de iniciativas necesarias para alcanzar objetivos (A)		
Dimensión estratégica Seguridad Hídrica Nacional	Objetivos regionales específicos	Infraestructura estructural	Infraestructura no estructural	Medidas de Gestión
D3. Conservación y preservación de los ecosistemas	Implementar procesos de adaptación y medidas innovadoras para mitigar riesgos y preservar los servicios ecosistémicos naturales y el patrimonio natural en la región, mediante la construcción de estanques acumuladores nocturnos en la quebrada baja de Camiña, el desarrollo de estrategias efectivas para la prevención y control de la contaminación de pasivos ambientales, y la promoción de prácticas sostenibles que garanticen la integridad ecológica y la gestión eficiente de los recursos naturales.	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 Reservas de agua
		Conservación y restauración de riberas y cauces	Conservación y restauración de riberas y cauces	Manejo de normas ambientales e hídricas Manejo riesgos de contaminación de aguas Reservas de agua
	Fortalecer los modelos de gobernanza colaborativa, como también la gestión y distribución de la información hídrica a través de mejoras en la cobertura, sistemas y métodos de medición, así como también, el fomento a nuevas tecnologías de riego para reducir pérdidas y mejorar la eficiencia, incorporando un análisis integral de los recursos hídricos subterráneos y su impacto en las fuentes naturales y sistemas ambientales. Desarrollar una gestión integral de las aguas subterráneas en Tarapacá que asegure la sostenibilidad de los acuíferos, considerando su capacidad de recarga, la calidad del agua y su impacto en los ecosistemas existentes, como vegas y bofedales. Esto mediante una planificación informada que contemple un conocimiento detallado del funcionamiento de estos sistemas hídricos y de la demanda ambiental en la región, promoviendo el monitoreo continuo de los acuíferos y la realización de estudios que garanticen la preservación y salud de los ecosistemas locales.	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
		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
		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	Desarrollar un enfoque integral y adaptativo en la gestión de riesgos relacionados con la infraestructura hídrica y el manejo de desastres, principalmente en las provincias de Iquique y Tamarugal, promoviendo la resiliencia mediante medidas de innovación. Esto incluye la identificación de áreas de riesgo, la creación de medidas de mitigación y prevención en colaboración con la comunidad, y el diseño de alternativas para la construcción de bocatomas definitivas y protección ante crecidas. Además, fortalecer los sistemas de alerta y registro de eventos hidrológicos extremos (EHE) para reducir la vulnerabilidad regional frente a los impactos del cambio climático y mejorar la capacidad de respuesta y reconstrucción en situaciones de emergencia.	Redes de aguas lluvias Drenaje de aguas	Estudio hidrológico o hidrogeológico para disponibilidad hídrica	Manejo de quebradas Manejo de normas ambientales e hídricas Planes y políticas
		Reforestación y forestación de cuencas para disminución de riesgo de desastres Defensa fluvial y aluvional	Estudios de riesgo fluvial y aluvional Análisis de red hidrométrica y plataformas de información	Manejo de quebradas Manejo de normas ambientales e hídricas Planes y políticas
		Reforestación y forestación de cuencas para disminución de riesgo de desastres Defensa fluvial y aluvional	Estudios de riesgo fluvial y aluvional Análisis de red hidrométrica y plataformas de información	Manejo de quebradas Manejo de normas ambientales e hídricas Planes y políticas
			Análisis sistemas glaciares y periglaciares	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, que por diversas razones no se han ejecutado (ver acápite 3.1.2 y detalles en el Anexo 02.04), 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 Tarapacá

4.3.1.3 Incertidumbre

i. Sobre factores técnicos y disponibilidad de información

Tras revisar la cartera de acciones y proyectos en la región de Tarapacá, se han identificado varios obstáculos que dificultan la implementación favorable de las iniciativas. Las fichas BIP indican conclusiones, como la necesidad de mejorar la descripción de actividades, la ausencia de un cronograma adecuado, discrepancias en el presupuesto, dudas sobre la gestión de recursos y confusión en los datos de usuarios. En otro proyecto, se determinó que no se recomienda su ejecución debido a que la propuesta coincide parcialmente con estudios anteriores. Se sugiere revisar los términos de referencia del estudio y considerar acciones complementarias. Además, se resalta la necesidad de completar correctamente varios puntos en la ficha de la iniciativa.

Estas conclusiones subrayan la importancia de abordar cada proyecto de manera integral y detallada, identificando los desafíos que puedan surgir durante su ejecución. Las objeciones técnicas implican la revisión y el cumplimiento de términos de referencia. Además, varios proyectos de la región de Tarapacá no se encontraban en el Banco Integrado de Proyectos, y se observan discrepancias con la bibliografía señalada.

ii. Sobre factores socioambientales

En la Región de Tarapacá, el agua es un recurso vital regulado por marcos normativos, pero enfrenta conflictos debido a la competencia entre sectores como la agricultura, el turismo, la minería y los usos domésticos. Los estudiantes de enseñanza media de la comuna de Pica expresan preocupaciones sobre la disponibilidad y calidad del agua, especialmente aquellos que se identifican como parte de comunidades originarias. Además, muestran desconfianza hacia las autoridades y empresas mineras en relación con el uso del agua. Este conflicto refleja la tensión entre la preservación del recurso y su explotación para el desarrollo económico, lo que destaca la necesidad de abordar estos problemas mediante políticas y programas de educación ambiental para abordar estos problemas, reconociendo el papel de la pedagogía y la preparación de profesionales en este proceso (Amado, 2019).

Sobre los casos conocidos en la región de Tarapacá relacionados a conflictos ambientales y por el agua, de acuerdo a “Conflictos por el agua en Chile: Entre los derechos humanos y las reglas del Mercado” de (Sara Larraín, 2010), son los siguientes:

- Minera Cerro Colorado (BHP Billiton) y la comunidad indígena de Cancosa: El conflicto se enmarca en el uso excesivo de aguas subterráneas, lo que ha resultado en la degradación ambiental del territorio ancestral de la comunidad.

La empresa ha excedido sus derechos sobre el agua, afectando los bofedales y la actividad agrícola y ganadera de Cancosa. Aunque se han propuesto soluciones, como bombear agua para recuperar los bofedales, el daño ambiental reflejó los impactos en la comunidad, tanto socioeconómicos como psicosociales. A pesar de las sanciones impuestas por incumplimiento ambiental, la empresa ha presentado recursos dilatorios, retrasando la resolución judicial. La comunidad ha buscado justicia a través de demandas legales, mientras que también busca el resurgimiento económico mediante el turismo.

- Conflicto en oasis de Pica, ubicado en las cercanías del camino del Inca, 114 kilómetros al interior de Iquique, región de Tarapacá: Debido a la extracción de agua por parte de la minera Collahuasi, en donde a lo largo de dos décadas, diversas organizaciones han luchado por detener la sobreexplotación y restaurar los acuíferos, mientras buscan que las autoridades garanticen el desarrollo sostenible. Aunque la Dirección General de Aguas reconoce el desequilibrio entre la demanda y la disponibilidad de agua, se detectó que se propició la explotación intensiva sin perjuicio para terceros o el ambiente. La comunidad demanda estudios de impacto ambiental independientes y reformas legales para proteger los derechos territoriales indígenas. La situación, que afecta a toda la comuna, plantea un dilema entre la preservación de recursos naturales y las presiones económicas de la industria minera.
- El conflicto en Chusmiza y Usmagama, dos pueblos aymaras en el norte de Chile, gira en torno a la usurpación de sus derechos ancestrales sobre el agua por parte de una embotelladora establecida en 1915. Lo que comenzó como una fuente vital para la agricultura y las aguas termales curativas se convirtió en un recurso comercial, con la empresa cambiando la naturaleza de los derechos de agua y amenazando la supervivencia de los pueblos y su economía local. Después de una larga lucha legal, la comunidad finalmente obtuvo una histórica victoria en 2009, cuando la Corte Suprema reconoció sus derechos sobre la vertiente Socavón, marcando un hito en la protección de los derechos indígenas sobre los recursos naturales y avanzando hacia una resolución justa de los conflictos sobre derechos de agua en Chile.

Se revisa un estudio que analiza cómo convergen intereses socioculturales, ambientales, políticos y económicos en el altiplano andino de Tarapacá y se presenta el caso en las comunidades andinas de Lirima y Cancosa, ambas de etnia Aymara, evidenciando los cambios discursivos y materiales en la producción territorial a lo largo del tiempo, especialmente en respuesta a la introducción de la legislación neoliberal y la actividad minera moderna. La modernización introdujo conceptos occidentales de territorio, lo

que llevó a conflictos por el acceso a recursos como el agua y la tierra. La llegada del Estado chileno y la explotación industrial del salitre intensificaron estos conflictos. Además, la imposición de la educación occidental y la concentración de la población en centros urbanos transformaron las prácticas culturales y la relación con el territorio de las comunidades indígenas, originalmente dedicadas a la ganadería de camélidos, que se ven afectadas por la llegada de empresas mineras de cobre con interés además en los recursos hídricos. El proceso minero reciente intenta reparar daños ambientales mediante compensaciones económicas, aumentando tensiones y conflictos internos. La comparación de momentos histórico-territoriales muestra una progresiva disolución de la propiedad comunal, culminando en la mercantilización del agua y subsuelo. La llegada de la minería del cobre y la prospección geotérmica son hitos en el proceso de modernización territorial (Manuel Méndez, 2020).

En un estudio sobre la implementación del programa APR en Chanavaya, se encontró que dicho programa se consideró externo por la comunidad rural, originándose ciertas tensiones, afectándose la dinámica comunitaria. Se resalta la relevancia de considerar las particularidades de cada comunidad en relación con el acceso al agua potable, así como el papel fundamental de la antropología en torno a los recursos hídricos para comprender las dimensiones sociales, culturales y políticas de estos conflictos, ya que se generan rivalidades en la búsqueda de intereses comunes. En relación con las instituciones, se sugiere que éstas podrían articular las hostilidades comunitarias (Cantillana, 2018).

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 02.05.

En la Tabla 4.3-2 se presenta el universo y las metas por tipología utilizadas para definir la cartera asociada a las iniciativas estratégicas. En el Anexo 02.07, se presenta el detalle por tipo de inversión.

Tabla 4.3-2 Universo y metas de infraestructura según tipología en la región de Tarapacá

Código TP	Tipología de Proyecto (TdP)	N° inversiones	Universo	Metas
1-1	Diseño, Construcción de Sistemas de Agua Potable Rural	14	Población sin Abastecer 2055	-
1-2	Ampliación y/o Mejoramiento de Servicios Existentes de Agua Potable Rural	17	Población sin Abastecer 2055	-
1-3	Implementación de Sistemas Operacionales de Telemetría y Control en Sistemas de Agua Potable Rural	5	Total de APR existentes y Proyectados 2055	-
1-4	Diseño, Construcción de Alcantarillado y Tratamiento de Aguas Servidas en Servicios Sanitarios Rurales	12	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	8	Planes de Recursos Hídricos y Riego según Vigencia	-
2-2	Diseño y Construcción de Plantas Desaladoras y Desalinizadoras	1	Población sin Abastecer 2055 en sector costero (2 km de borde costero)	-
2-3	Eficiencia en el Uso del Agua: - Fomento de Eficiencia Hídrica en Riego; - Fomento de Eficiencia Hídrica en Agua Potable Urbana	1	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	7	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	7	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	14	Programa de Embalses DOH	Considera una meta de avance de 5% del total de canales
3-1	Diseño, Construcción e Implementación de Tecnologías en Estaciones Fluviométricas en Cauces y/o Canales	8	Cuantificado según número de inversiones	-
3-2	Diseño, Construcción e Implementación de Tecnologías en Estaciones de Calidad de Aguas en Cuencas	6	Cuantificado según número de inversiones	-
3-3	Diseño, Construcción e Implementación de Tecnologías en Estaciones Meteorológicas	6	Cuantificado según número de inversiones	-
3-4	Diseño, Construcción e Implementación de Tecnologías en Estaciones de Monitoreo de Glaciares y Nieves	1	Cuantificado según número de inversiones	-
3-5	Diseño, Construcción e Implementación de Tecnologías en Pozos de Observación	3	Cuantificado según número de inversiones	-
3-6	Desarrollo e Implementación de una Gestión Integrada de Recursos Hídricos en Cuencas	15	Cuantificado según número de inversiones	-
4-1	Conservación, Restauración y Protección de Humedales, Riberas y Cauces	9	-	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	7	Priorizar ejecución de estudios	-
5-1	Diseño, Construcción de Obras de Control Aluvional en Cauces y Quebradas	15	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	5	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

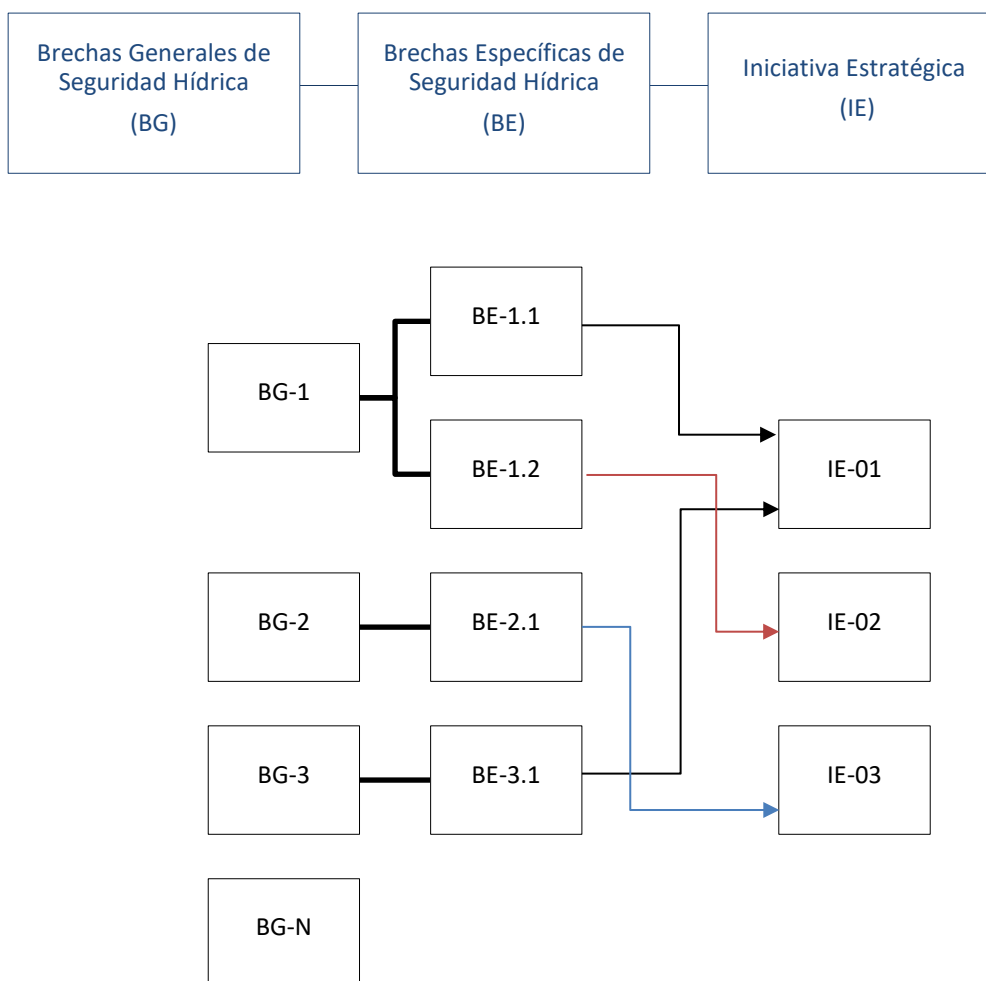
En el presente acápite se identifican las iniciativas estratégicas y sus carpetas de pre/inversión hídrica a considerar en una planificación prospectiva a 2055.

En el Anexo 02.07 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 (TAR), *INI – EST* la abreviación de “Iniciativas Estratégica” y *NN* un número correlativo.

Para esta región se han identificado las siguientes iniciativas estratégicas:

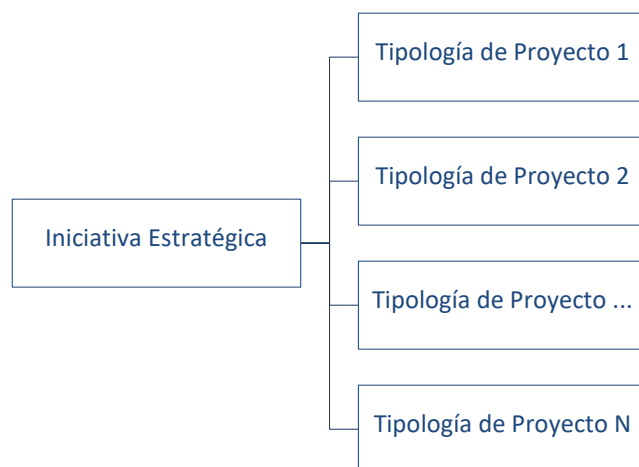
Tabla 5.1-1 Iniciativas Estratégicas

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	TAR-INI-EST-01
Fuentes de abastecimiento sustentables para consumo humano y riego con énfasis en la calidad del agua	TAR-INI-EST-02
Implementación de un sistema de seguimiento y monitoreo integral, asociado a una gestión integrada de cuencas	TAR-INI-EST-03
Obras y medidas de protección y recuperación de sistemas ecosistémicos naturales, basadas en la naturaleza con énfasis en las aguas subterráneas	TAR-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	TAR-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 Tarapacá las Tipologías de proyectos son los presentados en la Tabla 5.2-1.

Tabla 5.2-1 Tipologías de Proyectos por Iniciativas Estratégicas

TAR-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
TAR-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
TAR-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
TAR-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
TAR-INI-EST-05	5-1	Diseño, Construcción de Obras de Control Aluvional en Cauces y Quebradas
	5-2	Diseño, Construcción de Obras de Mejoramiento, Reposición, Restauración o Conservación de Defensas Fluviales, Manejo de Cauces y Riberas
	5-3	Diseño, Construcción y Conservación de Obras de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias

Fuente: Elaboración propia

5.3 CONFORMACIÓN DE LA CARTERA DE PRE/INVERSIONES

Con las iniciativas estratégicas definidas en conjunto de sus tipologías de proyecto se procedió a conformar la cartera de preinversiones e inversiones de la región a nivel de cuencas. Es

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

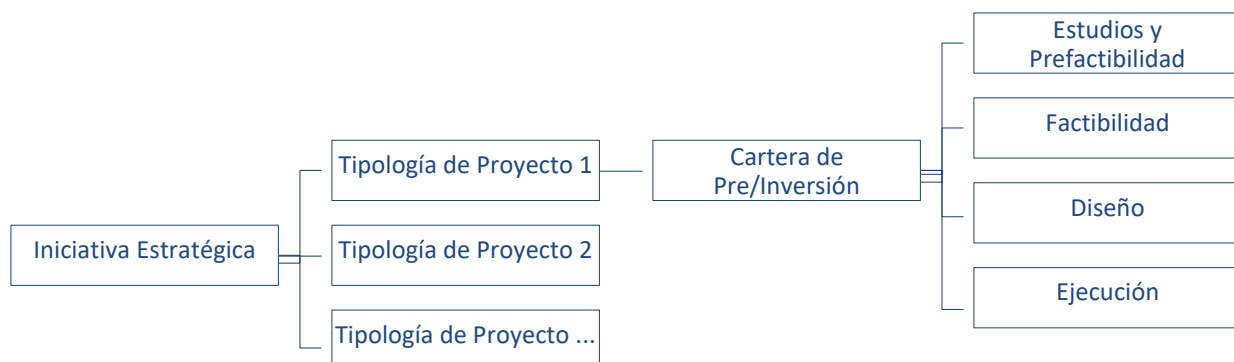


Figura 5.3-1 Diagrama Estructura Iniciativas Estratégica, Tipología de Proyectos y Cartera de Pre/Inversiones

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

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

Con esta información se consideraron los siguientes pasos:

1. Se agruparon las inversiones por tipología de proyecto
2. Se descartan las iniciativas repetidas bajo la siguiente priorización

- a. Cartera Quinquenal: primera prioridad
 - b. Cartera PIH: Segunda prioridad
 - c. Cartera proyectos Existentes. Tercera Prioridad
3. En el caso de que no se cubra la brecha con las iniciativas ya existentes, se propone una nueva inversión. Esta inversión se codifica con la sigla AIH-RRR-IE-TP-NN, donde AIH corresponde a la sigla “Análisis de Requerimientos de Infraestructura Hídrica”, “RRR” el código de la región (TAR), “IE” el numero correlativo de la Iniciativa estratégica, “TP” la tipología de proyecto a la que pertenece y NN un número de correlativo.

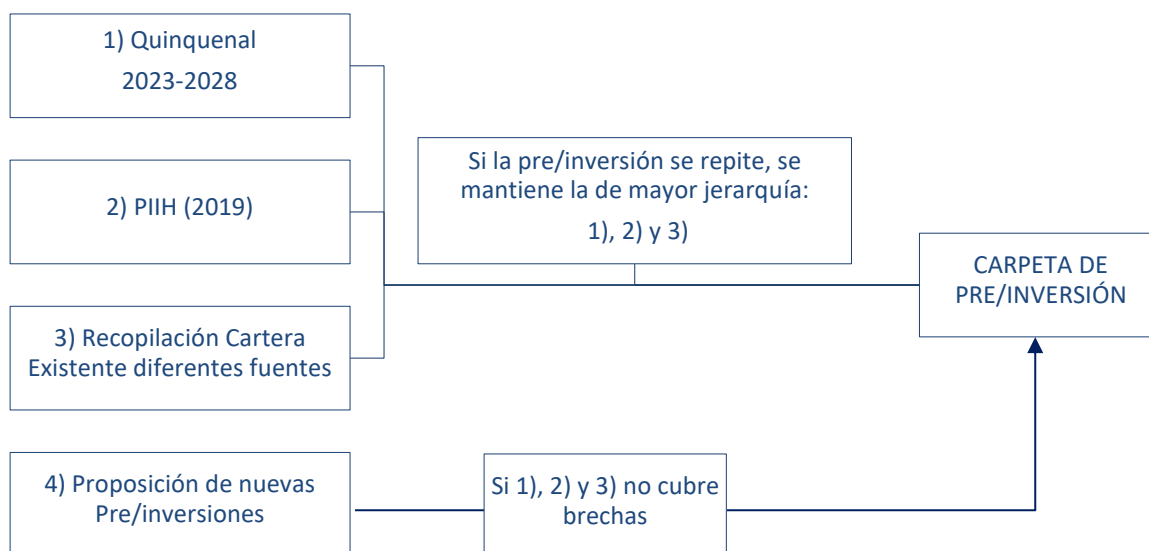


Figura 5.3-2 Diagrama de Composición de Cartera de Pre/inversión

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 TAR-INI-EST-01

Código	Descripción Tipología	Criterios para la determinación de las iniciativas a proyectar
1-1	Diseño, Construcción de Sistemas de Agua Potable Rural	A partir de proyección de Demanda APR sin abastecimiento, informada en capítulo 2.2.2, se define el número total de arranques promedio de los sistemas de APR y cantidad por cuenca y comuna.
1-2	Ampliación y/o Mejoramiento de Servicios Existentes de Agua Potable Rural	No se proyectan ampliaciones al sistema, ya que el aumento se considera en 1.1.
1-3	Implementación de Sistemas Operacionales de Telemetría y Control en Sistemas de Agua Potable Rural	Se propone proyectar al menos un sistema de telemetría y control para cada APR existente y proyectado 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 02.07.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.3-2 Criterios para la determinación de las iniciativas a proyectar TAR-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.
2-5	Diseño, Construcción de Sistemas de Reutilización de Aguas Servidas para Riego	Se propone estudios y proyectos de reutilización de aguas servidas para el uso en riego donde exista presencia de APR y, de presencia, zonas con riego.

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

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.3-3 Criterios para la determinación de las iniciativas a proyectar TAR-INI-EST-03 y TAR-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 02.07). 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 02.07
3-4	Diseño, Construcción e Implementación de Tecnologías en Estaciones de Monitoreo de Glaciares y Nieves	Inicialmente se considera cobertura nacional. En base a esto, se prioriza para rutas de nieve zonas norte, sur y austral, escogiendo sectores planos, accesibles y lo suficientemente elevados según la latitud. Se proponen ubicaciones cercanas a pasos fronterizos, centros de montaña o puntos elevados de la Carretera Austral (cuesta Queulat, por ejemplo). Respecto a glaciares, estos son escasos en la zona norte, además de encontrarse a grandes elevaciones y ser en su mayoría rocosos, por lo que se proponen estaciones a partir del norte chico en glaciares de montaña, de valle o efluentes, de dimensiones importantes y relativamente accesibles, en

Código	Descripción Tipología	Criterios para la determinación de las iniciativas a proyectar
		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 02.07.
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 TAR-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 TAR-INI-EST-05

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

Fuente: Elaboración propia

5.4 DETERMINACIÓN DE COSTOS UNITARIOS DE TIPOOGÍAS DE PROYECTOS

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

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

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

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

N°	COD INI	IE	Código TP	Tipologías de Proyecto (TP)	Nombre de Pre/Inversión (Genérico)	Etapa MDSyF	Costo (M\$)	Innovadoras
1	NE-4-01	1	1-1	Diseño, Construcción de Sistemas de Agua Potable Rural	Planes Estratégicos de Recursos Hídricos en la Cuenca	Ejecución-Prefactibilidad	280.000	no
2	ES-2-01				Construcción Sistema APR, Cuenca	Factibilidad	90.000	no
3	ES-2-05				Construcción Sistema APR, Cuenca	Diseño	280.000	no
4	ES-2-08				Construcción Sistema APR, Cuenca	Ejecución	2.800.000	no
5	ES-2-13				Conservación Sistema APR, Cuenca	Ejecución	50.000	no
6	ES-2-01	1	1-2	Ampliación y/o Mejoramiento de Servicios Existentes de Agua Potable Rural	Ampliación Sistema APR, Cuenca	Factibilidad	90.000	no
7	ES-2-05				Ampliación Sistema APR, Cuenca	Diseño	280.000	no
8	ES-2-08				Ampliación Sistema APR, Cuenca	Ejecución	2.800.000	no
9	ES-2-13				Conservación Sistema APR, Cuenca	Ejecución	50.000	no
10	ES-1-02	1	1-3	Implementación de Sistemas Operacionales de Telemetría y Control en Sistemas de Agua Potable Rural	Construcción Sistema de Telemetría, Cuenca	Factibilidad	1.000.000	no
11	ES-1-02.1				Construcción Sistema de Telemetría, Cuenca	Diseño	80.000	no
12	ES-1-02.2				Construcción Sistema de Telemetría, Cuenca	Ejecución	150.000	no
13	ES-2-02	1	1-4	Diseño, Construcción de Alcantarillado y Tratamiento de Aguas Servidas en Servicios Sanitarios Rurales	Construcción Sistema Saneamiento APR, Cuenca	Factibilidad	90.000	no
14	ES-2-06				Construcción Sistema Saneamiento APR, Cuenca	Diseño	280.000	no
15	ES-2-07				Construcción Alcantarillado, Cuenca	Diseño	280.000	no
16	ES-2-09				Construcción Sistema Saneamiento APR, Cuenca	Ejecución	1.000.000	no
17	ES-2-10				Construcción Alcantarillado, Cuenca	Ejecución	3.200.000	no
18	ES-2-15				Construcción Planta de Tratamiento, Cuenca	Ejecución	400.000	no
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	Nuevas tecnologías para el consumo eficiente	Ejecución-Prefactibilidad	150.000	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
24	ES-2-04.1	2	2-4	Eficiencia Hídrica en Riego - Fomento de Eficiencia Hídrica en Agua Potable Urbana	Normalización Elementos eficientes en el Sistema APR	Factibilidad	150.000	no
25	ES-2-04				Normalización Elementos eficientes en el Sistema APR	Diseño	150.000	no
26	ES-2-12				Normalización Elementos eficientes en el Sistema APR	Ejecución	2.500.000	no
27	ES-7-01	2	2-4	Diseño y Construcción de Obras para la Recuperación y Recarga de Acuíferos	Construcción Obras para la Recuperación y Recarga de acuíferos, Cuenca	Factibilidad	150.000	no
28	ES-7-02				Construcción Obras para la Recuperación y Recarga de acuíferos, Cuenca	Diseño	200.000	no
29	ES-7-03				Construcción Obras para la Recuperación y Recarga de acuíferos, Cuenca	Ejecución	1.500.000	no
30	ES-2-03	2	2-5	Diseño, Construcción de Sistemas de Reutilización de Aguas Servidas Urbanas para Riego	Construcción Sistema de reúso de Aguas, Cuenca	Factibilidad	150.000	si
31	ES-2-11				Construcción Sistema de reúso de Aguas, Cuenca	Diseño	280.000	si
32	ES-2-11.1				Construcción Sistema de reúso de Aguas, Cuenca	Ejecución	2.500.000	si
33	NE-2-03	2	2-6	Desarrollo de Regularización de DAA en Captaciones Promoción y Conformación de Organizaciones de Usuarios Plan de Seguimiento a Planes de Riego	Medida de gestión: Programa de reforzamiento de OUA	Medida de Gestión	250.000	no
34	ES-3-05.1				Mejoramiento Tecnológico Sistema de Riego, Cuenca	Factibilidad	200.000	no
35	ES-3-05				Mejoramiento Tecnológico Sistema de Riego, Cuenca	Diseño	250.000	no
36	ES-3-08				Mejoramiento Tecnológico Sistema de Riego, Cuenca	Ejecución	4.000.000	no
37	NE-4-02	2	2-7	Diseño, Construcción de Grandes Obras de Riego. 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

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
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 de Calidad de Aguas en Cuencas	Construcción Estación de Calidad de Aguas, Cuenca	Factibilidad	10.000	no
51	ES-1-01.2				Construcción Estación de Calidad de Aguas, Cuenca	Diseño	40.000	no
52	ES-1-01				Construcción Estación de Calidad de Aguas, Cuenca	Ejecución	198.000	no
50	ES-1-01.1	3	3-3	Diseño, Construcción e Implementación de Tecnologías en Estaciones Meteorológicas	Construcción Estación Meteorológica, Cuenca	Factibilidad	10.000	no
51	ES-1-01.2				Construcción Estación Meteorológica, Cuenca	Diseño	40.000	no
52	ES-1-01				Construcción Estación Meteorológica, Cuenca	Ejecución	198.000	no
53	ES-1-01.1	3	3-4	Diseño, Construcción e Implementación de Tecnologías en Estaciones de Monitoreo de Glaciares y Nieves	Construcción Estación de Monitoreo de Glaciares y Nieve, Cuenca	Factibilidad	10.000	no
54	ES-1-01.2				Construcción Estación de Monitoreo de Glaciares y Nieve, Cuenca	Diseño	40.000	no
55	ES-1-01				Construcción Estación de Monitoreo de Glaciares y Nieve, Cuenca	Ejecución	198.000	no
56	ES-1-03.1	3	3-5	Diseño, Construcción e Implementación de Tecnologías en Pozos de Observación	Construcción Estación piezométrica, Cuenca	Factibilidad	10.000	no
57	ES-1-03.2				Construcción Estación piezométrica, Cuenca	Diseño	10.000	no
58	ES-1-03				Construcción Estación piezométrica, Cuenca	Ejecución	50.000	no
59	NE-2-01	3	3-6	Desarrollo e Implementación de una Gestión Integrada de Recursos Hídricos en Cuencas	Medida de gestión: Seminarios y talleres	Medida de Gestión	20.000	no
60	NE-2-02				Medida de gestión: Programas de Capacitación y Seguimiento	Medida de Gestión	60.000	no
61	NE-4-06				Medida de gestión: Programas de Capacitación y Seguimiento	Medida de Gestión	200.000	no
62	NE-4-05				Implementación de un sistema de seguimiento y monitoreo integral	Ejecución-Prefactibilidad	250.000	no
63	NE-3-02	4	4-1	Conservación y restauración de riberas, cauces y humedales	Estudio de Erosión y arrastre de sedimentos y sus efectos ambientales, económicos y sociales en el territorio	Ejecución	150.000	si
64	NE-3-01				Estudio Definición de franjas de restricción y Prohibición por riesgo de inundación, erosión u otro	Ejecución	350.000	si
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

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
72	ES-5-06.1				Construcción Sistema Urbanos de Drenaje Sostenibles (SUDS)	Factibilidad	150.000	si
73	ES-5-06.2				Construcción Sistema Urbanos de Drenaje Sostenibles (SUDS)	Diseño	200.000	si
74	ES-5-06				Construcción Sistema Urbanos de Drenaje Sostenibles (SUDS)	Ejecución	1.000.000	si
75	ES-3-11.1				Construcción de áreas verdes de flora nativa para la protección de riberas y orillas, en río/estero	factibilidad	250.000	si
76	ES-3-11.2				Construcción de áreas verdes de flora nativa para la protección de riberas y orillas, en río/estero	Diseño	400.000	si
77	ES-3-11.3				Construcción de áreas verdes de flora nativa para la protección de riberas y orillas, en río/estero	Ejecución	4.000.000	si
78	NE-1-04	4	4-2	Medida de Gestión: Implementación de Norma Secundaria de Calidad	Manejo de normas ambientales e hídricas, Reservas de agua, Planes y políticas	Ejecución	20.000	no
79	ES-4-03	5	5-1	Diseño, Construcción de Obras de Control Aluvional en Cauces y Quebradas	Construcción de Obras aluvionales, río/quebrada	Factibilidad	300.000	no
80	ES-4-03.1				Construcción de Obras aluvionales, río/quebrada	Diseño	400.000	no
81	ES-4-05				Construcción de Obras aluvionales, río/quebrada	Ejecución	3.000.000	no
82	ES-4-01				Plan de Manejo de Cauce, en río	Ejecución-Prefactibilidad	400.000	no
83	ES-4-02	5	5-2	Diseño, Construcción de Obras de Mejoramiento, Reposición, Restauración o Conservación de Defensas Fluviales, Manejo de Cauces y Riberas	Construcción de Defensas Fluviales, en río	Factibilidad	100.000	no
84	ES-4-02.1				Construcción de Defensas Fluviales, en río	Diseño	120.000	no
85	ES-4-04				Construcción de Defensas Fluviales, en río	Ejecución	4.500.000	no
86	ES-4-08				Conservación de Riberas, en río	Ejecución	1.000.000	no
87	ES-5-01	5	5-3	Diseño, Construcción y Conservación de Obras de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias	Plan Maestro de Aguas Lluvias o Actualización, Ciudad de	Ejecución-Prefactibilidad	350.000	no
88	ES-5-02				Construcción Sistema de Aguas Lluvias, Ciudad de	Factibilidad	250.000	no
89	ES-5-03				Construcción Estero/Canal de Aguas Lluvias, Ciudad de	Diseño	300.000	no
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 02.07.

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\$)
TAR-INI-EST-01	52	113.493.329
TAR-INI-EST-02	48	83.211.504
TAR-INI-EST-03	49	24.405.863
TAR-INI-EST-04	22	47.640.329
TAR-INI-EST-05	27	134.910.649
TOTAL	198	403.661.675

Fuente: Elaboración propia

5.6 ESTIMACIÓN DE BENEFICIOS PARA LA MATRIZ HÍDRICA

5.6.1 Beneficios de Inversiones

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

- Se define su incidencia o impacto asociado a su desarrollo, tales como:
 - Más Información
 - Más Personas abastecidas
 - Más personas con saneamiento
 - Superficie de riego equivalente beneficiada
 - Volumen Regulado
 - Protección de Riberas
 - Recarga Acuíferos
- Se define la unidad de medida del Beneficio, por ejemplo:
 - en proyectos reúso el beneficio se mide en las potenciales hectáreas beneficiadas,
 - en proyectos de APR y saneamiento en el número de personas.
 - En proyectos fluviales, aluviales en km de riberas mejorados/protegidos
- El Beneficio efectivo solo se incorpora en las Inversiones en etapas de ejecución y de estudio (prefactibilidad y Ejecución)

En la Tabla 5.6-1, se indica la unidad de Beneficio y la incidencia de cada tipo de inversión, el detalle del beneficio se presenta en el Anexo 02.07.

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	Más Personas Abastecidas
ES-2-01A	Factibilidad	Prefactibilidad Ampliación/Mejoramiento Sistema de Agua Potable Rural	Nº Arranques	Personas	Más Personas Abastecidas
ES-2-02	Factibilidad	Prefactibilidad Ampliación/Mejoramiento Sistema de Agua Servidas	Nº Arranques	Personas	Más 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	Más Personas Abastecidas
ES-2-05A	Diseño	Diseño Ampliación/Mejoramiento Sistema APR	Nº Arranques	Personas	Más Personas Abastecidas
ES-2-06	Diseño	Diseño Construcción/Ampliación Sistema SSR	Nº Arranques	Personas	Más personas con Saneamiento
ES-2-07	Diseño	Diseño Construcción de Colectores de Aguas Servidas	Nº Arranques	Personas	Más personas con Saneamiento
ES-2-08	Ejecución	Construcción Sistema APR	Nº Arranques	Personas	Más Personas Abastecidas
ES-2-08A	Ejecución	Ampliación/Mejoramiento Sistema APR	Nº Arranques	Personas	Más Personas Abastecidas
ES-2-09	Ejecución	Construcción/Ampliación Sistema SSR	Nº Arranques	Personas	Más personas con Saneamiento
ES-2-10	Ejecución	Construcción de Colectores de Aguas Servidas	Nº Arranques	Personas	Más 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	Más Personas Abastecidas
ES-2-14.2	Diseño	Implementación de plantas desaladoras para disponibilidad de agua	Nº Arranques	personas	Más Personas Abastecidas
ES-2-14	Ejecución	Implementación de plantas desaladoras para disponibilidad de agua	Nº Arranques	personas	Más 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	Más 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 02.07.

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

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

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

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

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

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

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 6 EVALUACIÓN MULTICRITERIO Y SOCIOECONÓMICA

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

Se basa en los siguientes principios generales:

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

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

6.1 EVALUACIÓN MULTICRITERIO

Para la priorización de medidas se utiliza una aproximación de la metodología de Análisis Multicriterio para la Toma de Decisiones (MCDM, por sus siglas en inglés). Este método ha sido

estudiado para la priorización de infraestructura hidráulica, específicamente cuando se toman decisiones de inversión de un conjunto de iniciativas que contemplan el mismo producto estratégico (tipo de inversión). En el presente informe se consideran como criterios de desarrollo las evaluaciones ambientales, tipologías de obras, factores socioeconómicos, político normativo y estratégico a nivel cuenca (ver Tabla 6.1-1), para mayor detalle de la metodología ver Anexo B del Informe Nacional. El resultado de la priorización multicriterio para la región se presenta en el Anexo 01.08.

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

Ámbito	Ambiental	Tipologías de Obras		Social	Socioeconómico	Político Normativo	Estratégico nivel cuenca y regional
Indicador	Protección y recuperación de las fuentes de agua	Requiere ingreso a SEIA	Categoría Sustentabilidad de Obras	Obras vinculadas a Dimensiones de Seguridad Hídrica ⁽²⁾	Categoría de Multipropósito	Alineamiento político / normativo	PRIORIZACIÓN DE CUENCAS EN LA REGIÓN (viene del listado de cuencas priorizadas, depende del código de cuenca)
Escala	Alta [4]: Iniciativas destinadas a la protección y recuperación de los recursos hídricos Baja [1]: No aplica lo anterior	Alta [4]: No requiere ingreso a SEIA Media [2]: Requiere análisis de pertinencia a SEIA Baja [1]: Requiere ingreso a SEIA	Alta [4]: Iniciativas innovadoras MOP (SbN, protección y recuperación de las fuentes de agua, recarga acuíferos, las habilitadas para el MOP por las leyes 21.639 y 20.998, otras) basadas en la Naturaleza u otras iniciativas no cubiertas por el MOP Media Alta [3]: Inversiones vinculadas a optimizar el uso del recurso hídrico Media Baja [2]: Embalses fuera del río o piscinas de acumulación Baja [1]: Iniciativas Tradicionales (Embalses en el río, Trasvase de agua entre distintas cuencas, otras obras grises no mencionadas anteriormente)	Alta [15]: Iniciativas vinculadas a Consumo Humano [D1 -AP] Media Alta [10]: Iniciativas vinculadas a Desarrollo Económico [D2] Media [9]: Iniciativas vinculadas a Conservación [D3] Media Baja [6]: Iniciativas vinculadas a Resiliencia [D4] Baja [5]: 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 [15]: Se identifica como iniciativa necesaria para resolver brechas estratégicas para la dimensión de Consumo Humano [D1-AP] Media Alta [10]: Se identifica como iniciativa necesaria para resolver brechas estratégicas para la dimensión de Producción sostenible y eficiencia hídrica [D2] Media Baja [9]: Se identifica como iniciativa necesaria para resolver brechas estratégicas para la dimensión de Conservación y preservación de los ecosistemas [D3] Media Baja [6]: 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 [5]: 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:

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

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

La razón costo beneficio se ponderó con el 12% mientras que la ponderación de la tabla multicriterio (Tabla 6.1-1) es de 88%. Este ajuste busca mantener una equivalencia con la ponderación asignada al criterio de evaluación socioeconómica en la metodología multipropósito.

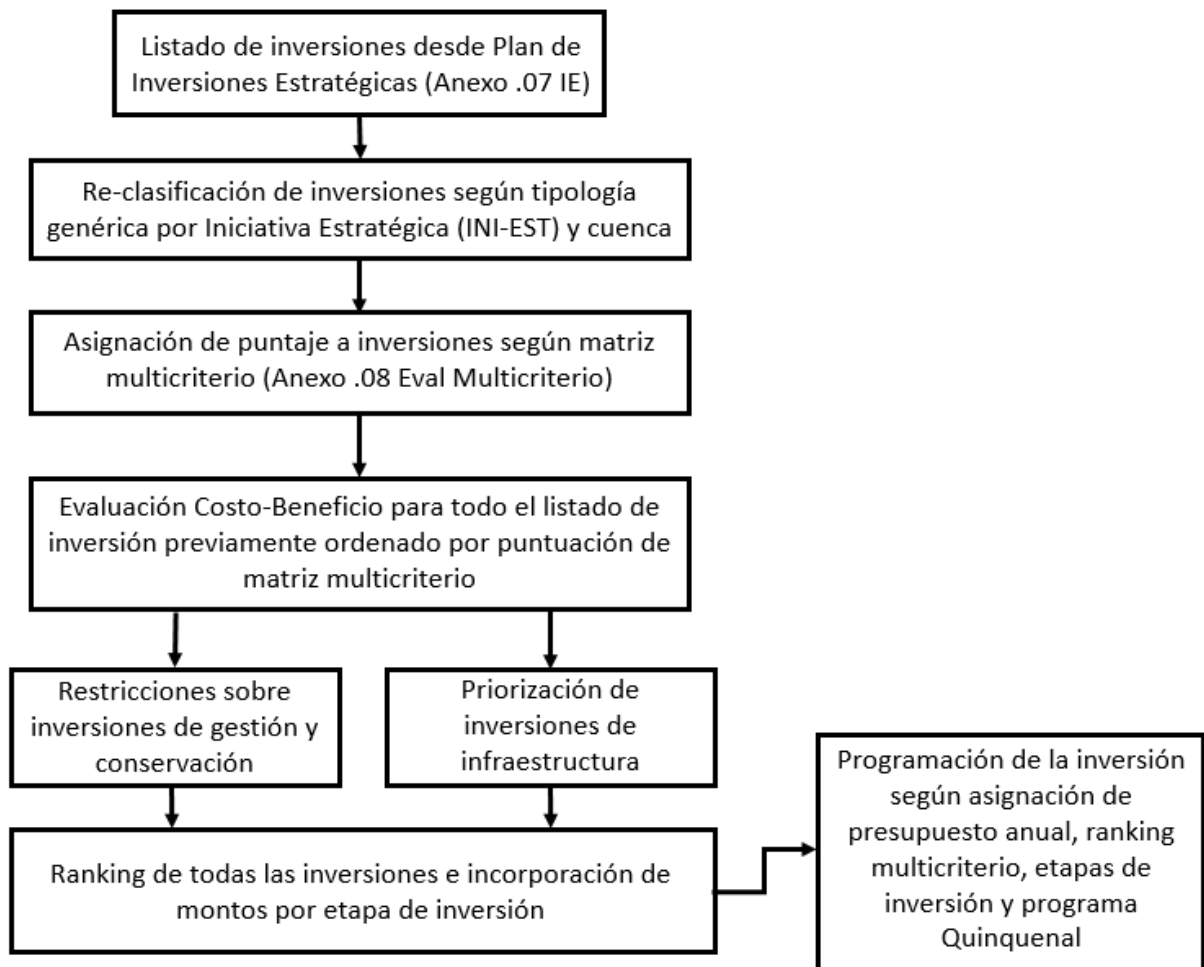
6.3 PRIORIZACIÓN Y CARTERA DE INVERSIONES

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

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

- Se dejan fuera del ranking para la programación de la inversión todas las iniciativas vinculadas a conservación, las que quedan con un monto fijo anual asignado que equivale al promedio de la inversión histórica del MOP para este tipo de iniciativas entre los años 2019-2023. Para la región de Tarapacá, este equivale a \$8.000.000 (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.

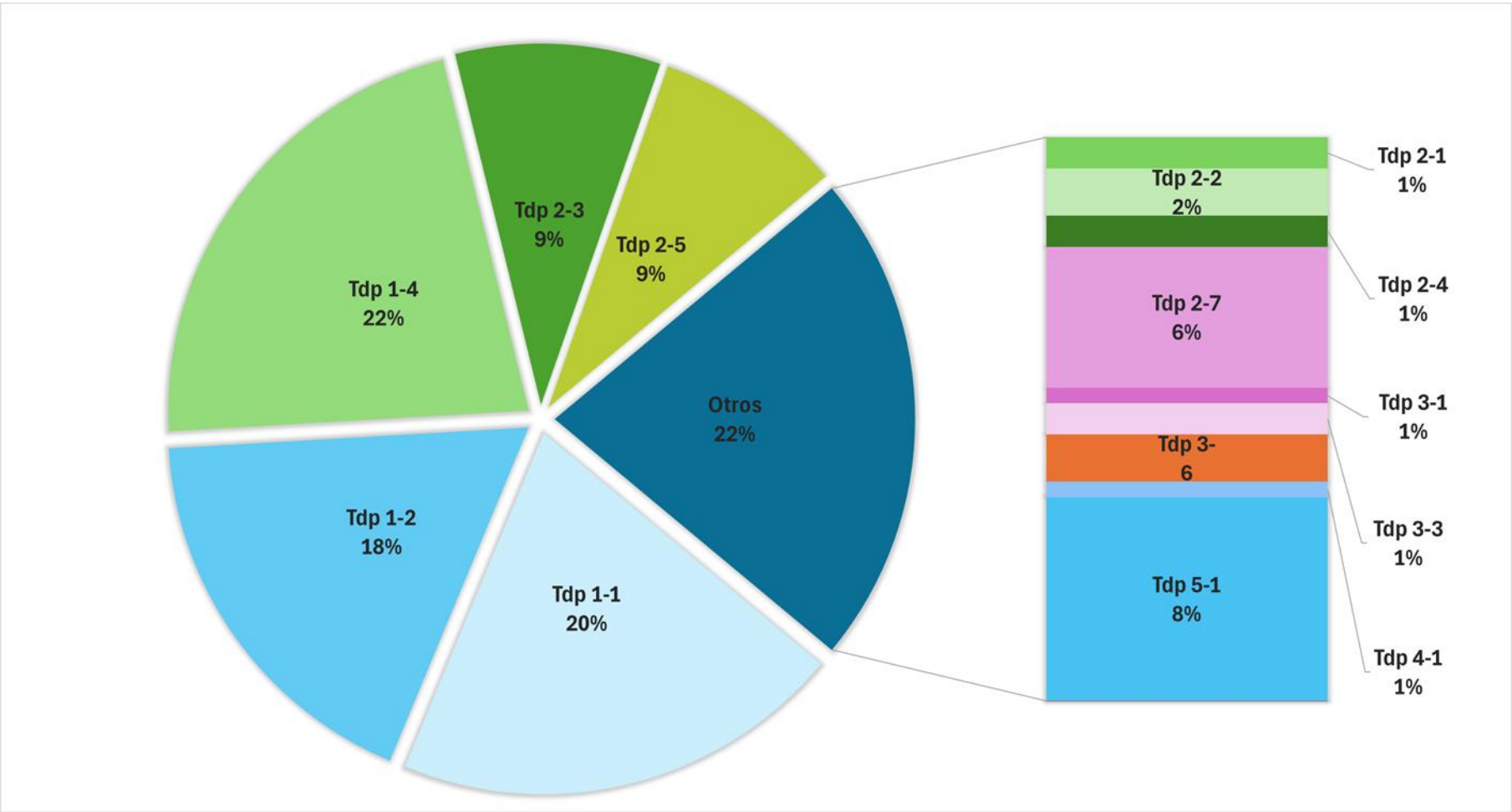
Para una revisión más detallada del procedimiento utilizado, en la Figura 6.3-1 se presenta un diagrama del proceso de priorización multicriterio y la generación de la cartera de inversión desarrollada para cada región.



Fuente: Elaboración propia

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

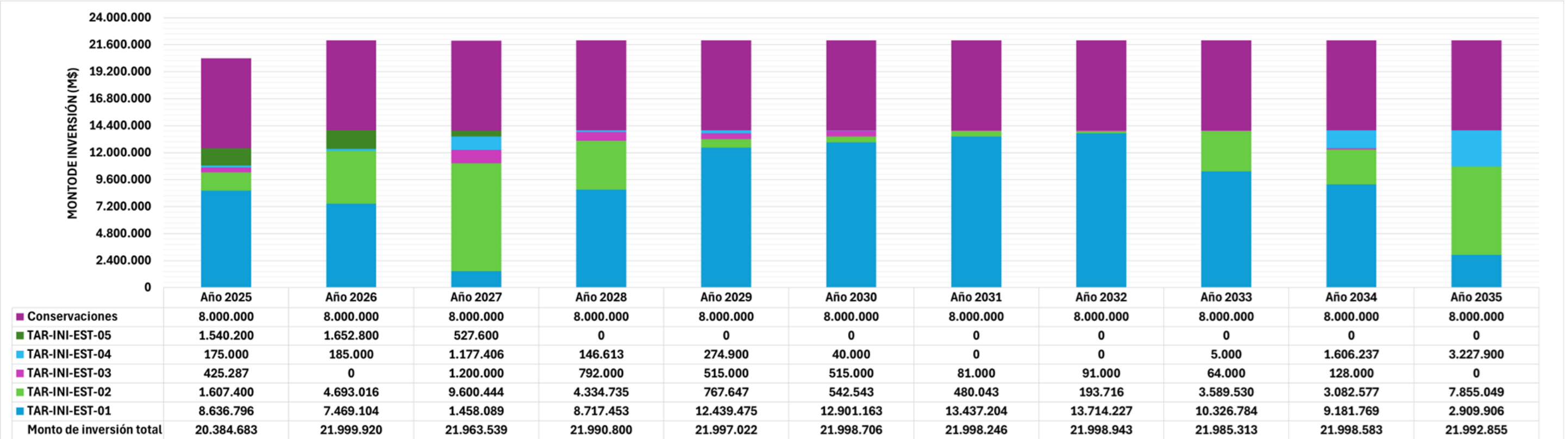
Finalmente, en la Figura 6.3-2 se presenta la cartera de inversión por tipología de proyecto, con su respectiva cantidad y porcentaje. En la FIGURA 6.3-3 se presenta la cartera de inversiones por cada iniciativa estratégica en la que se desarrollan. En la **Figura 6.3-4** se presenta la cartera de inversiones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

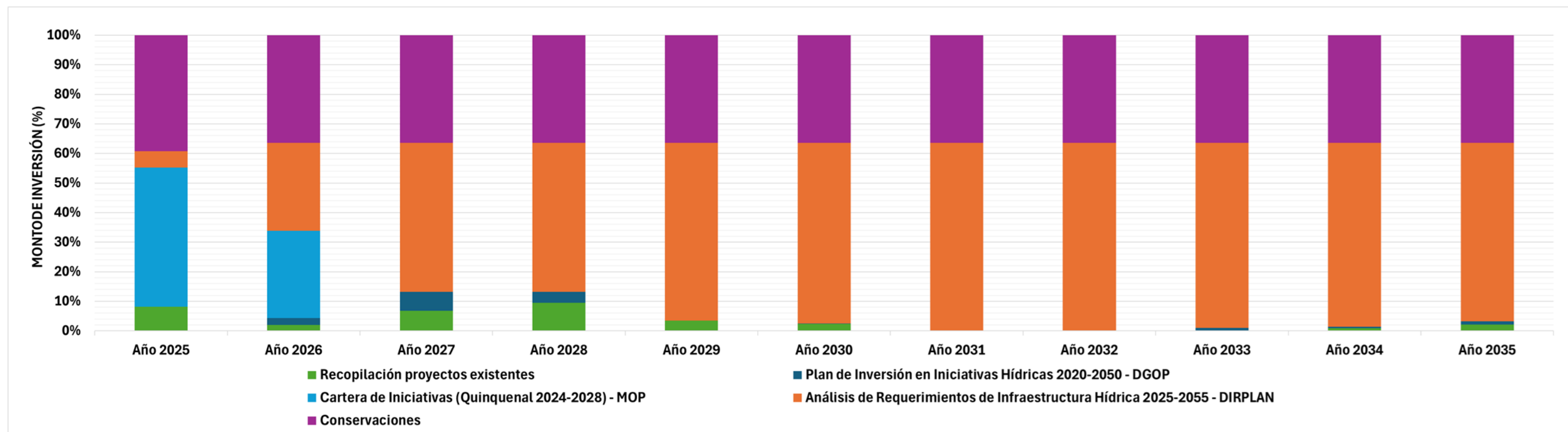
Figura 6.3-2 Composición de la cartera de inversión por tipología de proyecto para la región de Tarapacá



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 las aguas subterráneas
INI-EST-05	Sistema integral de infraestructura resiliente en cauces y quebradas para la seguridad territorial y protección de la población, además del manejo de los flujos excedentes del invierno altiplánico

Fuente: Elaboración propia

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



Fuente: Elaboración propia

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

CAPÍTULO 7 PROPUESTA DE ESCENARIOS DE DESARROLLO

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

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

7.1 SELECCIÓN DE FACTORES CRÍTICOS PARA LA TOMA DE DECISIÓN

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

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

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

7.1.1 Contexto regional y áreas de intervención prioritarias

La región de Tarapacá enfrenta desafíos en la distribución del recurso hídrico debido a su acelerado crecimiento poblacional. Según las proyecciones al año 2055, la población de la región alcanzará los 453.219 habitantes, lo que representa un incremento del 37% respecto al censo de 2017. Este crecimiento se concentrará en las zonas urbanas, donde actualmente reside el 94% de la población, principalmente en las comunas de Iquique y Alto Hospicio, ambas ubicadas en la cuenca Costeras Tilviche - Loa (Código BNA 018). En contraste, las zonas rurales experimentarán un crecimiento más moderado, con un aumento proyectado en las cuencas Altiplánicas (Código BNA 010) del 49% y en las cuencas Costeras Río Camarones - Pampa del Tamarugal (Código BNA 016) del 61%. Este fenómeno incrementará la demanda de agua potable y saneamiento, particularmente en las comunas del interior como Pozo Almonte y Pica, que dependen en gran medida de los acuíferos del sistema Pampa del Tamarugal (Código BNA 017).

En cuanto a la disponibilidad del recurso, la región enfrenta un desbalance entre la demanda y la oferta hídrica. La principal fuente de abastecimiento de agua potable es subterránea, con un 90% del suministro proveniente de pozos ubicados en la Pampa del Tamarugal. Este sistema abastece a las principales ciudades mediante un sistema de aducción que transporta agua hasta Iquique y Alto Hospicio a través de más de 70 km de tuberías. Sin embargo, la eficiencia en la distribución urbana es baja debido a pérdidas en la red de hasta un 30%, lo que afecta directamente la disponibilidad del recurso para los consumidores residenciales y comerciales. En el ámbito rural, la situación es aún más crítica: solo el 51% de la población accede a sistemas de agua potable rural (SSR), mientras que el 10% de los habitantes en localidades apartadas depende de fuentes informales, como camiones aljibe o pozos sin tratamiento adecuado. La brecha en saneamiento es igualmente preocupante, con solo el 21% de la población rural con acceso a agua potable conectada a redes de alcantarillado, lo que genera problemas de salubridad y contaminación de las aguas subterráneas.

La calidad del agua es una preocupación creciente, ya que muchas fuentes presentan concentraciones elevadas de arsénico, boro y otros metales pesados, especialmente en la cuenca Pampa del Tamarugal. En sectores rurales, la calidad del agua potable varía ampliamente debido a la falta de tratamiento adecuado en algunos SSR, lo que expone a las comunidades a riesgos sanitarios. En el ámbito urbano, las empresas sanitarias han implementado plantas de tratamiento, pero persisten desafíos en la remoción eficiente de

contaminantes, y algunas localidades presentan intermitencias en el servicio debido a la escasez del recurso.

El uso consuntivo del agua está dominado por la actividad minera, que representa el 50% de la demanda regional. Las faenas mineras, concentradas en las cuencas Pampa del Tamarugal (Código BNA 017) y Costeras Tilviche - Loa (Código BNA 018), han reducido su consumo de agua continental en los últimos años gracias a la incorporación de plantas desaladoras, como la de Teck Quebrada Blanca, que produce 850 l/s de agua desalinizada. Sin embargo, la minería no metálica, particularmente la extracción de yodo y nitrato en la cuenca Costeras R. Camarones - Pampa del Tamarugal (Código BNA 016), sigue dependiendo casi exclusivamente de fuentes subterráneas, con una eficiencia de uso aún baja en comparación con otras industrias. La agricultura, que representa el 30% del consumo de agua en la región, ha experimentado un cambio en su composición productiva, con un aumento en la superficie de viñas y parronales en Pica y Matilla, cultivos más eficientes en el uso del agua en comparación con los frutales tradicionales. No obstante, la eficiencia en riego sigue siendo un desafío, con sistemas de conducción abiertos que presentan pérdidas superiores al 40%.

El acceso al recurso no solo está condicionado por la oferta, sino también por la gobernanza hídrica, que presenta importantes desafíos en la región. Existen conflictos de uso entre los sectores productivos y las comunidades locales, especialmente en la gestión de los acuíferos de la Pampa del Tamarugal, donde el sobreotorgamiento de derechos de agua ha generado incertidumbre sobre la capacidad de recarga de los pozos. Además, la falta de información actualizada sobre los balances hídricos de las principales cuencas dificulta la toma de decisiones basadas en evidencia. A esto se suma la ausencia de una planificación estructural para enfrentar eventos extremos, como sequías y crecidas, lo que deja a localidades como Camiña y Huara en una situación de alta vulnerabilidad ante el cambio climático.

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:** El principal recurso hídrico de la región proviene de los acuíferos subterráneos, especialmente en la cuenca Pampa del Tamarugal (Código BNA 017), que abastece tanto al consumo humano urbano como a sectores productivos clave como la minería y la agricultura. Sin embargo, la demanda actual ya supera la capacidad de recarga natural del sistema, lo que ha llevado a una situación de déficit hídrico estructural. La falta de regulación efectiva y de monitoreo

continuo sobre la extracción de agua genera un alto grado de incertidumbre sobre la disponibilidad futura del recurso.

- **Sustentabilidad de los Servicios Ecosistémicos:** En los acuíferos de la región se han detectado altas concentraciones de arsénico, boro y otros contaminantes, lo que plantea un desafío tanto para el tratamiento del agua potable como para la conservación de ecosistemas estratégicos, incluidos los humedales del Salar del Huasco y la Pampa del Tamarugal. En las zonas rurales, los sistemas de agua potable carecen de un tratamiento adecuado, lo que expone a la población a riesgos sanitarios, mientras que, en las áreas urbanas, si bien existen plantas de tratamiento, su capacidad para eliminar ciertos contaminantes sigue siendo limitada. A nivel productivo, la calidad del agua también se ve afectada por la contaminación generada por la minería y la agricultura. La infiltración de residuos industriales, junto con el uso de fertilizantes y pesticidas, ha intensificado la salinización de los suelos y el deterioro de las fuentes hídricas, comprometiendo la sostenibilidad de la actividad agrícola en la región.

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” [TAR-INI-EST-01].
- “Fuentes de abastecimiento sustentables para consumo humano y riego con énfasis en la calidad del agua” [TAR-INI-EST-02].
- “Implementación de un sistema de seguimiento y monitoreo integral, asociado a una gestión integrada de cuencas” [TAR-INI-EST-03].

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 Tarapacá 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

El crecimiento demográfico acelerado y la deficiente planificación de la infraestructura hídrica han exacerbado la brecha de acceso al agua potable y al saneamiento en la región de Tarapacá, con una afectación particularmente severa en las provincias de Iquique y Tamarugal. En las zonas rurales, la cobertura de agua potable es alarmantemente insuficiente, con deficiencias significativas en comunas como Pozo Almonte y Camiña, donde más del 35% de las viviendas rurales carecen de acceso confiable a agua potable. La ineficiencia del sistema de distribución es crónica, registrando pérdidas superiores al 26% en la región, llegando a un 35% en localidades costeras como Pisagua debido a infraestructura obsoleta y mala gestión operativa. Los Sistemas de Agua Potable Rural (APR) presentan severas deficiencias estructurales, incapacidad de cumplir con la normativa NCh 409 y una operación inadecuada que compromete la seguridad sanitaria en Colchane y Huara. En cuanto al saneamiento, la ausencia de alcantarillado en sectores periurbanos y rurales alcanza el 55%, con críticas implicaciones en la salud y el ambiente en la cuenca del Río Loa (BNA 021) y la Pampa del Tamarugal (BNA 017).

Para contrarrestar esta situación, se requiere una inversión estratégica en infraestructura hídrica y saneamiento, priorizando la expansión de redes de agua potable en comunas rurales y la rehabilitación de sistemas de alcantarillado en zonas periurbanas. La

modernización de redes de distribución en la cuenca Costeras Tilviche-Loa (BNA 018) es fundamental para reducir las pérdidas técnicas y mejorar la eficiencia. Además, la implementación de embalses y estanques acumuladores nocturnos en áreas como la quebrada baja de Camiña permitiría una mayor estabilidad en la disponibilidad de agua ante eventos de escasez prolongada. Finalmente, estrategias de educación hídrica deben acompañar estas intervenciones, promoviendo el consumo eficiente en los sectores residencial e industrial.

La economía de Tarapacá está cada vez más comprometida por la crisis hídrica, con especial afectación en sectores clave como la minería y la agricultura. La industria minera, motor económico regional, enfrenta restricciones severas debido al crecimiento del 14% en la demanda hídrica proyectada para 2055, principalmente en la Pampa del Tamarugal (BNA 017), donde operan yacimientos de relevancia estratégica. La disponibilidad de agua está en declive, lo que pone en riesgo la viabilidad de nuevos proyectos mineros y la continuidad operativa de faenas en comunas como Pica y Pozo Almonte. De continuar esta tendencia, la competitividad del sector minero podría verse gravemente comprometida, afectando no solo la economía regional, sino también las exportaciones nacionales.

El sector agrícola también experimenta una situación crítica debido a la ineficiencia en el uso del agua. Con una eficiencia promedio del riego del 57%, la situación varía dramáticamente entre cuencas: la eficiencia es de 65% en Costeras Tilviche-Loa (BNA 018), pero apenas del 49% en la cuenca Costeras R. Camarones-Pampa del Tamarugal (BNA 016). Estas disparidades generan pérdidas significativas de agua por filtración y evaporación, lo que limita la productividad agrícola en áreas de cultivo como Matilla y Pica. Sumado a esto, la degradación del suelo por el uso intensivo de agroquímicos ha aumentado la contaminación de fuentes hídricas subterráneas, comprometiendo la sustentabilidad del sector.

Para mitigar este impacto, es imperativo optimizar la gestión del agua en la minería y la agricultura. Se requiere modernizar los sistemas de riego con tecnologías de alta eficiencia, tales como el riego por goteo inteligente, que reduciría la pérdida de agua y aumentaría la productividad. Asimismo, la transición hacia cultivos con menor demanda hídrica debe ser promovida en sectores vulnerables al estrés hídrico. En la minería, la adopción de agua desalinizada y el reciclaje de aguas residuales se deben considerar como estrategias prioritarias para reducir la presión sobre los acuíferos. Paralelamente, la formalización de Juntas de Vigilancia y Comunidades de Agua permitirá establecer mecanismos de gobernanza eficiente y sustentable del recurso hídrico.

El cambio climático está intensificando la crisis hídrica en Tarapacá, con consecuencias devastadoras en los ecosistemas regionales. La disponibilidad de agua superficial y

subterránea ha disminuido de manera sostenida, afectando particularmente a los humedales altoandinos como el Salar del Huasco en la cuenca Altiplánicas (BNA 010). Estos sistemas ecológicos, fundamentales para la regulación hídrica y la biodiversidad, están bajo amenaza debido a la sobreexplotación de acuíferos y la falta de regulaciones de caudal ecológico. Además, la expansión minera y agrícola ha acelerado la degradación del suelo y la contaminación de fuentes hídricas, agravando la crisis ambiental.

Para contrarrestar estos impactos, es urgente implementar estrategias de mitigación y adaptación. La recarga artificial de acuíferos, utilizando las crecidas del invierno altiplánico, es una solución viable para restaurar los niveles de agua subterránea. Asimismo, la implementación de normativas ambientales estrictas, junto con una red de monitoreo hidrométrico moderna, permitirá mejorar la gestión del recurso hídrico y la preservación de los ecosistemas regionales.

7.2.2 Análisis de desafío gestionable

La región de Tarapacá enfrenta una crisis estructural en la gestión de sus recursos hídricos, impulsada por una confluencia de factores demográficos, económicos y climáticos. El crecimiento exponencial de la demanda de agua, asociado a la expansión de la actividad minera en la provincia del Tamarugal y la intensificación de la agricultura en la Pampa del Tamarugal (código BNA 017), ha tensionado de manera significativa la oferta hídrica disponible. A pesar de la implementación de medidas de adaptación y mitigación, la sostenibilidad del balance hídrico de la región sigue siendo altamente dependiente de la ejecución de estrategias de infraestructura avanzada, modernización tecnológica y reformas en la gobernanza del agua.

Uno de los principales problemas estructurales radica en la deficitaria infraestructura de abastecimiento de agua potable y saneamiento, particularmente en las localidades rurales de la provincia del Tamarugal, como Camiña y Colchane. Estas localidades carecen de una red de distribución robusta y sostenible, lo que perpetúa la inequidad en el acceso a este recurso esencial. En paralelo, la ineficiencia de los sistemas de alcantarillado en diversas cuencas, como la Quebrada de Tarapacá (código BNA 016) y la Quebrada de Aroma, genera externalidades negativas sobre los ecosistemas hídricos y los acuíferos subterráneos. La contaminación de la napa freática en la Pampa del Tamarugal constituye un riesgo severo para la seguridad hídrica de la región. La resolución de estos problemas exige una política de inversión agresiva en infraestructura de saneamiento y tecnologías de tratamiento avanzado, que permitan optimizar el reúso y la distribución del recurso.

En las zonas urbanas, la situación es igualmente crítica. En ciudades como Iquique y Alto Hospicio, la obsolescencia de la red de distribución de agua potable contribuye a pérdidas sistemáticas que alcanzan un promedio del 26%, llegando a niveles alarmantes del 35% en

Pisagua. La ineficiencia en la distribución incrementa la presión sobre las fuentes hídricas y eleva los costos operacionales del suministro urbano. Para abordar esta problemática, es imperativo implementar sistemas de monitoreo en tiempo real mediante sensores inteligentes, modernizar la infraestructura de conducción y fomentar programas de concienciación para la optimización del consumo hídrico urbano.

Desde la perspectiva del sector productivo, la creciente demanda de agua en la minería representa un factor determinante en la crisis hídrica regional. Las operaciones de Collahuasi y Quebrada Blanca proyectan un incremento del 14% en el consumo de agua para el año 2055, lo que agrava el conflicto de asignación de recursos con la actividad agrícola en la Pampa del Tamarugal. Para evitar la intensificación de las disputas intersectoriales, se requiere una transición urgente hacia tecnologías de recirculación de agua en procesos extractivos, así como la incorporación de plantas desalinizadoras en zonas costeras que diversifiquen la oferta hídrica sin afectar la disponibilidad de recursos continentales.

El sector agrícola también enfrenta limitaciones significativas en la eficiencia del riego. En las cuencas de la Quebrada de Tarapacá y la Quebrada de Aroma, la eficiencia promedio de riego se sitúa en un deficiente 57%, con valores que oscilan entre el 49% y el 65%. La adopción de sistemas de riego de alta tecnología, como el riego por goteo y la agricultura de precisión, es fundamental para revertir esta tendencia. Asimismo, la promoción de incentivos económicos para la modernización de los sistemas de riego contribuiría a una mayor sostenibilidad del sector agroproductivo.

En el plano ambiental, los humedales altoandinos del Salar del Huasco y el Salar de Coposa, que desempeñan un rol crucial en la regulación del ciclo hídrico, han sido gravemente afectados por la sobreexplotación de fuentes de agua subterránea y la ausencia de normativas que protejan los caudales ecológicos. La restauración de estos ecosistemas demanda la implementación de normativas de caudales ambientales, la limitación de extracciones en zonas de alta vulnerabilidad y la aplicación de proyectos de rehabilitación ecológica en áreas degradadas.

Finalmente, la vulnerabilidad de la región ante eventos climáticos extremos representa un riesgo latente para la estabilidad socioeconómica de la población. La provincia de Iquique carece de planes maestros de aguas lluvias y su infraestructura de mitigación de riesgos hídricos es insuficiente para enfrentar episodios de sequías prolongadas o inundaciones repentinas. La formulación de un plan integral de gestión de riesgos hídricos resulta inaplazable e implica la construcción de defensas fluviales, la ampliación de la capacidad de almacenamiento en embalses y la integración de sistemas de alerta temprana basados en inteligencia artificial para la predicción y gestión de eventos climáticos extremos.

En este contexto, la región de Tarapacá enfrenta el imperativo de transitar hacia un modelo de gestión hídrica basado en la innovación tecnológica, la regulación eficiente y la colaboración multisectorial. Sin reformas estructurales en infraestructura, gobernanza y sostenibilidad, la crisis hídrica de la región se intensificará con impactos irreversibles sobre la economía, el medioambiente y la calidad de vida de sus habitantes.

7.2.3 Análisis de capacidad limitada

La capacidad de respuesta frente a los desafíos de seguridad hídrica en la Región de Tarapacá se encuentra severamente restringida por una serie de factores estructurales que inciden en la gestión, distribución y eficiencia en el aprovechamiento del recurso. Si bien la brecha de balance hídrico no ha experimentado incrementos abruptos en los últimos años, la región enfrenta barreras críticas en infraestructura, planificación estratégica, eficiencia operativa y gobernanza del agua. La expansión demográfica, la intensificación de la actividad minera en la cuenca Pampa del Tamarugal (BNA 017) y la ampliación de la frontera agrícola en las cuencas Altiplánicas (BNA 010) y Costeras Río Camarones - Pampa del Tamarugal (BNA 016) han acentuado la presión sobre los recursos hídricos disponibles. En paralelo, los efectos del cambio climático han alterado los patrones de precipitación y disponibilidad del agua, configurando un panorama de vulnerabilidad creciente que pone en entredicho la estabilidad hídrica a mediano y largo plazo.

Una de las principales problemáticas derivadas de esta limitada capacidad de respuesta es la marcada desigualdad en el acceso al agua potable entre zonas urbanas y rurales. En las ciudades de Iquique y Alto Hospicio, el acceso formal al servicio de agua potable alcanza coberturas elevadas; sin embargo, la eficiencia del sistema de distribución se ve comprometida por pérdidas de hasta un 26%, lo que representa una grave limitación en la disponibilidad efectiva del recurso; mientras que en Pisagua se presentan pérdidas que alcanzan el 35%. En contraste, localidades rurales como Camiña y Chusmiza presentan brechas sustanciales en el acceso, con valores que oscilan entre un 15% y un 35% de viviendas catastradas sin conexión a sistemas formales de abastecimiento. En dichas zonas, la población depende de fuentes no reguladas como camiones aljibe o pozos de captación sin monitoreo adecuado, aumentando los riesgos sanitarios y profundizando la desigualdad territorial. La carencia de infraestructura de saneamiento es aún más crítica, con una cobertura deficitaria de alcantarillado que afecta al 55% de la población rural, especialmente en comunas como Pozo Almonte y Colchane. Además, la falta de información consolidada sobre la situación hídrica en áreas rurales, que en algunos casos alcanza un 70%, dificulta la implementación de políticas públicas y programas de inversión orientados a mitigar estas deficiencias estructurales. Como consecuencia, la extracción de agua subterránea en la cuenca Pampa del Tamarugal (BNA 017) ha aumentado considerablemente, contribuyendo a una mayor sobreexplotación de los acuíferos y exacerbando el estrés hídrico en la región.

Las proyecciones de crecimiento demográfico y económico sugieren que la demanda de agua experimentará un incremento significativo en los próximos años, con especial énfasis en los sectores minero y agrícola. Se estima que para 2055 la demanda hídrica del sector minero aumentará en un 14%, con mayor incidencia en las operaciones extractivas de la cuenca Pampa del Tamarugal (BNA 017) y la cuenca del Río Loa (BNA 021). Paralelamente, el sector agrícola proyecta un incremento del 68% en su consumo hídrico, con impacto directo en la cuenca Altiplánicas (BNA 010) y la cuenca Costeras Tilviche-Loa (BNA 018). Esta expansión, sin una infraestructura adecuada que permita gestionar de manera eficiente los volúmenes requeridos, podría desencadenar conflictos por el uso del recurso, especialmente en escenarios de sequía prolongada. Actualmente, la región carece de embalses que posibiliten un almacenamiento y regulación efectiva del recurso en períodos de escasez. La eficiencia en el uso del agua para riego presenta notables disparidades, con valores que alcanzan el 65% en la cuenca Costeras Tilviche-Loa, mientras que en la cuenca Costeras Río Camarones - Pampa del Tamarugal apenas llegan al 49%. Estas diferencias evidencian la necesidad de adoptar tecnologías de riego optimizadas y desarrollar sistemas de captación y almacenamiento hídrico más eficaces.

En paralelo, la contaminación y el deterioro de los ecosistemas hídricos representan amenazas sustanciales para la sostenibilidad del recurso. La descarga de aguas servidas sin tratamiento adecuado en Iquique, así como en las localidades rurales de Huara y Camiña, ha generado un deterioro progresivo en la calidad del agua. La escasez del recurso intensifica la concentración de contaminantes en cuerpos hídricos, lo que compromete su potabilidad y su uso en actividades productivas. Además, la sobreexplotación de acuíferos y humedales altoandinos en la cuenca Altiplánicas (BNA 010) ha puesto en riesgo no solo el abastecimiento de agua, sino también la biodiversidad y los servicios ecosistémicos que estos entornos proporcionan. La ausencia de normativas secundarias de calidad ambiental ha limitado la capacidad de respuesta frente a estos problemas, exponiendo a la región a una degradación ambiental progresiva.

El cambio climático exacerbará estas problemáticas, con proyecciones que indican un aumento en la frecuencia e intensidad de eventos extremos como sequías prolongadas e inundaciones repentinas. A pesar de estos riesgos, la región no dispone de planes maestros de aguas lluvias ni de infraestructura de mitigación adecuada. Actualmente, las defensas fluviales en la quebrada de Tarapacá y en el río Camarones están compuestas principalmente por gaviones, los cuales resultan insuficientes para contener riadas o aluviones en contextos de eventos climáticos extremos. La falta de planificación estratégica incrementa la vulnerabilidad de los centros urbanos y rurales, aumentando el riesgo de pérdidas humanas y económicas ante fenómenos hidrometeorológicos adversos.

Las consecuencias de no abordar estos desafíos de manera efectiva podrían comprometer gravemente el desarrollo regional. La desigualdad en el acceso al agua potable podría derivar en crisis humanitarias, especialmente en áreas rurales donde la dependencia de fuentes no reguladas y el acceso intermitente incrementan los riesgos sanitarios. La falta de eficiencia en el uso del recurso hídrico podría restringir la actividad minera y agrícola, reduciendo la competitividad económica de la región y afectando los niveles de empleo. Además, el deterioro ambiental podría resultar en la desaparición de humedales clave para la regulación hídrica, lo que incrementaría la escasez del recurso y exacerbaría los conflictos por su uso. Frente a este panorama, es imperativo implementar medidas urgentes para fortalecer la infraestructura hídrica, mejorar la eficiencia en la distribución del agua, proteger los ecosistemas estratégicos y desarrollar mecanismos de gobernanza más efectivos que permitan una gestión equitativa y sostenible del recurso en Tarapacá.

7.2.4 Análisis de avance sostenible y resiliente

La planificación hídrica en la región de Tarapacá debe abordarse desde una perspectiva holística que integre infraestructura avanzada, políticas públicas eficientes, mecanismos de gobernanza participativos y la adopción de tecnologías emergentes. La finalidad de esta estrategia es garantizar la disponibilidad y acceso equitativo al recurso hídrico tanto para el abastecimiento humano como para los sectores productivos estratégicos, minimizando impactos adversos en los ecosistemas hídricos y asegurando su sostenibilidad a largo plazo.

El desarrollo y optimización de infraestructura hídrica es un pilar fundamental en la región. La construcción y modernización de plantas desalinizadoras en puntos críticos de la costa, tales como la Planta Desaladora Caleta San Marcos (cuenca Costeras Tilviche - Río Loa, código BNA 018), permite diversificar las fuentes de abastecimiento, reduciendo la dependencia de los acuíferos subterráneos, cuya explotación ha sobrepasado los niveles de recarga natural. Complementariamente, en los centros urbanos de Iquique y Alto Hospicio, la implementación de plantas de tratamiento de aguas residuales con tecnología avanzada fomenta la reutilización de efluentes tratados para actividades industriales, riego urbano y procesos productivos, disminuyendo la presión sobre los recursos hídricos convencionales.

En el ámbito rural, la captación de agua de niebla en zonas de la cordillera costera y el altiplano, específicamente en localidades de las provincias del Tamarugal e Iquique, emerge como una solución estratégica para comunidades con acceso limitado a fuentes hídricas tradicionales. Este enfoque es particularmente relevante en la cuenca de la Pampa del Tamarugal (BNA 017), donde la escasez de precipitaciones y la sobreexplotación de las reservas subterráneas comprometen la disponibilidad de agua para el consumo humano y la agricultura de subsistencia.

La digitalización del recurso hídrico es un componente central de la nueva gestión hídrica regional. La implementación de un Sistema de Monitoreo Hídrico en Tiempo Real, basado en sensores IoT desplegados en embalses, pozos y cursos fluviales, proporciona datos actualizados sobre la disponibilidad y calidad del agua, permitiendo una gestión eficiente basada en evidencia. En zonas rurales, como en la cuenca del Río Camarones - Pampa del Tamarugal (BNA 016), esta tecnología resulta crítica para optimizar la distribución del recurso en función de la demanda y la disponibilidad estacional. Este sistema se complementa con un Sistema de Predicción y Respuesta a Eventos Hidrometeorológicos Extremos, mejorando la capacidad adaptativa ante sequías prolongadas y fenómenos climáticos adversos.

La eficiencia en el uso del agua en el sector agrícola constituye un desafío prioritario, dado que el rendimiento del riego en la región alcanza un promedio del 57%, con variaciones significativas entre cuencas. Mientras que en la cuenca Costeras Tilviche - Río Loa (BNA 018) la eficiencia del riego se sitúa en un 65%, en la cuenca Costeras Río Camarones - Pampa del Tamarugal (BNA 016) desciende hasta el 49%. La modernización de la infraestructura de riego, con la incorporación de sistemas de riego por goteo, sensores de humedad y tecnologías de telemetría, es una medida clave para optimizar el uso del agua y reducir las pérdidas por infiltración y evaporación. En paralelo, el fomento de cultivos adaptados a condiciones de aridez permite incrementar la productividad sin comprometer la sostenibilidad hídrica.

El sector minero, cuya demanda hídrica se proyecta con un incremento del 14% hacia el año 2055, debe adoptar estrategias de reducción y reutilización del agua en sus operaciones. En los yacimientos de la Pampa del Tamarugal y en faenas cercanas a Iquique, la implementación de tecnologías innovadoras, como la flotación en seco y los sistemas avanzados de filtración, representa una alternativa viable para minimizar la extracción de agua fresca y reducir la generación de residuos líquidos.

Las desigualdades en el acceso a agua potable y saneamiento en las áreas rurales constituyen una problemática estructural que demanda una respuesta urgente. Actualmente, entre un 15% y un 35% de las viviendas rurales en localidades como Camiña y Colchane carecen de acceso a fuentes seguras de agua potable, mientras que el 55% de la población rural no dispone de sistemas de alcantarillado adecuados. En Pozo Almonte y La Tirana, las deficiencias en saneamiento generan impactos negativos en la salud pública y el medio ambiente. Para abordar esta situación, se requiere una expansión de la infraestructura de agua potable rural, con énfasis en la construcción de sistemas de abastecimiento resilientes y la modernización de los sistemas de alcantarillado, reduciendo la contaminación de cuerpos hídricos superficiales y subterráneos.

El fortalecimiento de la gobernanza hídrica es imprescindible para garantizar la sostenibilidad del recurso a largo plazo. La implementación de instrumentos de regulación más estrictos sobre la calidad del agua contribuirá a la protección de ecosistemas frágiles, como los humedales altoandinos, que cumplen un rol esencial en la recarga de acuíferos y la conservación de la biodiversidad.

En definitiva, este modelo de gestión hídrica posiciona a Tarapacá como un referente en la adaptación al cambio climático y la eficiencia en la utilización del agua, asegurando que las futuras generaciones dispongan de un recurso estratégico para su desarrollo y bienestar. La combinación de infraestructura resiliente, políticas públicas innovadoras y tecnologías emergentes permitirá transformar la región en un ejemplo de gestión hídrica sostenible y resiliente a nivel nacional e internacional.

CAPÍTULO 8 PROPUESTA DE PROSPECTIVA DE REQUERIMIENTOS DE INFRAESTRUCTURA HÍDRICA

8.1 SEGURIDAD HÍDRICA EN LA REGIÓN: ESTADO DEL ARTE

La región de Tarapacá se caracteriza por cursos de agua esporádicos debido a las condiciones de aridez que predominan en la zona, en ese sentido destacan las cuencas Altiplánicas (BNA 010) y Pampa del Tamarugal (BNA 017) por proporcionar principalmente los recursos hídricos de la región. No obstante, las demandas hídricas se sitúan predominantemente en las zonas bajas de las cuencas Pampa Del Tamarugal (BNA 017) y Costeras Tilviche – R. Loa (BNA 018). Las demandas consuntivas para el año 2023 se distribuyen de acuerdo a la Figura 8.1-1; donde le sector minero presenta la mayor demanda, mientras que se proyecta un aumento del 17% en las demandas consuntivas hacia el año 2055, atribuible principalmente a la expansión agrícola⁷, a la baja eficiencia en el riego estimada en un 57% en promedio, y a un incremento en la demanda de agua potable urbana⁸. Este incremento genera una presión significativa en la Pampa del Tamarugal (BNA 017) y en Costeras Tilviche – R. Loa (BNA 018).

De manera simultánea, se espera una reducción generalizada de los caudales en las cuencas regionales, siendo las más afectadas Q. Río Camarones (BNA 015) y Pampa del Tamarugal (BNA 017), con descensos del 32% y 11%, respectivamente. El balance hídrico estructural (Tabla 8.1-1) evidencia que las cuencas de Pampa del Tamarugal (BNA 017), Costeras Tilviche – R. Loa (BNA 018) y Río Loa (BNA 021) presentan un déficit hídrico estructural, con al menos una restricción de uso en sus fuentes, lo que las vuelve especialmente vulnerables a los efectos del cambio climático. En particular, para la cuenca Costeras Tilviche R. Los (BNA 018), el déficit se caracteriza por demandas que superan la oferta disponible con un 50% de probabilidad de excedencia, en conjunto con restricciones de uso en sus fuentes subterráneas. Entre los desafíos de Seguridad Hídrica (SH) para la región⁹, la sostenibilidad del suministro de agua

⁷ Asociado al aumento de superficies de viñas y parronales con un aumento en la demanda hídrica, consolidando a estos cultivos como los de mayor necesidad de agua. Reducción de la superficie dedicada a frutales y forrajeras permanentes, de acuerdo con las tendencias de Censos Agropecuarios de los años 1997, 2007 y 2021 (INE, 2007; INE, 2021)

⁸ Asociado al aumento de la población de Clientes Residenciales según Censo 2017 (INE, 2017).

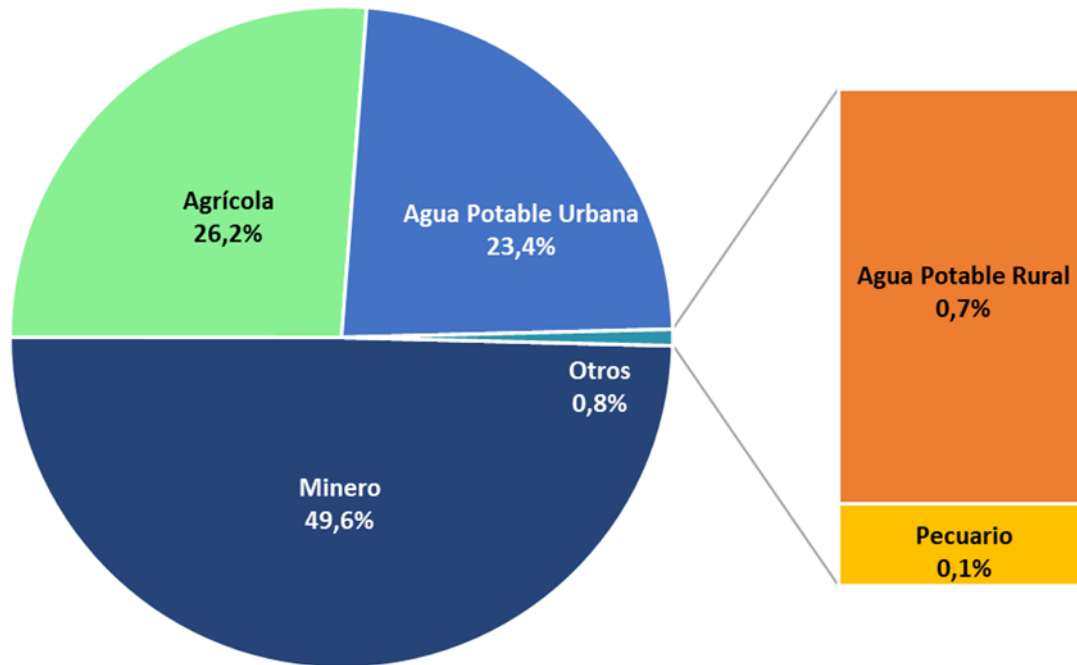
⁹ Entendidos como las brechas o problemáticas relacionadas indirectamente a la disponibilidad de agua, las cuales dificultan el cumplimiento de los objetivos de SH.

potable enfrenta considerables presiones. En las zonas urbanas, si bien la cobertura alcanza un 95,7%, los sistemas de distribución registran pérdidas físicas del 35% en promedio¹⁰. Además, se estiman tasas de crecimiento de demanda críticas mayor a 8%, para las cuencas Pampa del Tamarugal (BNA 017) y Costeras Tilviche – R. Los (BNA 018). En las áreas rurales, entre el 15% y 35% de las viviendas no tienen acceso a agua potable, mientras que la falta de información afecta hasta el 70,5% de las viviendas rurales, limitando el desarrollo de estrategias integrales. Además, el 55% 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 que todas las cuencas, a excepción de Costeras Tilviche – R. Loa (BNA 018), presentan eficiencias de riego menores al 60%. Se observan limitaciones en torno a las Organizaciones de Usuarios de Aguas, solo se identifican Comunidades de Aguas para todas las cuencas, sin embargo, no se observa la presencia de JV, CAS y AC¹¹. Además, la infraestructura hídrica multipropósito es insuficiente, ya que solo se registran proyectos para uso de fuentes no convencionales en las cuencas Altiplánicas (BNA 010), Costeras Tilviche – R. Loa (BNA 018) y Río Loa (BNA 021). En particular, Pampa del Tamarugal (BNA 017) presenta un estado crítico en torno al desarrollo económico, concentra más del 30% de las obras de riego de la región, existe un aumento de las demandas de agua para riego y minería, y se observa un déficit de modernización de tecnologías e innovación.

La calidad del agua representa un problema crítico para todas las cuencas de la región, debido a altos niveles de contaminación y erosión. Las cuencas exhiben una baja protección ecosistémica: mientras las cuencas Altiplánicas (BNA 010), Costeras R. Camarones – Pampa del Tamarugal (BNA 016), Pampa del Tamarugal (BNA 017) y Río Loa (BNA 021) tienen entre un 5% y 25% de su superficie de humedales protegida, las cuencas Q. Río Camarones (BNA 015) y Costeras Tilviche R. Los (BNA 018) apenas alcanzan el 5%, evidenciando la necesidad de medidas de conservación más efectivas. Las cuencas Pampa del Tamarugal (BNA 017) y Costeras Tilviche – R. Loa (BNA 018) presentan alta vulnerabilidad a eventos extremos como inundaciones y aluviones. Los sistemas de alerta y registros de eventos hidrológicos extremos resultan insuficientes, lo que agrava los impactos de estos eventos.

¹⁰ Para el periodo comprendido entre 2012 -2022.

¹¹ JV: Juntas de Vigilancia, CAS: Comunidades de Aguas Subterráneas, AC: 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 Tarapacá

Código BNA	Cuenca	Balance Hídrico ¹²	Restricciones		Estado Balance Unificado ¹³
			Superficiales	Subterráneas	
010	Altiplánicas	Con recursos	No	Sí	Estrés hídrico
015	Q. Río Camarones	Estrés hídrico	No	No	Estrés hídrico
016	Costeras R. Camarones-Pampa del Tamarugal	Con recursos	No	No	Con recursos
017	Pampa del Tamarugal	Estrés hídrico	No	Sí	Déficit hídrico estructural
018	Costeras Tilviche-Loa	Déficit hídrico estructural	No	Sí	Déficit hídrico estructural
021	Río Loa	Con recursos	Sí	Sí	Déficit hídrico estructural

Fuente: Elaboración propia.

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

En la región de Tarapacá se han implementado Planes Estratégicos de Gestión Hídrica (PEGH) en las cuencas Pampa del Tamarugal (BNA 017) y Río Loa (BNA 021). Paralelamente, en el ámbito productivo se han formulado Planes de Riego en todas las cuencas de la región, orientados a promover un uso eficiente y sostenible de los recursos hídricos destinados al

¹² El Balance Hídrico corresponde al contraste realizado entre la oferta superficial y la demanda, donde Déficit Hídrico Estructural corresponde a cuencas donde la demanda extractiva supera el caudal que se excede el 50% del tiempo; Estrés hídrico: la demanda extractiva es mayor que el caudal que se excede el 85% del tiempo; y Con recursos: la demanda no supera el caudal que se excede el 85% del tiempo.

¹³ El Balance Hídrico Unificado combina el Balance Hídrico con las restricciones de uso de agua superficiales y subterráneas, si la cuenca posee restricciones su nivel de criticidad aumenta.

riego. Sin embargo, se identifica la necesidad de extender el desarrollo y actualización de estos instrumentos de gestión, tanto de Planes Estratégicos de Recursos Hídricos en Cuencas (PERHC) y Planes de Riego, a aquellas cuencas que carecen de herramientas similares. Para un análisis más detallado, se recomienda consultar el Capítulo 3 del Informe Nacional.

El fortalecimiento de la gestión hídrica requiere la integración de soluciones innovadoras que diversifiquen las fuentes de abastecimiento y permitan la adaptación al cambio climático. Esto incluye la reutilización de aguas servidas, recarga artificial de acuíferos, obras de regulación e infiltración, sistemas urbanos de drenaje sostenible, plantas desaladoras, mejoramiento de riberas y reforestación, complementadas con tecnologías avanzadas para el monitoreo, caracterización de infraestructura y disponibilidad hídrica.

8.3 GOBERNANZA PARA EL FUTURO DESEADO: EL ROL DEL MOP Y ACTORES CLAVE

El Ministerio de Obras Públicas (MOP) lidera la gestión de infraestructura hídrica mediante planificación estratégica, regulación y coordinación interinstitucional, buscando garantizar la sostenibilidad y disponibilidad de los recursos hídricos. Su Plan Nacional de Infraestructura Pública 2025-2055 (PNIP) establece una estrategia para abordar los desafíos hídricos futuros, adaptándose a cambios climáticos y socioeconómicos, promoviendo soluciones sostenibles. En la región de Tarapacá, actores como el Gobierno Regional, SEREMI MINAGRI, INDAP, CNR, CONAF, CONADI, SISS, OUs¹⁴, empresas sanitarias, empresas mineras, agricultores y empresas agrícolas desempeñan roles clave. Aunque el MOP destaca por su capacidad técnica, enfrenta desafíos como la fragmentación organizativa y falta de continuidad en políticas. Es esencial fortalecer la articulación local, fomentar la confianza y asegurar una gobernanza colaborativa y resiliente, adaptada a realidades territoriales.

8.4 FRENTE A LA INCERTIDUMBRE: VISIÓN COMÚN PARA LA RESILIENCIA

La visión estratégica del Plan Nacional de Infraestructura Pública 2025-2055 prioriza la resiliencia hídrica como un componente central de la gobernanza nacional frente a la crisis hídrica. Este enfoque reconoce el agua como un recurso estratégico para la población, la economía y la biodiversidad, promoviendo su gestión integrada y sostenible en respuesta a los desafíos climáticos y socioeconómicos. Se busca garantizar el derecho humano al agua y al saneamiento, fomentando un desarrollo equitativo y resiliente. En la región de Tarapacá la estrategia se centra en desarrollar una gestión integral de los recursos hídricos, a través de la implementación de infraestructura resiliente e innovadora, promoviendo el uso de nuevas fuentes, la participación activa de los usuarios de agua y la optimización de su uso en los sistemas productivos. Las políticas y proyectos tienen principios de sostenibilidad, mitigación

¹⁴ SEREMI MINAGRI: Secretaría Ministerial Regional del Ministerio de Agricultura; INDAP: Instituto de Desarrollo Agropecuario; CNR: Comisión Nacional de Riego; CONAF: Corporación Nacional Forestal; CONADI: Corporación Nacional de Desarrollo Indígena; SISS: Superintendencia de Servicios Sanitarios; OUs: Organizaciones de Usuarios de Agua.

y adaptación al cambio climático, con un enfoque en acciones se adapten a las particularidades territoriales y promuevan soluciones de largo plazo.

8.5 MEGATENDENCIAS Y SUS POTENCIALES CONSECUENCIAS: ESCENARIOS DE DESARROLLO

La región enfrenta cuatro escenarios contrastantes. En un escenario de *Estancamiento Crítico*, el crecimiento demográfico y la deficiente planificación aumentan la demanda hídrica urbana, exacerbando las brechas de accesos al agua potable, principalmente en la cuenca Pampa del Tamarugal (BNA 017). Las pérdidas de distribución alcanzan 35% en localidades costeras como Pisagua, agravadas por la ausencia de alcantarillado periurbano y rurales, que asciende a 55%. La baja eficiencia de riego del 57% a nivel regional y una demanda minera proyectada en +14% al año 2055, limita la productividad agrícola y pondrán en riesgo la continuidad de proyectos mineros. La vulnerabilidad se acentúa por la disminución sostenida en la disponibilidad de agua superficial y subterránea (afectando especialmente al Salar del Huasco en la cuenca Altiplánicas (BNA 010)), la contaminación de fuentes hídricas subterráneas se incrementa debido a la degradación del suelo y el uso intensivo de agroquímicos, comprometiendo la sostenibilidad de la región. En un escenario de *Desafío Gestionable*, mantiene la capacidad de respuesta institucional, sin embargo, la deficiente infraestructura de abastecimiento de agua potable y saneamiento, perpetúan la inequidad en el acceso. La creciente demanda minera agudiza conflictos de asignación de recursos con la actividad agrícola de la región. Se prioriza la modernización de infraestructura existente, la implementación de tecnologías para optimizar la eficiencia y medidas de reutilización. Un escenario de *Capacidad Limitada*, si bien evita incrementos abruptos en los desafíos de seguridad hídrica regionales, las limitaciones institucionales y deficiencias en la gobernanza del agua inciden en la desigualdad en el acceso al agua potable y saneamiento, comprometen la sostenibilidad de los ecosistemas hídricos debido a la contaminación y sobreexplotación, acentuando la presión sobre los recursos hídricos. Finalmente, un escenario de *Avance Sostenible*, logra estabilidad mediante políticas integradas, reducción de pérdidas hídricas, conservación de humedales (<5% protegidos), implementación de infraestructura resiliente y tecnologías innovadoras, asegurando caudales ecológicos y la sostenibilidad productiva. Este modelo de gestión hídrica posiciona a Tarapacá como un referente en la adaptación al cambio climático y la eficiencia en la utilización del agua, asegurando que las futuras generaciones dispongan de un recurso estratégico para su desarrollo y bienestar.

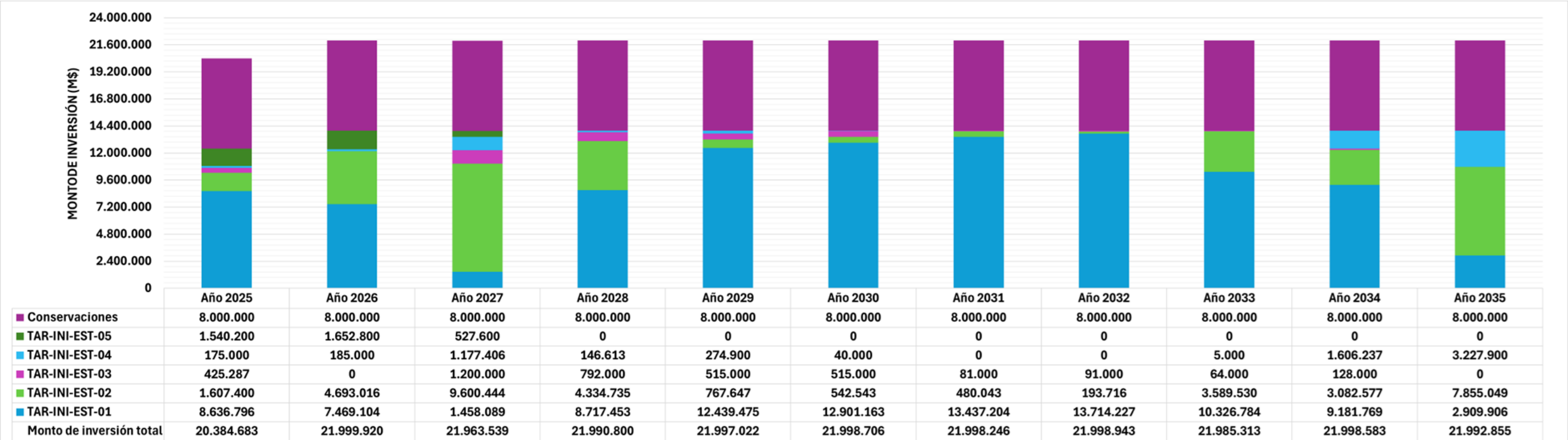
8.6 ADAPTACIÓN COMO CAMINO PARA NAVEGAR LA INCERTIDUMBRE

El desarrollo de una planificación estratégica integral y sostenible es clave para abordar los desafíos regionales mencionados en los acápite anteriores. Se deben implementar medidas de adaptación en distintos niveles, a través de una coordinación transversal con mejoras institucionales, que consideren un contexto de alto dinamismo y por lo tanto una actualización

constante. Esta planificación debe tener un enfoque inclusivo y coordinado para abordar problemas complejos de forma integral, que considere las particularidades de la región, sin relevar un territorio por sobre otro. La implementación de servicios e infraestructura requiere de un rol activo de todos los actores y una inversión eficiente, que considere metas a corto y mediano plazo para lograr el desarrollo soluciones efectivas en todos los territorios.

8.7 SOLUCIONES SINÉRGICAS PARA PROBLEMAS COMPLEJOS: INICIATIVAS ESTRATÉGICAS

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



Leyenda	Descripción iniciativas
INI-EST-01	Ampliación, conservación y mejoramiento operacional y tecnológico de SSR en agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas servidas 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 las aguas subterráneas
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. Por último, la “Ampliación, Conservación y Mejoramiento Operacional y Tecnológico de SSR en Alcantarillado y Tratamiento de Aguas Servidas”, tiene por objetivo garantizar el saneamiento de los servicios sanitarios.

Estas iniciativas estratégicas se traducen a inversiones como:

- M\$ 41.526.800 de inversión para Diseño y Construcción de Sistemas de Agua Potable Rural en la región, con un beneficio para más de 12.000 personas distribuidas en las cuencas: Pampa Del Tamarugal (BNA 017), que equivale al 32% de la inversión; Costeras Tilviche – R. Loa (BNA 018) con un 30% de la inversión; Altiplánicas (BNA 10) que equivale al 25% de la inversión; y Río Loa (BNA 21) con 13% de la inversión para este ítem. Esta inversión permitirá disminuir la brecha de accesibilidad al agua potable.
- M\$ 1.960.000 de inversión para la Evaluación de Alternativas de Nuevas Fuentes de Abastecimiento de Agua para Consumo Humano y/o Riego, equivalente a 7 estudios de recursos hídricos. El 43% de la inversión se concentra en estudios para la cuenca Pampa del Tamarugal (BNA 017), un 29% para cuenca Río Loa (BNA 021), el 28% restante se reparte equitativamente entre las cuencas Costeras Tilviche – R. Loa (BNA 018) y Costeras R. Camarones – Pampa del Tamarugal (BNA 016).
- M\$ 1.142.900 de inversión para el Diseño y Construcción de Plantas Desaladoras y Desalinizadoras, con un beneficio para 990 personas en la cuenca Costeras Tilviche – R. Loa (BNA 018).
- M\$ 23.491.600 de inversión para Mejorar la Eficiencia en el Uso del Agua a través del Fomento de Eficiencia Hídrica en Riego, beneficiando a más de 229 ha a nivel regional; y el Fomento de Eficiencia Hídrica en Agua Potable beneficiando a más de 23.600 personas, disminuyendo la demanda sobre la matriz hídrica.
- M\$ 30.323.700 de inversión para el Diseño y Construcción de Obras para la Recuperación y Recarga de Acuíferos, equivalente a más de 46.000.000 m³ de volumen de recarga de agua, aumentando la oferta en la matriz hídrica.
- M\$ 16.411.400 de inversión para el Diseño, Construcción de Sistemas de Reutilización de Aguas Servidas para beneficiar a más de 110 hectáreas de riego en la región. La cuenca Costeras Tilviche – R. Loa (BNA 018) reúne el 81% de la inversión para este ítem.
- M\$ 310.000 de inversión para el desarrollo de Regularización de Derechos de Agua en Captaciones; la Promoción y Conformación de Organizaciones de Usuarios, y el Plan de Seguimiento a Planes de Riego, con enfoque a escala regional.
- M\$ 4.374.400 de inversión para el Diseño, Construcción de Obras Medianas de Riego, beneficiando a más de 19 hectáreas.

- M\$ 48.451.200 de inversión para el Diseño y Construcción de Sistemas de Saneamiento Rural, con un beneficio para más de 23.000 personas, lo que permitirá reducir la brecha de acceso al tratamiento de aguas servidas y riesgos de contaminación biológica del agua. El 45% de la inversión se reúne en proyectos para la cuenca Pampa del Tamarugal (BNA 017), un 26% para la cuenca Costeras Tilviche – R. Loa (BNA 018), un 21% para la cuenca Altiplánicas (BNA 010) y por último un 9% de la inversión para la cuenca Río Loa (BNA 021).

8.8 MONITOREO Y ESTRATEGIAS DE CONTINGENCIA

El estudio aborda megatendencias globales como cambio climático, urbanización, intensificación agrícola y dinámicas demográficas, que redefinen la disponibilidad y demanda de agua. Para enfrentar vulnerabilidades y oportunidades, se proponen cinco tipos de acciones anticipatorias: **Mitigación**, acciones que pretenden reducir impactos adversos probables, incluyen la modernización de la infraestructura de riego y la reducción de la pérdida en canales; la **cobertura**, corresponden a acciones que buscan minimizar riesgos por incertidumbres, considera la implementación de plantas desaladoras y la diversificación de fuentes. Por su parte, las medidas de **oportunidad** procuran aprovechar beneficios ciertos, considerando acciones que priorizan tecnologías de reúso de aguas residuales y optimización industrial-minera; las acciones de **beneficio** persiguen capitalizar desarrollos inciertos, estas acciones consideran políticas de conservación (protección de humedales y caudales ecológicos) y la actualización de Instrumentos de Planificación Territorial. Por último, las medidas **preventivas** buscan influir proactivamente en eventos externos, estas medidas involucran sistemas de monitoreo hidroclimático y la promoción de la gobernanza hídrica, reduciendo los conflictos socioambientales e incrementado la resiliencia de la región. Estas acciones, respaldadas por inversión en datos actualizados y participación multisectorial, robustecen la adaptabilidad frente a incertidumbres climáticas y presiones demográficas.

CAPÍTULO 9 BIBLIOGRAFÍA

- (CEN), C. E. (2023). *Reportes, Estadísticas y Plataformas de Uso Frecuente*. Santiago. Obtenido de <https://www.coordinador.cl/reportes-y-estadisticas/>.
- 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.
- Acuicultura, R. N. (s.f.).
- Acuicultura, R. N. (s.f.). *RNA*.
- Aguas del Altiplano. (2023). *Aguas del Altiplano*. Obtenido de https://www.aguasdelaltiplano.cl/p_238-252_concesionnew
- Aguas del Antiplano. (2022). *Memoria Aguas del Altiplano*. https://www.aguasdelaltiplano.cl/recursos-ada/Memorias/Memoria%20Aguas%20del%20Altiplano_2022.pdf.
- Aguas del Valle. (2018). Obtenido de Aguas del Valle: <https://www.aguasdelvalle.cl/empresas/nosotros/plan-de-desarrollo-vigente/>
- Aguas La Serena. (2021). *Aguas La Serena*. Obtenido de <https://www.alser.cl/plan.php>
- Amado, C. (2019). *PERCEPCIONES DE USO DEL AGUA Y EDUCACIÓN AMBIENTAL EN LOS ALMNOS DE ENSEÑANZA MEDIA DE LA COMUNA DE PICA*. Universidad de Chile.
- BC. (2022). *Cuentas Nacionales*. Obtenido de https://si3.bcentral.cl/Siete/ES/Siete/Cuadro/CAP_CCNN/MN_CCNN76/CCNN2018_PIB_REGIONAL_N/637899740344107786
- BC. (2022). *Cuentas Nacionales*. Obtenido de https://si3.bcentral.cl/Siete/ES/Siete/Cuadro/CAP_CCNN/MN_CCNN76/CCNN2018_PIB_REGIONAL_N/637899740344107786
- BCN. (2023). *Clima y Vegetación Región de Tarapacá*. Obtenido de <https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region1/clima.htm>
- BCN. (2023). *Hidrografía Región de Tarapacá*. Obtenido de <https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region1/hidrografia.htm>
- BDE. (2022). *Cuentas Nacionales*. Obtenido de https://si3.bcentral.cl/Siete/ES/Siete/Cuadro/CAP_CCNN/MN_CCNN76/CCNN2018_PIB_REGIONAL_N/637899740344107786

- 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.
- Cantillana, R. (2018). Conflictos por el agua en sus dimensiones sociales y culturales: política de Estado y gestión comunitaria en Tarapacá, Chile. *Estudios Socioterritoriales vol.23 Tandil jun. 2018*.
- CASEN. (2023). *Resumen de resultados: Pobreza por ingresos, pobreza multidimensional y distribución de los ingresos*.
- Celedón, N. D. (2023). Conseciones sanitarias: Como se incertan en el actual modelo de gestión colectiva de las aguas. *Actualidad Juridica*.
- CEN. (2024). *Coordinador Electrico Nacional*. Obtenido de <https://www.coordinador.cl/desarrollo/graficos/planificacion-de-la-transmision/oferta-proyectada/>
- CIDERH. (2013). *Recursos Hídricos Región de Tarapacá*.
- CNE. (2018). *Energía Maps - Centrales hidroeléctricas*. Obtenido de <https://energiamaps.cne.cl/#>
- CNR. (2016). Planes de Riego, Elqui, Limarí y Choapa-Quilimarí.
- CNR. (2017). *Estudio Básico: Diagnóstico para Desarrollar Plan de Riego en la Región de Tarapacá*.
- CNR. (2019). *Mapa y Fichas de Infraestructura de Riego y Catastros - Levantamiento de información CNR - Bocatomas*. Obtenido de <https://esiir.cnr.gob.cl/>
- CNR. (2020). *Mapa y Fichas de Infraestructura de Riego y Catastros - Levantamiento de información CNR*. Obtenido de <https://esiir.cnr.gob.cl/>
- CNR. (2020). *Mapa y Fichas de Infraestructura de Riego y Catastros - Levantamiento de información CNR - Canales*. Obtenido de <https://esiir.cnr.gob.cl/>
- Cobre, C. C. (2023). *Infraestructura Hídrica Compartida*.
- COCHILCO. (2018). *Anuario de la Minería de Chile*. Obtenido de https://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2019/06/Libro_Anuario_2018_.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. (2014). Obtenido de <https://www.conaf.cl/>
- DGA. (1989). *Mapa Hidrogeológico de Chile*. Obtenido de <https://snia.mop.gob.cl/repositorioldga/>
- DGA. (1992). *Plan Maestro de Recursos Hídricos*.
- DGA. (2016). *Embalses - Inventarios*. Recuperado el 2024, de <https://dga.mop.gob.cl/estudiospublicaciones/mapoteca/Documents/Embalses.zip>

- DGA. (2020). Plan Estratégicos de Gestión Hídrica.
- DGA. (2021). *Diagnóstico Hidrogeológico del Acuífero del Río Camarones, Región de Arica y Parinacota*. Obtenido de <https://snia.mop.gob.cl/PIA/handle/20.500.13000/125421>
- 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 la Pampa del Tamarugal S.I.T. N°473.
- DGA. (2021). Plan Estratégico de Gestión Hídrica en la Cuenca de la Pampa del Tamarugal S.I.T. N°473.
- DGA. (2021). *Plan Estratégico de Gestión Hídrica en la cuenca del Río Lluta*. Obtenido de <https://snia.mop.gob.cl/repositorioldga/handle/20.500.13000/125586>
- DGA. (2021a). *Plan Estratégico de Gestión Hídrica en la cuenca del Río Loa*. Santiago.
- DGA. (2022). *Actualización Balance Hídrico Nacional*. Santiago.
- DGA. (2022). *Homologación del Cálculo Hidrológico para la Estimación de la Oferta Natural de Agua Histórica y Futura en Chile*. Santiago.
- DGA. (2022). *Homologación del Cálculo Hidrológico para la Estimación de la Oferta Natural de Agua Histórica y Futura en Chile*.
- 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. (Noviembre de 2023). *Catastro público de aguas*. Obtenido de Derechos concedidos I: 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>
- DGOP. (2021). *Plan de Inversión en Iniciativas Hídricas 2020-2050*.
- Diario el Día . (2023). *Preocupa lento avance en proyectos de embalses ante extrema sequía en la región*. Recuperado el 08 de Enero de 2024, de <https://www.diarioeldia.cl/economia/2023/6/22/preocupa-lento-avance-en-proyectos-de-embalses-ante-extrema-sequia-en-la-region-102126.html>

- Dictuc. (2021). *Metodología para Priorización de Cuencas Hidrográficas para Elaboración de Normas Secundarias de Calidad Ambiental u otros Instrumentos de Gestión relacionados a Calidad del Agua*.
- DIRPLAN. (2012). *Metodología de evaluación socioeconómica ex ante de planes territoriales de infraestructura y gestión de recurso hídrico* — MOP. Santiago.
- DIRPLAN. (2024). *Estudio básico: Análisis integral Plan Director de Infraestructura 2025-2055*. Santiago.
- DOH. (2021). *Listado de Sistemas de Agua Potable Rural en Chile*. Obtenido de <https://datos.gob.cl/dataset/listado-de-sistemas-de-agua-potable-rural-en-chile>
- DOH. (2021). *Plan de Inversión en Iniciativas Hídricas 2020-2050*.
- DOH. (2023). *Listado de Servicios Sanitarios Rurales*. Santiago, Chile.
- EM-DAT. (2024). *The international disaster database*. Obtenido de <https://www.emdat.be/>
- ERIDANUS. (2018). *Recopilación histórica y representación espacial de eventos asociados a problemas de exceso hídrico: inundaciones, aluviones y tsunamis*.
- GORE Atacama. (2020). *Estrategia regional de innovación*.
- GORE Coquimbo. (2020). *Estrategias Regional del Desarrollo*. <https://www.gorecoquimbo.cl/estrategia-regional-de-desarrollo/gorecoquimbo/2015-05-08/164205.html>.
- INE. (1997). *CENSO NACIONAL AGROPECUARIO*.
- INE. (2007). *VII Censo Nacional Agropecuario y Forestal*.
- INE. (2017). *Censo de Población y Vivienda*. Obtenido de Resultados CENSO 2017: <http://resultados.censo2017.cl/>
- INE. (2017). *Resultados Censo 2017*. Obtenido de <http://resultados.censo2017.cl/>
- INE. (2020). *SICVIR*. Obtenido de <https://www.ine.gob.cl/herramientas/portal-de-mapas/sicvir>
- 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>
- INE. (2024). *Generación y distribución de energía eléctrica*.
- INIA. (2023). *Expertos en materia hídrica avanzan en programa piloto de recarga de acuíferos en Pan de Azúcar*. Obtenido de <https://www.inia.cl/2022/03/23/expertos-en-materia-hidrica-avanzan-en-programa-piloto-de-recarga-de-acuiferos-en-pan-de-azucar/>
- Lempert, R. (2019). Robust Decision Making (RDM). En V. Marchau, W. Walker, P. Bloemen, & S. Popper, *Decision Making under Deep Uncertainty*. Springer, Cham.
- Manuel Méndez, H. R. (2020). Territorios hidrosociales en las geografías altoandinas del Norte de Chile: Modernización y Conflictos en la Región de Tarapacá. *Open Editions Journal*, DOI: <https://doi.org/10.4000/ideas.7512>.
- Mardones y Garreaud. (2020). Future Changes in the Free Tropospheric Freezing Level and Rain–Snow Limit: The Case of Central Chile.

- Maureira, G. (2013). *Alteración Hidrotermal y Geoquímica de las Aguas Termales en el Área de la Conseción Geoterminca Licancura III*.
- MINENERGIA. (2019). *Informe Balance Nacional de Energía* . Santiago.
- MOP. (2005). *Decreto 743* .
- MOP. (2012). *Plan Regional de Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico al 2021, Región de Tarapacá*. Obtenido de https://planeamiento.mop.gob.cl/planes/regional/Paginas/detalle_prigrh.aspx?item=3
- MOP. (2018). *Plan Chile 30/30*.
- MOP. (2019). *ANÁLISIS DE INVERSIÓN EN INFRAESTRUCTURA Y GESTIÓN HÍDRICA*.
- MOP. (2019). *Análisis de inversión en infraestructura y Gestión Hídrica 2020-2050*.
- MOP. (2023). *Inventario de Planes MOP 2023*. Obtenido de Plan de Infraestructura para Caletas Rurales Región de Coquimbo: https://planeamiento.mop.gob.cl/planes/inventarioplanes/Documents/Inventario_de_Planes_MOP_2023.pdf
- MOP. (2023). *Inversión Historica MOP 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.
- PNDR. (2020). *ODEPA*. Obtenido de <https://www.odepa.gob.cl/dpto-desarrollo-rural/politica-nacional-de-desarrollo-rural>
- PNUD . (2023). *Medición de la Pobreza Multidimensional en Chile* . En MIDESO, *Encuesta Casen 2022*. Obtenido de <https://observatorio.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/storage/docs/casen/2022/Informe%20IPM%20-%20PNUD%20-%20CASEN%202022.pdf>
- Sara Larraín, P. P. (2010). *Conflictos por el agua en Chile: Entre los derechos humanos y las reglas del Mercado*.
- SENAPRED. (2023). *Servicio Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres*. Obtenido de <https://bibliogrdsenapred.gob.cl/handle/2012/21/recent-submissions?offset=0>
- SERNAGEOMIN. (2022). *Catastro de Depósito de Relaves*. Obtenido de <https://www.sernageomin.cl/datos-publicos-deposito-de-relaves/>
- SERNAGEOMIN. (2022a). *Anuario De La Minería De Chile* .
- SERNAGEOMIN. (2023). *Catastro de Depósito de Relaves*. Obtenido de <https://www.sernageomin.cl/datos-publicos-deposito-de-relaves/>
- SERNAGEOMIN. (2024). *Servicio Naciona de Geología y Minería*. Obtenido de <https://www.sernageomin.cl/>
- SERNAPESCA. (2024). *Registro Nacional de Acuicultura (RNA)*. Obtenido de Solicitud por Ley de Transparencia: Catastro empresas y cosecha historica:

- <https://www.sernapesca.cl/preguntas-frecuentes/registro-nacional-de-acuicultura-rna/>
- 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., Ereqat, F., & Diaz Anadon, L. (2016). Formulating Expectations for Future Water Availability through Infrastructure Development Decisions in Arid Regions. *Systems Engineering*. doi:10.1002/sys.21337
- SiSS. (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). *Sistema de Gestión Unidad Información - PTAS*. Obtenido de <https://sit.siss.gob.cl/>
- 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 Facturación Clientes y Coberturas SIFAC II.
- SiSS. (2023). *Sistema de Gestión Unidad Información*. Obtenido de <https://sit.siss.gob.cl/>
- 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/>
- SQM. (2018). *Reporte de ejecución de medidas urgentes y transitorias periodo diciembre 2017 a marzo 2018*.
- SQM. (2023). *EIA Modificación parcial del sistema de reinyección en los puquios de Llamara*.
- Subdere. (2023). *División Política Administrativa 2023*. Obtenido de <https://www.geoportal.cl/geoportal/catalog/36391/Divisi%C3%B3n%20Pol%C3%ADtica%20Administrativa%202023>
- Subpesca. (2019). *Pescadores de caleta Chanavaya contarán con planta desalinizadora que entregará 10 mil litros diarios de agua potable*. Obtenido de <https://www.subpesca.cl/portal/617/w3-article-104073.html>
- Tarapacá, G. R. (2022). *Vecinas y vecinos ponen en marcha planta desalinizadora en caleta San Marcos*. Obtenido de <https://www.goretarapaca.gov.cl/vecinas-y-vecinos-ponen-en-marcha-planta-desalinizadora-en-caleta-san-marcos/>
- Tarapacá, S. R. (2013). *Levantán estanque de Agua Potable en Chanavayita*. Obtenido de <https://tarapaca.mop.gob.cl/levantan-estanque-de-agua-potable-en-chanavayita/>

- Varas, E., & Sandoval, J. (s.f.). *Riego por tendido*.
- 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.