

**GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS
DIVISIÓN DE ESTUDIOS Y PLANIFICACIÓN**

PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA QUEBRADA CARACOLES

INFORME FINAL

REALIZADO POR:

Ingeniería y Gestión Ambiental Enlaces SpA

S.I.T. N° 498

Febrero 2022

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

Ministro de Obras Públicas
Ingeniero Civil, Alfredo Moreno Charme

Director General de Aguas (S)
Ingeniero Civil mención Hidráulica, Sanitaria y Ambiental, Cristian Núñez Riveros

Director Regional de Aguas, Región de Antofagasta (S)
Ingeniero Civil, Arturo Beltrán Schwartz

Jefe División de Estudios y Planificación
Ingeniero Civil, Mauricio Lorca Miranda

Inspectora Fiscal
Constructora Civil, Cecilia Roa Espinoza

Inspectora Fiscal Subrogante
Ingeniera Civil, Andrea Osses Vargas

INGENIERÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL ENLACES SPA

Jefa de Proyecto
Ingeniera Civil Hidráulica, María Angélica Alegría Calvo

Profesionales Equipo Especialistas

Ingeniera Civil Hidráulica, Antonia Arroyo Welkner
Geólogo, Mauricio Andrés Claría Hofer
Ingeniero Civil (e), Felipe Alberto Durán Burnier
Geógrafo, Javier Ignacio Fuentes Torrejón
Ingeniera en Recursos Naturales Renovables, Pía Carolina García Peña
Ingeniera Civil Hidráulica, María Alejandra Isamit Faure
Antropólogo, PhD., Felipe Arturo Maturana Díaz
Ingeniero Civil Agrícola, David Osvaldo Pavez Pavez
Ingeniero Forestal, PhD., Rodrigo Marcelo Valdés Pineda
Ingeniera Civil Hidráulica, Camila Francisca Vega Alvarado

Contenido

Capítulo 1. Introducción.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.1.1 Modificación del Código de Aguas: Introducción de los Planes Estratégicos de Recursos Hídricos en Cuencas	4
1.1.2 Contexto actual nacional y mundial: Nuevos conceptos en la modificación del Código de Aguas.....	6
1.1.3 Algunas consideraciones sobre la gestión integrada de recursos hídricos (GIRH) a nivel de cuencas	11
1.2 Objetivos	14
1.2.1 Objetivo General.....	14
1.2.2 Objetivos Específicos	14
Capítulo 2. Caracterización de la cuenca	15
2.1 Ubicación geográfica	15
2.2 Dimensión física y económica	18
2.2.1 Cuerpos de agua.....	18
2.2.2 Geomorfología.....	18
2.2.2.1 Planicies marinas o fluvio-marinas	18
2.2.2.2 Cordillera de la Costa	18
2.2.2.3 Desierto de Atacama	18
2.2.2.4 Piedemonte	19
2.2.2.5 Precordillera de Domeyko	19
2.2.3 Geología	21
2.2.4 División político-administrativa	21
2.2.5 Demografía	23
2.3 Clima	24
2.3.1 Caracterización climática	24
2.3.2 Eventos extremos y variabilidad climática	26

2.3.2.1	Variabilidad intra-anual	26
2.3.2.2	Eventos extremos	30
2.3.3	Escenarios de cambio climático.....	32
2.3.3.1	Generalidades	32
2.3.3.2	Situación en la cuenca	33
2.4	Dimensión ambiental.....	35
2.4.1	Sistemas ecológicos	36
2.4.2	Áreas protegidas o prioritarias de conservación	38
2.4.3	Estado del medio ambiente	39
2.4.3.1	Revisión SEA	39
2.4.3.2	Repositorio de pertinencias	43
2.4.3.3	Revisión del Sistema Nacional de Información de Fiscalización Ambiental de la SMA	43
2.4.4	Sistematización de conflictos ambientales y demandas por daño ambiental	47
2.4.5	Fuentes emisoras DS 90/2000 y DS 46/2003	47
2.4.6	Brechas en Dimensión Ambiental	48
2.5	Infraestructura hídrica	48
2.5.1	Obras hidráulicas.	48
2.5.2	Red Hidrométrica.	51
2.5.3	Brechas en Infraestructura.....	54
2.6	Nuevas Fuentes Existentes.....	55
2.6.1	Plantas desalinizadoras.....	55
2.6.2	Brechas	60
2.7	Caracterización sociocultural	60
2.7.1	Caracterización Comuna de Sierra Gorda	64
2.7.1.1	Localidad de Baquedano	65
2.7.1.2	Localidad de Sierra Gorda	66
2.7.1.3	Sector Oasis	66
2.7.1.4	Sector Lomas Bayas	66
2.7.2	Caracterización Comuna de Antofagasta	67

2.8	Gobernanza del agua a nivel cuenca.....	71
2.8.1	Gobernanza del agua en la cuenca	71
2.8.2	Agentes que Participan en la Gobernanza del Recurso Hídrico.....	75
2.8.3	Mapa de Actores	78
2.8.4	Brechas de coordinación	82
2.8.5	Brechas de información	83
Capítulo 3.	Demanda física y legal de Recursos Hídricos para diferentes usos	84
3.1	Mercado de aguas.....	84
3.1.1	Constitución de Derechos de Aprovechamiento de Aguas	84
3.1.2	Regularización de Derechos de Aprovechamiento de Aguas	86
3.1.3	Solicitudes de Derechos de Aprovechamiento de Aguas y Regularizaciones en trámite	87
3.1.4	Solicitudes de Derechos de Aprovechamiento de Aguas y Regularizaciones constituidos y con sentencia favorable.....	87
3.1.5	Exploraciones de Agua subterránea en la cuenca	89
3.1.6	Cobro de patentes por no uso.....	91
3.2	Uso humano.....	94
3.2.1	Agua potable urbana, histórica y proyectada	94
3.2.2	Agua potable rural histórica y proyectada	94
3.2.3	Derechos de agua para uso humano.....	94
3.3	Necesidades mínimas ambientales	94
3.3.1	Derechos de agua para el medio ambiente: caudales ecológicos	94
3.4	Demanda minera	96
3.4.1	Derechos de agua para la minería	96
3.5	Demanda industrial	99
3.5.1	Derechos de agua para la industria	99
3.6	Otros usos	100
Capítulo 4.	Oferta hídrica	101

4.1	Agua superficial	101
4.1.1	Fuentes superficiales	101
4.1.1.1	Restricciones de uso sobre fuentes superficiales	103
4.1.2	Oferta en la fuente	103
4.1.3	Oferta en la fuente proyectada	104
4.1.4	Calidad actual en fuentes del agua superficial	104
4.2	Agua subterránea	104
4.2.1	Fuentes subterráneas	104
4.2.1.1	División administrativa	105
4.2.2	Calidad del agua subterránea	107
4.2.3	Fuentes de contaminación.....	107
4.2.4	Derechos constituidos.....	110
Capítulo 5.	Balance de agua	111
5.1	Modelo de simulación	111
5.1.1	Situación actual (Escenario de calibración)	111
5.1.1.1	Modelo superficial	111
5.1.1.2	Resultados de la Simulación Hidrológica Histórica	111
5.1.2	Situación proyectada	114
5.1.2.1	Selección de Modelo de Circulación General disponibles	114
5.1.2.2	Proyección de la Oferta y Demanda Hídrica Futura	114
5.2	Sustentabilidad (Actual y Proyectada)	117
5.3	Indicadores Hídricos de la Cuenca	117
5.4	Escenarios de gestión hídrica.....	117
5.4.1	Descripción de los Escenarios Establecidos	117
5.4.1.1	Escenario 1: Modelación de los derechos de aprovechamiento y Patentes otorgadas a las Concesiones Mineras presentes en el territorio	118
5.4.1.2	Escenario 2: Modelación de reducción de los derechos de aprovechamiento otorgadas a Concesiones Mineras presentes en el territorio.	118
5.4.2	Resultados de la Simulación Hidrológica para los Escenarios de Gestión Hídrica	118

5.5	Brechas existentes para la modelación WEAP	121
Capítulo 6.	Cuenca Piloto	122
6.1.1	Trabajo de terreno	124
Capítulo 7.	Modelo conceptual hidrogeológico	124
7.1	Brechas en Hidrogeología.....	125
Capítulo 8.	Acciones	128
8.1	Gobernabilidad y aspectos socioculturales.....	128
8.1.1	Rango constitucional del agua como bien nacional de uso público	128
8.1.2	Cambios normativos que aseguren el uso eficiente del agua.....	129
8.1.3	Adecuada definición de los Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común	129
8.1.4	Adecuada definición de las cuencas hidrológicas	130
8.1.5	Catastro de extracciones de agua en la cuenca	130
8.1.6	Acciones frente a episodios de contaminación en acuíferos.....	130
8.2	Dimensión ambiental y calidad de aguas.....	131
8.2.1	Soluciones basadas en la naturaleza	131
8.2.2	Restauración, reparación y/o remediación del humedal km 12	133
8.2.3	Comparación de la calidad de agua que abastece a la localidad de Baquedano	133
8.2.4	Evaluación de los impactos ambientales de las plantas desalinizadoras	133
8.2.5	Cuantificación de la entrada de agua a la cuenca producto de la desalación	134
8.3	Hidrogeología	134
8.4	Infraestructura	134
8.5	Limitaciones de los Modelos hidrológicos.....	134
Capítulo 9.	Cartera de iniciativas.....	135
9.1	Síntesis de acciones propuestas.....	135
9.2	Metodología de evaluación de las iniciativas	136

9.3	Priorización de las iniciativas	138
9.3.1	Ejecutora o mandante DGA	140
9.3.2	Otras instituciones	140
9.4	Valorización económica del Plan Estratégico de Gestión Hídrica.....	141
9.4.1	Distribución de costos por actores.....	143
9.4.2	Cronograma de las soluciones	144
Capítulo 10. Implementación del Plan.....		145
10.1	Hitos de referencia en la implementación del plan	146
10.1.1	Corto Plazo	146
10.1.2	Mediano Plazo	147
10.1.3	Largo Plazo	148
10.2	Estrategia de implementación.....	149
10.2.1	Aspectos Normativos.....	149
10.2.1.1	Brechas Gobernabilidad y aspectos socioculturales	150
10.2.2	Pasos de la implementación	155
10.3	Estrategia de Comunicación y relacionamiento.....	155
10.4	Identificación de fuentes de financiamiento del Plan	155
Capítulo 11. Monitoreo y Evaluación del Plan		156
11.1	Plan de Monitoreo	156
11.1.1	Indicadores	157
11.1.2	Seguimiento del PEGH	157
11.2	Mecanismos para el análisis y toma de decisiones	159

ANEXOS

ANEXO A ABREVIACIONES

ANEXO B REFERENCIAS

ANEXO C GLOSARIO

ANEXO D FIGURAS

ANEXO E ANTECEDENTES RECOPIRADOS

ANEXO F TRABAJO DE TERRENO

ANEXO G SIG

ANEXO H MODELO HIDROLÓGICO

ANEXO I DETALLE ACTIVIDADES PAC

ANEXO J INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA DE LA CUENCA

ANEXO K INICIATIVAS

Figuras

Figura 2-1 Cuencas y Área de estudio	17
Figura 2-2 Marco geomorfológico de la región de Antofagasta.	20
Figura 2-3 Clasificación climática de Köppen para la cuenca en estudio.	25
Figura 2-4 Variabilidad intra-anual de la precipitación media mensual en la cuenca, periodo 1985-2015.	27
Figura 2-5 Variabilidad intra-anual de las temperaturas medias mensuales en la Variabilidad interanual	28
Figura 2-6 Variabilidad interanual de la precipitación en la cuenca, período 1985-2015.	29
Figura 2-7 Variabilidad interanual de las temperaturas en la cuenca, período 1985-2015.	30
Figura 2-8 Pisos vegetacionales Cuenca Quebrada Caracoles.....	37
Figura 2-9 Proyectos ingresados al SEIA por sector productivo en la cuenca Quebrada Caracoles	41
Figura 2-10 Distribución Espacial de Proyectos ingresados al SEIA en la cuenca Quebrada Caracoles.	42
Figura 2-11 Distribución espacial de las UF Cuenca Quebrada Caracoles.	46
Figura 2-12 Principales obras menores en cuenca de estudio.	49
Figura 2-13 Distribución espacial de obras menores (VP) en cuenca de estudio.	50
Figura 2-14 Ubicación estación meteorológicas en la cuenca de estudio.....	52

Figura 2-15 Distribución espacial de las Plantas desalinizadoras Cuenca Quebrada Caracoles.	59
Figura 2-16 Detalle de Centros Poblados, Asentamientos Mineros y Límites Censales en el sector Norte de la Cuenca Quebrada Caracoles.....	62
Figura 2-17 Asentamientos Mineros y Límites Censales en el sector Sur de la cuenca Quebrada Caracoles.	63
Figura 2-18 Localidades, Asentamientos Mineros y Límites Censales en la Comuna de Antofagasta - Cuenca quebrada Caracoles.	68
Figura 2-19 Oasis Artificial Corporación GEN – Estación Uribe.	69
Figura 2-20 Desembocadura de la cuenca quebrada Caracoles en la ciudad de Antofagasta.	70
Figura 2-21 Peligros Aluvionales en la desembocadura de la Cuenca Quebrada Caracoles - Ciudad de Antofagasta.	71
Figura 2-22 Modelo de Integración Multinivel.	73
Figura 2-23 Propuesta Consejos de Cuenca.....	74
Figura 2-24 Diagrama Influencia / Interés de Actores Sociales en la cuenca Quebrada Caracoles.	82
Figura 3-1 DAA constituidos en la cuenca.	88
Figura 3-2 Exploraciones de aguas subterráneas en el área de estudio.	90
Figura 3-3 Cobros de patentes por no uso en área de estudio.	93
Figura 3-4 Derechos de agua con uso minero.	98
Figura 4-1 Quebrada y cuerpos de agua en la cuenca Quebrada Caracoles.....	102
Figura 4-2 SHACs en el área de estudio.....	106
Figura 5-1 Balance hídrico incluyendo los flujos anuales de entrada y salida de agua subterránea (1979-2020) de todas las cajas acuíferas simuladas por el modelo WEAP-Caracoles	112
Figura 6-1 Ubicación de la cuenca de estudio, subcuenca piloto y estaciones meteorológicas.	123
Figura 7-1 Hidrogeología de la subcuenca piloto.	127
Figura 9-1 Procedimiento esquemático de priorización de iniciativas para el PEGH.	137
Figura 10-1 Porcentaje de eje de acciones a desarrollarse en el corto plazo.	147
Figura 10-2 Porcentaje de eje de acciones a desarrollarse en el mediano plazo.	148
Figura 10-3 Porcentaje de eje de acciones a desarrollarse en el largo plazo.	149

Tablas

Tabla 2-1 Superficies comunales y su porcentaje de representatividad en la Cuenca Quebrada Caracoles.	22
Tabla 2-2 Subcuencas.	23
Tabla 2-3 Serie completa de precipitaciones medias mensuales, período 1985-2015.	31
Tabla 2-4 Desastres naturales asociado a eventos de precipitación.	32
Tabla 2-5 Resumen temperaturas medias mensuales.	32
Tabla 2-6 Flujos hidrológicos de la cuenca en estudio, en mm, para distintos períodos, y modelos de circulación general.	34
Tabla 2-7 Proyectos Ingresados al SEIA cuenca Quebrada Caracoles.	40
Tabla 2-8 Consulta de Pertinencias ingresadas Región de Antofagasta.	43
Tabla 2-9 Unidades Fiscalizables (U.F.) por sector productivo en la Cuenca Quebrada de Caracoles.	44
Tabla 2-10 Fuentes Emisoras fiscalizadas por la SISS.	47
Tabla 2-11 Estaciones meteorológicas identificadas de la DGA en la cuenca.	51
Tabla 2-12 Densidad de estaciones meteorológicas DGA en la cuenca.	53
Tabla 2-13 Características de estaciones meteorológicas DMC en la cuenca.	53
Tabla 2-14 Características de estaciones meteorológicas en la cuenca de particulares ...	54
Tabla 2-15 Estado estaciones meteorológicas en la cuenca.	54
Tabla 2-16 Plantas desalinizadoras en la Región de Antofagasta.	57
Tabla 2-17 Grado de Interés e Influencias de los Actores.	79
Tabla 3-1 Producción de cobre Total concentrado y Cátodos (miles de TM cobre fino). ..	96
Tabla 3-2 Consumo de agua fresca por parte de la minería.	96
Tabla 4-1 SHACs en el área de estudio.	105
Tabla 4-2 Comparación de Parámetros con la Norma NCh 1.333 y NCh 409 en Estación Cod_BNA 02710001-5 "Agua Potable Antofagasta (CA)".	109
Tabla 5-1 Estimaciones de la recarga directa promedio mensual (m ³ /mes) obtenidas desde los nodos de demanda para cada unidad hidrológica definida en el modelo WEAP-Caracoles (1979-2020).	113

Tabla 5-2 Estimaciones de la recarga lateral promedio mensual (m ³ /mes) obtenidas desde los nodos de demanda para cada unidad hidrológica definida en el modelo WEAP-Caracoles (1979-2020).	113
Tabla 5-3 Demanda de agua promedio mensual simulada (m ³ /mes) para cada escenario de cambio climático y su correspondiente escenario de gestión hídrica utilizando el modelo WEAP- Caracoles (Incluye todos los nodos de demanda).	116
Tabla 5-4 Demandas simuladas (m ³ /mes) desde todos los nodos de demanda disponibles en la cuenca de Caracoles. Los escenarios de gestión incluyen las demandas asociadas a la activación total de derechos de aprovechamiento de aguas asignados a concesiones mineras.....	120
Tabla 9-1 Síntesis de acciones propuestas para la Cuenca Quebrada de Caracoles	136
Tabla 9-2 Porcentajes de ponderación criterios.....	138
Tabla 9-3 Resultado de la priorización de las acciones propuestas.....	139
Tabla 9-4 Acciones Ejecutadas exclusivamente por la DGA.....	140
Tabla 9-5 Distribución de responsables por acciones.	141
Tabla 9-6 Monto de inversión desglosado por cada eje e iniciativa propuesta, en UF de Febrero de 2022.	142
Tabla 9-7 Evaluación económica a través del VAC y CAE, en UF de Febrero 2022.	143
Tabla 9-8 Distribución de los costos asignados exclusivamente a la DGA, en UF de Febrero de 2022.	143
Tabla 9-9 Distribución de costos por otros actores relevantes, en UF de Febrero de 2022.	144
Tabla 9-10 Cronograma de las soluciones.	145
Tabla 10-1 Distribución de costos según mandante DGA u otros (UF de febrero 2022).	155
Tabla 11-1 Seguimiento PEGH.....	158

Capítulo 1. Introducción

1.1 Introducción

De los numerosos estudios y reportes, se tiene que Chile enfrenta probablemente la situación más crítica en su historia respecto de los recursos hídricos, originada principalmente por tres grandes factores: eventos hidrológicos extremos de sequías e inundaciones, fallas en la gestión y gobernanza del agua, y falta de información adecuada y oportuna para la toma de decisiones hídricas.

En relación con el primer factor antes señalado, se tiene que la mega sequía que afecta al territorio nacional desde la última década ha generado pérdidas socioeconómicas y medioambientales considerables, estimando que al año 2025 Chile estará dentro de los 30 países con mayor riesgo hídrico en el mundo. De acuerdo con datos de la Política Nacional para los Recursos Hídricos 2015, la brecha hídrica promedio es de 82,6 m/s y aumentará a 149 m/s al año 2030¹. Por otro lado, condiciones características del norte, de exceso de agua en cortos periodos de tiempo durante el invierno boliviano, que generan inundaciones, aluviones, y eventos de remoción en masa, con graves daños a la infraestructura hídrica y a la población, se han venido acrecentando por el cambio climático.

Según el Informe a la Nación - La mega sequía 2010-2015: Una lección para el futuro, de noviembre 2015, del Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)², señala que al menos un 25% del déficit de precipitación durante la mega sequía es atribuible al cambio climático antrópico. Este impacto, se prevé, seguirá contribuyendo durante el siglo XXI a una progresiva aridificación de la zona centro y sur de Chile, incrementando la ocurrencia de sequías extensas y prolongadas como la actual.

El estudio expresa que la sequía experimentada por la zona más habitada de Chile es un fenómeno extraordinario por su duración y extensión, sin parangón en registros instrumentales históricos ni paleoclimáticos de los últimos 1000 años.

Igualmente señala que más de la mitad del déficit pluviométrico durante la mega sequía es producto de alteraciones climáticas de origen natural y que varían en el tiempo. Sin embargo, el cambio climático antrópico es responsable de al menos un cuarto del déficit

¹ Resolución Exenta DGA N° 557, del 31 de marzo de 2021, APRUEBA BASES ADMINISTRATIVAS Y TÉCNICAS; Y DESIGNA COMISIÓN DE EVALUACIÓN PARA LA PRESTACION DE SERVICIOS PERSONALES DENOMINADA "PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA QUEBRADA CARACOLE", considerando 1.

² <https://www.cr2.cl/megasequia/>

observado, una fracción que, se prevé, aumentará en el futuro y que ha generado impactos sustanciales sobre los caudales de las aguas subterráneas, las zonas costeras, la propagación de incendios y la cobertura vegetal, entre otros, y en donde las respuestas emanadas de la multiplicidad de agencias estatales con competencia sobre los recursos hídricos resultan ineficientes por su escasa coordinación con medidas inadecuadas desde un punto de vista social y económico.

Termina señalando que las proyecciones climáticas indican de manera consistente que en un horizonte de algunas décadas la condición media será similar a la que se ha experimentado en los últimos cinco años, acentuando y extendiendo hacia el sur el desbalance entre la oferta y demanda de agua dulce.

De ello se tiene que la disociación histórica entre la gestión del agua superficial y subterránea en el país, o la gestión fragmentada del agua subterránea en sistemas que conforman una sola cuenca (ejemplo: Salar de Atacama), ha generado conflictos y efectos importantes. Ejemplo de ello han sido los efectos no previstos en ecosistemas únicos como vegas y bofedales protegidos en la parte sur del salar mencionado, además de los impactos en los sistemas de agua dulce producto de la explotación de salmuera por parte de las empresas, y que no han sido adecuadamente considerados en las evaluaciones ambientales principalmente por la falta de conocimiento y herramientas matemáticas que permitan determinar los reales efectos y en consecuencia, determinar medidas de control pertinentes.

Si bien se ha avanzado en integrar estos aspectos, el concepto de manejo conjunto de aguas superficiales y subterráneas en las propuestas de acciones en los instrumentos de planificación no ha sido relevante hasta estos últimos años, especialmente en el caso de las cuencas del norte de Chile³.

Todo lo anterior compone o forma parte de la crisis hídrica de Chile en lo relacionado con ineficiencias en la gestión del agua en todos los niveles de la institucionalidad hídrica, que generan escasez.

Ello se evidencia en la existencia de procesos innecesariamente lentos y burocráticos por parte de un Estado que no ha sido oportuno tanto para enfrentar y resolver la crisis

³Resolución Exenta DGA N° 557, del 31 de marzo de 2021, APRUEBA BASES ADMINISTRATIVAS Y TÉCNICAS; Y DESIGNA COMISIÓN DE EVALUACIÓN PARA LA PRESTACION DE SERVICIOS PERSONALES DENOMINADA "PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA QUEBRADA CARACOLE", considerando 3.

hídrica, conflictos entre privados y comunidades para distribuir el agua disponible, además de los perjuicios medioambientales a los ecosistemas y a las personas. Estas condiciones han generado problemas en el abastecimiento y en la conservación de ecosistemas asociados a los cuerpos de agua por fallas en la gobernanza que impiden la planificación del uso y conservación del agua en los territorios. Por lo tanto, cada vez se hace más urgente la elaboración de estudios que apoyen la correcta formulación de políticas, planes, programas y normativas, en el más breve plazo, que permitan toma de decisiones adecuadas respecto al agua, que orienten la planificación del ejercicio de las facultades y funciones de la institucionalidad del agua, es clave para la seguridad hídrica en Chile.

En dicho sentido, los lineamientos de la Dirección General de Aguas consideran el perfeccionamiento de las materias concernientes a la tenencia, uso, aprovechamiento y administración del agua y otros recursos naturales estratégicos, siendo hoy indispensable buscar nuevas fórmulas que mejoren la gestión del agua en el territorio, con un enfoque basado en la sustentabilidad de los recursos, respondiendo de manera oportuna a los riesgos e impactos asociados al cambio climático. A ello debe agregarse la componente de conservación y protección de los ecosistemas asociados a los recursos hídricos y a la no afectación de los territorios ni sus recursos naturales.

Para esto, la cuenca hidrográfica es la unidad territorial que se considera más apropiada para la gestión de las aguas por ser la unidad geográfica en donde se desarrolla el ciclo del agua y que contiene las principales formas terrestres que captan y concentran la disponibilidad de agua que proviene de las precipitaciones y aportes cordilleranos por deshielos de la reserva nival, además de desarrollarse en ella, por sus características físicas, la interrelación e interdependencia entre los usos, necesidades ecosistémicas, grupos interesados y usuarios. De esta forma, la cuenca constituye la unidad de planificación y gobernanza más adecuada del agua para sustentar la seguridad hídrica de Chile.

Por lo anterior, la DGA promueve la elaboración de "Planes Estratégicos de Gestión Hídrica" (PEGH) por cuencas del país, lo que, a diferencia de otros instrumentos de planificación de la gestión del agua abordados anteriormente, apuntan a subsanar los problemas no resueltos por dichos instrumentos, a lo cual se le agregan modelos hidrológicos operacionales superficiales-subterráneos como apoyo a la determinación de las disponibilidades de agua en las cuencas y en los acuíferos relacionados, considerando, cuando ello es posible, la interacción entre aguas superficiales y subterráneas. Estos

modelos permiten actualizaciones en el tiempo incorporando la nueva información que se vaya generando, aportando escenarios que entregan opciones cuantitativas a los tomadores de decisión.

Como consecuencia de lo anterior se tiene la reciente aprobación de la modificación del Código de Aguas por parte del congreso nacional, en donde de manera explícita se incorpora este concepto

1.1.1 Modificación del Código de Aguas: Introducción de los Planes Estratégicos de Recursos Hídricos en Cuencas

La modificación ya señala establece de manera expresa las siguientes disposiciones legales:

Artículo 293 bis. - Cada cuenca del país deberá contar con un Plan Estratégico de Recursos Hídricos tendiente a propiciar la seguridad hídrica en el contexto de las restricciones asociadas al cambio climático, el cual será público. Dicho plan será actualizado cada diez años o menos, y deberá considerar a lo menos los siguientes aspectos:

1. La modelación hidrológica e hidrogeológica de la cuenca.
2. Un balance hídrico que considere los derechos constituidos y usos susceptibles de regularización; la disponibilidad de recursos hídricos para la constitución de nuevos derechos, y el caudal susceptible de ser destinado a fines no extractivos.
3. Un plan de recuperación de los acuíferos cuya sustentabilidad, en cuanto a cantidad y calidad fisicoquímica, se encuentre afectada.
4. Un plan para hacer frente a las necesidades futuras de recursos hídricos con preferencia en el consumo humano. Una evaluación por cuenca de la disponibilidad de implementar e innovar en nuevas fuentes para el aprovechamiento y la reutilización de aguas, con énfasis en soluciones basadas en la naturaleza, tales como, la desalinización de agua de mar, la reutilización de aguas grises y servidas, la recarga artificial de acuíferos, la cosecha de aguas lluvias y otras. Dicha evaluación incluirá un análisis de costos de las distintas alternativas, la identificación de los potenciales impactos ambientales y sociales para una posterior evaluación, y las proyecciones de demanda para consumo humano a diez años.

5. Un programa quinquenal para la ampliación, instalación, modernización y/o reparación de las redes de estaciones fluviométricas, meteorológicas, sedimentométricas, y la mantención e implementación de la red de monitoreo de calidad de las aguas, de niveles de pozos, embalses, lagos, glaciares y rutas de nieve.

6. Adicionalmente, en el evento de que se hayan establecido en la cuenca los planes de manejo a los que hace referencia el artículo 42 de la ley N° 19.300, deberán incorporarse al respectivo Plan Estratégico de Recursos Hídricos.

El referido Plan deberá ser consistente con las políticas para el manejo, uso y aprovechamiento sustentables de los recursos naturales renovables a los que hace referencia la letra a) del artículo 71 de la ley N° 19.300.

Un reglamento dictado por el Ministerio de Obras Públicas establecerá el procedimiento y los requisitos específicos para confeccionar los Planes Estratégicos de Recursos Hídricos en cuencas.

Adicionalmente se considera la creación de Fondo para la Investigación, Innovación y Educación en Recursos Hídricos

Artículo 293 ter. - Créase un Fondo para la Investigación, Innovación y Educación en Recursos Hídricos, dependiente del Ministerio de Obras Públicas, que se ejecutará a través de la Dirección General de Aguas. El fondo estará destinado a financiar las investigaciones necesarias para la adopción de medidas para la gestión de recursos hídricos y, en particular, para la elaboración, implementación y seguimiento de los planes estratégicos de recursos hídricos en cuencas, establecidos en el artículo 293 bis y se distribuirá entre las regiones del país, para la elaboración de dichos planes.

Este fondo estará constituido por los aportes que se consulten cada año en la Ley de Presupuestos del Sector Público.

Anualmente se desarrollará un concurso público por medio del cual se efectuará la selección de las investigaciones y estudios que se postulen para ser financiados con cargo al fondo. El reglamento establecerá la composición del jurado, las bases generales, el procedimiento y la forma de postulación al concurso en base a criterios de distribución preferentemente regional. En todo caso, las postulaciones deberán expresar a lo menos los fines, componentes, acciones, presupuestos de gastos, estados de avance y los indicadores de verificación de éstos.

Para efectos de la selección, la Dirección General de Aguas llevará a cabo una evaluación técnica y económica de los proyectos que postulen. Esta evaluación, cuyos resultados serán públicos, se efectuará sobre la base de los criterios de elegibilidad que anualmente aprueba la Dirección General de Aguas, que deberá considerar, al menos, los efectos de la investigación o estudios a nivel nacional, regional o comunal, la población que beneficia o impacta, la situación social o económica del respectivo territorio y el grado de accesibilidad para la comunidad.”.

Finalmente, esta modificación considera en las Disposiciones transitorias lo siguiente en cuanto a estos planes:

Artículo décimo octavo. - Los Planes Estratégicos de Recursos Hídricos en Cuencas, que se dicten en el tiempo intermedio que transcurra entre la entrada en vigencia de la presente ley y la entrada en vigor de la Ley Marco de Cambio Climático, deberán ajustarse a las disposiciones de la ley posterior y, supletoriamente, a lo indicado en el Código de Aguas.”.

1.1.2 Contexto actual nacional y mundial: Nuevos conceptos en la modificación del Código de Aguas

A nivel nacional, los sucesos acontecidos en octubre de 2019 evidenciaron las fallas de un sistema de gestión de los bienes comunes y los recursos naturales, entre ellos los recursos hídricos, que debe subsanarse. En efecto, a más de 40 años de la instauración de un sistema económico que otorgó el carácter de propiedad privada a las aguas, generaron efectos que aun cuando se han tratado de enmendar han provocado profunda desigualdad en el acceso a un recurso vital y un derecho humano, lo que, en conjunto con otros aspectos como salud, educación, pensiones, generaron los acontecimientos sociales que forzaron en el país a un cambio de la constitución política.⁴ Adicionalmente, en los últimos años la humanidad ha desarrollado a una velocidad asombrosa, una gran capacidad, cada vez más acelerada de la mano de la tecnología, de captar información, procesarla, aprender de ella y tomar decisiones, en donde las claves son la mente creativa de los seres humanos, los sistemas de redes de comunicación y geolocalización, y el efecto red de los usuarios de plataformas. Este proceso también ha incidido fuertemente en la gestión del agua ya que

⁴ <https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-50124583>, punto 4. Privatización del agua

las personas son participes más proactivas, demandantes y críticas, pero también colaboradoras en este tema.

Estos avances tecnológicos, ambientales, sociales y biológicos representan un enorme desafío para cambiar paradigmas a fin de poder enfrentar las condiciones de vida que se presentan en esta nueva era. Como se dijo, ello no es ajeno a algo tan concreto como la gestión sostenible del agua, fuente de vida, desarrollo y conservación de las personas y de los ecosistemas.

Este nuevo contexto obliga a una reformulación del modo de hacer las cosas, que internalice los efectos sociales, ambientales y globales, orientado en la definición de un renovado mecanismo de asignación de recursos, dotando al sistema público de un rol regulatorio que evite excesos, que sea adecuado y oportuno, y que permita definir e implementar políticas públicas de solidaridad social para con los grupos rezagados del desarrollo.

En consecuencia, el análisis y las propuestas que se hagan respecto de la gestión del agua, deben cautelar tanto los intereses individuales como los colectivos que se pueden ver afectados por las decisiones adoptadas en el desarrollo de las actividades de los primeros en la búsqueda de obtener mayores beneficios económicos, por lo que la propuesta de desarrollar ciertas actividades respecto del uso o extracción del agua por parte de algunos actores económicos no puede implicar ni afectar algún tipo de derecho, como el derecho humano al agua.

En el último tiempo se ha dado una suerte de colisión entre dos perspectivas que necesariamente tendrán que coexistir de manera armónica por su importancia: el fortalecimiento del discurso de los derechos humanos, evidenciado entre otras cosas por lo ya señalado como el derecho humano al agua, el derecho de la naturaleza, y los derechos derivados del escenario de cambio climático⁵, y la gran relevancia que han cobrado actores sociales como las empresas nacionales y transnacionales que, en ocasiones, son económica y políticamente más poderosas que los países en los cuales operan.

⁵ Urgenda https://elpais.com/sociedad/2019/12/22/actualidad/1577036985_046717.html

<https://www.theguardian.com/law/2020/jul/22/world-first-legal-case-student-accuses-australia-of-misleading-investors-on-climate-risk>

<https://www.theguardian.com/world/2021/apr/29/historic-german-ruling-says-climate-goals-not-tough-enough>

Es particularmente paradigmático el que, al momento del desarrollo de este estudio, en el país se realice en paralelo un proceso constituyente que busca definir un marco de convivencia común en una nueva era, lo que brinda la oportunidad de debatir, de tener un análisis crítico y una reflexión colectiva, en donde se aportarán nuevas ideas y necesariamente se desarrollarán las capacidades de adaptación necesarias. Este Plan Estratégico no puede estar ajeno a ello y debe incluir los lineamientos que se vayan determinando a fin de que sea un instrumento oportuno y adaptado a los nuevos contextos normativos que nos regirán.

Por todo lo señalado, en el caso de este Plan Estratégico y la propuesta de actividades dentro del plan de acción, no pueden limitarse a enfoques clásicos o tradicionales y son necesarias nuevas e innovadoras propuestas que permitan reformular una nueva hoja de ruta abandonando los enfoques clásicos y antiguos paradigmas. La forma de hacer las cosas hasta ahora ha sido la receta para un desastre con las consecuencias que el mundo enfrenta, incluido el ámbito de los planes estratégicos y de las cuencas de nuestra consultoría.

A lo dijo en el párrafo anterior, se le suma la reciente modificación del Código de Aguas que considera normas en cuanto el agua como derecho humano y los derechos de la naturaleza.

Respecto del agua como derecho humano, la nueva normativa contempla disposiciones como:

- El acceso al agua potable y el saneamiento es un derecho humano esencial e irrenunciable que debe ser garantizado por el Estado (art 5°)
- Establece que los Servicios Sanitarios Rurales (Ex APR) podrán extraer y usar hasta 12 l/s mientras tramitan la solicitud definitiva (art 5° bis inciso final)
- Acceso a aguas superficiales para satisfacer el derecho humano al agua ...” Con la sola finalidad de satisfacer la bebida y usos domésticos, cualquier persona podrá extraer aguas provenientes de las vertientes, de las nacientes cordilleranas o de cualquier forma de recarga natural que aflore superficialmente (Art 20, inciso final).
- Los Comités de Agua Potable Rural podrán hacer uso de aguas subterráneas destinadas al consumo humano, la que podrán extraer de pozos cavados en el suelo propio de la organización, de alguno de los integrantes de ella, o de terrenos del Estado (art 56)

Sobre usos prioritarios del agua:

- Define funciones de subsistencia, protección de los ecosistemas y usos productivos y establece prioridades ...” siempre prevalecerá el agua para consumo humano de subsistencia y el saneamiento, tanto en el otorgamiento como en la limitación al ejercicio de los derechos de aprovechamiento (Art 5° bis)
- “La autoridad deberá siempre velar por la armonía y el equilibrio entre la función de preservación ecosistémica y la función productiva que cumplen las aguas (Art 5 bis)
- El Estado podrá constituir reservas de aguas disponibles, superficiales o subterráneas, para asegurar el ejercicio de las distintas funciones de subsistencia y de preservación ecosistémica en conformidad a lo dispuesto en el artículo 147 bis (Art 5° ter)
- El/la presidente/a por decreto puede constituir derechos de aprovechamiento en donde no exista disponibilidad para la función de subsistencia (Art 147 quater)

En cuanto a Sustentabilidad:

- Reconoce que las aguas cumplen una función de preservación ecosistémica. No se podrá constituir derechos de aprovechamiento en glaciares (Art 5 bis)
- Exige medición y reporte de los caudales extraídos de aguas subterráneas (Art 38) y de los caudales extraídos de aguas superficiales y de su restitución (Art 68)
- Los concesionarios mineros deberán informar a la autoridad (90 días) sobre las aguas halladas, indicando ubicación, caudal y cantidad a extraer, justificando en qué se usará y asegurando que no afectará la sustentabilidad del acuífero o los derechos de terceros (Art 56)
- No se podrán efectuar exploraciones en terrenos públicos o privados de zonas que alimenten áreas de vegas, pajonales y bofedales en las Regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta, Atacama y Coquimbo, sino con autorización fundada de la DGA, la que previamente deberá identificar dichas zonas (Art 58 inciso final)
- Se limita el ejercicio de los derechos de aprovechamiento si la explotación de aguas subterráneas produce una degradación del acuífero o parte de este, al punto que afecte su sustentabilidad (Art 62)
- Las zonas que correspondan a acuíferos que alimenten de vegas, pajonales y bofedales en las Regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta, Atacama y Coquimbo se entenderán prohibidas para mayores extracciones que las autorizadas, así como para nuevas explotaciones (Art 63)

- Fija un caudal ecológico para todos los nuevos derechos y para aquellos derechos ya otorgados en áreas protegidas, adicionalmente a la obligación vigente de caudales ecológicos en la solicitud de traslado y en el caso de obras mayores (Art 129 bis 1)

Sobre Áreas protegidas se considera:

- No se podrán otorgar derechos de agua en las áreas declaradas bajo protección oficial para la protección de la biodiversidad, los humedales de importancia internacional y aquellas zonas contempladas en los artículos 58 y 63 del Código, a menos que se trate de actividades con los fines de conservación del área.
- Los derechos de aprovechamiento ya existentes en las áreas indicadas solo podrán ejercerse en la medida que ello sea compatible con la actividad y fines de conservación de éstas (Art 129 bis 2)
- Quedan exentos del pago de patentes los derechos en áreas protegidas que no se utilizan debido a la finalidad de conservación del área (Art 129 bis 9). Se establece un nuevo tipo de concesiones de agua de uso no extractivo para turismo y conservación (Art 129 bis 1°)

Se define el carácter de los futuros derechos

- Los nuevos derechos de aprovechamiento después de la promulgación de la reforma se otorgarán como concesiones de aprovechamiento temporales y renovables
- El período de duración del derecho será de 30 años, de conformidad a los criterios de disponibilidad y sustentabilidad de la fuente de abastecimiento y/o del acuífero. La autoridad fundadamente podrá entregar la concesión por un período menor (Art 6°)
- La duración del derecho de aprovechamiento se prorrogará a menos que la DGA acredite el no uso efectivo del recurso. Esta prórroga se hará efectiva en la parte utilizada de las aguas y con criterios de sustentabilidad de la fuente de abastecimiento.

Incorpora extinción y caducidad de los derechos de agua:

- Los derechos de agua anteriores a la reforma seguirán siendo indefinidos, pero quedarán sujetos a causales de extinción por no uso (Art 129 bis 4 y bis 5), de caducidad por no inscripción en el CBR (Art 2° Transitorio)
- Los derechos de aprovechamiento se extinguirán si el titular no hace uso efectivo del recurso. En el caso de los derechos consuntivos, dicho plazo será de 5 años y en el

caso de los derechos no consuntivos, será de 10 años, desde que se incluyen por primera vez en el listado de derechos de agua afectos al pago de patente (Art 6° bis)

- Los derechos de agua caducarán si no se acredita su inscripción en el CBR
- Están exentos de caducidad los servicios Sanitarios Rurales, las comunidades agrícolas, titulares de áreas protegidas, indígenas y comunidades indígenas del Art 9 de la Ley 19253 (Art 2° transitorio)

Consideración especial de comunidades indígenas, campesinos/as y agua potable rural:

- Estarán exentos de aplicación de caudal ecológico los derechos de agua cuyos titulares sean pequeños productores agrícolas de la Ley 18910, art 13 (Art 129 bis 1)
- Se exime del pago de patente a los servicios sanitarios Rurales, comunidades indígenas y campesinos beneficiarios de INDAP (Art 129 bis 9)
- Están exentos de la causal de caducidad por no inscripción en el CBR los derechos de agua de los Servicios Sanitarios Rurales, las comunidades agrícolas, los propietarios de áreas protegidas, indígenas y comunidades indígenas (Art 2° Transitorio)

Establece obligaciones de Información como:

- Existirá la obligación de inscribir e informar so pena de caducidad (Art 136 y 137)
- Establece la obligación de informar sobre captaciones y restituciones (Art 38 y 307 bis)
- Perfecciona el Catastro Publico de Aguas e Inventario Público y Monitoreo de Glaciares

1.1.3 Algunas consideraciones sobre la gestión integrada de recursos hídricos (GIRH) a nivel de cuencas

En este acápite se desarrolla brevemente un análisis de contexto acerca de la GIRH, sin perjuicio de que en el Anexo J-1 se ha incluido un análisis más detallado de dicho proceso.

Es importante tener en cuenta que para el desarrollo armónico y sostenible de los recursos hídricos en una cuenca, como base de otros sistemas relevantes dentro de ella, deben hacerse ajuste que van desde el ámbito constitucional, legal, normativo y procedimental, partiendo por la consideración de que, y como se ha establecido a nivel mundial, el agua es un bien público y común a todos los seres humanos y como tal debe regularse conforme a las reglas del derecho público (administrativo) y no a las reglas del

derecho privado (Código Civil), como acontece desde 1981 lo que ha generado asimetrías y desviaciones en la gestión del agua que no permiten su adecuada y racional planificación.

En particular en este caso, se tiene que es una cuenca en donde no hay mucho desarrollo en general y respecto de los recursos hídricos en particular salvo una intensiva actividad minera que considera el tema de los relaves como una preocupación en cuanto a la calidad de las aguas subterráneas. No existen otras actividades productivas a gran escala en el sector en estudio.

A 25 años de la instauración del proceso de la GIRH en el mundo, se tiene que éste ha sido un proceso lento que no ha podido superar el desafío del desarrollo sustentable del agua en los territorios y que no hace frente de manera efectiva al Cambio Climático, originado en parte por el inadecuado desarrollo de los recursos naturales en el mundo, entre ellos el agua. Uno de los aspectos relevantes que no ha podido implementarse ni fortalecerse de manera robusta es la gobernanza del agua entendida como un sistema que proporciona un marco conceptual, que permite analizar y potenciar la GIRH.

Hace más de 10 años que el Banco Mundial viene analizando de manera crítica la formulación del tema de la GIRH en el mundo, y plantea que es necesario planificar de una manera diferente, en donde se debe reenfocar la GIRH incorporando las incertidumbres climáticas entre otras, ya que los escenarios de cambio climático no están diseñados para la gestión del agua sino que para la reducción y mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) por lo que no son muy certeros en temas de eventos hidrometeorológicos extremos ya que hay que escalar a los aspectos hídricos que incluyen la precipitación y temperatura. Igualmente, señala que los aspectos sociales también involucran incertidumbres que hay que enfrentar ya que generan presiones en la gestión y la planificación del recurso hídrico que se deben resolver en la planificación y fin de que ésta se pueda implementar con algún grado de éxito.

Señala este organismo que la planificación tradicional que se ha hecho en la GIRH ha sido sobre la base de distintos escenarios en donde se ha supuesto que hay consenso entre los distintos sectores de interés por el agua en los territorios, minimizando principalmente los costos financieros lo que ha llevado a soluciones frágiles ya que no permiten incorporar la flexibilización de esas acciones, tampoco esta planificación ha sido efectiva en la distribución igualitaria entre los sectores ni tampoco ha incorporado adecuadamente la parte social y ambiental y no considera acciones frente a situaciones contingentes: por ejemplo, pandemia, sequía, cambio climático.

Postula en consecuencia que hay que intentar planificar con flexibilidad, resiliencia y robustez adoptando la toma de decisiones bajo incertidumbre como metodología para diseñar inversiones en el tema de la gestión del agua. Para ello hay que entender el sistema y su funcionamiento, que no se ha integrado adecuadamente, para luego analizar su vulnerabilidad y que opciones hay para reducir esa incerteza

Señala ese organismo que un aspecto clave en esto son las decisiones participativas y la planificación colaborativa, la cocreación de todo el proceso, es decir, que todos los colectivos que entienden cómo funciona el sistema colaboran desde su perspectiva y de esa forma poder decidir qué se quiere lograr de ese sistema y que se quiere obtener de ese sistema, que se quiere para una determinada cuenca.

Adicionalmente, se debe considerar el enfoque actual de la DGA sobre la GIRH, que dice relación con que se requiere de un nuevo enfoque de gestión estratégico por cuenca, que proporcione conocimiento y diagnóstico para formular planes de corto, mediano, y largo plazo, que generen productos reales de acuerdo a las necesidades propias de cada cuenca, con el fin de formular hojas de ruta trazables, desde la perspectiva DGA para hacer frente a los desafíos que enfrenta Chile respecto de la gestión del agua.

Por ello, la elaboración de “Planes Estratégicos de Gestión Hídrica” (PEGH) por cuencas del país, a diferencia de los instrumentos de planificación abordados anteriormente, apuntan a subsanar los problemas identificados en anteriores estudios, que incluyen esta vez la incorporación de modelos hidrológicos operacionales superficiales-subterráneos lo que busca poner en valor la interacción entre aguas superficiales y subterráneas, permitiendo además mantener actualizaciones en el tiempo, aportando escenarios que entregan valor a los tomadores de decisión, y que permitan establecer una visión temporal de la misma.

Como conclusión respecto de la GIRH, en relación con nuestras cuencas y la realidad mundial y nacional, se deben tener en cuenta aspectos que se están evidenciando de manera indubitable como el cambio climático y en lo más local a nivel país los sucesos acontecidos en octubre de 2019 que evidencian el fracaso de un sistema de gestión de los bienes comunes y los recursos naturales que debe mejorarse.

Como ya se dijo, a lo anterior se le sumó en los últimos años la pandemia por el coronavirus que demostró que también respecto de la gestión del agua se deben tener consideraciones diferentes a las que se han tenido hasta ahora.

La recientemente aprobada modificación del Código de Aguas en donde se incorporan los Planes Estratégicos de Recursos Hídricos en Cuencas añade el desafío adicional de que deberán implementarse de acuerdo con dicha normativa por lo que dejan de ser un instrumento indicativo y pasar a ser de aplicación obligada

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

El objetivo principal de este estudio es formular un plan estratégico de gestión hídrica a nivel de cuenca que defina un portafolio de acciones hídricas que fomenten la eficiencia y sostenibilidad de uso del agua en la cuenca Quebrada Caracoles (027)⁶, que oriente la toma de decisiones de agua, mediante la generación de este portafolio para la seguridad hídrica, enfocadas en el mejoramiento de la información, instituciones, e infraestructura de agua, adaptación al cambio climático, y gobernanza.

En estas⁷ cuencas no hay localidades ni zonas de cultivo. Existen derechos constituidos y regularizados que se analizan más adelante.

1.2.2 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos se identifican los siguientes:

- Objetivo Específico 1: Describir el estado hídrico actual el área de estudio.
- Objetivo Específico 2: Caracterizar la hidrogeología del área de estudio con pruebas hidráulicas, y muestras en terreno.
- Objetivo Específico 3: Construir un modelo hidrogeológico conceptual que sirva como base para el desarrollo futuro de un modelo numérico de aguas subterráneas en la zona.
- Objetivo Específico 4: Construir un modelo de simulación hidrológico en WEAP, para simular la hidrología histórica, adaptación al cambio climático, y escenarios de gestión.

⁶ Cuencas BNA: primera delimitación oficial de la DGA, utilizada por muchos años construidas sobre cartografía antigua.

⁷ <https://snia.mop.gob.cl/sad/ADM5702.pdf>. PLAN ESTRATÉGICO PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS, REGIÓN DE ANTOFAGASTA. INFORME FINAL, DGA S.I.T. N° 379, Julio de 2016

- Objetivo Específico 5: Diagnosticar el estado hídrico del área de estudio para obtener los contenidos del plan estratégico de gestión hídrica.
- Objetivo Específico 6: Realizar un proceso de participación ciudadana que informe y consulte a la institucionalidad del agua relevante del área de estudio, para retroalimentar la formulación del plan estratégico de gestión hídrica.
- Objetivo Específico 7: Formular un plan estratégico de gestión hídrica que contemple un portafolio de acciones que promuevan la seguridad hídrica y sostenibilidad de uso del agua en el área de estudio.
- Objetivo Específico 8: Compilar avance y productos finales en un sistema de información geográfico, informes, y actividades de difusión.

Capítulo 2. Caracterización de la cuenca

La caracterización de la cuenca está enfocada en la compilación y generación de información para el modelo desarrollado en el contexto de este estudio. Así, los alcances geográficos de las descripciones y cartografías incluyen la cuenca DARH Antofagasta. Lo anterior sin perjuicio de que se considere mayor detalle en algunas descripciones que están orientadas en la cuenca piloto de la Quebrada del Arriero.

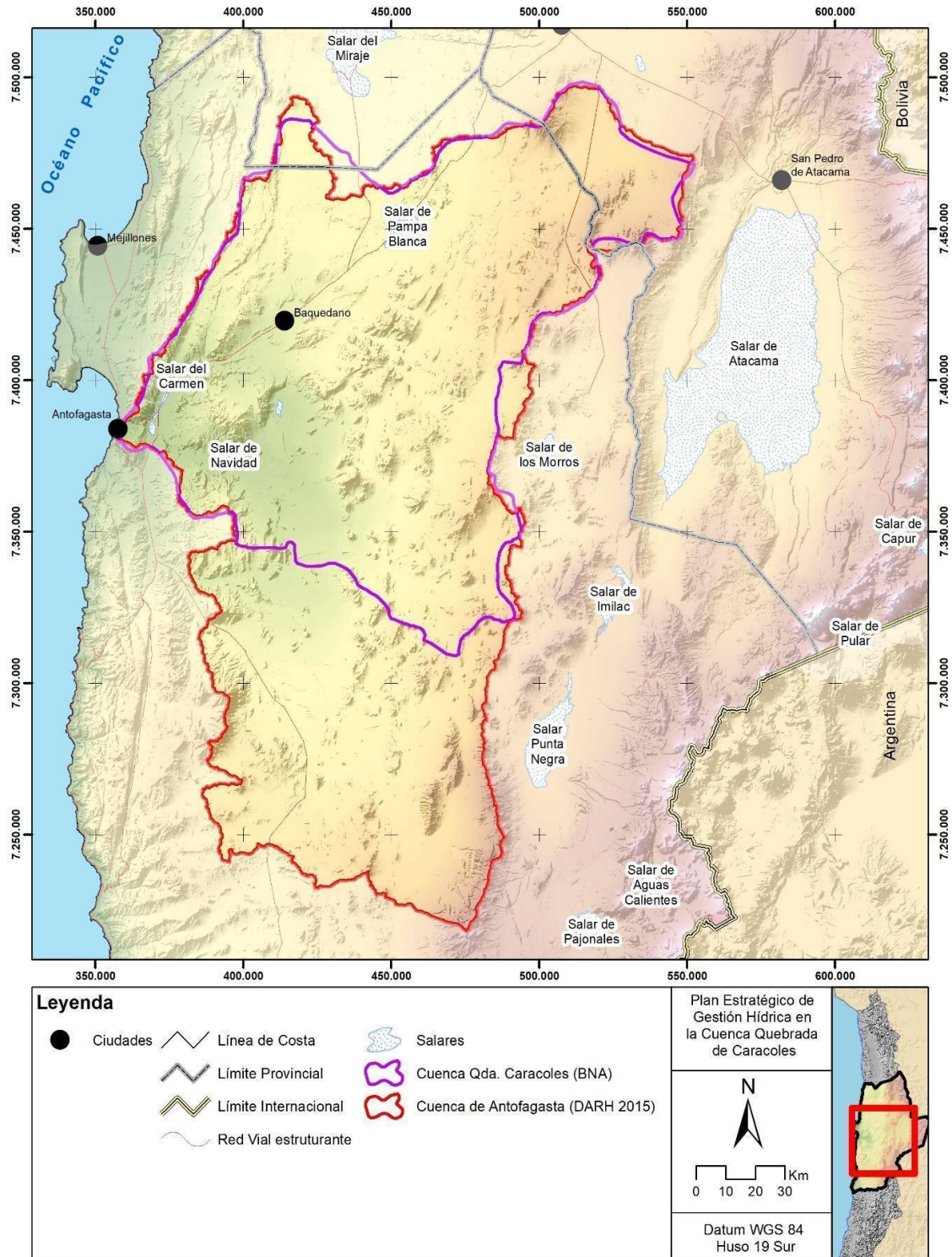
2.1 Ubicación geográfica

La cuenca Quebrada Caracoles es una hoya hidrográfica de gran superficie y corresponde a la pampa que se sitúa al oriente de la ciudad de Antofagasta. En las cercanías de la costa se estrecha abruptamente y toma una fuerte pendiente, por donde está trazado el camino de acceso o salida norte de Antofagasta que la une con Iquique y Calama a través de la Carretera Panamericana Norte.

La cuenca indicada como 027 (Código del Banco Nacional de aguas) tiene una superficie aproximada de 18.300 km², no obstante, y como se detalla más adelante, se trabajará con la cuenca completa comprendida en sus divisorias de aguas a fin de que queden correctamente definidas y de este modo poder plantear correctamente el plan y no sobre una cuenca dividida artificialmente sin ningún sentido hidrológico.

En consecuencia, y con respecto a la delimitación de la cuenca utilizada para el desarrollo del Plan es importante tener en cuenta lo siguiente:

- Las cuencas del Banco Nacional de Agua (BNA) corresponden a la primera delimitación oficial que hizo la DGA, utilizada por muchos años como la base de estudios y usada actualmente para los Planes de Cuenca. Sin embargo, al ser esta delimitación muy antigua y construida sólo en base a cartografía no detallada, contiene numerosos errores e imprecisiones.
- En este contexto, es que la propia DGA ha desarrollado análisis posteriores para actualizar adecuadamente la delimitación de cuencas en la red nacional.
- El 2015, El Centro de información de Recursos Naturales (CIREN), mandatado por el Departamento de Administración de Recursos hídrico (DARH) de la DGA, elaboró una delimitación de cuencas a nivel nacional con el objetivo de tener una delimitación corregida de las cuencas en el territorio.
- Esta nueva delimitación de cuencas tiene ventajas en cuanto a sinuosidades ya que la forma que permite definir es más coherente con el relieve y están construidas sobre modelos de elevación digital (DEM).
- Esta delimitación de cuencas DARH ha sido utilizada anteriormente como parte de la modelación de Planes Estratégicos de Gestión Hídrica ya que, como se dijo, entrega una mejor delimitación de la hoya hidrográfica estudiada.
- En particular para la cuenca Quebrada Caracoles, se observa una gran diferencia entre lo delimitado por las cuencas BNA y cuencas DARH, siendo esta última la mejor representación de la hoya hidrográfica en la superficie.
- En definitiva y para los efectos de este estudio, y con el propósito de poder formular un adecuado PEGH, se considera como cuenca 0207 la definida en el estudio DGA "Redefinición de la clasificación red hidrográfica a nivel Nacional" que corrigió correctamente la definición de la cuenca 027, cuadrándola a su preciso entorno geográfico. A lo largo del informe se considerará esta delimitación para toda la descripción, recopilación de información y modelación como se observa en la Figura 2-1.



Fuente: Elaboración propia (DGA 2020 y DARH 2015).

Figura 2-1 Cuencas y Área de estudio

2.2 Dimensión física y económica

2.2.1 Cuerpos de agua

En el acápite 4.1.1 se presenta la red de drenaje de la cuenca (ver Figura 4-1) mientras que en el acápite 4.2.1 se presenta la división administrativa de las aguas subterráneas (ver Figura 4-2)

2.2.2 Geomorfología

La cuenca de estudio se encuentra emplazada en la macrozona del país denominada Norte Grande y en particular en la Región de Antofagasta, entre el borde costero de la ciudad homónima y la Cordillera de Domeyko. En esta zona se reconocen una serie de unidades geomorfológicas, las cuales se disponen como franjas de dirección NS () y se describen de oeste a este a continuación.

2.2.2.1 Planicies marinas o fluvio-marinas

Esta unidad geomorfológica corresponde a una franja de planicies litorales formadas por procesos de abrasión y depositación, producto de la acción del mar y el acarreo de sedimentos por efecto de la escorrentía superficial y gravedad desde la vertiente occidental de la Cordillera de la Costa, en un escenario de lentos movimientos ascendentes y descendentes de la corteza terrestre durante el terciario y cuaternario. En la ciudad de Antofagasta, tramo final de la cuenca de estudio, esta unidad presenta un plano de abrasión de unos 500 m, desde la línea costa, para luego, encontrarse con una superficie inclinada de unos 1.500 m, con un gradiente de 5 a 30%, formada por los depósitos aluviales y coluviales que bajan desde el farellón costero, borde occidental de la unidad Cordillera de la Costa.

2.2.2.2 Cordillera de la Costa

Esta unidad, en el sector de estudio, corresponde a relieve positivo con elevaciones entre 500 y 1500 m.s.n.m., conformada, principalmente, por rocas volcánicas estratificadas (Formación La Negra de edad Jurásica) y afectada por fallas, principalmente, de dirección NS, asociadas a la megaestructura Falla de Atacama, que albergan algunos valles sedimentarios y salares, como, por ejemplo: Salar del Carmen. En la cuenca de estudio esta unidad presenta un ancho, aproximado, de 50 km y la atraviesan en el sur y norte, las quebradas Del Profeta y Mantos Blancos, respectivamente.

2.2.2.3 Desierto de Atacama

Unidad geomorfológica deprimida y peniplanizada, situada a una elevación entre 700 y 900 m.s.n.m., conformada por una serie de pampas sedimentarias de extrema

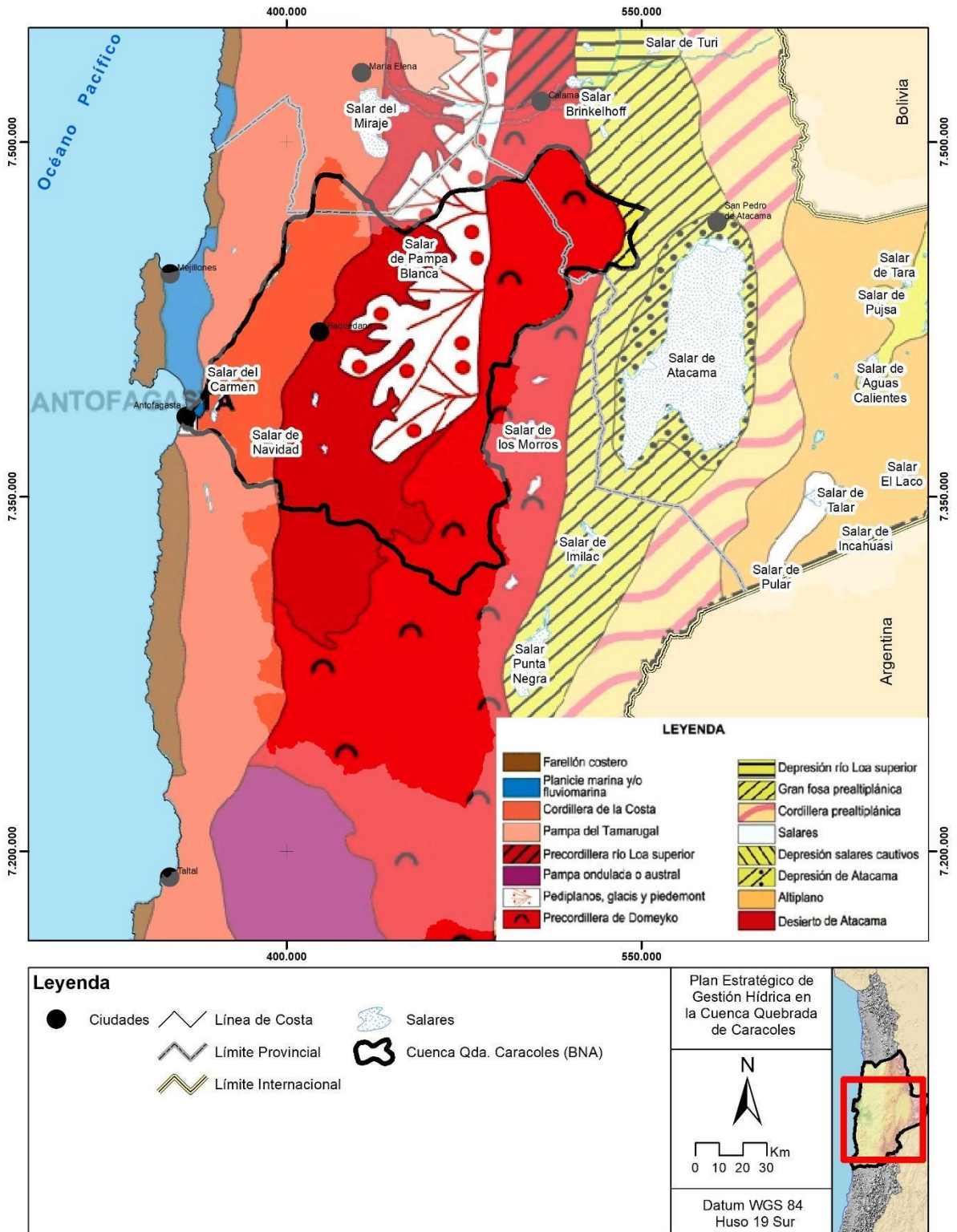
aridez, rellenas por material, principalmente aluvial, situada entre la Cordillera de la Costa y la Precordillera de Domeyko, desarrollándose en los puntos de mayor depresión o tramos finales de cursos aluviales depósitos sedimentarios finos y salinos (salares De Navidad, Mar Muerto y De pampa Blanca).

2.2.2.4 Piedemonte

Esta unidad geomorfológica se reconoce en el área de estudio como un plano inclinado hacia el oeste, con gradientes entre 2 y 6%, conformado por conos aluviales confluentes y depósitos de piedemonte que bajan desde la Precordillera de Domeyko y se depositan en el borde oriental de la depresión intermedia (Desierto de Atacama).

2.2.2.5 Precordillera de Domeyko

Unidad morfoestructural de mayor elevación del área de estudio y que conforma el límite oriental de la cuenca Quebrada Caracoles; conformada, principalmente, por rocas volcánicas, sedimentarias antiguas y metamórficas con edades entre el cretácico y el precámbrico. Esta cadena de cerros presenta una orientación NS con alturas entre 3.000 y 4.500 m.s.n.m.



Fuente: Borgel, 1983.

Figura 2-2 Marco geomorfológico de la región de Antofagasta.

2.2.3 Geología

En las cuencas Quebrada Caracoles y Antofagasta, se reconocen a nivel regional (Sernageomin, 2003) unidades sedimentarias no consolidadas y semiconsolidadas, de origen marino y continental, relleno valles, laderas de cerros y terrazas, y dispuestas, principalmente, sobre rocas estratificadas sedimentarias y volcánicas de edades entre el neógeno y paleozoico, intruidas por cuerpos granitoides emplazados durante el mismo rango de edades.

Los principales depósitos sedimentarios no consolidados corresponden a escombros de falda, llanuras aluviales o rellenos de actuales quebradas y flujos esporádicos recientes, localizados relleno los principales valles de las cuencas. Además, se reconocen en los sectores deprimidos de estas cuencas, depósitos evaporíticos conformados por diversos tipos de sales y sedimentos finos, situados en zonas terminales de flujos detríticos o avenidas, dando origen a pequeños salares.

También se reconocen, con gran desarrollo areal, depósitos semiconsolidados del Neógeno, conformados por depósitos aluviales, coluviales y marinos, con grados de variables de consolidación, que se reconocen principalmente en el borde costero y en las principales quebradas del sector, formado llanuras y pampas, sobre las cuales se depositan los sedimentos aluviales recientes. Forman parte de las quebradas del Arriero, Saco, Mantos Blancos, del Profeta y Chimborazo.

Las unidades de roca, reconocidas en estas cuencas, corresponde, principalmente, a secuencias sedimentarias (conglomerados, areniscas y lutitas) y volcánicas (tobas y lavas) estratificadas, dispuestas en franjas norte-sur, intruidas por cuerpos granitoides, destacando los pulsos magmáticos causantes de la mineralización en la zona.

La descripción y distribución en detalle de las unidades geológicas se puede revisar y observar en el Anexo J-5.

2.2.4 División político-administrativa

La cuenca Quebrada Caracoles se ubica en el centro de la región administrativa, cuya salida es por la ciudad de Antofagasta. Cuenta con una superficie de 27.882 km², abarcando parte de las provincias de Antofagasta, Tocopilla y El Loa, parte de las comunas de Antofagasta, Calama, María Elena, Sierra Gorda, Taltal y someramente las comunas de Mejillones y San Pedro de Atacama. En la Tabla 2-1 se muestran las superficies totales comunales, la superficie de la comuna presente en la cuenca y su porcentaje por comuna.

Tabla 2-1 Superficies comunales y su porcentaje de representatividad en la Cuenca Quebrada Caracoles.

Región	Provincia	Comuna	Área Comuna (km ²)	Área comuna en Cuenca (km ²)	% de Cuenca en Comunas
Antofagasta	Antofagasta	Antofagasta	30.684,19	12.899,18	42,0%
		Mejillones	3.575,98	4,10	0,1%
		Sierra Gorda	12.883,02	9.514,52	73,9%
		Taltal	20.413,91	3.656,29	17,9%
	El Loa	Calama	15.534,74	1.521,35	9,8%
		San Pedro de Atacama	23.602,19	3,68	0,0%
	Tocopilla	María Elena	12.330,12	283,24	2,3%

Fuente: Elaboración Propia en base a Mapoteca DGA.

La cuenca Quebrada Caracoles cuenta con mayor presencia en las comunas de Antofagasta, en donde representa el 42% de la superficie comunal, la comuna de Sierra Gorda, donde representa el 73,9% de la superficie comunal, la comuna de Taltal, donde representa el 17,9% de la superficie comunal y la comuna de Calama, donde representa el 9,8% de la superficie comunal. En las comunas de María Elena, Mejillones y San Pedro de Atacama el área comunal que pertenece a la cuenca es menor al 3%.

Por otra parte, la cuenca Quebrada Caracoles está compuesta por seis subcuencas todas exorreicas de origen pluvial. En la Tabla 2-2 siguiente se muestran las subcuencas que componen el área de estudio de acuerdo a la delimitación BNA. Sin embargo, como se menciona en la sección anterior, el presente trabajo considera adicionalmente la subcuenca sur de la delimitación DARH (2015).

Tabla 2-2 Subcuencas.

Código Cuenca	Nombre cuenca	Código Subcuenca	Nombre subcuenca
027	Quebrada Caracoles	0270	Quebrada Caracoles bajo junta Quebrada El Buitre
		0271	Q. Caracoles entre Quebrada El Buitre y Salar del Carmen
		0272	Quebrada San Cristóbal
		0273	Quebrada Honda
		0274	Quebrada Salar del Muerto
		0275	Quebrada Chimborazo
		0276	Q. Caracoles entre Salares Navidad y del Carmen (inclusive) y desembocadura

Fuente: Elaboración propia en base a Mapoteca DGA.

La cuenca abarca zonas urbanas, parte de la ciudad de Antofagasta y zonas rurales, como las localidades de Baquedano y Sierra Gorda, siendo estos, los centros poblados más importantes de la cuenca. Además, en la zona destacan los diversos campamentos mineros, los cuales albergan a los trabajadores de las distintas explotaciones mineras, en algunos casos llegando a alcanzar hasta 4.045 habitantes.

2.2.5 Demografía

La cuenca Quebrada Caracoles abarca administrativamente varias comunas y áreas tanto urbanas como rurales. Con los antecedentes recopilados se puede estimar la población presente en la cuenca en 165.488 habitantes, de estos 147.759 son urbanos y 17.729 rurales. Lo anterior fue realizado a partir de la utilización de la figura de distritos censales, metodología descrita en el Anexo J-8.

La actividad minera desarrollada en la región ha impulsado un crecimiento importante de la población a nivel regional, verificado en los 3 últimos censos, y ha provocado que en las zonas rurales la proporción entre hombres y mujeres se encuentre fuertemente inclinada hacia los primeros, asociado a que los campamentos mineros son clasificados como zonas rurales y en ellos predominan los hombres.

2.3 Clima

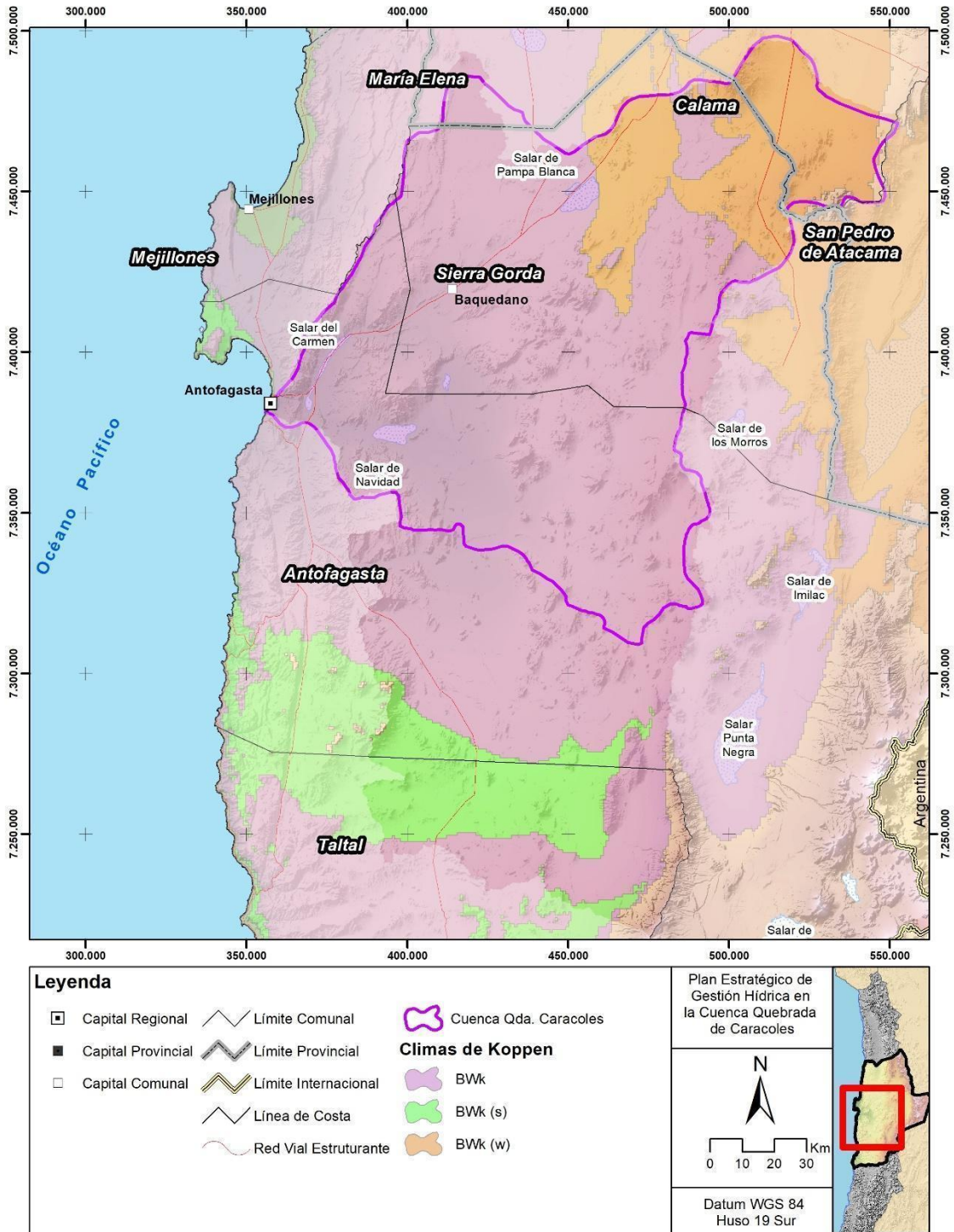
2.3.1 Caracterización climática

Este acápite describe, a partir de distintas fuentes, el clima presente en la zona de estudio.

En primer lugar, se tiene la división de zonas climáticas propuesta por Köppen-Geiger, y descrita para todo Chile por la Pontificia Universidad Católica de Chile en 2016. En la cuenca, se tiene la presencia de 3 clases de climas: desértico frío de lluvia estival (BWk(w)), desértico frío (BWk) y desértico frío de lluvia invernal (BWk(s)). Estos climas se presentan en la Figura 2-3.

Estos climas están caracterizados principalmente por una baja precipitación en temperaturas relativamente frías, donde la componente de la evaporación sobrepasa a la componente de la precipitación. Esta combinación produce una aridez extrema en la zona.

En Arcadis (2016) se describe el clima a nivel regional. El desierto se manifiesta plenamente hacia la zona intermedia, donde la influencia marina pierde importancia a 20 km hacia el interior desde la costa. En esta zona intermedia la aridez es extrema, hay ausencia de humedad, gran sequedad atmosférica y una amplitud térmica importante entre el día y la noche.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-3 Clasificación climática de Köppen para la cuenca en estudio.

2.3.2 Eventos extremos y variabilidad climática

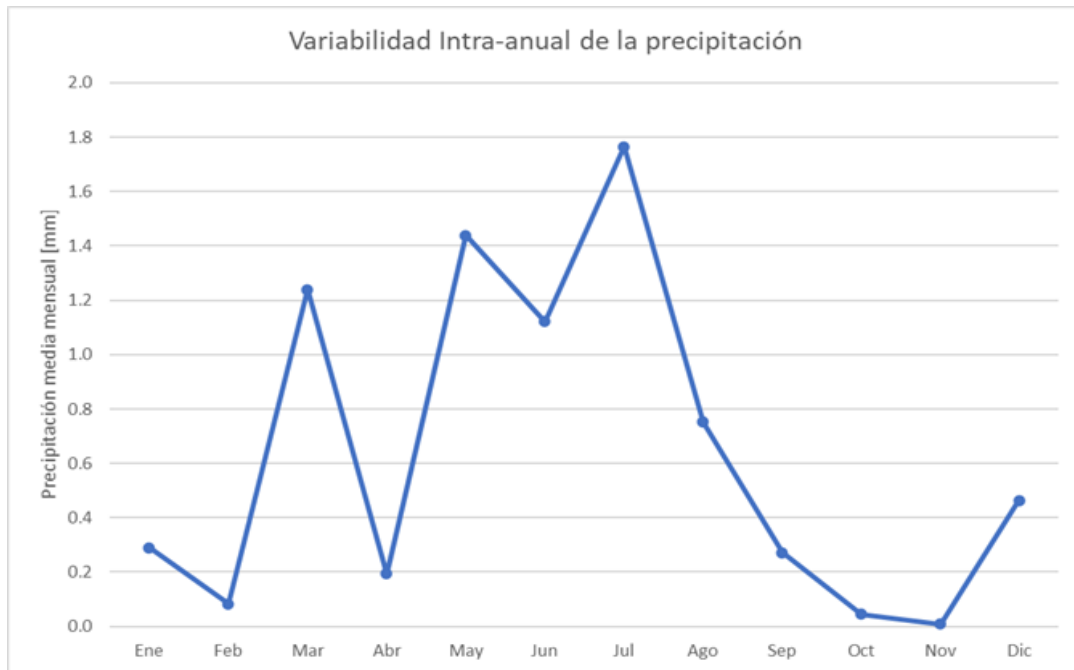
Este acápite pretende describir el comportamiento de las variables hidroclimatológicas en base a la información disponible, además de definir la presencia y magnitud de los eventos extremos.

Lo que sigue se desarrolla en base a DGA (2018) y los productos grillados asociados al balance hídrico para el período histórico (1985-2015), basado en el producto grillado CR2MET en su versión 1.3. Los datos analizados se presentan en el Anexo J-6.

2.3.2.1 Variabilidad intra-anual

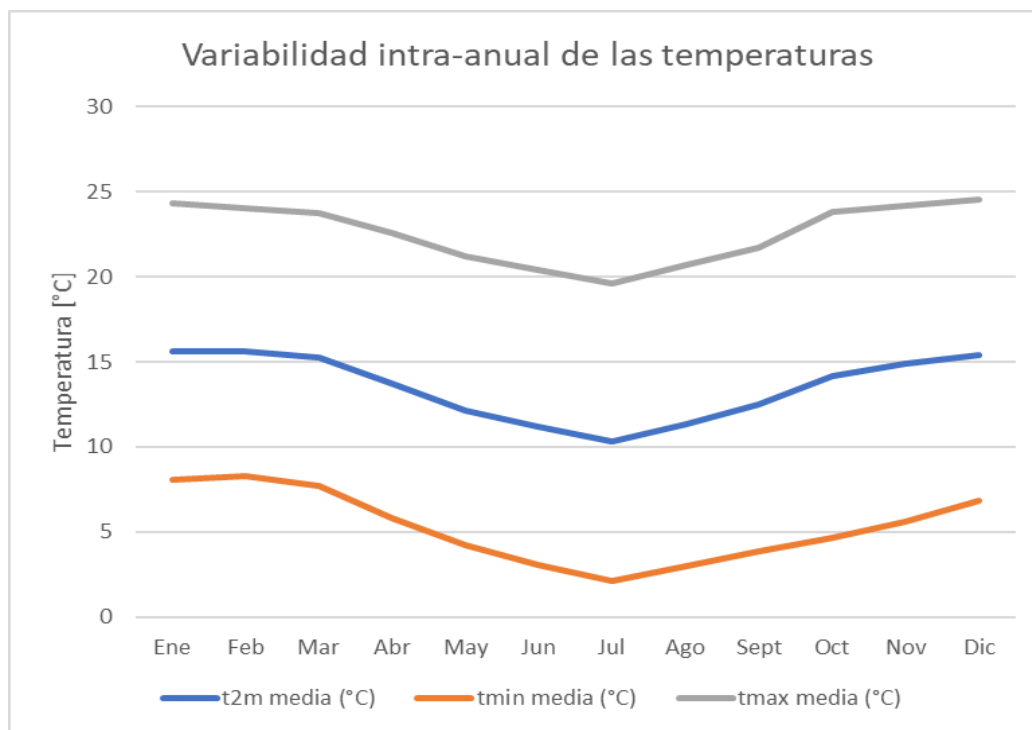
La cuenca presenta una precipitación media de 7,68 mm anuales, con una variabilidad intra-anual representada por la Figura 2-4. Se aprecia que la precipitación es baja durante el año, concentrándose en los meses de invierno.

Por otro lado, las temperaturas medias mensuales (Figura 2-5) siguen el comportamiento normal para la latitud, con las mínimas presentes en los meses de invierno (may-jul) y las máximas en los meses de verano. La relación entre las 3 temperaturas (temperatura máxima diaria, temperatura mínima diaria y temperatura media a 2 m sobre el suelo) se mantiene constante a lo largo del año, con una amplitud media cercana a los 18 °C.



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

Figura 2-4 Variabilidad intra-anual de la precipitación media mensual en la cuenca, periodo 1985-2015.



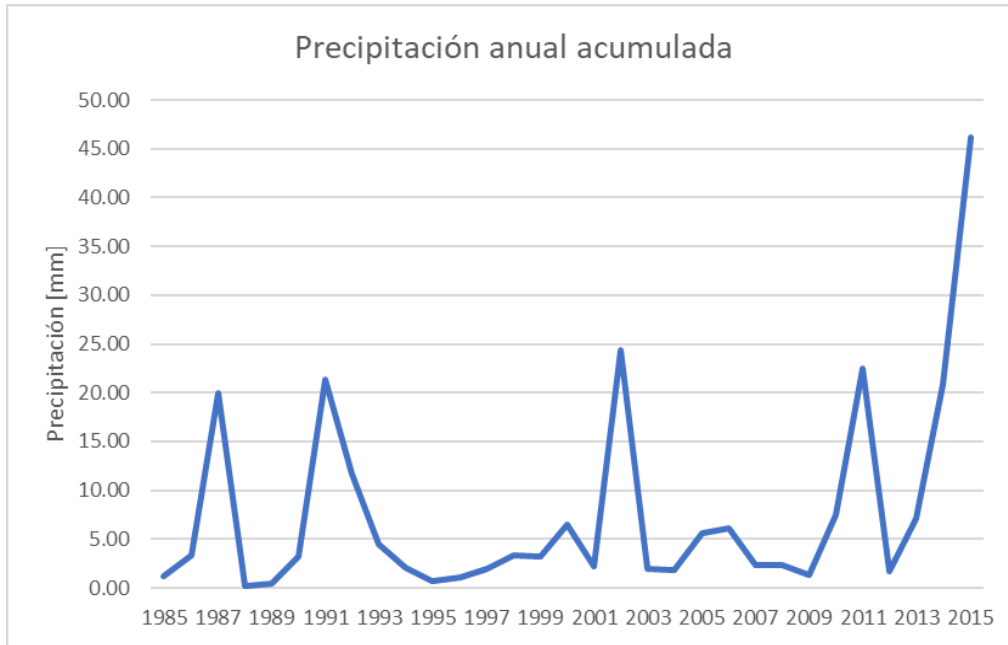
T2m: temperatura a 2 metros del suelo; tmax: temperatura máxima; tmin: temperatura mínima.

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

Figura 2-5 Variabilidad intra-anual de las temperaturas medias mensuales en la Variabilidad interanual

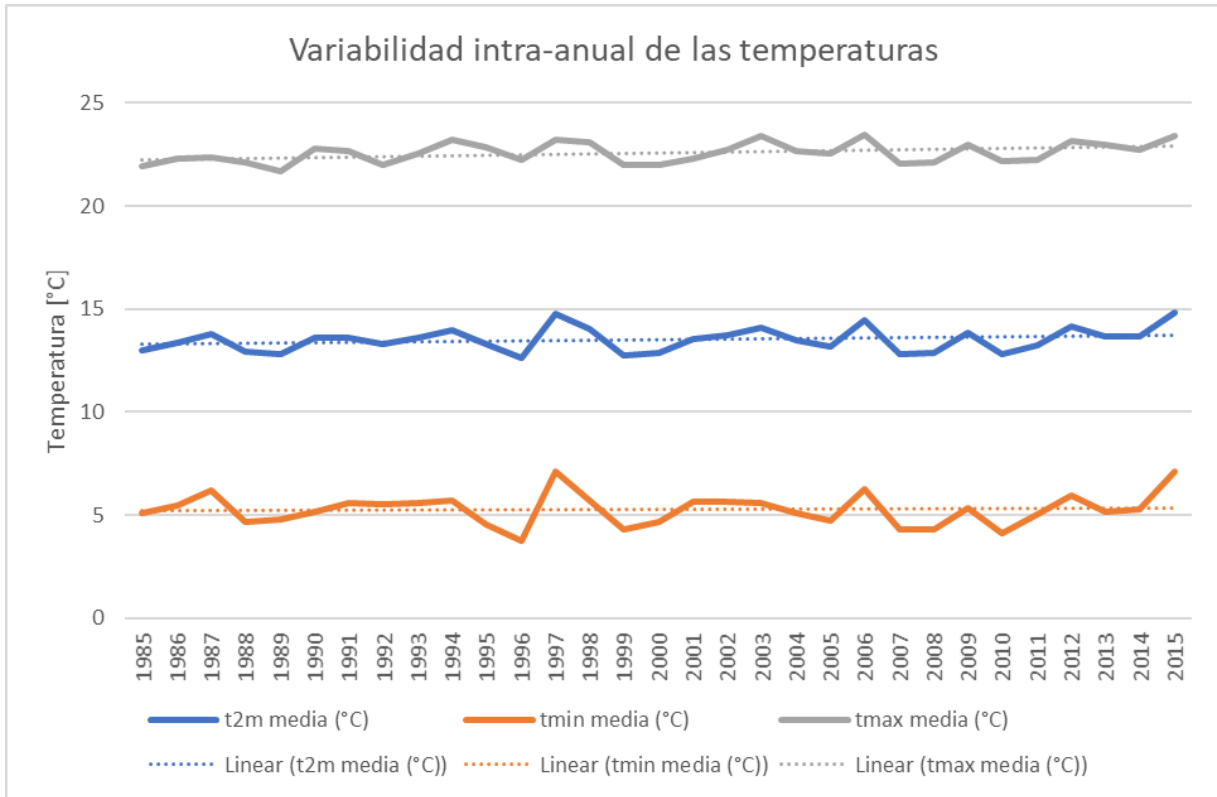
Con respecto a la variabilidad interanual de la precipitación (ver Figura 2-6 y Figura 2-7), no se observan tendencias relevantes en el período de análisis. Destacan los años 1987, 1991, 2002, 2011 y 2015, donde se registran peaks de precipitación acumulada debido a eventos extremos, como la crecida en marzo de 2015.

La variabilidad interanual de las temperaturas sí evidencia un aumento sostenido a lo largo del período de análisis, pero con una pendiente baja.



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

Figura 2-6 Variabilidad interanual de la precipitación en la cuenca, período 1985-2015.



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

Figura 2-7 Variabilidad interanual de las temperaturas en la cuenca, período 1985-2015.

2.3.2.2 Eventos extremos

Dado que el análisis se hace sobre información a nivel mensual, no es posible caracterizar eventos extremos de corta duración, tales como tormentas particulares u olas de calor. Por lo tanto, en lo que sigue se destacan aquellos meses en los que se presentaron fenómenos que resultan en que el valor medio mensual se aleje significativamente de la media total.

En la Tabla 2-3 se presenta la serie completa de las precipitaciones medias mensuales. La escala de colores representa la relación de la celda con respecto a los demás valores. Un color más intenso corresponde a mayores valores. Como se adelantaba, las mayores precipitaciones se encuentran en los meses invernales y en marzo de 2015 se presentó la mayor precipitación de la serie, con 34,9 mm caído.

Tabla 2-3 Serie completa de precipitaciones medias mensuales, período 1985-2015.

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1985	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,4	0,0	0,0	0,1
1986	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	2,9	0,0	0,0	0,1
1987	0,3	0,4	1,7	0,0	0,7	0,0	14,0	0,0	0,0	2,8	0,0	0,0
1988	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1989	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
1990	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	0,0	2,5	0,0	0,0	0,0
1991	0,3	0,2	0,0	0,1	0,0	20,5	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
1992	0,2	0,0	0,0	3,2	4,2	2,8	0,4	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0
1993	0,1	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1994	0,3	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0
1995	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
1996	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,6	0,2	0,0	0,0	0,0
1997	0,2	0,1	0,1	0,0	1,1	0,2	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
1998	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	2,5	0,1	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0
1999	0,0	0,3	0,3	0,0	0,0	1,7	0,1	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0
2000	1,8	0,0	0,0	0,0	1,8	2,7	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2001	0,5	0,1	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,1	0,0	0,0
2002	0,0	0,0	0,3	0,0	4,4	0,1	18,2	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0
2003	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2004	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0
2005	1,0	0,2	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,2	0,0	0,0
2006	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	0,0	4,1	0,1	0,0	0,0	0,0
2007	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	0,3	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0
2008	1,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0
2009	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2010	0,0	0,0	0,0	1,2	6,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2011	0,5	0,3	0,0	0,2	0,0	0,5	18,0	0,0	3,0	0,0	0,0	0,0
2012	0,3	0,3	0,0	0,4	0,0	0,0	0,1	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0
2013	0,5	0,0	0,0	0,0	3,0	0,1	0,3	3,1	0,1	0,0	0,0	0,0
2014	0,1	0,0	0,0	0,3	20,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2015	0,3	0,0	34,9	0,1	0,1	0,0	0,0	9,3	0,0	0,0	1,4	0,0

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

Los eventos de precipitación identificados en la Tabla 2-3 se asocian a desastres naturales. En la **Tabla 2-4** se presenta un resumen de aquellos identificados en este período.

Tabla 2-4 Desastres naturales asociado a eventos de precipitación.

Evento	Fecha
Remoción en masa en Taltal	29 de julio de 1987
Aluvión de Antofagasta	27 de julio de 1987
Aluvión de Antofagasta	18 de junio de 1991
Aluviones de Antofagasta, Calama y Coquimbo	25 de marzo de 2015

Fuente: Elaboración propia en base a Sernageomin, 2017.

Con respecto a las temperaturas, se menciona que el mayor valor de la *temperatura media mensual medida a 2 metros (t2m)* se registra en enero de 1998, con 19,6 °C, mientras que el menor se presenta en julio de 2010, con 7,1 °C.

El mayor valor de la variable *media mensual de la temperatura máxima (tmax)* se presenta coincidentemente en enero de 1998, con 27,7 °C, mientras que el menor valor de esta variable se presenta en julio de 2010, con 2,3 °C.

Por otra parte, el mayor valor de la *media mensual de la temperatura mínima (tmin)* se presenta en enero de 1998 con 12,5 °C, mientras que el menor se presenta en julio de 2010, con -1,8 °C.

Un resumen de lo expuesto en los tres párrafos precedentes se presenta en la Tabla 2-5.

Tabla 2-5 Resumen temperaturas medias mensuales.

[°C / Mes y año]	t2m	tmax	tmin
Media mensual máxima	19,6 / Ene-1998	27,7 / Ene-1998	12,5 / Ene-1998
Media mensual mínima	7,1 / Jul-2010	2,3 / Jul-2010	-1,8 / Jul-2010

Fuente: Elaboración Propia.

2.3.3 Escenarios de cambio climático

2.3.3.1 Generalidades

El escenario de cambio climático a estudiar es el RCP 8.5 (*Representative Concentration Pathway*), asociado a una forzante radiativa sobre la atmósfera igual a 8,5 W/m². Este es considerado el caso más pesimista, en donde la actividad humana, y por lo tanto el incremento de la concentración de gases de efecto invernadero, sigue en el tiempo con las tasas actuales hacia un futuro próximo (2100), sin adopción de medidas de

reducción de las emisiones o captura de ellas. Este escenario fue definido y utilizado en el quinto *Assessment Report* del IPCC en 2014 (AR5).

Para este y los otros escenarios, se han desarrollado diversas modelaciones climáticas que pretenden, a diferentes escalas espaciales y temporales, definir el comportamiento de la atmósfera y el clima en el futuro, y en particular las variables hidrometeorológicas.

A nivel local, la Dirección General de Aguas realizó la actualización del Balance Hídrico Nacional (entre 2017 y 2020). En estos estudios se consideró la generación de series futuras de variables hidrometeorológicas para un período futuro (2030-2060) basadas en modelos de circulación general (GCM) escaladas al territorio nacional. Se escalaron 4 GCM en todo el territorio y se presentaron productos grillados con información entre los años 1979 y 2060.

Cabe destacar que, en el mencionado estudio, los datos de precipitación y temperatura escalados de los GCM fueron utilizados como forzantes para el modelo hidrológico VIC, de esta modelación se obtuvieron algunas variables como la evapotranspiración y la escorrentía superficial. Esta información será utilizada a modo referencial en el desarrollo del presente estudio.

Las variables contenidas en el producto grillado utilizado presentan una resolución espacial de 5 km y una resolución temporal mensual.

2.3.3.2 Situación en la cuenca

En la actualización del Balance Hídrico Nacional (DGA, 2018), se presentan tablas resumen de los principales flujos del balance hídrico, adaptados para el presente estudio en la Tabla 2-6.

Tabla 2-6 Flujos hidrológicos de la cuenca en estudio, en mm, para distintos períodos, y modelos de circulación general.

Modelo	Precipitación (mm)					Escorrentía (Régimen Natural, VIC) (mm)					Evapotranspiración (Régimen Natural, VIC) (mm)				
	85-15	30-40	40-50	50-60	30-60	85-15	30-40	40-50	50-60	30-60	85-15	30-40	40-50	50-60	30-60
CSIRO	7,6	5,1	5,7	4,9	5,2	0,7	0,4	0,4	0,3	0,4	7,2	4,8	5,5	4,6	4,9
CCSM	7,4	7,1	8,3	3,6	6,3	0,7	0,4	0,4	0,2	0,4	7,0	6,8	7,9	3,5	6,1
MIROC	7,3	4,7	8,6	7,7	7,0	0,7	0,3	0,6	0,4	0,5	6,8	4,3	8,1	7,4	6,6
IPSL	7,4	7,6	7,4	4,2	6,4	0,7	0,5	0,4	0,4	0,4	7,1	7,0	6,8	4,0	5,9

Fuente: Adaptado de DGA (2018).

En la tabla anterior se aprecian distintos comportamientos. En primer lugar y el más relevante para los usos que se les darán a estos productos en el presente trabajo, el modelo CSIRO adelanta una disminución importante en las precipitaciones medias anuales en la zona de estudio, de en torno a un 30% entre el período histórico (1985-2015) y el período futuro (2030-2060). Este modelo difiere de sus semejantes, en donde la variación futura no pasa de -15%. A pesar de lo anterior, la variación de la estadística media no es descriptiva de la situación futura en su conjunto, debido a que estos modelos no pueden predecir los eventos extremos que sí destacan en la serie histórica y son relevantes.

Los otros dos flujos hidrológicos presentados en la tabla presentan un comportamiento acorde a la precipitación y sus anomalías ya descritas, toda vez que son salidas de un modelo que fue forzado con dicha variable.

Para el desarrollo del modelo y los escenarios evaluados, se consideraron los modelos MIROC y IPSL, por presentar ambos tendencias distintas en las proyecciones sobre las precipitaciones, el primero proyectando una reducción y el segundo un aumento hacia 2060.

2.4 Dimensión ambiental

En este punto se realizó un levantamiento, recopilación y análisis de la información de la componente ambiental en el área de estudio que corresponde a la cuenca Quebrada Caracoles y su extensión hacia el sector sur oriente, donde por una parte se realiza un reconocimiento de los sistemas ecológicos, la identificación y descripción de áreas protegidas o prioritarias de conservación presentes en la zona de estudio. Enseguida, se realizó una recopilación de información del estado del medio ambiente a través de un análisis de la situación actual en la materia, respecto de las actividades y proyectos que se ingresan al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) y análisis de las fuentes de emisión del Sistema Nacional de Información de Fiscalización Ambiental (SNIFA).

El análisis de la información se orientó de manera de poder formular un diagnóstico de la situación ambiental de los sistemas hídricos en las cuencas de estudio, que sirva como base para posteriormente lograr determinar las posibles o futuras situaciones de conflictos, los territorios más susceptibles, las problemáticas atinentes, los instrumentos de gestión y protección del recurso y otros antecedentes que permitan determinar en qué estado se encuentra el tema ambiental relacionado con los recursos hídricos y así ser un input que permita determinar brechas y luego formular las bases de un Plan Estratégico de Gestión Hídrica realista y sustentable.

2.4.1 Sistemas ecológicos

La vegetación, en esta zona, está fuertemente determinada por la variación altitudinal y la intensidad de las precipitaciones, que tienen la característica de ser predominantes en la estación estival. La combinación de estos factores produce una vegetación de matorrales bajos dominados por especies del género *Parastrephia* que se va transformando en un matorral más abierto, dominado por gramíneas (CIREN, 2016).

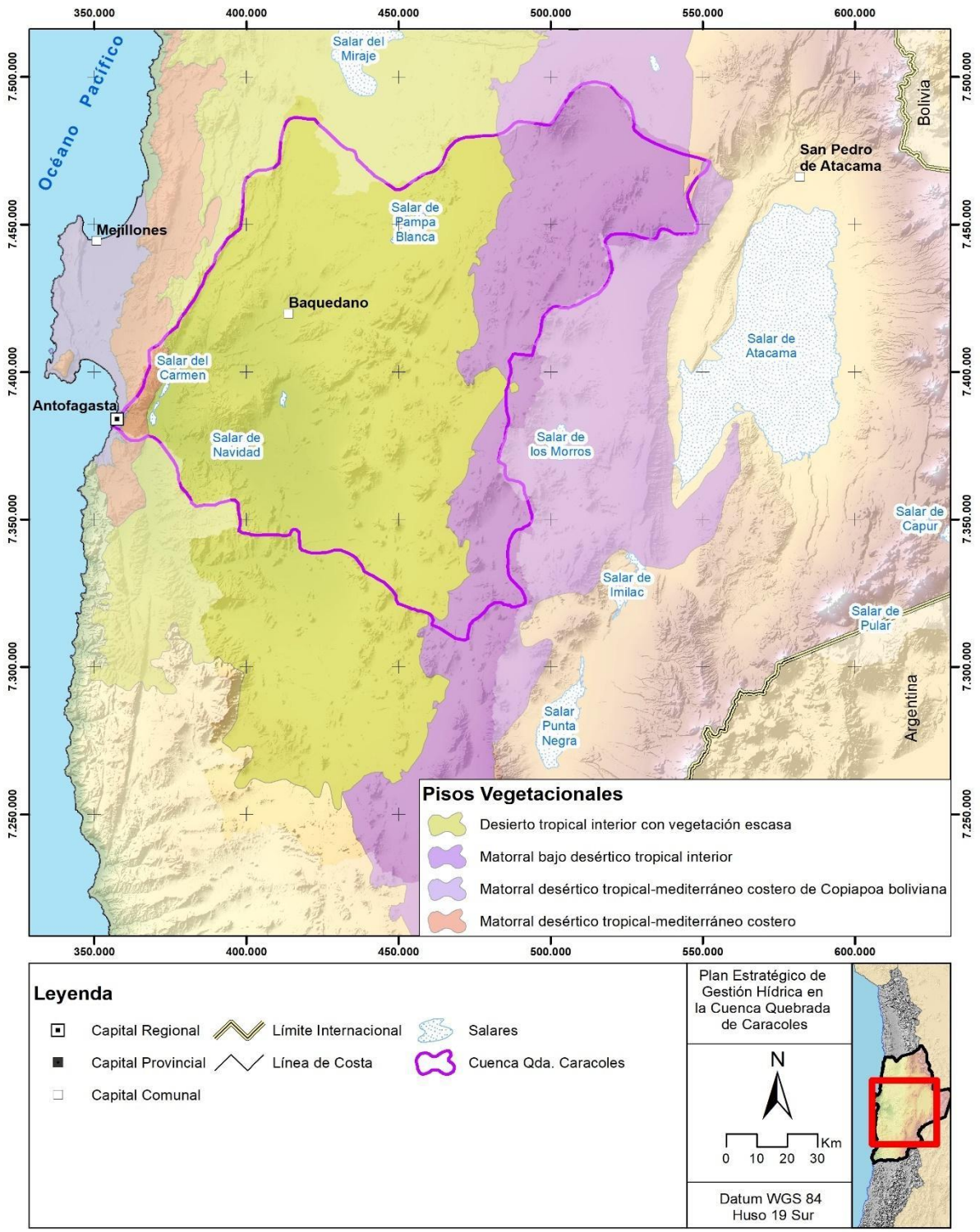
Se consideró como unidad de análisis los "Pisos de Vegetación" (Luebert-Plissock, 2016). En la cuenca Quebrada Caracoles se pueden observar 4 pisos vegetacionales.

- i. Desierto tropical interior con vegetación escasa
- ii. Matorral bajo desértico tropical interior
- iii. Matorral desértico tropical-mediterráneo costero
- iv. Matorral desértico tropical-mediterráneo costero de *Copiapoa boliviana*

En la Figura 2-8 se aprecia su distribución espacial. En ella es posible distinguir que los pisos vegetacionales predominantes en la cuenca corresponden al Desierto Tropical Interior con Vegetación escasa, perteneciente a la formación desierto absoluto, que se caracteriza por ser terrenos que carecen casi completamente de vida vegetal, excepto en algunos sectores con presencia de napa subterránea salobre donde se observa un matorral halófito, su distribución altitudinal es entre los 200 y 2.000 m.s.n.m.

Hacia la parte más alta de la cuenca se encuentra el piso vegetacional de Matorral bajo desértico tropical interior de *Adesmia atacamensis* - *Cistanthe salsoloides* que corresponde a un matorral muy abierto extremadamente xeromórfico, la vegetación se asocia a zonas donde se acumula la escasa humedad que recibe de precipitaciones estivales excepcionales, se distribuye hasta los 3.000 m.s.n.m.

En menor proporción y hacia el sector costero se ubica el Matorral desértico tropical-mediterráneo costero que corresponde a un matorral muy abierto en el que dominan especies como *Nolana adansonii* y *Nolana lycioides*, con amplias extensiones de terreno descubiertas, incluso en los periodos lluviosos. Hacia la salida de la cuenca en el sector centro de la región también existen formaciones vegetacionales con presencia de *Copiapoa boliviana*, corresponde a un matorral abierto extremadamente xeromórfico, con muy baja cobertura de la vegetación, con grandes zonas desprovistas de plantas vasculares. Este piso vegetacional se ubica en la zona costera baja entre los 0 y 300 m.s.n.m.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-8 Pisos vegetacionales Cuenca Quebrada Caracoles.

2.4.2 Áreas protegidas o prioritarias de conservación

En la zona de estudio, es decir en la cuenca Quebrada Caracoles y su extensión al sur oriente, no se encontraron sitios prioritarios de conservación, no existen a la fecha declaradas áreas protegidas por el Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE), ni atractivos particulares protegidos por la estrategia regional de conservación.

No obstante, lo anterior, es posible destacar las siguientes zonas de interés ambiental: - Salar de Pampa Blanca. - Salar Mar Muerto. - Salar del Carmen. - Salar de Navidad. - Salares Sin Nombre.

Estas zonas corresponden a ecosistemas tipo humedales que son utilizados como zonas de descanso, alimentación y reproducción por un gran número de especies, entre las que destacan aves nativas y migratorias, reptiles y anfibios. Existe hoy en día la necesidad de que estos humedales sean reconocidos como áreas protegidas, con el propósito de contribuir a detener su deterioro, preservar su biodiversidad y garantizar su conservación.

Con la entrada en vigencia de la Ley 21.202 de humedales urbanos, el Ministerio del Medio Ambiente (MMA) ha reconocido los beneficios socioambientales (áreas verdes, espacios para la recreación, ecoturismo, control de inundaciones, mitigación de los efectos del cambio climático) que estos ecosistemas aportan las comunidades.

Actualmente el único de estos sitios que podría ser reconocido como humedal urbano dentro de la cuenca Quebrada Caracoles, es el Salar del Carmen que corresponde a un humedal superior a 50 hectáreas de carácter rural y desértico. Este ecosistema se abastece de la descarga de remanente de agua proveniente de la planta de filtros (fuente artificial) y es utilizado ampliamente por aves nativas residentes del humedal y visitado por gran cantidad de aves migratorias en temporada estival, debido a que provee una zona de alimentación y descanso en pleno desierto, convirtiéndose en un oasis importante para las especies que allí habitan.

El humedal "Salar del Carmen", conocido también como "kilómetro 12", está ubicado en el sector noroeste del salar del Carmen y corresponde a un humedal natural que se perdió por falta de agua, actualmente se mantiene como una zona húmeda producto de los lodos del descarte de las aguas de desecho de la planta de filtros de la empresa Aguas Antofagasta. Los lodos provenientes del proceso de potabilización fueron descargados por muchos años, desarrollándose una extensa vegetación compuesta principalmente por

junquillos, colas de zorro, chilcas y breas, generando con ello un hábitat para especies animales, particularmente reptiles, aves y mamíferos.

Entre las especies de vertebrados que es posible apreciar en el sector destacan, el reptil corredor de Tarapacá (*Microlophus tarapacensis*) que utiliza el perímetro de la vegetación para alimentación y descanso. Además, se pueden observar el chercán (*Troglodytes aedon*), tijeral (*Leptasthenura aegithaloides*), el picaflor del norte (*Rhodopsis vesper*), la paloma de alas blancas (*Zenaida meloda*), el aguilucho (*Geranoaetus polyosoma*), el cernícalo (*Falco sparverius*) y el halcón peregrino (*Falco peregrinus*), entre otras aves.

Se trata de un ecosistema único en medio de un paisaje desértico y su cercanía a la ciudad y a actividades antrópicas, ocasionan que esté sometido a una serie de presiones que constituyen amenazas, entre ellas: descargas de aguas servidas; crecimiento industrial; presencia de especies exóticas invasoras y residuos, según lo manifestado por la Corporación Ecológica Caminantes del Desierto, este sitio está condenado a desaparecer, de allí su importancia de poder protegerlo bajo la figura de Humedal Urbano.

2.4.3 Estado del medio ambiente

En este acápite se realiza un análisis de la situación actual del medio ambiente en relación con los impactos y presiones sobre los recursos hídricos, respecto de las actividades y proyectos que se ingresan al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental SEIA en la cuenca.

2.4.3.1 Revisión SEA

Se analizaron los proyectos ingresados al SEIA por sector productivo, con injerencia sobre los recursos hídricos. En la cuenca de estudio desde la entrada en vigencia de la Ley 19.300 a la fecha, se han ingresado 226 proyectos al sistema de evaluación de impacto ambiental, de los cuales 31 ingresan como EIA (Estudios de Impacto Ambiental) y 195 en calidad de DIA (Declaraciones de Impacto Ambiental).

Para efectos de considerar las presiones actuales sobre el medio ambiente se filtra la información considerando aquellos proyectos que han sido aprobados por el servicio de evaluación ambiental, además para considerar las posibles presiones futuras es relevante la información de los proyectos que actualmente se encuentran en calificación ambiental, para lo cual se tiene que en la cuenca Quebrada Caracoles existen 14 proyectos a la espera de su evaluación.

En la Tabla 2-7, se presenta un resumen donde es posible observar el total de proyectos ingresados por sector productivo siendo los más representativos los del sector minero (124), Energía (69) y Saneamiento Ambiental (23).

Tabla 2-7 Proyectos Ingresados al SEIA cuenca Quebrada Caracoles.

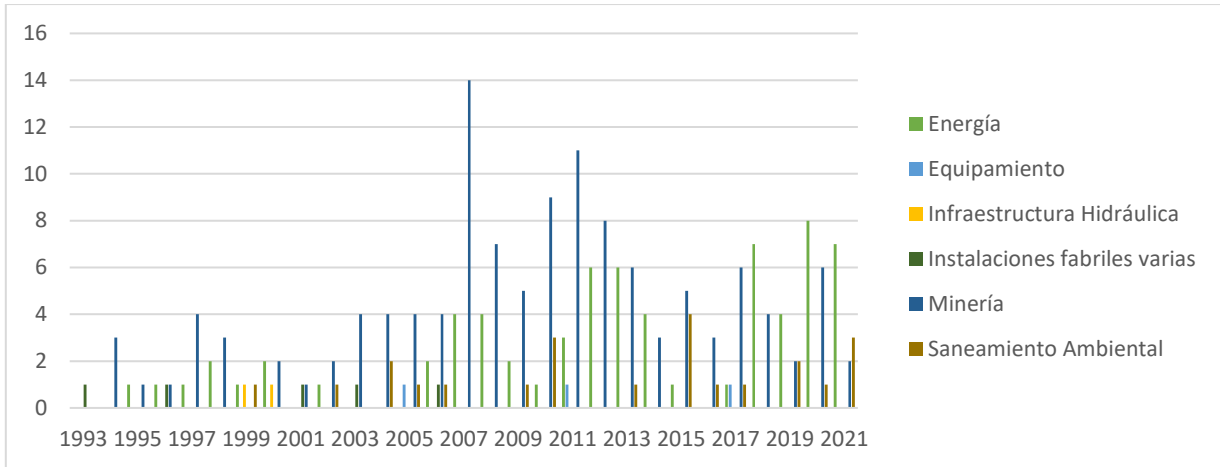
Sector Productivo	DIA		EIA		Total general
	Aprobado	En Calificación	Aprobado	En Calificación	
Energía	58	7	3	1	69
Equipamiento	2	-	1	-	3
Infraestructura Hidráulica	2	-	-	-	2
Instalaciones fabriles varias	3	-	2	-	5
Minería	102	2	19	1	124
Saneamiento Ambiental	16	3	4	-	23
Total general	183	12	29	2	226

Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a las presiones futuras es decir aquellos proyectos que se encuentran en calificación se tienen 1 EIA del sector minero "Actualización del Depósito de Relaves e Instalaciones Anexas" de minera Sierra Gorda y 2 DIA de adecuaciones de disposición de relaves de minera Centinela y continuidad de operación de Proyecto minero Aguas Blancas. En el rubro energías existe en calificación 1 EIA "Parque Eólico Antofagasta" y 7 DIA de Proyectos fotovoltaicos y Eólicos. Con respecto a Saneamiento Ambiental son 3 DIA "Mejoras al sistema de disposición final de aguas servidas de Antofagasta", "Monorelleno de Lodos Antofagasta" y "Planta de valorización de neumáticos fuera de uso".

A continuación, en la Figura 2-9 se presenta una línea temporal del total de proyectos independiente si son DIA o EIA. De esta manera es posible visualizar que, para el caso de la cuenca, los años 2007, 2010, 2011, 2012 y 2019 son los que poseen mayores ingresos de proyectos y aprobaciones de estos, siendo en su mayoría proyectos mineros y de energías renovables.

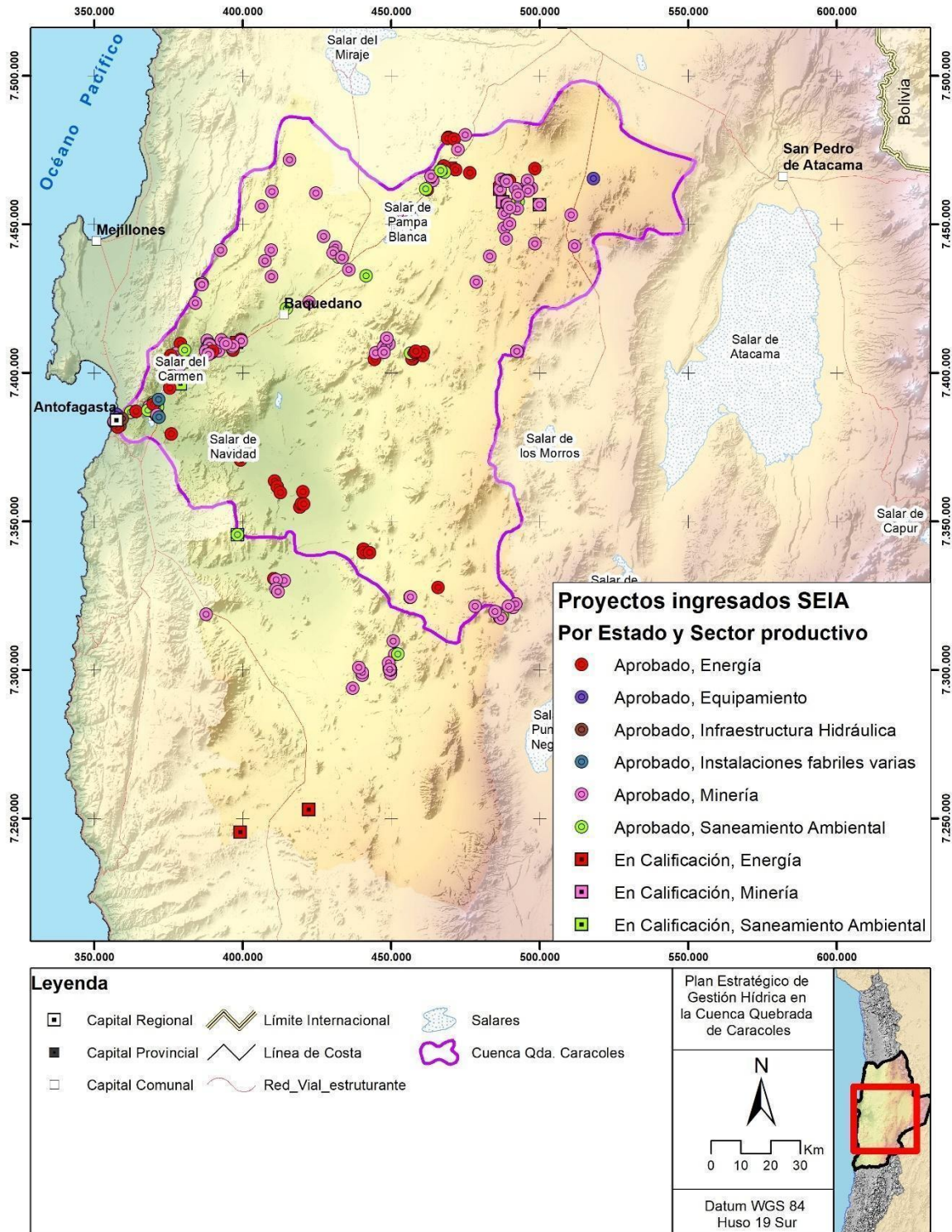
En el Anexo J-2-1 se presenta una tabla con el listado general de los proyectos que se incluyeron en el análisis del área de estudio.



Fuente: Elaboración propia, en base a SEIA.

Figura 2-9 Proyectos ingresados al SEIA por sector productivo en la cuenca Quebrada Caracoles

En la Figura 2-10 es posible apreciar la distribución espacial de los proyectos dentro de la cuenca Quebrada Caracoles. Donde se evidencia que éstos están distribuidos en la parte alta de la cuenca, con concentraciones en las cercanías de las ciudades de Sierra Gorda (localidades de Centinela, Sierra Gorda y Lomas Bayas) y Antofagasta (Localidades de La Negra, Escondida, Estación Prat y Estación Uribe).



Fuente: Elaboración propia, en base a SEIA.

Figura 2-10 Distribución Espacial de Proyectos ingresados al SEIA en la cuenca Quebrada Caracoles.

2.4.3.2 Repositorio de pertinencias

De la misma forma, se revisó el repositorio de pertinencias buscando determinar qué tipo de proyectos relacionados con los recursos hídricos han consultado acerca de la pertinencia de ingreso al sistema. El resumen se presenta en la Tabla 2-8.

En el repositorio de pertinencias del SEA, desde el año 2016, hay 1.218 pertinencias presentadas en la Región sin que sea posible discriminar ni por comuna ni por cuenca. El 95% de las consultas se encuentra resuelta con su respectivo expediente, oficio de respuesta y estado de desarrollo. Del total de pertinencias ingresadas 697 pertinencias se refieren a proyectos nuevos, 45 pertinencias a modificaciones de proyecto sin RCA y 476 pertinencias a modificaciones de proyectos en desarrollo.

Se puede tener acceso a la planilla general de pertinencias donde se encuentra el enlace de acceso al archivo resolutorio en el Anexo J-2-2.

Tabla 2-8 Consulta de Pertinencias ingresadas Región de Antofagasta.

ESTADO	Modificación con RCA	Modificación sin RCA	Proyecto nuevo	Total general
En Evaluación	16	5	26	47
En Evaluación - Suspendida	1	-	12	13
Resuelta	459	40	659	1.158
Total general	476	45	697	1.218

Fuente: Elaboración propia.

2.4.3.3 Revisión del Sistema Nacional de Información de Fiscalización Ambiental de la SMA

De la revisión del SNIFA de la Superintendencia de Medio Ambiente es posible recopilar información que permita conocer las principales temáticas relacionadas con el incumplimiento ambiental de los proyectos aprobados ambientalmente de manera regional lo que representa un input relevante para la formulación adecuada del diagnóstico sobre esta componente. En esta plataforma se obtiene información estadística sobre los siguientes temas:

- Unidades Fiscalizables: Corresponde a la información asociada a cada Unidad Fiscalizable, incluyendo ubicación, instrumentos aplicables, desagregado por comuna y rubro productivo.
- Fiscalizaciones: En esta sección se revisan los procesos de fiscalización ambiental, en relación con los instrumentos de carácter ambiental de

competencia de la SMA. Los expedientes publicados en SNIFA corresponden únicamente a aquellos finalizados, es decir, aquellos en que el proceso de fiscalización finalizó sin hallazgos, y aquellos con hallazgos que ameritaron la formulación de cargos en un proceso sancionatorio, excluyéndose aquellos procedimientos aún en curso.

- **Procesos Sancionatorios:** Corresponden a los distintos procedimientos sancionatorios producto de fiscalizaciones de la autoridad ambiental e incluye los Programas de cumplimiento que corresponde a información de los procesos de sanción que han exigido que la empresa titular presente un programa de cumplimiento que enmiende las transgresiones a las obligaciones ambientales contraídas para ser aprobados por la autoridad ambiental a fin de ser implementados posteriormente.

A continuación, se presenta un resumen estadístico de la información actualizada del Sistema Nacional de Información de Fiscalización Ambiental para cuenca Quebrada de Caracoles, donde de las 748 U.F presentes en la región de Antofagasta, solo 226 de ellas ubicadas dentro del área de estudio. Queda de manifiesto además que los rubros productivos con mayor representatividad son Minería, Energía y Saneamiento Ambiental.

En la **Tabla 2-9** se presentan en resumen la información recopilada para la cuenca en estudio.

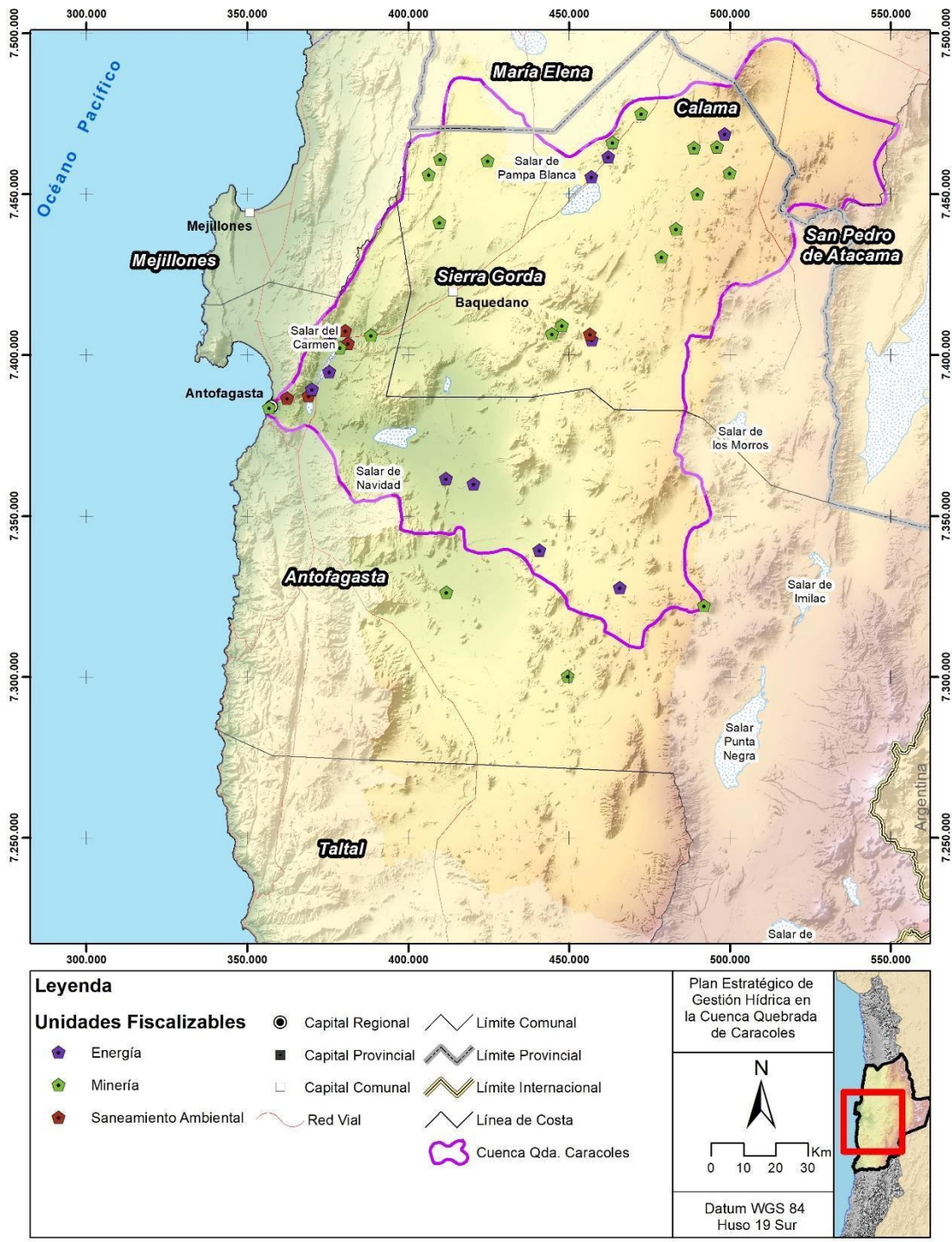
Tabla 2-9 Unidades Fiscalizables (U.F.) por sector productivo en la Cuenca Quebrada de Caracoles.

Sector Productivo	Expedientes Fiscalización	Proceso sancionatorio	Programa de cumplimiento	Seguimiento ambiental
Energía	3	0	0	348
Equipamiento	0	0	0	0
Infraestructura Hidráulica	0	0	0	0
Instalaciones fabriles varias	0	0	0	0
Minería	36	4	3	4.785
Saneamiento Ambiental	7	1	0	165
Total general	46	5	3	5.298

Fuente: Elaboración propia, en base a información de SNIFA.

De las 226 unidades fiscalizables presentes en la cuenca Quebrada de Caracoles 23 de ellas han sido fiscalizadas en al menos 1 oportunidad, en muchos de estos informes las empresas cumplen satisfactoriamente con lo dispuesto en las RCA o instrumentos que rigen su operación por lo tanto no derivan en ningún proceso sancionatorio ni programa de cumplimiento siendo las empresas mineras por mucho las más fiscalizadas.

La distribución espacial de las 23 Unidades Fiscalizables dentro de la cuenca se presenta en la Figura 2-11.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-11 Distribución espacial de las UF Cuenca Quebrada Caracoles.

2.4.4 Sistematización de conflictos ambientales y demandas por daño ambiental

La situación ambiental de la Región de Antofagasta se relaciona con el escenario de extrema aridez determinada por la geografía y el clima, así como con la presión existente sobre los recursos naturales, especialmente sobre el recurso hídrico, producto del aumento constante de las demandas de agua por parte de diversos usos, como minería, energía y equipamiento, lo que conlleva impactos significativos sobre los diferentes ecosistemas que sostiene el recurso hídrico (DGA, 2017).

De la revisión realizada al primer tribunal ambiental, no se tienen conflictos ambientales emblemáticos en la cuenca Quebrada Caracoles y, en términos de demandas por daño ambiental, en la referida cuenca hidrográfica se han presentado 3 causas ante el Primer Tribunal Ambiental, ninguna de las cuales tiene injerencia con los recursos hídricos.

2.4.5 Fuentes emisoras DS 90/2000 y DS 46/2003

Respecto de las fuentes emisoras fiscalizadas por la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS), se obtuvo el grado de cumplimiento entre los años 2012-2020, que indica que para la Región de Antofagasta existen 9 PTAS (Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas) que son supervisadas por la SISS respecto del DS90 y la NCh 1.333 de las cuales 5 están presentes en la cuenca Quebrada Caracoles. En la Tabla 2-10, se resumen las fuentes emisoras que deben informar a la SISS el cumplimiento de la norma mensualmente, de ella se desprende que en todos los casos el nivel de cumplimiento de la norma para emisiones supera el 80%.

Tabla 2-10 Fuentes Emisoras fiscalizadas por la SISS.

Año	Nombre PTAS	% Cumple	Norma	Tabla
2012-2020	ES - Gran Antofagasta	88%	D.S. 90/00	Tabla 5
2015-2020	PTAS - Baquedano	82%	NCh 1333/78	Riego
2016-2020	PTAS - Sierra Gorda	85%	NCh 1333/78	Riego
2015-2020	PTAS - Lodos Antofagasta	82%	-	Riego
2019-2020	PTAS-San Pedro Coloso	92%	NCh 1333/78	Riego

Fuente: Elaboración propia, a partir de información de SNIFA.

Según lo informado por la Superintendencia de Servicios Sanitarios, no se cuenta con caudales de dilución en cursos superficiales, ya que no se registran Resoluciones SISS

de Monitoreo para descargas de RILes en cursos superficiales y/o aguas subterráneas. Los establecimientos industriales existentes disponen de descargas en el medio marino y cuentan con resoluciones de DIRECTEMAR para el Programa de Monitoreo.

El acceso a los datos de emisiones reportados por empresas (RILes), no incluyen ningún tipo de procesamiento de la SMA ni siquiera se encuentran georreferenciados, tanto es así que en el portal se indica que “la información que se encuentra disponible en esta sección corresponde a datos obtenidos y reportados por los regulados, no habiendo sido procesada, analizada o verificada de ninguna forma por la Superintendencia del Medio Ambiente”.

Para revisar en detalle la información descargada de la plataforma esta se encuentra en el Anexo J-2-3.

2.4.6 Brechas en Dimensión Ambiental

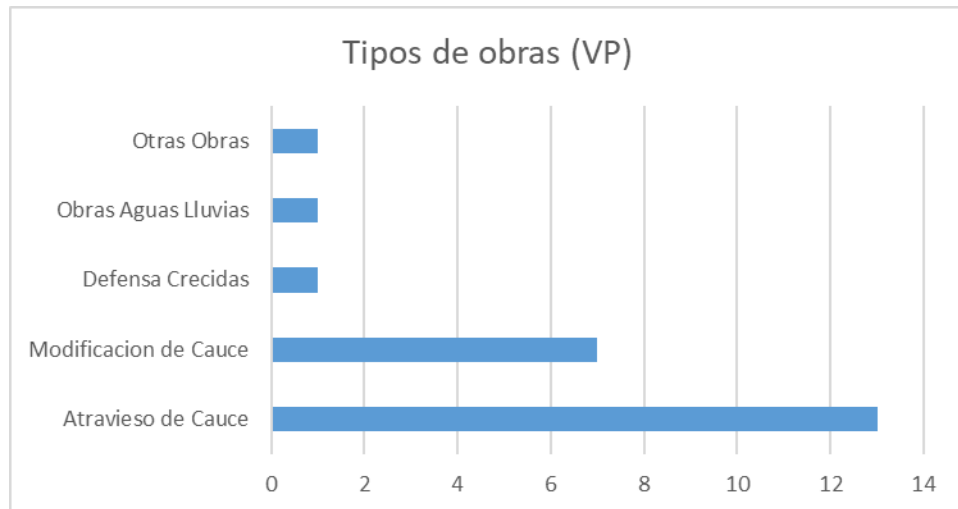
Una preocupación que surgió desde la comunidad durante el desarrollo de la PAC fue el estado del llamado Humedal del km 12, el que está próximo a ser declarado Humedal Urbano, sin embargo actualmente se encuentra en un estado de deterioro importante donde se ha perdido gran parte de su biodiversidad debido a la contaminación y diversas presiones antrópicas, este humedal es recordado por la población como un lugar de gran atractivo siendo incluso considerado un oasis y parada de aves migratorias. Actualmente existe una falta de información y estudios que realicen un diagnóstico más acabado del humedal y que indiquen las acciones más pertinentes a realizar para su restauración en función de las condiciones en que actualmente se encuentra.

2.5 Infraestructura hídrica

2.5.1 Obras hidráulicas.

En cuanto a la infraestructura hídrica, revisado el Centro de Despacho Económico de Carga del Sistema Interconectado Central CDEC-SIC, el sistema de información territorial de la CNR, podemos decir que no existe infraestructura hidráulica tipo embalses, bocatomas o canales en la cuenca que estén reconocidas y/o autorizadas legalmente.

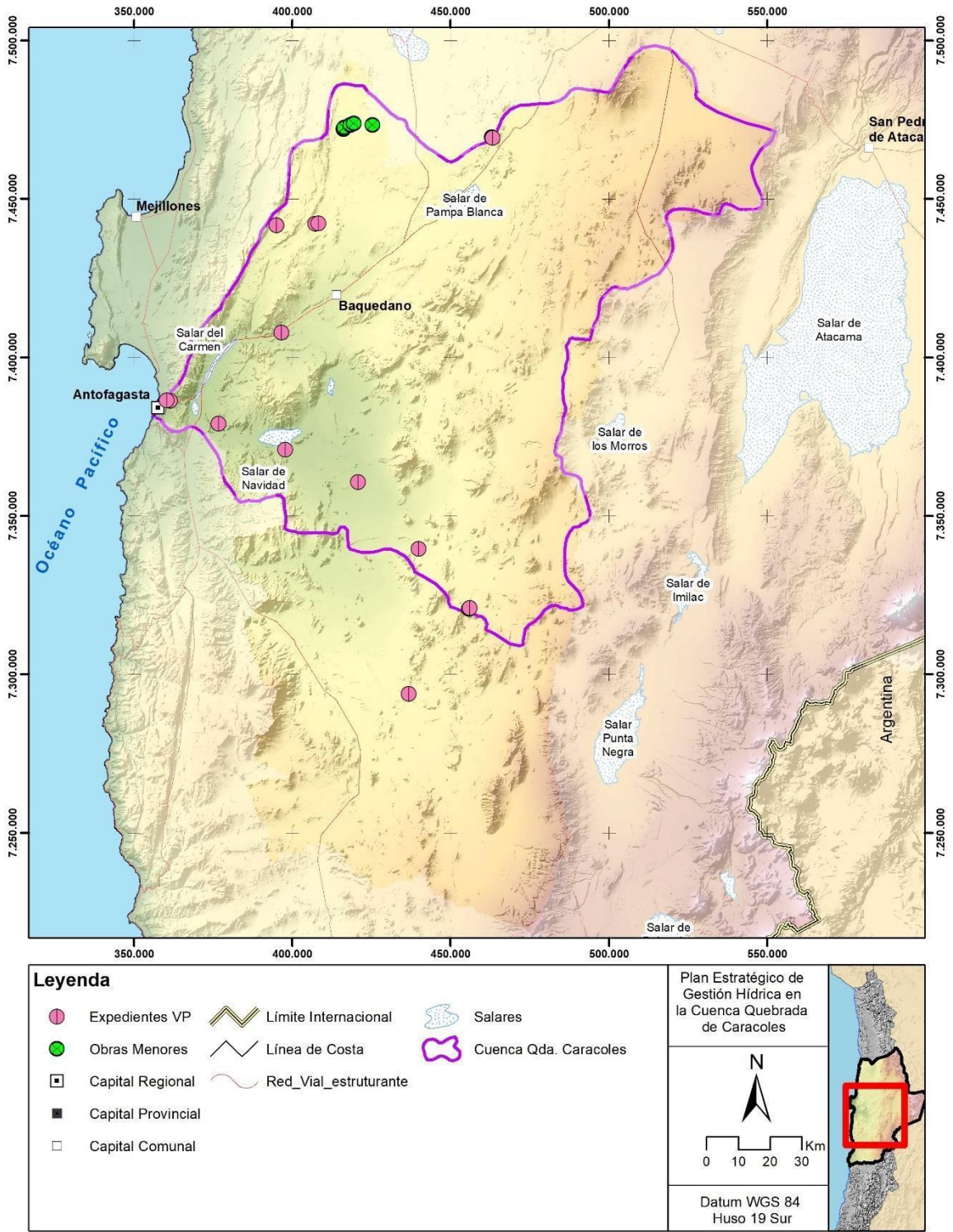
Sin embargo, del Inventario Público de Obras Hidráulicas, de la DGA y las solicitudes de aprobación de proyectos del CPA DGA se pudo obtener un listado de obras hidráulicas, de Solicitudes de Modificaciones de cauces naturales y artificiales (Expedientes tipo VP), los cuales se componen de las siguientes obras, como muestra el gráfico de la Figura 2-12.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-12 Principales obras menores en cuenca de estudio.

Para obtener una mirada espacial de la ubicación de las obras identificadas, se muestra la en la Figura 2-13.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-13 Distribución espacial de obras menores (VP) en cuenca de estudio.

De las principales solicitudes de obras hidráulicas identificadas, se encuentran cruces de cauces principalmente quebradas con recursos hídricos eventuales y modificaciones de cauces artificiales. En Anexo J-4-1, planilla con expedientes de VP, identificados en la cuenca.

A partir de los antecedentes revisados y de lo ya dicho, se concluye que en la cuenca no existen obras hidráulicas para uso de riego o hidroeléctricas, tampoco obras de acumulación, y que las principales solicitudes son las vinculadas a la actividad minera y sus procesos productivos.

2.5.2 Red Hidrométrica.

La información hidrométrica que se describe en este capítulo es la que utiliza la DGA para registrar datos y posteriormente generar estadísticas relevantes para la caracterización del recurso hídrico terrestre, a través de la Red hidrométrica Nacional (RHN).

La información hidrométrica que se genera en la cuenca es la referida a tres estaciones meteorológicas DGA denominadas Estación Sierra Gorda, Baquedano y Quebrada el Toro.

En dichas estaciones, que se encuentran vigentes, se registran datos de oficiales de variables hidrometeorológicas.

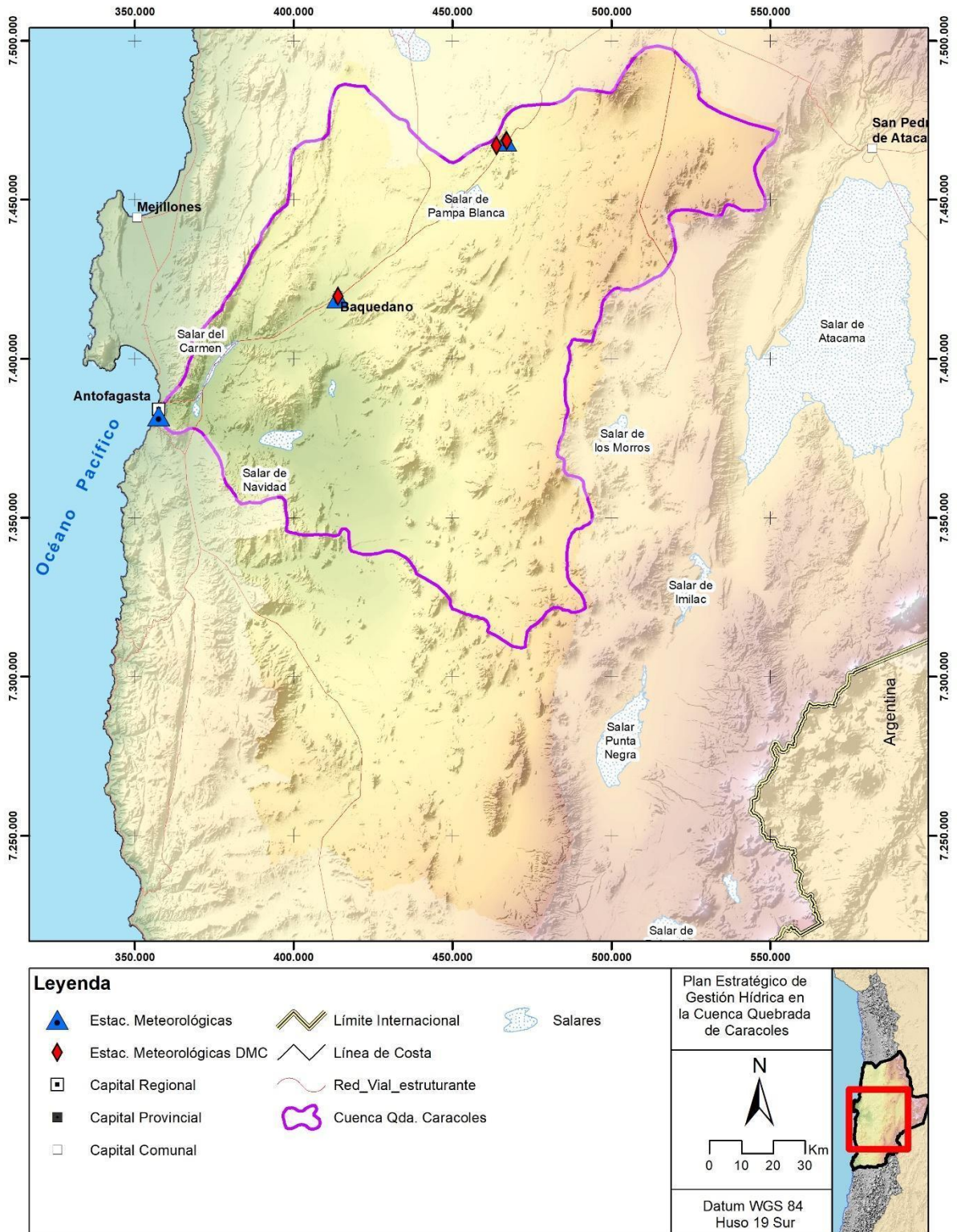
En la Tabla 2-11 se indican las características de las estaciones.

Tabla 2-11 Estaciones meteorológicas identificadas de la DGA en la cuenca.

Nombre Estación	Código DGA	Altura (msnm)	Ubicación WGS 84	
			Este	Norte
Sierra Gorda	2700001-0	1.616	467.047	7.468.532
Baquedano	2710002-3	1.032	414.538	7.419.580
Quebrada el Toro	2760000-k	89	357.622	7.381.792

Fuente: Elaboración propia a partir de datos DGA.

Para conocer la distribución territorial, de las estaciones de la DGA, a continuación, en la Figura 2-14 se muestra la ubicación de las estaciones en la cuenca.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-14 Ubicación estación meteorológicas en la cuenca de estudio.

Según la metodología OMM (Organización Meteorológica Mundial), la densidad mínima es de 2.500 km²/estación, asociadas a diferentes unidades fisiográficas. La DGA el 2016, estableció que la cuenca Quebrada Caracoles, es considerada como unidad predominantemente de montaña según el criterio anterior en cuanto a unidad fisiográfica.

La cuenca Quebrada Caracoles, tiene un índice de 6.099 km²/estación, lo que evidencia una baja densidad para el tamaño de la cuenca. Sin embargo, al realizar un análisis de las subcuencas de Quebrada Caracoles, se obtienen los resultados mostrados en la Tabla 2-12.

Tabla 2-12 Densidad de estaciones meteorológicas DGA en la cuenca.

Cuenca	Subcuenca	Estaciones Vigentes	Área de la Subcuenca	Índice km ² /Estación
Quebrada Caracoles	Quebrada Caracoles bajo junta Quebrada El Buitre	1	5.693	5.693
	Q. Caracoles entre Quebrada El Buitre y Salar del Carmen	2	3.370	1.685
	Q. Caracoles entre Salares Navidad y del Carmen (inclusive) y desembocadura	0	947	No aplica

Fuente: DGA, 2016.

Del cuadro, presentado, podemos ver que la subcuenca Q. Caracoles entre Q. El Buitre y Salar el Carmen cumple con la recomendación OMM.

A partir de la infraestructura hidrométrica de la DGA identificada en la cuenca, se visualiza una brecha respecto a la densidad de estaciones, cuestión que repercute en la identificación y cuantificación de los parámetros en la cuenca.

Revisado el Catastro Nacional de Estaciones Meteorológicas de la DMC (Dirección Meteorológica de Chile), se identificaron 2 estaciones en la cuenca, que se muestran en la Tabla 2-13.

Tabla 2-13 Características de estaciones meteorológicas DMC en la cuenca.

Nombre Estación	Código DMC	Altura (m.s.n.m.)	Ubicación WGS 84	
			Este	Norte
Sierra Gorda-Baquedano	230901	1.034	414.011	7.419.575
Sierra Gorda-Reten	220004	1.626	467.151	7.468.406

Fuente: Elaboración propia con datos DMC.

Además, en la cuenca, existen dos estaciones de Empresas Privadas, que se encuentran en la cuenca, que se muestran a continuación en la Tabla 2-14.

Tabla 2-14 Características de estaciones meteorológicas en la cuenca de particulares

Nombre Estación	Propietario	Ubicación WGS 84	
		Este	Norte
Campamento	BHP Billiton	472.053	7.476.725
Planta Catabela	Compañía Minera Sierra Gorda	463.868	7.466.894

Fuente: Elaboración propia con datos DMC

Respecto a las variables que miden las estaciones DGA y DMC, los datos y estado, a continuación, se presenta el siguiente cuadro resumen (Tabla 2-15).

Tabla 2-15 Estado estaciones meteorológicas en la cuenca

Nombre Estación	Institución	Estado	Variables *	Cantidad años
Sierra Gorda	DGA	Vigente	P - T- H	1995-2022
Baquedano	DGA	Vigente	P - T- H	1976-2022
Quebrada el Toro	DGA	Vigente	P - T- H - V - D	2016-2022
Sierra Gorda-Baquedano	DMC	Suspendida	P - T	1963-1969
Sierra Gorda-Reten	DMC	Suspendida	P - T	1963-1969

Fuente: Elaboración propia con datos DMC

*T: Temperatura, P: Precipitación, HR: Humedad relativa, R: Radiación, V: Velocidad de viento D: Dirección del viento.

En el Anexo J-4-2 se encuentran las Fichas de Estaciones Meteorológicas del Catastro Nacional de Estaciones de la DMC.

2.5.3 Brechas en Infraestructura

Según las necesidades identificadas en la cuenca, las principales brechas de infraestructura presentes en la cuenca corresponden a:

- Necesidad de investigar y cuantificar los recursos hídricos y el clima en la cuenca, a través de una red de estaciones hidrométricas y una red de pozos de monitoreo perteneciente a la autoridad.
- Carencia de información base y análisis para contribuir a la protección de los acuíferos de la cuenca, tales como series históricas de niveles, calidad de agua subterránea.

- Necesidad de un adecuado diagnóstico y manejo de sectores vulnerables a los aluviones o crecidas de quebradas.

2.6 Nuevas Fuentes Existentes

2.6.1 Plantas desalinizadoras

En medio de una crisis hídrica sin precedentes, y ante la necesidad de contar con una seguridad para el abastecimiento de agua para la población y los diferentes rubros productivos, el desarrollo o promoción de la desalinización, en teoría, pudiera ser una alternativa sustentable, viable y económicamente competitiva que permita diversificar las fuentes de abastecimiento y asegurar el suministro de agua, es una alternativa de solución que va al alza, supeditado ello grandemente con la determinación de la no generación de impactos ambientales significativos en el territorio.

Según datos del IDE Chile, Catálogo Nacional de Información Geoespacial, se pueden visualizar en un mapa todas las plantas desaladoras del país, esta plataforma contiene información de nombre de proyecto, compañía, tipo de operación (agua potable, minería, otros) y estado de funcionamiento (operativas, en construcción, en calificación, aprobadas, en estudio, etc.) de cada una de las plantas desalinizadoras a lo largo de la costa de Chile. Para efectos del análisis de la cuenca Quebrada de caracoles es posible indicar que no hay presencia de ellas dentro del área de estudio ni operativas ni en estudio, por lo tanto, la revisión de los antecedentes de las plantas operativas y en calificación ubicadas en los alrededores de la cuenca apunta a la Región de Antofagasta o a aquellas cuya operación sea en beneficio de la población en estudio.

Actualmente en la región de Antofagasta, existen ocho plantas desaladoras para la minería y 4 plantas desalinizadoras con tecnología de osmosis inversa para el abastecimiento de agua potable. De estas últimas, la más antigua data de 1998 donde comienza la operación del primer proyecto de Agua Potable Rural (APR), con tecnología de Osmosis Inversa, para desalar agua salobre. La iniciativa se concretó en la comuna de San Pedro de Atacama, financiada con fondos del Ministerio de Obras Públicas, para abastecer la demanda local. A este proyecto a la fecha se han sumado al menos 20 más a lo largo del norte de Chile, principalmente en localidades costeras.

En 2003 comienza la operación de la planta de desalinización La Chimba de Aguas Antofagasta S.A. que hoy es la mayor planta de desalinización de agua de mar para producción de agua potable de América Latina, se ubica al norte del núcleo urbano de Antofagasta en el sector Caleta La Chimba y ha tenido actualizaciones en tecnología y

ampliaciones de sus instalaciones para dar abasto con el creciente aumento de la demanda de agua, esta planta actualmente abastece al 85% de la población de Antofagasta con agua potable, y al 100% de la población de Mejillones, , con una capacidad de 1.056 l/s. actualmente trabajan en su ampliación, hasta alcanzar los 1.600 l/s y con ello, Antofagasta pasaría a ser la ciudad de mayor población en Latinoamérica cuyo suministro de agua potable se obtenga mediante desalación de agua de mar.

En septiembre de 2020 nuevamente Aguas Antofagasta amplía su disponibilidad de agua potable proveniente del mar, con la inauguración de la Planta Desaladora de Tocopilla, que con sus 75 l/s cubrirá la demanda de sus 23 mil habitantes, entre ellos las comunidades de Sierra Gorda y Baquedano. Actualmente está en calificación un aumento en su capacidad operativa que llegaría a los 100 l/s, es la primera planta desaladora que cuenta con un respaldo de suministro a través de fuentes cordilleranas, para asegurar el abastecimiento del 100% de la población, en caso de una emergencia climática o de la naturaleza que permitirá continuar con el funcionamiento del sistema⁸.

Tras este arribo de la desalación de agua de mar, se han sucedido una serie de proyectos de desalación para la industria minera, según el catálogo de IDE serían 12 proyectos en la región de Antofagasta y se esperan nuevos proyectos de gran envergadura también en las regiones de Tarapacá y Atacama, para abordar de manera sustentable la demanda industrial y minera. En este sentido Minera Escondida tiene en operación la nueva Planta Desalinizadora EWS de la compañía, ubicada en Puerto Coloso (Antofagasta) sus características técnicas y capacidad de tratamiento, de 2.500 l/s, la sitúan como la de mayor magnitud en Latinoamérica y persigue el principal objetivo que es aumentar el consumo de agua desalinizada, incrementar la recuperación del recurso desde sus procesos y reducir gradualmente el uso de acuíferos como fuente de obtención de este insumo crítico.

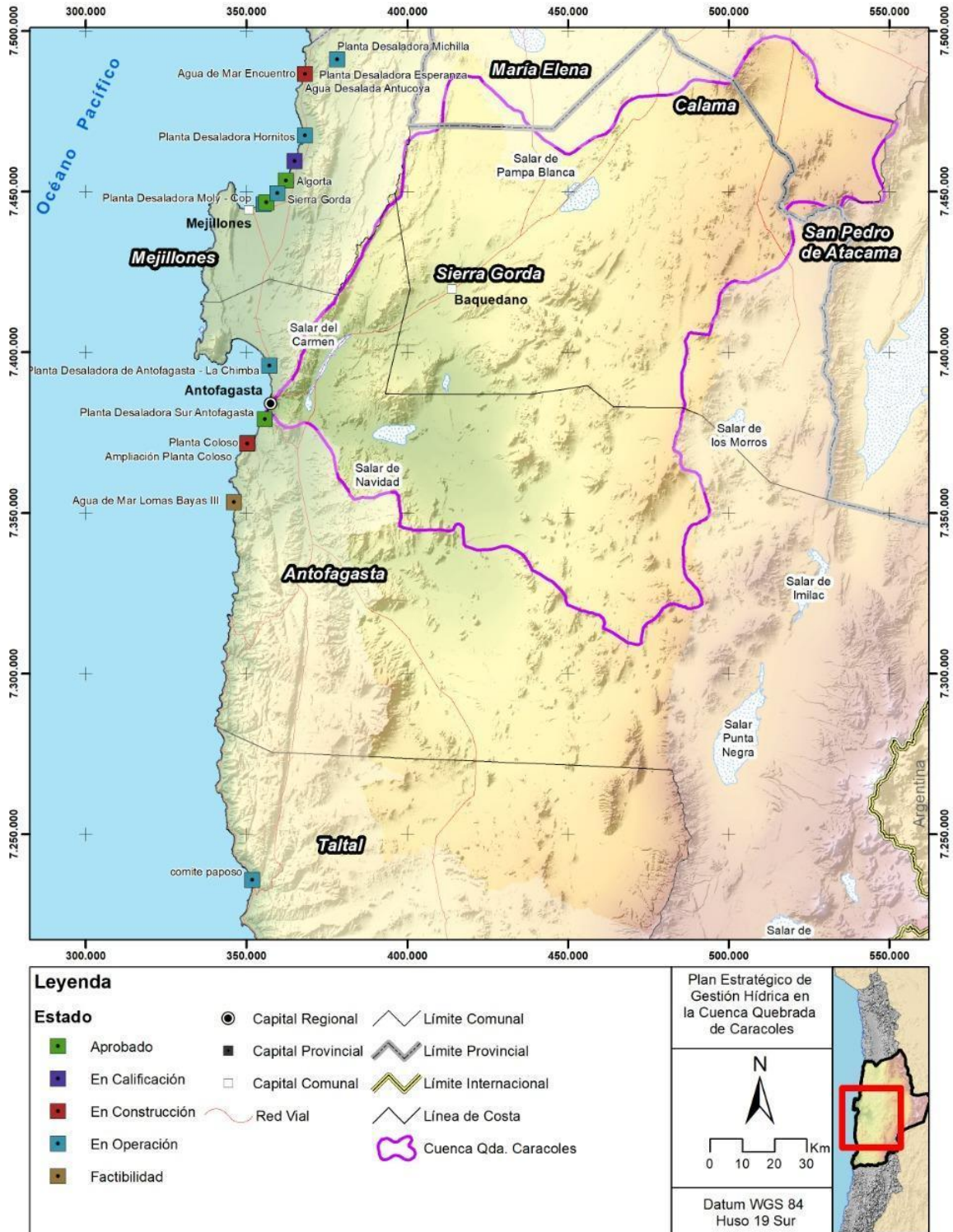
En la Tabla 2-16 se presentan las plantas desaladoras existentes y en prospección para la región de Antofagasta, en ella se especifica nombre del proyecto, capacidad de desalación en L/s, la tercera columna corresponde a la capacidad de impulsión de agua de mar en l/s, luego se indica el rubro específico en la que se utiliza el agua desalada y finalmente su estado del proyecto, es decir si se encuentran en operación, en construcción, en calificación, aprobadas o en etapa de factibilidad.

⁸ <http://www3.aguasantofagasta.cl/DESALAR/index.html>

Tabla 2-16 Plantas desalinizadoras en la Región de Antofagasta.

NOMBRE PROYECTO	Capacidad de desalación (l/s)	Capacidad de impulsión de agua de mar (l/s)	RUBRO	ESTADO
Planta Desaladora Moly - Cop	3,2	0	Acero	Aprobado
Planta Desaladora Sur Antofagasta	1000	0	Agua Potable	Aprobado
Planta Desaladora Tocopilla	200	0	Agua Potable	En Calificación
Planta Desaladora de Antofagasta - La Chimba	602	0	Agua Potable	En operación
Planta Desaladora Hornitos	375	0	Agua Potable	En operación
Comité Paposo	1,4	0	Agua Potable	En operación
Planta Desaladora RT Sulfuros Fase II	1950	0	Cobre	En Calificación
Ampliación Planta Coloso	2500	0	Cobre	En Construcción
Agua de Mar Encuentro	20	115	Cobre	En Construcción
Planta Coloso	525	0	Cobre	En operación
Planta Desaladora Michilla	75	23	Cobre	En operación
Planta Desaladora Esperanza	50	1500	Cobre	En operación
Las Cenizas Taltal - Las Luces	9,3	12	Cobre	En operación
Mantos de La Luna	0	78	Cobre	En operación
Sierra Gorda	63	0	Cobre	En operación
Agua Desalada Antucoya	280	20	Cobre	En operación
Agua de Mar Lomas Bayas III	0	500	Cobre	Factibilidad
Algorta	0	400	Yodo	Aprobado

La distribución espacial de las plantas desalinizadoras dentro de la cuenca se presenta en la Figura 2-15.



Fuente: Elaboración propia.
Figura 2-15 Distribución espacial de las Plantas desalinizadoras Cuenca Quebrada Caracoles.

2.6.2 Brechas

Una problemática identificada corresponde a que la población de Baquedano señala encontrarse insatisfecha con el cambio en el origen del abastecimiento de agua potable. Antes la empresa de ferrocarriles Ferronor les proporcionaba agua del río Silala y ahora reciben agua desalada de Aguas Antofagasta, menciona que además de presentar mal sabor el servicio presenta intermitencia en el abastecimiento, situación que antes no ocurría. Frente a esta situación existe una falta de información y estudios que transparenten el proceso de cambio de fuente de abastecimiento, datos históricos de calidad de aguas percibidas por la localidad de Baquedano, para así generar información que permita visualizar un antes y después con los beneficios y perjuicios del cambio de fuente.

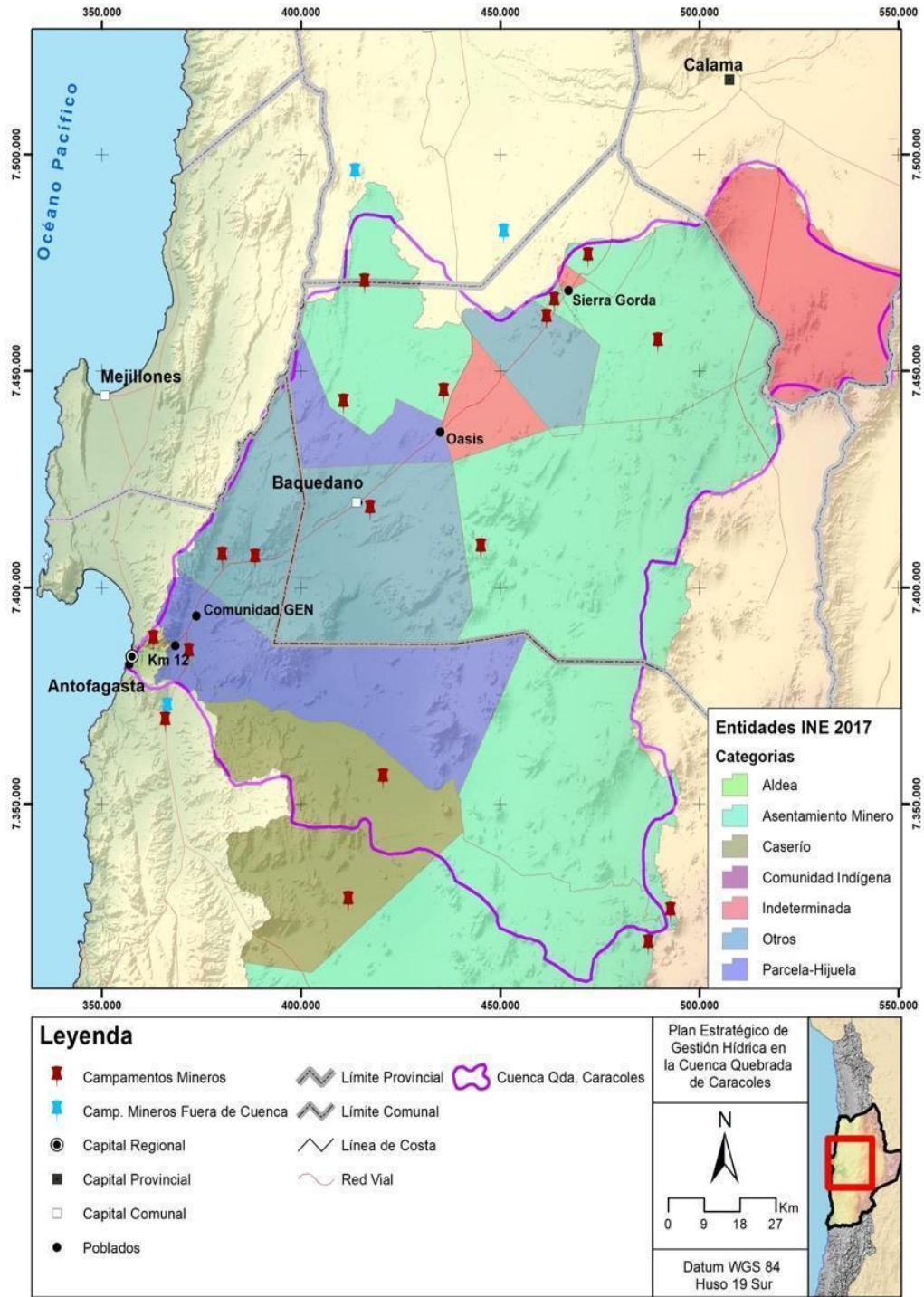
Por otra parte, no puede dejarse de lado en este análisis a la creciente demanda que existe en tanto en la cuenca Quebrada de Caracoles como en la región de Antofagasta producida principalmente por la intensa actividad minera que caracteriza a este territorio, además de la necesidad de abastecimiento de agua potable para la población. Producto de la crisis hídrica actual que afecta no solo a la región si no que al mundo entero, se ha presentado esta nueva fuente de agua como una de las principales soluciones a la escasez del recurso, lo que ha desencadenado desde hace algunos años una explosión de proyectos de instalación de plantas desalinizadoras en la zona norte del país, sin embargo no existen estudios que den cuenta de los impactos ambientales que podría tener la instalación de una gran cantidad de desaladoras en la zona costera y sus efectos sobre las zonas costeras y el fondo marino producto de los residuos que se generan durante el proceso de desalación. Si bien un impacto ambiental negativo en la zona costera y marítima no afecta directamente la calidad y cantidad de aguas de la cuenca, se debe tener en cuenta que las soluciones propuestas para atacar el problema del abastecimiento de agua en una zona no se realicen sin considerar los efectos que puedan surgir en desmedro de otros ecosistemas⁹. Por otra parte, en términos hidrológicos es necesario cuantificar el agua que ingresa a la cuenca y cómo esto afectaría a al balance hídrico, además de la reposición y recarga de los acuíferos.

2.7 Caracterización sociocultural

La cuenca "Quebrada Caracoles" comprende gran parte de la comuna de Sierra Gorda y un sector interior de la comuna de Antofagasta, así como también algunos sectores deshabitados de las comunas de María Elena por el norte y Calama en su límite. Sus

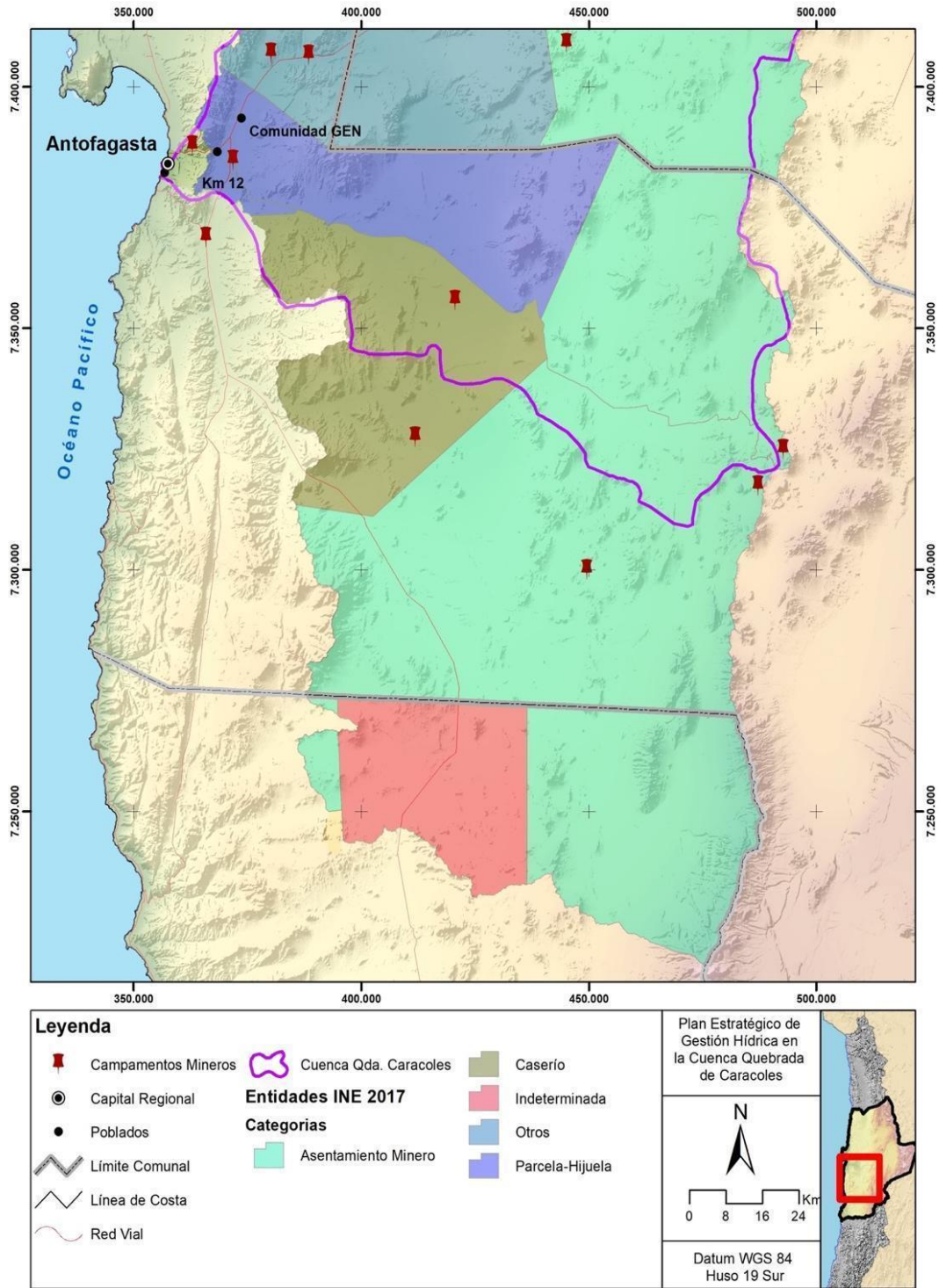
⁹Skewes, F. Autorización ambiental para actividades de desalinización de agua de mar. Revista de derecho ambiental, año V N°7 (2017), pp.35-37. Disponible en: <http://www.derecho.uchile.cl/cda>

principales centros poblados son Sierra Gorda (477 hab.), Baquedano (858 hab.) y parte de la ciudad de Antofagasta (100.000 hab. aprox.), así como también los campamentos mineros: Spence (510 hab.), Sierra Gorda SCM (1.643 hab.), Centinela/ Tesoro / Esperanza (4.789 hab.), y Lomas Bayas (596 hab.) en la comuna de Sierra Gorda. Además de SQM-Salar El Carmen (1.438 hab.), Zaldívar (1.215 hab.) y Escondida (4.000 hab.) en la comuna de Antofagasta según los datos del Censo 2017. Destacamos la comunidad GEN que habita el sector de Estación Uribe desde mediados de los '80, con el fin de hacer reverdecer el desierto; actualmente viven 4 personas de manera permanente, pero es un lugar que es visitado constantemente por colegios y por habitantes de la ciudad de Antofagasta (PAC, 2021). En la Figura 2-16 y Figura 2-17 se muestra el emplazamiento de los centros poblados, los campamentos mineros y las entidades censales de los sectores norte y sur de la cuenca respectivamente.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de INE (2017) y DGA (2010).

Figura 2-16 Detalle de Centros Poblados, Asentamientos Mineros y Límites Censales en el sector Norte de la Cuenca Quebrada Caracoles.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de INE (2017) y DGA (2010).
Figura 2-17 Asentamientos Mineros y Límites Censales en el sector Sur de la cuenca Quebrada Caracoles.

2.7.1 Caracterización Comuna de Sierra Gorda

La comuna de Sierra Gorda fue creada oficialmente en 1980, y su fama se debe al paso del “Longino”, nombre popular del ferrocarril Longitudinal Norte, construido por el Estado (actual Ferronor), uniendo tramos de ferrocarriles particulares como el Ferrocarril Antofagasta – Bolivia o FCAB (IMSG, 2020).

La comuna de Sierra Gorda presenta un importante aumento poblacional en el año 2017, que coincide con la llegada a la zona del consorcio canadiense Quadra Mining que anuncia el descubrimiento de importantes reservas de óxido de cobre y molibdeno, en el marco de su proyecto “Sierra Gorda” (IMSG, 2020).

El desarrollo de la comuna de Sierra Gorda se ve favorecido por la “identidad cultural pampina”, que se caracteriza por su adaptación a un hábitat desértico, seco, polvoroso y con una dinámica cultural habituada al constante tránsito de personas, donde conviven la trashumancia con el establecimiento esporádico y/o permanente, conformando una identidad cultural ligada a la industria minera que reúne la mayor cantidad de trabajadores, seguida por la construcción, la administración pública y la hotelería (IMSG, 2020).

La comuna de Sierra Gorda tiene dos centros poblados, Sierra Gorda y Baquedano, distantes 74 km entre sí. Por décadas, vivieron del suministro de agua existente en las estaciones de trenes del FCAB y que es transportada desde el río Silala (PAC, 2021). Para el Estado era difícil justificar la inversión necesaria para instalar un sistema de alcantarillado y agua potable en una comuna de estas características. Sin embargo, el año 2014 fueron inauguradas las plantas de tratamiento de aguas servidas y estanques de agua en Baquedano y Sierra Gorda, gracias al aporte de tres empresas mineras que operan en los alrededores (Spence, Sierra Gorda SCM y Antofagasta Minerals) y que hoy son administradas por Aguas Antofagasta¹⁰.

Los principales poblados urbanos de la comuna son Baquedano (858 hab.) y Sierra Gorda (477 hab.), a lo que habría que sumar el poblado rural de Oasis (11 hab.). Adicionalmente están las antiguas estaciones de trenes y las salitreras de Chacabuco y Cerrillos. Sin embargo, las mayores concentraciones de población se encuentran en los campamentos de las empresas, siendo las más grandes Centinela/El Tesoro/Esperanza y

¹⁰ <https://www.aminerals.cl/comunicaciones/noticias/2015/agua-potable-para-sierra-gorda-y-baquedano/>

Sierra Gorda (SGSCM). Otros campamentos mineros importantes son Lomas Bayas, Spence, SQM-Pampa Blanca, Algorta y Astudillo. Todos estos distintos asentamientos humanos conforman el actual panorama social de la zona norte de la cuenca Quebrada Caracoles.

2.7.1.1 Localidad de Baquedano

El Poblado de Baquedano está indisolublemente ligado a su pasado ferrocarrilero y al antiguo esplendor de la industria salitrera. En 1889, Ferrocarriles del Estado, inició el estudio para el trazado de una línea férrea de Cabildo a Iquique, de ello derivó que en el punto de encuentro con el Ferrocarril de Antofagasta a Bolivia (FCAB) se instalara una estación, a 72 km de Antofagasta, la que en 1910 recibió el nombre de Estación Baquedano. Sus habitantes tienen la visión de que “todo tiempo pasado fue mejor” y que la riqueza del cobre les ha llegado de manera marginal (IMGS, 2015).

La evolución demográfica de la localidad ha sido impactada por distintos hechos históricos como el cierre de las oficinas salitreras, lo que incrementó la población por un proceso de inmigración. Por otro lado, durante la década de 1970 se registró una importante baja en el transporte de pasajeros y carga a través de ferrocarriles, lo que generó el retroceso en el desarrollo económico de la localidad y una emigración de parte importante de su población, permaneciendo solamente aquellos que prestaban servicios directos al ferrocarril o a las personas que transitaban por la Panamericana.

La localidad sobrevivió, durante décadas, prestando servicios a los vehículos que transitaban por la Ruta 5 Norte, entregando alimentación, alojamiento y/o abastecimiento, convirtiéndose en una parada obligada para quienes se movilizaban entre Antofagasta y Calama. Tal intercambio ha disminuido desde que comenzó a operar el bypass de la Ruta 5, impactando en la actividad comercial (IMSG, 2020). Sin embargo, el descubrimiento y explotación de grandes yacimientos mineros hacia 1997 produjo un cambio radical en la dinámica productiva de la localidad de Baquedano, convirtiéndose en un lugar obligado de paso y de servicios para la actividad económica emergente, revirtiendo el proceso migratorio de los jóvenes y generando la llegada de nueva población y familias.

La localidad de Baquedano también cae dentro de la tipología de Aldea. Tiene un total de 203 viviendas y 858 habitantes, de los cuales 85 declaran ser parte de Pueblos Originarios (INE, 2017).

Según el PLADECO (2020) la localidad de Baquedano tiene 16 organizaciones territoriales y/o funcionales, destacando las Juntas de Vecinos N°1 y N°3, presididas por

Graciela Vega y Osvaldo Torres respectivamente, la Agrupación Artística Cultural Sergio Vega Fernández presidida por Esmirna Campos, y el Club Adulto Mayor Baquedano presidida por Gladys Urquieta (IMSG, 2020; PAC,2021).

2.7.1.2 Localidad de Sierra Gorda

El pueblo de Sierra Gorda surgió como un caserío minero ubicado en las proximidades del legendario mineral de plata “Caracoles”, también conocido como “La California del Sur” o la “California de Antofagasta” descubierto en 1870 por José Díaz Gana.

Actualmente, la Minera Centinela, en conjunto con el municipio de Sierra Gorda, buscan distintas formas de ir rescatando el patrimonio y la historia de Caracoles, destacando especialmente el Cementerio y el Mausoleo de Bomberos de alto valor patrimonial para la comunidad (Antofagasta Minerals, 2022)¹¹. Por su parte, la Corporación Caminantes del Desierto destaca el valor patrimonial de la mina de plata de Caracoles, y plantea la necesidad de realizar actividades de preservación y restauración ambiental en la quebrada del Arriero y en la aguada de los Ratonos ubicadas en las cercanías de Caracoles (PAC, 2021).

En los últimos años, la pequeña localidad rural de Sierra Gorda se ha visto sobrepasada por una población flotante que satura todos los servicios básicos. Según el PLADECO (2020) la localidad de Sierra Gorda tiene 14 organizaciones territoriales y/o funcionales, destacando las Juntas de Vecinos N°2 y N°3 de Sierra Gorda, cuyos dirigentes señalaron no poder o no querer participar del presente estudio.

2.7.1.3 Sector Oasis

Otro sector ocupado por antiguas salitreras y actuales campamentos mineros es el sector de Oasis, en cuyas inmediaciones se ubican la Salitrera de Chacabuco y los campamentos mineros de SQM-Pampa Blanca y Algorta Norte. De acuerdo con el Censo 2017, el caserío de Oasis registró 11 personas, mientras que los campamentos de SQM y Algorta sumaron 223 habitantes, mayoritariamente hombres (209 personas).

2.7.1.4 Sector Lomas Bayas

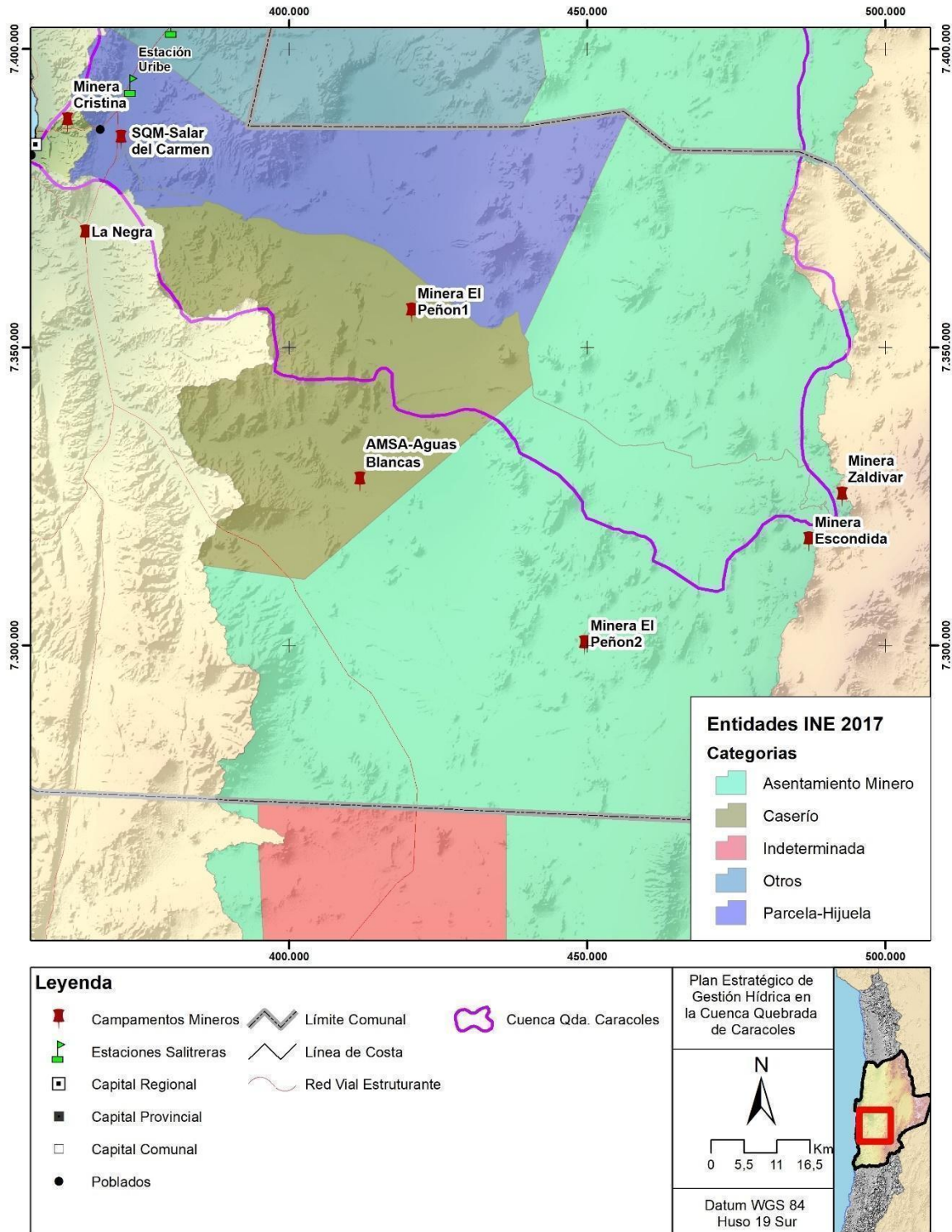
El campamento minero de Lomas Bayas registró 596 personas en el Censo 2017, de los cuales 531 eran hombres (INE, 2017).

¹¹ <https://www.aminerals.cl/comunicaciones/noticias/2016/el-fabuloso-caracoles-y-la-ciudad-del-aire/>

2.7.2 Caracterización Comuna de Antofagasta

Antofagasta surge como un campamento minero perteneciente a Bolivia, albergando a grupos de hombres atraídos por las explotaciones de plata, salitre y cobre. Don Juan López es reconocido por haber sido el primer poblador que se instaló junto a su familia en el año 1866, quién junto a un pequeño grupo de trabajadores se dedicarían a la extracción de cobre. Don José Santos Ossa, también destaca entre los personajes históricos de Antofagasta, fue el primero en explotar el Salitre, específicamente en el Salar del Carmen, al adquirir una concesión del gobierno de Bolivia en 1866 (CMZ, 2018).

Los principales asentamientos humanos al interior de la cuenca quebrada de Caracoles, y ubicados en la comuna de Antofagasta, son el "sector centro" de la ciudad de Antofagasta, el sector denominado Km. 12, la Comunidad GEN ubicada en la Estación Uribe, y los campamentos mineros de las empresas SQM-Salar del Carmen, El Peñón, AMSA-Aguas Blancas, Zaldívar (CMZ) y Escondida (MEL); estos últimos ubicados en los márgenes suroriente de la cuenca (INE, 2017) (ver Figura 2-18).



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de INE (2017) y DGA (2010).

Figura 2-18 Localidades, Asentamientos Mineros y Límites Censales en la Comuna de Antofagasta - Cuenca quebrada Caracoles.

En términos demográficos destaca el sector centro de la ciudad de Antofagasta que posee una población que supera las 140.000 personas, como ya se señaló anteriormente. Le siguen en cantidad de habitantes el campamento de la Minera Escondida que junto al campamento Minera El Peñón registraron un total de 4.000 personas. Otros asentamientos importantes son el sector del Km.12 o Salar del Carmen, actualmente una zona industrial que registró 1.438 personas y finalmente el campamento de Minera Zaldívar con 1.215 personas (INE, 2017).

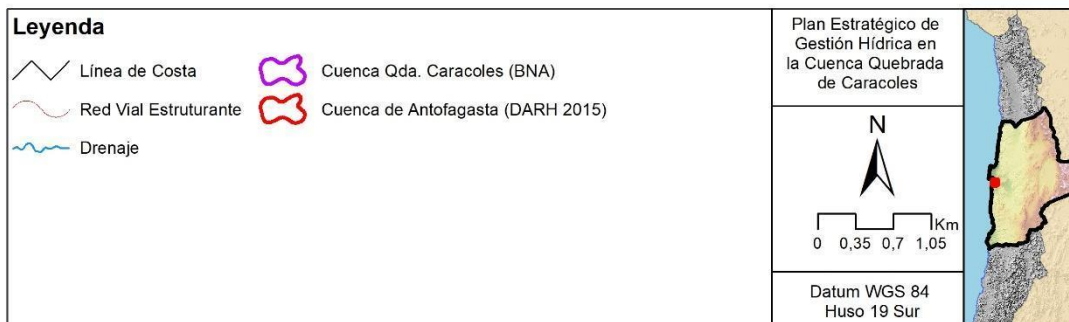
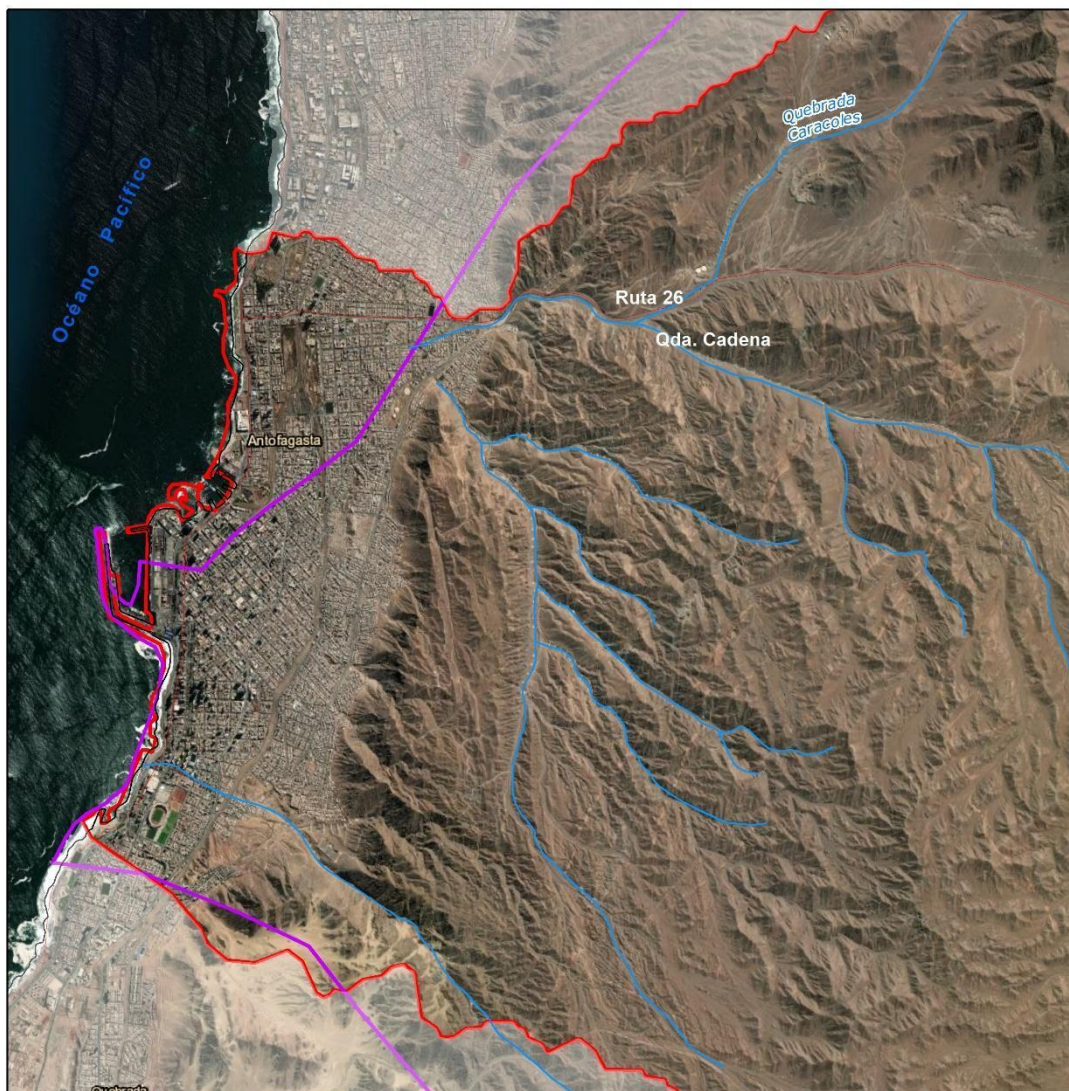
Mención especial merece la Comunidad GEN (Figura 2-19), actualmente Corporación GEN, que habita el sector de la Estación Uribe. Un proyecto que nace con el propósito de probar que se puede "domesticar" el desierto y volverlo sombreado y verde, y, por otra, cultivar la amistad y la fraternidad en una atmósfera limpia de contaminación y libre del ruido incesante de la ciudad. Según su presidente, Alfredo Chau, actualmente viven de manera permanente 4 personas, en un predio de 12 hectáreas de Bienes Nacionales. La principal fuente de agua de esta comunidad proviene de FCAB, quien les vende agua proveniente del río Silala (frontera con Bolivia) hasta una cantidad máxima de 251 m³; en caso de consumir mayor volumen el precio del m³ de agua se multiplica por 3 aproximadamente (PAC, 2021; Corporación GEN, 2022).



Fuente: Comunidad Gen.

Figura 2-19 Oasis Artificial Corporación GEN – Estación Uribe.

Adicionalmente, destacamos la desembocadura de la cuenca quebrada Caracoles en la ciudad de Antofagasta junto con la quebrada Cadena, en el sector donde ingresa la ruta CH-26 (ver Figura 2-20).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-20 Desembocadura de la cuenca quebrada Caracoles en la ciudad de Antofagasta.

En esta misma área confluyen una serie de quebradas costeras menores, todas ellas con medidas de mitigación establecidas con posterioridad a los aluviones del 18 de junio de 1991 que dejaron 91 muertos, 19 desaparecidos, 700 casas con destrucción total, 4.000 casas con daños severos, 20.000 damnificados y pérdidas por U\$71 millones (www.cigiden.cl). Uno de los sectores más afectados por el aluvión de 1991 fue la Villa El Salto en Antofagasta, y cuyas piscinas aluvionales son actualmente usadas como basural (PAC, 2021). Además, se observa la construcción de campamentos en las desembocaduras de estas quebradas y estructuras habitacionales al interior de las piscinas aluvionales, siendo lugares de riesgo tal como lo demuestran los registros fotográficos (ver Figura 2-21).



Sector Céntrico de Antofagasta después del Aluvión de 1991.



Piscina de Decantación de Aluviones Habitadas en La Cadena, 2021.

Fuente: CIGIDEN, 2021

Figura 2-21 Peligros Aluvionales en la desembocadura de la Cuenca Quebrada Caracoles - Ciudad de Antofagasta.

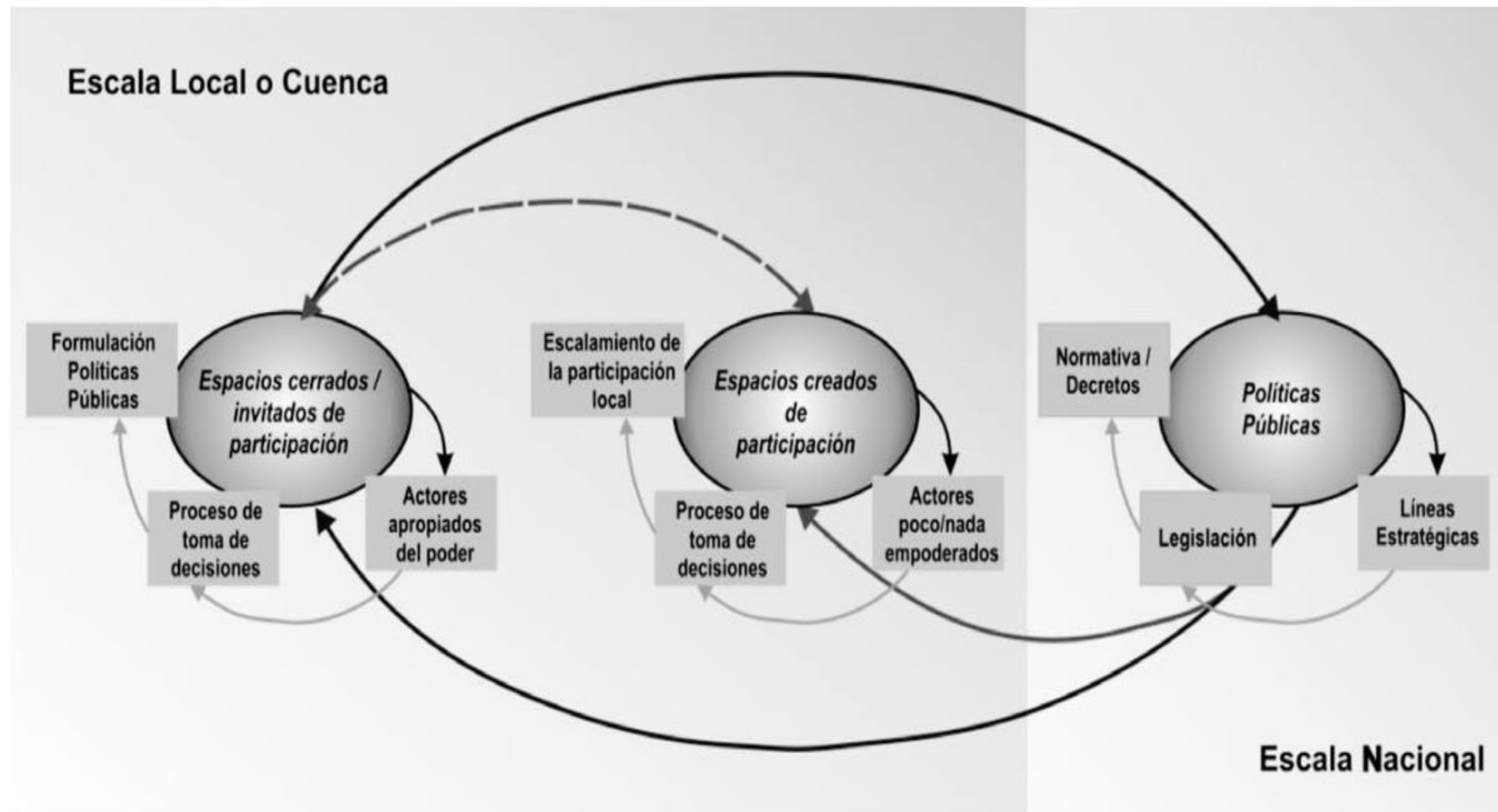
2.8 Gobernanza del agua a nivel cuenca

2.8.1 Gobernanza del agua en la cuenca

A partir de la revisión bibliográfica realizada a los diferentes procesos de participación ciudadana en la gestión hídrica de la cuenca, y de las experiencias nacionales e internacionales publicadas, se presentan los elementos centrales que componen o deben estar presente en un modelo de gobernanza de una cuenca.

Se entiende por Gobernanza del agua como la capacidad institucional de un país para involucrar al sector público, a los agentes productivos y a la ciudadanía en una adecuada formulación e implementación de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH). En tal sentido, puede decirse que la Gobernanza del agua es una forma participativa y legitimada socialmente de resolución de conflictos entre las distintas

prioridades sociales, culturales, económicas, ambientales y políticas sobre el uso del recurso hídrico. Un conjunto de reglas, prácticas y procesos en los cuales se toman e implementan las decisiones, enfatizando que los tomadores de decisiones son responsables y deben rendir cuentas. Considerando que el agua vincula distintos sectores, lugares y personas, en aspectos tan importantes como salud, medio ambiente, agricultura, energía y la planificación espacial, entre otros aspectos, es que se requiere de una gobernanza multinivel con buena coordinación para mitigar su fragmentación (OCDE, 2015). Una propuesta de modelo con integración multinivel se observa en la Figura 2-22, donde a nivel horizontal los actores marginales son integrados, y las preocupaciones de la cuenca suben al nivel nacional.



Fuente: Retamal, 2013.

Figura 2-22 Modelo de Integración Multinivel.

En Chile, la Convención Constitucional en su borrador (14.05.2022) ha propuesto una gobernanza del agua participativa y descentralizada a través de los Consejos de Cuenca, sin detallar su composición, funcionamiento ni atribuciones. Sin embargo, establece que deberá considerar, a lo menos, la presencia de los titulares de autorizaciones de aguas (actualmente los titulares de Derechos de Aprovechamiento de Agua), la sociedad civil y las entidades territoriales presentes en la cuenca, velando que ningún actor pueda alcanzar el control por sí solo (art. 311). Actualmente, el Ministerio del Medio Ambiente liderar la coordinación de un “Comité Interministerial de Transición Hídrica Justa”, integrado por los ministerios de Minería, Obras Públicas, Agricultura, Energía y Ciencia, que incluye entre sus ejes temáticos los nuevos Consejos de Cuenca ya señalados por el borrador de nueva Constitución (<https://agua.mma.gob.cl>). A continuación, se presenta una propuesta de los Consejos de Cuencas, presentada por la Ministra de MMA Maisa Roja a la comisión de recursos hídricos de la Cámara de Diputados (Figura 2-23).



Fuente: “Política Interministerial Crisis Hídrica”, Cámara de Diputados 1/6/2022.¹²

Figura 2-23 Propuesta Consejos de Cuenca.

En este modelo se propone un organismo integrado por los titulares Derechos de Aprovechamiento de Agua (DAA) agrupados en Organizaciones Usuarios de Agua (OUA) y

¹² https://www.camara.cl/verDoc.aspx?prmID=252287&prmTipo=DOCUMENTO_COMISION

los Servicios Sanitarios Rurales (SSR) señalados por el nuevo Código de Agua (Ley 21.435 / 2022), las autoridades políticas territoriales electas (GORE y Municipalidad), la sociedad civil sin DAA que se relaciona con el bien común y el interés público, los actores privados o empresas, el mundo académico y los servicios públicos que cumplen las funciones de regulación y/o fiscalización. Un organismo de cuenca que contará con la legitimidad, la información y la capacidad técnica - legal para tomar decisiones desde los territorios e implementar políticas desde los servicios públicos.

Según este modelo, estos Consejos de Cuenca contarán con el apoyo de una Secretaría Técnica que permitirá vincular este organismo con la Autoridad Regional de Cuencas integrado por los Secretarios Regionales Ministeriales y la DGA Regional respectiva. Este último tiene entre sus funciones hacer el seguimiento y cumplimiento de los PEGH, promover la gestión hídrica, la seguridad hídrica, mantener la información hídrica y representar a la cuenca frente al ejecutivo. Cabe señalar, que el conocimiento y la información son la base que sustenta la gobernanza, por lo tanto, el énfasis no debe estar solo en el levantamiento de datos, sino también en los servicios de acceso y en la forma en que se presentan y comparten dichos datos. Es decir, resulta fundamental que los distintos actores involucrados puedan comprender la información, de manera que les resulte útil en los procesos de toma de decisión (BM, 2021).

2.8.2 Agentes que Participan en la Gobernanza del Recurso Hídrico

Para la identificación de los actores claves en la cuenca Quebrada Caracoles, se consideraron preliminarmente los procesos participativos de los planes previos "Plan Estratégico de Gestión de Recursos Hídricos de la Región de Antofagasta" (Arcadis, 2016) y el "Diagnóstico Plan Estratégico para la Gestión de los Recursos Hídricos, Región de Antofagasta" (Arrau Ingeniería, 2012), complementados con la información recopilada en los procesos de Participación Ciudadana del presente PEGH (Anexo I: PAC), y la revisión bibliográfica de fuentes secundarias especializadas y de medios de comunicación. Estos actores fueron agrupados según la propuesta tipológica elaborada para los nuevos Consejos de Cuencas:

i. OUA y SSR:

- No existe OUA solo titulares de DAA, son aproximadamente 34 titulares que poseen 139 derechos constituidos por 827 l/s. Entre los

principales dueños destacan las empresas Compañía Minera Picacho de CODELCO (75,8 l/s) y SQM (68,3 l/s).

- La única empresa sanitaria es Aguas Antofagasta que abastece a la ciudad de Antofagasta y a las localidades de Baquedano y Sierra Gorda. Esta empresa no obtiene agua en cuenca sino de afluentes del río Loa y de la planta desaladora "La Chimba".
- Otra fuente de agua es el Ferrocarril Antofagasta Bolivia (FCAB) quien abastece de agua del río Silala (frontera con Bolivia) a las distintas estaciones ubicadas en la cuenca, entre ellas a la Comunidad GEN emplazada en la Estación Uribe.

ii. Actores Políticos:

- GORE Antofagasta (Gobernador y Consejeros)
- I.M. de Antofagasta (Alcalde y Concejales)
- I.M. de Sierra Gorda (Alcalde y Concejales)

iii. Sociedad Civil:

- Unión Comunal J.J.V.V.
- Mesa de buenos vecinos Sierra Gorda
- JJVV nº1 de Sierra Gorda (Baquedano)
- JJVV nº3 de Sierra Gorda (Baquedano)
- Agrupación Artística Cultural Sergio Vega Fernández (Baquedano)
- Club Adulto Mayor (Baquedano)
- JJVV nº2 de Sierra Gorda (Sierra Gorda)
- JJVV nº4 de Sierra Gorda (Sierra Gorda)
- JJVV Villa El Salto (Antofagasta)
- Comunidad GEN (Estación Uribe)
- Asociación Indígena de Regantes y Agricultores del Km.12 (Antofagasta)
- Corporación Ecológica y Cultural "Caminantes del Desierto" (Antofagasta)

iv. Privados o Empresas:

- Minera Lomas Bayas
- SQM – Pampa Blanca y Salar del Carmen

- Minera Escondida MEL
- CODELCO - Compañía Minera Picacho SCM
- Compañía Minera Centinela (El Tesoro y Esperanza)
- Compañía Minera Sierra Gorda SCM
- Compañía Minera Spence
- Compañía Minera Algorta Norte
- Compañía Minera Mantos Cooper
- Compañía Minera Meridian - El Peñón
- Compañía Minera Antofagasta Minerals (AMSA) -Aguas Blancas
- Compañía Minera Xtratras Copper Chile
- Asociación de Industriales de Antofagasta
- Empresa de Transporte Ferroviario S.A. (FERRONOR)
- Cámara de Comercio
- Federación de Agropecuario desierto de Atacama

v. Academia:

- CREA Centro Regional de Estudios y Educación Ambiental - Universidad de Antofagasta (UA)
- CEITSAZA – Universidad Católica del Norte (UCN)
- Universidad Arturo Prat
- GEF- Global Environmental Fund

vi. Actores Públicos:

- DGA Nacional
- SEREMI-MOP Antofagasta
- DGA-MOP Antofagasta
- SISS-MOP Antofagasta
- DOH-MOP Antofagasta
- SEREMI-MINAGRI Antofagasta
- CNR-MINAGRI Antofagasta
- INDAP-MINAGRI Antofagasta
- SAG-MINAGRI Antofagasta
- CONAF-MINAGRI Antofagasta
- SEREMI-MMA Antofagasta
- SEA-MMA Antofagasta

- SMA Antofagasta
- CONADI-MDSyF Antofagasta
- Min. Minería Antofagasta
- MINVU Antofagasta
- MINSAL Antofagasta
- Min. de Economía, Fomento y Turismo Antofagasta
- ONEMI Antofagasta

2.8.3 Mapa de Actores

A continuación, en la **Tabla 2-17** se presenta la categorización de cada uno de los actores sociales relevantes identificados en la cuenca en estudio y su respectiva valoración según el grado de interés e influencia; utilizando las categorías de "Alto" y "Bajo". El grado de interés se pondera según la participación del actor en los diversos procesos participativos en relación a la gestión del agua, siendo "Alto" igual o mayor a 2 menciones y "Bajo" una sola mención en ARCADIS (2016) y/o Arrau (2012); para más detalles ver "Apéndice I-1: Recopilación de Antecedentes PAC". Mientras que el grado de influencia se establece según el grado de relación del actor con los recursos hídricos y su gestión en la cuenca, utilizando la distinción del Banco Mundial (BM,2013)¹³ entre organismos líderes y operativos en la gestión hídrica como la DGA, la DOH o los propietarios de los DAA (valor "Alto"), y organismos de apoyo como lo son los Municipio, SAG, MINSAL y SERVIU (valor "Bajo"), entre otros.

¹³ Banco Mundial. 2013. Estudio para el mejoramiento del marco institucional para la gestión del agua. Unidad de Ambiente y Aguas Departamento de Desarrollo Sostenible Región para América Latina y el Caribe. Elaborado junto con el Gobierno de Chile.

Tabla 2-17 Grado de Interés e Influencias de los Actores.

Actor (participación)	Interés	Influencia
Unidad de Organización de Usuarios de Aguas y Eficiencia Hídrica - DGA Nacional (2012x1)	Bajo	Alto
MOP Antofagasta (2016x1)	Bajo	Bajo
DGA MOP Antofagasta (2016x3)	Alto	Alto
DOH MOP Antofagasta (2016x1) (2012x1)	Alto	Alto
Dirplan MOP Antofagasta (2016x1)	Bajo	Bajo
Arquitectura MOP Antofagasta (2016x1)	Bajo	Bajo
SISS Antofagasta (2016x1) (2012x1)	Alto	Alto
MINAGRI Antofagasta (2016x1)	Bajo	Bajo
CNR MINAGRI Antofagasta (2016x1) (2012x1)	Alto	Alto
INDAP MINAGRI Antofagasta (2012x1)	Bajo	Bajo
SAG MINAGRI Antofagasta (2016x1)	Bajo	Bajo
CONAF MINAGRI Antofagasta (2016x1)	Bajo	Bajo
MMA Antofagasta (2016x3) (2012x2)	Alto	Alto
SEA MMA Antofagasta (2012x1)	Bajo	Bajo
SMA Antofagasta (2016x1)	Bajo	Bajo
CONADI MDSyF Antofagasta (2012x2)	Alto	Bajo
Min. Minería Antofagasta (2016x2) (2012x1)	Alto	Bajo
MINVU Antofagasta (2016x1)	Bajo	Bajo
Min. de Salud Antofagasta	Bajo	Bajo
Min. de Economía, Fomento y Turismo de Antofagasta	Bajo	Bajo
ONEMI Antofagasta (2016x1) (2012x2)	Alto	Alto
GORE Antofagasta - Consejeros de OOPP, Salud y/o MMAA (2016x1) (2012x1)	Alto	Bajo
I.M. de Antofagasta - Concejales (2016x1)	Bajo	Bajo
I.M. de Sierra Gorda	Bajo	Bajo
Aguas Antofagasta (2016x2)	Alto	Alto
Minera Lomas Bayas (2016x1) (2012x2)	Alto	Bajo

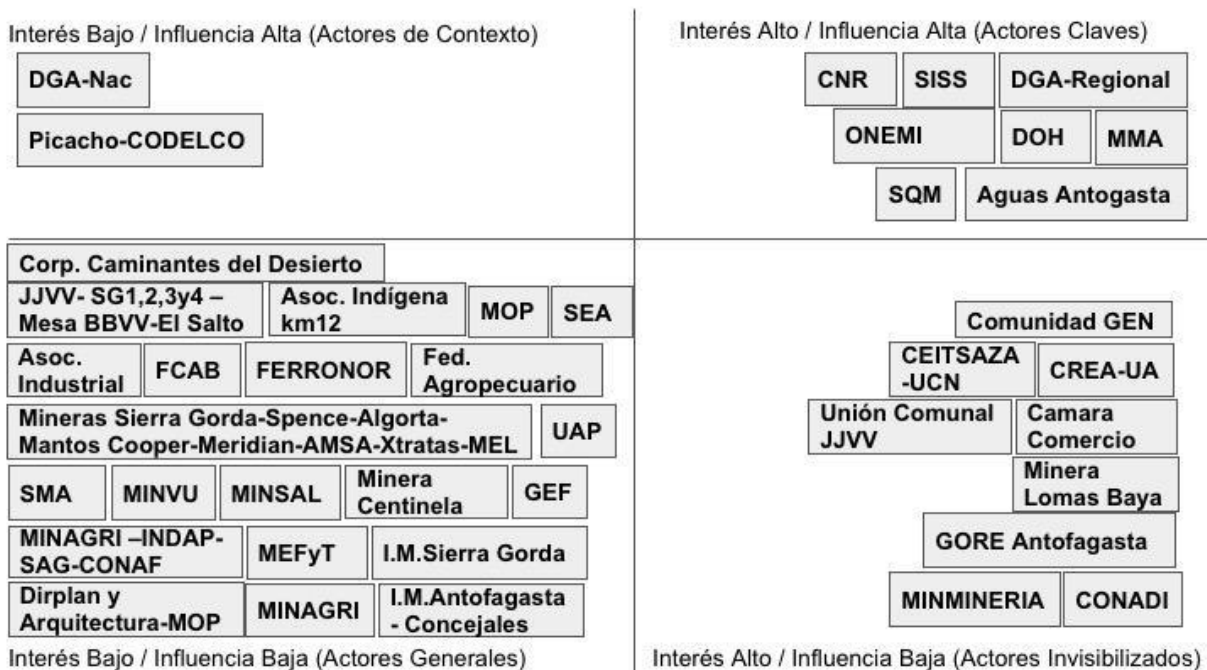
Tabla 2-17 Grado de Interés e Influencias de los Actores.

Actor (participación)	Interés	Influencia
SQM – Pampa Blanca y Salar del Carmen (2016x2) (2012x2)	Alto	Alto
Minera Escondida MEL (2016x1)	Bajo	Bajo
CODELCO - Compañía Minera Picacho SCM	Bajo	Alto
Compañía Minera Centinela (El Tesoro y Esperanza) (2012x1)	Bajo	Bajo
Compañía Minera Sierra Gorda SCM	Bajo	Bajo
Compañía Minera Spence	Bajo	Bajo
Compañía Minera Algorta Norte	Bajo	Bajo
Compañía Minera Mantos Cooper	Bajo	Bajo
Compañía Minera Meridian - El Peñón	Bajo	Bajo
Compañía Minera Antofagasta Minerals (AMSA) -Aguas Blancas	Bajo	Bajo
Compañía Minera Xtratras Copper Chile	Bajo	Bajo
Asociación de Industriales de Antofagasta (2012x1)	Bajo	Bajo
Ferrocarril Antofagasta Bolivia FCAB (2016x1)	Bajo	Bajo
Empresa de Transporte Ferroviario S.A. (FERRONOR)	Bajo	Bajo
Cámara de Comercio (2016x2)	Alto	Bajo
Federación de Agropecuario desierto de Atacama	Bajo	Bajo
Unión Comunal J.J.V.V. (2016x2)	Alto	Bajo
Mesa de buenos vecinos Sierra Gorda	Bajo	Bajo
JJVV nº1 de Sierra Gorda (Baquedano)	Bajo	Bajo
JJVV nº4 de Sierra Gorda (Baquedano)	Bajo	Bajo
JJVV nº2 de Sierra Gorda (Sierra Gorda)	Bajo	Bajo
JJVV nº3 de Sierra Gorda (Sierra Gorda)	Bajo	Bajo
JJVV Villa El Salto de Antofagasta	Bajo	Bajo
Asociación Indígena de Regantes y Agricultores del Kilómetro 12 de Antofagasta.	Bajo	Bajo

Tabla 2-17 Grado de Interés e Influencias de los Actores.

Actor (participación)	Interés	Influencia
Corporación Ecológica y Cultural Caminantes del Desierto	Bajo	Bajo
CREA Centro Regional de Estudios y Educación Ambiental - Universidad de Antofagasta (2016x2)	Alto	Bajo
CEITSAZA UCN (2016x3)	Alto	Bajo
Universidad Arturo Prat (2016x1)	Bajo	Bajo
GEF- Global Environmental Fund (2016x1)	Bajo	Bajo

A partir de la valoración de los grados de influencia e interés de los actores sociales relevantes identificados, se elaboró una representación visual (Figura 2-24) de la posición de los actores identificados donde se identifican preliminarmente los actores claves, aquellos con alto nivel de interés e influencia en la gestión hídrica como la DGA, MMA, ONEMI, SISS, y CNR junto a privados que tiene un volumen importante de derechos de aprovechamientos de agua como SQM; estos actores son considerados “actores claves” o stakeholders.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-24 Diagrama Influencia / Interés de Actores Sociales en la cuenca Quebrada Caracoles.

2.8.4 Brechas de coordinación

En la presente sección se exponen las principales problemáticas, requerimientos o ideas relacionadas con coordinación entre actores vinculados a la gobernanza de los recursos hídricos en la cuenca Quebrada. Al respecto, podemos señalar que históricamente existe una percepción que la DGA hace permanentes diagnósticos y estudios para evaluar las necesidades de la población, además de planificar cómo abordar y superar esas brechas. Sin embargo, no se ha visto su aplicabilidad. Se sostiene que antes de proponer líneas de acción, se debe verificar que los estudios no han sido realizados previamente pues en algunos casos se repiten los trabajos. También aparece como relevante la fiscalización de las inversiones vinculadas al recurso hídrico.

Por su parte, la empresa Minera El Tesoro, ubicada al interior de la cuenca Quebrada Caracoles -en las cercanías de Sierra Gorda-, señaló el año 2012 que uno de los problemas que enfrentan es la falta de comunicación entre los distintos actores, tanto gobierno, como empresa privada y comunidades. Actualmente, el Gobierno Regional impulsa la “Mesa del Agua, Región de Antofagasta” creada el 1/09/2021, con el objetivo de afrontar en forma coordinada los conflictos actuales y potenciales originados por la condición natural de escasez de agua en la región de Antofagasta, potenciado, además, por la demanda

exponencial del recurso por parte de los diversos sectores productivos. Esta "Mesa del Agua, Región de Antofagasta" tiene tres instancias de participación, 1) la Mesa Ejecutiva del Agua, 2) Mesa Ampliada y 3) Mesas Temáticas; además, estará apoyada por una Secretaria Ejecutiva y una Secretaria Técnica. La Mesa Ejecutiva es una instancia resolutoria y de acuerdos conformada por 29 actores del sector público (GORE, MMA, MINAGRI, MOP, MINSAL, MEFyT, MINVU, AMRA y DGA), privado (Fed. Agropecuario Desierto de Atacama, Asoc. de Industriales), sociedad civil organizada (Pesca Artesanal, ADI Atacama La Grande, ADI Alto Loa, Comunidades de Agua, Asociación APR, COSOC) y academia (CREA y CEITSAZA); presidida por el Gobernador. La Mesa Ampliada, es una instancia informativa conformada por todos los participantes e invitados que estime la mesa ejecutiva. Las Mesas Temáticas son instancias de trabajo técnico para problemáticas específicas, conformadas en función de las temáticas que decida la mesa ejecutiva. La Secretaria Ejecutiva será dirigida por el Administrador/a Regional del Gobierno Regional (Apéndice I-04: Reunión GORE Antofagasta)

En el ámbito de las relaciones entre los actores destaca el rol de las empresas mineras para construir alternativas de sustentabilidad del agua en el territorio. Destaca el aporte de las mineras Spence, Sierra Gorda SCM y Antofagasta Minerals el año 2014 para el desarrollo de las plantas de tratamiento de aguas servidas y estanques de agua potable en las localidades de Baquedano y Sierra Gorda. Sin embargo, los habitantes de Baquedano se quejan de que el nuevo sistema de agua potable da un mal servicio, el agua es mala calidad y el precio muy alto; el cual lo paga la municipalidad a través de los subsidios (recursos que podrían ser mejor utilizados). Antiguamente usaban agua de la estación de Ferrocarril que proviene del Silala, de mejor calidad. Se plantea la pregunta de si la localidad puede tener sus propios pozos, y consultan sobre la profundidad de las aguas y su calidad (Apéndice I-06: Reunión JJVV N°1 de Sierra Gorda).

2.8.5 Brechas de información

Entre los diversos actores existe consenso sobre la falta de información sobre el agua, tanto en cantidad como en calidad. Al respecto, el director regional de la DGA señaló su preocupación por la contaminación de las aguas subterráneas producto de los tranques de relave históricos que existen en la cuenca (Apéndice I-02: Reunión DGA - UGAT Antofagasta).

Es una necesidad histórica que las distintas instituciones del estado cuenten con la información sobre el recurso hídrico para tomar decisiones y fiscalizar. Así como también,

el generar una alianza público-privada para compartir e integrar la información sobre el recurso hídrico en la región. También, se estima necesario que el Estado cuente con los recursos que le permitan una adecuada gestión de los recursos hídricos, con capacidad de generar información y planificar. Para ello se propone realizar avances en la descentralización fortaleciendo los equipos regionales y construir una base de datos que sean manejada por un ente centralizado, para saber exactamente cuál es el balance hídrico real, es decir, cuánta agua hay disponible, cuánta de esa agua se necesita para mantener a las comunidades y los servicios ambientales y, después, el resto de los usuarios. Para eso es muy importante robustecer la red de monitoreo, para saber cuánto sale exactamente de cada parte. Sobre todo, en los usuarios menores que son los menos regulados. Según el Gobierno Regional, existe muy poco monitoreo lo que impide tener información para las tomas de decisiones (Apéndice I-04: Reunión GORE Antofagasta).

Un tema relevante es la desalación, pues Antofagasta tiene múltiples proyectos de este tipo en carpeta y en un futuro cercano se puede convertir en un líder, no sólo a nivel nacional sino también es sudamericano en esta temática. Sin embargo, se desconocen los efectos que genera la desalación en el borde costero (Apéndice I-04: Reunión GORE Antofagasta).

Capítulo 3. Demanda física y legal de Recursos Hídricos para diferentes usos

3.1 Mercado de aguas

Este análisis es necesario a fin de determinar la demanda legal existente de agua en la cuenca en estudio. Un balance adecuado de disponibilidad tiene que ver con los derechos de aprovechamiento constituidos o regularizados, además de los usos no inscritos o informales cuya detección involucra algún grado de complejidad ya que éstos no constan en ningún registro o plataforma de información.

3.1.1 Constitución de Derechos de Aprovechamiento de Aguas

Inicialmente debe señalarse que el Estado otorga a los particulares el goce y uso exclusivo y excluyente de un bien nacional de uso público, cómo lo son las aguas, mediante la constitución de un derecho de aprovechamiento, definido en el artículo 6º inciso 1º del Código de Aguas, como "(...) un derecho real que recae sobre aguas y consiste en el uso y

goce de ellas, con los requisitos y en conformidad a las reglas que prescribe este Código (...).”.

Se trata de un derecho real de contenido propio, y que se incorpora al patrimonio de su titular. Se encuentra protegido por la garantía constitucional del derecho de propiedad, según lo establece expresamente el artículo 19 número 24 inciso final de la Constitución Política.

En cuanto a sus características se tiene que es un derecho real, creado por la ley de la misma naturaleza que aquellos que señala el artículo 577 del Código Civil.

Una vez otorgado se incorpora al patrimonio de su titular y no puede ser privado de él por la vía administrativa, es decir, no puede ser dejado sin efecto, por decisión de la propia administración.

Su titular es dueño/a del derecho real y cómo tal puede usar, gozar y disponer de él. Así puede ser transferido por acto entre vivos, como venta, permuta, donación etc., transmitido por causa de muerte, herencia, legado etc., gravarse con hipoteca, arrendar lo etc.

Es un derecho real que recae sobre un bien ajeno. El dominio de las aguas es siempre del Estado, habida cuenta su naturaleza de bien nacional de uso público o bien público, y el titular puede usar y gozar de ellas, pero nunca es dueño/a del agua.

Es un derecho autónomo o principal. No está ligado jurídicamente al bien que están destinadas las aguas, por ejemplo, a un predio agrícola. Así, si se vende el inmueble, sin hacer referencia al derecho de aprovechamiento, la compraventa no lo comprende, acorde con el artículo 317 del Código de Aguas.

Conlleva la facultad de imponer las servidumbres que sean necesarias para su ejercicio (arts. 8° y 25 del Código de Aguas), sin perjuicio de las indemnizaciones correspondientes.

Comprende la concesión de los terrenos de dominio público necesarios para hacerlo efectivo, según lo estatuye el artículo 26 del Código de Aguas.

Su titular está obligado a construir las obras necesarias para su aprovechamiento, so pena de pagar una patente anual a beneficio fiscal, tratándose de derechos sobre aguas superficiales.

Es un derecho real sujeto al régimen de posesión inscrita. El artículo 20 del Código de Aguas precisa que la posesión de los derechos de aprovechamiento se adquiere mediante la inscripción.

El dominio sobre los derechos de aprovechamiento se extingue por las causas y en la forma establecidas en el derecho común y, además, por la renuncia de su titular (arts. 6° inciso final y 129 del Código de Aguas).

3.1.2 Regularización de Derechos de Aprovechamiento de Aguas

En cuanto a las regularizaciones de derechos de agua, existen derechos no constituidos por acto de autoridad y que carecen de inscripción conservatoria y de formalización registral. Pero es un derecho sobre el cual se tiene propiedad y, por eso, precisamente, es reconocido, sin embargo, para los efectos de su certeza la ley (Código de Aguas) contempla un mecanismo de regularización que, cumpliéndose ciertos requisitos, permite su posterior inscripción.

En efecto, estos usos, reconocidos como derechos, pueden regularizarse si reúnen los requisitos establecidos en el artículo 2° Transitorio del Código de Aguas: uso ininterrumpido de las aguas con 5 años de anterioridad a la vigencia del Código de Aguas, es decir al 29 de octubre de 1981, libre de violencia y clandestinidad y sin reconocer dominio ajeno.

Como se dijo, el régimen legal de las aguas distingue dos categorías de derechos de aprovechamiento: los derechos constituidos y los derechos reconocidos. Los primeros como ya se indicó, tienen su génesis en un acto administrativo concesional de la autoridad, con potestades para ello, como el Presidente de la República, el Director General de Aguas, el Director del Servicio Agrícola y Ganadero, etc. A su vez, los segundos, tienen su origen por el uso de facto y/o por situaciones especiales, reconocidas por el ordenamiento jurídico.

Como puede advertirse, los derechos reconocidos no nacen de un acto administrativo de la autoridad. Su existencia se produce al partir del reconocimiento contenido en la ley.

Existen diversos usos de agua que son de hecho, y que la legislación reconoce como derechos, entre otros, los usos consuetudinarios, los usos domésticos, los usos ancestrales de ciertas comunidades indígenas, los usos legales mínimos.

A mayor abundamiento, la jurisprudencia administrativa de Contraloría General de la República, órgano que ejerce el control previo de legalidad de los actos que dicta el

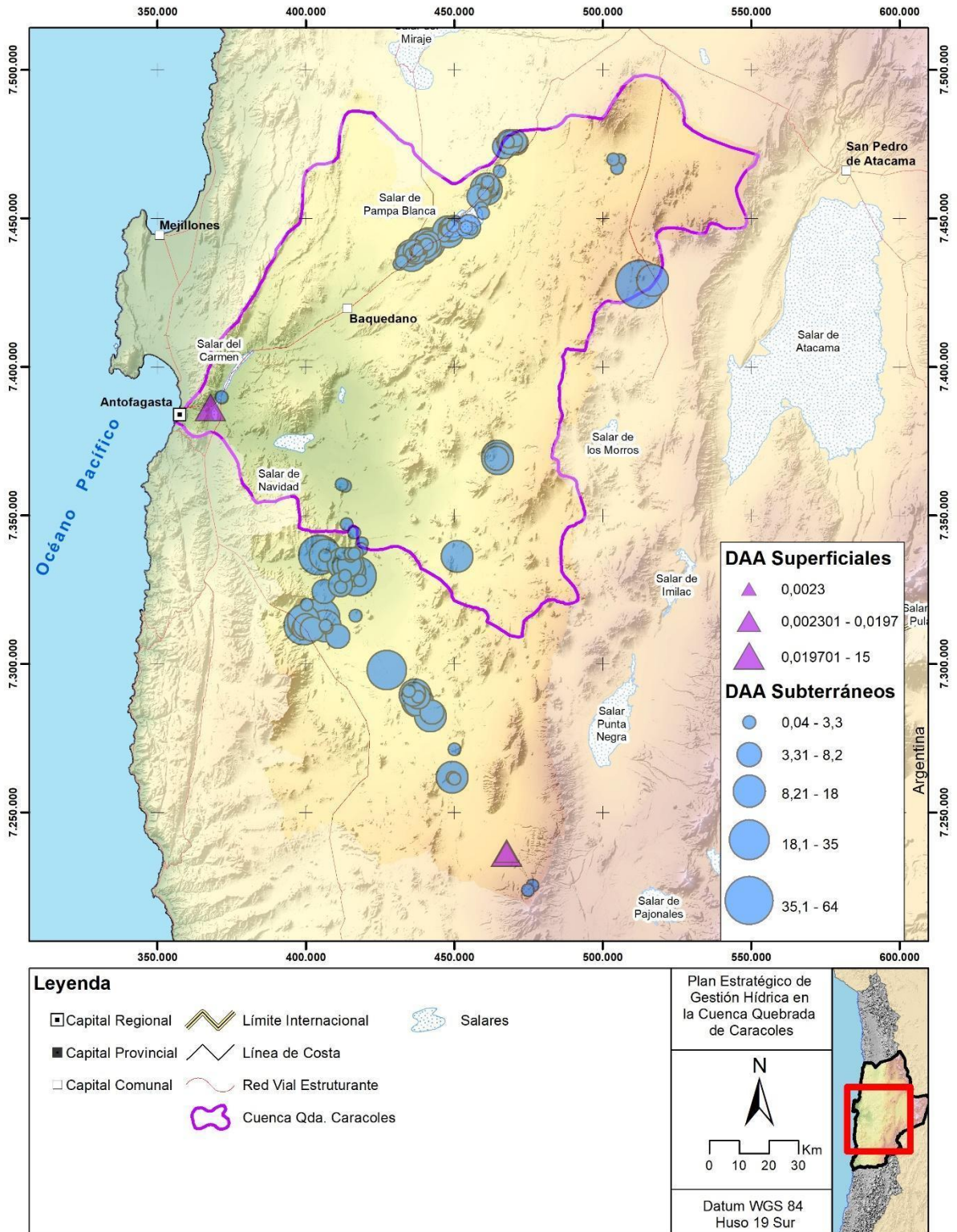
Director General de Aguas, ha expresado que dicho servicio al conocer de una nueva solicitud para adquirir el derecho de aprovechamiento, y para los efectos de determinar la disponibilidad del recurso hídrico, debe respetar y no perjudicar los derechos constituidos que están inscritos, sino también aquellos susceptibles de ser regularizados, entre otros, por el artículo 2º Transitorio del Código de Aguas, que faculta a quien los utiliza por cierto tiempo y condiciones para proceder a su inscripción.

3.1.3 Solicitudes de Derechos de Aprovechamiento de Aguas y Regularizaciones en trámite

De la revisión de las solicitudes de derechos y de regularización de aguas se tiene que actualmente no existen solicitudes pendientes en la DGA.

3.1.4 Solicitudes de Derechos de Aprovechamiento de Aguas y Regularizaciones constituidos y con sentencia favorable

De la información recopilada se tiene que en la cuenca existen 139 derechos de aprovechamiento constituidos de naturaleza subterránea y un solo derecho regularizado que recae sobre aguas superficiales. Igualmente, existe un solo derecho constituido sobre aguas superficiales. Los derechos constituidos y regularizados se muestran en la Figura 3-1, además en el Anexo J-3-1 se incluye el detalle de los derechos de agua para la cuenca.



Fuente: Elaboración propia a partir de CPA-DGA (2021).
Figura 3-1 DAA constituidos en la cuenca.

3.1.5 Exploraciones de Agua subterránea en la cuenca

El artículo 58 del Código de Aguas dispone que cualquier persona puede explorar con el objeto de alumbrar aguas subterráneas, sujetándose a las normas que establezca la Dirección General de Aguas.

Esta disposición, obliga al que la efectúa a sujetarse a las normas que establezca la Dirección General de Aguas, y debe efectuarse en conformidad a normas generales, previamente establecidas por la DGA.

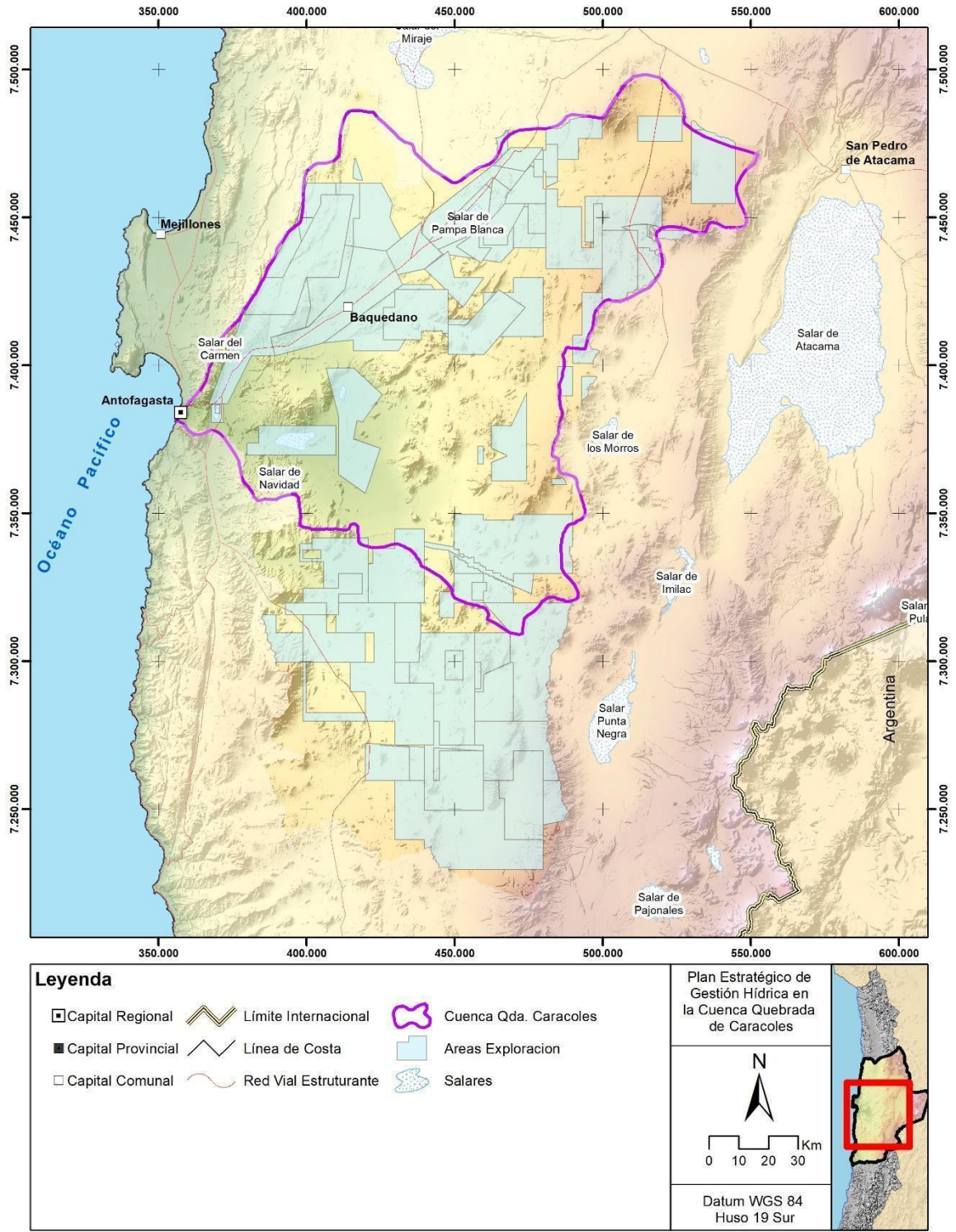
Los trabajos y obras de exploración son necesarios para establecer el potencial hídrico subterráneo. Así, la exploración de aguas subterráneas se enmarca en un procedimiento de investigación del recurso hídrico, y es importante para estudiar no sólo la capacidad de los acuíferos, sino que también para aumentar el conocimiento de las fuentes de aguas subterráneas, tanto en cantidad como en calidad. De este modo, el fin último de la exploración de aguas subterráneas es el de alumbrar aguas subterráneas.

Una vez autorizada la exploración por la DGA, las faenas de exploración, entendidas como todas aquellas labores geofísicas de prospección y/o perforación del subsuelo encaminadas a la detección de aguas subterráneas, deberán iniciarse en un plazo máximo de siete meses contados desde la fecha indicada, lo que debe comunicarse por escrito a la DGA, de lo contrario, ello es causal suficiente para dejar sin efecto el permiso.

Al término de la exploración, el o la titular del permiso deberá presentar un informe completo sobre los trabajos realizados, sus resultados y las conclusiones obtenidas. Este informe deberá presentarse hasta tres meses después de finalizado el plazo del permiso, y su contenido corresponderá a los objetivos señalados en la memoria técnica y en el cronograma de actividades presentado por el o la titular del permiso, siendo obligatorio aun cuando los resultados hayan sido negativos.

Comprobada la existencia de aguas subterráneas en bienes nacionales, la Dirección General de Aguas preferirá al beneficiario del permiso de exploración, para la constitución del derecho sobre las aguas alumbradas durante la vigencia del permiso.

De la recopilación realizada se tiene que se han autorizado 160 exploraciones de agua subterránea las que se distribuyen en la cuenca según se muestra en la Figura 3-2.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-2 Exploraciones de aguas subterráneas en el área de estudio.

En el Anexo J-3-2 se indican las Exploraciones que se han autorizado en el área de estudio.

3.1.6 Cobro de patentes por no uso

El Código de Aguas del año 1981 estableció la constitución de derechos de aprovechamiento de agua a privados gratuitos y a perpetuidad, sin que hubiese necesidad de justificar el caudal solicitado, sin informar el rubro productivo relacionado y sin obligación de utilizarlos, lo que generó que una proporción significativa de estos derechos no se explotaran, impidiendo que otros usos alternativos o proyectos de uso efectivo accediesen a ellos.

Por ello, y buscando corregir esta anomalía en el uso eficiente y racional de los recursos hídricos, en el año 2005 se reformó el Código introduciendo el cobro de una patente por no uso a fin de desincentivar la acumulación de derechos por parte de algunos titulares que no les daban un uso a dichas aguas.

En consecuencia, el Código de Aguas estableció que se encuentran afectos al pago de una patente anual a beneficio fiscal, los titulares de derechos de aprovechamiento consuntivos o no consuntivos de ejercicio permanente, que no hayan construido las obras de captación para las aguas, y para su restitución, en la proporción no utilizada de los respectivos caudales (artículos 129 bis 4 y 129 bis 5, del Código de Aguas).

Tanto para los derechos consuntivos como no consuntivos de ejercicio permanente, se establece una tabla que determina el monto de la patente a pagar, según los años transcurridos y la ubicación regional de los puntos de captación.

Corresponde a la DGA previa consulta a la organización de usuarios respectiva, determinar los derechos de aprovechamiento cuyas aguas, no se encuentran total o parcialmente utilizadas, al 31 de agosto de cada año, para lo cual debe confeccionar un listado o nómina.

Esa nómina, se materializa en una resolución de la DGA, la que debe publicarse en el Diario Oficial el día 15 de enero de cada año o el primer día hábil inmediato si aquél fuere feriado.

Desde la fecha de su publicación, se entenderá notificada la resolución, contándose desde esa data el plazo de 30 días para deducir recurso de reconsideración o de reclamación (arts. 129 bis 7, 129 bis 10, 136 y 137 de Código de Aguas)

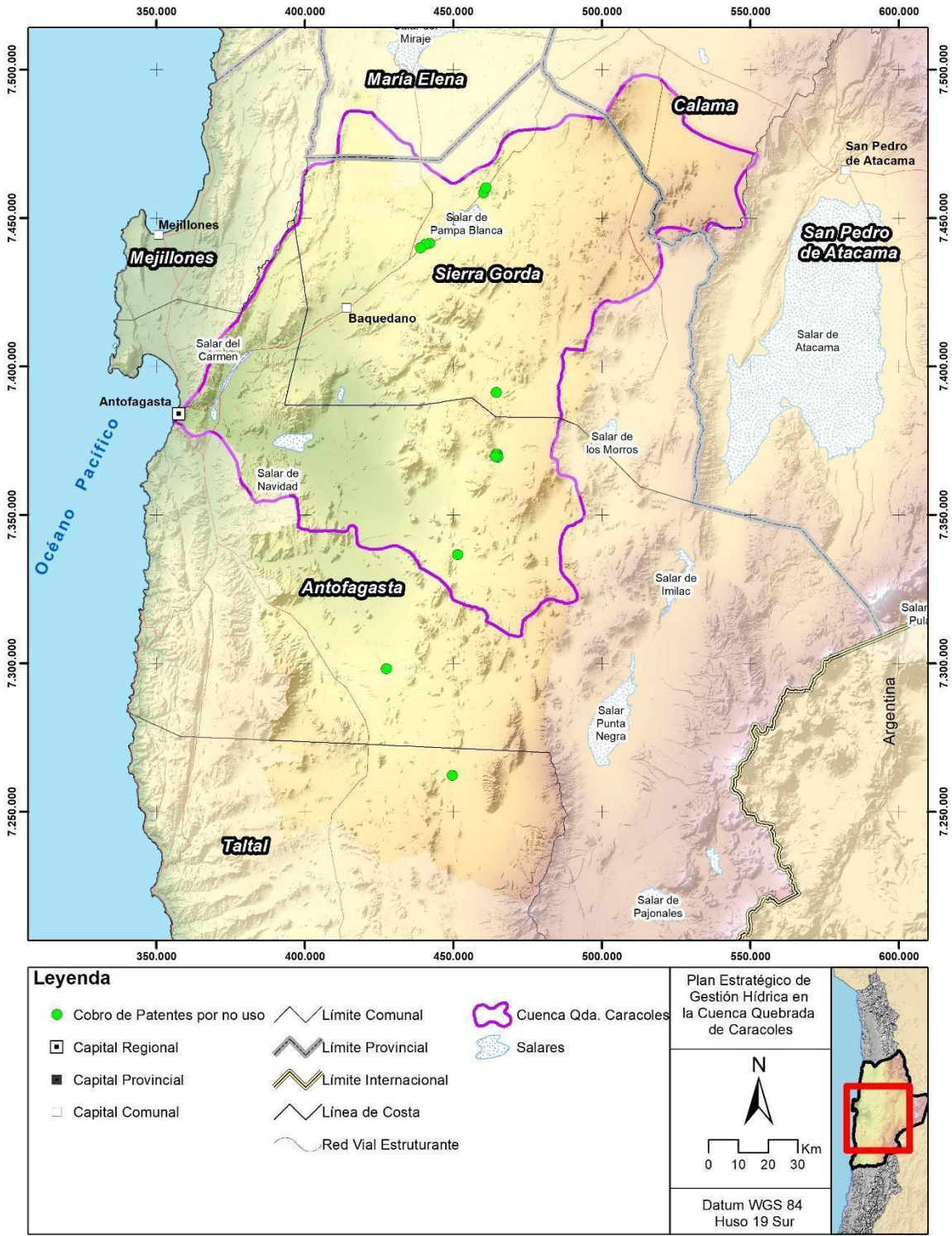
La interposición de los recursos no suspende el pago de la patente, el que debe efectuarse en el mes de marzo de cada año en cualquier banco o institución autorizada para recaudar tributos, salvo que la Corte de Apelaciones ordene la suspensión del cobro (arts. 129 bis 7 y 129 bis 10 inciso final del Código de Aguas).

La DGA no podrá considerar como sujetos al pago de patente, aquellos derechos de aprovechamiento para los cuales existan obras de captación de las aguas. Tratándose de derechos no consuntivos, deberán existir también las obras necesarias para su restitución (art. 129 bis inciso 1º, del Código de Aguas)

Las obras de captación y de restitución, deben ser aprobadas por resolución de la DGA, según lo dispone el artículo 157 del Código de Aguas.

Si el titular del derecho de aprovechamiento no paga la patente en el mes de marzo, se inicia un procedimiento ejecutivo para su cobro. El cual comienza con el envío de la nómina de deudores morosos por parte de la Tesorería General de la República, que debe hacerse antes de 1 de junio de cada año a los Juzgados competentes. La nómina constituye el título ejecutivo.

De la información recopilada acerca del proceso de cobro de patentes del año 2020 se tiene el siguiente mapa con la ubicación de los derechos de agua a los que se les cobro patente en el señalado proceso (Figura 3-3), además en el Anexo J-3-3 se incluye el detalle de los cobros de patentes por no uso para la cuenca.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-3 Cobros de patentes por no uso en área de estudio.

3.2 Uso humano

3.2.1 Agua potable urbana, histórica y proyectada

En el área de estudio el agua potable se encuentra concesionada a la empresa sanitaria Aguas Antofagasta que abastece a la ciudad de Antofagasta y a las localidades de Baquedano y Sierra Gorda.

Para aprovisionar su área concesionada Aguas Antofagasta capta el agua de la alta cordillera, principalmente afluentes del río Loa. Existen tres captaciones principales: Lequena, Quinchamale y Toconce.

El agua captada, es conducida por tuberías hasta las respectivas plantas de tratamiento de agua potable. Otra fuente que posee la sanitaria para suministrar agua a Antofagasta es la desalación.

Adicionalmente, desde el 2003, comienza a operar la planta desaladora "La Chimba".

3.2.2 Agua potable rural histórica y proyectada

El área de estudio no presenta Programas de Agua Potable Rural dependientes del MOP o la Superintendencia de Servicios Sanitarios.

3.2.3 Derechos de agua para uso humano

Según la revisión del listado de derechos de aguas descargado del catastro público de aguas (CPA), se detectan en total 139 derechos concedidos dentro del área de estudio, de los cuales no se identifican derechos de aguas para consumo humano o bebida, existen 32 derechos que no declararon su uso y otros 6 que declararon Otros Usos, los restantes son declarados uso Industrial o minero.

3.3 Necesidades mínimas ambientales

3.3.1 Derechos de agua para el medio ambiente: caudales ecológicos

El concepto de caudal ecológico o caudales ambientales en la definición de políticas y normas regulatorias en materia de aguas solo ha empezado a incorporarse en la gestión de los recursos hídricos hace algunos años y queda establecida su definición en la modificación al código de aguas del año 2005, donde, el caudal ecológico corresponde al "caudal mínimo que debería tener el río para mantener los ecosistemas presentes, preservando la calidad ecológica", además, de acuerdo a lo establecido en el artículo 129 bis 1 del Código de Aguas, entre las funciones de la DGA al asignar los nuevos DDA, ésta deberá velar por la preservación de la naturaleza y la protección del medio ambiente.

Asumiendo el rol de garante y protector de ese caudal ambiental que permita mantener las condiciones adecuadas para proteger la vida y los ecosistemas que se desarrollan en torno a los cuerpos de agua. Para ello la DGA realiza estudios en las diferentes cuencas y subcuencas para determinar la necesidad de declarar reservas de aguas para la conservación o caudales de reserva para protección ambiental.

En este mismo sentido, la DGA el año 2017 realizó un estudio en la II Región de Antofagasta para determinar la necesidad de declarar caudales de reserva ambiental, dentro de las conclusiones que arroja este estudio, es que, para la cuenca Quebrada de Caracoles no se presentan estimación de requerimientos de caudales de reserva para protección ambiental dado que en ella no se encuentran sitios prioritarios para la biodiversidad, ni caudales corrientes que alimenten zonas de protección ambiental, que corresponden a criterios que deben cumplirse para declarar caudales de reserva. Sin embargo, en la región de Antofagasta existen, asociados a cuerpos de agua, 4 Sitios Prioritarios para la Biodiversidad (SPB); estos son los siguientes:

- i. SPB 12: Oasis de Quillagua
- ii. SPB 18: Oasis de Calama
- iii. SPB 6: Ayllus de San Pedro de Atacama
- iv. SPB 1: Salar de Atacama

Por tanto, la estimación de la demanda hídrica actual de Caudal de Reserva para Protección Ambiental en la Región de Antofagasta, se puede apreciar las cuencas donde se requiere otorgar un caudal de reserva, estas son: Cuenca del Río Loa, que bordea los 1,5 m³/s con alzas en los meses de verano y la cuenca del salar de Atacama con un caudal de reserva en torno a los 0,3 m³/s.

Respecto de este punto y considerando que en la cuenca de estudio no hay cuerpos de agua superficiales, corrientes y permanentes debiera realizarse un estudio más detallado donde se pueda comprender el comportamiento de las aguas subterráneas, las interconexiones entre los SHAC (sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común), la recarga, etc. Para lograr tener un panorama real y saber si las medidas y caudales otorgados para la reserva y protección ambiental en las cuencas del Salar de atacama y río Loa, son suficientes para cubrir las necesidades mínimas ambientales de la región y en específico del área de estudio y los ecosistemas dependientes de la calidad y cantidad de los recursos hídricos disponibles, en uno de los desiertos más áridos del planeta.

3.4 Demanda minera

3.4.1 Derechos de agua para la minería

La cuenca presenta una fuerte presencia de explotaciones mineras, destacando la producción de cobre para el año 2019 de 3.130,1 miles de TM de concentrado y cátodos de cobre fino, representando el 54,1% de la producción nacional, en la Tabla 3-1 se ve la producción regional de cobre por año.

Tabla 3-1 Producción de cobre Total concentrado y Cátodos (miles de TM cobre fino).

Año	2010	2011	2012	2013	2014
Región de Antofagasta	2.945,7	2.739,2	2.949,8	3.016,1	3.050,7
Año	2015	2016	2017	2018	2019
Región de Antofagasta	3.097,6	2.930,0	2.881,5	3.151,1	3.130,1

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con COCHILCO, el consumo de agua fresca por parte de la minería en la región es de 5.214 L/s en el año 2018 (solo para la minería del cobre). Por otra parte, las extracciones de agua en la minería del cobre para el año 2018, según COCHILCO, son de 8.870 l/s, de los cuales el 41,2% sería agua de mar, el 40.4% de aguas subterráneas, el 9,4% son Aguas adquiridas a terceros y el 9% aguas superficiales, la Tabla 3-2 a continuación, desagrega las extracciones del agua los últimos años. Los datos presentados corresponden a información regional, la cual no se puede desagregar a escala de cuenca, por lo que no hay certeza del consumo exacto de la cuenca.

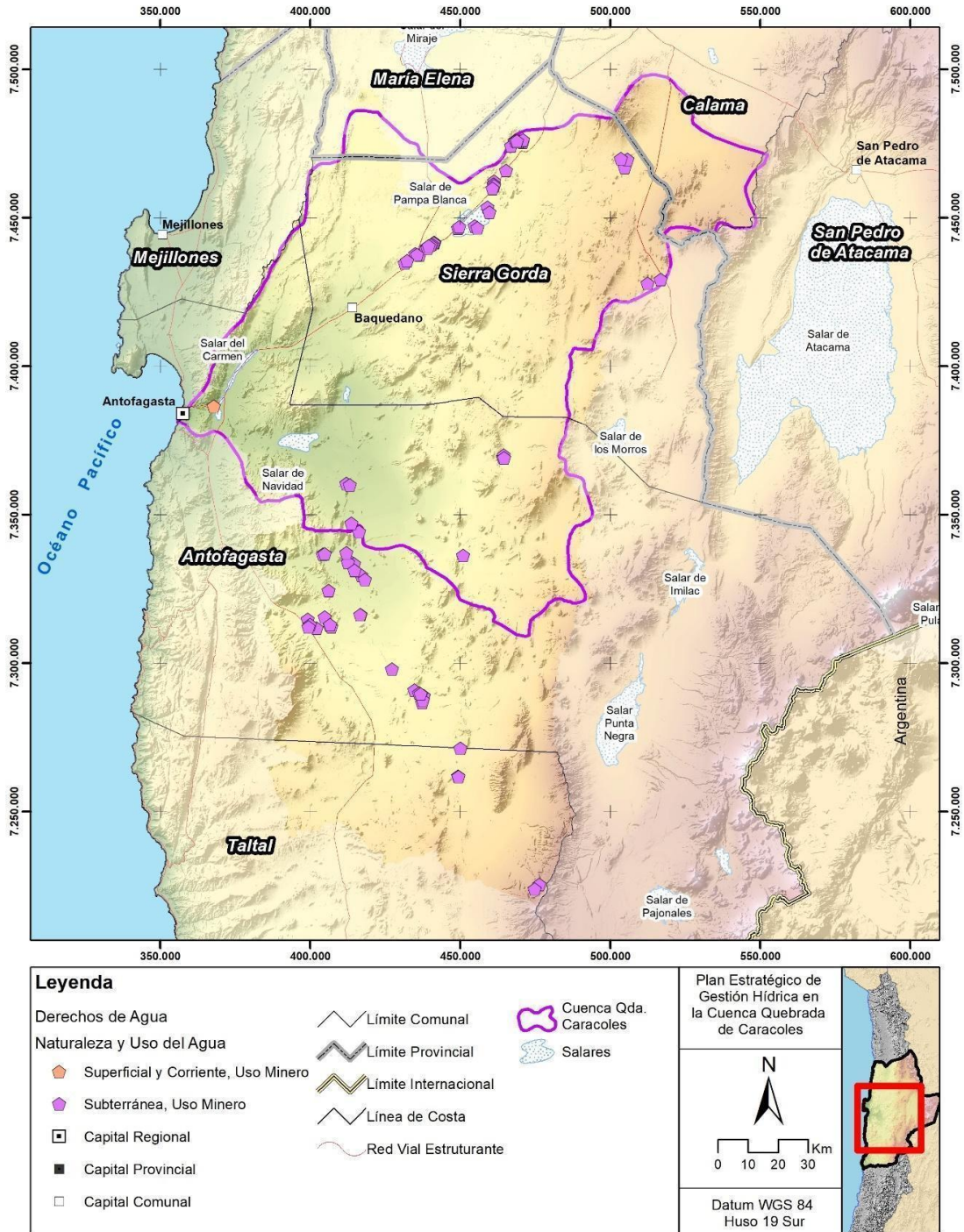
Tabla 3-2 Consumo de agua fresca por parte de la minería.

Tipos de extracciones	Unidades	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Aguas Superficiales	l/s	1.964	1.926	1.674	1.747	750	801
Aguas Subterráneas	l/s	2.580	2.921	3.148	2.854	3.433	3.580
Aguas adquiridas a terceros	l/s	422	484	691	715	784	834
Agua de mar	l/s	1.039	1.990	1.767	2.053	2.694	3.656
TOTAL	l/s	6.005	7.321	7.279	7.368	7.661	8.870

Fuente: COCHILCO (2018).

Para la cuenca de estudio, la extracción de agua para uso en minería se concentra en la parte norte de la cuenca cerca del poblado de Sierra Gorda y el sector centro sur de esta, para la parte Norte existen yacimientos asociados a estas solicitudes como son Sociedad Química y Minera de Chile S.A; Compañía Minera Flomax; Mohamed Salim Duk

(dueño de Sierra Miranda); Compañía Minera El Bronce S.A. y la compañía minera Picacho. Para el sector sur se asocian a: Mineras del Inca S.A; Minera Atacama Minerals Chile; Minera Meridian Ltda.; Minera Cerro Imán; Soc. Legal Minera Sta. Inés Uno de Antofagasta; Xstrata Copper Chile S.A; Minera Aguas Blancas; Minera Brass S.A y fundición Refimet S.A. Todos asociados a derechos Subterráneos, en la Figura 3-4 se ve claramente la distribución espacial de estos derechos de uso minero.



Fuente: Elaboración propia a partir de información del Catastro Público de Aguas. Consultado en mayo 2021.

Figura 3-4 Derechos de agua con uso minero.

El área de estudio presenta 89 Derechos de agua para uso Minero de los cuales 1 es superficial ubicado en el sector del Humedal Salar Del Carmen a nombre de ENAMI. Las extracciones totales otorgadas de los 89 derechos de aguas suman 637,29 l/s, de los cuales 15 l/s corresponde al derecho superficial y 622 l/s son subterráneos.

La demanda actual del rubro minero en la región de Antofagasta es de 8.866 l/s, la cual se abastece por fuentes superficiales, subterráneas, adquiridas a terceros y por medio de agua de mar, cuyo uso ha ido aumentando anualmente.

Se establece entonces como brecha la inexistencia de datos de demanda actual a nivel de cuenca.

Como demandas futuras, se consultaron los proyectos de índole minero presentados al SEA, el cual presenta un total de 55 proyectos presentados desde el año 2019 al 2022, con un monto de inversión de 7.419,565 millones de dólares, por lo cual se espera que la demanda hídrica siga aumentando en la región, por lo mismo, se verifico el SEA y se verificó que existe un proyecto que ingresado el 7 de marzo del 2022, el cual se encuentra en calificación, El Proyecto consiste en implementar las obras principales de desalación y conducción para la provisión de agua desalinizada, en los sectores de Antofagasta Norte, La Negra y Calama de una planta desaladora y la conducción.

De esta forma, la proyección sobre la demanda para uso minero es al alza, pero utilizando como fuente el agua de mar. Así, no se proyecta un aumento sustancial en la demanda hídrica sobre las fuentes subterráneas presentes en la cuenca.

Esta información ayudó a definir los escenarios de gestión modelados, basados en las siguientes preguntas: ¿Qué pasaría si la totalidad de los derechos de agua subterráneos otorgados se activa en la cuenca?, y ¿qué pasaría si la demanda minera se abastece completamente con agua desalada, y por lo tanto se retira esta demanda desde las fuentes presentes en la cuenca?

3.5 Demanda industrial

3.5.1 Derechos de agua para la industria

Actualmente en el área de estudio se han identificado 10 Derechos de aprovechamiento de aguas constituidos para uso industrial, la mitad de ellos está a nombre de la minera Atacama Minerals Chile, ubicados en el sector centro sur de la cuenca, la cual cuenta con una extracción total de 47,45 l/s. La otra mitad de los derechos está a nombre

de una persona natural y cuenta con derechos para la extracción de 3,47 l/s. Sumando en total 50,92 l/s para uso Industrial en la cuenca.

La demanda para uso industrial se considera igual a los derechos de agua antes expuestos. No existen antecedentes que permitan proyectar la demanda para uso industrial, por lo tanto, se establece una brecha de información.

3.6 Otros usos

En el área de estudio se han encontrado 6 derechos de agua aprobados para Otros Usos, de estos, dos derechos pertenecen a la Universidad de Antofagasta, ambos suman 17 L/s, dos derechos son de personas naturales, los que suman 4,6 l/s, por último, dos derechos pertenecen a la Diaz y Compañía Ltda., ubicada cerca de la ciudad de Antofagasta y dedicada a la crianza de animales, la cual cuenta con derechos por 1,2 l/s.

El total de extracciones de derechos para Otros usos en la cuenca Quebrada Caracoles y su análisis extendido suman 22,8 l/s.

Capítulo 4. Oferta hídrica

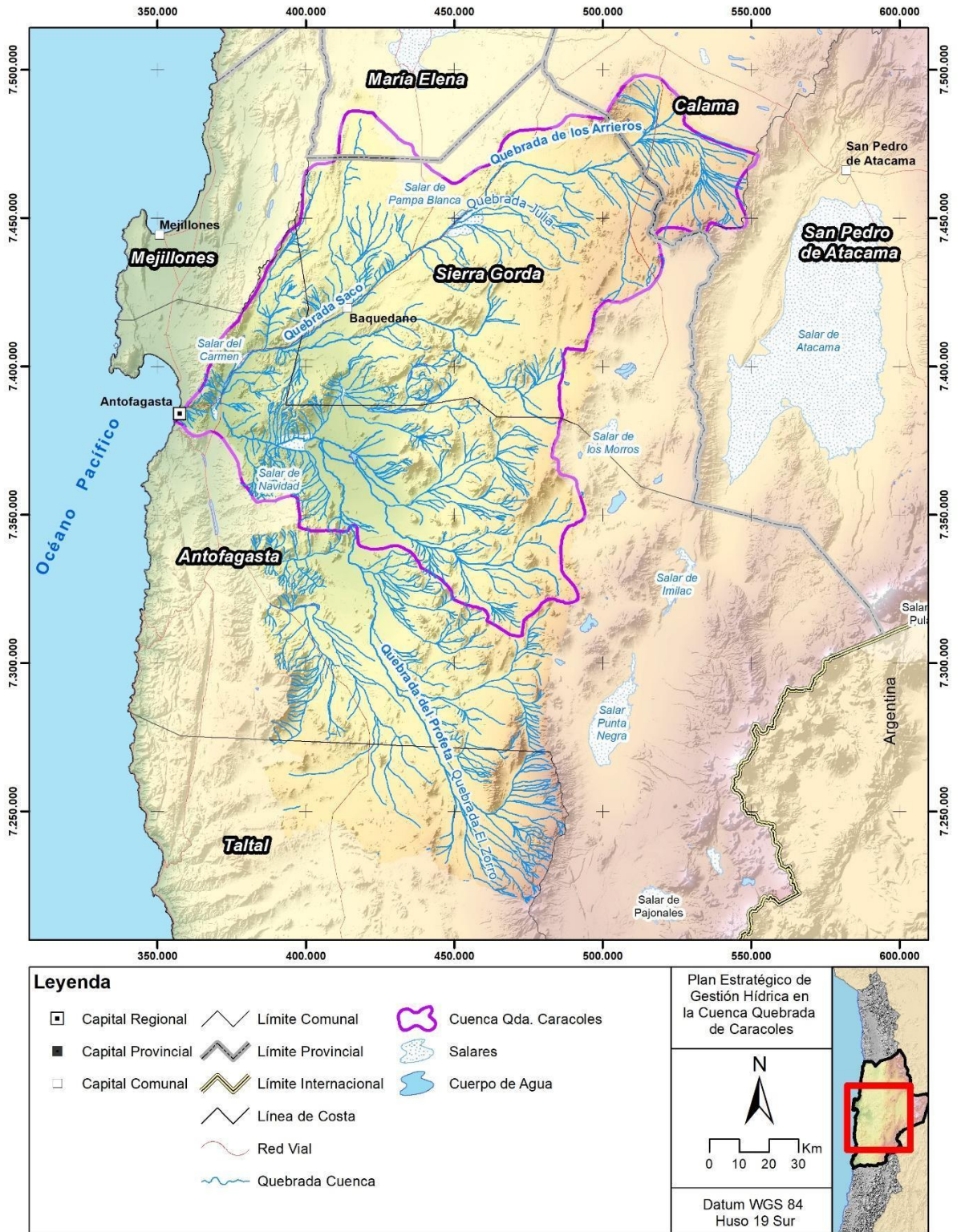
En el presente capítulo se estima la oferta hídrica de la cuenca, tanto en las fuentes superficiales y subterráneas. Se complementa con la identificación de las restricciones históricas y actuales sobre el uso de las aguas en la cuenca, de forma de establecer un diagnóstico realista de los recursos hídricos que se disponen.

4.1 Agua superficial

4.1.1 Fuentes superficiales

La cuenca en estudio se desarrolla al oriente de la región de Antofagasta. Como ya se señaló, presenta un clima desértico con nublados abundantes, sus efectos se manifiestan hasta 20 kilómetros al interior donde la sequedad atmosférica es mayor, debido a que la influencia marítima es retenida en los cerros de la Cordillera de la Costa. Las características principales son la presencia de abundante humedad, neblinas matinales y la ausencia de precipitaciones. Las lluvias registran un leve aumento hacia el sur de litoral, siendo escasas y puntuales durante el año. Estas características dan como resultado subcuencas principalmente arreicas, donde no se observa una red hidrográfica permanente durante el año. Las subcuencas están delimitadas por quebradas y presentan agua esporádicamente durante el año.

Se pueden observar en la Figura 4-1 las principales quebradas en las subcuencas. Durante el desarrollo de la modelación se podrá obtener el drenaje esporádico específico en la cuenca en estudio.



Fuente: Elaboración propia en base a Mapoteca DGA (2019).

Figura 4-1 Quebrada y cuerpos de agua en la cuenca Quebrada Caracoles.

Las principales quebradas en la cuenca Quebrada Caracoles como ya se señaló (en orden desde el norte hacia el sur) son:

- Quebrada los Arrieros, antes del Salar Pampa Blanca.
- Quebrada el Saco, aguas abajo del Salar Pampa Blanca.
- Quebrada San Cristóbal
- Quebrada el Boquete
- Quebrada el Chimborazo
- Quebrada el Profeta

También es posible identificar, cuerpos de agua correspondientes a Salares, los que se describen en detalle en la sección de caracterización ambiental (2.3 Dimensión ambiental).

- Salar de Pampa Blanca
- Salar de Mar muerto
- Salar de Navidad
- Salar del Carmen

4.1.1.1 Restricciones de uso sobre fuentes superficiales

En la cuenca en estudio no se han declarado restricciones tales como decretos de reserva, agotamiento de las aguas superficial y/o zonas de escasez hídrica.

4.1.2 Oferta en la fuente

La oferta de agua en la Cuenca de la Quebrada Caracoles es de una marcada aridez. El desierto se manifiesta plenamente hacia la zona intermedia, donde la influencia marítima, propia del relieve, pierde importancia. En la franja intermedia se desarrolla un subtipo climático desértico interior, y corresponde al clima desértico propiamente tal, caracterizado por una aridez extrema, ausencia de humedad, gran sequedad atmosférica y una amplitud térmica entre el día y la noche, las precipitaciones son muy escasas y la humedad relativa es inferior al 50%.

Para determinar la oferta histórica desde las precipitaciones, se utilizaron datos hidro-climatológicos instrumentales y productos grillados. Un total de 13 estaciones meteorológicas de la Dirección General de Aguas se encuentran disponibles en la Cuenca, con datos diarios distribuidos entre 1992 y 2020. Las series instrumentales con datos perdidos y sospechosos fueron complementadas con el producto climático grillado CR2MET v2.0 (Boisier et al., 2018) de aproximadamente 5 kilómetros de resolución espacial (1979-

2020). Basándose en estos datos, la cuenca presenta una precipitación media anual de 7,68 mm, con una variabilidad interanual representada por una baja acumulación anual, la cual se concentra principalmente en los meses de invierno.

4.1.3 Oferta en la fuente proyectada

Para representar la oferta proyectada se utilizaron las proyecciones climáticas establecidas por los Modelos Climáticos Globales MIROC (*Model for Interdisciplinary Research on Climate*) y IPSL (*Institut Pierre-Simon Laplace*). Las proyecciones de MIROC resultan en una reducción de 1.6% en las precipitaciones (~0.7 mm) y un aumento de un 139% en las temperaturas medias anuales (~1.8 grados Celsius). Por su parte, las proyecciones IPSL resultan en un aumento de 5.3% en las precipitaciones (~2.4 mm) y un aumento de un 160.3% en las temperaturas medias anuales (~1.9 grados Celsius). Ambos modelos fueron evaluados comparando los periodos 1985-2021 versus 2022-2059.

4.1.4 Calidad actual en fuentes del agua superficial

En la cuenca de estudio no se cuenta con información histórica de la red Hidroquímica de la DGA, por lo cual se realizó una revisión bibliográfica para determinar la existencia de información relevante que permita caracterizar la calidad de agua en los principales cuerpos de agua de la cuenca. Los estudios analizados son los siguientes:

- i. Levantamiento Hidrogeológico para el Desarrollo de Nuevas Fuentes de Agua en Áreas Prioritarias de La Zona Norte de Chile, DGA 2009.
- ii. Diagnóstico Plan Estratégico para la Gestión de los Recursos Hídricos, Región de Antofagasta, DGA 2012.
- iii. Evaluación de los Recursos Hídricos subterráneos del Acuífero de Sierra Gorda, DGA 2012.
- iv. Plan Estratégico de Recursos Hídricos de la Región de Antofagasta, DGA 2016.

Las conclusiones para el análisis hidroquímico superficial es que para las cuencas exorreicas de la quebrada Caracoles no hay antecedentes. Las subcuencas costeras del área en estudio tampoco presentan información de calidad química debido probablemente a la ausencia de recursos hídricos superficiales de relevancia.

4.2 Agua subterránea

4.2.1 Fuentes subterráneas

En cuanto a la oferta de agua subterránea se tienen en primer lugar que en la cuenca existen derechos constituidos. No hay regularizaciones de agua subterránea porque, como

ya se dijo no ha existido presencia permanente de asentamientos humanos salvo trashumancia. Además, los usos ancestrales de agua no consideraban agua subterránea solo aguas superficiales correspondientes a vertientes principalmente.

En cuanto a la oferta propiamente tal, en esta cuenca se debe hacer un balance caso a caso atendida la presencia de varios cuerpos salares y acuíferos en ella.

4.2.1.1 División administrativa

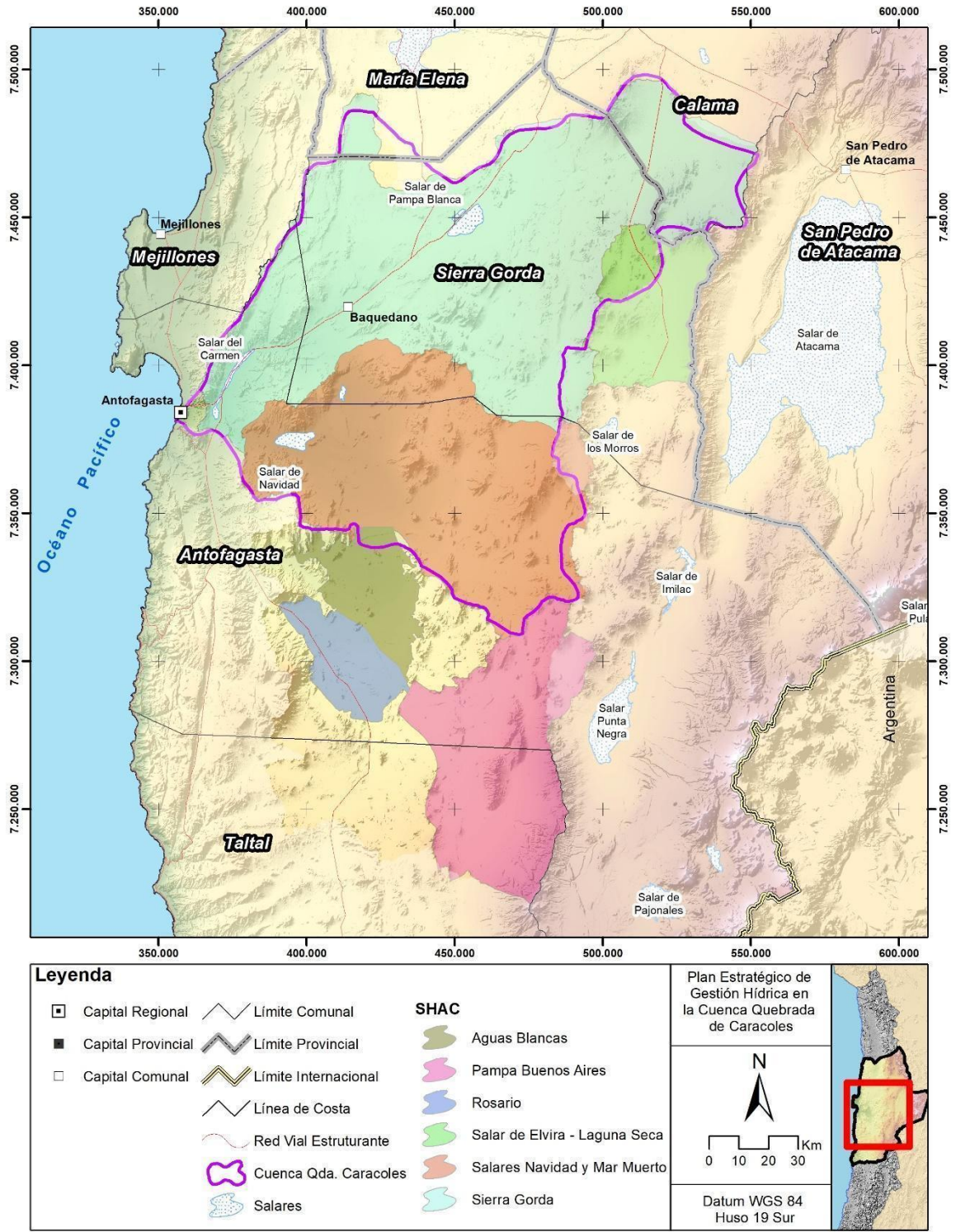
El concepto de sector hidrogeológico de aprovechamiento común (SHAC) está señalado en el artículo 65 del Código de Aguas en el contexto de la gestión de derechos de agua cuando se declaran áreas de restricción por existir riesgo de grave disminución de un acuífero.

Los SHACs determinados en el área de estudio se muestran en la Tabla 4-1 y la Figura 4-2.

Tabla 4-1 SHACs en el área de estudio.

Código	SHAC	Determinación
II-0270-01	Sierra Gorda	Informe Técnico N°293 2012
II-0260-01	Salar de Elvira - Laguna Seca	Informe Técnico N°73 2012
---	Salares Navidad y Mar Muerto	Informe Técnico SDT N°376 2015
---	Pampa Buenos Aires	Informe Técnico N°171 2005
---	Aguas Blancas	Informe Técnico N°171 2005
---	Rosario	Informe Técnico N°171 2005

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-2 SHACs en el área de estudio.

4.2.2 Calidad del agua subterránea

La estadística de calidad de aguas subterráneas proviene de los registros históricos de la Dirección General de Aguas en la estación Código BNA 02710001-5 "Agua Potable Antofagasta (CA)" correspondiente a la única fuente de información hidroquímica de la cuenca Quebrada Caracoles. En este caso la cobertura de pozos es realmente escasa por lo cual no es posible caracterizar de buena manera la calidad fisicoquímica de las aguas subterráneas, la data de registro va desde el año 1993 hasta noviembre de 2020.

Los parámetros para el análisis fueron seleccionados considerando su importancia en la calidad de las aguas subterráneas, la cantidad de registros que tienen en la estación y que comparativamente al realizar en análisis tabular de los datos con sus respectivos estadígrafos, estos parámetros superen los límites normados ya sea en el valor máximo como en la media total.

Es por esto que para el análisis se considera como base tanto la norma NCh 1.333 para agua de riego, como la norma NCH 409 que indica los límites para agua de consumo humano, teniendo en cuenta que las aguas subterráneas se utilizan mayoritariamente para uso en agua de riego y agua potable. A modo de resumen y síntesis de los datos de calidad de agua para los diferentes parámetros de interés se presenta la Tabla 4-2.

4.2.3 Fuentes de contaminación

En el área de estudio hay 226 Unidades Fiscalizables (U.F), sin embargo, apenas un 10% de ellas ha sido fiscalizada en alguna oportunidad por los organismos correspondientes, por lo tanto, existe un universo extenso de empresas que nunca han sido fiscalizadas por la autoridad, dejando sin antecedentes de cumplimiento de normativas a dichas U.F. lo que se traduce en un grave desconocimiento de las posibles fuentes de contaminación en la cuenca por falta de información oficial. Según la información recopilada en el acápite 2.3.3.3 "Revisión del SNIFA", de las 23 empresas fiscalizadas, aquellas que mantienen procesos sancionatorios en curso, dentro de la cuenca son:

- Minera Escondida cuya RCA data de 1997 la cual ha sido fiscalizada en 12 oportunidades resultando un proceso sancionatorio el año 2005 con plan de cumplimiento en curso dado incumplimientos graves y permanentes correspondientes a la disminución del nivel freático en el "Sector de Tilopozo" mayor a 25 cm, superándose con ello, la disminución máxima aceptable del nivel freático que pueden soportar los sistemas vegetacionales, sin ejecutar medidas de reducción del periodo de explotación, a la fecha se han presentado 985 informes

de seguimiento ambiental de diversa índole flora y vegetación acuática, aguas subterráneas, aguas marinas sedimentos, aguas residuales, entre otros. Aún no se concretan sanciones o multas por incumplimiento.

- Minera Zaldívar fiscalizada en 6 oportunidades con 1 procedimiento sancionatorio en curso por incumplimientos graves en infiltraciones en tranques de relaves desde 2011 a la fecha, aún sin sanción o multas. Se presentan de manera mensual y trimestral informes de seguimiento ambiental de diversa índole a la fecha 433.
- Proyecto Sierra Gorda fiscalizada en 3 ocasiones el año 2015 se detecta incumplimientos graves en piscinas de procesos, operación de tranques de relaves y sistemas de control de infiltraciones el año 2016 se interpone un proceso sancionatorio que deriva en un programa de cumplimiento terminado satisfactoriamente, a la fecha hay 253 informes de seguimiento ambiental de gases, material particulado, relaves, aguas subterráneas y otros.
- Centro de Manejo Integral de Residuos Zona Norte del rubro saneamiento ambiental también presenta proceso sancionatorio en curso donde se le imputan los siguientes cargos graves 1) No haber construido las instalaciones de la Planta de Tratamiento Físico-Químico, destinadas al manejo integral de los residuos líquidos recepcionados, como también de los líquidos lixiviados generados en los procesos del Centro de Manejo 2) No se realiza la limpieza, mediante flujos de aguas, del sistema de recolección de lixiviados. 3) La recolección de lixiviados se realiza mediante bombeo, para posteriormente ser transportados mediante camiones aljibes, y dispuestos en la piscina de emergencia. A pesar de todos estos incumplimientos no hay sanciones asociadas al proyecto.

Según esta información podemos inferir que, a pesar de las pocas fiscalizaciones realizadas, el tiempo y los innumerables informes presentados en la materia, cuando se pesquisan incumplimientos graves, se comienzan procesos interminables que hasta la fecha no han incurrido en multas o en cierre de procesos o medidas reales de remediación ambiental que involucren mejoras o restitución de condiciones ambientales afectadas. Esto finalmente, se traduce en una brecha relacionada con la falta de fiscalización y control de las empresas en el territorio, falta de facultades sancionatorias inmediatas y falta de coordinación entre los organismos públicos encargados de velar por los recursos hídricos y del medio ambiente.

Tabla 4-2 Comparación de Parámetros con la Norma NCh 1.333 y NCh 409 en Estación Cod_BNA 02710001-5 "Agua Potable Antofagasta (CA)".

Parámetro	Unid Med	Nº Reg	Valor Mín	Valor Máx	Valor Prom	Límite NCh 1.333	Límite NCh 409	Cumple
Aluminio Total	mg/l Al	43	0,03	0,4	0,204	5	-	SI
Arsénico Total	mg/l As	53	0,001	0,07	0,016	0,1	0,05	SI
Bicarbonato	mg/l	26	16	210	146,4	-	-	NA
Boro	mg/l B	47	3,63	10	4,07	0,75	-	NO
Cloruro	mg/l Cl	52	143	380	255,9	200	250	NO
Cadmio Total	mg/l Cd	-	-	-	0,005	0,01	0,01	SI
Calcio Total	mg/l Ca	52	12	95	60,96	-	-	NA (*)
Cobalto Total	mg/l	-	-	-	0,005	0,05	-	SI
Cobre Total	mg/l Cu	53	0,01	0,2	0,044	0,2	1,0*9	SI
Conductividad Específica	mhos/cm	53	608	1.710	1.216	1.500	750	NO
Cromo Hexavalente Total	mg/l Cr	34	0,005	0,01	0,006	0,1	0,05	SI
Demanda Química de Oxígeno	mg/l O2	44	0,8	24	10,30	-	-	NA
Fierro Total	mg/l Fe	54	0,01	0,4	0,117	5	0,3	SI
Fósforo de Ortofosfato	mg/l PO4	40	0,003	0,2	0,042	-	-	NA
Magnesio Total	mg/l Mg	52	9,5	36	21,49	-	125	SI
Manganeso Total	mg/l Mn	51	0,004	0,01	0,007	0,2	0,1	SI
Molibdeno Total	mg/l Mo	46	0,002	0,05	0,021	0,01	-	NO
Nitrógeno de Nitrato	mg/l NO3	41	0,01	0,3	0,147	-	-	NA
Oxígeno Disuelto	mg/l O2	46	0,8	10	7,726	-	-	NA
pH	Unid. pH	53	5,8	9,7	7,68	5,5 - 9,0	5,5- 8,5	SI
Razón de Absorción de Sodio (RAS)	-	36	1,9	5	3,932	-	-	NA
Sodio Total	mg/l	51	60	260	153,6	35	-	NO
Sulfato	mg/l	49	31	275	125,5	250	250	SI
Temperatura	Grados C	53	17	28	21,11	-	-	-
Zinc Total	mg/l Zn	51	0,01	0,2	0,043	2	5	SI

(*) NA= No Aplica, debido a que el parámetro muestreado no está normado por las NCh 1.333 o 409 calidad de agua para riego y agua potable

Los parámetros que sobrepasan la norma para diferentes usos tanto de riego como de consumo humano son: Boro, Cloruro, Conductividad Eléctrica (CE), Molibdeno y Sodio.

El boro está presente en el mar, y en las aguas subterráneas, en concentraciones muy superiores a las recomendadas por la norma NCh 1.333. Se trata de un elemento que puede llegar a ser tóxico tanto para los seres humanos como para animales y plantas.

Con respecto a los parámetros de Cloruro y Sodio su presencia en aguas puede ser de origen natural o por conexión con agua de mar, alteración por aguas servidas domésticas o residuos industriales. Altas concentraciones de cloruros y sodio indican salinidad, es detectable a una concentración de 200-250 mg/l y 35 mg/l respectivamente, dado su efecto sobre los rendimientos de los cultivos, en este caso incluso el promedio de los valores muestreados se encuentra sobre el umbral permitido.

La conductividad eléctrica (CE) de las aguas destinadas al consumo Humano no debe ser superior a 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ según indica el umbral de la NCh 409 y en el caso de agua para riego no debe superar los 1.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En ambos casos la CE medida para el pozo AP Antofagasta supera estos límites.

La aparición de molibdeno en los cursos de agua es atribuible esencialmente a la existencia de este elemento asociado al cobre. Esta lixiviación se manifiesta tanto en las aguas subterráneas como en las superficiales. Adicionalmente los depósitos de material de descarte procedentes de la minería constituyen fuentes potenciales de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas.

4.2.4 Derechos constituidos

Los derechos subterráneos constituidos en la cuenca se indican en la Figura 3-1, del capítulo anterior.

Capítulo 5. Balance de agua

5.1 Modelo de simulación

En este estudio se ha desarrollado un modelo de simulación de la hidrología superficial para la Cuenca de la Quebrada Caracoles. La descripción detallada sobre la construcción, calibración y validación del modelo se encuentra disponible en el Anexo H.

La estructura de este capítulo consta del acápite "Situación Actual" (o Escenario de Base de Calibración) que resume los principales resultados y aspectos de la calibración del modelo y enseguida la "Situación proyectada" (escenarios futuros). Igualmente se describen las brechas encontradas, se detallan los aspectos de sustentabilidad (actual y proyectada), los indicadores hídricos de la cuenca y los escenarios de gestión hídrica Modelo de simulación WEAP-Caracoles.

5.1.1 Situación actual (Escenario de calibración)

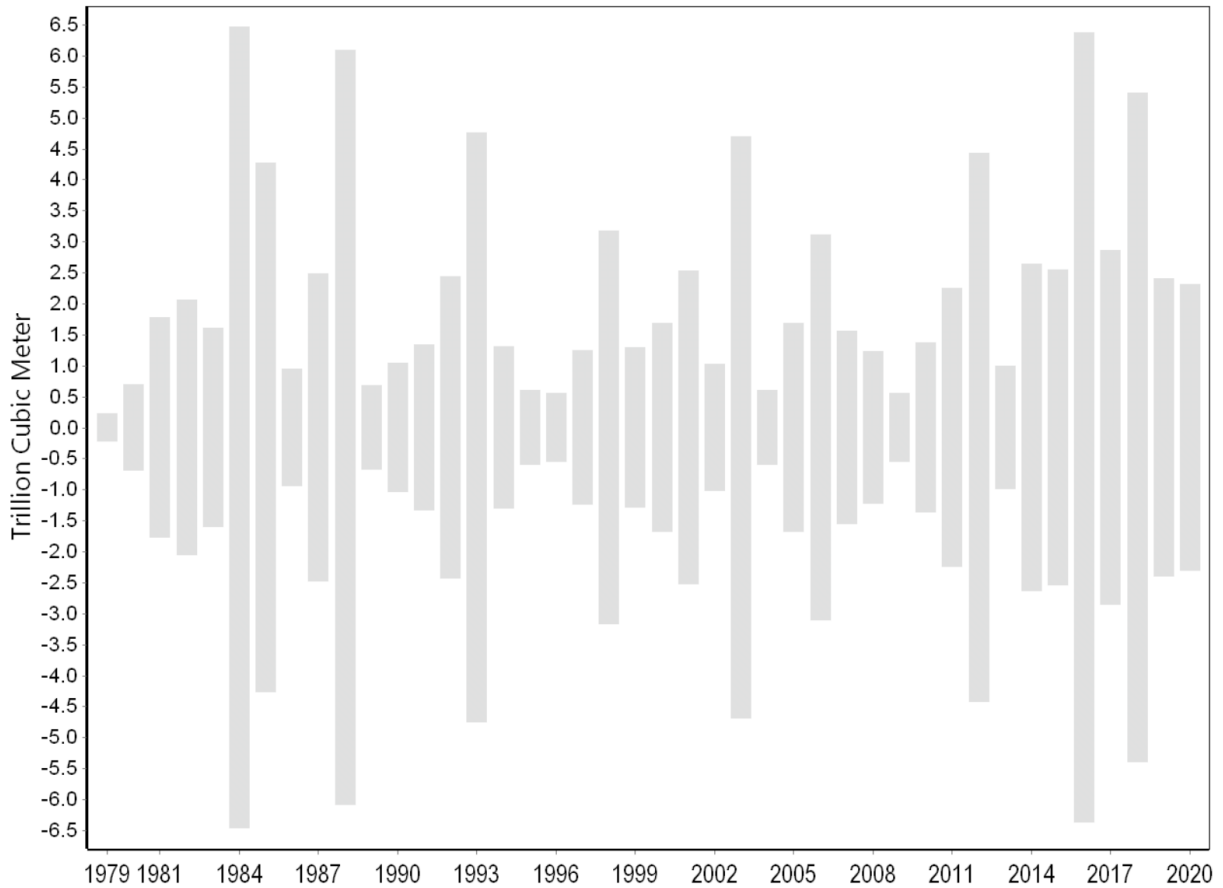
5.1.1.1 Modelo superficial

La modelación del Período Histórico abarca desde abril de 1980 a marzo de 2020 (30 años hidrológicos) y corresponde al modelo final calibrado y validado sin cambios adicionales. Para la construcción, implementación y validación del modelo WEAP se compilaron diversas fuentes de datos hidro-climatológicos instrumentales y productos grillados. Un total de 13 estaciones meteorológicas de la Dirección General de Aguas se encuentran disponibles en la Cuenca. Para suplir datos instrumentales perdidos y sospechosos, el producto climático grillado Cr2met (Boisier et al., 2018) de aproximadamente 5 kilómetros de resolución espacial fue utilizado para suplir la falta de datos hidro-climáticos (ver detalles en Anexo H). La cubierta y uso de suelo utilizada en el modelo fue obtenida desde Zhao et al., (2016). El proceso de calibración del modelo WEAP-Caracoles consideró la parametrización clásica WEAP basada en la perturbación de 34 parámetros que definen la estructura general del modelo. Para este proceso se utilizaron las simulaciones de escorrentía superficial obtenidas desde el Modelo WEAP-Caracoles-Princeton. Con estos datos de referencia se desarrollaron dos esquemas principales de calibración no tradicional de parámetros: (1) Calibración Manual y (2) Calibración Automática (ver detalles en Anexo H).

5.1.1.2 Resultados de la Simulación Hidrológica Histórica

Para la simulación histórica se consideró la evaluación del periodo de referencia 1979-2020 (Figura 5-1). Para este periodo se obtuvo un balance de aguas detallado que permite establecer la partición hidrológica entre las entradas y salidas de agua desde las

unidades hidrológicas definidas para la cuenca de Caracoles. Primero se presentan los flujos de recarga, los cuales fueron agrupadas en procesos de recarga directa (Tabla 5-1) y procesos de recarga lateral (Tabla 5-2). La variación mensual de los flujos estimados muestra recargas mensuales que fluctúan entre 0.1 l/s y 154.8 l/s como promedio para la cuenca de Caracoles en el Anexo H se presentan mayores detalles.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-1 Balance hídrico incluyendo los flujos anuales de entrada y salida de agua subterránea (1979-2020) de todas las cajas acuíferas simuladas por el modelo WEAP-Caracoles

Tabla 5-1 Estimaciones de la recarga directa promedio mensual (m³/mes) obtenidas desde los nodos de demanda para cada unidad hidrológica definida en el modelo WEAP-Caracoles (1979-2020).

Unidad Hidrológica	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Middle Quebrada del Profeta	53.595	23.574	119.255	158.947	113.328	77.376	61.147	13.928	225.000	360.000	23.036	17.258
North Quebrada del Profeta 1	4.293	3.250	9.052	7.475	6.887	4.636	5.678	4.902	202.000	412.000	5.557	2.980
North Quebrada del Profeta 2	10.737	8.208	21.658	20.408	18.719	12.971	12.632	7.793	320.000	449.000	7.915	3.776
North Quebrada del Profeta 3	14.575	11.242	26.307	30.047	26.332	18.689	13.185	6.341	475.000	229.000	5.325	1.972
North Quebrada del Profeta 4	38.879	23.661	77.937	108.176	89.454	64.600	43.270	16.456	585.000	862.000	14.452	6.474
Quebrada Mantos Blancos	190.883	130.260	401.155	390.458	363.752	269.770	196.466	124.805	5.511	20.463	126.581	119.435
Quebrada Saco	22.806	16.217	47.731	39.650	38.284	28.428	31.634	25.224	555.000	2.620	19.410	25.880
South Quebrada del Profeta	45.029	18.793	99.097	106.733	80.000	55.643	50.350	17.356	647.000	614.000	52.040	36.460

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5-2 Estimaciones de la recarga lateral promedio mensual (m³/mes) obtenidas desde los nodos de demanda para cada unidad hidrológica definida en el modelo WEAP-Caracoles (1979-2020).

Unidad Hidrológica	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Salar de Navidad	104.000	14.429	7.799	4.924	3.261	2.445	1.753	1.084	674.000	399.000	227.000	105.000
Salar de Pampa Blanca	1.487	38.953	22.000	16.076	12.769	10.859	8.211	5.520	3.461	1.826	1.230	1.112
Salar del Carmen	852.000	38.065	21.464	14.169	10.457	21.674	6.992	4.687	2.895	1.802	1.140	620.000

Fuente: Elaboración propia.

Para todas las unidades hidrológicas definidas en el modelo WEAP-Caracoles se estimaron los flujos asociados a los procesos de recarga, los cuales fueron incluidos en los resultados finales del balance de aguas para la cuenca de Caracoles. Adicionalmente, se incluyeron los flujos Inter acuíferos para cada una de las unidades hidrológicas consideradas en el modelo. El detalle de todos los resultados se encuentra disponible en el Anexo H – Modelo hidrogeológico.

5.1.2 Situación proyectada

5.1.2.1 Selección de Modelo de Circulación General disponibles

Se escogió para ser evaluado al caso más desfavorable de los escenarios definidos para el quinto informe del IPCC (CMIP5), llamados *Representative Concentration Pathways* (RCP), el escenario escogido corresponde al RCP 8.5 nombrado porque la radiación forzante sobre la atmósfera en dicho escenario alcanza los 8.5 W/m^2 , este fue escogido debido a que existe consenso científico (Peters et al, 2012) en que actualmente las emisiones de CO₂ se encuentran en un nivel similar o por sobre las emisiones asociada al escenario RCP 8.5.

Adicionalmente es importante agregar que existen más de 20 modelos de circulación general (MCG) que realizan simulaciones climáticas para el escenario escogido, pero dada la información que se ha generado en el contexto del proyecto de Actualización del Balance Hídrico de Chile llevado a cabo por las Universidades de Chile y Pontificia Universidad Católica, se tienen 4 MCG que se han testeado para todo Chile, escogidos por la representación que han tenido del clima local. En particular, en el caso de la cuenca en estudio, los modelos seleccionados para ser evaluados fueron MIROC y IPSL en el periodo de simulación futura de 2022 a 2059. Más detalle se presenta en el Anexo H.

5.1.2.2 Proyección de la Oferta y Demanda Hídrica Futura

Con los escenarios seleccionados fue posible establecer las diferencias entre las simulaciones de referencia y las simulaciones asociadas a procesos de cambio climático, o aquellas asociadas a procesos de cambios en la gestión de las aguas a escala de cuenca. Los períodos evaluados corresponden a 1985-2021 para la referencia y 2022-2059 para los escenarios climáticos y de gestión. Las demandas asociadas a concesiones mineras (Tabla 5-3) en promedio aumentaron en un 28.6% al comparar el escenario de referencia y el escenario de Cambio Climático 1 combinado con el Escenario de Gestión 1 (ver detalles en Anexo H). Este incremento corresponde a la diferencia promedio más significativa desde el

punto de vista comparativo de los nodos de demanda incluidos en el modelo WEAP-
Caracoles

Tabla 5-3 Demanda de agua promedio mensual simulada (m³/mes) para cada escenario de cambio climático y su correspondiente escenario de gestión hídrica utilizando el modelo WEAP-Caracoles (Incluye todos los nodos de demanda).

Escenario principal	Escenario perturbado	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Escenario Climático 1	Referencia	2.144.828	2.216.322	2.144.828	2.216.322	2.216.322	2.144.828	2.216.322	2.144.828	2.216.322	2.216.322	2.001.840	2.216.322
	Gestión 1	2.758.144	2.850.082	2.758.144	2.850.082	2.850.082	2.758.144	2.850.082	2.758.144	2.850.082	2.850.082	2.574.268	2.850.082
	Gestión 2	557.124	575.695	557.124	575.695	575.695	557.124	575.695	557.124	575.695	575.695	519.983	575.695
Escenario Climático 2	Referencia	2.144.828	2.216.322	2.144.828	2.216.322	2.216.322	2.144.828	2.216.322	2.144.828	2.216.322	2.216.322	2.001.840	2.216.322
	Gestión 1	2.758.144	2.850.082	2.758.144	2.850.082	2.850.082	2.758.144	2.850.082	2.758.144	2.850.082	2.850.082	2.574.268	2.850.082
	Gestión 2	557.124	575.695	557.124	575.695	575.695	557.124	575.695	557.124	575.695	575.695	519.983	575.695
Referencia	Referencia	2.144.828	2.216.322	2.144.828	2.216.322	2.216.322	2.144.828	2.216.322	2.144.828	2.216.322	2.216.322	2.001.840	2.216.322

5.2 Sustentabilidad (Actual y Proyectada)

Tomando en consideración las principales brechas asociadas a los resultados del modelo WEAP, la capacidad de la cuenca de poder sustentar las demandas futuras puede ser evaluada mediante el establecimiento de un radio de sustentabilidad hídrica que permita garantizar efectivamente la sustentabilidad de la cuenca en el mediano y largo plazo. En este contexto, desde los resultados más pesimistas de la modelación WEAP (Escenario Climático 2 y Escenario de Gestión 1), es posible observar que el volumen de agua anual que se necesitaría para satisfacer las demandas futuras crecientes, asociadas a cambios climáticos con reducción en la acumulación de las lluvias dentro del dominio de la cuenca de Caracoles, alcanzaría a los 33.557.418 m³. Asimismo, si consideramos que la recarga directa anual puede fluctuar entre 0 a 154.8 l/s (0 a 4.881.773 m³), podríamos concluir que dicha situación implicaría un radio de sustentabilidad (demandas/ofertas) de 6.87 veces, lo cual se considera un valor extremadamente alto para las características naturales de esta cuenca.

5.3 Indicadores Hídricos de la Cuenca

Considerando el volumen de agua establecido en la sección anterior y el área de la cuenca de Caracoles, es posible establecer un indicador de la demanda hídrica futura por unidad de superficie requerida para satisfacer dicha demanda. En este contexto la cuenca de Caracoles necesitaría aproximadamente 1,2 l/m²/año para satisfacer las demandas futuras asociados a escenarios climáticos y de gestión pesimistas. A pesar de que este valor puede parecer bajo desde el punto de vista hidrológico, su interpretación implicaría que en la cuenca deberían llover al menos 1.2 milímetros para satisfacer la demanda futura. Lo anterior sin considerar las perdidas por evaporación, escorrentía y recarga de agua, lo cual implicaría un aumento de la cantidad de precipitación anual diferencial requerida para satisfacer la demanda futura de agua en la cuenca de Caracoles.

5.4 Escenarios de gestión hídrica

5.4.1 Descripción de los Escenarios Establecidos

Tomando en consideración la simulación inicial y el proceso de calibración del modelo WEAP, se definieron dos escenarios de cambio climático, dentro de los cuales se definieron dos escenarios de gestión de aguas. Estos escenarios se definieron con el propósito de determinar la respuesta del sistema frente a distintas estrategias definidas para abordar problemáticas hídricas. Estas iniciativas propuestas han surgido durante el desarrollo del presente estudio, considerando la especificidad de la cuenca a través de las actividades de

Participación Ciudadana, del análisis de los antecedentes recopilados en coordinación con la DGA y del diagnóstico realizado.

Lo identificado, en la actividad de la PAC define los escenarios a modelar ya que ésta refleja las visiones y percepciones de los grupos que están en el territorio, colectivos de la sociedad civil y organismos públicos. La evaluación de los escenarios propuestos no limita la incorporación de distintas alternativas al Plan estratégico elaborado.

En total se establecieron cuatro escenarios de gestión los cuales se definen a continuación:

5.4.1.1 Escenario 1: Modelación de los derechos de aprovechamiento y Patentes otorgadas a las Concesiones Mineras presentes en el territorio

Para esto se utilizaron los derechos y las patentes declaradas en "Catastro Publico de aguas", y los valores modelados corresponden a 827.5 (derechos menos patentes, extracciones supuestas como efectivas) y 242.4 (caudales que pagan patente) [l/s] (aproximadamente) distribuidos en la cuenca según la información recopilada de manera agregada (más información se puede revisar en Informe Final Capitulo 3: Demanda Física y legal y el Anexo J-3).

5.4.1.2 Escenario 2: Modelación de reducción de los derechos de aprovechamiento otorgadas a Concesiones Mineras presentes en el territorio.

Para la modelación de este escenario, se siguió la misma lógica anterior, pero esta vez los derechos de aprovechamiento fueron reducidos a 200 [l/s], asumiendo que las concesiones mineras tendrán una transición hacia un mayor uso de agua de mar. Este escenario derivó de procesos de participación ciudadana y reuniones de trabajo sostenidas a lo largo del estudio.

Para finalizar, es importante señalar, que el modelo solo puede capturar las particularidades de la modelación superficial de manera agregada, por lo que cualquier resultado obtenido aquí no será representativo de la distribución espacial dentro de la Cuenca en su totalidad, por lo que se recomienda interpretar estos resultados con la precaución requerida.

5.4.2 Resultados de la Simulación Hidrológica para los Escenarios de Gestión Hídrica

Los escenarios de Gestión Hídrica mostraron que la activación de los derechos de agua asociados a las concesiones mineras asignados en la Cuenca de Caracoles incrementa

las demandas promedio mensuales en aproximadamente 14.217.456 m³/año considerando el Escenario Climático 1 en conjunto con el escenario de Gestión 1 (ver detalles en Anexo H). Los volúmenes estimados corresponden principalmente a una activación total de los derechos de aprovechamiento de aguas asignados para actividades mineras dentro de la cuenca de Caracoles.

La combinación de los escenarios climáticos y los escenarios de gestión reveló importantes brechas que podrían afectar el manejo de aguas la cuenca de Caracoles (Tabla 5-4). Por ejemplo, una reducción de las precipitaciones acumuladas en el tiempo, combinada con la activación de todos los derechos de agua y patentes asociados a las concesiones mineras implica cambios importantes en el almacenamiento de agua subterránea en los acuíferos de la Cuenca. Esto se verifica al comparar el almacenamiento del escenario de referencia con el Escenario Climático 2 combinado con el Escenario de Gestión 2, en donde el volumen de agua subterránea se reduce en promedio 286.887.316 m³ por año para toda la cuenca de Caracoles (ver detalles en Anexo H).

Tabla 5-4 Demandas simuladas (m3/mes) desde todos los nodos de demanda disponibles en la cuenca de Caracoles. Los escenarios de gestión incluyen las demandas asociadas a la activación total de derechos de aprovechamiento de aguas asignados a concesiones mineras.

Escenario principal	Escenario perturbado	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Jan	Feb	Mar
Escenario Climático 1	Referencia	2.899.147.126	2.024.776.635	1.272.312.375	1.602.686.097	2.904.826.585	4.307.031.601	5.265.426.203	5.847.324.212	6.044.924.172	5.265.228.153	4.030.595.082	3.898.131.383
	Gestión 1	2.899.760.442	2.025.410.395	1.272.925.691	1.603.319.857	2.905.460.345	4.307.644.917	5.266.059.962	5.847.937.528	6.045.557.932	5.265.861.913	4.031.167.511	3.898.765.143
	Gestión 2	2.897.559.422	2.023.136.008	1.270.724.671	1.601.045.470	2.908.289.248	4.305.480.396	5.263.785.563	5.845.736.509	6.043.283.545	5.263.587.526	4.029.113.226	3.896.490.756
Escenario Climático 2	Referencia	2.899.160.090	2.024.784.773	1.272.340.116	1.602.715.960	2.904.852.209	4.307.050.161	5.265.440.633	5.847.331.751	6.044.924.468	5.265.229.037	4.030.603.500	3.898.138.774
	Gestión 1	2.899.773.406	2.025.418.533	1.272.953.432	1.603.349.720	2.905.485.968	4.307.663.477	5.266.074.393	5.847.945.067	6.045.558.227	5.265.862.797	4.031.175.928	3.898.772.533
	Gestión 2	2.897.572.387	2.023.144.146	1.270.752.412	1.601.075.333	2.908.677.744	4.308.795.669	5.263.971.625	5.847.862.039	6.043.283.839	5.263.588.410	4.029.121.643	3.896.498.146
Referencia	Referencia	2.899.150.241	2.024.778.629	1.272.318.975	1.602.693.216	2.904.832.744	4.307.036.251	5.265.429.953	5.847.326.322	6.044.924.541	5.265.228.560	4.030.597.176	3.898.133.188

5.5 Brechas existentes para la modelación WEAP

Respecto de la identificación de brechas para la modelación hidrológica base, se detallan a continuación las brechas determinadas en el contexto de la modelación hidrológica base.

La principal brecha hídrica es identificada desde la modelación WEAP tiene que ver con una reducción del almacenamiento de aguas subterráneas y un aumento de las demandas de agua en la cuenca debido a la activación completa de los derechos de aprovechamiento agua y las patentes asociadas a concesiones mineras asignadas por la Dirección General de Aguas. La brecha se interpreta como una acción requerida para minimizar el impacto del aumento de las demandas de agua en la cuenca de Caracoles. Para ello es necesario definir la sustentabilidad de la cuenca.

Otra brecha encontrada es que el modelo simplifica la representación física de las cuencas y los acuíferos. La simulación de sistemas hidrogeológicos regionales es limitada desde WEAP. El Modelo no simula cuerpos de agua naturales o procesos hidrológicos como la recarga lateral, la evaporación desde un acuífero superior, los afloramientos, y la recarga lateral hacia los salares. Esta brecha se da por no contar con un modelo regional de aguas subterráneas para permitir acople con el modelo superficial WEAP y así mejorar la representación física de los sistemas hidrológicos e hidrogeológicos de la cuenca de Caracoles.

Asimismo, el Modelo WEAP es una buena alternativa para establecer esquemas de manejo de aguas a escala mensual, sin embargo, no es recomendable para simulación inundaciones o crecidas aluvionales por lo que debiera evaluarse la necesidad de nuevos modelos hidráulicos o hidrológicos para estos propósitos. Esto se debe principalmente a la naturaleza de las inundaciones repentinas, las cuales requieren un monitoreo en tiempo real a escala sub-diaria y con representaciones físicas de la onda cinemática de crecida que permitan establecer un mapeo detallado de la distribución espacial de las alturas, flujos y volúmenes de inundación asociados a eventos de crecidas extremas. A pesar de lo mencionado, es importante agregar que WEAP permite definir esquemas de manejo de las inundaciones mediante el establecimiento de umbrales de inundación, fracciones de uso y retorno de agua desde las inundaciones, para el cultivo de arroz, el manejo de humedales, el manejo de las planicies de inundación, y el control de inundaciones desde reservorios.

Capítulo 6. Cuenca Piloto

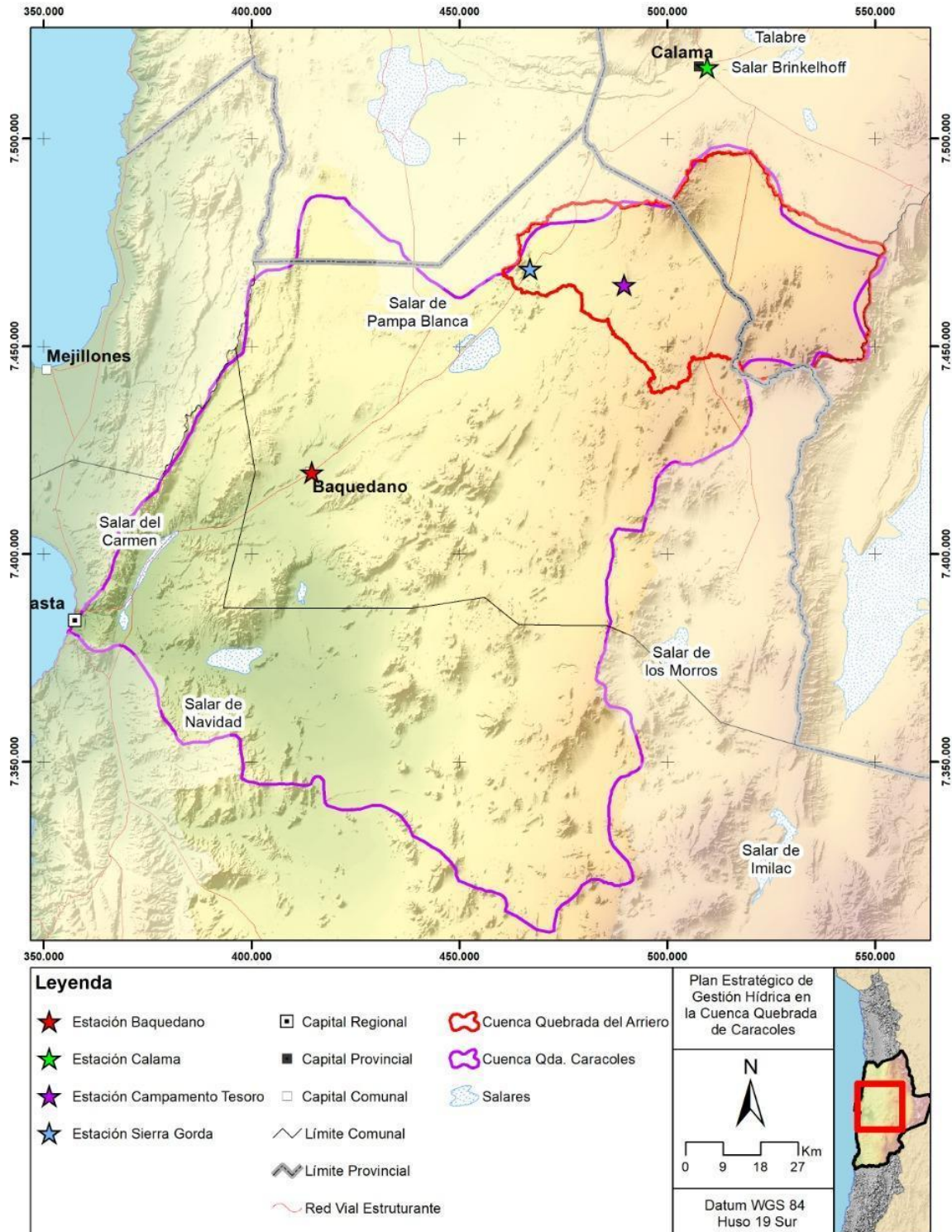
Como parte del desarrollo del presente Plan Estratégico de Gestión Hídrica y con el objeto de mejorar la utilidad de la información obtenida en terreno, pensando en un producto que ayude a mejoramiento del conocimiento de los recursos hídricos subterráneos de la cuenca, se definió, en conjunto con la Inspección Fiscal y la DGA Regional, una subcuenca piloto, sobre la cual se realizaron todos los trabajos de terreno y se elaboró un modelo hidrogeológico conceptual, que estimó la recarga del sistema subterráneo, en un territorio con una fuerte demanda de agua para proyectos mineros actuales y futuros que utilizan este recurso hídrico subterráneo.

Este sector de estudio corresponde a la subcuenca Quebrada de los Arrieros y a la cabecera de la cuenca Quebrada Saco, cubriendo una superficie, aproximada, de 2845 km², que corresponde a un 15% de la cuenca Quebrada Caracoles (Figura 6-1).

Esta subcuenca presenta un clima desértico con escasas precipitaciones, las que ocurren esporádicamente durante los meses de invierno y también en meses de verano como consecuencia de la extensión del invierno altiplánico hacia zonas más bajas. Pese a que las lluvias son de baja magnitud a nivel anual, es posible que puedan ocurrir ocasionalmente lluvias torrenciales que den origen a escurrimientos de agua superficial esporádicos, ya que escurrimiento de agua superficial permanente no se observa en esta subcuenca, ni en la cuenca Quebrada Caracoles.

La subcuenca de estudio se caracteriza por una morfología de pampa aluviales interrumpidas por suaves serranías orientadas norte-sur con alturas entre 2100 a 4000 m.s.n.m. Debido a las escasas precipitaciones el relieve está formado por lomajes suaves sin cambios abruptos de pendiente, en donde se ha desarrollado una red de drenaje muy extendida en el área pero muy poco labrada, observándose algunos cauces principales que no superan algunos metros de profundidad pero que se extienden en una amplia sección.

El detalle de la cuenca piloto incluyendo su caracterización se encuentra en el Anexo H-3.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-1 Ubicación de la cuenca de estudio, subcuenca piloto y estaciones meteorológicas.

6.1.1 Trabajo de terreno

Los trabajos de terreno realizados en este PEGH consistieron en la caracterización hidroquímica e isotópica y topografía, además de un levantamiento geofísico. Los métodos geofísicos implementados corresponden a Gravimetría y Transiente Electromagnética (TEM), además de perfiles de conductividad y temperatura del agua en los pozos investigados.

El objetivo de estos trabajos fue reconocer la geometría acuífera, el techo de la zona saturada y el contacto entre el relleno sedimentarios no consolidado y el basamento rocoso. Para esto, se delimitaron con los sondeos TEM las unidades geoelectricas y el límite zona vadosa-saturada, mientras que con la gravimetría se identificó el contraste de densidad entre el relleno clástico no consolidado y la base rocosa del valle.

Los levantamientos de información hidrogeológica e hidroquímica consistieron en la medición en terreno, en pozos del distrito Centinela, de niveles estáticos, parámetros fisicoquímicos y perfiles de temperatura-conductividad-eléctrica, además de la toma de muestras de agua para análisis de isotopos ambientales y un conjunto de parámetros hidroquímicos.

El detalle de los trabajos realizados en terreno, incluyendo mediciones geofísicas, topografía y muestreo de aguas subterráneas se encuentra en el Anexo F.

Capítulo 7. Modelo conceptual hidrogeológico

En este capítulo se entrega la caracterización hidrogeológica de la subcuenca Quebrada de los Arrieros, definida como sector piloto de estudio, concentrándose en los antecedentes disponibles en el centro de esta subcuenca y proporcionados por los estudios desarrollados en el Distrito Minero Centinela, los cuales se ven complementados en el Anexo H de este PEGH, con información general de toda la subcuenca, aportada por antecedentes de los proyectos mineros Spence y Sierra Gorda.

En esta subcuenca se reconocen las siguientes unidades hidrogeológicas: UH-A: Unidad de media a alta importancia hidrogeológica (Depósitos Sedimentarios No Consolidados), UH-B: Unidad de media a baja importancia hidrogeológica (Sedimentos Semi Consolidados) y UH-D: Unidad de baja a muy baja importancia hidrogeológica (Rocas Volcánicas y Sedimentarias), UH-E/F: Unidades de muy baja a nula importancia hidrogeológica (Rocas intrusivas y paleozoicas) (Figura 7-1).

El agua subterránea se reconoce, principalmente, en la Unidad UH-A y UH-B, así como también, en rocas fracturadas o meteorizadas de la Unidad UH-D.

Los niveles estáticos se encuentran entre 15 y 180 m de profundidad, siendo algunos de ellos influenciados por las obras mineras de drenaje o infiltración del acuífero.

La piezometría muestra un movimiento del agua subterránea, de dirección general, este-oeste, con una gradiente hidráulica entre 0,02 y 0,04, y un cambio en la dirección del flujo en el tramo final de la subcuenca de norte a sur.

En cuanto a la calidad de las aguas subterráneas en la subcuenca de estudio, los factores hidrogeológicos y antrópicos condicionan sus principales características, presentando salinidades de aguas salobres a muy saladas, con valores de conductividad eléctrica entre 9 y 90 mS/cm, valores que se explican, en gran parte, con la baja tasa de recarga de la zona, movimientos lentos del agua dentro de los acuíferos y, por consiguiente, importantes tiempos de residencia en los mismos, lo que incrementa la interacción e incorporación de sales del medio que contiene estas aguas. Pero también, esto se explica por aportes de sales por infiltración desde los depósitos antrópicos o descargas de la actividad minera.

El detalle del modelo hidrogeológico conceptual se encuentra en el Anexo H, mientras que la representación 3D del modelo y su metodología se encuentra en el Anexo H-1.

7.1 Brechas en Hidrogeología

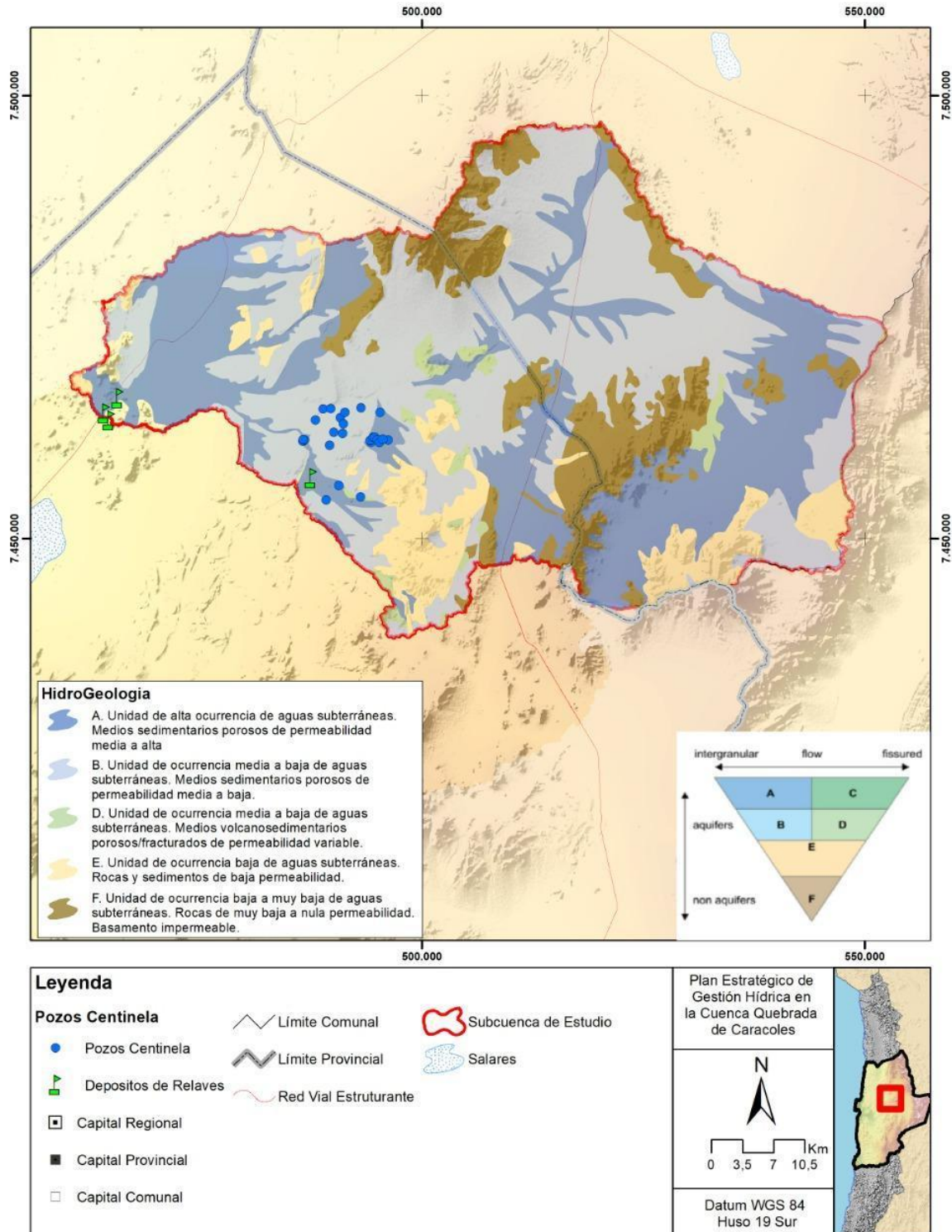
En relación a la modelación hidrogeológica conceptual para la cuenca Quebrada Caracoles están asociadas principalmente a la escasa información disponible en algunos sectores. Específicamente, existe una falta de estudio en los sectores situados fuera del área de influencia de los proyectos mineros. La subcuenca definida como sector piloto, carece de información hidrogeológica que cubra la totalidad del área y permita generar un modelo que integre la valiosa información parcializada que entregan los estudios de este tipo en las líneas base y caracterizaciones del recurso hídrico subterráneo de los proyectos mineros. No existen estudios hidrogeológicos de detalle a nivel subcuenca que permitan caracterizar los flujos de agua subterránea y estimar su recarga.

Para el SHAC Sierra Gorda existen sólo dos estaciones meteorológicas DGA situadas en Baquedano y la localidad homónima, mientras que para el SHAC Salares Navidad y Mar Muerto, no se dispone de estas estaciones, por lo que no existen datos oficiales de temperatura y precipitaciones. Por otra parte, en ninguno de los SHACs que conforman la

cuenca de estudio, existen estaciones de monitoreo de niveles estáticos y calidad de agua subterránea, por lo tanto, esta zona carece de datos oficiales y públicos de la variación de estos parámetros hidrogeológicos e hidroquímicos.

Esta falta, espacial y temporal, de datos hidrológicos genera una brecha en cuanto al control instrumental de la cuenca y condiciona a la generación modelos hidrogeológicos alimentados por datos obtenidos fuera de estas cuencas y proyectados desde sectores con distintas características hidrológicas. En general, a nivel país, las estaciones meteorológicas se encuentran ubicadas dentro o cercanas a zonas pobladas de fácil acceso, lo cual genera brechas de información hidrometeorológica en zonas sin asentamientos humanos de importancia o actividad minera, como es el caso de la cuenca de estudio, donde existe escasa a nula información de escorrentía superficial, precipitaciones líquidas y sólidas, evaporación y sublimación, siendo estos registros fundamentales para realizar estudios confiables de recarga y dinámica de las aguas subterráneas.

Por último, se reconoce una brecha en la falta de estudios hidrogeológicos de detalle a nivel subcuenca que definan permitan caracterizar los flujos de agua subterránea y estimar su recarga.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 7-1 Hidrogeología de la subcuenca piloto.

Capítulo 8. Acciones

Las acciones que se proponen provienen de las brechas detectadas en el capítulo anterior, es decir, en los relacionados con gobernabilidad y aspectos socioculturales, dimensión ambiental y calidad de agua, hidrogeología, infraestructura y modelación WEAP.

Como se ha señalado a lo largo de este informe, hay aspectos de falta de información que releva la necesidad urgente de contar con una red hidrometeorológica que caracterice las variables necesarias para poder dimensionar adecuadamente las componentes de los recursos hídricos presentes en la zona.

Hay opiniones expertas que indican que el no contar con información hidrometeorológica, datos o estadística, no es óbice para formular acciones sobre desarrollo de infraestructura, por ejemplo, pero en este caso ello no es viable por cuanto el comportamiento de variables como la evaporación, temperatura y distribución de las precipitaciones, entre otras, en esas condiciones de altura y geografía hacen que la incertidumbre en la determinación de la recarga subterránea por ejemplo, haga que cualquier definición de acciones sea muy preliminar y presente mucha inexactitud y por lo tanto arriesga que en su implementación no se logre el objetivo establecido ex ante.

8.1 Gobernabilidad y aspectos socioculturales

8.1.1 Rango constitucional del agua como bien nacional de uso público

Se plantea esta acción a la luz de 40 años de la legislación del recurso hídrico a nivel legislativo, y dado que la Constitución Política de la República va a ser modificada. Cabe hacer presente que actualmente la única norma respecto del agua en la constitución vigente es la que garantiza la propiedad de los particulares sobre los derechos de agua. Es decir, es una norma que establece una garantía del más alto rango constitucional de un derecho de propiedad respecto de un recurso natural esencial para la vida y el desarrollo, que impide una adecuada gestión integrada a nivel de cuencas hidrográficas.

El objetivo de esta acción es reconocer el rango constitucional de las aguas como bienes nacionales de uso público, recoger las normas internacionales sobre los derechos humanos en esta materia, en particular, el derecho humano al agua, como un derecho inalienable equivalente al derecho a la vida.

Es necesario reestablecer las prioridades de uso, acogiendo últimos fallos de la Corte Suprema respecto del agua para consumo humano y para riego, y se debiera pensar en cambiar la opción de constituir derechos de aprovechamiento de aguas por un mecanismo como concesiones de carácter administrativo de un bien nacional de uso público otorgadas

a particulares, esencialmente temporales, sujetas a caducidad si no se usan, y sujetas a limitación en consideraciones a prioridades como conservación de la naturaleza y acceso al agua de las personas.

8.1.2 Cambios normativos que aseguren el uso eficiente del agua

Se propone realizar cambios normativos que aseguren que el uso del agua se haga de forma eficiente, permitiendo y promoviendo la adopción de tecnologías que reduzcan los requerimientos de agua y que no comprometan su calidad, para así descomprimir la creciente demanda sobre este recurso.

Para lograr este objetivo se propone realizar estudios hidrogeológicos específicos en el sector en estudio, de manera de generar información que permita realizar un modelo a nivel cuenca, sustentado en esta información.

Por otra parte, se requieren cambios normativos en el Código de Aguas y en las leyes sectoriales de las distintas actividades como Corfo, Código de Minería, Ley de Geotermia, Ley de energía y Ley eléctrica, entre otras.

8.1.3 Adecuada definición de los Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común

Dado que los SHAC fueron determinados para el manejo de los derechos de agua y no para una gestión integral del agua, se tiene que la principal inconsistencia reconocida es la falta de independencia hidráulica entre un sector hidrogeológico y otro, lo que sugiere la necesidad de algunas acciones concretas.

Una propuesta sería redefinir los SHAC de la cuenca en estudio. Para este procedimiento se sugiere utilizar la propuesta metodológica para sectorizar acuíferos que fue creada en el estudio SIT N°341 DGA/GCF-2014.

Como alternativa o complemento a la propuesta anterior, se hace necesario destacar que los acuíferos no siempre tendrán la posibilidad de ser separados en sectores independientes desde una perspectiva hidrogeológica.

Considerando este contexto, se sugiere la implementación del concepto creado en el informe SIT N°341 ya citado, denominado "Sector Hidrogeológico de Aprovechamiento Compartido", que correspondería a un acuífero o parte de un acuífero cuyas características hidrológicas espaciales y temporales son tales que pese a su delimitación física, desde el punto de vista hidrogeológico, mantiene vínculos o dependencia con sectores

hidrogeológicos aledaños, lo que significa tener que tratarlo, tanto técnica como administrativamente, como un sistema dependiente de otros.

Además, se recomienda desarrollar este análisis para incorporarlo en aquellos PEGH donde se considere la componente subterránea.

8.1.4 Adecuada definición de las cuencas hidrológicas

Se propone definir una única delimitación de las cuencas hidrográficas por parte de la DGA, buscando la mejor definición entre los tres criterios que actualmente utiliza:

- i. Las cuencas del Banco Nacional de Agua (BNA)
- ii. Las cuencas DHAR del año 2015
- iii. Otra delimitación corregida de las cuencas en el territorio que sean representativas de dicha unidad territorial.

Además de la delimitación definitiva, se requiere que reglamentariamente se instruya acerca de la existencia de una delimitación actualizada que reemplaza a las anteriores.

8.1.5 Catastro de extracciones de agua en la cuenca

Dado el desconocimiento de las extracciones reales se propone la realización de fiscalizaciones en al menos un porcentaje representativo de los derechos de agua otorgados en la cuenca. Se propone, además, que la información obtenida a partir de este catastro se haga llegar a la población mediante una plataforma digital de fácil acceso que permita conocer los usos, usuarios y caudal extraído desde las distintas fuentes, para así tener datos confiables, actualizados y accesibles de las extracciones realizadas en la cuenca y con ello poder realizar un balance hídrico con menor incertidumbre, además de permitir realizar los cobros de patente por no uso cuando corresponda. Facilitar el acceso de la ciudadanía a esta información se encuentra en línea con los crecientes requerimientos de transparencia y la preocupación por el estado del recurso durante los últimos años.

8.1.6 Acciones frente a episodios de contaminación en acuíferos

Actualmente existen diversos mecanismos que buscan proteger los acuíferos en cuanto a niveles y a calidad, como por ejemplo los Planes de Alerta Temprana (PAT) propuestos en el marco de las evaluaciones de impacto ambiental y los reportes realizados por distintas empresas en el Sistema Nacional de Información de Fiscalización Ambiental (SNIFA), sin embargo, como se mencionó en el acápite de brechas, existe una dificultad en el acceso y el procesamiento de estos para que cumplan efectivamente su objetivo de ser un aporte en la protección de los acuíferos. Considerando estos antecedentes, una

acción en el corto plazo para comenzar a facilitar el acceso y el análisis oportuno de estos datos sería que las instituciones encargadas pidan que los reportes realizados por privados estén en formatos amigables como planillas Excel, solicitud que con la normativa actual se encontraría dentro de sus facultades. Un segundo avance que se propone en esta materia es la creación de una plataforma digital de monitoreo en línea, donde los distintos actores involucrados puedan acceder de forma rápida a los datos existentes. Una plataforma que serviría como ejemplo es la perteneciente a la compañía SQM (www.sqmsenlinea.com) donde además de la posibilidad de descargar los datos, existen gráficos y mapas que facilitan su comprensión.

Adicionalmente, es importante considerar hacer un análisis crítico del desarrollo y funcionamiento de los PATs ya que ocurre en específico respecto de alguno de ellos, no en la cuenca en estudio pero en cuencas cercanas, en donde definitivamente los PATs en su formulación no logran poner a recaudo la protección de los acuíferos en su operación, lo que ha generado por ejemplo en los PATs Elvira –Mariposas- Los Morros, que aun cuando los niveles han venido en descenso de manera sostenida, sólo se han activado una sola vez en más de 20 años lo que ha significado que la explotación de los derechos están en una situación vulnerable.

La definición de un PAT, en términos generales, requiere definir adecuados umbrales intermedios que permitan tomar acciones previo a llegar niveles críticos por lo que la determinación de la ubicación, por ejemplo, de piezómetros o reglillas indicadores de estado de variables como niveles, deben estar ubicados a una distancia adecuada de los sistemas objeto de protección y no dentro de ellos, de manera que los umbrales determinados al ser alcanzados gatillen su activación en fases escalonada que impliquen, primero, una alerta oportuna y luego la implementación de medidas de contingencia orientadas a superarla. Lo importante es que estos planes entreguen información a tiempo para implementar una respuesta/acción pronta y oportuna frente a las activaciones de fases de estos instrumentos. Y si ello no se cumple con las actuales definiciones de dichos instrumentos, que puedan adaptarse mediante mecanismos relativamente fáciles y oportunos de manera de no perder el objetivo de la protección de dichos sistemas.

8.2 Dimensión ambiental y calidad de aguas

8.2.1 Soluciones basadas en la naturaleza

Este concepto que se ha posicionado fundadamente en el último tiempo considera que la crisis ecológica y climática es muestra de un problema profundo y una alerta desde la cual se transparentan las deficiencias en la forma en que las personas se relacionan con

el entorno que, determinada por la concepción antagónica entre humanidad-racional y naturaleza, ha dominado la cultura desde la modernidad, como consecuencia de la Revolución Científica y la Revolución Industrial¹⁴.

Por lo anterior, para frenar la destrucción de la naturaleza provocada por la humanidad, se formula la necesidad de cambiar el paradigma antropocéntrico por uno que transite hacia una relación de respeto e igualdad con la naturaleza, en que se reconozca que todas las formas de vida son moralmente relevantes. Esta visión, considerada ecocéntrica, reconocible en la cosmovisión de los pueblos indígenas, presente en la discusión ética y científica desde la ecología e incluso existente de manera hegemónica con anterioridad a la revolución industrial, se considera que el ser humano es parte de la naturaleza y como tal, debe vivir en armonía con ella, respetando sus ciclos y límites y sus derechos.

En la actualidad, el reconocimiento de derechos a la naturaleza, con distintos estatus y consideraciones, se ha incorporado en varios países como Ecuador, Colombia, Australia, India, Nueva Zelanda, Bolivia, Bangladesh, México, Uganda y Estados Unidos.

Estos derechos van desde el reconocimiento constitucional, reconocimiento legal, reconocimiento a nivel local a través de instrumentos de ordenamiento territorial.

En síntesis, en la formulación de estos instrumentos legales y normativos se acepta que la naturaleza es un sujeto de derecho moralmente valioso, que tiene derecho a existir, a persistir y a ser reparada y restaurada.

Este reconocimiento en los sistemas jurídicos permite avanzar en la protección de la naturaleza en sí misma y mejorar las herramientas que la ciudadanía tiene para proteger sus territorios y sus derechos ambientales, además de avanzar hacia una relación de mayor respeto y armonía con otras formas de vida en donde la humanidad es parte de un todo y que la naturaleza posee un valor en sí misma con independencia de los servicios o utilidad que pueda prestar a los seres humanos.

De esta forma, este reconocimiento de que la naturaleza tiene derechos permite avanzar hacia un nuevo paradigma en el que se evidencia la importancia de la naturaleza para todas las formas de vida.

¹⁴ <https://www.fima.cl/wp-content/uploads/2022/01/informe-derechos-de-la-naturaleza.pdf>

Normar este derecho permitiría que todo nuestro ordenamiento jurídico como leyes, reglamentos, ordenanzas y toda otra norma jurídica considere respetar la naturaleza de manera expresa y en base de este concepto, formular soluciones de gestión de cuencas y de recursos hídricos de manera integral abandonando el concepto de que las personas son el centro de esta gestión y que los recursos naturales solo les brindan servicios ecosistémicos.

8.2.2 Restauración, reparación y/o remediación del humedal km 12

Para lograr una restauración de este humedal y recuperar su biodiversidad, características naturales y funciones ecosistémicas se requiere realizar un estudio para evaluar su estado y las alternativas disponibles, y así recuperar este lugar que históricamente ha sido considerado por la población como un oasis y lugar de recreación, disfrute y contemplación de la naturaleza y que actualmente se encuentra en un estado de deterioro producto de las acciones antrópicas y contaminación de sus aguas perdiendo gran parte de su biodiversidad. Al declararse humedal urbano se protegerá de futuras presiones externas, sin embargo, es necesario restaurar y remediar sus condiciones naturales y reparar los daños provocados por décadas de contaminación.

8.2.3 Comparación de la calidad de agua que abastece a la localidad de Baquedano

Se requiere realizar un estudio comparativo de la calidad de agua del proceso de desalinización de la Planta Aguas Antofagasta versus la calidad de agua que anteriormente recibían del río Silala, este estudio debiera brindar un respaldo de información transparente y confiable para la población afectada por los presuntos perjuicios que estiman tras el cambio de la fuente de abastecimiento de agua potable.

8.2.4 Evaluación de los impactos ambientales de las plantas desalinizadoras

Se identificó dentro de las brechas la necesidad de realizar un estudio de evaluación de los posibles impactos ambientales producidos por la instalación y funcionamiento de un gran número de Plantas desalinizadoras en la región, ya que si bien un impacto ambiental negativo en la zona costera y marítima no afecta directamente la calidad y cantidad de aguas de la cuenca, se debe tener en cuenta que las soluciones propuestas para atacar el problema del abastecimiento de agua en una zona no se realicen sin considerar los efectos que puedan surgir en desmedro de otros ecosistemas, ya que no existen estudios que den cuenta de los impactos ambientales que podría tener los residuos de salmuera que se generan durante el proceso de desalación. Para ello este estudio debiera contemplar la realización de una línea de base para levantamiento de información de las condiciones

actuales del fondo marino y el borde costero para contrastar y comparar con las líneas de base realizadas al presentar los proyectos al SEIA, además el estudio debe considerar un análisis de las normativas que rigen su instalación, cómo han sido fiscalizadas y cuál es el seguimiento ambiental que se ha realizado, tanto en las etapas de construcción y operación de las mismas, cual es el nivel de cumplimiento de cada una con sus respectivas RCA's para así proponer modificaciones o mejoras en función de los resultados obtenidos.

8.2.5 Cuantificación de la entrada de agua a la cuenca producto de la desalación

Se identificó la necesidad de realizar un estudio específico de recarga del acuífero para cuantificar y medir los efectos de la incorporación de agua desalada en la cuenca, esto para contar con información específica de la cantidad de agua inyectada por esta nueva fuente y su efecto sobre el balance hídrico de la cuenca. El estudio además deberá indicar cuáles son los efectos de la nueva disponibilidad tanto en la calidad de agua en la cuenca, así como también en la reposición y recarga de los acuíferos, para obtener información que complemente la calibración del modelo hidrogeológico y permita tomar decisiones con la mayor cantidad de información disponible.

8.3 Hidrogeología

La hidrogeología cuenta con un rol importante dadas las características hídricas de la cuenca, donde no se hayan grandes escurrimientos permanentes (ríos o vertiente), por lo existe una imperante necesidad de caracterizar los recursos subterráneos para el correcto desarrollo sustentable en el futuro (y presente) de la cuenca mediante una Red de estaciones meteorológicas, niveles estáticos y calidad de agua subterránea, con medición continua, registro automático y distribución en toda la cuenca, además de estudios geofísicos, hidroquímicos e hidrogeológicos en la parte media y alta de la subcuenca piloto (Quebrada de los Arrieros).

8.4 Infraestructura

Con respecto a infraestructura la principal acción corresponde a realizar un diagnóstico de los sectores vulnerables a los aluviones o crecidas de quebradas en las localidades de Sierra Gorda y Baquedano, para contar con sistemas de contención aluvional que protejan a la población de dichos sectores.

8.5 Limitaciones de los Modelos hidrológicos

Como parte de las iniciativas se considera fundamental poder generar datos instrumentales en de flujos hidrológicos en la cuenca para mejorar la conceptualización inicial establecida en el modelo WEAP-Caracoles. Lo anterior responde a una necesidad natural de mejorar el modelo numérico, el cual fue definido bajo un contexto de

incertidumbre hidrológica debido a la inexistencia de datos instrumentales. Asimismo, es importante recordar que los modelos numéricos son representaciones simplificadas de las cuencas, por lo tanto, la capacidad de generar observaciones instrumentales de flujos hidrológicos diversos permitirá también mejorar la conceptualización y la representación numérica de la cuenca.

Capítulo 9. Cartera de iniciativas

La formulación de este Plan de Acción se fundamenta en un primer término en los resultados del proceso de diagnóstico de la cuenca que permitió la identificación de brechas respecto a los objetivos del plan. Estos resultados preliminares fueron presentados durante las reuniones de participación ciudadana a los diferentes actores públicos y privados quienes nos señalaron sus comentarios, observaciones y preocupaciones complementarias. Al respecto cabe señalar que, de las 14 iniciativas elaboradas, 9 de ellas tienen su origen y 70 se vinculan con los planteamientos levantados durante los procesos PAC (para más detalle ver Apéndice I-05: Análisis Temático de Discursos Actores).

A continuación, en este capítulo se enuncia lo que será la metodología de evaluación de las acciones que se formularon en este plan por parte de un panel de expertos multidisciplinario. Cabe señalar, que la metodología adoptada finalmente para la evaluación de las acciones formuladas para esta cuenca tuvo en cuenta su carácter especial de territorio poco habitado y ocupado tradicionalmente por la actividad minera.

9.1 Síntesis de acciones propuestas

A continuación, en la Tabla 9-1 se muestra una síntesis de las iniciativas propuestas:

Tabla 9-1 Síntesis de acciones propuestas para la Cuenca Quebrada de Caracoles

Temática	ID	Ficha	Acciones
Gobernabilidad y aspectos culturales	GS1	1	Reconocer el rango constitucional de las aguas como bienes nacionales de uso público.
	GS2	2	Cambios normativos en el Código de Aguas y en las leyes sectoriales de las distintas actividades.
	GS3	3	Catastro y fiscalización de extracciones superficiales y subterráneas
Dimensión Ambiental y Calidad del Agua	DC1	4	Creación de una plataforma digital con información unificada y de fácil interpretación de los datos de monitoreo.
	DC2	5	Realización de un estudio para evaluar las opciones de restauración del humedal del km 12.
	DC3	6	Estudio que evalúe la calidad del agua desalada que actualmente abastece a la población de la localidad de Baquedano.
	DC4	7	Evaluación de los impactos ambientales de la instalación y operación de las Plantas desalinizadoras en la región, análisis de las normativas que rigen su instalación, fiscalización y operación, proponer modificaciones o mejoras en función de los resultados.
	DC5	8	Cuantificación de la cantidad de agua que ingresa a la cuenca producto de la desalación y su afectación sobre la recarga del acuífero en cantidad y calidad.
Infraestructura	IN1	9	Instalación de estaciones fluviométricas y meteorológicas.
	IN2	10	Creación de red de pozos de monitoreo de nivel y calidad de aguas para la cuenca para contar con información en tiempo real.
	IN3	11	Diagnóstico de riesgo aluvional o crecidas de quebradas en Baquedano y Sierra Gorda
Hidrogeología	HG1	12	Estudios geofísicos, hidroquímicos e hidrogeológicos en la parte media y alta de la subcuenca piloto (Quebrada de los Arrieros)
	HG2	13	Redefinición y delimitación de los SHAC en la cuenca de estudio.
Modelación WEAP	MW 1	14	Unificar y homologar delimitación de las cuencas hidrológicas de la DGA.

9.2 Metodología de evaluación de las iniciativas

En este acápite se explicita la metodología de evaluación de las acciones formuladas por el presente Plan Estratégico de Gestión Hídrica (PEGH) de manera de poner en contexto primero las brechas y posteriormente priorizar de manera técnica las acciones correspondientes por un panel de expertos desde una perspectiva interdisciplinaria.

La priorización de las acciones del presente PEGH se elaboró utilizando la metodología multicriterio propuesta por Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social (ILPES) el cual fue adaptado a la realidad de la cuenca en estudio (ver Anexo K-2 "Manual metodológico de evaluación multicriterio"). A continuación, se expone la secuencia de elaboración, los valores de ponderación y los subcriterios con sus indicadores que permitieron establecer una priorización de las iniciativas. La Figura 9-1 muestra la secuencia de elaboración y priorización de iniciativas durante el desarrollo del presente PEGH.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 9-1 Procedimiento esquemático de priorización de iniciativas para el PEGH.

A continuación, se detalla el procedimiento empleado para cada estadio de la secuencia.

- A) Propuesta Preliminar de Iniciativas: El equipo consultor elaboró un primer listado de iniciativas a partir de la revisión bibliográfica.
- B) Levantamiento de Observaciones y Priorización de Iniciativas: Las iniciativas fueron presentadas a los actores relevantes mediante reuniones con el fin de obtener retroalimentación que nos permitieron complementarlas, modificarlas y/o identificar nuevas iniciativas.
- C) Clasificación de Iniciativas: Las iniciativas fueron clasificadas según su temática (infraestructura, gobernanza, ambiental, etc.) y su tiempo de ejecución (corto 1-3 años, mediano 4-8 años, largo 9 o más años).

D) Matriz de Priorización Técnica: Se utilizaron los siguientes criterios e indicadores con el objetivo de analizar y jerarquizar las iniciativas.

- Económico - Estratégico.
- Medio Ambiental
- Social - Participación Ciudadana (PAC).

Cada criterio tiene una ponderación (%) específica (ver Tabla 9-2), la cual se obtiene a partir de la revisión de antecedentes, los resultados de los procesos de participación ciudadana (PAC) y los criterios establecidos por un panel de expertos. A continuación, se presenta la escala de ponderación para cada criterio.

Tabla 9-2 Porcentajes de ponderación criterios.

Criterio	Ponderador (%)
Económico - Estratégico	30
Medio Ambiente	30
Social - PAC	40
Total	100

Fuente: Elaboración propia.

Cada criterio se divide en subcriterios con sus respectivos indicadores, que en su conjunto permiten establecer una priorización técnica de las iniciativas propuestas para la cuenca. Para más detalles ver Anexo K-3 "Evaluación Multicriterio".

9.3 Priorización de las iniciativas

Una vez determinadas las iniciativas y siguiendo la metodología multicriterio descrita en acápite 11.2 y Anexo K-3 "Evaluación Multicriterio", se obtuvo la priorización de estas ordenadas de mayor a menor según el puntaje obtenido, como se muestra en la Tabla 9-3. Para más detalles de los valores asignados por el panel de expertos en las dimensiones económica-estratégica, ambiental y social-PAC ver Anexo K-4: "Matriz Técnica de Priorización de Iniciativas".

Tabla 9-3 Resultado de la priorización de las acciones propuestas.

ID	Horizonte	INICIATIVAS
DC4	Mediano	Evaluación de los impactos ambientales de la instalación y operación de las Plantas desalinizadoras en la región, análisis de las normativas que rigen su instalación, fiscalización y operación, proponer modificaciones o mejoras en función de los resultados.
GS3	Mediano	Catastro de extracciones de agua en la cuenca, superficiales y subterráneas
IN2	Mediano	Red de pozos de monitoreo de la DGA que sirvan como punto de control respecto de la información entregada por privados que poseen pozos reportables
GS1	Corto	Reconocer el rango constitucional de las aguas como bienes nacionales de uso público.
IN1	Mediano	Implementación de estaciones hidrometeorológicas a nivel cuenca de la Quebrada Caracoles
GS2	Mediano	Cambios normativos en el Código de Aguas y en las leyes sectoriales de las distintas actividades.
HG1	Largo	Estudios geofísicos, hidroquímicos e hidrogeológicos en la parte media y alta de la subcuenca piloto (Quebrada de los Arrieros)
DC2	Mediano	Realización de un estudio para evaluar las opciones de restauración del humedal km12
IN3	Largo	Diagnóstico de riesgo aluvional o crecidas de quebradas en Baquedano y Sierra Gorda
DC5	Mediano	Cuantificación de la cantidad de agua que ingresa a la cuenca producto de la desalación y su afectación sobre la recarga del acuífero en cantidad y calidad.
DC1	Mediano	Creación de una plataforma digital con información unificada y de fácil interpretación de los datos de monitoreo.
HG2	Corto	Redefinición de los SHAC de manera que sean representativos.

Tabla 9-3 Resultado de la priorización de las acciones propuestas.

ID	Horizonte	INICIATIVAS
DC3	Corto	Evaluación la calidad del agua desalada que actualmente abastece a la población de la localidad de Baquedano
MW1	Corto	Unificar y homologar delimitación de las cuencas hidrológicas de la DGA

9.3.1 Ejecutora o mandante DGA

Dentro de las acciones las que se describen como de exclusiva responsabilidad de la DGA son las que se muestran en la Tabla 9-4.

Tabla 9-4 Acciones Ejecutadas exclusivamente por la DGA.

ID	Acciones
GS3	Catastro y fiscalización de extracciones superficiales y subterráneas
DC5	Cuantificación de la cantidad de agua que ingresa a la cuenca producto de la desalación y su afectación sobre la recarga del acuífero en cantidad y calidad.
IN1	Instalación de estaciones fluviométricas y meteorológicas.
IN2	Creación de red de pozos de monitoreo de nivel y calidad de aguas para la cuenca para contar con información en tiempo real.
HG1	Estudios geofísicos, hidroquímicos e hidrogeológicos en la parte media y alta de la subcuenca piloto (Quebrada de los Arrieros)
HG2	Redefinición y delimitación de los SHAC en la cuenca de estudio.
MW1	Unificar y homologar delimitación de las cuencas hidrológicas de la DGA

9.3.2 Otras instituciones

Dentro de las iniciativas también se señalaron como responsables a las siguientes instituciones relacionadas con el Recurso Hídrico:

1. Dirección de Obras Hidráulicas (APR)
2. Ministerio de Medio Ambiente

3. Constituyentes
4. SEA
5. SMA
6. Ministerio de Minería

En la Tabla 9-5 se muestran las iniciativas relacionadas a las instituciones y/o actores antes mencionados.

Tabla 9-5 Distribución de responsables por acciones.

ID	Acciones	Institución Responsable
GS1	Reconocer el rango constitucional de las aguas como bienes nacionales de uso público.	Comisión constituyente, DGA, MOP
GS2	Cambios normativos en el Código de Aguas y en las leyes sectoriales de las distintas actividades.	Cada Órgano de la Administración del Estado con competencia sobre el tema. Coordinación por parte de la DGA
DC1	Creación de una plataforma digital con información unificada y de fácil interpretación de los datos de monitoreo.	DGA-MMA
DC2	Realización de un estudio para evaluar las opciones de restauración del humedal del km 12.	DGA-MMA
DC3	Estudio que evalúe la calidad del agua desalada que actualmente abastece a la población de la localidad de Baquedano.	SISS / DGA
DC4	Evaluación de los impactos ambientales de la instalación y operación de las Plantas desalinizadoras en la región, análisis de las normativas que rigen su instalación, fiscalización y operación, proponer modificaciones o mejoras en función de los resultados.	MMA-SISS-DGA
IN3	Diagnóstico de riesgo aluvional o crecidas de quebradas en Baquedano y Sierra Gorda	DOH

9.4 Valorización económica del Plan Estratégico de Gestión Hídrica

Las acciones seleccionadas, corresponden a medidas habilitantes, como estudios y programas y también estructurales como infraestructura hidráulica o hidrométrica, que son necesarias para la gestión de los recursos hídricos.

Es importante considerar que la estimación de costos es una aproximación general, basada en referencias de licitaciones, gasto público y/o público-privado. La inversión exacta se debe determinar una vez que se definan los alcances específicos de cada iniciativa, y cuando se desarrollen los estudios de factibilidad y/o detalles correspondientes, lo que permitirá identificar los elementos de costos reales requeridos para la inversión. Las estimaciones acá presentadas son una aproximación referencial que permiten tener un primer acercamiento al costo del Plan.

Para implementar el Plan de Gestión presentado, se estima un monto de **72.292 UF** para la realización de las 14 acciones propuestas, cuyo desglose por actividad se puede revisar en la Tabla 9-6.

Tabla 9-6 Monto de inversión desglosado por cada eje e iniciativa propuesta, en UF de Febrero de 2022.

Eje	ID	Monto de inversión
Gobernabilidad y aspectos culturales	GS1	3.203
	GS2	961
	GS3	2.626
Dimensión Ambiental y Calidad del Agua	DC1	1.762
	DC2	6.406
	DC3	3.203
	DC4	6.406
	DC5	4.805
Infraestructura	IN1	2.691
	IN2	11.018
	IN3	9.609
Hidrogeología	HG1	15.438
	HG2	3.203
Modelo WEAP	MW1	961
Total		72.292

Otro enfoque de Evaluación Económica es el de costo eficiencia, utilizando como indicador el valor actual de costos (VAC) y el costo anual equivalente (CAE).

Para conocer el comportamiento y análisis económico de las acciones, en la Tabla 9-7 se presentan los resultados agregados según línea de acción.

Tabla 9-7 Evaluación económica a través del VAC y CAE, en UF de Febrero 2022.

Tipología		VAC UF	CAE UF
Gobernabilidad y aspectos culturales	GS	8.213	1.577
Dimensión Ambiental y Calidad del Agua	DC	24.442	4.695
Infraestructura	IN	27.294	5.242
Hidrogeología	HG	23.800	4.571
Modelo WEAP	MW	1.176	226

Fuente: Elaboración propia

Las alternativas de solución evaluadas, que son más convenientes, desde la perspectiva de los costos, son las que presentan menor valor actual de costos VAC, donde se destacan la Modelación WEAP y Gobernabilidad y aspectos culturales, desde el punto de vista técnico económico.

9.4.1 Distribución de costos por actores

Para tener una estimación, de lo que significa implementar el Plan de gestión de forma institucional, se realiza una valoración de las acciones propuestas para la DGA, donde se estima un monto de 40.742 UF, para la realización de 7 acciones.

A continuación, en la Tabla 9-8 se desglosan los costos de las acciones cuyo responsable es la DGA.

Tabla 9-8 Distribución de los costos asignados exclusivamente a la DGA, en UF de Febrero de 2022.

Eje	ID	Monto de inversión
Gobernabilidad y aspectos culturales	GS3	2.626
Dimensión Ambiental y Calidad del Agua	DC5	4.805
Infraestructura	IN1	2.621
	IN2	11.018
Hidrogeología	HG1	15.438
	HG2	3.203

Modelo WEAP	MW1	961
Total		40.742

Fuente: Elaboración Propia.

Respecto a la valorización de las acciones, que corresponden a otras instituciones vinculadas a los recursos hídricos, se estimó un monto de 31.550 UF, para la realización de 7 acciones.

Por otra parte, en la Tabla 9-9 se muestran los costos asociados a otros actores relevantes distintos de la DGA.

Tabla 9-9 Distribución de costos por otros actores relevantes, en UF de Febrero de 2022.

Eje	ID	Institución responsable	Monto de inversión
Gobernabilidad y aspectos culturales	GS1	Comisión constituyente, DGA, MOP.	3.203
	GS2	Cada Órgano de la Administración del Estado con competencia sobre el tema. Coordinación por parte de la DGA	961
Dimensión Ambiental y Calidad del Agua	DC1	DGA, MMA	1.762
	DC2	DGA, MMA	6.406
	DC3	SISS, DGA	3.203
	DC4	MMA, SISS, DGA	6.046
Infraestructura	IN1	DOH	9.609
Total			31.550

Fuente: Elaboración propia

De las acciones, presentadas existe una mayoría, que se encuentra dentro del financiamiento sectorial de las instituciones mencionadas, sin embargo, otras acciones, se debiesen gestionar con recursos extra sectoriales como el Gobierno Regional o el Gobierno Central.

9.4.2 Cronograma de las soluciones

Un aspecto importante para el desarrollo e implementación de las acciones propuestas del Plan de Gestión es el horizonte de ejecución de las iniciativas, donde a continuación se indican las iniciativas que debiesen tener una implementación en un corto, mediano y largo plazo.

En la Tabla 9-10 se muestra el horizonte de tiempo determinado para cada una de las acciones propuestas.

Tabla 9-10 Cronograma de las soluciones.

ID	Horizonte		
	Corto	Mediano	Largo
GS1			
GS2			
GS3			
DC1			
DC2			
DC3			
DC4			
DC5			
IN1			
IN2			
IN3			
HG1			
HG2			
MW1			

Fuente: Elaboración propia

Se puede visualizar que las iniciativas que tienen una mayor prioridad son las relacionadas con las gestiones del recurso hídrico respecto al reconocimiento constitucional del agua como derecho humano y de la naturaleza, la necesidad de estudios de calidad de agua, a redefinición de las zonas acuíferas y generar modelación hidrológica homologable con otras cuencas definidas por la DGA.

En mediano plazo, se encuentran la mayoría de las acciones, considerando la Dimensión ambiental y de calidad de agua, junto a la Gobernabilidad y aspectos culturales, las más relevantes en este horizonte.

En el largo plazo la infraestructura en ámbitos de Hidrometría, control de aluviones y estudios hidrogeológicos específicos, son los más relevantes.

Capítulo 10. Implementación del Plan

En este capítulo se presentan los principales hitos identificados para la implementación del Plan de Acción según el plazo determinado para cada iniciativa (corto, mediano o largo plazo).

Seguidamente, se exponen algunas directrices a considerar para el éxito del Plan de Acción, tanto en lo relativo a la estrategia de su implementación como comunicacional. Finalmente, se incluye un resumen con la identificación de las fuentes de financiación previstas.

10.1 Hitos de referencia en la implementación del plan

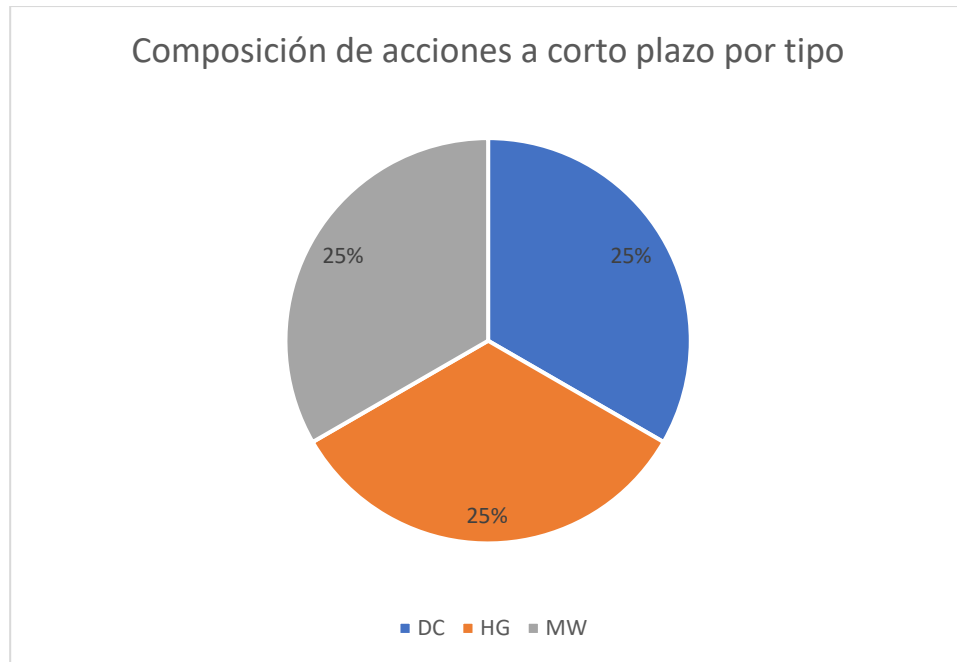
A continuación, se presenta a modo resumen la estructura del Plan Estratégico de Gestión Hídrica de la Cuenca Quebrada Caracoles (PEGH) y los principales hitos, considerando la variable temporal para las iniciativas asociadas al Plan de Acciones.

Según lo señalado anteriormente, el PEGH se estructura en torno a 6 ejes y las acciones se ajustan a tres horizontes de acción.

- Horizonte de corto plazo, acciones cuya ejecución se puede llevar a cabo entre 0 a 5 años de implementado el PEGH.
- Horizonte de mediano plazo, acciones cuya ejecución se puede llevar a cabo en plazo mayor a 6 años hasta 10 años de implementado el PEGH.
- Horizonte de largo plazo, acciones cuya ejecución se puede llevar a cabo a más de 10 años de implementado el PEGH.

10.1.1Corto Plazo

En la Figura 10-1 se muestra el porcentaje de acciones de corto plazo según eje temático. Estas acciones de corto plazo tienen relación con aspectos de gobernabilidad, ambiental, hidrogeológica y de modelación, donde se destaca el reconocimiento constitucional del agua, estudios de calidad de agua, la redefinición de las zonas acuíferas y modelación hidrológica en la cuenca.

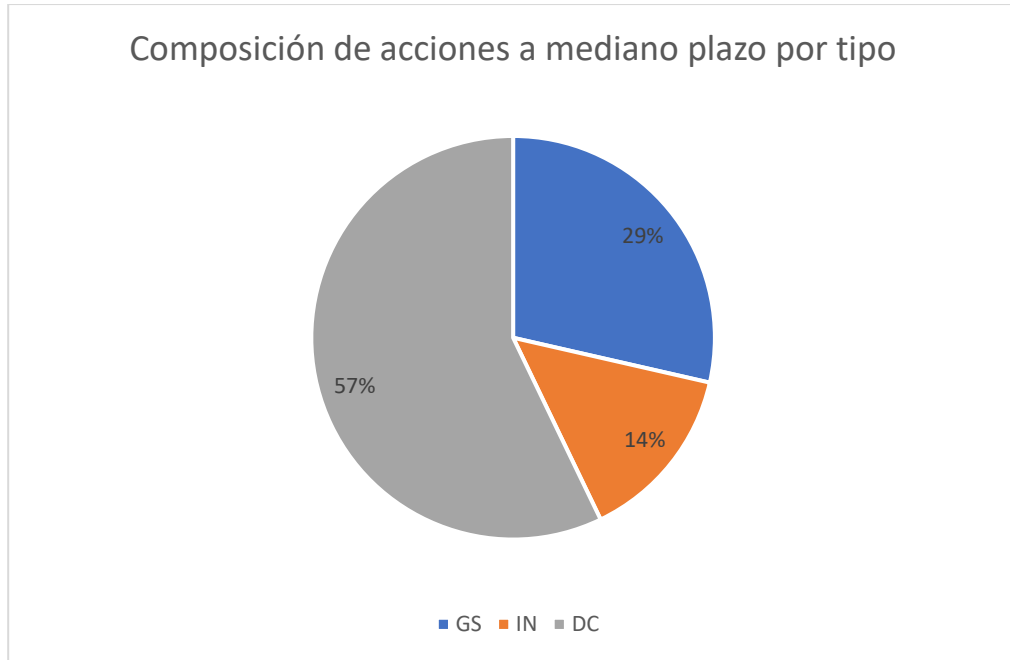


Fuente: Elaboración propia

Figura 10-1 Porcentaje de eje de acciones a desarrollarse en el corto plazo.

10.1.2 Mediano Plazo

En un mediano plazo, la dimensión ambiental es la más relevante en porcentaje de acciones, seguida de la gobernabilidad e infraestructura en la cuenca (ver Figura 10-2). Se destaca la creación de plataforma digital de información de datos de monitoreo, estudios de restauración de humedales, el impacto de las desaladoras en la cuenca. En ámbitos de Gobernabilidad el catastro y fiscalización de extracciones de agua, como también aspectos normativos del código de aguas. En infraestructura, la necesidad de pozos de observación de niveles y calidad de agua, con información en tiempo real.

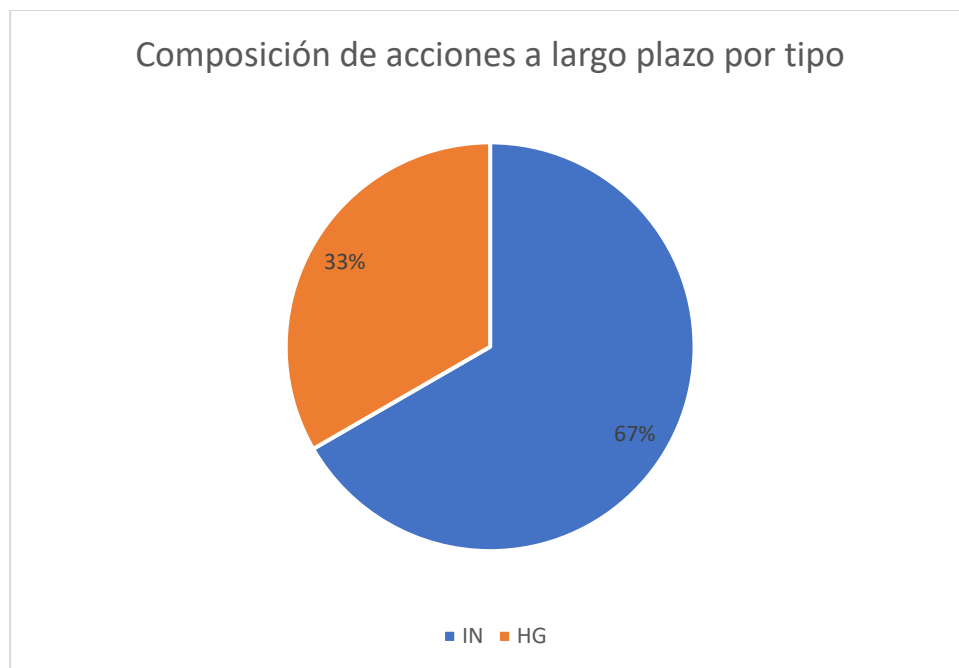


Fuente: Elaboración propia.

Figura 10-2 Porcentaje de eje de acciones a desarrollarse en el mediano plazo.

10.1.3 Largo Plazo

En el largo plazo (ver Figura 10-3), los aspectos de infraestructura en ámbitos de ampliación de la red hidrométrica a las subcuencas sin control y el diagnóstico de zonas vulnerables para los aluviones. En aspectos hidrogeológicos, estudios geofísicos e hidroquímicos en la parte media y alta de la cuenca.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 10-3 Porcentaje de eje de acciones a desarrollarse en el largo plazo.

10.2 Estrategia de implementación

Las iniciativas corresponden a las acciones, una vez que se han definido en forma clara los alcances, estimado el presupuesto, definido el horizonte de acción y determinada en quien recae la responsabilidad de ejecutarla.

En función de lo anterior es que para implementar el plan se han determinado los posibles ejecutores de estos:

- Inversión Pública.
- Dirección General de Aguas.
- Dirección de Obras Hidráulicas.
- Fondo Nacional de Desarrollo Regional.
- Inversión privada.

10.2.1 Aspectos Normativos

Los aspectos normativos relevantes del PEGH guardan relación con las disposiciones existentes en las leyes y normativa vigente que pueden tanto facilitar y favorecer ciertas iniciativas como limitar y/o impedir otras. Actualmente, existen políticas y estrategias intersectoriales que promueven la coherencia entre políticas de agua ("Código de Aguas") y áreas clave como, por ejemplo, medio ambiente (Ley 19.300 Bases Generales del Medio

Ambiente), salud (Decreto 735 Reglamento de los Servicios de Agua Destinados al Consumo Humano), agricultura (Ley 18.450 Normas Para el Fomento de la Inversión Privada en Obras de Riego y Drenaje), planificación territorial (Decreto 458 Ley General de Construcciones y Urbanización), entre otros.

10.2.1.1 Brechas Gobernabilidad y aspectos socioculturales

En primer lugar, y en términos de institucionalidad se evidencia un gran centralismo en las estructuras de los organismos públicos y, en segundo lugar, se tiene una gran dispersión de funciones y atribuciones relacionadas con el agua en distintos órganos del Estado que tienen competencia sobre el tema^{15,16}, y que en ocasiones generan acciones e implementan proyectos que no son coherentes con el resto de la normativa sectorial tan diversa que existe. Ello genera falta de coordinación o claridad reglamentaria lo que produce en algunos casos superposiciones, duplicidades y vacíos de responsabilidad institucional.

Lo señalado no es un hallazgo de este estudio, ya en marzo del año 2011, en el estudio desarrollado por el Banco Mundial CHILE: Diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos¹⁷, se indicó de manera expresa que “Una dificultad particular de los arreglos institucionales de Chile es que la DGA, el órgano con la responsabilidad principal de la supervisión de la GRH del país, tiene menor jerarquía institucional que, p.ej., el nuevo Ministerio del Medio Ambiente responsable de la calidad de aguas. Otro problema se encuentra en el área legal, donde el Código de Aguas no entra necesariamente en conflicto con las leyes principales de otros sectores como el eléctrico o la minería, pero se podría considerar secundario y facilitar la puesta en vigor de las otras leyes (Vergara, 2010). Estos y otros temas, como la falta de complementariedad en las funciones, la no compartición de información clave (que además se encuentra fragmentada), y la existencia de diferentes solapes, crea una serie de interferencias con otras instituciones dentro y fuera del sector del agua”.

Enseguida, en sus conclusiones el estudio señala: “Varios retos vinculados con los aspectos legales e instrumentos de gestión están relacionados con las definiciones y características, así como con la regulación de los DAA son:

¹⁵ https://www.mop.cl/Documents/ENRH_2013_OK.pdf, pág. 4 punto 2. MEJORAR LA INSTITUCIONALIDAD

¹⁶ https://www.mop.cl/Prensa/Documents/Mesa_Nacional_del_Agua_2020_Primer_Informe_Enero.pdf, pág. 25, letra b)

¹⁷ <https://documents1.worldbank.org/curated/en/452181468216298391/pdf/633920ESW0SPAN0le0GRH0final0DR0REV-0doc.pdf>

(...) Mejorar la protección de los requerimientos hídricos para los ecosistemas y servicios asociados. Una gran dificultad en este tema es que el CA no reconoce el uso ambiental y que no se ha podido establecer caudales ecológicos mínimos en las áreas con mayor escasez de agua ya que cuando se introdujo este instrumento, el agua de la mayoría de los ríos de las partes norte y central del país ya estaba asignada a DAA existentes. Además, la patente por no uso ha impedido que actores privados adquieran y conserven DAA para este propósito. Sin embargo, el Gobierno está exento del pago de la patente y podría poseer tales DAA ya sea comprándolos o recibéndolos de privados como donación.”

Termina sus recomendaciones con tres aspectos relevantes para este PEGH:

“Hacer la gestión del agua subterránea más sostenible. La sostenibilidad del recurso está en riesgo en algunos acuíferos porque los DAA otorgados exceden la capacidad de explotación. (...) En particular, falta información, buenas herramientas de gestión y conocimiento del recurso en el país; las aguas subterráneas y superficiales no se manejan de manera conjunta; en general, hay muy poco control de las extracciones, legales o ilegales; los usuarios no se han organizado para asumir la gestión de los acuíferos; no existen perímetros de protección para proteger las fuentes de agua potable; y no se han analizado los efectos de los subsidios a la tecnificación del riego al evaluar su efecto sobre la recarga y la contaminación de los acuíferos.

Profundizar las medidas ya tomadas para asegurar la calidad del agua. Se ha logrado en poco más de 10 años, una reducción importante de la carga contaminante de las aguas servidas urbanas e industriales y una reducción drástica de la prevalencia de las enfermedades hídricas. Sin embargo, la calidad de las aguas ha disminuido en algunas regiones del país. Los desafíos pendientes son afrontar la contaminación difusa agrícola y forestal y los impactos eventuales de los pasivos asociados a los residuos mineros, y proteger los lagos costeros, los estuarios y las aguas subterráneas, particularmente vulnerables a la contaminación. Por ello, es importante implementar plenamente los instrumentos para el control de la contaminación previstos por la Ley de Bases Generales del Medio Ambiente, como las normas de calidad ambiental de las aguas receptoras (normas secundarias) y los planes de prevención y de descontaminación asociados. También será necesario mejorar la red de monitoreo y el sistema de información de la calidad de aguas; profundizar el conocimiento de los ecosistemas acuáticos y fortalecer el personal en las Autoridades Ambientales Regionales y en la DGA.

Mejorar los sistemas de información y comunicación. A pesar de que hay una gran cantidad de datos, estudios e informes para el sector del agua fácilmente disponibles, hay

algunas deficiencias en la cobertura, calidad y accesibilidad de la información. Esto incluye datos de disponibilidad y principales usos de agua, incluyendo flujos de retorno; y en la calidad ambiental del agua y fuentes de contaminación. La información en ciertos aspectos institucionales tampoco es fácilmente accesible, p. ej., con respecto a los conflictos de agua”.

Enseguida, se tiene que las definiciones de las unidades territoriales a analizar ameritan un sólido fundamento y justificación a objeto de generar instrumentos que tengan certeza en cuanto a la viabilidad de implementarse. Por ello se debe generar conocimiento a través de adecuada obtención de datos que permita definir tanto las unidades territoriales a estudiar y los instrumentos a desarrollar como modelos tanto conceptuales como matemáticos los cuales para su validación requieren de información suficientemente extensa y confiable, de una longitud de registro de tal magnitud que de seguridad acerca de los resultados de dichos modelos entregan o predicen. De esa forma los escenarios simulados tendrán una menor incertidumbre en cuanto a resultados y las consecuentes acciones que se deriven de ello tendrán mejores opciones de ser implementadas. Sobre esto debe considerarse además el escenario de cambio climático que agrega una complejidad adicional que requiere con mayor justificación la generación de información de las variables hidrometeorológicas que alimentan los modelos.

En cuanto a lo señalado acerca de los SHACs existentes en el área en estudio se tiene que en los procedimientos para otorgar derechos de aprovechamiento de agua se ha utilizado como herramienta fundamental el “Sector Hidrogeológico de Aprovechamiento Común” (SHAC), que ha sido definido en el Reglamento de Aguas Subterráneas (Decreto N°203, MOP de 2013) como “el acuífero o parte de un acuífero cuyas características hidrológicas espaciales y temporales permiten una delimitación para efectos de su evaluación hidrogeológica o gestión en forma independiente”.

Como esta herramienta se definió en la ley principalmente para gestionar los derechos de agua, en ocasiones han tenido que readecuarse por inconsistencias principalmente asociadas a la falta de independencia hidráulica entre un sector hidrogeológico y otro, que impiden una correcta delimitación hidrogeológica que además se utiliza para temas de evaluación y funcionamiento del sistema hidrogeológico, más allá del objetivo para el cual fue definido en la normativa.

Por último, es necesario señalar que la actual legislación de aguas presenta grandes brechas de gobernanza ya que hay aspectos ignorados por la actual normativa relacionados con: la multiplicidad de funciones y valores del agua, los derechos humanos al agua y al

saneamiento y reconocer constitucionalmente el carácter de bien nacional de uso público de las aguas¹⁸.

Dada la reciente aprobación de la modificación del Código de Aguas, que considera la obligación de formular Planes Estratégicos de Recursos Hídricos en Cuencas, se espera que se vayan superando las grandes brechas de gobernanza sobre choque de normativas y falta de información para la modelación que necesariamente implica generar datos a través de la implementación de adecuadas redes y estaciones de monitoreo.

Por otra parte, falta de reconocimiento en la constitución actual de que las aguas son bienes nacionales de uso público. En particular en esta cuenca se tiene que se han desarrollado principalmente proyectos mineros, siendo esta la principal actividad, además de los asentamientos humanos, sin considerar los temas de conservación o medioambientales, principalmente en lo relacionado con la calidad del agua lo que obstaculiza poder formular un desarrollo económico, social, cultural y ambiental que considere otro tipo de actividades productivas y no productivas, dentro de una gestión armónica y sustentable del agua y adecuadamente integrada con otras componentes de ese territorio.

Las distintas actividades productivas y de servicios respecto del agua presentan enormes asimetrías que deben corregirse. Es así que se tiene una gran incertidumbre en cuanto a la calidad de las aguas subterráneas producto de la gran cantidad de relaves mineros que son depositados en esos territorios. El agua potable para las localidades del área presenta déficits que deben ser resueltos. Se ha detectado un pasivo ambiental por las actividades desarrolladas en la cuenca que debieran superarse a través de la restauración de ecosistemas afectados a través de la provisión de agua. En la etapa de diagnóstico se determina que las necesidades de agua para la producción de las empresas mineras provienen principalmente de la desalación, pero el uso dentro de sus faenas genera temas de calidad de las aguas subterráneas y el consecuente efecto en los ecosistemas y asentamientos relacionados. Para lograr este objetivo se necesita que los consumos de agua en las distintas actividades mineras sean eficientes y eviten la sobreexplotación de las fuentes de agua. Actualmente los distintos sectores usuarios de agua en la cuenca presentan grandes asimetrías (medio ambiente, minería, pueblos) que deben corregirse.

¹⁸<https://foroconstitucional.uc.cl/wp-content/uploads/2021/10/Aguas-y-Nueva-Constitucion-Perspectivas-y-Propuestas.pdf.pdf>
y <https://www.latercera.com/reconstitucion/noticia/daniela-rivera-abogada-del-foro-constitucional-uc-es-importante-que-la-nueva-constitucion-reconozca-que-el-acceso-fundamental-prioritario-es-el-agua-para-uso-personal-y-domestico/FRXPVNT6FFFLDBK3GRSJAGFQA/>

Los SHAC se asumen como una delimitación de sectores acuíferos con una finalidad que no corresponde, ya que no fueron desarrollados para la gestión integral del agua, si no que su objetivo corresponde al manejo de los derechos de agua. La mención de sector hidrogeológico de aprovechamiento común se tiene en el artículo 65 del Código de Aguas en el contexto de la gestión de derechos de agua cuando se declaran áreas de restricción por existir riesgo de grave disminución de un acuífero. Por otra parte, en ninguna norma ni reglamento se define dicho concepto por lo que su interpretación es amplia, no se establecen los requisitos para determinar un SHAC ni la información mínima necesaria para validar esta delimitación como estudios geofísicos, sondajes o mediciones de niveles. Por otro lado, también está ausente la componente de calidad de agua, variable relevante cuando se quiere gestionar el agua a nivel de cuenca, de fuentes superficiales y acuíferos. Todo lo mencionado, ha redundado en casos en donde estos SHAC se determinan según la definición administrativa o de cuenca superficial, por ello al tratar de considerarlos como partes de las unidades donde se desarrolla un PEGH puede involucrar imprecisiones que pueden resultar contradictorias y atente contra la sustentabilidad de un acuífero.

Las cuencas del Banco Nacional de Agua (BNA) corresponden a la primera delimitación oficial hecha por la DGA, utilizada por muchos años como la base de estudios y actualmente para es utilizada para los Planes Estratégicos de Gestión Hídrica. Al ser esta delimitación antigua y construida en base a cartografía no detallada, contiene numerosos errores e imprecisiones. En este contexto, es que la propia DGA ha desarrollado análisis posteriores para actualizar la delimitación de cuencas en la red nacional. En 2015, el Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN), mandatado por el Departamento de Administración de Recursos Hídricos (DARH), elaboró una delimitación de cuencas a nivel nacional que busca generar una versión corregida de las cuencas en el territorio. Estas cuencas tienen ventajas en sinuosidades, su forma es coherente con el relieve y están construidas sobre modelos de elevación digital (DEM). La delimitación de cuencas DARH, ha sido utilizada anteriormente como parte de la modelación de Planes Estratégicos de Gestión Hídrica, ya que es una mejor delimitación de la hoya hidrográfica estudiada, y en términos de modelación entrega una mejor representación de la realidad. En el caso específico de la Cuenca Quebrada Caracoles, existen diferencias significativas entre las delimitaciones BNA y DARH (ver Figura 2-1).

En cuanto a las extracciones, existe desconocimiento de las extracciones reales, tanto subterránea como superficial. Actualmente el único mecanismo para tener una aproximación de las extracciones corresponde al análisis de los derechos de aguas con cobro de patente por no uso, sin embargo, se considera que este es un procedimiento

incompleto debido a la baja fiscalización que se realiza para determinar las extracciones de forma efectiva.

Finalmente, se detectó una dificultad para acceder a los datos entregados por las empresas en el contexto de los sistemas de información del SEA y de la Superintendencia de Medio Ambiente como el SNIFA, los EIAs, los PATs, etc., que permitirían tener información oportuna para poder controlar y contener efectivamente episodios de contaminación de acuíferos en la cuenca.

10.2.2 Pasos de la implementación

La implementación del Plan de Acción dependerá de diversos factores, entre ellos:

- Identificación de responsabilidades institucionales.
- Financiamiento disponible.
- Externalidades positivas o negativas propias de cada medida.

Por lo anterior, se debe definir una institución coordinadora transversal del conjunto de las medidas propuestas. Dado que el PEGH está promovido por la DGA, esta entidad es la responsable de su herramienta de planificación, y dentro de este servicio, se sugiere que sea la Dirección Regional de Aguas (DGA),

10.3 Estrategia de Comunicación y relacionamiento

En este caso, como ya se ha señalado, se trata de una cuenca de vocación eminentemente minera sin otras actividades presentes como la agricultura. Solo existen pequeños poblados como ya se ha indicado en donde su preocupación es el abastecimiento de agua potable por lo que la estrategia debiera estar orientada bajo esas consideraciones.

10.4 Identificación de fuentes de financiamiento del Plan

Las instituciones públicas y privadas implicadas en las iniciativas del PEGH se han descrito en el acápite, valorización económica del plan de gestión, a continuación, se muestra un resumen (Tabla 10-1) de los costos del Plan de Acción, según sea el mandante DGA u otras instituciones.

Tabla 10-1 Distribución de costos según mandante DGA u otros (UF de febrero 2022).

Mandante	Costos en UF
DGA	40.742
Otras instituciones	31.550
Total	72.292

Fuente: Elaboración propia.

Las fuentes de financiamiento del Plan pueden ser sectoriales o regionales, donde la fuente principal se considera sectorial, toda vez que buena parte de la inversión se ejecutará desde la institución mandante de este estudio y otras instituciones como la DOH, MMA, entre otras, el detalle se encuentra en Cartera de Iniciativas Propuestas.

A partir de la inversión regional, definida por los FNDR, se deben impulsar convenios que permitan abordar prioritariamente las iniciativas que no pueden ser atendidas con el financiamiento sectorial, esto a través de convenios sectoriales e intersectoriales.

Desde la perspectiva privada se debe considerar convenios con la Empresa Minera, por su relevancia en la cuenca.

Capítulo 11. Monitoreo y Evaluación del Plan

11.1 Plan de Monitoreo

El Plan de Monitoreo (PM) asociado al PEGH tiene por objetivo establecer el seguimiento y la eficacia de su implementación, determinando los indicadores que permitan trazar el grado de cumplimiento de las iniciativas y de los objetivos del PEGH. Adicionalmente, se especifican los mecanismos para la actualización y/o el rediseño del PEGH, como instrumento de planificación a mediano y/o largo plazo.

La cartera de acciones del PEGH considera un total de 15 iniciativas que corresponden a propuestas. El PM centrará como índice de cumplimiento, la implementación de las iniciativas propuestas. Lo anterior supone un esfuerzo de coordinación entre los diferentes servicios públicos, pero justificando y entendiendo que el recurso hídrico es un tema transversal y atañe a un amplio abanico de actores del territorio.

El PM se centrará en dar seguimiento anualmente a los indicadores establecidos para los primeros 5 años, que corresponde al horizonte de corto plazo. Para los periodos posteriores, mediano y largo plazo, el PM deberá ser evaluado, actualizado y reestructurado según lo indicado en el numeral 12.2.

Según lo indicado anteriormente, para el horizonte de corto plazo, la coordinación del PEGH se propone la dirija la DGA regional. Por otro lado, el monitoreo se propone sea desde la DGA Nivel Central, a través de sus Divisiones de Hidrología, Conservación, Estudios y Planificación según la acción a implementar, para el monitoreo de la totalidad de los PEGH a nivel nacional. Sin embargo, el PEGH debe tender a organizar un Organismo rector para la gestión de la cuenca.

A continuación, se presentan los indicadores y seguimiento propuestos para el Plan de Monitoreo.

11.1.1 Indicadores

En cada una de las iniciativas identificadas en el PEGH se ha identificado uno o varios indicadores de evaluación de las acciones, con el objetivo de analizar de forma particular los resultados obtenidos con su implantación respecto el objetivo esperado y su problemática original. Estos indicadores se presentan en el Anexo K-2.

En el establecimiento de indicadores del PM, se han considerado experiencias anteriores en planificación hídrica; específicamente, se ha tomado como referencia principal el último instrumento de características similares promovido por la DGA.

De esta forma se consideran los siguientes indicadores:

- Indicadores Generales: PIC, PICa, PIF y PIFa.
- Indicadores Específicos. Porcentaje de avance de la implementación de las 2 iniciativas propuestas de gobernanza que poseen efecto directo y estratégico en el éxito de ejecución de otras iniciativas de diferentes tipologías (OH, MG, G, NF y/u GI) y del instrumento en su conjunto, siendo éstas: i) MG4 y ii) MG13. Lo anterior se refuerza con el hecho de que la participación de los potenciales beneficiarios en cada medida del PEGH refuerza el éxito de estas, y que las instancias generadas en un marco de buenas prácticas derivadas del servicio de facilitación son necesarias para dicho objetivo

En el numeral 13.1.2 se detalla el seguimiento del PEGH con los indicadores presentados anteriormente, así como el Plan de Acción.

11.1.2 Seguimiento del PEGH

El seguimiento del PEGH de esta cuenca se expone en la Tabla 11-1, detallando los indicadores generales y específicos, los parámetros de referencia en cada caso y el umbral establecido.

Tabla 11-1 Seguimiento PEGH.

TIPO DE INDICADOR	INDICADOR DE SEGUIMIENTO	UMBRAL
General	PIC	Umbral PIC 80% de las iniciativas propuestas proyectadas a comenzar al año i hasta i+4
General	PICa	Umbral PICa 1) 80% de las iniciativas propuestas proyectadas a comenzar al año i hasta i+3 (valor acumulado) 2) 100% de las iniciativas propuestas proyectadas a comenzar su implementación hasta el año i+4 (valor acumulado)
General	PIF	Umbral PIF 80% de las iniciativas propuestas proyectadas a finalizar al año i hasta i+4
General	PIFa	Umbral PIFa 1) 80% de las iniciativas propuestas proyectadas a finalizar su implementación el año i hasta i+3 (valor acumulado) 2) 100% de las iniciativas propuestas proyectadas a finalizar su implementación hasta el año i+4 (valor acumulado)
Específico	% de avance por iniciativa	Iniciativa MG04 100% año i
Específico	% de avance por iniciativa	Iniciativa MG13 50% año i+4. Implementando las bases para esta iniciativa que es de largo plazo.

Fuente: Elaboración propia.

Se presenta a continuación el Plan de Acción a considerar en el supuesto que no se hayan cumplido con los umbrales fijados en la tabla anterior, teniendo en cuenta que el PM se divide en dos periodos, los primeros 4 años y el año 5:

- Primer periodo (año i hasta i+4): El objetivo del Plan de Acción en este periodo consiste en reprogramar o replanificar las iniciativas que se encuentren atrasadas para el año siguiente al originalmente programado. Su valor corresponderá al número de iniciativas mínimas programadas para

un determinado año (PIC, 80% anual) más las iniciativas retrasadas acumuladas.

Segundo periodo (año i+5): El objetivo del Plan de Acción en este periodo es analizar si el PEGH ha cumplido en un 100% con su planificación. En caso negativo, el PM entregará el número de iniciativas que no fueron ejecutadas, información que será una variable de entrada en la evaluación, actualización y rediseño del PEGH, a través de los mecanismos para el análisis y toma de decisiones.

11.2 Mecanismos para el análisis y toma de decisiones

El PEGH tiene una componente dinámica, más aun considerando iniciativas relativas a los recursos hídricos, los cuales van de la mano con las variaciones asociadas al cambio climático, afectando directamente la oferta hídrica, así como también los cambios asociados a las demandas de agua sobre la cuenca. Por lo anterior, es que se hace necesario que el PEGH sea evaluado con el fin de determinar si la planificación ha sido llevada a cabo, considerando para esto las iniciativas que se deben incorporar en el corto plazo (5 años), así como también evaluar los siguientes horizontes.

El mecanismo de análisis y toma de decisiones se expone, la metodología a considerar, y luego cómo debe ejecutarse la etapa de reformulación del PEGH.

En relación al análisis del PEGH para su reformulación, se debe considerar los siguientes aspectos:

- i. Actualización del diagnóstico en la cuenca Quebrada de Caracoles en materia de recursos hídricos considerando al menos los siguientes aspectos:
 - Brechas entre oferta y demanda.
 - Brechas en infraestructura.
 - Situación de gobernanza en la cuenca.
 - Estado ambiental de los cuerpos de agua de la cuenca.
- ii. Actualización de la cartera actual de acciones, tanto a nivel público como privado.
- iii. Actualización del modelo hidrológico superficial y subterráneo con la nueva data disponible, resolviendo brechas de modelización que hubieron quedado no resueltas durante el diseño del PEGH original.
- iv. Evaluación de las condiciones habilitantes de las iniciativas no ejecutadas.
- v. Evaluación del resultado del Plan de Monitoreo el año i+4, mediante la cuantificación de las iniciativas no comenzadas/finalizadas del PEGH.

En base a lo anterior, la DGA deberá establecer la forma de abordar la reformulación del PEGH, ya sea a través de medios propios o con apoyo externo al servicio, estableciendo:

- Revisión y/o actualización de los ejes y objetivos específicos del PEGH.
- Revisión y/o actualización de las iniciativas ya iniciadas, e incorporación de nuevas acciones, a corto/mediano/largo plazo.

Si corresponde, actualización del Plan de Monitoreo asociado al PEGH.