



Gobierno
de Chile

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

**DESARROLLO DE HERRAMIENTAS PARA EL
ANÁLISIS DE SALARES Y CUENCAS COSTERAS Y
SU APLICACIÓN PARA EL DESARROLLO DEL PLAN
ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA EN LA
CUENCA DEL SALAR DE ATACAMA**

INFORME FINAL PEGH SALAR DE ATACAMA

REALIZADO POR:

**CENTRO DE CAMBIO GLOBAL UC, PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATOLICA DE CHILE**

S.I.T. N° 484

Santiago, diciembre 2021

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

Ministro de Obras Públicas
Ingeniero Civil Sr. Alfredo Moreno Charme

Director General de Aguas
Ingeniero Comercial Sr. Óscar Cristi Marfil

Jefe División de Estudios y Planificación
Ingeniero Civil Mauricio Lorca Miranda

Inspector Fiscal
Ingeniera Agrícola Pamela García Serrano

Inspector Fiscal Subrogante
Ingeniera Civil Andrea Osses Vargas

Inspector Fiscal Subrogante
Ingeniero Agrónomo Franco Calderón Maturana

CENTRO DE CAMBIO GLOBAL UC, PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE

Con el Apoyo de
STOCKHOLM ENVIRONMENT INSTITUTE
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY SYDNEY
TECO GROUP

Jefe de Proyecto
Ingeniero Civil Sebastián Vicuña D.

Profesionales

Ingeniero Civil David Purkey
Ingeniero Informático Jack Sieber
Ingeniero Civil Juan Carlos Castilla R
Ingeniero Agrónomo Francisco Meza
Ingeniero Agrónomo Oscar Melo
Biólogo Pablo Marquet
Ingeniero Forestal Juan Pablo Cerda
Ingeniero Agrónomo David Morales

Equipo Complementario

Ingeniero Agrónomo Eduardo Bustos S.

Ingeniero Civil Andrés Pica T.

Ingeniero Civil Sebastián Aedo

Bióloga Natalia Villavicencio

Ingeniera Ambiental Constanza Pardo

Ingeniera Agrónoma Katherine Duarte

Licenciado en Ciencias de la Ingeniería Marcos Canales

Ingeniero Civil Juan Pablo Herane

CONTENIDO

CONTENIDO	i
TABLAS	v
FIGURAS	x
RESUMEN EJECUTIVO	14
CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO	19
1.1 INTRODUCCIÓN	19
1.2 OBJETIVOS	19
1.2.1 Objetivo General.....	19
1.2.2 Objetivos Específicos.....	19
CAPÍTULO 2 CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA	22
2.1 DIMENSIÓN FÍSICA Y ECONÓMICA	24
2.1.1 Geomorfología.....	24
2.1.2 Geología	26
2.1.3 Suelos.....	29
2.1.4 Drenaje	31
2.1.5 Caracterización hidrogeológica	31
2.1.6 Interfaz salina	39
2.1.7 División político-administrativa	43
2.1.8 Actividad económica.....	45
2.2 CLIMA	54
2.2.1 Caracterización climática	54
2.2.2 Tendencias de observaciones, eventos extremos y variabilidad climática.....	55
2.2.3 Selección de Escenarios de cambio climático	70
2.3 DIMENSIÓN AMBIENTAL	74
2.3.1 Unidades ecosistémicas	74
2.3.2 Glaciares	93
2.4 INFRAESTRUCTURA HÍDRICA	95
2.4.1 Obras hidráulicas	95
2.4.2 Red hidrométrica	104
2.5 NUEVAS FUENTES EXISTENTES	114
2.6 GOBERNANZA DEL AGUA A NIVEL DE CUENCA	114
2.6.1 Mapa de actores	115
2.6.2 Síntesis de reuniones PAC.....	117
2.6.3 Brechas de coordinación	122
2.6.4 Brechas de información	137

CAPÍTULO 3	DEMANDA FÍSICA Y LEGAL DE RECURSOS HÍDRICOS PARA DIFERENTES USOS	142
3.1	USO HUMANO	142
3.1.1	Consideraciones de base.....	142
3.1.2	Agua potable rural, actual y proyectada.....	148
3.1.3	Derechos de agua para uso humano.....	150
3.1.4	Demanda hídrica para consumo humano actual y proyectada	151
3.2	NECESIDADES MÍNIMAS AMBIENTALES.....	151
3.2.1	Consideración de sistemas protegidos: necesidades mínimas de la vegetación natural	151
3.2.2	Derechos de agua para el medio ambiente: caudales ecológicos	154
3.3	DEMANDA AGRÍCOLA	156
3.3.1	Zonas de riego modeladas	156
3.3.2	Método de riego	162
3.3.3	Eficiencia de conducción / canales.....	162
3.3.4	Derechos de agua para la agricultura	162
3.3.5	Demanda hídrica del sector agrícola	163
3.4	DEMANDA MINERA.....	169
3.4.1	Demanda del sector minero	169
3.4.2	Derechos de agua para la minería	174
3.5	OTRAS DEMANDAS	174
3.5.1	Demanda del sector pecuario	174
3.5.2	Demanda por generación eléctrica	175
3.6	MERCADO DE AGUAS	175
3.6.1	Evolución histórica	175
3.6.2	Valor del agua	176
CAPÍTULO 4	OFERTA HÍDRICA	178
4.1	AGUA SUPERFICIAL	178
4.1.1	Fuentes superficiales.....	178
4.1.2	Oferta en la fuente.....	185
4.1.3	Oferta en la fuente proyectada	187
4.1.4	Calidad de aguas	188
4.1.5	Derechos concedidos.....	191
4.2	AGUA SUBTERRÁNEA	194
4.2.1	Fuentes subterráneas.....	194
4.2.2	Stock y recarga	198
4.2.3	Calidad de agua.....	199
4.2.4	Derechos concedidos.....	202
4.3	GLACIARES	206
4.3.1	Identificación de fuentes.....	206
4.3.2	Restricciones de uso sobre glaciares.....	206
CAPÍTULO 5	BALANCE DE AGUA	207
5.1	MODELO DE SIMULACIÓN.....	207

5.1.1	Objetivos del desarrollo del modelo de simulación.....	207
5.1.2	Introducción al modelo de simulación	207
5.1.3	Escenarios de simulación	218
5.2	RESULTADOS DE LOS ESCENARIOS DE SIMULACIÓN	223
5.2.1	Situación actual	223
5.2.2	Situación proyectada	227
5.3	BRECHAS.....	250
5.3.1	Brecha hídrica	250
5.3.2	Brechas del modelo de simulación.....	255
5.4	SUSTENTABILIDAD	257
5.4.1	Oferta Hídrica Sustentable Superficial.....	257
5.4.2	Sustentabilidad de Sectores acuíferos.....	262
5.5	ESCENARIOS DE GESTIÓN ESPECÍFICOS	264
5.5.1	Escenario de gestión 1: Mejoras en el abastecimiento de agua potable	264
5.5.2	Escenario de gestión 2: Mejoras en la eficiencia de riego y ampliación de tranque	265
CAPÍTULO 6	ACCIONES	267
6.1	OBJETIVOS Y DESEMPEÑO	267
6.2	LISTADO INICIAL DE ACCIONES	267
6.2.1	Seguridad Hídrica	268
6.2.2	Monitoreo y Conocimiento de la cuenca	270
6.2.3	Gobernanza y proceso de toma de decisiones.....	270
CAPÍTULO 7	CARTERA DE INICIATIVAS PROPUESTAS	272
7.1	AGUA POTABLE (AP)	276
7.2	RIEGO (R)	290
7.3	PROTECCIÓN DE ECOSISTEMAS, MONITOREO Y CONOCIMIENTO (PE/MON) ..	299
7.4	GOBERNANZA (GOB).....	310
7.5	EVALUACIÓN DE LAS INICIATIVAS	316
7.5.1	Evaluación Económica	316
7.5.2	Evaluación Social y Ambiental	318
7.6	SÍNTESIS DE CARTERA DE INICIATIVAS PROPUESTAS	320
7.7	DISTRIBUCIÓN DE COSTOS DEL PLAN POR INSTITUCIÓN.....	324
CAPÍTULO 8	IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN	327
8.1	ESTRUCTURA DE IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN	327
8.2	HITOS DE IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN	330
8.2.1	Hitos a corto plazo	330
8.2.2	Hitos a mediano plazo	331
8.2.3	Hitos a largo plazo	331
8.3	ESTRATEGIA DE IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN	331
8.3.1	Aspectos institucionales.....	331
8.3.2	Aspectos de cultura del agua.....	332

8.3.3	Aspectos de financiamiento	333
8.3.4	Aspectos territoriales de la cuenca	333
8.4	ESTRATEGIA DE COMUNICACIÓN	334
8.4.1	Estrategia durante el desarrollo	334
8.4.2	Estrategia posterior al desarrollo	334
CAPÍTULO 9	MONITOREO Y EVALUACIÓN DEL PLAN	336
9.1	INDICADORES.....	336
9.2	SEGUIMIENTO.....	341

ANEXOS

ANEXO A	ABREVIACIONES
ANEXO B	REFERENCIAS
ANEXO C	GLOSARIO
ANEXO D	FIGURAS
ANEXO E	ANTECEDENTES RECOPIADOS
ANEXO F	ASPECTOS METODOLÓGICOS DEL PLAN DE CUENCAS
ANEXO G	SIG
ANEXO H	MODELO HIDROLÓGICO
ANEXO I	DETALLE ACTIVIDADES PROCESOS PARTICIPATIVOS
ANEXO J	INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA DE LA CUENCA Y SU DIAGNÓSTICO
ANEXO K	LISTADO Y EVALUACIÓN INICIATIVAS

TABLAS

Tabla 2-1: Superficie de los Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común de la cuenca del Salar de Atacama.	37
Tabla 2-2: Número de personas ocupadas (en miles) según rama de actividad económica, Región de Antofagasta.	46
Tabla 2-3: Comparación de las características relevantes de salares en Chile (Ordenados en un ranking descendente).....	48
Tabla 2-4: Cartera de proyectos de litio catastrados en Región de Antofagasta.	49
Tabla 2-5: Superficie cultivada en la cuenca de San Pedro de Atacama, desagregada por localidad.....	51
Tabla 2-6: Estaciones hidrometeorológicas y de calidad de aguas de la cuenca del Salar de Atacama de fuente pública (DGA) y privada (SQM).	54
Tabla 2-7: Tendencias decadales de precipitación (mm por década) en tres estaciones ubicadas en la cuenca del Salar de Atacama.	57
Tabla 2-8: Resultado de los indicadores asociados a las variables de precipitación en tres estaciones ubicadas en la cuenca del Salar de Atacama.....	58
Tabla 2-9: Tendencias históricas decadales de las temperaturas extremas en el periodo 1985-2017 en la estación Peine. Se reportan solo aquellos valores significativos estadísticamente distintos de cero.	60
Tabla 2-10: Resultado de los indicadores asociados a las variables de temperatura en la estación Peine.	62
Tabla 2-11: Tendencias históricas decadales de los caudales observados (m^3*s^{-1}) en el periodo 1985-2017 en la estación Canal Vilama en Vilama.....	66
Tabla 2-12: Resultado de los indicadores asociados a las variables de temperatura en la estación Canal Vilama en Vilama.	67
Tabla 2-13: Cambios en precipitación y temperatura para GCM seleccionados.	73
Tabla 2-14: Resumen de especies de plantas que componen la vegetación de la cuenca del Salar de Atacama.	74
Tabla 2-15: Especies de plantas más comunes en torno a los sistemas lagunares de la Cuenca del Salar de Atacama.	83
Tabla 2-16: Especies de vertebrados más comunes en torno a los sistemas lagunares y áreas bajo protección de la Cuenca del Salar de Atacama.	86
Tabla 2-17: Descripción de áreas bajo protección oficial y otras figuras de conservación.	89
Tabla 2-18: Registro de bocatomas y canales de regadío, por subcuenca, en la cuenca del Salar de Atacama.	96
Tabla 2-19: Compuertas en la cuenca del Salar de Atacama. Datum WG84-19S	99
Tabla 2-20: Registro de APRs, por subcuenca, en la cuenca del Salar de Atacama.....	100
Tabla 2-21: Registro de pozos y punteras, por subcuenca, en la cuenca del Salar de Atacama.....	101
Tabla 2-22: Registro de estaciones hidrometeorológicas, por subcuenca, en la cuenca del Salar de Atacama.	104
Tabla 2-23: Estaciones hidrometeorológicas y de calidad de aguas en la cuenca del Salar de Atacama.	105

Tabla 2-24: Registro de la red minera de monitoreo de nivel piezométrico y de precipitación y evaporación, por subcuenca, en la cuenca del Salar de Atacama.	110
Tabla 2-25: Puntos de monitoreo de nieve en la cuenca del Salar de Atacama. Datum WG84-19S.....	113
Tabla 2-26: Mapa de actores en la cuenca del Salar de Atacama.....	116
Tabla 2-27: Matriz de interés - poder para actores relevantes de la cuenca.	117
Tabla 2-28: Agrupaciones de usuarios de derechos de agua superficiales en la cuenca del Salar de Atacama.	123
Tabla 2-29: Instrumentos de planificación a nivel regional y comunal.	127
Tabla 2-30: Planes de Alerta Temprana asociados al otorgamiento de derechos de agua (PAT-CA) existentes en la cuenca del Salar de Atacama.	132
Tabla 2-31: Planes de Alerta Temprana asociados a los EIA (PAT-SEIA) aprobados en la cuenca del Salar de Atacama.	132
Tabla 3-1: Población Total censos 1982, 1992, 2002, 2017 en zonas administrativas de interés.	143
Tabla 3-2: Distribución de habitantes por edad en la comuna de San Pedro de Atacama.	143
Tabla 3-3: Relación población urbana y rural en zonas administrativas de interés.	143
Tabla 3-4: Valores promedio mensual del agua distribuida en camiones aljibes para comunidades y particulares.....	149
Tabla 3-5: Extracciones destinadas a agua potable (l/s).....	151
Tabla 3-6: Demanda hídrica para consumo humano actual y proyectada.....	151
Tabla 3-7: Parámetros para especies representativas de las distintas formaciones vegetales nativas de la cuenca del Salar de Atacama.....	153
Tabla 3-8: Caudales para protección ambiental en Ayllus de San Pedro de Atacama, estación Canal Vilama en Vilama (l/s).	154
Tabla 3-9: Caudales para protección ambiental en Salar de Atacama, estación Canal Cuno en Socaire (l/s).	154
Tabla 3-10: Caudal Ecológico para áreas sensibles dentro de la cuenca del Salar de Atacama (l/s).....	156
Tabla 3-11: Superficie agrícola regada calculada por localidad dentro de la cuenca del Salar de Atacama.	159
Tabla 3-12: Distribución porcentual de cultivos agrícolas presentes en la comuna de San Pedro de Atacama.	160
Tabla 3-13: Parámetros y valores utilizados para diferentes coberturas vegetales en la cuenca del Salar de Atacama.	161
Tabla 3-14: Fracción cubierta por vegetación.....	162
Tabla 3-15 Sistema de riego presentes en la cuenca del Salar de Atacama.....	162
Tabla 3-16: Capacidad de conducción (l/s) y Derechos de aguas superficiales (l/s) en canales presentes en el modelo.	163
Tabla 3-17: Demanda agrícola actual a partir de la evapotranspiración potencial (mm/día).	165
Tabla 3-18: Demanda hídrica proyectada para el sector agrícola.	166
Tabla 3-19: Demanda agrícola proyectada a partir de la evapotranspiración potencial (mm/día) para el escenario húmedo baja.	167
Tabla 3-20: Demanda agrícola proyectada a partir de la evapotranspiración potencial (mm/día) para el escenario seco alta.	168

Tabla 3-21: Demanda hídrica del sector minero al año 2019.....	169
Tabla 3-22: Demanda proyectada para el sector minero.	174
Tabla 3-23: Derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas para uso minero catastrados en la cuenca del Salar de Atacama y factor de uso asociada para el año 2019.	174
Tabla 3-24: Demanda hídrica actual del sector pecuario.....	175
Tabla 3-25: Transacciones según naturaleza del agua, años 2002 - 2019.	176
Tabla 3-26: Aplicación incremental de criterios de depuración.	177
Tabla 4-1: División administrativa de la cuenca del Salar de Atacama.....	180
Tabla 4-2: Estaciones de calidad red DGA y red SQM de tipo superficial.	189
Tabla 4-3: DAA otorgados y Caudal medio otorgado.	191
Tabla 4-4: DAA otorgados y caudal otorgado según Tipo de Solicitud.	191
Tabla 4-5: DAA superficiales otorgados según Tipo de DAA y Ejercicio del DAA.	192
Tabla 4-6: Total de DAA georreferenciados y no georreferenciados.	192
Tabla 4-7: Oferta de recursos hídricos subterráneos en los SHACs de la cuenca del Salar de Atacama.	194
Tabla 4-8: Áreas de restricción y zonas de prohibición en el acuífero del Salar de Atacama.	198
Tabla 4-9: Entradas promedio al sistema subterráneo del modelo acoplado en el período 1986 - 2018 (período de calibración).	199
Tabla 4-10: Entradas promedio al sistema subterráneo del modelo acoplado en el período 1986 - 1999 (período preoperacional).	199
Tabla 4-11: Entradas promedio al sistema subterráneo del modelo acoplado en el período 2000 - 2018 (período posterior al inicio de extracciones).	199
Tabla 4-12: Estaciones de calidad red SQM de tipo subterránea (pozos).	200
Tabla 4-13 Tabla resumen de derechos subterráneos concedidos.	203
Tabla 4-14: DAA otorgados y Caudal medio otorgado.	203
Tabla 4-15: DAA otorgados y caudal otorgado según Tipo de Solicitud.	203
Tabla 4-16: DAA subterráneos otorgados según Tipo de DAA y Ejercicio del DAA.	204
Tabla 4-17: DAA subterráneos otorgados según si están georreferenciados y no.	204
Tabla 5-1: Flujos superficiales presentados en el modelo conceptual de CORFO-AMPHOS21 (2021) y flujos superficiales resultantes del modelo acoplado para el período 1986 - 2018.	212
Tabla 5-2: Resumen del balance hídrico del sistema subterráneo del modelo acoplado y modelo conceptual en los períodos 1986 - 1999 y 2000 - 2018.	212
Tabla 5-3: Evaporación de tanque medida en estaciones de monitoreo y evapotranspiración potencial simulada con el modelo acoplado en catchments representativos de la ubicación de la estación.....	213
Tabla 5-4: Variación porcentual de las precipitaciones en los escenarios climáticos para los períodos 2020 - 2040 y 2040 - 2060, respecto al período 1986 - 2018 en los SHACs A1, A2, B1, C1, C2 y N1.	219
Tabla 5-5: Variación porcentual de las precipitaciones en los escenarios climáticos para los períodos 2020 - 2040 y 2040 - 2060, respecto al período 1986 - 2018 en los SHACs A, B, C y N.	219
Tabla 5-6: Variación porcentual de las precipitaciones en los escenarios climáticos para los períodos 2020 - 2040 y 2040 - 2060, respecto al período 1986 - 2018 a escala de cuenca.	220

Tabla 5-7: Cruce de escenarios y narrativas que los describen.....	222
Tabla 5-8: Entradas por precipitación, salidas por evapotranspiración desde la superficie y evaporación desde la napa y caudales remanentes, calculadas a partir del modelo acoplado 1986 – 2018.	225
Tabla 5-9: Oferta Hídrica de la cuenca del Salar de Atacama, a partir de Informe Técnico SDT 339 (DGA, 2013).	225
Tabla 5-10: Balance hídrico del sistema subterráneo completo y desagregado a escala de SHAC en el período 1986 – 2018, calculado a partir del modelo acoplado.	226
Tabla 5-11: Representación y sector donde se ubican los puntos presentados en la Figura 5-18.....	244
Tabla 5-12: Brecha hídrica asociada a las necesidades de agua potable simulada en el período 2020 – 2060.....	253
Tabla 5-13: Brecha hídrica asociada a los derechos en canales de riego simulada en el período 2020 – 2060.....	253
Tabla 5-14: Brecha hídrica asociada a las necesidades de agua por cultivos simulada en el período 2020 – 2060.....	254
Tabla 5-15: Brecha hídrica total simulada en el período 2020 – 2060 asociada a necesidades de agua potable, cobertura de derecho en canales y satisfacción de evapotranspiración de cultivos en los puntos analizados.	254
Tabla 5-16: Derechos existentes en río San Pedro y río Vilama.	259
Tabla 5-17: Oferta hídrica en río San Pedro (l/s) calculada a partir del modelo integrado para los distintos meses del año en los distintos escenarios climáticos.	260
Tabla 5-18: Oferta hídrica en río Vilama (l/s) calculada a partir del modelo integrado para los distintos meses del año en los distintos escenarios climáticos.....	261
Tabla 6-1: Listado inicial de acciones de Seguridad Hídrica para Agua Potable.	268
Tabla 6-2: Listado inicial de acciones de Seguridad Hídrica para Riego.	269
Tabla 6-3: Listado inicial de acciones de Seguridad Hídrica para Protección de Ecosistemas.	269
Tabla 6-4: Listado inicial de acciones de Monitoreo y Conocimiento de la cuenca.....	270
Tabla 6-5: Listado inicial de acciones de Gobernanza y proceso de toma de decisiones.	271
Tabla 7-1: Listado de brechas identificadas en el diagnóstico y las iniciativas relacionadas.	274
Tabla 7-2: Listado de iniciativas propuestas de Seguridad Hídrica para Agua Potable. .	276
Tabla 7-3: Ficha resumen iniciativa N° AP-1.	278
Tabla 7-4: Ficha resumen iniciativa N° AP-2.	280
Tabla 7-5: Ficha resumen iniciativa N° AP-3.	282
Tabla 7-6: Ficha resumen iniciativa N° AP-4.	284
Tabla 7-7: Ficha resumen iniciativa N° AP-5.	286
Tabla 7-8: Ficha resumen iniciativa N° AP-6.	288
Tabla 7-9: Listado de iniciativas propuestas de Seguridad Hídrica para Riego.	290
Tabla 7-10: Ficha resumen iniciativa N° R-1.	291
Tabla 7-11: Ficha resumen iniciativa N° R-2.	293
Tabla 7-12: Ficha resumen iniciativa N° R-3.	295
Tabla 7-13: Ficha resumen iniciativa N° R-4.	297
Tabla 7-14: Listado de iniciativas propuestas de Protección de Ecosistemas, Monitoreo y Conocimiento.	299

Tabla 7-15: Ficha resumen iniciativa N° PE/MON-1.....	300
Tabla 7-16: Ficha resumen iniciativa N° PE/MON-2.....	302
Tabla 7-17: Ficha resumen iniciativa N° PE/MON-3.....	304
Tabla 7-18: Ficha resumen iniciativa N° PE/MON-4.....	306
Tabla 7-19: Ficha resumen iniciativa N° PE/MON-5.....	308
Tabla 7-20: Listado de iniciativas propuestas de Gobernanza y proceso de toma de decisiones.....	310
Tabla 7-21: Ficha resumen iniciativa N° GOB-1.....	311
Tabla 7-22: Ficha resumen iniciativa N° GOB-2.....	313
Tabla 7-23: Ficha resumen iniciativa N° GOB-3.....	315
Tabla 7-24: Resultado de la evaluación económica de las iniciativas propuestas para el plan de acción de la cuenca del Salar de Atacama.	317
Tabla 7-25: Asignación de puntuación del indicador social para las iniciativas de la propuesta de la cartera.	318
Tabla 7-26: Asignación de puntuación del indicador ambiental para las iniciativas de la propuesta de la cartera.	319
Tabla 7-27: Asignación de puntuación de los indicadores social y ambiental para las iniciativas de la propuesta de la cartera.....	319
Tabla 7-28: Tabla de síntesis de iniciativas propuestas.	322
Tabla 7-29: Tabla de iniciativas ejecutadas por DGA.....	324
Tabla 7-30: Tabla de iniciativas ejecutadas por DGA y otras instituciones.	324
Tabla 7-31: Tabla de iniciativas ejecutadas por otras instituciones.	324
Tabla 8-1: Tabla de iniciativas habilitantes dentro de la implementación del plan.	330
Tabla 9-1: Indicadores de monitoreo de las iniciativas propuestas.....	337

FIGURAS

Figura 2-1: Carta base de la cuenca del Salar de Atacama.	23
Figura 2-2: Geomorfología de la cuenca del Salar de Atacama.	25
Figura 2-3: Geología en la cuenca del Salar de Atacama.	27
Figura 2-4: Leyenda de la cartografía de geología en la cuenca del Salar de Atacama. ..	28
Figura 2-5: Distribución de suelos en la cuenca del Salar de Atacama.	30
Figura 2-6: Distribución de las unidades hidrogeológicas de la cuenca del Salar de Atacama, desde UH-1 a UH-6.	32
Figura 2-7: Perfil hidrogeológico conceptual del Salar de Atacama. Se muestran las unidades hidrogeológicas.	33
Figura 2-8: Isopiezas calculadas a partir del modelo acoplado (diciembre 2018).	36
Figura 2-9: Delimitación de los Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común de la cuenca del Salar de Atacama.	38
Figura 2-10: Esquema conceptual del funcionamiento hidrológico de la zona donde se genera la interfaz salina del Salar de Atacama.	40
Figura 2-11: Esquema conceptual de la zona de mezcla en la cuenca del Salar de Atacama.	41
Figura 2-12: Posición de la interfaz salina del borde Este del Salar de Atacama.	42
Figura 2-13: División político-administrativa de la región de Antofagasta.	44
Figura 2-14: Producto Interno Bruto Regional anual Antofagasta. Volumen a precios del año anterior encadenado en miles de millones de pesos.	45
Figura 2-15: Producto Interno Bruto anual por actividad económica en la Región de Antofagasta. Volumen a precios del año anterior encadenado en miles de millones de pesos.	46
Figura 2-16: Reservas de litio mundiales en toneladas al año 2020.	47
Figura 2-17: Evolución de la producción nacional de litio.	48
Figura 2-18: Proyección de la producción de Litio en Chile.	49
Figura 2-19: Producción de cloruro de potasio por SQM Salar S.A. en la cuenca del Salar de Atacama.	50
Figura 2-20: Terrenos cultivados en la cuenca del Salar de Atacama.	52
Figura 2-21: Número de visitantes a Reserva Nacional Los Flamencos.	53
Figura 2-22: Distribución interanual de las precipitaciones medias (1985-2020) en las tres estaciones seleccionada para el presente análisis.	56
Figura 2-23: Arriba: Precipitación anual de las estaciones SQM, INIA y DMC analizadas, desde 2009 hasta 2020 según registros observados. Abajo: Curva estacional de precipitaciones para las estaciones de las fuentes mencionadas.	59
Figura 2-24: Curva estacional de temperaturas extremas para la estación Peine.	60
Figura 2-25: Número de días en que las temperaturas mínimas son superiores al percentil 90 de todos los registros del periodo de estudio.	63
Figura 2-26: Arriba: Temperatura media anual de las estaciones SQM, INIA y DMC analizadas, desde 2009 hasta 2020 según registros observados. Abajo: Curva estacional de la temperatura para las estaciones de las fuentes mencionadas.	64
Figura 2-27: Distribución de los caudales medios durante el año de las estaciones Canal Vilama en Vilama y Canal Cuno en Socaire (periodo 1985-2020).	65

Figura 2-28: Distribución de los caudales medios durante el año de la estación canal Vilama en Vilama (periodo 1985-2020).....	66
Figura 2-29: Caudal medio anual de la estación Canal Vilama en Vilama (panel superior) y Canal Cuno en Socaire (Panel inferior).	68
Figura 2-30: Dispersión de los cambios en precipitación (mínimo, promedio, máximo de la variación porcentual respecto del periodo de referencia histórico) para los escenarios RCP8.5 (CMIP5) y SSP585 (CMIP6), en tres periodos comparados.	71
Figura 2-31: Dispersión de los cambios en temperatura media (mínimo, promedio, máximo de la variación absoluta respecto del periodo de referencia histórico) para los escenarios RCP8.5 (CMIP5) y SSP585 (CMIP6), en tres periodos comparados.	72
Figura 2-32: Deltas de precipitación y temperatura en los 18 modelos CMIP5 disponibles contrastados entre el periodo histórico de control (1980-2010) y el futuro (2035-2065).73	
Figura 2-33: Distribución de las formaciones vegetales zonales de la cuenca del Salar de Atacama.....	77
Figura 2-34: Ubicación de los principales sistemas lagunares de la cuenca del Salar de Atacama.....	79
Figura 2-35: Distribución geoespacial de vegas y bofedales de la cuenca del Salar de Atacama.....	81
Figura 2-36: Distribución geográfica de humedales según el Indicador de Vulnerabilidad y Catastro de Vegas y Bofedales.	92
Figura 2-37: Distribución espacial de los glaciares reconocidos por la DGA en la cuenca del Salar de Atacama.	94
Figura 2-38: Red de canales de regadío en la cuenca del Salar de Atacama.....	97
Figura 2-39: Red de bocatomas en la cuenca del Salar de Atacama.....	98
Figura 2-40: Red de pozos de bombeo en la cuenca del Salar de Atacama.	102
Figura 2-41: Red de punteras en la cuenca del Salar de Atacama.....	103
Figura 2-42: Localización espacial de los distintos tipos de estaciones distribuidas en la cuenca del Salar de Atacama.	109
Figura 2-43: Puntos de la red de monitoreo de nivel piezométrico de propiedad minera.	111
Figura 2-44: Puntos de la red de monitoreo de evaporación y precipitación de propiedad minera.	112
Figura 2-45: Proyectos con uso de agua de mar en Región de Antofagasta (en m ³ /s). 114	
Figura 2-46: Distribución de actores participantes de las actividades del Plan Estratégico de Gestión Hídrica de la cuenca del Salar de Atacama.	118
Figura 2-47: Intersección entre el polígono de la ADI Atacama La Grande y la ZOIT de la cuenca del Salar de Atacama.	126
Figura 2-48: Intersección de reservas nacionales, vegas, bofedales y sitios RAMSAR que restringen el otorgamiento de nuevos derechos o el ejercicio de derechos existentes. .	129
Figura 2-49: Intersección de zonas de restricción y prohibición, declaraciones de agotamiento y acuíferos protegidos que restringen el otorgamiento de nuevos derechos o el ejercicio de derechos existentes.	130
Figura 3-1: Distribución de comunidades indígenas en la cuenca del Salar de Atacama.	144
Figura 3-2: Proyección poblacional período 2025-2065 en la cuenca de San Pedro de Atacama.....	145

Figura 3-3: Proyección turistas equivalentes por mes que visitan la cuenca del Salar de Atacama en el periodo 2020-2065, escenario alto crecimiento.....	146
Figura 3-4: Proyección turistas equivalentes por mes que visitan la cuenca del Salar de Atacama en el periodo 2020-2065, escenario moderado crecimiento.....	146
Figura 3-5: Ubicación de Comité APR en la cuenca del Salar de Atacama.	147
Figura 3-6: Consumo mensual promedio de agua potable en San Pedro de Atacama para el año 2019.	148
Figura 3-7: Consumo de agua en el pueblo de San Pedro de Atacama asociado al turismo.	150
Figura 3-8: Zonas ecológicas definidas en la cuenca del Salar de Atacama.	155
Figura 3-9: Distribución espacial de coberturas dentro de la cuenca del Salar de Atacama.	158
Figura 3-10: Ubicación de la demanda minera presente en la cuenca del Salar de Atacama.	170
Figura 3-11: Caudales medios anuales (l/s) de cada operador en el escenario 1.	173
Figura 3-12: Caudales medios anuales (l/s) de cada operador en el escenario 2.	173
Figura 3-13: Distribución anual del número de DAA transados, periodo 2002-2019. ...	176
Figura 4-1: Hidrografía de la cuenca del Salar de Atacama, mencionando ríos y quebradas principales.	179
Figura 4-2: Límites de la cuenca y subcuencas definidos por la delimitación oficial del DARH.	181
Figura 4-3: Zonas con declaraciones de agotamiento en las subcuencas del río San Pedro y río Vilama de la cuenca del Salar de Atacama.	183
Figura 4-4: Sectores de evaluación oferta en la fuente dentro de la cuenca del Salar de Atacama.....	186
Figura 4-5: Caudales mensuales, estacionalidad y curva de duración simulada en el período 1986 - 2018 en el río San Pedro en Cuchabrachi.	187
Figura 4-6: Caudales mensuales, estacionalidad y curva de duración simulada en el período 1986 - 2018 y en los escenarios en el período 2019 - 2065 en el río San Pedro en Cuchabrachi.....	188
Figura 4-7: Ubicación de las estaciones de medición de calidad de agua superficial. ...	190
Figura 4-8: Ubicación geográfica de los DAA superficiales en la cuenca del Salar de Atacama.....	193
Figura 4-9: Zonas de protección oficial en la cuenca del Salar de Atacama que restringen el aprovechamiento de aguas subterráneas.....	197
Figura 4-10: Evolución del almacenamiento acumulado en el acuífero desde 1986.	198
Figura 4-11: Ubicación de las estaciones de medición de calidad de agua subterránea.	201
Figura 4-12: Ubicación geográfica de los DAA subterráneos en la cuenca del Salar de Atacama.....	205
Figura 5-1: Delimitación de los modelos que conforman el modelo acoplado.....	209
Figura 5-2: Esquema de las conexiones entre los distintos modelos que conforman el modelo acoplado.	210
Figura 5-3: Validación comparando caudal promedio mensual modelado y observado en la estación DGA para la estación fluviométrica "río San Pedro de Cuchabrachi".	213
Figura 5-4: Residuales calculados a partir de los niveles observados y simulado por el modelo integrado de la cuenca del Salar de Atacama en el período 1986 - 2018.....	215
Figura 5-5: Ejemplo de niveles observados y simulados con el modelo acoplado.	216

Figura 5-6: Niveles simulados y medidos en el perfil La Punta La Brava.	217
Figura 5-7: Comparación de distribución vertical de conductividad eléctrica medida y simulada para el perfil Quelana.	218
Figura 5-8: Variación en la piezometría calculada entre los años 2018 y 1986.	224
Figura 5-9: Entradas y salidas anuales al sistema subterráneo simuladas en el período 1986 - 2018, junto al volumen almacenado en el sistema subterráneo en términos del porcentaje respecto al año 1986.	227
Figura 5-10: Variación porcentual de los caudales superficiales simulados en los períodos 2020 - 2040 y 2040 - 2060, respecto al período 1986 - 2018.	229
Figura 5-11: Caudal y afloramientos simulados en la quebrada de Peine en el escenario histórico y en los escenarios futuros.....	230
Figura 5-12: Satisfacción de necesidades de agua potable promedio en los períodos 1986 - 2018, 2020 - 2040 y 2040 - 2060.....	232
Figura 5-13: Cobertura del derecho en canales promedio en los períodos 1986 - 2018, 2020 - 2040 y 2040 - 2060.....	234
Figura 5-14: Satisfacción promedio de la evapotranspiración de cultivos simulada para las ventanas 1986 - 2018, 2020 - 2040 y 2040 - 2060.	236
Figura 5-15: Razón de la cobertura de la evapotranspiración en las ventanas 2020 - 2040 y 2040 - 2060 respecto a la cobertura del período 1986 - 2018.....	239
Figura 5-16: Entradas por precipitación, salidas por evapotranspiración y evaporación desde la napa y diferencia entre entradas y salidas simuladas en el período histórico (1986 - 2018) y variación porcentual en los escenarios futuros en los períodos 2020 - 2040 y 2040 - 2060.....	241
Figura 5-17: Volumen almacenado en el sistema subterráneo simulado al año 2040 y 2060, respecto al volumen simulado al año 1986.....	243
Figura 5-18: Variación de los niveles simulados al año 2040 y 2060, respecto a los niveles simulados al año 2018, en puntos distribuidos a lo largo de la cuenca.....	246
Figura 5-19: Variación en la concentración de solutos en puntos representativos de sistemas lagunares en los años 2040 y 2060 respecto del año 2018.	248
Figura 5-20: Desplazamiento de la interfaz salina en los años 2040 y 2060 respecto del año 2018.....	249
Figura 5-21: Probabilidad de excedencia mensual en los distintos escenarios en el río San Pedro en Cuchabrachi.	258
Figura 5-22: Probabilidad de excedencia mensual en los distintos escenarios en el río Vilama en canal Vilama.	258
Figura 5-23: Satisfacción de la demanda de agua potable bajo escenario de gestión específico.	265
Figura 5-24: Satisfacción de la demanda de la evapotranspiración de un cultivo (plantas forrajeras) bajo escenarios de gestión específicos.	266
Figura 6-1: Dimensiones de objetivos y desempeños del diseño del plan.....	267
Figura 7-1: Diagrama de iniciativas propuestas y analizadas.	273
Figura 7-2: Asignación de puntuación de los indicadores social y ambiental para las iniciativas de la propuesta de la cartera.....	320
Figura 7-3: Diagrama de Sankey, representando montos por tipo de iniciativa, plazos e instituciones financieras.	326
Figura 8-1: Carta Gantt de la implementación del plan.	328
Figura 8-2: Carta Gantt de la implementación del plan (continuación).	329

RESUMEN EJECUTIVO

El Plan Estratégico de Gestión Hídrica (PEGH) de la cuenca del Salar de Atacama, promovido por la DGA, compila un portafolio de acciones a diferentes horizontes (corto, mediano y largo plazo), dirigido a diferentes actores que participan de la gestión del agua. El PEGH es una hoja de ruta a través de la cual se aspira hacer frente a la problemática hídrica, con una visión integrada de las relaciones entre los actores en torno al uso, consumo y gestión del recurso hídrico, con prioridad del consumo humano, teniendo presente los efectos del cambio climático sobre la disponibilidad de agua.

La cuenca del Salar de Atacama corresponde a una cuenca endorreica en donde diferentes actores conviven en el uso y aprovechamiento del recurso hídrico, tanto de naturaleza superficial como subterránea. El consumo hídrico de naturaleza superficial destina su uso principalmente como agua para riego, mientras que el consumo hídrico de naturaleza subsuperficial se destina principalmente para proveer de agua potable al consumo humano de residentes y turistas, y para consumo industrial de procesos mineros. En el caso de los acuíferos del sector del núcleo del Salar de Atacama, son utilizados para la extracción de salmueras altas en minerales no metálicos como el potasio y litio.

La demanda de agua de parte de usuarios existentes, potencial entrada de nuevos actores a la cuenca, además de la disponibilidad variable en el tiempo del recurso, su estrecha vinculación con ecosistemas sensibles y biodiversidad, generan un panorama desafiante en cuando a la gestión hídrica de la cuenca.

Para una buena gestión hídrica ante estas necesidades, resulta necesario estrechar la colaboración proveniente de los servicios del estado, de los usuarios del agua y otros actores interesados tanto en la gestión del recurso como en su protección y disponibilidad para las generaciones futuras.

Se desarrolló para la Dirección General de Aguas (DGA) el estudio **Desarrollo de herramientas para el análisis de salares y cuencas costeras y su aplicación para el desarrollo del plan estratégico de gestión hídrica en la cuenca del Salar de Atacama: Plan Estratégico de Gestión Hídrica en la Cuenca del Salar de Atacama**, que se presenta en este informe. Este estudio se llevó a cabo por el Centro de Cambio Global de la Pontificia Universidad Católica de Chile con el apoyo del Stockholm Environment Institute (SEI), la Universidad Tecnológica de Sydney (UTS) y TECO Group. El objetivo general de este estudio fue desarrollar un modelo operacional en WEAP para la cuenca del Salar de Atacama, integrando los modelos subterráneos MODFLOW a los superficiales existentes para proponer un plan estratégico indicativo para la cuenca, para que en su realidad se pueda conocer oferta y demanda actual de agua, establecer balance hídrico y sus proyecciones a 30 años, diagnosticar el estado de información, infraestructura e instituciones que toman decisiones respecto al recurso hídrico, y proponer cartera de acciones DGA y de terceros público-privados, que permitan suplir la demanda de agua y adaptación al cambio climático, con un portafolio de acciones que aseguren su abastecimiento en cantidad y calidad.

Los objetivos del desarrollo y actualización del modelo integrado de la cuenca del Salar de Atacama en este estudio fueron:

- i. Recopilar los modelos hidrológicos e hidrogeológicos de cada cuenca.
- ii. Construir y/o actualizar los modelos de simulación hidrológicos, e integrarlos a nivel superficial-subterráneo.
- iii. Cambiar de plataforma cuando sea necesario y unificar los modelos hidrológicos (WEAP, VIC) e hidrogeológicos (MODFLOW) para la cuenca.
- iv. Actualizar el modelo de simulación hidrológica superficial y subterránea que represente los escenarios de consumo hídrico y de salmuera, de acuerdo a la demanda de actores sectorizados, considerando además los escenarios climáticos, económicos y demográficos para la cuenca del Salar de Atacama.

La estructura de este informe se divide en 9 capítulos:

- Capítulo 1: Introducción y objetivos del estudio
Se introduce el estudio que se desarrolló, además del objetivo general del proyecto y los objetivos específicos.
- Capítulo 2: Caracterización de la cuenca
En este capítulo se entregan detalles de la cuenca. Abarca una dimensión física con detalles de geomorfología, geología, suelos, drenaje, caracterización hidrogeológica, interfaz salina y la división político-administrativa, y una dimensión económica, entregando detalles de las actividades principales tanto a nivel regional como a nivel de la cuenca.
En este capítulo también se entrega una caracterización climática de la cuenca, además de eventos extremos y variabilidad climática, incluyendo la selección de escenarios de cambio climático.
- Capítulo 3: Demanda Física y Legal de recursos hídricos para diferentes usos
En este capítulo se detalla los diferentes usos que se le da al recurso hídrico dentro de la cuenca. El primero que se detalla, corresponde al uso humano, el cual abarca definiciones demográficas y cómo fue caracterizada la población, y cómo esta se abastece de agua potable. El segundo que se detalla corresponde a las necesidades mínimas ambientales, en donde se detalla acerca de las necesidades mínimas de la vegetación, las especies representativas consideradas en la modelación y los caudales para protección ambiental. El tercer uso, corresponde a la demanda agrícola, en donde se detalla las zonas de riego, el tipo de riego utilizado, además de los derechos de agua destinados a agricultura. Además, se agregan como resultado las demandas de agua desagregadas por sector/Ayllu, y por grupo de cultivos, tanto de la demanda actual como de la demanda proyectada. Un cuarto uso, corresponde a la demanda minera, en donde se detalla de demanda del sector minero y la demanda proyectada de este, además del detalle de derechos de agua para la minería. En un quinto uso, se abarcan otras demandas, en donde en particular, se entrega detalle de la demanda del sector pecuario. Finalmente, se abarca el mercado de aguas, incluyendo evolución histórica y el valor del agua.
- Capítulo 4: Oferta hídrica
En este capítulo se detalla la oferta hídrica tanto del sistema superficial como del subterráneo. En el primero se detalla información sobre las fuentes superficiales presentes en la cuenca, oferta en la fuente, oferta en la fuente proyectada,

calidad de aguas y los derechos concedidos. En el segundo se detalla información sobre las fuentes subterráneas, stock, recarga y niveles, calidad de agua y derechos concedidos. Además, se incorpora un subcapítulo dedicado a los glaciares.

- Capítulo 5: Balance de agua

En el marco del desarrollo del Plan Estratégico de Gestión Hídrica de la cuenca del Salar de Atacama se actualizó el modelo integrado superficial-subterráneo, desarrollado por CORFO-PUC (2021) en la plataforma WEAP-MODFLOW, en base a la información provista por los distintos actores de la cuenca. El modelo permite representar los flujos de agua y salmuera y la satisfacción de demandas de agua a partir de escenarios climáticos y de demandas de agua y salmuera para sus distintos usos. Adicionalmente, el modelo permite entender cualitativamente el comportamiento de la cuña salina en la zona marginal del borde Este. Este modelo actualizado permitirá evaluar el comportamiento de la cuenca, en términos de disponibilidad de agua y salmuera, bajo distintos escenarios climáticos o de requerimientos de agua y salmuera. Los resultados del modelo integrado permitirán también generar las condiciones de contorno para la evaluación de modelos locales.

Si bien este modelo corresponde a la mejor aproximación con la que se cuenta en la cuenca del Salar de Atacama a nivel integral y no compartimentado para la toma de decisiones del regulador, este corresponde a una simplificación a escala de cuenca de un sistema real donde ocurren procesos importantes a escala local. Una correcta utilización del modelo debe considerar las limitaciones y brechas asociadas a este, en particular que, al ser un modelo a escala regional, debe evaluarse caso a caso la pertinencia de realizar conclusiones a escala centimétrica. Sin embargo, el modelo puede utilizarse para obtener resultados en términos de tendencias de variables relevantes del ciclo hidrológico. Adicionalmente, es importante destacar que la calibración del modelo subterráneo resultó en grandes residuales en los niveles en la zona Monturaqui-Negrillar-Tilopzo, sin embargo, este logra representar las tendencias y que las restricciones del acople WEAP-MODFLOW resultaron en una baja sensibilidad de los niveles a las precipitaciones y a la estacionalidad climática; sin embargo, el modelo cumple con los requerimientos del SEIA. Notar que salvo componentes de estrés hídrico no hay una representación de efectos en los sistemas ecológicos. En base a los resultados del modelo integrado en el período 1986 - 2018 se realizó una actualización del estado actual de la cuenca considerando caudales, variación de la piezometría, ubicación de la cuña salina y un balance hídrico diferenciado entre el sistema superficial y subterráneo. Adicionalmente, se escogieron tres escenarios climáticos: un escenario seco, un escenario intermedio y un escenario húmedo, y dos escenarios de demanda: un escenario tendencial y un escenario con aumento del turismo, superficie cultivada y extracciones mineras (la consideración de estas extracciones no responde a la demanda por producción). Estos escenarios se proyectaron hasta el año 2065 para analizar la situación proyectada de la cuenca, en términos de disponibilidad del recurso superficial y subterráneo, satisfacción de necesidades, niveles y salinidad del sistema subterráneo en un corto (2020 - 2040) y largo (2040 - 2060) plazo, además de la brecha hídrica asociada a las necesidades de agua potable y riego. Los resultados de los escenarios de simulación muestran que las principales

variaciones en caudales, cobertura de derechos en canales y niveles piezométricos está asociada principalmente a efectos climáticos. En términos de cobertura de necesidades, la cobertura de agua potable está restringida principalmente a la capacidad productiva de los pozos de extracción en el sector Norte de la cuenca, siendo esta una brecha relevante para el abastecimiento de agua potable para la población, y la cobertura de la evapotranspiración se ve afectada por una combinación entre el factor climático y superficie cultivada.

En términos de sustentabilidad, se realizó un análisis de la oferta hídrica sustentable superficial en los ríos San Pedro y Vilama. Este análisis es referencial debido a que se considera únicamente el caudal ecológico y los derechos existentes, sin incluir restricciones locales. En la situación actual se observa que la oferta es siempre menor a los derechos y caudal ecológico, brecha que aumenta en el escenario seco y disminuye en los escenarios intermedio y húmedo. En cuanto a los escenarios de gestión específicos, se evaluaron en el modelo de simulación dos iniciativas asociadas a mejoras en el abastecimiento de agua potable y eficiencia de riego, considerando como base el escenario seco de alta demanda.

- Capítulo 6: Acciones

En este capítulo se detalla el objetivo y el desempeño, indicando además el listado de acciones en materias de seguridad hídrica, monitoreo y conocimiento de la cuenca y en gobernanza y proceso de toma de decisiones.

- Capítulo 7: Cartera de iniciativas propuestas

En este capítulo se indica la cartera de iniciativas propuesta en materia de Agua Potable (AP), Riego (R), Protección de Ecosistemas (PE), Monitoreo y conocimiento (MON), y de Gobernanza (GOB), estas iniciativas se presentan con sus diferentes componentes en fichas resumidas. Además, se presenta la evaluación de las iniciativas a través de metodologías de análisis económico (CAPEX y OPEX), social (Indicador Social) y ambiental (Indicador Ambiental). Por último, se entrega la síntesis de carteras de iniciativas propuestas y la distribución de costos del plan por actor.

- Capítulo 8: Implementación del plan

En este capítulo, se discuten consideraciones para la implementación del plan propuesto. Se describe la posible gobernanza del PEGH para la cuenca del Salar de Atacama, se presenta una carta Gantt con las iniciativas propuestas y su justificación del orden temporal de estas, de acuerdo a lo desarrollado en el capítulo 7. Además, se definen hitos de implementación, junto a la estrategia de implementación y comunicación del PEGH.

- Capítulo 9: Monitoreo y Evaluación del plan

En este capítulo se proponen acciones para realizar el monitoreo y evaluación del plan. Es importante para garantizar el cumplimiento de los objetivos contenidos en el plan, que se cuente permanentemente con una estrategia que permita el seguimiento y evalúe el cumplimiento de las medidas priorizadas.

Se sugiere que la implementación del plan sea monitoreada y evaluada a través de mesas de trabajo, en donde se cuente con el apoyo de profesionales expertos en las áreas que correspondan. Además, es muy importante que los avances del plan sean dados a conocer a todos los interesados de manera transparente.

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO

1.1 INTRODUCCIÓN

La Dirección General de Aguas (DGA) es el organismo del Estado en Chile encargado de promover la gestión y administración del recurso hídrico, en un marco de sustentabilidad, interés público y asignación eficiente del agua para el consumo humano, producción de bienes y servicios y la conservación del medio ambiente. Actualmente, en un contexto en que la seguridad hídrica y la eficiencia en la gestión del recurso hídrico se imponen como menester, la planificación en esta materia debe tener un enfoque estratégico.

El Plan Estratégico de Gestión Hídrica (PEGH) de la cuenca del Salar de Atacama, promovido por la DGA, compila un portafolio de acciones a diferentes horizontes (corto, mediano y largo plazo), dirigido a los diferentes servicios públicos y actores privados que participan de la gestión del agua, con énfasis en aquellas sobre las que recae la responsabilidad en la propia DGA. El PEGH es una hoja de ruta a través de la cual se aspira a hacer frente a la problemática hídrica de la cuenca del Salar de Atacama, con una visión integrada de las relaciones entre los actores en torno al uso, consumo y gestión del recurso hídrico, con prioridad del consumo humano, teniendo presente los efectos del cambio climático sobre la disponibilidad de agua.

La construcción de este PEGH utiliza como insumo el modelo desarrollado en el proyecto Modelo Integrado de Gestión Hídrica de la Cuenca del Salar de Atacama financiado por CORFO en el marco de un convenio de colaboración CORFO - DGA¹.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General

El objetivo del estudio es desarrollar un modelo operacional en WEAP para la cuenca del Salar de Atacama, integrando los modelos subterráneos MODFLOW a los superficiales existentes para proponer un plan estratégico indicativo para la cuenca, para que en su realidad se pueda conocer oferta y demanda actual de agua, establecer balance hídrico y sus proyecciones a 30 años, diagnosticar el estado de información, infraestructura e instituciones que toman decisiones respecto al recurso hídrico, y proponer cartera de acciones DGA y de terceros público-privados, que permitan suplir la demanda de agua y adaptación al cambio climático, con un portafolio de acciones que aseguren su abastecimiento en cantidad y calidad.

1.2.2 Objetivos Específicos

Los objetivos específicos se enumeran y definen a continuación:

- **Objetivo 1:** Identificación de estudios relevantes en las cuencas de estudio.
- **Objetivo 2:** Recopilar los modelos hidrológicos e hidrogeológicos de cada cuenca.

¹ Convenio de Colaboración Corporación de Fomento de la Producción y Dirección General de Aguas (Resolución CORFO, No 328, 2020).

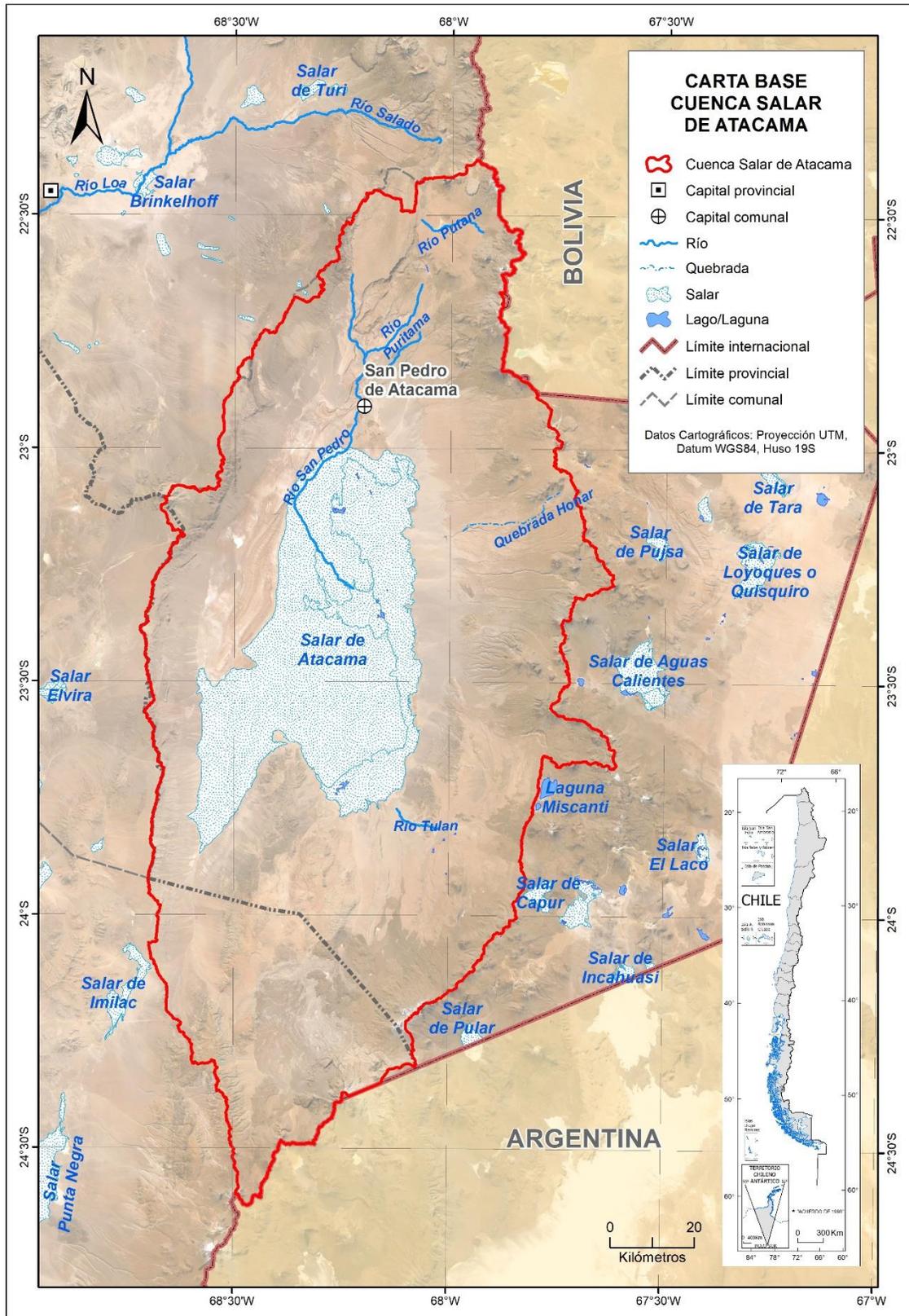
- **Objetivo 3:** Construir y/o actualizar los modelos de simulación hidrológicos, e integrarlos a nivel superficial-subterráneo.
- **Objetivo 4:** Cambiar de plataforma cuando sea necesario y unificar los modelos hidrológicos (WEAP, VIC) e hidrogeológicos (MODFLOW) para la cuenca.
- **Objetivo 5:** Conocer el estado actual de la cuenca del Salar de Atacama en cuanto a oferta, demanda, balance de agua (en cuanto a derechos y demandas de agua) y sus respectivas herramientas de cálculo (modelos), control de extracciones, calidad físico-química de fuentes de aguas superficiales y subterráneas, gobernanza, y red hidrométrica superficial, subterránea, de calidad, de glaciología y nieves.
- **Objetivo 6:** Actualizar el modelo de simulación hidrológica superficial y subterránea que represente los escenarios de consumo hídrico y de salmuera, de acuerdo a la demanda de actores sectorizados, considerando además los escenarios climáticos, económicos y demográficos para la cuenca del Salar de Atacama.
- **Objetivo 7:** Definir acciones para restaurar condiciones de abastecimiento y calidad de las fuentes de agua potable rural y urbana, por tipo de usuario tanto para fuentes superficiales como subterráneas.
- **Objetivo 8:** Diagnosticar estado de la calidad de aguas de las fuentes superficiales y subterráneas. Definir acciones para proteger funciones ecosistémicas críticas relacionadas con los cuerpos de agua en el tiempo y proponer acciones para mejorar el monitoreo de las aguas en la cuenca.
- **Objetivo 9:** Diagnosticar el estado de la infraestructura hidráulica actual y proponer acciones para mejorar el monitoreo de las aguas de la cuenca (superficial, subterráneo, eventos extremos, de montaña y glaciares). Se deberá analizar el estado de funcionamiento, la antigüedad y confiabilidad de los sistemas en general.
- **Objetivo 10:** Identificar las brechas entre oferta y demanda de agua en distintos escenarios de cambio climático, sequía e inundaciones, estableciendo un portafolio de acciones (estrategias de gestión) para reducirlas, así como de las necesidades de los ecosistemas críticos. Se deberá establecer un caso base y distintos escenarios para la evaluación.
- **Objetivo 11:** Entregar estrategias para mejorar la toma de decisiones, mediante la utilización de modelos operativos de gestión, los cuales deberán tener escenarios de planificación a corto, mediano y largo plazo, y ser adaptativos en el tiempo.

- **Objetivo 12:** Entregar estrategias para promover y revitalizar la alianza público-privada, y así incrementar cualitativamente la inversión requerida en infraestructura e investigación.

CAPÍTULO 2 CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA

La caracterización de la cuenca del Salar de Atacama se basa en gran medida en los resultados del estudio Modelo Integrado de Gestión Hídrica de la Cuenca del Salar de Atacama (CORFO-PUC, 2021). Se presenta a continuación una síntesis y complemento de dichos resultados. La presentación de la caracterización de la cuenca se divide en seis acápite. Cada una de ellas considera temáticas que son relevantes para la identificación de brechas y diseño de propuestas de acción. El primer acápite describe los componentes físicos y económicos de la cuenca destacándose las condiciones particulares del ciclo hidrológico de esta cuenca endorreica y actividades económicas relevantes como por ejemplo la minería no metálica. Los siguientes acápite ahondan en características biofísicas de la cuenca partiendo por su clima y la dimensión ambiental. En el caso del análisis climático, el acápite sirve también de base para la construcción de escenarios futuros de cambio climático y caracterización de eventos extremos. Posteriormente se describe la infraestructura hídrica existente en la cuenca destacándose brechas respecto de obras hidráulicas y la red de hidrometría gestionada por la DGA y otros actores públicos y privados. Se describen también las nuevas fuentes de agua existentes en la cuenca. El capítulo concluye con una caracterización de aspectos claves de la gobernanza del agua incluyendo en este caso los resultados del proceso de participación ciudadana que sirve de base también para la construcción del plan de acción. Se reconocen en este acápite brechas de coordinación y de información.

En la Figura 2-1 se presenta la carta base utilizada en este estudio.



Fuente: Elaboración propia a partir de Mapoteca DGA (2021a) y CORFO-AMPHOS21 (2021)

Figura 2-1: Carta base de la cuenca del Salar de Atacama.

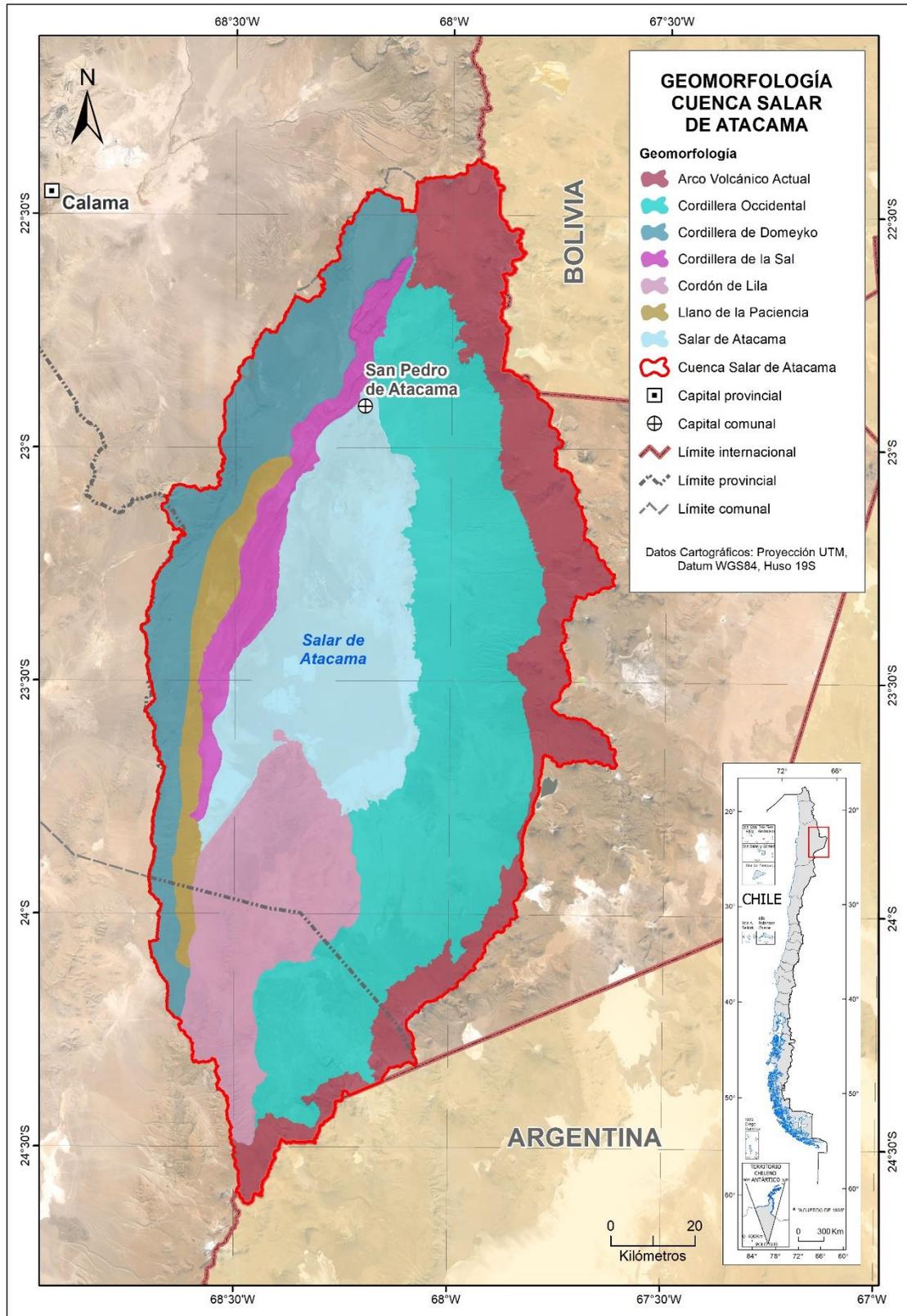
2.1 DIMENSIÓN FÍSICA Y ECONÓMICA

La cuenca del Salar de Atacama corresponde a una cuenca endorreica, con una extensión de 17.020 km² según delimitación que el Departamento de Administración de Recursos Hídricos (DARH) encargó al Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN, 2014) y 15.576 km² según la delimitación más antigua (DGA, 1978b) realizada por el Banco Nacional de Aguas (BNA) (DGA, 1978a) de la Dirección General de Aguas. La cuenca se extiende desde la latitud 22°20' hasta la latitud 24°10' Sur y presenta una morfología elipsoidal, cuyo eje mayor de orientación N-S tiene una longitud cercana a 250 km. La altitud mínima de la cuenca es de aproximadamente 2.300 m.s.n.m., mientras que, la máxima es superior a los 6.200 m.s.n.m. Su mayor longitud en sentido Norte-Sur es de 250 km y en sentido Este-Oeste de 110 km.

2.1.1 Geomorfología

La cuenca del Salar de Atacama está delimitada por morfoestructuras de orientación, principalmente, Norte-Sur. Éstas se disponen, de Oeste a Este, en el siguiente orden: Cordillera Domeyko, Llano de la Paciencia, Cordillera de la Sal, Salar de Atacama, Cordillera Occidental, Cordillera de los Andes (donde se ubica el arco volcánico actual) y el Cordón de Lila al Sur. La ubicación de cada una de estas morfoestructuras se presenta en la Figura 2-2 (una descripción de cada una de estas formaciones se presenta en detalle en CORFO-PUC, 2021).

Dentro de estas formaciones destaca el Salar de Atacama que le da el nombre a la cuenca. El Salar de Atacama es la zona de depositación más grande de la cuenca, de forma elíptica y orientación Norte a Sur. Su composición consiste en depósitos salinos que abarcan una superficie total aproximada de 3.500 km². La elevación promedio del Salar de Atacama es de 2.300 m.s.n.m., y contiene un núcleo salino junto con una costra superficial, la cual se originó debido a procesos de evaporación, condensación de evaporitas y cristalización de sales. Respecto a estas últimas, el borde Este presenta solidificación de sales cálcicas y hacia el centro del salar se observan depositaciones de sales sulfatadas. Las sales del núcleo del salar consisten en salmueras cloruradas sódicas (CORFO-AMPHOS21, 2018). El agua fresca y la salmuera son fluidos de distinta composición y densidad, los cuales pueden ser diferenciados en función de los sólidos disueltos totales o su conductividad eléctrica. Davis (1964) y Frezze & Cherry (1979) clasifican el agua fresca como un fluido con sólidos disueltos totales menores a 1.000 mg/L (conductividades del orden de 100 µS/cm) y salmueras como un fluido con SDT mayores a 100.000 mg/L (conductividades del orden de 500.000 µS/cm).



Fuente: Elaboración propia a partir de información de CORFO-AMPHOS21 (2018)
Figura 2-2: Geomorfología de la cuenca del Salar de Atacama.

2.1.2 Geología

El origen de la cuenca del Salar de Atacama es tectónico, en un ambiente compresivo, y está delimitada por la Cordillera Domeyko por el Oeste y por la Cordillera de los Andes al Este. La cuenca se compone por un conjunto de rocas intrusivas, volcánicas y sedimentarias, originadas durante el Paleozoico Inferior hasta la actualidad. Estas rocas constituyen el basamento hidrogeológico y un relleno sedimentario compuesto por sedimentos clásticos y evaporíticos en el Núcleo del Salar, que se han acumulado desde el Mioceno Superior hasta la actualidad (CORFO-PUC, 2021).

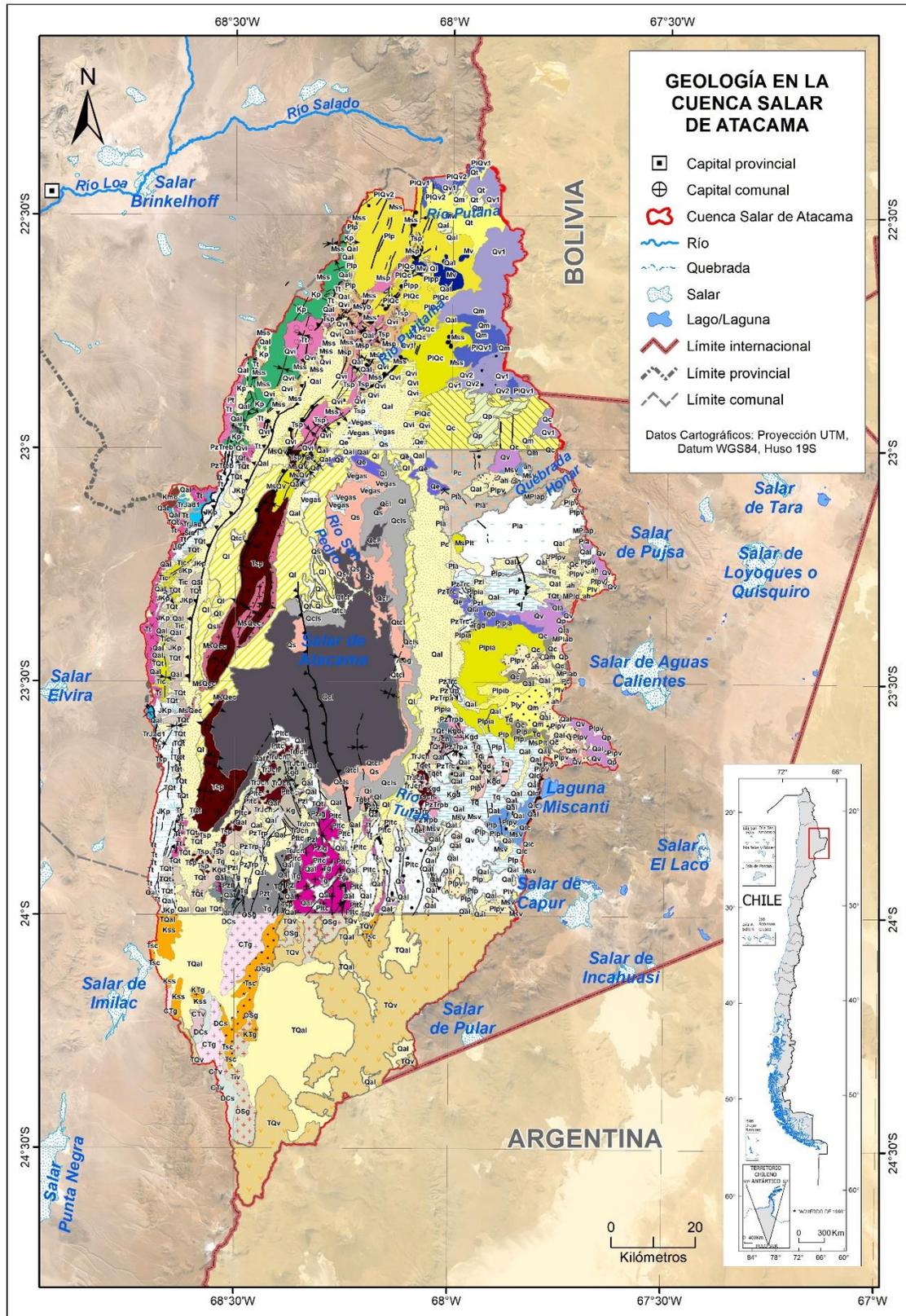
El Salar de Atacama se compone de dos unidades geológicas principalmente: depósitos salinos e ignimbritas. La primera unidad corresponde a depósitos salinos y evaporitas acumulados durante el periodo Eoceno-Oligoceno, los cuales conformaron el núcleo salino y los sistemas lagunares. Debajo de los depósitos salinos del Salar de Atacama se ubica la segunda unidad, compuesta por un conjunto de ignimbritas o rocas piroclásticas, las cuales están constituidas principalmente por tobas. Estas rocas se formaron debido a la actividad volcánica de la Cordillera Occidental y en el Arco volcánico actual durante el Mioceno, Plioceno y el Pleistoceno.

En la Figura 2-3 se presentan las cartas geológicas consultadas y presentadas por CORFO-AMPHOS21 (2021) y en la Figura 2-4 la leyenda de esta carta. Esta figura considera a las siguientes hojas geológicas:

- Hoja de Calama (Manirovic y Lahsen, 1984).
- Hoja de Toconao (Ramirez y Gardeweg 1982).
- Hoja de Antofagasta (Boric, Díaz y Maksaev, 1987).

El Salar de Atacama consiste en una planicie cubierta por capas salinas que dificultan el reconocimiento de estructuras. Se diferencian los siguientes sistemas estructurales (CORFO-PUC, 2021):

1. Sistema de Falla Cabeza de Perro: zona Sur del Salar.
2. Sistema Falla Peine: Falla N-S inversa.
3. Sistema de Falla Caballo: falla inversa con alto ángulo de vergencia, se observa en el Cordón de Lila y continúa por el Salar de Atacama.
4. Sistema falla Salar: falla inversa que atraviesa el Salar de Atacama por su centro.
5. Sistema de falla Tilopozo: falla inversa de dirección NNE-SSW con buzamiento hacia el Norte.



Fuente: Elaboración propia a partir de Mapoteca de CORFO-AMPHOS21 (2021)
Figura 2-3: Geología en la cuenca del Salar de Atacama.

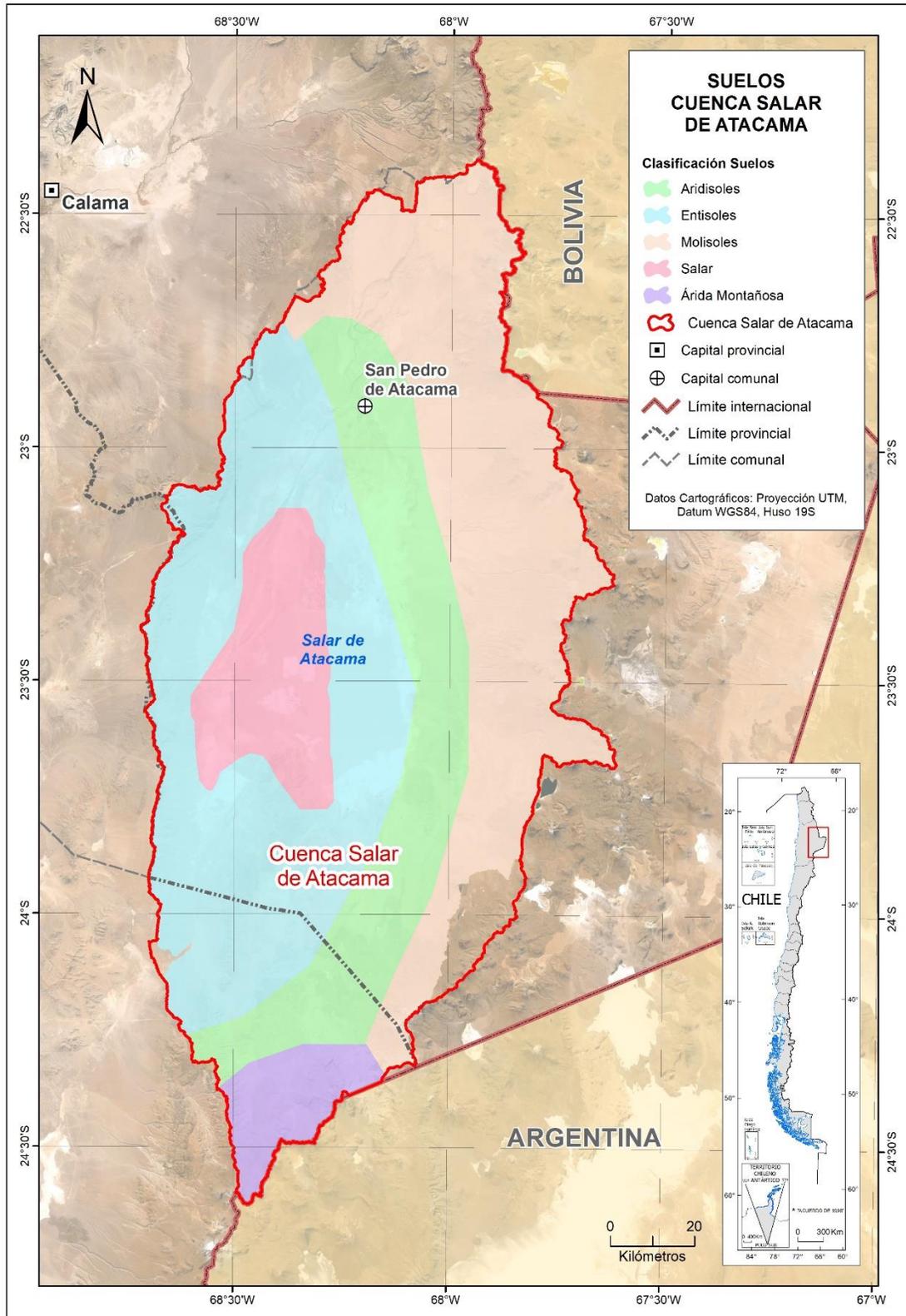


Fuente: Elaboración propia a partir de Mapoteca de CORFO-AMPHOS21 (2021)

Figura 2-4: Leyenda de la cartografía de geología en la cuenca del Salar de Atacama.

2.1.3 Suelos

Los suelos que posee esta cuenca son muy escasos ya que está constituida prácticamente en su totalidad por el cuerpo salino del Salar de Atacama. Dentro de la cuenca del Salar de Atacama se han identificado las unidades taxonómicas Molisoles, Aridisoles, Árida Montañosa y el tipo Entisol ubicada en la zona adyacente al salar. El tipo de suelo Entisol, se caracteriza por su carencia de horizontes bien desarrollados, poco evolucionados por la aridez de la zona, su alto contenido salino y pH elevado. Pueden ser suelos jóvenes que no han tenido tiempo de desarrollarse o viejos, en sentido geológico, pero que no han desarrollado horizontes por corresponder a materiales resistentes a la meteorización (CADE-IDEPE, 2004 a partir de Gajardo, 1994).



Fuente: Adaptado de SRK (1995). Citado por Sistema de Información Territorial de Humedales Altoandinos CIREN (2016)

Figura 2-5: Distribución de suelos en la cuenca del Salar de Atacama.

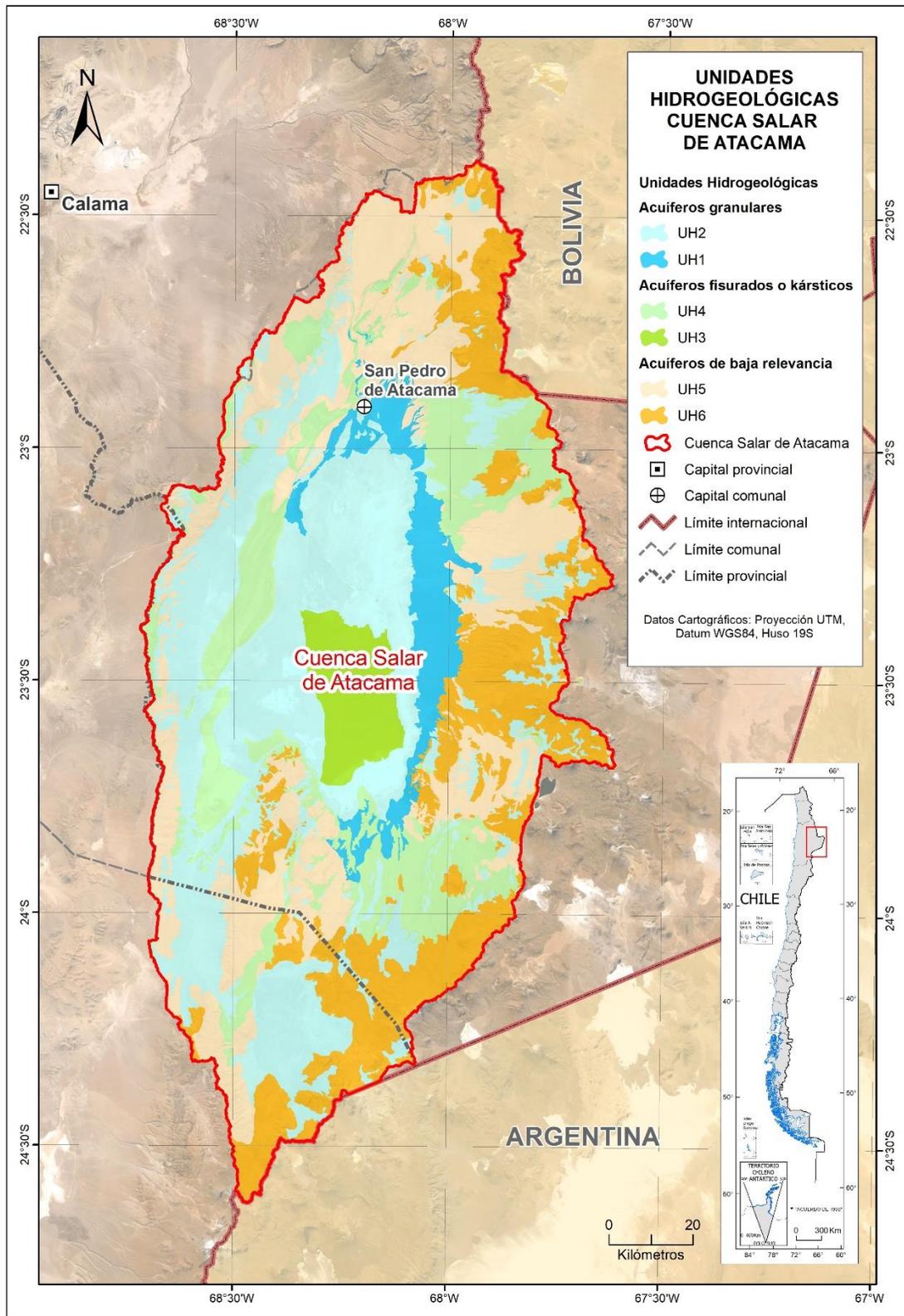
2.1.4 Drenaje

La cuenca del Salar de Atacama al conformar una cuenca endorreica, las entradas por precipitación confluyen hacia el núcleo del Salar de Atacama. Los caudales afluentes al núcleo del Salar están conformados principalmente por flujos subsuperficiales debido a que las unidades más superficiales y la zona de Monturaqui-Negrillar-Tilopozo (zona MNT) se comportan como un acuífero libre. Los escurrimientos superficiales que logran llegar hasta el núcleo son menores, entre ellos destaca el río San Pedro. Mayores detalles respecto de la red hidrográfica y presentación de los ríos principales se presentan en el acápite 4.1.1. Por balance de masas, la recarga total efectiva que llega al núcleo del Salar evapora a la atmósfera tanto desde la napa en zonas donde el nivel freático es poco profundo como por evaporación desde la superficie en las costras salinas (DGA, 2013).

2.1.5 Caracterización hidrogeológica

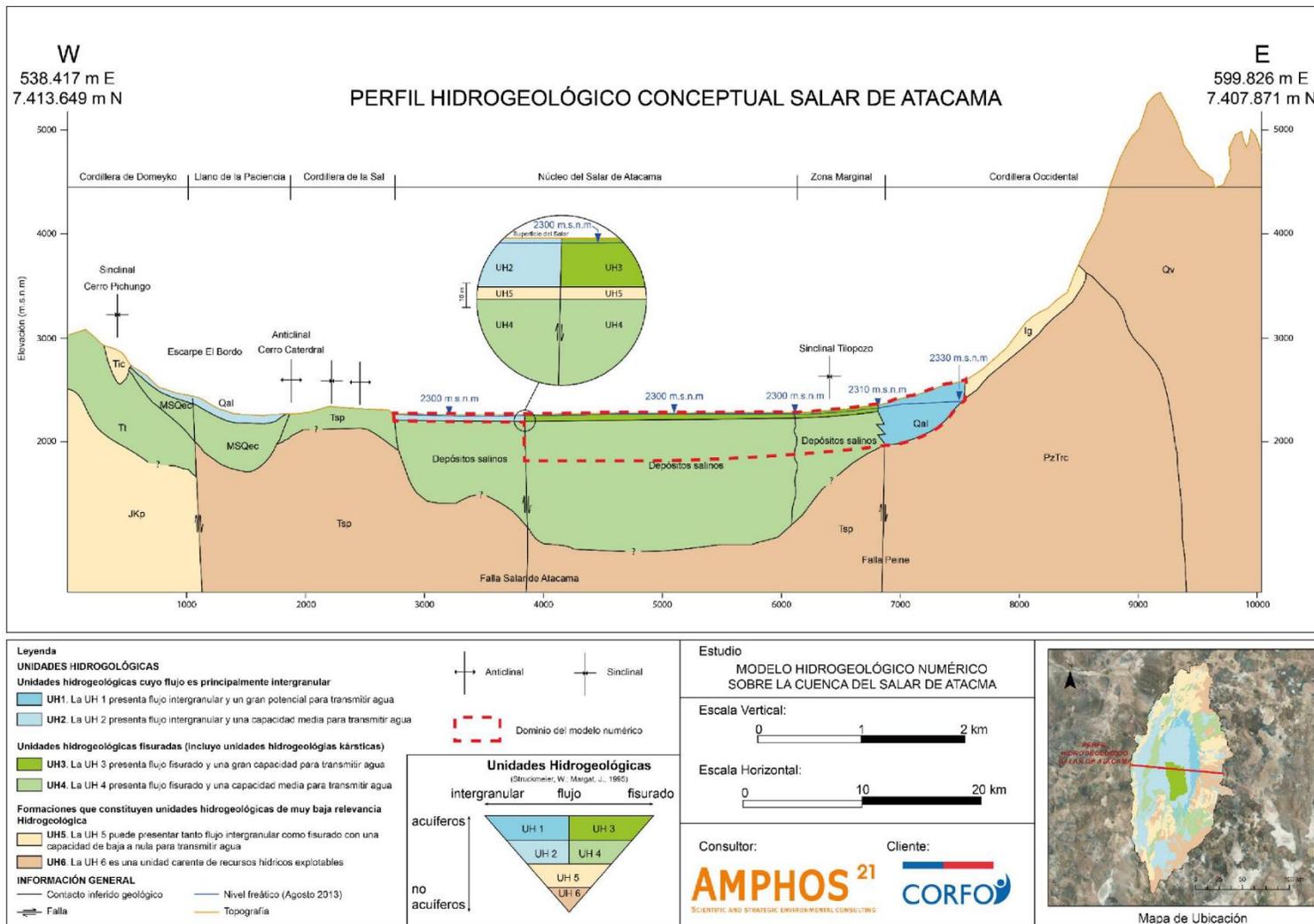
2.1.5.1 Unidades hidrogeológicas

Respecto al funcionamiento del sistema de acuíferos de la cuenca del Salar de Atacama, a partir del estudio desarrollado por CORFO-AMPHOS21 (2018) se identifican seis unidades hidrogeológicas (UH-1 a UH-6) que se diferencian por su litología, potencia, conductividad hidráulica y almacenamiento. Esas unidades se presentan en la Figura 2-6. El núcleo del Salar de Atacama está conformado por depósitos salinos evaporíticos, los cuales conforman un acuífero fracturado somero de permeabilidad media y potencia de alrededor de 50 m, correspondiente a la UH-2 hacia el Oeste del sistema de fallas, mientras que, hacia el oriente, estas evaporitas conforman un acuífero altamente transmisivo con una potencia mayor que el acuífero anterior, correspondiente a la UH-3. Debajo de estas formaciones hidrogeológicas se ubican depósitos evaporíticos, los cuales conforman acuíferos fracturados y medianamente permeables, con una potencia variable de aproximadamente 1.100 m de profundidad en el núcleo del Salar, reduciéndose en dirección Oeste del núcleo hasta 750 m y hasta 500 m en la frontera del Salar de Atacama. El Este de la frontera del Salar de Atacama está compuesto por depósitos sedimentarios detríticos de grano grueso, de alta permeabilidad y con una potencia aproximada de 400 m, correspondiente a la UH-1. El basamento de este sistema de acuíferos está compuesto por sedimentos volcánicos de baja permeabilidad y poca capacidad de almacenamiento, correspondiente a la UH-6. En la Figura 2-7 se muestra conceptualmente un perfil hidrogeológico vertical de la cuenca del Salar de Atacama junto a las unidades hidrogeológicas.



Fuente: Elaboración propia a partir de información de CORFO-AMPHOS21 (2021)

Figura 2-6: Distribución de las unidades hidrogeológicas de la cuenca del Salar de Atacama, desde UH-1 a UH-6.



Fuente: CORFO-AMPHOS21 (2021)

Figura 2-7: Perfil hidrogeológico conceptual del Salar de Atacama. Se muestran las unidades hidrogeológicas.

A continuación, se describen las unidades hidrogeológicas definidas por CORFO-AMPHOS21 (2018):

- **Unidad hidrogeológica 1 (UH-1):** esta unidad corresponde a depósitos aluviales ubicados en el borde Este, Norte y Sur del Salar de Atacama. Se conforma principalmente por gravas y arenas con intercalaciones de arcillas, limos y arenas. Entre estos materiales también existen intercalaciones entre capas de cenizas y/o ignimbritas.

Esta unidad se encuentra diferenciada en el borde Norte del Salar por dos acuíferos, uno libre y superficial de espesor máximo conocido de 80 m, con sectores confinados arcillas en la superficie, y otro confinado por una capa de 100 m de espesor de ignimbritas y arcillas, aunque el espesor puede ser variable espacialmente. Las ignimbritas y las arcillas constituyen una unidad hidrogeológica menos permeable (UH-5).

La UH-1 en la zona Este comprende un acuífero superficial de tipo libre, de una potencia superior a los 100 m, formado por gravas y arenas con intercalaciones de arcilla y otro profundo, de arenas finas, limos, arcillas, cenizas, entre otros, confinado por una capa de ignimbritas, cenizas y tobas, éstas últimas de entre 5 y hasta 50 m de espesor. Por último, esta unidad está conformada por depósitos aluviales en la zona Sur del Salar de Atacama, con una potencia entre 8 y 52,5 m.

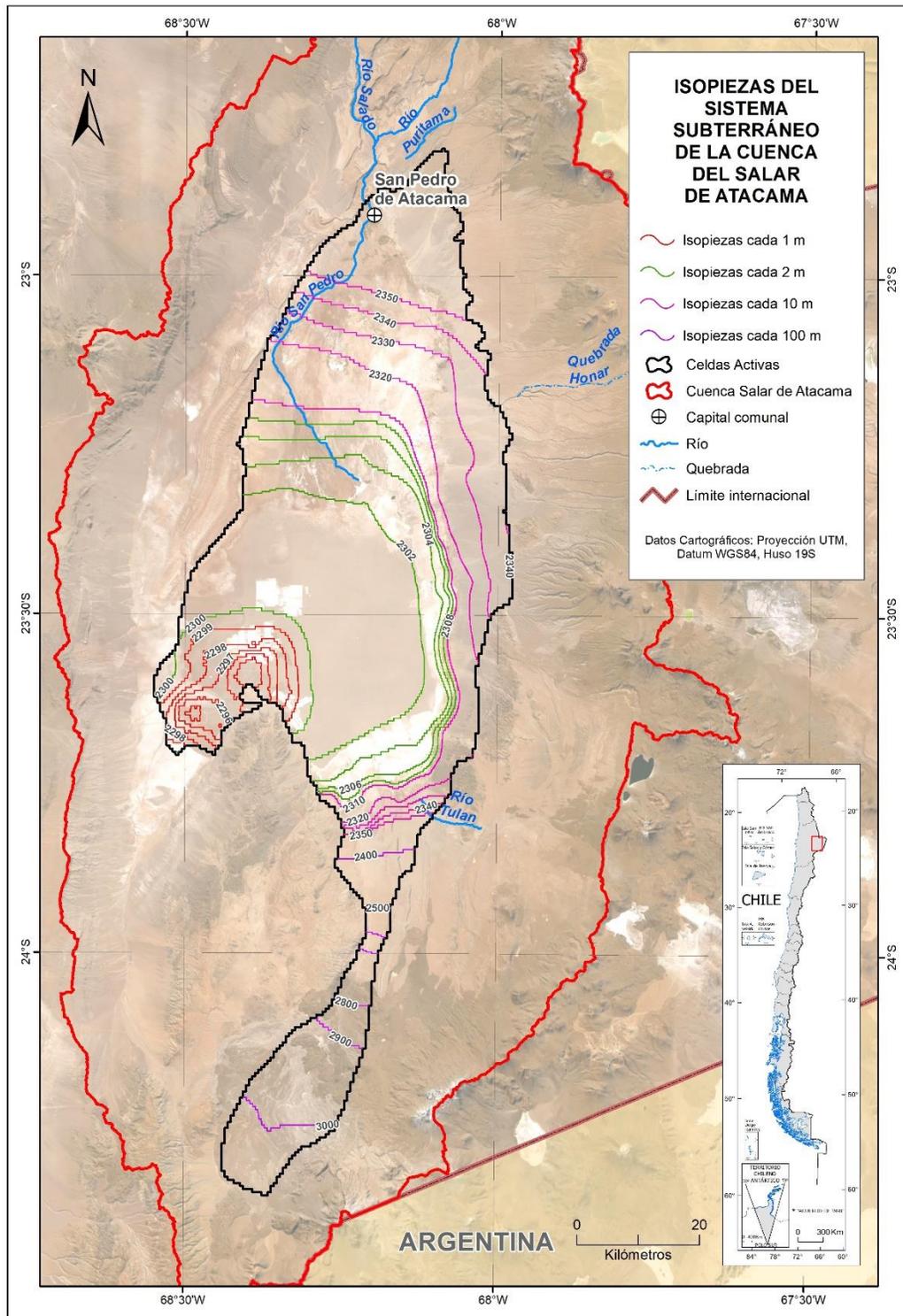
- **Unidad hidrogeológica 2 (UH-2):** compuesta principalmente por evaporitas de halita y yeso en el núcleo del salar y por gravas y arenas cerca de la zona de Monturaqui. Esta unidad representa un acuífero de permeabilidad media.
- **Unidad hidrogeológica 3 (UH-3):** esta unidad se desarrolla en el bloque hundido del Sistema de Fallas del Salar de Atacama, cuyo flujo subterráneo se produce a través de fracturas, fallas y estratificaciones, las cuales han sufrido procesos de disolución y conforman un acuífero kárstico. La potencia de este acuífero se estima entre 20 y 50 m.
- **Unidad hidrogeológica 4 (UH-4):** conformada por rocas estratificadas, sedimentarias y volcánicas, la cual se extiende hasta la zona occidental del Salar de Atacama. Estos minerales se ubican en profundidades entre los 40 y 60 m por debajo del núcleo del salar.
- **Unidad hidrogeológica 5 (UH-5):** esta unidad corresponde principalmente a rocas volcánicas sedimentarias, rocas intrusivas e ignimbritas. La UH-5 se caracteriza por su baja permeabilidad y almacenamiento, por lo cual tienen una baja capacidad de transmitir y contener agua. La potencia de esta unidad se estima entre 250 y 2.500 m para las rocas volcánicas y 40 a 100 m para las ignimbritas.
- **Unidad hidrogeológica 6 (UH-6):** se encuentra conformada por rocas volcánicas, sedimento-volcánicas, de baja permeabilidad y poca capacidad de

almacenar y transmitir agua. Esta unidad está constituida por formaciones carentes de recursos de agua subterránea.

2.1.5.2 Piezometría y dirección del flujo subterráneo

Respecto a la piezometría del sistema subterráneo de la cuenca del Salar de Atacama, en la Figura 2-8 se presentan las isopiezas correspondientes a diciembre del 2018, obtenidas a partir del modelo de simulación presentado en el Anexo H y en resumido en el acápite 5.1.1 de este informe. Las isopiezas se presentan en cuatro intervalos distintos de 1, 2, 10 y 100 m para representar los distintos comportamientos en la cuenca. La máxima cota identificada se encuentra en la zona Sur a aproximadamente 3.050 m.s.n.m., mientras que la mínima se encuentra a 2.295 m.s.n.m. en las zonas de extracciones de salmuera en el núcleo del salar. En régimen previo al inicio de extracciones de salmuera, la cota mínima se estima a una altura de alrededor de 2.300 m.s.n.m. en el núcleo del salar.

A partir de las isopiezas se puede ver que el flujo subterráneo es convergente al núcleo del salar y proviene principalmente de la zona Norte, Este y Sur. Desde el Oeste no se identifica una entrada de agua subterránea significativa debido a que las discontinuidades que aportan permeabilidad a la unidad geológica tienen una orientación N-S, por lo que el agua subterránea se transmite en esa dirección y no hacia el núcleo del salar (CORFO-AMPHOS21, 2021). Se debe tener en consideración que, producto del balance de masa entre la recarga de agua y la evaporación en el núcleo, se genera una zona de mezcla entre la salmuera y agua (Marazuela et al., 2018), representada por una interfaz salina (ver acápite 2.1.6). Esta zona corresponde a la zona Marginal. A través de la interfaz salina no ocurre un flujo subterráneo, sino que una constante interacción entre los fluidos de distinta densidad, como se presenta en la Figura 2-11.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-8: Isopiezas calculadas a partir del modelo acoplado (diciembre 2018).

Nota 1: Se presentan cuatro intervalos distintos para diferenciar los distintos comportamientos que existen en la cuenca.

Nota 2: Las isopiezas presentadas corresponden a elevaciones sobre el nivel del mar.

2.1.5.3 Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común (SHAC)

El “Reglamento sobre normas de exploración y explotación de aguas subterráneas” (BCN, 2013) define un Sector Hidrogeológico de Aprovechamiento Común (SHAC) como un “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”. A partir del Informe Técnico SDT 339 (DGA, 2013) el acuífero del Salar de Atacama se divide en 10 SHACs (A1, A2, B1, C1, C2, N1, A, B, C y N), cuya delimitación se presenta en la Figura 2–9 y la superficie de cada SHAC se presenta en la Tabla 2–1.

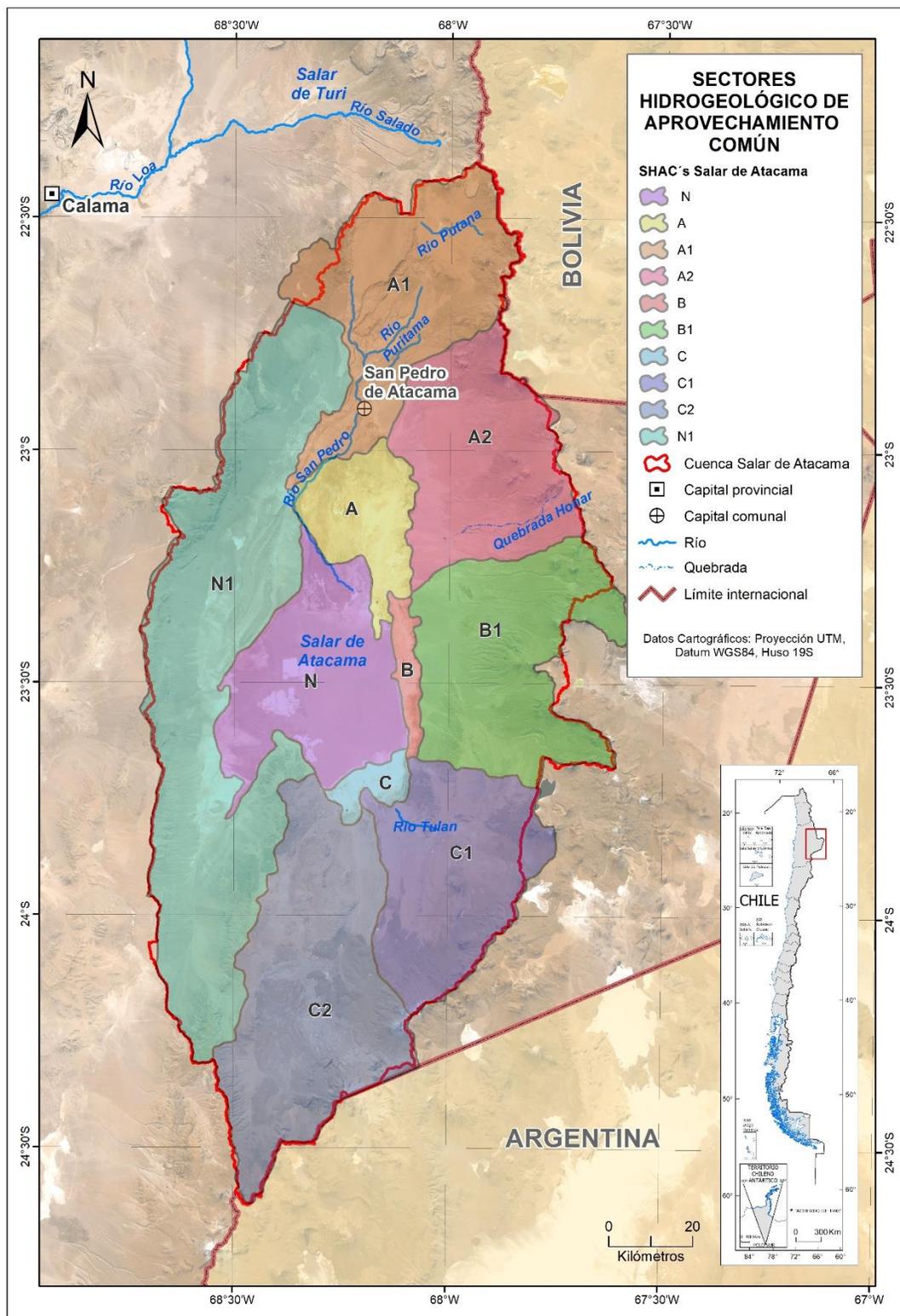
La definición de los SHACs de la cuenca del Salar de Atacama se basó en delimitar las sub-cuencas hidrogeológicas cuyos aportes se relacionen con las zonas ecológicas definidas dentro de la cuenca (ver acápite 3.2.2). De forma general, el SHAC N corresponde a la zona del núcleo del Salar de Atacama, donde se concentran principalmente las salmueras. Los SHACs A, B y C corresponden a las zonas ecológicas, delimitando el sector Norte, Este y Sur de la zona Marginal, donde se traza la interfaz salina en superficie. Los SHACs A1 y A2 aportan los caudales provenientes del Norte al SHAC A, el SHAC B1 aporta los caudales provenientes del borde Este al SHAC B, los SHACs C1 y C2 aportan los caudales provenientes de la zona Sur al SHAC C y el SHAC N1 aporta los caudales provenientes del borde Oeste al SHAC N. Esta delimitación es consistente con el hecho de que la cuenca es una cuenca endorreica, donde los caudales superficiales y subterráneos convergen desde las cuencas altas (SHACs A1, A2, B1, C1, C2 y N1) a las cuencas bajas (SHACs A, B, C y N).

Si bien la delimitación de los SHACs no está fundamentada en la extensión de las unidades hidrogeológicas (ver acápite 2.1.5.1), se observa que los acuíferos granulares, fisurados o kársticos, representados por las UH1 a la UH4, se concentran principalmente en los SHACs A, B, C, N y N1. Los SHACs A, B y C están compuestos principalmente por la UH2. El SHAC N está compuesto principalmente por las UH2 y UH3 y el SHAC N1 por las UH2 y UH4. Por otro lado, los acuíferos de baja relevancia, representados por las UH5 y UH6, se encuentran principalmente en los SHACs A1, A2, B1, C1 y C2, sin embargo, en el límite entre estos SHACs y los SHACs A, B y C se encuentra la UH1. Es importante notar que en el SHAC C2 se encuentra también la UH2 y en que en los SHACs A2 y C1 se encuentra la UH4.

Tabla 2–1: Superficie de los Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común de la cuenca del Salar de Atacama.

Cuenca	SHAC	Superficie (km ²)
Salar de Atacama	N	1.678
	N1	4.239
	A	737
	A1	2.053
	A2	1.784
	B	178
	B1	2.044
	C	177
	C1	1.736
	C2	2.656

Fuente: Elaboración propia basada en Mapoteca DGA (2021a).



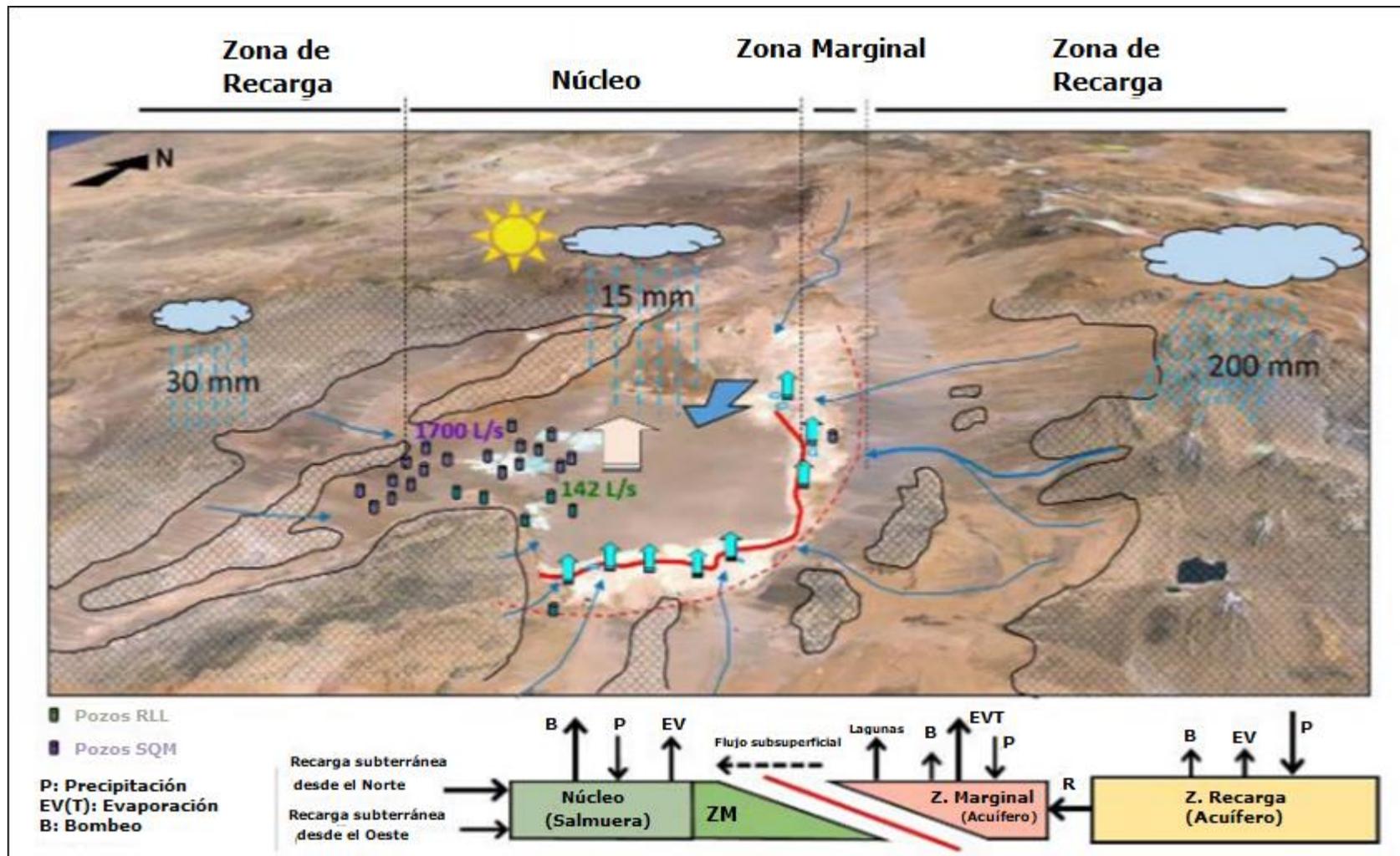
Fuente: Elaboración propia basada en Mapoteca DGA (2021a)

Figura 2-9: Delimitación de los Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común de la cuenca del Salar de Atacama.

2.1.6 Interfaz salina

De gran relevancia en la cuenca del Salar de Atacama es la interfaz salina existente entre las salmueras y el agua fresca. En el Salar de Atacama existen tres tipos de salmuera, las primeras corresponden a salmueras cálcicas, al contar con Ca en su composición, las cuales forman sales de calcio (Na-Ca-(Mg)-Cl). El otro tipo de salmueras corresponde a las sulfatadas, al contar con sulfatos SO_4 en su composición forman sales del tipo (Na-(Mg)- SO_4 -Cl). Las salmueras cálcicas se encuentran al Oeste del salar cerca de la Cordillera de Domeyko, donde predominan las rocas sedimentarias, mientras que las salmueras sulfatadas ocupan la parte oriental bordeada por terrenos volcánicos. El núcleo del Salar se encuentra compuesto principalmente por salmueras cloruradas sódicas (NaCl).

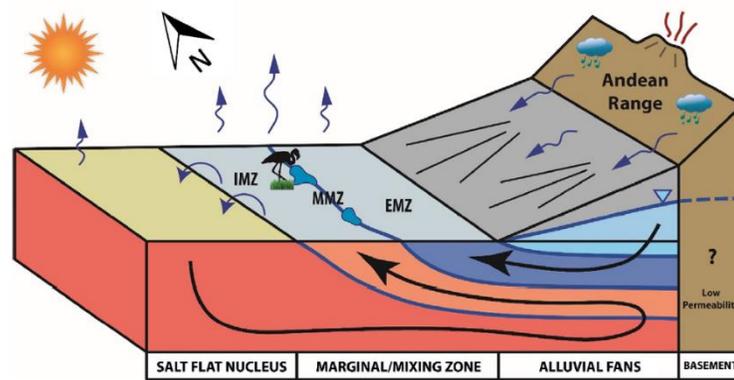
La composición química del agua presenta un promedio de salinidad de 2.255 mg/L de NaCl en la cuenca, encontrándose una alta variabilidad de 3.744,1 mg/L de NaCl según la posición geográfica, donde las mínimas salinidades se encuentran en los ríos y esteros en la parte alta de la cuenca, mientras que la mayor salinidad se produce en el núcleo del salar, donde el agua se evapora. Este sistema forma un gradiente de salinidad desde las mayores elevaciones hacia el núcleo del salar, donde se genera una interfaz salina entre el agua dulce y las salmueras, ubicada en la zona Marginal de la cuenca del Salar de Atacama. Por consiguiente, la dinámica de esta interfaz salina se encuentra estrechamente relacionada con las precipitaciones meteóricas, los flujos superficiales y subterráneos, la recarga del sistema subterráneo producto de las precipitaciones, las salidas de agua producto del flujo de evapotranspiración y las extracciones de agua fresca y salmueras. El funcionamiento general de esta interfaz salina se esquematiza en la Figura 2-10.



Fuente: Adaptado de Rockwood-SGA (2015)

Figura 2-10: Esquema conceptual del funcionamiento hidrológico de la zona donde se genera la interfaz salina del Salar de Atacama.

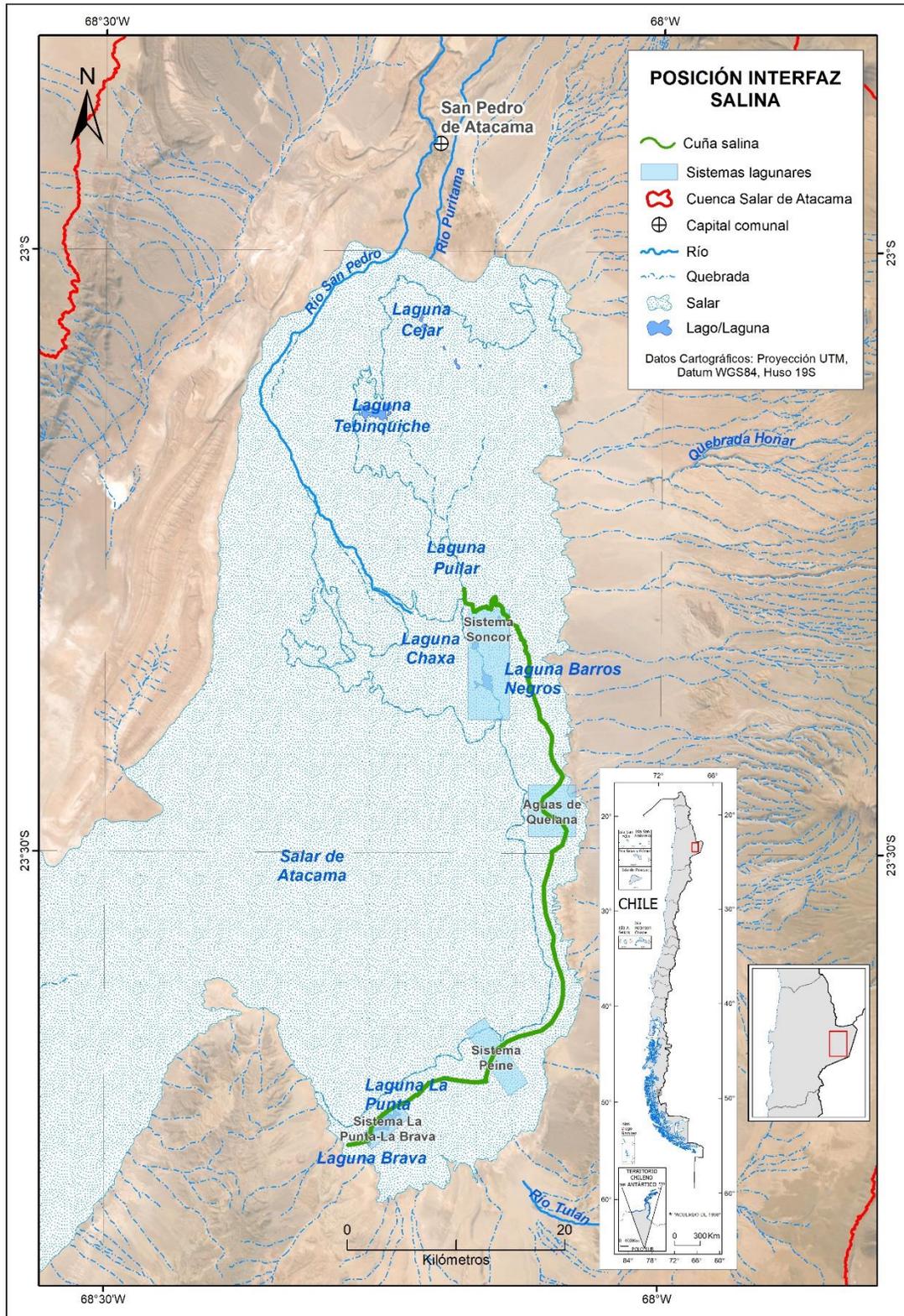
Es importante notar que a través de la interfaz salina no hay flujo subterráneo, sino que los flujos de agua y salmuera resultan en una dinámica como la presentada en el esquema de la Figura 2-11, donde, producto de la diferencia de densidad el agua flota por sobre la salmuera, aflorando en la zona marginal. Adicionalmente, la evaporación de agua desde la superficie genera un aumento en la concentración en el fluido cercano a la superficie, el cual se hunde por debajo del agua. El funcionamiento de la interfaz salina es de vital importancia para la formación de lagunas, las cuales albergan ecosistemas en el Salar de Atacama. En la Figura 2-12 se presenta una vista en planta la extensión de dicha estructura sobre la zona Este y Sur de la zona marginal. La carencia de información de la interfaz salina en la zona Norte de la zona marginal se identifica como una brecha de información en el acápite 2.6.4.4, lo cual es importante para mejorar la comprensión del sistema subterráneo e interacción con el sistema superficial.



Fuente: Marazuela et al. (2018)

Figura 2-11: Esquema conceptual de la zona de mezcla en la cuenca del Salar de Atacama.

Nota: Las líneas negras representan las líneas de flujo. IMZ: Zona de mezcla interna (hacia el sector del núcleo); MMZ: Zona de mezcla media; EMZ: Zona de mezcla externa (hacia el borde Este).

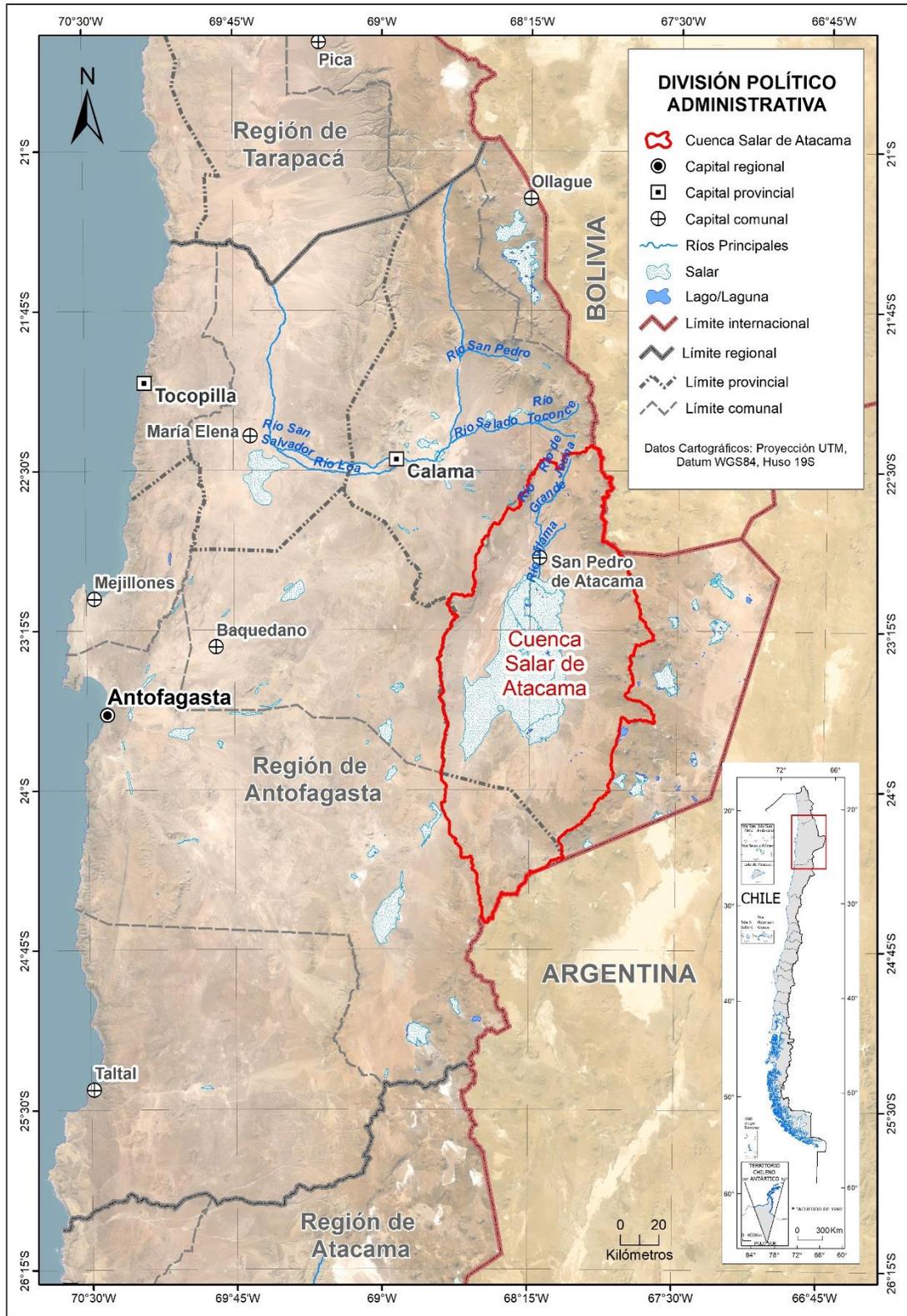


Fuente: Elaboración propia a partir de información de CORFO-AMPHOS21 (2018)

Figura 2-12: Posición de la interfaz salina del borde Este del Salar de Atacama.

2.1.7 División político-administrativa

La cuenca se ubica dentro de los límites político-administrativos de la Región de Antofagasta, capital Antofagasta, dentro de la provincia de El Loa y la de Antofagasta. Las comunas que abarca la cuenca corresponden principalmente a las comunas San Pedro de Atacama y Antofagasta, una pequeña parte en la zona norponiente pertenece a la comuna de Calama y finalmente, una pequeña parte del borde poniente se encuentra dentro del límite comunal de Sierra Gorda. Esta división se muestra en la Figura 2-13.



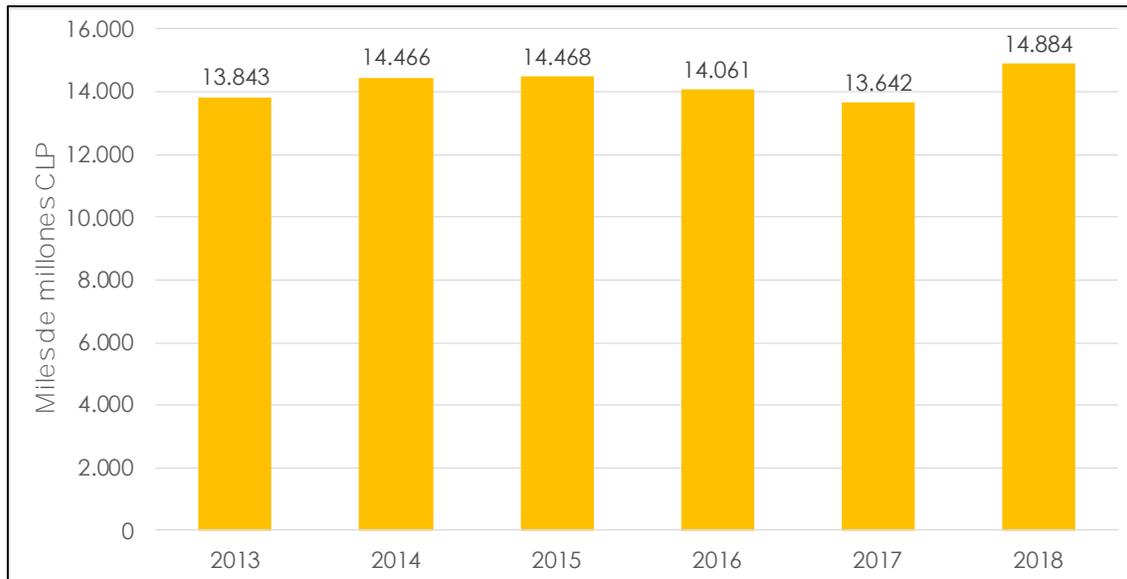
Fuente: Elaboración propia a partir de límites político-administrativos de la Biblioteca del Congreso Nacional y subconjunto de la cuenca DARH delimitada en CORFO-AMPHOS21 (2018)

Figura 2-13: División político-administrativa de la región de Antofagasta.

2.1.8 Actividad económica

2.1.8.1 Valor de la producción regional

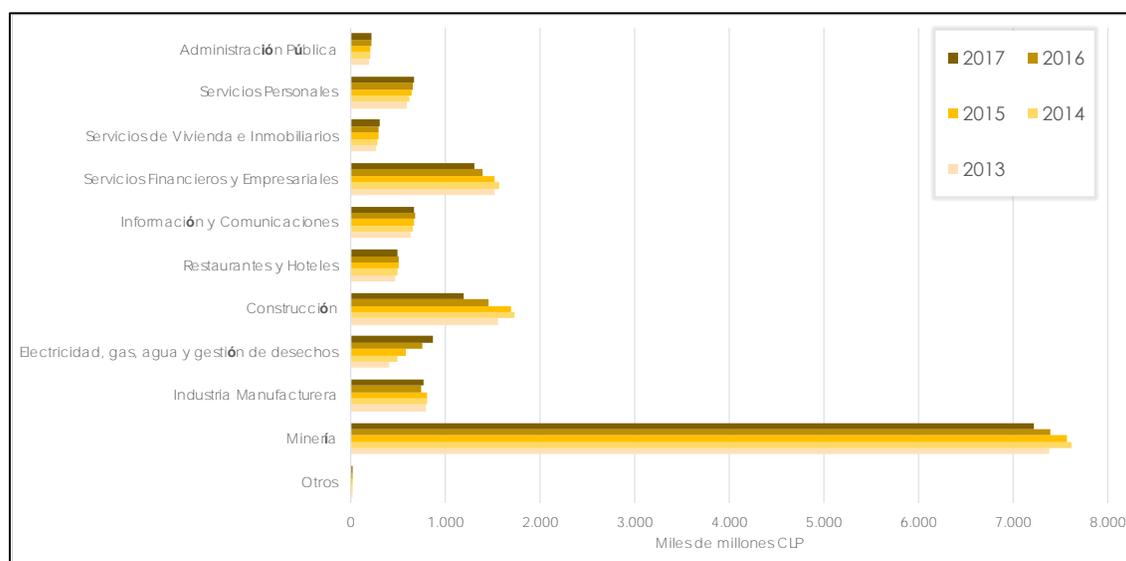
De acuerdo a información del Banco Central (2019), el Producto Interno Bruto Regional del año 2018 para la Región de Antofagasta alcanzó los 14.884 miles de millones de pesos, representando el 10% del Producto Interno Bruto nacional, y ocupando el segundo lugar a nivel país. Destaca el alto crecimiento que tuvo este indicador (más de un 9%) en el último período, tal y como se aprecia en la Figura 2-14.



Fuente: Elaboración propia en base a información del Banco Central (2019)

Figura 2-14: Producto Interno Bruto Regional anual Antofagasta. Volumen a precios del año anterior encadenado en miles de millones de pesos.

En términos sectoriales, la principal actividad económica de la Región de Antofagasta es la Minería, la cual representa en promedio el 53% (período 2013-2017) de la economía, lo que se refuerza considerando que cerca del 45% del PIB minero se genera en esta región. El segundo sector económico relevante para la región es el de la Construcción, el cual aporta en promedio un 10,7% a la economía, seguido del sector de Servicios Financieros y Empresariales con un 10,3%, tal y como se muestra en la Figura 2-15.



Fuente: Elaboración en base a información del Banco Central (2019)

Figura 2-15: Producto Interno Bruto anual por actividad económica en la Región de Antofagasta. Volumen a precios del año anterior encadenado en miles de millones de pesos.

2.1.8.2 Empleo regional por sector económico

Con respecto al número de personas empleadas por rama de actividad económica, se desprende de la Tabla 2-2 en que la mayor cantidad de trabajos se encuentra en el sector minero (representando el 19,1% del total de personas ocupadas en promedio en el período 2013-2019), y en el sector de comercio al por mayor y al por menor (representando el 18,2% del total de personas ocupadas en promedio en el período 2013-2019) (INE, 2020).

Tabla 2-2: Número de personas ocupadas (en miles) según rama de actividad económica, Región de Antofagasta.

Actividad	Año						
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca	4,66	4,42	4,15	4,23	7,84	8,17	8,05
Explotación de minas y canteras	58,64	54,87	50,13	47,33	51,50	56,05	55,12
Industrias manufactureras	23,24	20,48	19,67	25,25	22,39	18,09	24,00
Suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado	3,09	3,82	4,69	3,31	2,86	3,00	3,38
Suministro de agua	1,11	2,55	1,34	1,67	2,10	1,83	3,35
Construcción	16,76	17,67	17,71	21,12	20,73	20,32	21,80
Comercio al por mayor y al por menor	44,03	44,07	51,33	54,21	48,66	56,04	60,90
Transporte y almacenamiento	22,88	22,12	20,66	21,51	19,02	20,92	26,62
Actividades de alojamiento y de servicio de comidas	9,02	10,94	13,49	16,76	15,17	18,44	16,80
Información y comunicaciones	2,10	2,74	2,48	2,68	3,37	3,23	3,07
Actividades financieras y de seguros	3,84	4,39	3,25	4,31	3,08	2,04	4,65
Actividades inmobiliarias	0,95	0,81	0,92	1,09	1,00	2,13	1,77

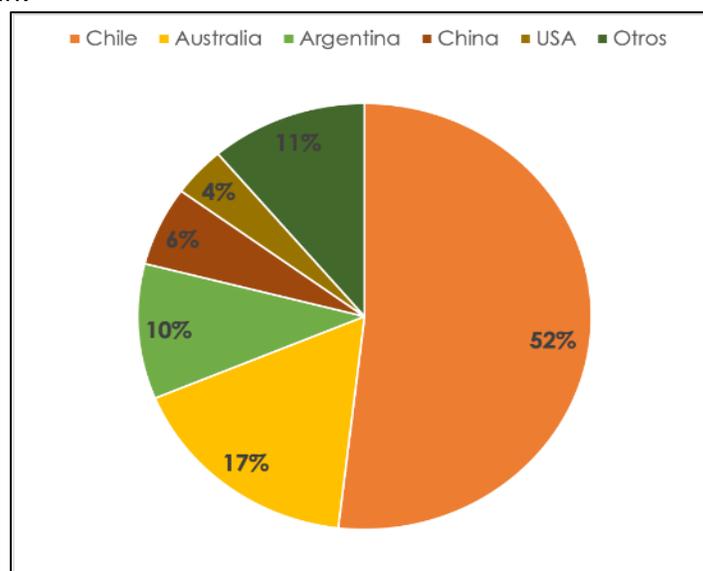
Actividad	Año						
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Actividades profesionales, científicas y técnicas	7,36	8,87	8,99	7,52	6,54	5,67	7,04
Actividades de servicios administrativos y de apoyo	5,29	5,41	5,33	6,41	5,02	6,57	7,45
Administración pública y defensa	9,45	11,66	12,39	11,64	11,43	14,20	13,08
Enseñanza	22,09	21,88	22,69	19,22	20,43	22,22	19,07
Actividades de atención de la salud humana y de asistencia social	9,97	10,95	14,12	11,56	15,19	14,78	15,61
Actividades artísticas, de entretenimiento y recreativas	2,80	4,45	3,79	4,46	4,74	5,99	4,74
Otras actividades de servicios	6,91	7,05	7,36	8,05	9,64	11,36	10,31
Actividades de los hogares como empleadores	5,82	5,98	5,96	6,71	9,02	8,61	7,62
Actividades de organizaciones y órganos extraterritoriales	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	260,00	265,14	270,47	279,03	279,73	299,66	314,41

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la Encuesta Nacional de Empleo (INE, 2020)

2.1.8.3 Principales actividades económicas en la cuenca

i. Actividad minera

La minería es la principal actividad económica en la cuenca, debido a las importantes reservas de litio existentes en el Salar de Atacama, y la desarrollada industria de minería no metálica que le sigue. La Figura 2-16 sintetiza las reservas mundiales de litio (económicamente rentables), las cuales alcanzaron 17 millones de toneladas al 2020 (USGS, 2020). Cabe destacar que toda la producción chilena de litio proviene de las empresas situadas en el Salar de Atacama (COCHILCO, 2018). En cuanto al potencial de otros salares a nivel nacional con respecto a la eficiencia y viabilidad de la recuperación de litio a partir de salmueras, la Tabla 2-3 resume y compara las características clave que lo determinan.



Fuente: Elaborado en base a información de la USGS (2020)

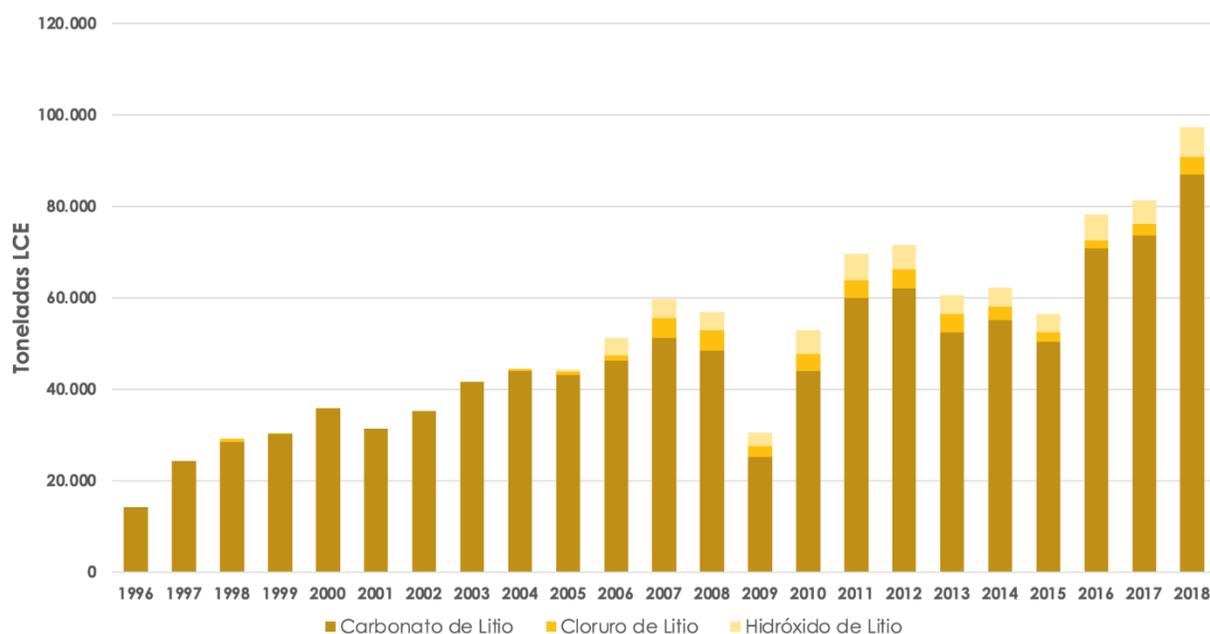
Figura 2-16: Reservas de litio mundiales en toneladas al año 2020.

Tabla 2-3: Comparación de las características relevantes de salares en Chile (Ordenados en un ranking descendente).

Salar	Li (ppm)	K (ppm)	Mg/Li	Evaporación (mm/a)	Superficie (km ²)	Altura (msnm)
Atacama	1.500	18.500	6,4	3.700	3.000	2.300
La Isla	860	3.170	5,1	1.000	152	3.950
Maricunga	800	7.480	6,6	1.200	145	3.760
Pedernales	400	4.200	8,7	1.200	335	3.370

Fuente: Adaptado de COCHILCO y Sernageomin (2013).

La explotación, producción y comercialización de productos que se extraen de la salmuera, como los compuestos de litio (carbonato de litio, y sus derivados), potasio (cloruro de potasio y sulfato de potasio), y boro (ácido bórico) en el Salar de Atacama, se ha realizado únicamente por las empresas Albemarle y SQM (Miño et al., 2018). Aunque Chile ha focalizado la producción nacional mayoritariamente en carbonato de litio (90% del total), alcanzando las 87.000 toneladas al 2018, existe una producción anual menor de cloruros e hidróxidos de litio. La Figura 2-17 sintetiza la evolución de la producción nacional de litio.



Fuente: Elaborado en base al Anuario de la Minería de Chile de cada año publicado por SERNAGEOMIN

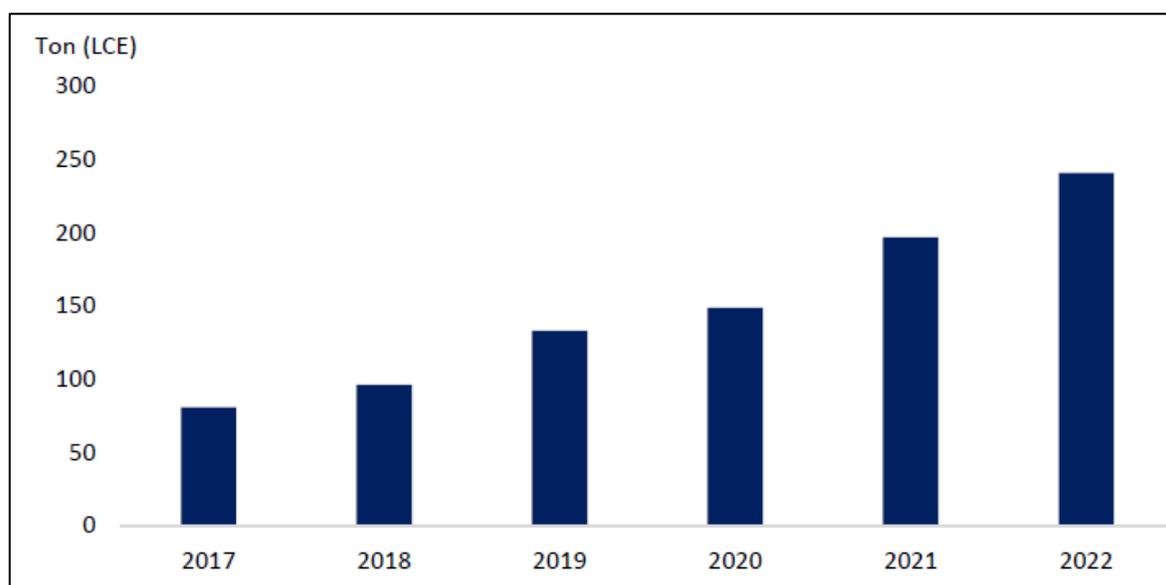
Figura 2-17: Evolución de la producción nacional de litio.

De acuerdo con el último Informe de Inversión en la Minería chilena (COCHILCO, 2019), existen tres proyectos de litio catastrados en la Región de Antofagasta (ver Tabla 2-4) a ser implementados en el período 2020-2022. Esta cartera de inversión representa un crecimiento del 276% en proyectos de litio con respecto a la cartera del 2017. Con estas nuevas expansiones, se estima que la producción de litio en Chile se triplicaría, alcanzando al 2022 las 240.000 toneladas de LCE, aproximadamente (COCHILCO, 2018). Dicho incremento se esquematiza en la Figura 2-18.

Tabla 2-4: Cartera de proyectos de litio catastrados en Región de Antofagasta.

Proyecto	Operador	Tipo de Producto	Producción Anual	Puesta en marcha	Inversión Estimada (USD)	Estado RCA
Ampliación Salar del Carmen	SQM Salar S.A.	Carbonato / Hidróxido de litio	22.000 / 26.000	2020	180.000	Aprobado
Ampliación Planta La Negra - Fase 3	Albemarle	Carbonato de litio	42.700	2021	300.000	Aprobado
Ampliación carbonato litio a 180 KTPA	SQM Salar S.A.	Carbonato de litio	110.000	2022	450.000	Aprobado

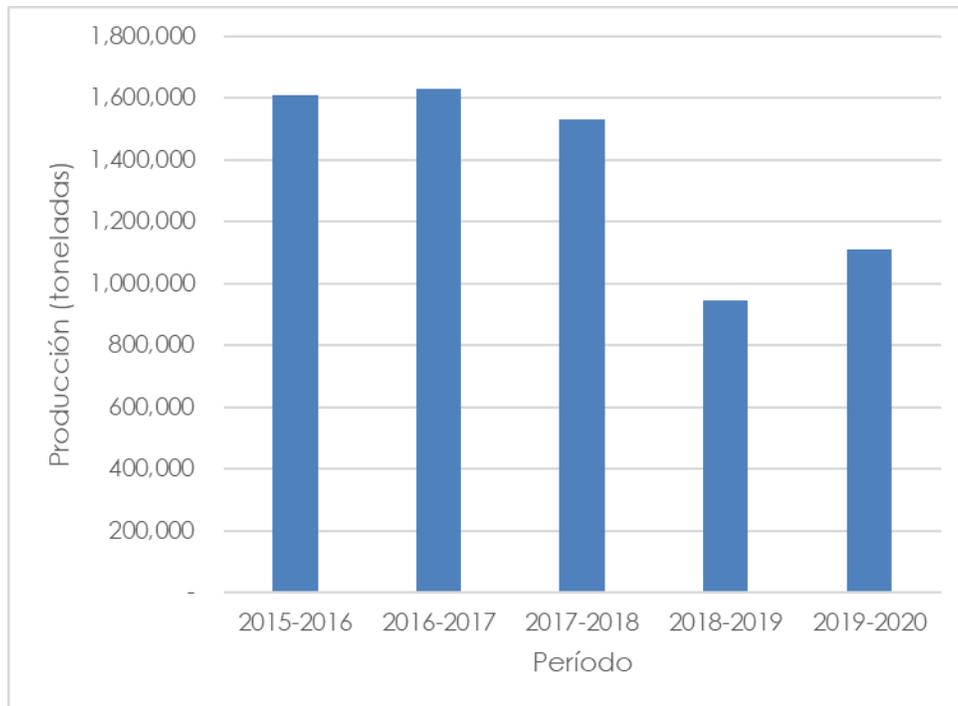
Fuente: Elaboración propia en base a COCHILCO (2019) y SEA (2019)



Fuente: COCHILCO (2018)

Figura 2-18: Proyección de la producción de Litio en Chile.

En cuanto a la producción de cloruro de potasio (producto derivado de la salmuera que extrae SQM Salar S.A. desde la cuenca del Salar de Atacama), la Figura 2-19 resume el tonelaje despachado histórico, el cual ha presentado una notable disminución en el período reportado.



Fuente: SQM Salar S.A. (2020)

Figura 2-19: Producción de cloruro de potasio por SQM Salar S.A. en la cuenca del Salar de Atacama.

ii. Actividad agrícola

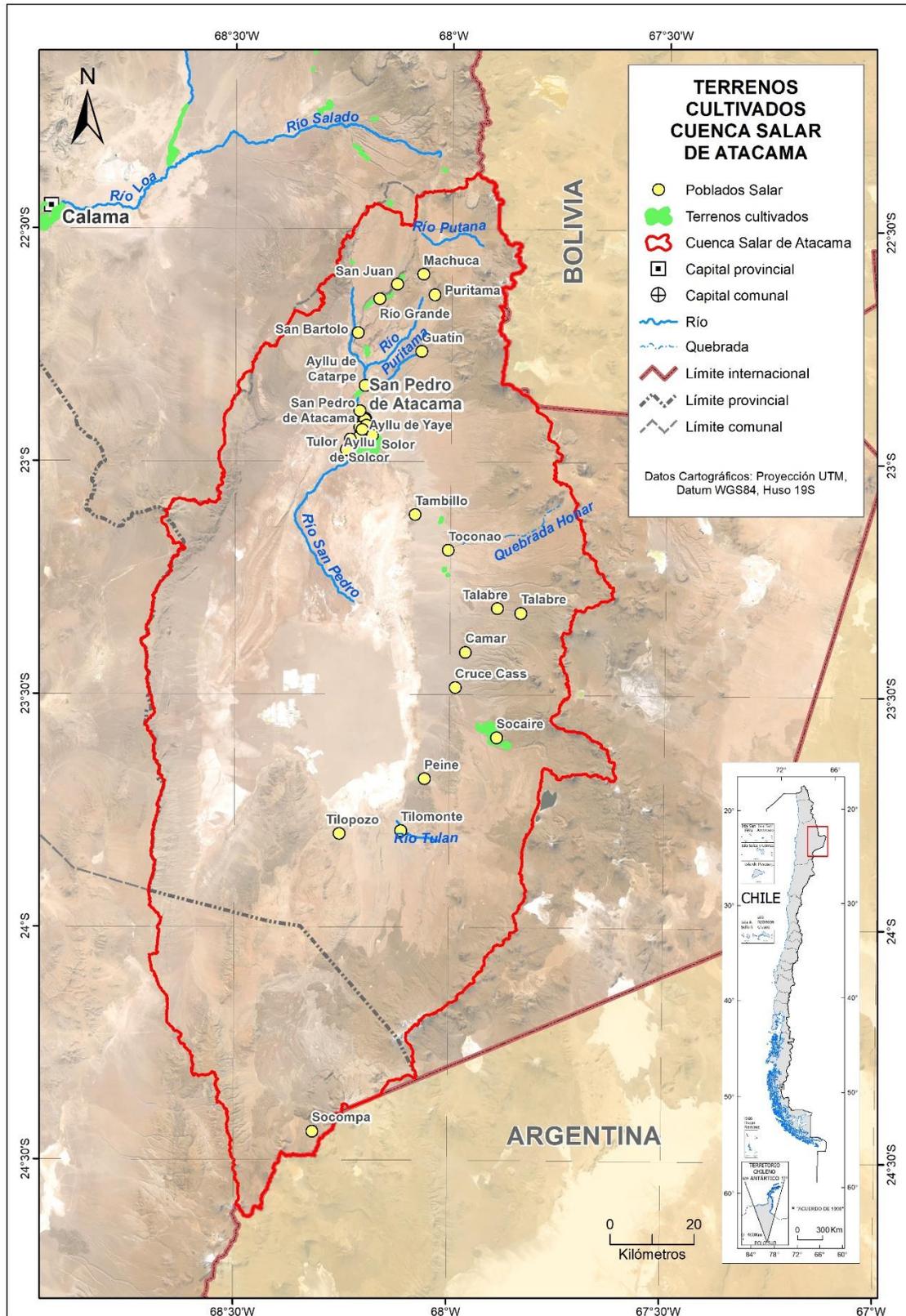
Dada la escasez de recursos hídricos y a la salinidad de los suelos, la actividad silvoagropecuaria posee una relevancia económica menor en términos regionales (incluida en la categoría "otros" de la Figura 2-15). Sin embargo, tiene una gran importancia para las comunidades de los valles y oasis del interior, para los cuales corresponde a una actividad de subsistencia y una forma de vida.

Distribuidos en la cuenca, la mayor superficie agrícola se presenta en la localidad de San Pedro y Vilama. También existe actividad agrícola menor otros sectores en donde destacan Socaire, Peine y Toconao (50 ha cada una aproximadamente). Las demás varían entre las 3 y 35 hectáreas (Tabla 2-5 y Figura 2-20).

Tabla 2-5: Superficie cultivada en la cuenca de San Pedro de Atacama, desagregada por localidad.

Sector/Regantes	Superficie cultivada (ha)
Asoc. Atacameña de Reg. Y Agr. de San Pedro de Atacama y Otros. (Total)	647
Asoc. Atacameña de Reg. Y Agr. Del río Vilama (Total)	77
Asoc. Atacameña de Reg. Y Agr. de Celeste	2,9
Asoc. Atacameña de Reg. Y Agr. de Toconao (Total)	53
Comunidad Atacameña de Socaire	54
Comunidad Atacameña de Camar	5
Comunidad Atacameña de Talabre	35
Comunidad Atacameña de Peine (Total)	52
Otros	171,2
Total	1.097

Nota: En Anexo J, acápite 3, Tabla 3-2 se encuentra el detalle a nivel de Ayllu o sector agrícola.
Fuente: CORFO-PUC (2021) a partir de INE (2007) y actores locales

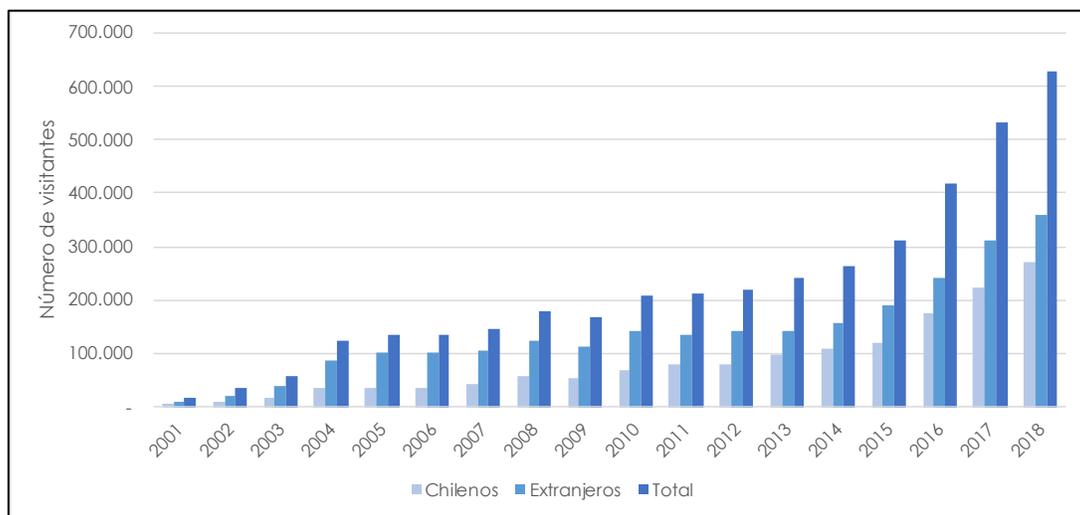


Fuente: Elaboración propia a partir de información del MMA
Figura 2-20: Terrenos cultivados en la cuenca del Salar de Atacama.

Respecto a la actividad ganadera, y dadas las características de la cuenca, existen limitadas existencias ganaderas, en donde destacan el ganado ovino (5.560 cabezas) y camélido (3.200 cabezas), propio de la actividad tradicional de comunidades del altiplano (mayor detalle en Anexo J, Capítulo 3, Tabla 3-3).

iii. Actividad turística

La cuenca del Salar de Atacama destaca por una creciente actividad turística, enriquecida por destinos turísticos como San Pedro de Atacama, el más reconocido de la Región de Antofagasta (SERNATUR, 2018), y la Reserva Nacional los Flamencos, el segundo destino turístico más importante del país (SERNATUR, 2018). Este último reporta un incremento en las visitas de turistas de casi 4.000% entre el 2001 y el 2018, lo que significó aumentar de 16.249 a 627.154 turistas en dicho período (ver Figura 2–21).



Fuente: Elaboración propia en base a Estadísticas de cada año publicadas por CONAF

Figura 2–21: Número de visitantes a Reserva Nacional Los Flamencos.

El plan de acción de la región de Antofagasta (SERNATUR, 2014), identifica al menos 80 atractivos turísticos en San Pedro de Atacama. En cuanto a la oferta turística, de acuerdo con información levantada en el Plan de Desarrollo Turístico para San Pedro de Atacama (Municipalidad de San Pedro de Atacama, 2020), existen un total de 385 alojamientos turísticos (2018), de los cuales 199 están ubicados en el área urbana, 176 en sectores rurales y 10 en otras localidades de la comuna. En cuanto a la tipología de estos alojamientos, se reconoce el fuerte predominio de la categoría “Hostal”, seguida de “Hotel”, que, en su conjunto, constituyen al menos el 66,7% de la oferta de Alojamientos disponibles en la comuna. En cuanto a servicios de restauración, se identificó un total de 96 servicios, los cuales se encuentran concentrados dentro del casco histórico del pueblo. Por último, se registra un total de 203 patentes municipales asociadas a agencias de viaje y tour operadores, y 41 patentes a guías de turismo.

iv. Actividad servicios: generación hidroeléctrica

No se detectaron bocatomas para estos tipos de usos en la cuenca del Salar de Atacama.

2.2 CLIMA

Diversos estudios han planteado cambios importantes en los patrones meteorológicos en las últimas décadas. Por ejemplo, Falvey y Garreaud (2019) indican que en la zona Norte y Centro de Chile (17 a 37 grados de latitud Sur) el patrón es divergente entre zonas de valle y cordillera, aunque existe cierto consenso en aumentos paulatinos de las temperaturas. Por su parte, Schulz et al. (2012), indican disminuciones históricas de las precipitaciones principalmente en la zona costera. Por su parte, la Dirección Meteorológica de Chile, reporta incremento en las temperaturas (basados en cambios en las anomalías) en Calama de más de 1,8 unidades estandarizadas para las temperaturas mínimas (DMC, 2019).

En base en estos antecedentes, se realizó una caracterización climática de la cuenca, considerando eventos extremos, además de identificar escenarios de cambio climático que permiten la proyección futura de las variables y modelos.

2.2.1 Caracterización climática

El clima de la cuenca se caracteriza por ser de carácter desértico y árido frío (BWk) (Köppen, 1936), cuya clasificación es aplicada a sectores con temperatura media anual inferior a los 18°C y precipitaciones medias anuales inferiores a 200 mm aproximadamente. Esta categoría agrupa diferentes tipos de clima como el árido templado, de montaña, el continental, e incluso el árido alpino y el de tundra seca. En cuanto a precipitaciones, el clima de la cuenca presenta extensos períodos sin lluvia, interrumpidos por eventos de precipitaciones estivales, las cuales oscilan entre 0 - 200 mm al año. La temperatura media anual varía en torno a los 15,5 °C, con un promedio máximo de 28,0 °C y una mínima promedio de 5,0 °C, implicando una alta oscilación térmica durante el día.

Dentro de la cuenca del Salar de Atacama existen 13 estaciones (entre vigentes y suspendidas) que registran variables meteorológicas (principalmente temperatura y precipitaciones) y 12 estaciones que miden o han medido caudal. La Tabla 2-6 describe las redes de medición hidrometeorológicas en la cuenca y se detallan aquellas estaciones mencionadas del punto de vista de su vigencia.

Tabla 2-6: Estaciones hidrometeorológicas y de calidad de aguas de la cuenca del Salar de Atacama de fuente pública (DGA) y privada (SQM).

Tipo	Nombre	Fuente	Estado
Fluviométricas	Canal Vilama en Vilama	DGA	Vigente
	Canal Cuno en Socaire	DGA	Vigente
	Canal Tilomonte antes represa	DGA	Vigente
	Quebrada de Jerez	DGA	Vigente
	Quebrada de Talabre en Tumbre	DGA	Vigente
	Quebrada de Camar - Vertiente 1	DGA	Vigente
	Quebrada de Camar - Vertiente 2	DGA	Vigente
	Vertiente Peine en Peine	DGA	Vigente
	Río San Pedro en Cuchabrachi	DGA	Vigente
	Río Vilama en Vilama	DGA	Suspendida
	Canal Aguas Blancas	DGA	Suspendida
	Canal Tulan en Tilomonte	DGA	Suspendida
Meteorológicas	Camar	DGA	Vigente

Tipo	Nombre	Fuente	Estado
	Socaire	DGA	Vigente
	Peine	DGA	Vigente
	Talabre	DGA	Vigente
	San pedro de Atacama	DGA	Vigente
	Río Grande	DGA	Vigente
	Toconao Retén	DGA	Suspendida
	Toconao Experimental	DGA	Suspendida
	Monturaqui	DGA	Suspendida
	Guatin	DGA	Vigente
	Socaire (INIA)	INIA	Vigente
	Toconao (INIA)	INIA	Vigente
	Camar (INIA)	INIA	Vigente
	San Pedro de Atacama (INIA)	INIA	Vigente
	Toconao (DMC)	DMC	Vigente
	Chaxa	SQM	Vigente
	SOP	SQM	Vigente
	LZA3-2	SQM	Vigente
	LZA12-2	SQM	Vigente
	LZA12-1	SQM	Vigente
	LZA10-1	SQM	Suspendida
	Cordillera de la Sal	SQM	Suspendida
	KCL	SQM	Vigente
	Interna	SQM	Suspendida
	LZA7-2	SQM	Vigente
	LZA7-1	SQM	Vigente
	LZA3-3	SQM	Vigente
	Quelana	SQM	Vigente
LZA12-3	SQM	Suspendida	
Niveles Pozo	Alana n"1	DGA	Vigente
	Mullay n"1	DGA	Vigente
	Socaire n"5	DGA	Suspendida
Calidad de aguas	Río Puritama en Huatin (ca)	DGA	Suspendida
	Canal Aguas Blancas	DGA	Vigente
	Canal Vilama en Vilama	DGA	Vigente
	Canal Cuno en Socaire	DGA	Vigente
	Canal Tilomonte Antes Represa	DGA	Vigente
	Río Puripica en Huatin (ca)	DGA	Vigente
	Río san pedro en Cuchabrachi	DGA	Vigente

Fuente: Red hidrométrica la DGA BNASIGIRH, de la DMC, INIA y SQM (2020)

Con el propósito de caracterizar los eventos extremos y componentes de variabilidad en el clima sobre la cuenca, es que se analizó en base a una serie de indicadores el comportamiento en tendencia de los patrones hidrometeorológicos en la cuenca del Salar de Atacama. En el Capítulo 1 del Anexo F se describe la metodología de análisis utilizada para llegar a los resultados que se describen a continuación.

2.2.2 Tendencias de observaciones, eventos extremos y variabilidad climática

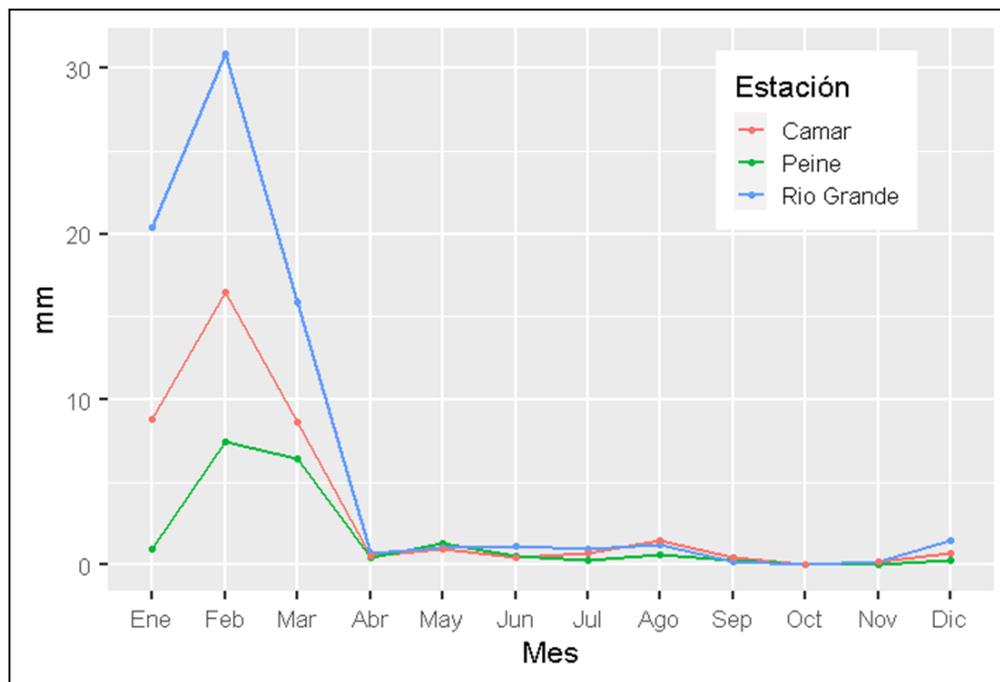
Con base en los antecedentes mencionados con anterioridad, es que para las variables de temperatura, precipitación y caudal, en estaciones seleccionadas (Camar, Peina y Río Grande en precipitaciones, Peine en temperatura y Canal Vilama en Vilama y Canal Cuno en Socaire para caudal), se analizaron las tendencias tanto sobre las observaciones, a nivel mensual y anual, así como en los indicadores hidrometeorológicos extremos a

escala estacional y anual, junto con analizar la variabilidad climática histórica. A continuación, se presentan los resultados por cada una de las variables.

2.2.2.1 Precipitación

Para las estaciones analizadas en esta variable, no existe un patrón claro hacia el aumento o disminución de las precipitaciones en las últimas décadas, ya sea porque el patrón ha permanecido estadísticamente invariante o porque en términos relativos y comparado con estaciones ubicadas en latitudes más al Sur los montos de precipitación suelen ser más bajos (con excepción de 2017 en donde hubo eventos de gran magnitud que causaron aluviones y eventos catastróficos afines²).

Se debe tener presente que la variabilidad interanual de las precipitaciones en la cuenca es distinta de la que ocurre en la zona central del país; las precipitaciones se concentran principalmente entre enero y abril con un régimen muy marcado y escasas lluvias en el resto del año (Figura 2-22).



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-22: Distribución interanual de las precipitaciones medias (1985-2020) en las tres estaciones seleccionada para el presente análisis.

Entre las observaciones que sí poseen tendencias significativas se encuentra el mes de enero en la estación Peine con disminuciones de -0,86 mm por década, los meses de marzo y abril en la estación Río Grande, aunque con valores positivos de +13,08 y +0,64 mm por década respectivamente. Cabe destacar, que, aunque no son significativos, a escala anual las tres estaciones reportan incrementos en los montos de precipitación para el periodo histórico estudiado, con un aumento medio de +2,8 mm por década en

² <https://www.minvu.cl/reconstruccion/inundaciones-atacama-coquimbo-2017/>

estación Peine, +6,4 mm por década en estación Río Grande y +7,7 mm por década en estación Camar (Tabla 2-7).

Tabla 2-7: Tendencias decadales de precipitación (mm por década) en tres estaciones ubicadas en la cuenca del Salar de Atacama.

Mes	Río Grande	Camar	Peine
Enero			-0,86
Febrero	+13,08		
Marzo			-0,64
Abril	+0,64	+0,82	
Mayo			
Junio			
Julio		+0,81	+0,04
Agosto			+0,16
Septiembre			
Octubre			
Noviembre			
Diciembre			
Anual			

Nota: Solo se muestran aquellos valores cuya tendencia es estadísticamente distinta de cero (valor $p < 0,1$).

Fuente: Elaboración propia

Respecto de los indicadores extremos para precipitación, destacan un número relativamente bajo de indicadores con características significativas, y que todos los que sí cumplen aquel criterio ocurren en otoño, posiblemente influenciados por el evento atípico de 2017. La desviación estándar de los datos de precipitación solo es significativa en la estación Camar en época de otoño (+0,2 mm), con incrementos que indican una mayor heterogeneidad en los montos que caen en cada otoño conforme avanzan los años (Tabla 2-8).

El número de días en que las precipitaciones son mayores a 10 mm se ha incrementado significativamente (alfa = 10%) en las estaciones Peine (+0,12 días por década) y Camar (+ 0,9 días por década) en los meses de otoño. Esto podría estar indicando un aumento en la frecuencia de lluvias altiplánicas tardías en la zona Centro-Sur de la cuenca. Por su parte, no existen aumentos significativos en el número de días en el que se rebasan los 20 mm de precipitación.

Los días sin lluvia (TDD, por sus siglas en inglés) presentan una disminución significativa en los meses de otoño para la estación Río Grande (ubicada al Norte de la cuenca), de -0,36 días por década, lo que indica que potencialmente está habiendo una mayor cantidad de eventos de precipitación que antes, aunque con una señal que pareciera no ser tan intensa.

En la estación Camar hay significancia para las máximas precipitaciones (Rx1) registradas en otoño, mientras que en las estaciones Peine y Río Grande ocurre lo mismo para el número de días en que se sobrepasa el 95% de los valores más altos del registro (R95%), lo que ocurre también en esta última estación cuando el umbral corresponde al 75% (R75%), con un incremento de 3,09 días por década.

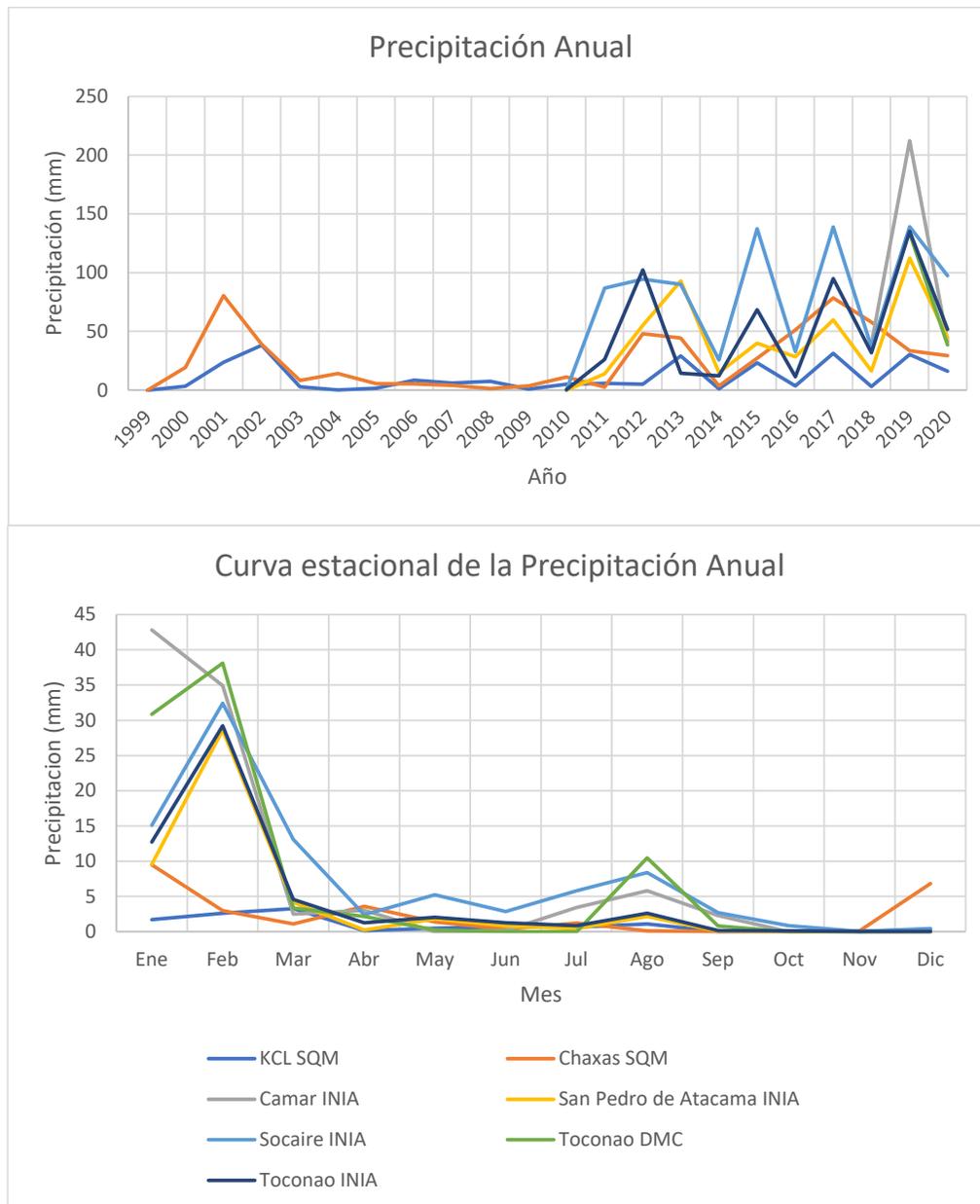
Tabla 2-8: Resultado de los indicadores asociados a las variables de precipitación en tres estaciones ubicadas en la cuenca del Salar de Atacama.

Estación	Indicador	Unidad	Anual	Otoño	Invierno	Primavera	Verano
Peine	Desviación	mm					
Río Grande							
Camar				+0,20			
Peine	R10mm	Días por década		+0,12			
Río Grande							
Camar				+0,09			
Peine	R20mm	Días por década					
Río Grande							
Camar							
Peine	TDD	Días por década					
Río Grande				-0,36			
Camar							
Peine	Rx1	mm por década					
Río Grande							
Camar				+1,78			
Peine	R95	Días por década		+2,93			
Río Grande				+3,09			
Camar							
Peine	R75	Días por década		+2,93			
Río Grande				+3,09			
Camar							
Peine	PR>95	mm por década					
Río Grande							
Camar				+2,37			
Peine	PR >75	mm por década					
Río Grande							
Camar				+2,36			

Nota: Solo se muestran aquellos valores cuya tendencia es estadísticamente distinta de cero (valor $p < 0,1$).

Fuente: Elaboración propia

En aquellas estaciones pertenecientes a la red SQM más aquellas asociadas al INIA y la DMC, en el primer caso existe información a escala diaria desde 1999, mientras que, para las otras dos fuentes, desde el año 2009 existe una mayor consistencia de información. Dada la longitud de los registros, para estas estaciones no se considera un análisis de eventos extremos. La Figura 2-23 muestra la precipitación anual para las estaciones analizadas y la curva estacional respectiva. Se debe considerar que en cada caso existe un número distinto de datos que genera la curva estacional. Se observa un gradiente de precipitaciones que cambia según la elevación, con aumentos en los montos de agua caída conforme se incrementa la altitud sobre el nivel del mar. Existe, para las estaciones de SQM, un periodo entre 2003 y 2010 en donde las precipitaciones medias anuales fueron bajas. Respecto del comportamiento estacional, se aprecia que las lluvias se concentran en los meses estivales, patrón característico del altiplano.

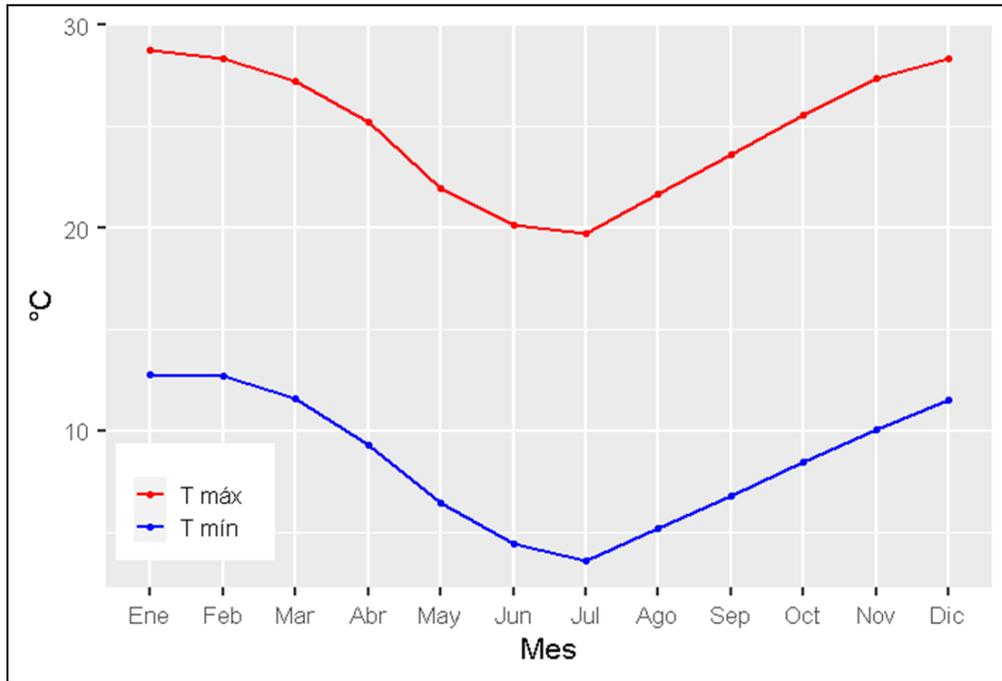


Fuente: Elaboración propia

Figura 2–23: Arriba: Precipitación anual de las estaciones SQM, INIA y DMC analizadas, desde 2009 hasta 2020 según registros observados. Abajo: Curva estacional de precipitaciones para las estaciones de las fuentes mencionadas.

2.2.2.2 Temperatura

El comportamiento estacional de la temperatura en la estación Peine presenta veranos con temperaturas altas durante el día, pero bajas por las noches, con una consiguiente alta oscilación térmica, el invierno el patrón de rango entre mínimas y máximas se mantiene estable, pero con temperaturas medias más bajas, llegando a ser el promedio de las mínimas en julio inferiores a 5 grados (Figura 2–24).



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-24: Curva estacional de temperaturas extremas para la estación Peine.

Nota: En rojo se presentan las temperaturas máximas y en azul las mínimas (1985-2020).

En la estación analizada, Peine, existen aumentos significativos por década en las temperaturas mínimas tanto en varios meses (enero-abril, julio, septiembre-octubre, diciembre) como a nivel anual (Tabla 2-9). Los incrementos registrados son de +0,37 °C por década y de incluso +0,69 °C por década para el mes de febrero, lo que implica aumentos proyectados para la temperatura mínima (Tn) de más de 1°C en menos de 15 años desde 1987 para este mes, con todos los efectos meteorológicos que esto acarrea (por ejemplo, en términos de la evaporación). Enero y septiembre (ambos +0,57 °C por década) son dos meses que también poseen incrementos decadales significativos mayores a medio grado Celsius de temperatura mínima.

Respecto de temperatura máxima (Tx), el comportamiento es misceláneo, sin incrementos o disminuciones significativas a nivel anual, pero con aumentos estadísticamente significativos en los meses de enero y septiembre (de +0,24 y +0,37 °C por década respectivamente), al igual que en temperaturas mínimas. No obstante, existen disminuciones significativas en los meses de mayo (-0,36 °C por década) y junio (-0,45 °C por década).

Tabla 2-9: Tendencias históricas decadales de las temperaturas extremas en el periodo 1985-2017 en la estación Peine. Se reportan solo aquellos valores significativos estadísticamente distintos de cero.

Variable	Mes	°C por década	Valor p
Tn	Enero	+0,57	0,01
	Febrero	+0,69	<0,01
	Marzo	+0,39	0,07
	Abril	+0,46	0,08

Variable	Mes	°C por década	Valor p
	Mayo		
	Junio		
	Julio	+0,36	0,09
	Agosto		
	Septiembre	+0,57	0,03
	Octubre	+0,41	0,02
	Noviembre		
	Diciembre	+0,31	0,07
	Anual	+0,36	0,01
Tx	Enero	+0,25	0,03
	Febrero		
	Marzo		
	Abril		
	Mayo	-0,36	0,09
	Junio	-0,45	0,02
	Julio		
	Agosto		
	Septiembre	+0,36	0,04
	Octubre		
	Noviembre		
	Diciembre		
	Anual		

Fuente: Elaboración propia

Respecto de los indicadores de condiciones extremas, en todos aquellos existe al menos una tendencia significativa (ya sea anual o estacional). Las máximas de las temperaturas máximas y las mínimas de esta misma variable no reportan tendencias significativas en el periodo analizado. Por otra parte, existen aumentos significativos de las máximas de las temperaturas mínimas, en donde destaca el incremento de +0,89 °C por década en invierno, mientras las mínimas de las temperaturas mínimas presentan tendencias estadísticamente distintas de cero de más de 1 grado por década (+1,15) a nivel anual e incrementos significativos en todas las estaciones del año excepto en primavera (Tabla 2-9).

Existe también un incremento significativo de 9 días por década respecto del número de días con temperaturas mínimas sobre el percentil 90, y de 8 días considerando solo los meses de verano. Esto quiere decir, que en estas últimas 4 décadas han aumentado en 35 los días en que las temperaturas mínimas exceden el umbral del 90% de los valores más altos (Warm Nights) (Figura 2-25). Por su parte, el número de días en que la temperatura mínima está bajo el percentil 10 (Cold Nights) ha disminuido significativamente en 4,6 días en invierno. Esto quiere decir que, por década, hay menos de ~5 días en que las temperaturas más bajas son inferiores al 10% de todos sus valores históricos, lo que es consistente con los incrementos de esta variable en meses de invierno meteorológico.

No existen cambios significativos ni a escala anual ni por estación para el número de días en que las temperaturas máximas sobrepasan el percentil 90, pero si existe un incremento de +2,6 días por década en que las máximas son inferiores que el percentil 10 en otoño (Cold Days). En rigor, esto indica que existen más días de otoños con temperaturas máximas bajas respecto de todas las temperaturas máximas respecto del histórico.

Existe un aumento representativo en el número de días en que las temperaturas máximas son superiores a 25°C (Summer Days) para la estación de verano, con +1,7 días adicionales por cada década, y además una disminución en otoño e invierno en la cantidad de días en que las temperaturas mínimas son inferiores a 10 °C (Frost Days), con -0,3 y -0,9 días adicionales por cada década respectivamente (Tabla 2-10), lo que también sucede a escala anual (-1,2 días por década).

La diferencia entre las temperaturas máximas y mínimas (Rango) agregadas a nivel anual y estacional es significativa en todos los casos, a nivel de disminuciones de su valor. Esto implica, para la estación Peine, que conforme pasan los años la diferencia entre estas dos variables se ha minimizado, vale decir, las temperaturas mínimas se han acercado a las máximas y viceversa.

Tabla 2-10: Resultado de los indicadores asociados a las variables de temperatura en la estación Peine.

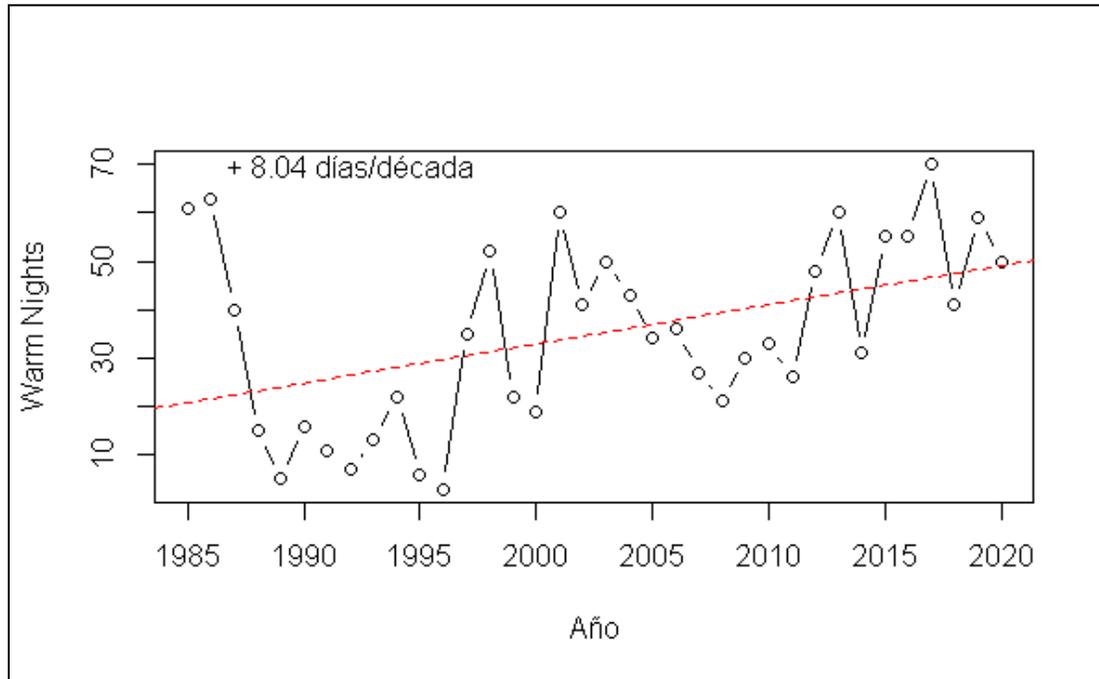
Indicador	Unidad	Anual	Otoño	Invierno	Primavera	Verano
MaxTmax	°C por década					
MinTmax						
MaxTmin			+0,64	+0,89		
MinTmin		+1,15	+0,76	+0,94		+0,57
WarmNights	Días por década	+9,08				+7,97
ColdNights				-4,65		
WarmDays						
ColdDays			+2,62			
SummerDays						+1,71
FrostDays		-1,28	-0,37	-0,91		
Rango	°C por década	-0,35	-0,53	-0,25	-0,28	-0,32

Nota: Solo se muestran aquellos valores cuya tendencia es estadísticamente distinta de cero (valor $p < 0.1$).

Fuente: Elaboración propia

Estas variaciones en las condiciones climáticas pueden estar asociadas a los eventos de olas de calor registradas en la ciudad de Calama (y otras de Chile) el año 2020 entre enero y mayo junto con octubre y noviembre. Registrándose 12 en total³.

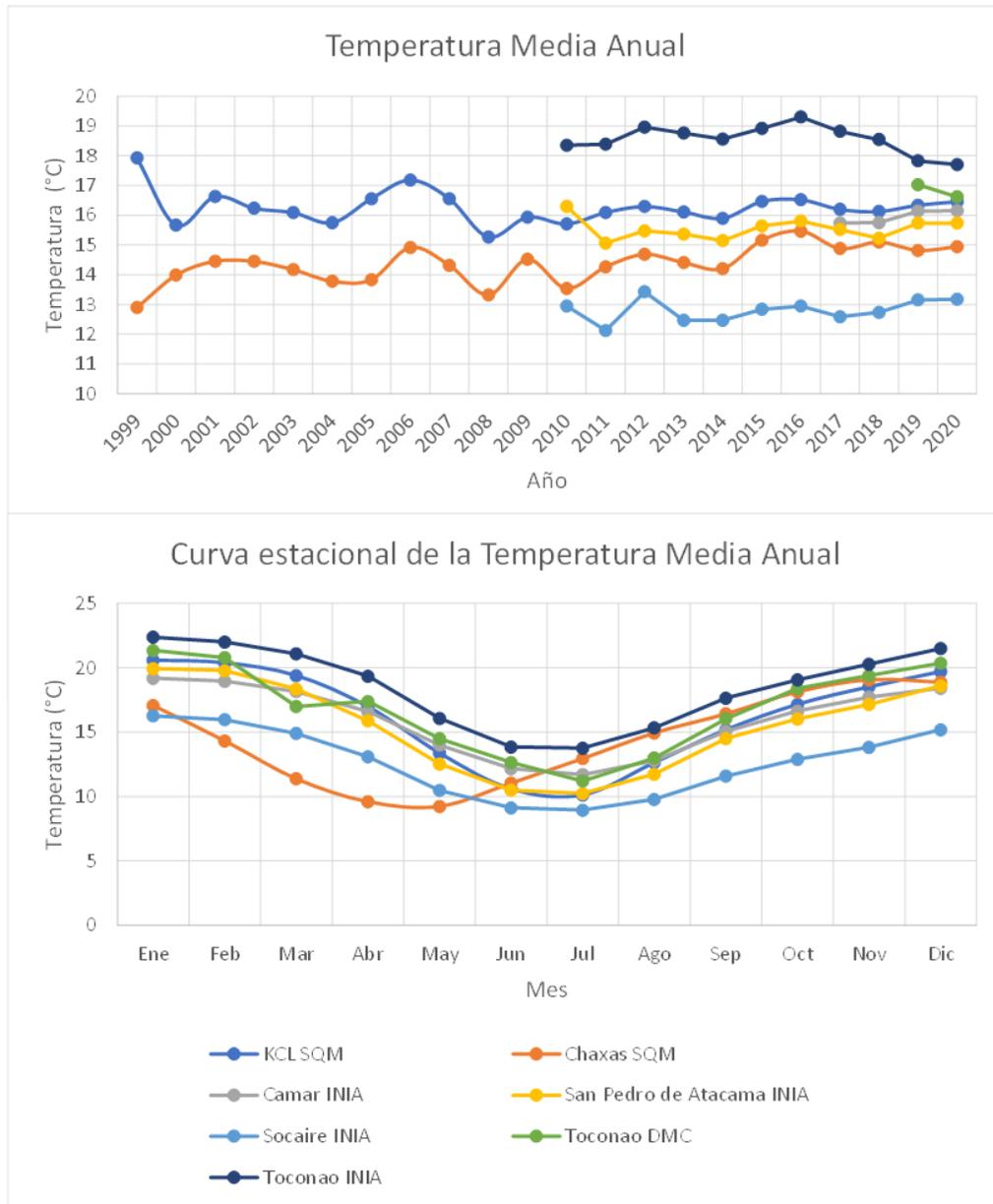
³ <https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/publicaciones/documentoPdf/boletinEventosExtremos/boletinEventosExtremos-2020.pdf>



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-25: Número de días en que las temperaturas mínimas son superiores al percentil 90 de todos los registros del periodo de estudio.

En aquellas estaciones pertenecientes a la red SQM más aquellas asociadas al INIA y la DMC, al igual que en precipitaciones, para el primer caso existe información a escala diaria desde 1999, mientras que, para las otras dos fuentes, desde el año 2009 existe una mayor consistencia de información. Dada la longitud de los registros, para estas estaciones no se considera un análisis de eventos extremos. La Figura 2-26 muestra la temperatura media anual para las estaciones analizadas y la curva estacional respectiva. Se debe considerar que en cada caso existe un número distinto de datos que genera esta curva estacional. Se observa un gradiente de temperatura que cambia según la elevación, con disminución de los valores, conforme se incrementa la altitud sobre el nivel del mar. Se presenta el comportamiento estacional usual en la curva estacional, con temperaturas mayores en meses de verano respecto del invierno.



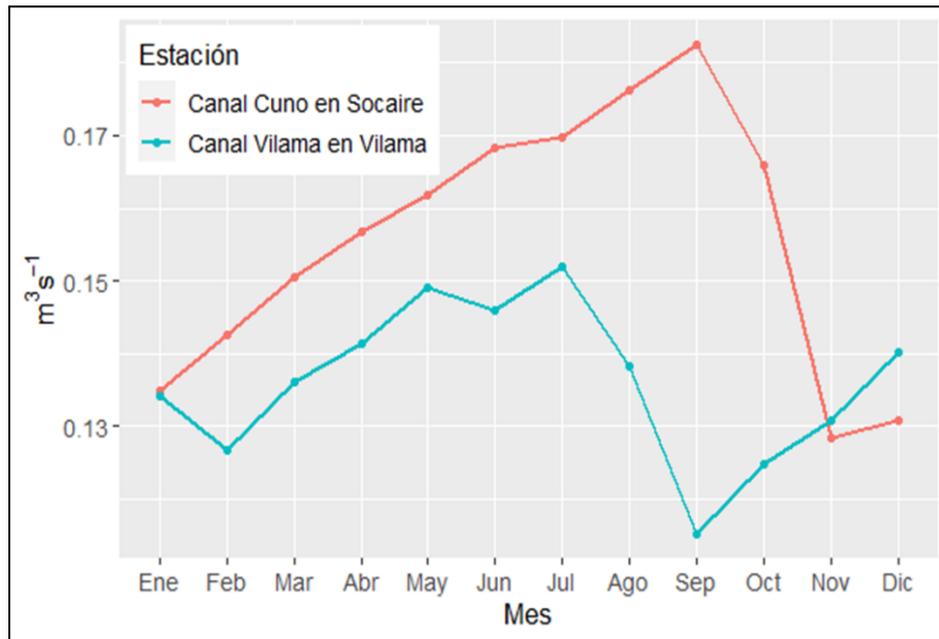
Fuente: Elaboración propia

Figura 2–26: Arriba: Temperatura media anual de las estaciones SQM, INIA y DMC analizadas, desde 2009 hasta 2020 según registros observados. Abajo: Curva estacional de la temperatura para las estaciones de las fuentes mencionadas.

2.2.2.3 Caudal

El patrón estacional de la estación Canal Vilama en Vilama parece ser de caudal constante en el año, con un leve incremento de sus valores en meses de invierno, aunque dados los valores en los que oscila (entre 0,11 y 0,15 m³s⁻¹) no se podría desprender un patrón estacional específico. Para la estación canal Cuno en Socaire se observa un patrón de aumento de caudal desde el comienzo del año con un máximo en octubre, aunque dado el rango de los valores (entre 0,13 y 0,18 m³s⁻¹), podría desprenderse que el patrón

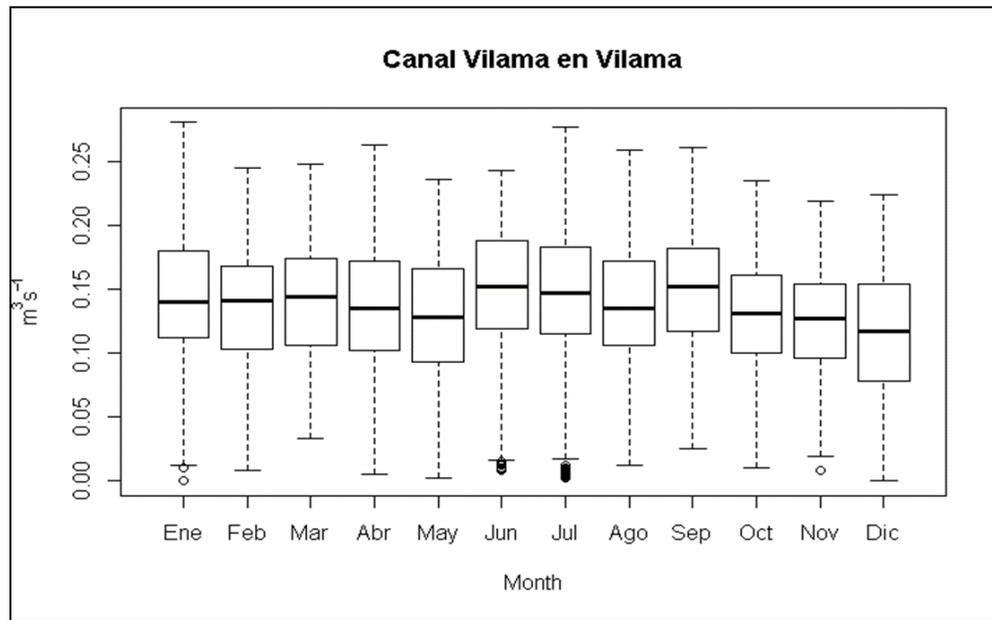
observado solo corresponda a variabilidad natural. La Figura 2–27 muestra este comportamiento para ambas estaciones.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2–27: Distribución de los caudales medios durante el año de las estaciones Canal Vilama en Vilama y Canal Cuno en Socaire (periodo 1985-2020).

Respecto de la variabilidad interanual del caudal, no se observa un patrón estacional consistente en la estación canal Vilama en Vilama (Figura 2–28) que sea atribuible por ejemplo al patrón de precipitaciones.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2–28: Distribución de los caudales medios durante el año de la estación canal Vilama en Vilama (periodo 1985-2020).

Todos los caudales medios observados tanto a nivel anual como desagregados mensualmente tienen tendencias significativas a la disminución en la estación fluviométrica Canal Vilama en Vilama (Tabla 2–11). La variación negativa anual es de $-0,022 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ por década, lo que implica que por cada año desde 1985 el caudal ha disminuido en este punto un promedio de $-2,2 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ (Figura 2–29). La disminución más drástica se aprecia en el mes de abril, con $-0,028 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ por década. En el caso de la estación Canal Cuno en Socaire, no existen cambios significativos del patrón de tendencia de caudales, tanto a nivel mensual como anual ($-0,003 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ por década, valor $p = 0,522$).

Tabla 2–11: Tendencias históricas decadales de los caudales observados ($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$) en el periodo 1985-2017 en la estación Canal Vilama en Vilama.

Mes	$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ por década	Valor p
Enero	-0,023	0,001
Febrero	-0,024	0,001
Marzo	-0,024	0,003
Abril	-0,028	0,002
Mayo	-0,023	0,003
Junio	-0,024	0,005
Julio	-0,017	0,017
Agosto	-0,026	0,001
Septiembre	-0,015	0,030
Octubre	-0,020	0,007
Noviembre	-0,021	0,002
Diciembre	-0,017	0,029
Anual	-0,022	0,001

Nota: Solo se muestran aquellos valores cuya tendencia es estadísticamente distinta de cero (valor $p < 0,1$).

Fuente: Elaboración propia

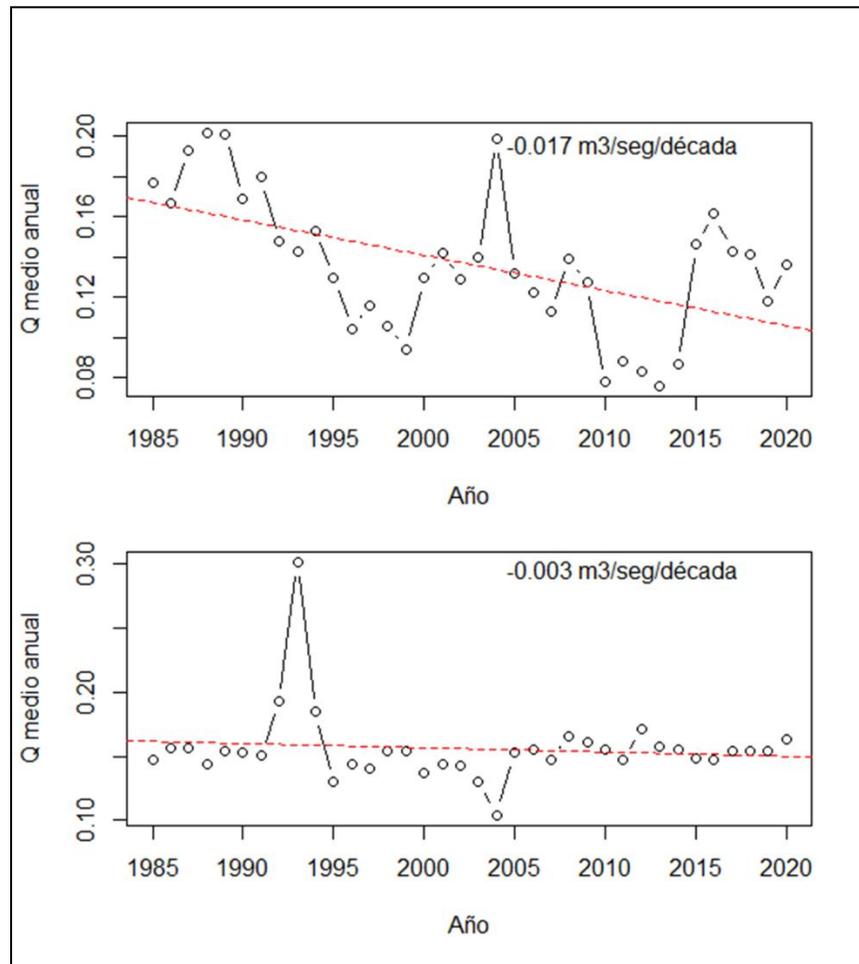
En el caso de los indicadores hidrometeorológicos extremos para esta variable, todos los caudales máximos a escalas anual y estacional resultaron significativos con pendientes negativas (Tabla 2-12), destacando la disminución en otoño de $-0,021 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ por década. En el caso de los caudales mínimos agregados, ni el periodo anual y los meses de invierno presentan tendencias distintas de cero, pero en las otras agregaciones sí existen disminuciones significativas de estos caudales. Particular es el caso de la caída media de $-0,032 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ por década en otoño.

Tabla 2-12: Resultado de los indicadores asociados a las variables de temperatura en la estación Canal Vilama en Vilama.

Estación	Indicador	Unidad	Anual	Otoño	Invierno	Primavera	Verano
Canal Vilama en Vilama	MaxQ	m^3s^{-1} por década	-0,013	-0,021	-0,013	-0,011	-0,017
	MinQ			-0,032		-0,023	-0,029
Canal Cuno en Socaire	MaxQ	m^3s^{-1} por década					0.005
	MinQ						

Nota: Solo se muestran aquellos valores cuya tendencia es estadísticamente distinta de cero (valor $p < 0.1$).

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Figura 2–29: Caudal medio anual de la estación Canal Vilama en Vilama (panel superior) y Canal Cuno en Socaire (Panel inferior).

2.2.2.5. Eventos extremos

Se realizó una caracterización de eventos extremos tanto de índole climática como de aquellos atribuibles a otras fuentes naturales, en la región de Antofagasta. Los eventos que poseen mayor frecuencia corresponden a los aluviones, seguidos de precipitaciones sobre la media (vinculados directamente al evento anterior), terremotos y olas de calor. Por ser de efecto prolongado en el tiempo, la sequía aparece como un fenómeno de baja frecuencia a través de los años pero con un alto impacto una vez que se hace presente.

Se realizó una revisión que consultó fuentes asociadas a La Memoria Chilena de la Biblioteca Nacional, El Mercurio de Antofagasta, la biblioteca del congreso, y los reportes climáticos de la DMC. A continuación, se despliega un listado en el que se detalla por tipo de evento, el momento de ocurrencia de este y la magnitud alcanzada. Todo, para la región de Antofagasta.

a. Eventos de origen atmosférico.

1. Temporales:

- 24 y 26 marzo de 2015: Caída de 23,6 mm que causaron estragos en la ciudad de Antofagasta. Se produjo una muerte de una persona que trabajaba en obras civiles preventivas.
- 26 de junio de 2016: 4,4 mm de agua caída en Antofagasta y 10,5 mm en Taltal. Desde 1950 solo habían ocurrido 11 eventos de precipitación, destacándose el del año 1991 con 14,1 mm; 1975 con 10,2 mm y el 2016 con 4,4 mm.
- 8 de junio de 2017: Caída de 20 mm solo en un día en Antofagasta.
- 8 de julio de 2016: Evento generalizado en la zona Norte con ráfagas de viento de hasta 94 km/h, lo que produjo voladuras de techos, daños a vehículos y cortes de electricidad.
- Agosto de 2018: Tormenta eléctrica, de granizo, nieve y lluvia en la región de Antofagasta.
- 25 de agosto de 2021: Nieve en el desierto de Atacama. Evento de nevazón y precipitación de muy bajas temperaturas.

2. Aluviones:

- 3 de julio 1925: Fuertes lluvias en antofagasta, con serias inundaciones en consecuencia.
- 21 de agosto 1930: Inundaciones graves en la ciudad, aluvión en sector Norte (0,7 metro de profundidad).
- 13 de junio 1940: Inundaciones serias en la ciudad de Antofagasta, con aluviones al centro de ésta.
- 24 de mayo 1982: Inundaciones menores en la ciudad de Antofagasta, con aluviones al Sur de ésta.
- 27 de julio 1987: Serias inundaciones y aluviones graves en Quebradas.
- 18 de junio 1991: Lluvias intensas provocaron aluviones de mediano y alto impacto, flujos con profundidad de más de 1,5 metros. Fuertes vientos.

3. Olas de calor:

- Verano de 2015: Hubo un período de tres días consecutivos en que la temperatura máxima superó el umbral crítico, el cual se calcula a partir del percentil 90 de las temperaturas máximas en el período climatológico 1981-2010.
- Enero, febrero y marzo de 2017: 2 veces en enero, 2 en febrero y una en marzo de 2017 se sobrepasó por tres o más días consecutivos el percentil 90 de las temperaturas máximas históricas, en la región de Antofagasta.

4. Sequía

- 2019: Declarada, déficit de precipitación respecto al promedio histórico en Antofagasta.

b. Eventos de origen no atmosférico.

1. Terremotos

- 10 de noviembre 1922: Toda la zona de Atacama fue arruinada por un terremoto y maremoto que provocó graves daños en los puertos de Chañaral, Caldera, Huasco y Coquimbo, así como en Freirina y Copiapó. En ésta última, el sismo llegó a los 8 grados en la escala Rossi-Forel. En Chañaral el tsunami fue muy destructivo, alcanzando una altura de 9 metros sobre la alta marea, pero su ascenso fue lento. Si bien no afectó a Antofagasta directamente, se menciona por sus implicancias.

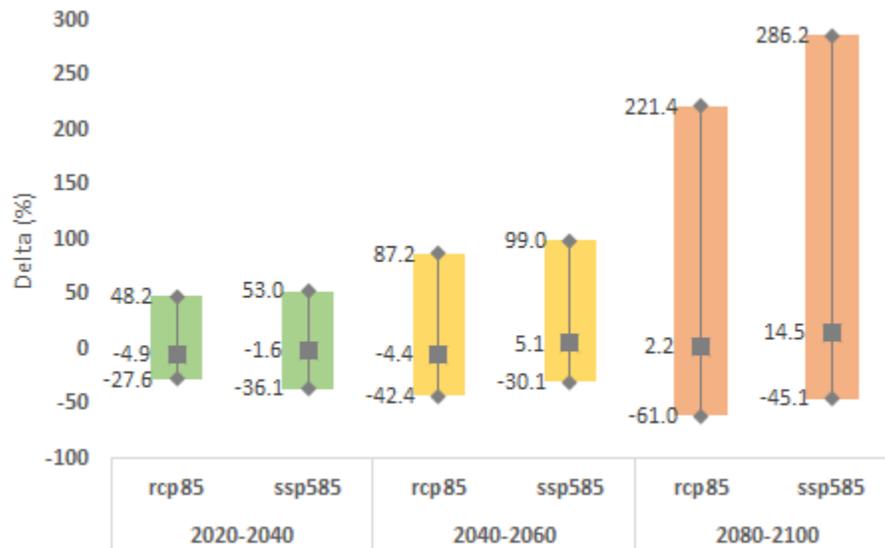
- Diciembre de 1950: Terremoto de magnitud 8,0 en las cercanías de la ciudad de Calama, constituyéndose en el sismo intraplaca de profundidad intermedia de mayor magnitud ocurrido en el país.
- 8 de julio 1971: La zona Norte y central fueron afectadas por un terremoto. El movimiento afectó desde Antofagasta a Valdivia con magnitud 7,8.
- 30 de julio 1995: Terremoto de Antofagasta con magnitud de 8,0 produjo daños menores. El tsunami generado no causó grandes destrozos en la ciudad, aunque la variación del nivel del mar alcanzó 2,8 metros en Antofagasta.
- 13 de junio 2005: Terremoto de magnitud 7,8, provocó deslizamientos que causaron víctimas fatales y graves daños en la región de Tarapacá.

2.2.3 Selección de Escenarios de cambio climático

Los GCM's (Modelos de Circulación General o Modelos de Clima Global por sus siglas en inglés) son modelos numéricos capaces de evaluar el efecto que los cambios en los forzamientos climáticos (concentración de gases de efecto invernadero, radiación solar, cambios de uso de suelo, etc.) producen en un gran número de variables a escala global. Por su parte, una trayectoria de concentración representativa (o RCP por sus siglas en inglés) es una trayectoria de concentración de gases de efecto invernadero (no de emisiones) adoptada por el IPCC. En el Quinto Informe del IPCC del 2014 se utilizaron cuatro RCP's: 2.6, 4.5 6.0 y 8.5, reflejando niveles crecientes de forzamiento radiativo, siendo el RCP2.6 la ruta más conservadora y el RCP8.5 la más severa respecto de las trayectorias emisiones de gases de efecto invernadero hacia 2100. Todos los escenarios considerados provienen de la versión 5 del proyecto de intercomparación de modelos acoplados (CMIP5).

En agosto del 2021 se publicó el Sexto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas (AR6), el cual divulga la versión 6 del proyecto de intercomparación de modelos acoplados (CMIP6), otorgando nuevos modelos de proyecciones de clima para nuevos escenarios que, si bien tienen su símil en los modelos CMIP5, incluyen componentes socioeconómicos (SSP) que la versión anterior solo consideró de forma implícita.

Para revisar la validez de los escenarios considerados anteriormente, se realizó un ejercicio de comparación de los modelos CMIP5 (30) con los modelos CMIP6 disponibles (18). Se contrastaron los deltas de temperatura y precipitación para la coordenada de la estación Peine (lat: -23,69°, lon: -68,06°) obtenidas a partir de los escenarios RCP85 del CMIP5 con su equivalente del CMIP6 SSP585. Los periodos considerados en la comparación son: 2020-2040, 2040-2060 y 2080-2100 contrastados contra 1980-2010. Los resultados para precipitación se muestran en la Figura 2-30.

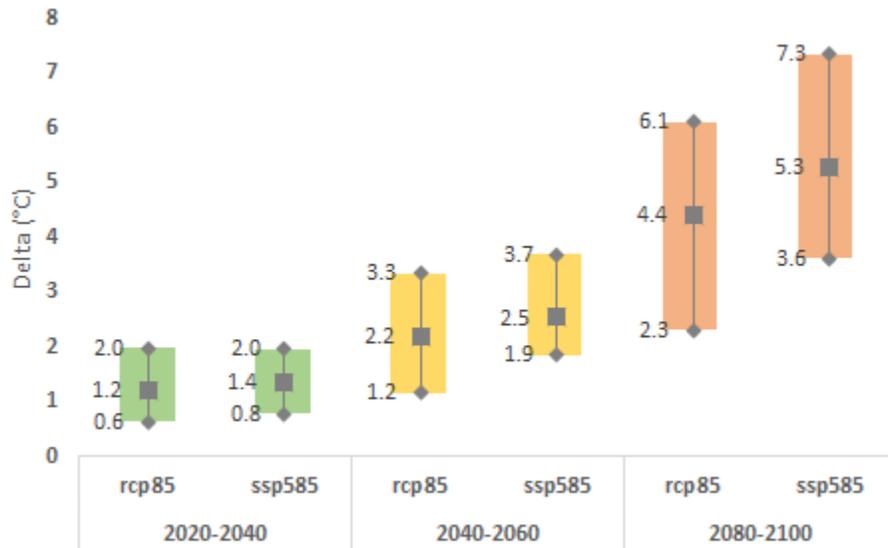


Fuente: Elaboración propia

Figura 2–30: Dispersión de los cambios en precipitación (mínimo, promedio, máximo de la variación porcentual respecto del periodo de referencia histórico) para los escenarios RCP8.5 (CMIP5) y SSP585 (CMIP6), en tres periodos comparados.

Se observa una leve tendencia al aumento de las precipitaciones, así como también un incremento en la incertidumbre hacia el período más lejano. Los modelos del CMIP6, en promedio y para el punto de la estación Peine, proyectan en promedio más precipitaciones que la media de los modelos del CMIP5, para el escenario más severo. Pero en términos cualitativos sigue en evidencia el alto nivel de incertidumbre respecto de las proyecciones climáticas para esta cuenca.

Respecto de las temperaturas medias, se realizó el mismo análisis identificando el delta ahora como la diferencia simple entre los periodos comparados respecto de la referencia histórica, para el promedio de las medias anuales de temperatura. La Figura 2–31 muestra lo expuesto.

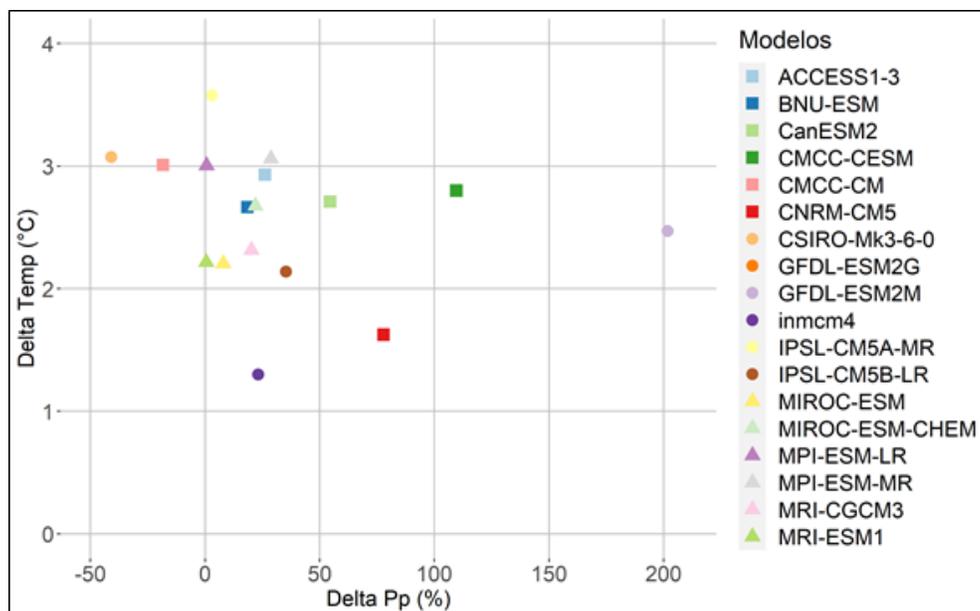


Fuente: Elaboración propia

Figura 2–31: Dispersión de los cambios en temperatura media (mínimo, promedio, máximo de la variación absoluta respecto del periodo de referencia histórico) para los escenarios RCP8.5 (CMIP5) y SSP585 (CMIP6), en tres periodos comparados.

Se observa una tendencia al aumento de las temperaturas, la cual tiene mayor dispersión hacia periodos más lejanos. El escenario SSP585 tiene incrementos comparados mayores que aquellos del escenario del CMIP5.

Teniendo en consideración este análisis y las definiciones presentadas en el estudio PUC-CORFO (2021) se analizan finalmente 18 modelos GCM (CMIP5) reducidos en escala desde la resolución nativa de cada modelo (entre 1 a 3° (~111 a 333 km)) a una resolución de 0,05° (~5km) obtenidos desde el proyecto Arclim (Pica-Tellez et al., 2021) para el escenario RCP8.5. Para estos modelos, a partir de las celdas de 5 km que se extienden sobre la cuenca del Salar de Atacama, se analizó el patrón de cambio de las temperaturas medias y precipitaciones hacia el período 2035-2065, considerando como referencia el periodo 1980-2010. La Figura 2–32 muestra la variación analizada.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-32: Deltas de precipitación y temperatura en los 18 modelos CMIP5 disponibles contrastados entre el periodo histórico de control (1980-2010) y el futuro (2035-2065).

Se aprecia un acuerdo entre todos los modelos sobre el incremento en temperatura media hacia 2050, de al menos 1°C, mientras que la mayoría de los modelos soporta el supuesto de aumento en precipitaciones hacia mitad de siglo.

Con el objetivo de hacer una selección de modelos puntuales, se realizó un análisis comparativo del sesgo de estos modelos con las observaciones en siete estaciones con suficiente información para el periodo 1980-2010 (El Tatio, Toconao, Camar, Socaire, Peine, San Pedro de Atacama, Río Grande) para la variable precipitación.

Los resultados permitieron seleccionar 5 modelos candidatos para utilizar como input climatológico en la modelación: CanESM2, CSIRO-Mk3-6-0, inmcm4, MIROC-ESM y MRI-CGM3. La Tabla 2-13 resume los deltas de temperatura y precipitación en estos modelos para los periodos comparados (1980-2010 vs 2035-2065).

Tabla 2-13: Cambios en precipitación y temperatura para GCM seleccionados.

Modelo	Delta Precipitación (%)	Delta Temperatura media (°C)
CanESM2	54,48	2,7
CSIRO-Mk3-6-0	-40,96	3,1
inmcm4	23,09	1,3
MIROC-ESM	7,84	2,2
MRI-CGCM3	20,16	2,3

Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar que existe una alta incertidumbre en términos de precipitaciones por lo que se sugiere trabajar con tres modelos en el diseño final de escenarios: **CanESM2 (escenario húmedo); CSIRO-MK3-6-0 (escenario seco); MIROC-ESM (escenario**

intermedio). Estos tres escenarios también dan cuenta de distintos niveles de sensibilidad climática respecto del aumento en temperatura.

2.3 DIMENSIÓN AMBIENTAL

2.3.1 Unidades ecosistémicas

En este apartado se mencionan los ecosistemas presentes en la cuenca separando en aquellos terrestres y de aguas continentales (acuáticos). Además, se mencionan aquellas áreas presentes que están bajo protección. La información descrita a continuación ha sido extraída de Millenium Ecosystem Assessment (2005), CORFO-AMAKÁIK (2017a), CORFO-AMAKÁIK, (2017b), CORFO-AMAKÁIK, (2018), Rockwood Lithium-SGA (2015), Ausenco-Albemarle (2020) y CORFO-PUC (2021).

2.3.1.1 Ecosistemas terrestres

Aquí se describen algunos aspectos de las formaciones vegetales que encontramos dentro de la cuenca del Salar de Atacama, clasificándolas en formaciones vegetales zonales y azonales. También se describen los componentes más importantes de la fauna terrestre.

i. Componente Flora

Ausenco-Albemarle (2020) realizan una revisión bibliográfica y de colecciones de herbario produciendo un listado de 336 especies de plantas que compondrían la vegetación de la cuenca del Salar de Atacama. De estas 257 son nativas, 42 son endémicas (que ocurren en Chile solamente) y 37 especies introducidas. En la Tabla 2-14 se presenta un resumen de especies por familia y su origen. Todas estas distribuyen en distintas formaciones vegetales tanto zonales como azonales dentro de la cuenca del Salar de Atacama.

Tabla 2-14: Resumen de especies de plantas que componen la vegetación de la cuenca del Salar de Atacama.

Familia	Endémicas	Introducidas	Nativas
<i>Aizoaceae</i>			1
<i>Anacardiaceae</i>			2
<i>Apiaceae</i>	1	2	3
<i>Apocynaceae</i>		1	
<i>Asteraceae</i>	6	6	65
<i>Balanophoraceae</i>			1
<i>Bignoniaceae</i>	1		
<i>Boraginaceae</i>	4		8
<i>Brassicaceae</i>	1	2	1
<i>Cactaceae</i>	1		4
<i>Calceolariaceae</i>	1		
<i>Calyceraceae</i>			2
<i>Campanulaceae</i>			1
<i>Caprifoliaceae</i>		1	2
<i>Caryophyllaceae</i>	1		7
<i>Chenopodiaceae</i>	4	2	6
<i>Convolvulaceae</i>		1	

Familia	Endémicas	Introducidas	Nativas
<i>Cyperaceae</i>			7
<i>Ephedraceae</i>			3
<i>Euphorbiaceae</i>		1	1
<i>Fabaceae</i>	7	4	15
<i>Frankeniaceae</i>			1
<i>Gentianaceae</i>			1
<i>Geraniaceae</i>		1	1
<i>Haloragaceae</i>			2
<i>Iridaceae</i>			1
<i>Juncaceae</i>			3
<i>Juncaginaceae</i>			2
<i>Krameriaceae</i>	1		1
<i>Lamiaceae</i>		1	1
<i>Loasaceae</i>	1		3
<i>Malvaceae</i>	3	2	12
<i>Montiaceae</i>	2		9
<i>Nyctaginaceae</i>		1	1
<i>Onagraceae</i>			1
<i>Oxalidaceae</i>			2
<i>Phrymaceae</i>			1
<i>Plantaginaceae</i>	2	2	3
<i>Poaceae</i>	1	5	45
<i>Polemoniaceae</i>			2
<i>Polygonaceae</i>		2	1
<i>Potamogetonaceae</i>		1	
<i>Pteridaceae</i>			1
<i>Ranunculaceae</i>			1
<i>Rosaceae</i>			2
<i>Ruppiaceae</i>			1
<i>Solanaceae</i>	4	1	12
<i>Thelypteridaceae</i>			1
<i>Verbenaceae</i>	1		9
<i>Zygophyllaceae</i>		1	1

Fuente: Ausenco-Albemarle (2020)

Formaciones vegetales zonales

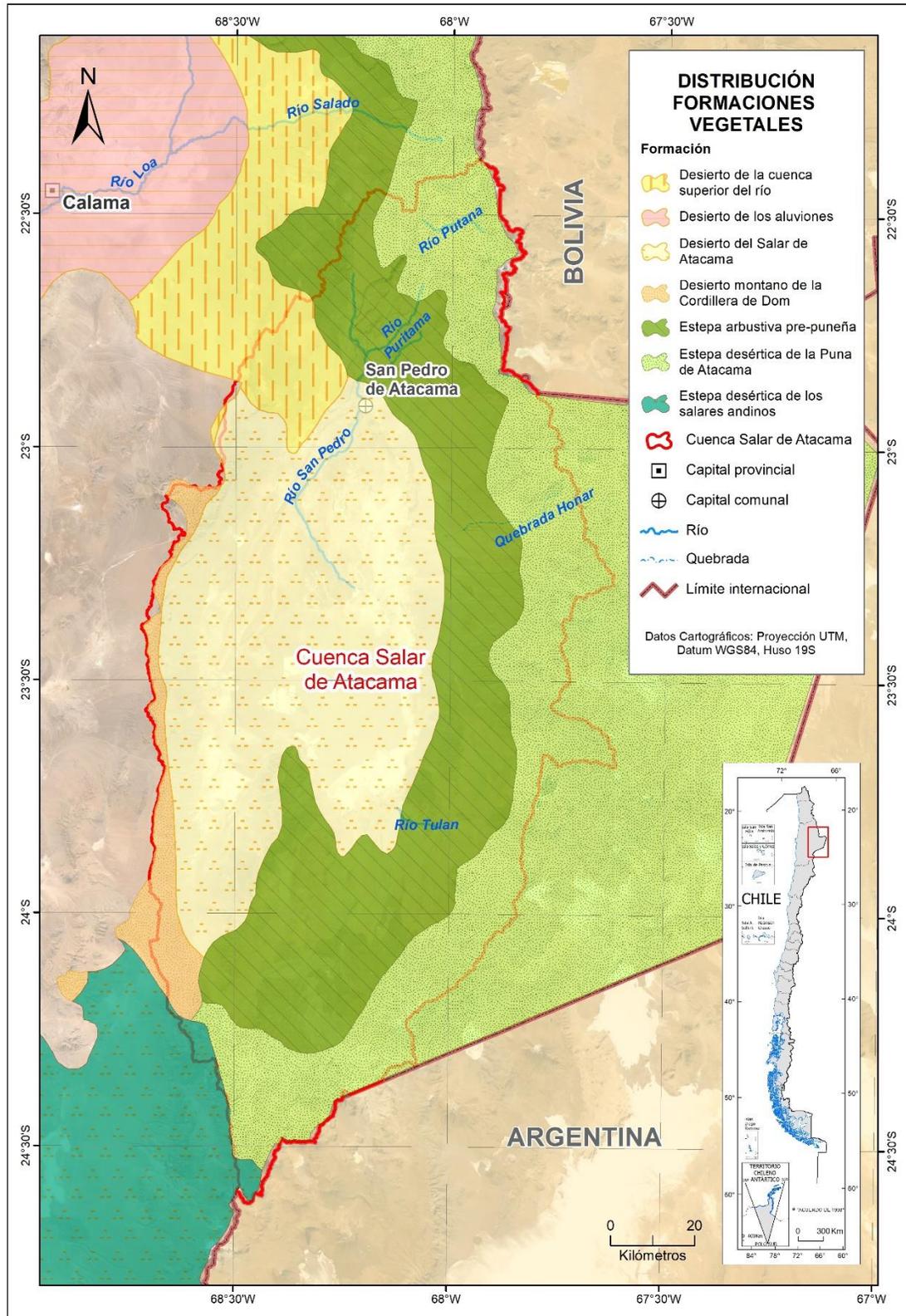
Las formaciones vegetales zonales corresponden a aquellas que se distribuyen en el paisaje dependiendo en gran medida de la cantidad de precipitación recibida localmente en los distintos sectores de la cuenca. En la Figura 2-33 se presenta la distribución de las formaciones vegetales zonales dentro de la cuenca del Salar de Atacama siguiendo la clasificación de Gajardo (1994).

Estas formaciones vegetales se describen a grandes rasgos a continuación:

- **Desierto de la Cuenca Superior del río Loa:** Se ubica al Norte de la cuenca del Salar de Atacama. Contiene especies arbustivas bajas y amplias áreas desprovistas de vegetación.

- Desierto de los Aluviones: Abarca los llanos y vertientes orientales de la Cordillera de Domeyko, al Norte del Salar de Atacama. Esta formación persiste gracias a precipitaciones marginales que llegan desde la alta cordillera. Comprende amplios sectores que carecen de vegetación, intercalados por sectores con arbustos bajos altamente adaptados a condiciones de aridez.
- Desierto del Salar de Atacama: Comprende gran parte de la cuenca interior del sector Oeste Salar de Atacama. Dadas las características hipersalinas del suelo y los procesos de cristalización y disolución que ocurren continuamente en él, la vida vegetal no logra desarrollarse fácilmente. Si bien la zona está prácticamente desprovista de vegetación, algunos sectores al Este y Sur de esta formación poseen algo de cobertura vegetal vinculada a cuerpos de agua (ver Formaciones vegetales azonales). En el margen Este y Norte del Salar existen bosques de Tamarugos (*Prosopis chilensis*) y Chañar (*Geoffroea decorticans*), asociados a introducciones y/o manejo humano de estos lugares (Ayllús, forestación de CONAF y CORFO).
- Desierto Montano de la Cordillera de Domeyko: Se ubica en el borde Oeste del Salar de Atacama en la cordillera de Domeyko. Comparte elementos típicos del desierto con alguno típicos de la estepa alto-andina. Predomina la vegetación arbustiva.
- Estepa Arbustiva Pre-puneña: Ubicada al Este del Salar de Atacama, comienza a los 2.600 m.s.n.m. y se extiende hasta los 3.400 m.s.n.m. Es una formación vegetal en donde predominan los arbustos bajos y presenta una muy baja cobertura vegetal (<10%).
- Estepa Sub-Desértica de la Puna de Atacama: Ubicada al Este del Salar de Atacama, se extiende desde los 3.400 hasta los 4.000 m.s.n.m. Esta caracterizada por una gran diversidad de formas arbustivas que se distribuyen de forma intercalada con gramíneas en mechón. Presenta una cobertura vegetal de hasta un 30%.
- Estepa Desértica de los Salares Andinos: de fisionomía desértica, se ubica al Sur de la cuenca del Salar. La cobertura vegetal es muy baja y corresponde a un matorral muy abierto y pobre en diversidad de especies.

Las especies más características de cada una de estas formaciones, su hábito y origen (nativa o endémica) se encuentran en el Anexo J, Capítulo 4.



Fuente: Elaboración propia a partir de Gajardo (1994)

Figura 2-33: Distribución de las formaciones vegetales zonales de la cuenca del Salar de Atacama.

ii. Fauna terrestre

La Tabla 2-16 resume la fauna de vertebrados presente en distintos sectores de la cuenca del Salar de Atacama. Esta tabla fue elaborada en base a lo reportado en CORFO-AMAKÁIK, (2018) y Rockwood Lithium-SGA (2015). Las categorías de conservación fueron sacadas de lo reportado por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN).

En la Tabla 2-16 se presenta la presencia de las distintas especies en el entorno de los sistemas lagunares Sistema Hidrológico de Soncor y Aguas de Quelana (ambos son parte de la Reserva Nacional Los Flamencos), el sistema de Peine y el sistema La Punta - La Brava. También se señala la presencia de algunas especies en el Santuario de la Naturaleza Valle de la Luna y aquellas que presentan datos de ocurrencia generales para la cuenca del Salar de Atacama y la Reserva Nacional Los Flamencos.

Con respecto a la fauna terrestre, esta está representada por aves, reptiles, mamíferos y anfibios. En cuanto a los anfibios cabe destacar que no fueron detectados directamente en los trabajos de prospección de Rockwood Lithium-SGA (2015) y los que aparecen en la tabla resumen corresponden a registros sacados de la literatura, destacando aquí *Telmatobius vilamensis* por ser una especie endémica de la cuenca del Salar y estar en categoría crítica de conservación.

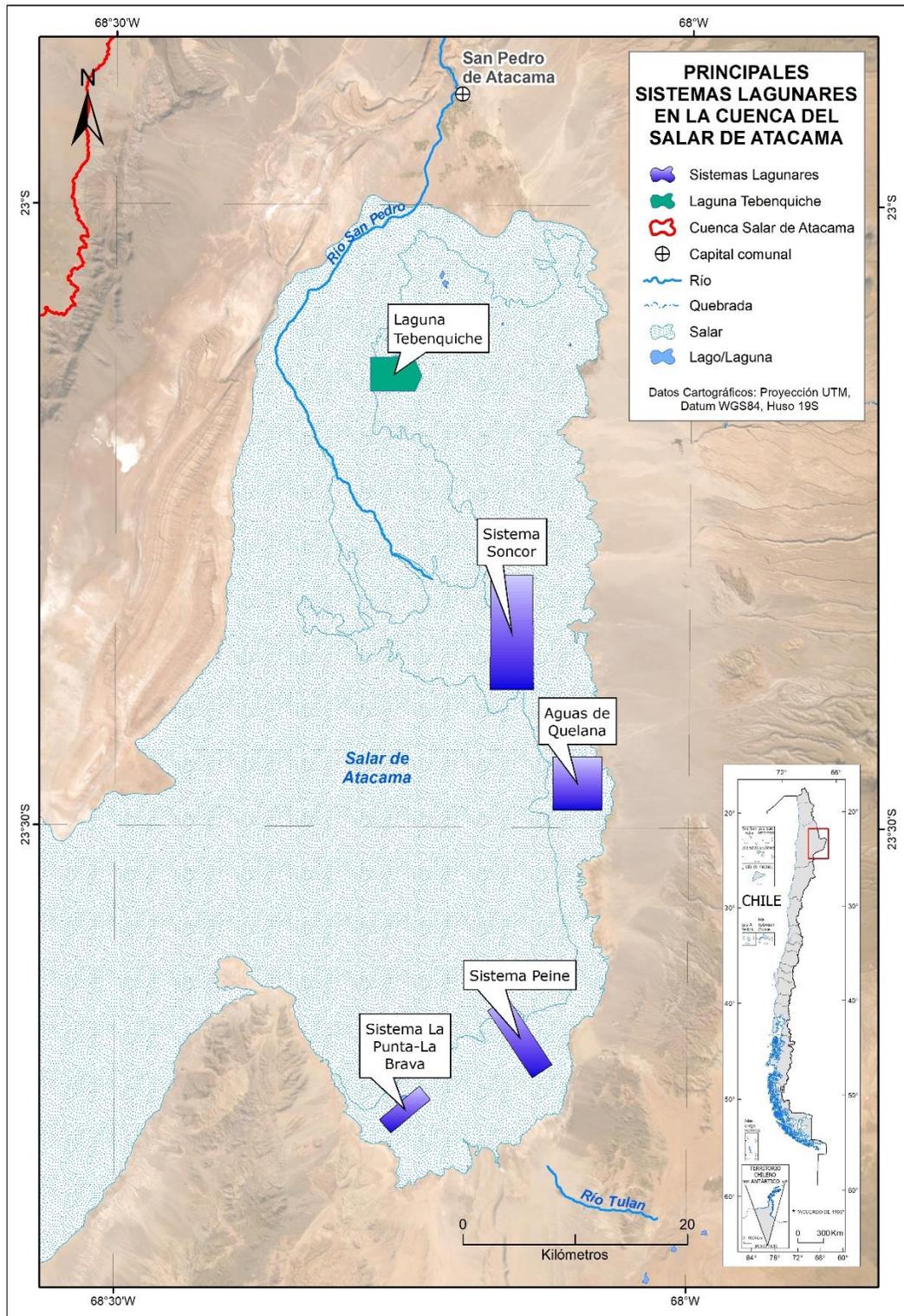
Otras especies de interés particular para la conservación son las endémicas *Microlophus theresioides*, *Phyllotis darwini* y *Liolaemus fabiani*, esta última además en categoría de En Peligro de Extinción. En cuanto a las aves terrestres, las nativas *Agriornis albicauda* y *Vultur gryphus* son especies sensibles dado que están en la categoría Vulnerable según la IUCN.

2.3.1.2 Ecosistemas de aguas continentales

La descripción de ecosistemas continentales está basada principalmente en lo que se conoce para los sistemas de lagunas presentes en el Salar de Atacama. Estos sistemas se ubican en la frontera del núcleo del salar, colindantes con la interfaz salina, bajo el cambio del gradiente topográfico, y son de carácter permanente.

Estos sistemas lagunares conforman un medio ecosistémico particular, de ambientes salinos y almacenamiento de agua en un clima desértico marginal de altura, los cuales albergan especies acuáticas (microorganismos, invertebrados, plantas y aves) y especies terrestres locales.

A continuación, se describen los distintos componentes bióticos que se desarrollan en tornos a los principales sistemas lagunares de la cuenca del Salar de Atacama: Sistema Hidrológico de Soncor y Aguas de Quelana (ambos de la Reserva Nacional Los Flamencos), el sistema de Peine (lagunas Salada, Saladita e Interna), sistema La Punta - La Brava. La ubicación de estos sistemas se presenta en la Figura 2-34.



Fuente: Adaptado de Mapoteca CORFO-AMPHOS21 (2018)

Figura 2-34: Ubicación de los principales sistemas lagunares de la cuenca del Salar de Atacama.

Nota: Se incorpora en la cartografía la ubicación de la laguna Tebenquiche, la que se encuentra descrita en el acápite 2.3.1.3.

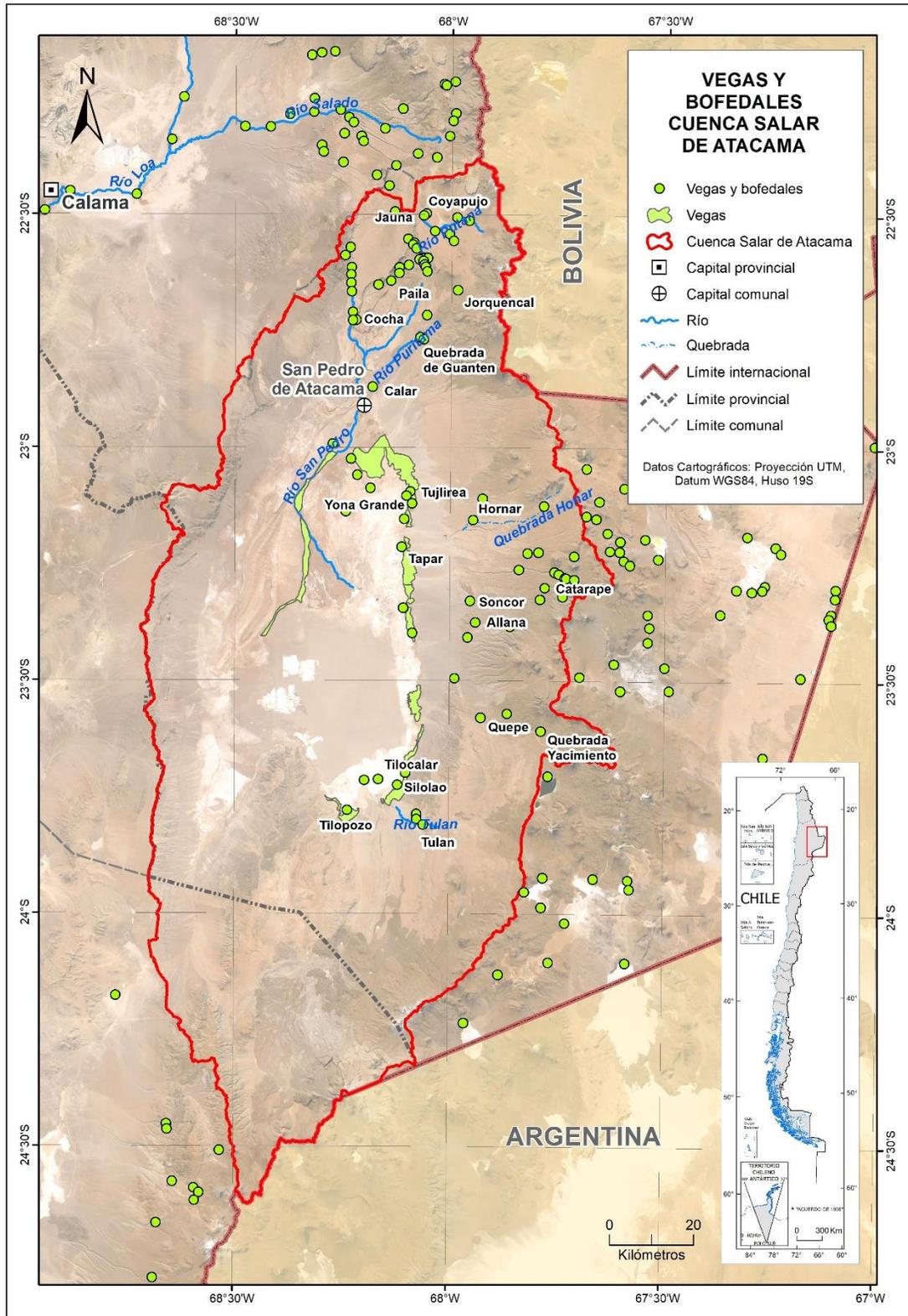
i. Formaciones vegetales azonales

En términos generales estas formaciones vegetales corresponden a aquellas dependientes de condiciones edáficas locales, como pueden ser suelos saturados, salinos o afloramientos rocosos xeromórficos, y son independiente del clima regional (Luebert y Pliscoff, 2006). Para el caso particular de la cuenca del Salar de Atacama, son sistemas ecológicos particulares que se asocian a un aporte hídrico permanente y constante durante la temporada de crecimiento (fines de primavera, verano e inicios de otoño). Resaltan por su presencia en ambientes áridos y fríos de alta cordillera en donde la baja cobertura vegetal de los alrededores hace de estos lugares ecosistemas importantes de mayor productividad vegetativa que ofrecen espacios funcionales de alta significación para elementos bióticos relacionados (Ahumada y Faúndez, 2009).

CORFO-AMAKÁIK, (2018) define, basados en una revisión bibliográfica, los siguientes sistemas de vegetación azonal presente en la Cuenca del Salar de Atacama:

- Bofedal: Formaciones de vegetación dominadas por las especies *Oxychloe andina* o la asociación *Zameioscirpus atacamensis-Deyeuxia curvula*, usualmente ubicados por sobre los 3.500 m.s.n.m.
- Vega Salina: formaciones dominadas por *Carex misera*, de cobertura vegetal muy variable (entre 10-90%).
- Pajonal salino: aquellas formaciones compuestas por especies de gramíneas cespitosas perennes tales como *Festuca deserticota*, *Festuca nardifolia* y *Deyeuxia curvula*.
- Vega: formaciones compuestas principalmente por las especies *Juncus balticus* y *Bolboschoenus maritimus*. Aquellas vegas que experimentan inundaciones temporales presentan formaciones de *Tessaria absinthiodes*.

En la Figura 2-35 se muestra la distribución geoespacial de los sistemas de vegas y bofedales de la cuenca del Salar de Atacama. La superficie total de las vegas presentes dentro de la cuenca del Salar de Atacama corresponde a 160.496 ha, de acuerdo con la información disponible de INE (2007). Existen otros catastros puntuales de vegas los cuales no se consideraron en este cálculo. La superficie cubierta por los bofedales en la cuenca del Salar de Atacama corresponde a 124.291 ha (INE, 2007).



Fuente: Elaboración propia a partir de información pública del MMA

Figura 2–35: Distribución geoespacial de vegas y bofedales de la cuenca del Salar de Atacama.

ii. Vegetación zonal y azonal en torno a los sistemas lagunares de la cuenca del Salar de Atacama.

Ausenco-Albemarle (2020) realizaron una caracterización de las plantas más comunes presentes en torno a los sistemas lagunares: Sistema Hidrológico de Soncor y Aguas de Quelana (ambos de la Reserva Nacional Los Flamencos), el sistema de Peine, sistema La Punta - La Brava. Esta vegetación corresponde a especies tanto zonales como azonales. Del total de 18 especies en la lista, 4 son endémicas de Chile y solo una es introducida. Esta información se resume en la Tabla 2-15.

Respecto a la importancia de especies de plantas presentadas en la Tabla 2-15, se destacan aquellas nativas que están acotadas a la zona Norte del país como *Arenaria rivularis*, *Atriplex imbricata*, *Atriplex desertícola*, *Ephedra americana*, *Cistanthe densiflora*, *Cistanthe celosioides*, *Puccinella frígida* y *Aloysia desertícola*, la especie nativa *Sarcocornia andina* que solo se encuentra en la región de Antofagasta, y las endémicas de Chile como *Tiquilia atacamensis*, *Atriplex atacamensis*, *Nitrophila atacamensis*, *Huidobria fruticosa*, *Lycium minutifolium* y *Solanum chilense*, todas con distribución en el Norte del país.

El estado de conservación para la mayoría de las especies presentadas en la Tabla 2-15 es desconocida, y para aquellas que se conoce es de poca Preocupación.

Tabla 2–15: Especies de plantas más comunes en torno a los sistemas lagunares de la Cuenca del Salar de Atacama.

Familia	Especie	Nombre común	Origen	Estado conservación	Hábito	1	2	3	4	5	Hábitat
Ast.	<i>Baccharis juncea</i>	Totora	Nativa	Desconocido	HP	X	X	X	X	X	Vega
Ast.	<i>Tessaria absinthioides</i>	Brea	Nativa	Desconocido	A	X		X	X	X	Matorral-Vega
Bor.	<i>Tiquilia atacamensis</i>	Káuchal	Endémica	Desconocido	SA					X	Matorral
Caryo.	<i>Arenaria rivularis</i>		Nativa	LC	HP		X			X	Matorral
Chen.	<i>Atriplex atacamensis</i>	Cachiyuyo	Endémica	Desconocido	A			X	X	X	Matorral
Chen.	<i>Atriplex imbricata</i>	Ojalar	Nativa	Desconocido	A o SA					X	Matorral
Chen.	<i>Atriplex deserticola</i>	Cachiyuyo	Nativa	Desconocido	A		X			X	Matorral
Chen.	<i>Nitrophila atacamensis</i>	----	Endémica	Desconocido	HP		X	X	X	X	Vega
Chen.	<i>Sarcocornia andina</i>	----	Nativa	Desconocido	A		X	X	X		Matorral-Vega
Cyp.	<i>Eleocharis atacamensis</i>	----	Nativa	Desconocido	HP		X			X	Vega
Cyp.	<i>Schoenoplectus californicus</i>	Totora	Nativa	Desconocido	HP		X	X	X	X	Vega
Eph.	<i>Ephedra americana</i>	Pingo-Pingo	Nativa	LC	A			X			Matorral
Jun.	<i>Juncus balticus</i>	Hunquillo	Nativa	LC	HP			X		X	Vega
Junca.	<i>Triglochin concinna</i>	----	Nativa	Desconocido	HP		X	X	X	X	Vega
Junca.	<i>Triglochin palustris</i>	----	Nativa	LC	HP		X			X	Vega
Loa.	<i>Huidobria fruticosa</i>	----	Endémica	Desconocido	A		X			X	Matorral
Mont.	<i>Cistanthe densiflora</i>	Pata de guanaco	Nativa	Desconocido	HA					X	Matorral
Mont.	<i>Cistanthe celosioides</i>	Básal	Nativa	Desconocido	HA					X	Matorral
Poa.	<i>Distichlis spicata</i>	Gramma salada	Nativa	LC	HP	X	X	X	X	X	Matorral y Vega
Poa.	<i>Phragmites australis</i>	Carrizo	Intro.	LC	HP			X			Vega
Poa.	<i>Puccinellia frigida</i>	----	Nativa	Desconocido	HP		X	X	X	X	Vega
Rupp.	<i>Ruppia filifolia</i>	Pelo de marizma	Nativa	DD	HP		X			X	Vega

Familia	Especie	Nombre común	Origen	Estado conservación	Hábito	1	2	3	4	5	Hábitat
Sol.	<i>Solanum chilense</i>	Tomatillo	Endémica	LC	HP		X			X	Matorral
Sol.	<i>Lycium humile</i>	Jume	Nativa	Desconocido	A		X			X	Matorral
Sol.	<i>Lycium minutifolium</i>	Coralillo	Endémica	Desconocido	A			X	X	X	Matorral
Verb.	<i>Aloysia deserticola</i>	Rica-Rica	Nativa	Desconocido	A					X	Matorral

Nota 1: Ast.: Asteraceae, Bor.: Boraginaceae, Caryo.: Caryophyllaceae, Chen.: Chenopodiaceae, Cyp.: Cyperaceae, Eph.: Ephedraceae, Jun.: Juncaceae, Junca.: Juncaginaceae, Loa.: Laosaceae, Mont.: Montiaceae, Poa.: Poaceae, Rupp.: Ruppiaceae Sol.: Solanaceae, Verb.: Verbenaceae.

Nota 2: I: Introducida. HP: Hierba perenne, A: Arbusto, SA: Subarbusto, HA: Hierba anual. Estado de conservación: DD: datos insuficientes, LC: poca preocupación.

Nota 3: 1: Sistema hidrológico de Soncor, 2: La Punta-La Brava, 3: Vegas de Tilopozo, 4: Aguas de Quelana, 5: Sistema de Peine.

Fuente: Elaboración propia a partir de información de Ausenco-Albemarle (2020) y CORFO-AMAKÁIK (2018).

iii. Fauna acuática

En la base del ensamble de biota acuática o fitobentos se encuentran los **Tapetes microbianos**, que corresponde a comunidades bentónicas formadas por diferentes capas de organismos procarióticos y eucarióticos incluyendo cianobacterias filamentosas, unicelulares y diatomeas. Este componente es de vital importancia ya que concentran los flujos de materia y energía dentro del ecosistema. Las lagunas de la cuenca del Salar de Atacama han sido destacadas internacionalmente como lugares de alta diversidad de microorganismos extremófilos que forman parte de estos tapetes (Dorador et al., 2018; Farías et al., 2017).

En cuanto a los invertebrados heterótrofos que forman parte de los ecosistemas lagunares, el informe de Rockwood Lithium-SGA (2015) reporta que los componentes de **zooplancton** y **zoobentos** presentan en general baja abundancia numérica y baja riqueza de especies para los sistemas de Peine, La Punta-La Brava y Soncor, con representantes de insectos, gastrópodos y malacostracos, copépodos, rotíferos y branchiopodos. No se detectó ictiofauna en ese trabajo en particular. Destaca las especies *Artemia franciscana* (orden Anostraca Familia Artemiidae) por ser un artrópodo que soporta altos niveles de salinidad y que es la base alimenticia para varias especies de avifauna acuática. También es importante señalar la presencia del gastrópodo *Heleobia atacamensis* (Clase molusca), la que corresponde a una especie endémica del Salar de Atacama que se encuentra en Peligro Crítico debido a su bajo rango de distribución. Este molusco depende totalmente de agua para su supervivencia y ha sido detectado en La Punta - La Brava, Vegas de Tilopozo, Sistema de Peine (Salada, Saladita Interna) y Aguas de Quelana.

iv. Avifauna acuática

De particular importancia son algunas especies de aves acuáticas que se encuentran bajo protección y que habitan la mayoría de los cuerpos de agua y las formaciones vegetales azonales asociadas a ellos. Entre estos destacan las especies de flamencos *Phoenicopterus chilensis* (flamenco chileno) y *Phoenicoparrus andinus* (parina grande), ambas en estado de Casi Amenazadas (IUCN), y *Phoenicoparrus jamesi* (parina chica), en estado Vulnerable. Otra especie que está Casi Amenazada es la tagua cornuda (*Fulica cornuta*), presente en los sistemas bajo protección de la Reserva Nacional Los Flamencos.

Toda esta información se encuentra en la Tabla 2-16, donde además se aprecia la presencia de 14 especies de aves nativas que también habitan los sistemas lagunares de la cuenca del Salar.

Tabla 2–16: Especies de vertebrados más comunes en torno a los sistemas lagunares y áreas bajo protección de la Cuenca del Salar de Atacama.

Familia	Especie	Nombre común	Estado de conservación	1	2	3	4	5	6	7	Origen
Aves acuáticas											
Scolopacidae	<i>Tringa flavipes</i>	Pitotoy chico	LC	X	X	X	X				Nativa
Anatidae	<i>Anas cyanoptera</i>	Pato colorado de la Puna	LC		X		X				Nativa
Anatidae	<i>Anas flavirostris</i>	Pato jergón chico	LC	X							Nativa
Anatidae	<i>Anas georgica</i>	Pato jergón grande	LC							X	Nativa
Anatidae	<i>Chloephaga melanoptera</i>	Piuquen	LC						X		Nativa
Anatidae	<i>Lophonetta specularioides</i>	Pato juarjual	LC	X	X	X	X				Nativa
Charadriidae	<i>Charadrius alticola</i>	Chorlo de la puna	LC	X	X	X	X				Nativa
Charadriidae	<i>Pluvialis dominica</i>	Chorlo dorado	LC	X	X						Nativa
Laridae	<i>Chroicocephalus serranus</i>	Gaviota andina	LC	X	X	X	X		X		Nativa
Phoenicopteridae	<i>Phoenicoparrus andinus</i>	Parina grande	VU	X	X	X	X		X		Nativa
Phoenicopteridae	<i>Phoenicoparrus jamesi</i>	Parina chica	NT	X	X	X	X		X		Nativa
Phoenicopteridae	<i>Phoenicopus chilensis</i>	Flamenco chileno	NT	X	X	X	X		X		Nativa
Rallidae	<i>Fulica cornuta</i>	Tagua cornuda	NC						X		Nativa
Recurvirostridae	<i>Recurvirostra andina</i>	Caití	LC	X	X	X	X				Nativa
Scolopacidae	<i>Calidris bairdii</i>	Playero de baird	LC	X	X	X	X				Nativa
Scolopacidae	<i>Calidris fuscicollis</i>	Playero de lomo blanco	LC	X	X	X					Nativa
Scolopacidae	<i>Phalaropus tricolor</i>	Pollito de mar tricolor	LC	X		X	X				Nativa
Threskiomithidae	<i>Tringa melanoleuca</i>	Pitotoy grande	LC	X	X	X	X				Nativa
Aves terrestres											
Tyrannidae	<i>Agriornis albicauda</i>	Mero de la puna	VU					X			Nativa
Accipitridae	<i>Geranoaetus polyosoma</i>	Aguilucho	LC	X		X	X				Nativa
Ardeidae	<i>Hirunda rustica</i>	Golondrina bermeja	LC		X	X					Nativa
Cathartidae	<i>Vultur gryphus</i>	Cóndor andino	VU						X		Nativa
Columbidae	<i>Metriopelia aymara</i>	Tortolita de la Puna	LC			X	X				Nativa
Falconidae	<i>Falco sparverius</i>	Cérnicalo	LC				X				Nativa
Falconidae	<i>Muscisaxicola flavinucha</i>	Dormilona fraile	LC		X						Nativa
Falconidae	<i>Phalcooenus megalopterus</i>	Caracara andino	LC		X						Nativa
Furnariidae	<i>Asthenes modesta</i>	Canastero chico	LC				X				Nativa
Furnariidae	<i>Geositta maritima</i>	Minero chico	LC			X	X				Nativa

Familia	Especie	Nombre común	Estado de conservación	1	2	3	4	5	6	7	Origen
Furnariidae	<i>Geositta punensis</i>	Minero de la puna	LC					X			Nativa
Furnariidae	<i>Leptasthenura aegithaloides</i>	Tijeral	LC		X		X				Nativa
Hirundinidae	<i>Pygochelidon cyanoleuca</i>	Golondrina azul	LC	X	X						Nativa
Motacillidae	<i>Anthus correndera</i>	Bailarín chico	LC		X		X				Nativa
Passerellidae	<i>Zonotrichia capensis</i>	Chincol	LC					X			Nativa
Recurvirostridae	<i>Tinamotis pentlandii</i>	Perdiz de la puna	LC						X		Nativa
Rheidae	<i>Rhea pennata tarapacensis</i>	Suri	LC	X							Nativa
Strigiformes	<i>Tyto alba</i>	Lechuza	LC			X	X				Nativa
Thinocoridae	<i>Attagis gayi</i>	Perdicita cordillerana	LC						X		Nativa
Thraupidae	<i>Sicalis olivascens</i>	Chirihue verdoso	LC			X					Nativa
Turdidae	<i>Turdus chiguanco</i>	Zorzal negro	LC		X			X			Nativa
Tyrannidae	<i>Agriornis montanus</i>	Mero gaucho	LC				X				Nativa
Tyrannidae	<i>Lessonia oreas</i>	Colegial del Norte	LC	X	X	X	X				Nativa
Tyrannidae	<i>Muscisaxicola frontalis</i>	Dormilona de frente negra	LC		X						Nativa
Tyrannidae	<i>Muscisaxicola maculirostris</i>	Dormilona chica	LC		X						Nativa
Mammalia											
Camelidae	<i>Lama guanicoe</i>	Guanaco	LC							X	Nativa
Camelidae	<i>Vicugna vicugna</i>	Vicuña	LC						X		Nativa
Canidae	<i>Lycalopex griseus</i>	Zorro gris	LC	X		X			X		Nativa
Canidae	<i>Pseudalopex culpaeus</i>	Zorro culpeo	LC	X	X		X	X	X		Nativa
Chinchillidae	<i>Lagidium viscacia</i>	Vizcacha	LC						X		Nativa
Cricetidae	<i>Abrothrix andinus</i>	Raton olivaceo andino	LC		X	X	X				Nativa
Cricetidae	<i>Eligmodontia puerulus</i>	Raton de pie sedoso	LC				X				Nativa
Cricetidae	<i>Phyllitis xantophygus</i>	Ratón orejudo amarillo	LC			X	X				Nativa
Cricetidae	<i>Phyllotis darwini</i>	Ratón orejudo	LC					X			Endemica
Ctenomyidae	<i>Ctenomys fulvus</i>	Tuco tuco de Atacama	DD		X	X	X				Nativa
Didelphidae	<i>Thylamys pallidior</i>	Ilaca de la puna	LC				X	X			Nativa
Reptilia											
Liolaemidae	<i>Liolaemus fabiani</i>	Lagartija de Fabian	EN	X	X	X	X		X		Endemico
Liolaemidae	<i>Liolaemus constanzae</i>	Lagartija de Constanza	LC		X		X				Nativa
Liolaemidae	<i>Liolaemus andinus</i>	Lagartija andina	LC							X	Nativa
Tropiduridae	<i>Microlophus theresioides</i>	Corredor de Pica	LC							X	Endemica

Familia	Especie	Nombre común	Estado de conservación	1	2	3	4	5	6	7	Origen
Amphibia											
Bufonidae	<i>Rhinella spinulosa</i>	Sapo esponiso	LC							X	Nativa
Calyptocephalellidae	<i>Telmatobius vilamensis</i>	Rana de Vilama	CE							X	Endemica

Nota 1: EN: En Peligro, LC: poca preocupación; VU: vulnerable; NT: casi amenazada; CE: en peligro crítico; DD: datos insuficientes.

Nota 2: 1: Sistema Hidrológico de Soncor, 2: Aguas de Quelana, 3: Sistema Peine, 4: La Punta-La Brava, 5: Santuario de la Naturaleza Valle de la Luna, 6: Reserva Nacional los Flamencos, 7: Cuenca del Salar de Atacama General.

Fuente: Elaboración propia a partir de información de Millenium Ecosystem Assessment (2005), CORFO-AMAKÁIK (2017a), CORFO-AMAKÁIK, (2017b), CORFO-AMAKÁIK (2018), Rockwood Lithium-SGA (2015), Ausenco-Albemarle (2020) y CORFO-PUC (2021)

2.3.1.3 Áreas bajo protección oficial y otras figuras de conservación

Existen al menos tres figuras de protección dentro de la cuenca del Salar de Atacama: **Reserva Nacional Los Flamencos** (incluyendo el **Santuario de la Naturaleza Valle de la Luna**), el **Sitio Ramsar Sistema Hidrológico de Soncor** (incluido también en la Reserva Los Flamencos) y **El Santuario de la Naturaleza Laguna Tebenquiche**. Por otro lado, existen sistemas acuáticos que no se encuentran bajo ninguna figura de protección ambiental, pero para los cuales existe información de caracterización de ecosistemas: **La Punta-La Brava y Vegas de Tilopozo, Aguas de Quelana y Peine**. En la Tabla 2-17 se entrega una breve descripción de estas áreas a partir de la información descrita en CORFO-PUC (2021). La Figura 2-48 presenta la ubicación de estos sistemas protegidos.

Tabla 2-17: Descripción de áreas bajo protección oficial y otras figuras de conservación.

Área	Descripción
Reserva Nacional Los Flamencos	<p>Se ubica administrativamente en la comuna de San Pedro de Atacama, la Reserva está dividida en siete sectores: Salar de Tara, Salar de Aguas Calientes y Salar de Pujsa, ubicados en el Altiplano; Lagunas Miscanti, Miñiques, Valle de La Luna, Aguas de Quelana y Tambillo, en el sector del Salar de Atacama (CONAF, 2008; Villablanca y Ibarra, 2013).</p> <p>En toda su extensión, la reserva alberga a las tres especies de flamencos, brindándoles condiciones de reproducción, anidación y refugio ideales. En este lugar el flamenco andino o parina grande (<i>Phoenicoparrus andinus</i>) presenta sus mayores agregaciones en los periodos de verano e invierno. Estas condiciones únicas se ven favorecidas por la sostenida oferta trófica de microalgas y microinvertebrados disponible para los flamencos, tanto en cantidad como en diversidad.</p>
Santuario de la Naturaleza Valle de la Luna	<p>Área de gran interés científico y turístico. Es un sector bastante desprovisto de vegetación y fauna. Algunas de las especies de plantas que se pueden observar son especímenes de <i>Pluchea absinthioides</i> (brea), <i>Atriplex atacamensis</i> (cachiyuyos) y <i>Distichlis spicata</i> (grama salada). Dentro de la categoría de especies de mamíferos que habitan la zona son: zorro <i>Pseudalopex culpaeus</i> (culpeo), <i>Phyllotys darwini</i> (ratón orejudo), <i>Thylamys pallidior</i> (yaca de la puna) y <i>Agriornis albicauda</i> (mero de la puna). Se evidencian además ejemplares aislados de la lagartija del Norte (<i>Liolaemus</i> sp.).</p>
Sistema Hidrológico de Soncor	<p>El Sistema hidrológico de Soncor se encuentra incluido en el Plan de Gestión Participativa de la Reserva por estar dentro de la Reserva Nacional Los Flamencos (CONAMA, 2003). El sistema tiene una elevación media es de 2.300 m.s.n.m. y su área de protección que comprende 67.133,05 ha (CORFO-AMAKÁIK, 2017a).</p> <p>Está formado por tres lagunas someras Puilar, Chaxa (37 ha), Barros Negros (103 ha) (Dorador et al., 2018), clasificadas como salobres y permanentes de no más de 1,5 m de profundidad.</p>

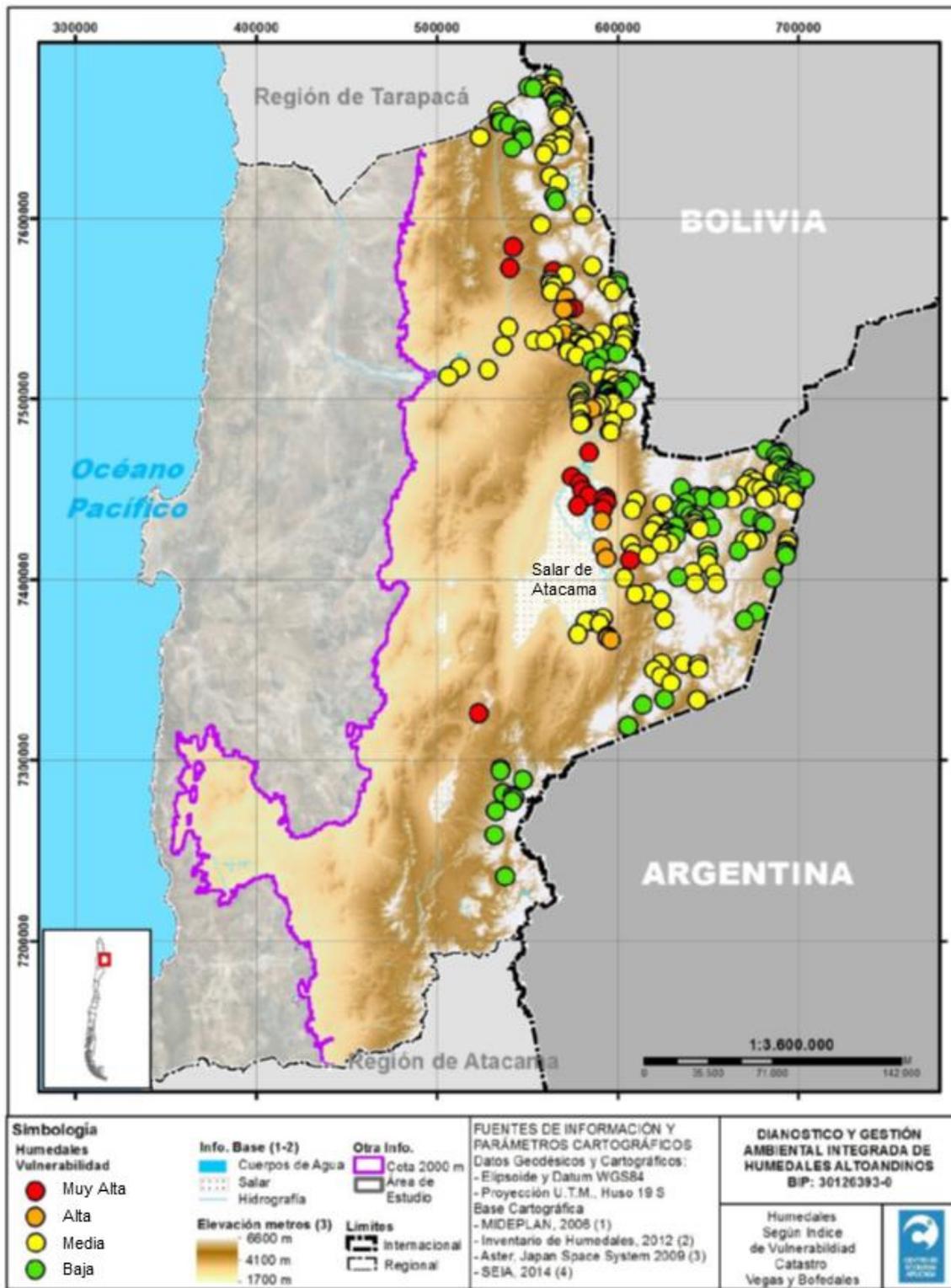
Área	Descripción
	Las lagunas albergan componentes microfaunísticos y microalgales, fuente alimentaria de importantes especies de avifauna migratoria como las tres especies de flamencos, chorlos y playeros, conformando el centro reproductivo más importante a nivel mundial de estas especies de flamencos: <i>Phoenicopterus chilensis</i> , <i>Phoenicoparrus jamesi</i> y <i>Phoenicoparrus andinus</i> .
Santuario de la Naturaleza Laguna Tebenquiche	Declarado Santuario de la Naturaleza en mayo del 2019 (Decreto n° 95), en este humedal altoandino se busca reservar los hábitats de flora y fauna (principalmente avifauna) y los distintos ecosistemas microbianos de microorganismos extremófilos presentes en la laguna. Se caracteriza por ser una laguna salina a hipersalina (38-150 gramos de sal/Litro) (Farías et al., 2014), variando estacionalmente. Su conductividad promedio es de 138 mS/cm. Su pH es moderadamente alcalino (varía entre 7,4 y 8,6), con concentraciones considerables de cloruros, sodio y sulfatos, y en menores proporciones potasio, magnesio y calcio (AMAKÁIK 2018).
Sistema La Punta-La Brava y Vegas de Tilopozo, Aguas de Quelana y Peine	Corresponden a sistemas hidrológicos que carecen de protección, sin embargo, contienen una gran biodiversidad tanto a nivel de macrobiota como de microbiota (Rockwood Lithium-SGA, 2015; Farías et al., 2017). Estos sistemas lagunares corresponden a cuerpos de menor extensión, comparados con aquellos del sistema de Soncor, y su origen se debe al afloramiento de aguas subterráneas ligados también a la interacción con la cuña salina ubicada al Este (Cornellá et al., 2009). El sector de Aguas de Quelana corresponde a un área de superficies inundadas estacionalmente y de pequeña extensión que se ubica al Sur del Sistema Hidrológico de Soncor. El sector de Tambillo se caracteriza por la existencia de un bosque de 370 ha de tamarugos (<i>Prosopis tamarugo</i>), sin la presencia de cursos de agua superficiales permanentes (CORFO-AMAKÁIK, 2017a).

Fuente: Elaboración propia a partir de CORFO-PUC (2021)

En el informe AMAKAIK (2018) se realizan comparaciones de los distintos elementos bióticos de los ecosistemas acuáticos. Entre los resultados de aquel informe destacan la gran diversidad de organismos en los distintos componentes de los ecosistemas acuáticos la cual es distinta para los distintos cuerpos de agua presentes en la cuenca del Salar. Al mismo tiempo se discute la necesidad de realizar más monitoreos para comprender de forma más acabada la dinámica de los distintos segmentos bióticos dentro de estos sistemas.

Con respecto a la vulnerabilidad de los sistemas de humedales y aguas continentales presentes en la cuenca del Salar de Atacama, el informe *Diagnóstico y gestión ambiental integrada de humedales altoandinos* (CEA, 2015) se realizó una caracterización de los humedales altoandinos de la Región de Antofagasta en donde establecen un Indicador general de vulnerabilidad de humedales (IGV). Este indicador toma en cuenta criterios tales

como: cercanía a extracción de agua, cercanía a comunidades, superficie, zonas de pastoreo, zonas de bebederos, y zonas de conservación y/o protección ambiental, con los cuales clasifica los humedales en categorías de vulnerabilidad "Muy alta", "Alta", "Media" y "Baja". La Figura 2-36 muestra la distribución geográfica de los humedales altoandinos según el catastro de SITHA-CIREN (Sistema de Información Territorial de Humedales Alto andino - Centro de Información de Recursos Naturales) de acuerdo con su IGV. De esta figura podemos desprender que los sistemas de humedales y de lagunas ubicados en las cercanías al Salar del Salar de Atacama y en la zona de afloramiento de la interfaz salina (Tabla 2-17), se encuentran en las categorías de vulnerabilidad alta y muy alta. Un estudio publicado recientemente (Gutiérrez et al. 2022) sugiere que una disminución en las aguas superficiales en el contexto de extracción de litio en el Salar de Atacama estaría poniendo en riesgo a las poblaciones de flamencos que anidan anualmente en el sector.



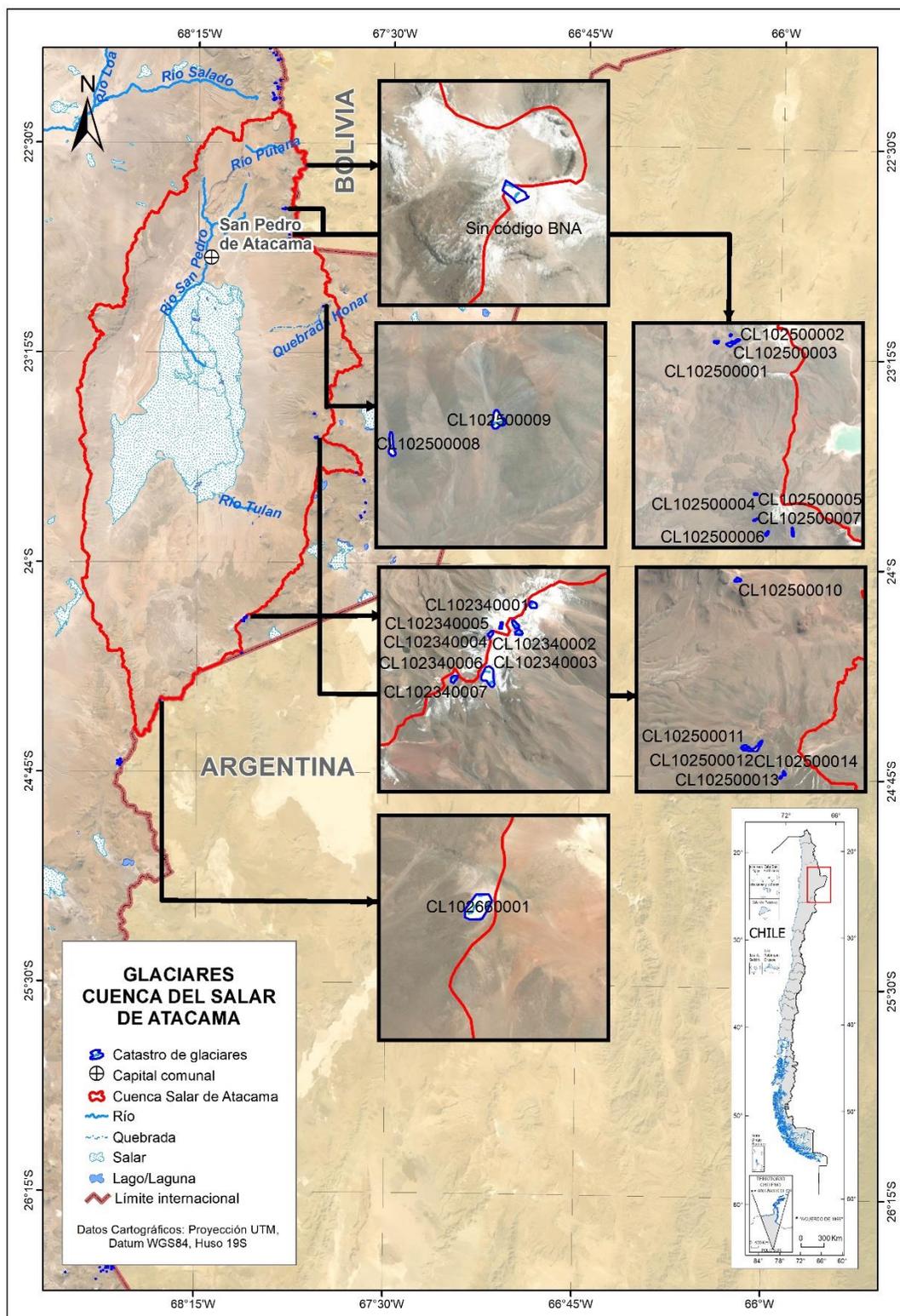
Fuente: SITHA-CIREN (CEA, 2015)

Figura 2-36: Distribución geográfica de humedales según el Indicador de Vulnerabilidad y Catastro de Vegas y Bofedales.

2.3.2 Glaciares

Los glaciares corresponden a cuerpos de agua en forma de hielo, los cuales se consideran reservas importantes de agua. Se cuenta con aproximadamente 24.114 glaciares en Chile, los cuales cubren una superficie total de 23.641 km². El 88% de ellos se encuentra en la zona Austral, el 7% en la zona Sur, el 4% en la zona Centro, mientras que el 1% restante se ubica en la zona Norte, sin incluir estos cuerpos de agua menores a 0,01 km² (UGN-DGA, 2019). Dentro del 1% de los glaciares de la zona Norte, aproximadamente 18 de estos glaciares se encuentran dentro de la cuenca del Salar de Atacama, cubriendo un área aproximada de 0,8 km². La Figura 2-37 muestra el catastro de glaciares blancos dentro de la cuenca del Salar de Atacama. No se encontraron antecedentes respecto del aporte que tienen estos glaciares blancos en el balance hídrico. No existen tampoco antecedentes respecto de la presencia de glaciares rocosos. Sin embargo, se puede presumir que dada la escasa superficie que cubren, su aporte es acotado a las zonas circundantes cercanas a su ubicación.

Estudios recientes muestran que los glaciares ubicados en la zona que se conoce como Andes Desérticos que cubre desde el extremo Norte hasta la zona Central de Chile han visto una reducción en su masa (-0,12 m de agua equivalente) especialmente en el periodo 2009-2018 (a diferencia del periodo 2000-2009 donde se observa una leve ganancia en volumen) (Dussaillant et al., 2019). En comparación con otras zonas con glaciares en Sudamérica los cambios en los Andes Desérticos son menores (Braun et al., 2019). El contraste entre aumento en temperatura, pero a la vez aumento en precipitación puede explicar porque en esta zona el retroceso en glaciares ha sido menor. A partir de una revisión bibliográfica no se encontraron estudios específicos de los glaciares en la cuenca del Salar de Atacama.



Fuente: Elaboración propia a partir de información de la DGA

Figura 2–37: Distribución espacial de los glaciares reconocidos por la DGA en la cuenca del Salar de Atacama.

2.4 INFRAESTRUCTURA HÍDRICA

En este acápite se describe la infraestructura existente en la cuenca del Salar de Atacama, la cual consiste en: Redes de canales de agua y arranques para abastecimiento de agua potable y riego; Pozos de bombeo para abastecimiento de agua potable y producción económica; Obras de protección fluvial, y Redes de medición.

2.4.1 Obras hidráulicas

2.4.1.1 Embalses y centrales hidroeléctricas

En cuanto a grandes embalses, la cuenca del Salar de Atacama no presenta dentro de ella este tipo de obras hidráulicas. Se identifica solo un embalse menor en la quebrada Zapar, a 31 kilómetros al Sur de San Pedro de Atacama, específicamente en las coordenadas 23°07'01.2"S 68°00'58.6"W (Figura 2-38), donde se ubican diferentes parcelas en las cuales se desarrolla una pequeña agricultura.

Las aguas que se utilizan son superficiales generándose su primera gran obra de riego en el año 1977 el Tranque de Zapar, gracias al esfuerzo realizado por los comuneros y el apoyo de funcionarios del Servicio Agrícola y Ganadero (SAG). Dicha infraestructura consistió en un tranque de 12.000 m³ y un muro de 10 metros de altura, el cual desemboca sus aguas en pequeños canales que permiten la distribución de dicho recurso entre las parcelas.

2.4.1.2 Protección de cauces

Las obras de cauces dentro de la región de Antofagasta se han concentrado principalmente en los sectores del Oasis de Calama, San Pedro de Atacama, Río Grande y Quillagua, mediante la ejecución de defensas fluviales. Esta protección consiste en sistemas de gavionaje, movimientos de tierra para encauzamiento de ríos y sistemas de enrocados para la protección de riberas. Aun cuando se cuente con estas defensas, históricamente estas obras han sido insuficientes, puesto que no todos los ríos presentan estudios de diagnóstico y diseño de obras (MOP, 2012).

De las iniciativas que se presentaron en el Plan Regional de Infraestructura y Gestión de los Recursos Hídricos, durante los años 2013 y 2014 se realizaron obras de emergencias, construcción y mejoramiento de protección de cauces en San Pedro de Atacama, por un monto de \$376.637.884 (CNR-AMPHOS, 2017). Además, en el año 2014 también se hicieron mejoramientos en la protección del Cauce Río Grande, por \$119.316.064.

En la zona en general persisten las demandas de obras hidráulicas, tanto de los sistemas de canales como de protección de las crecidas de los ríos, debido al impacto que generan los aluviones sobre todo en periodos estivales (CNR-AMPHOS, 2017).

2.4.1.3 Infraestructura de riego

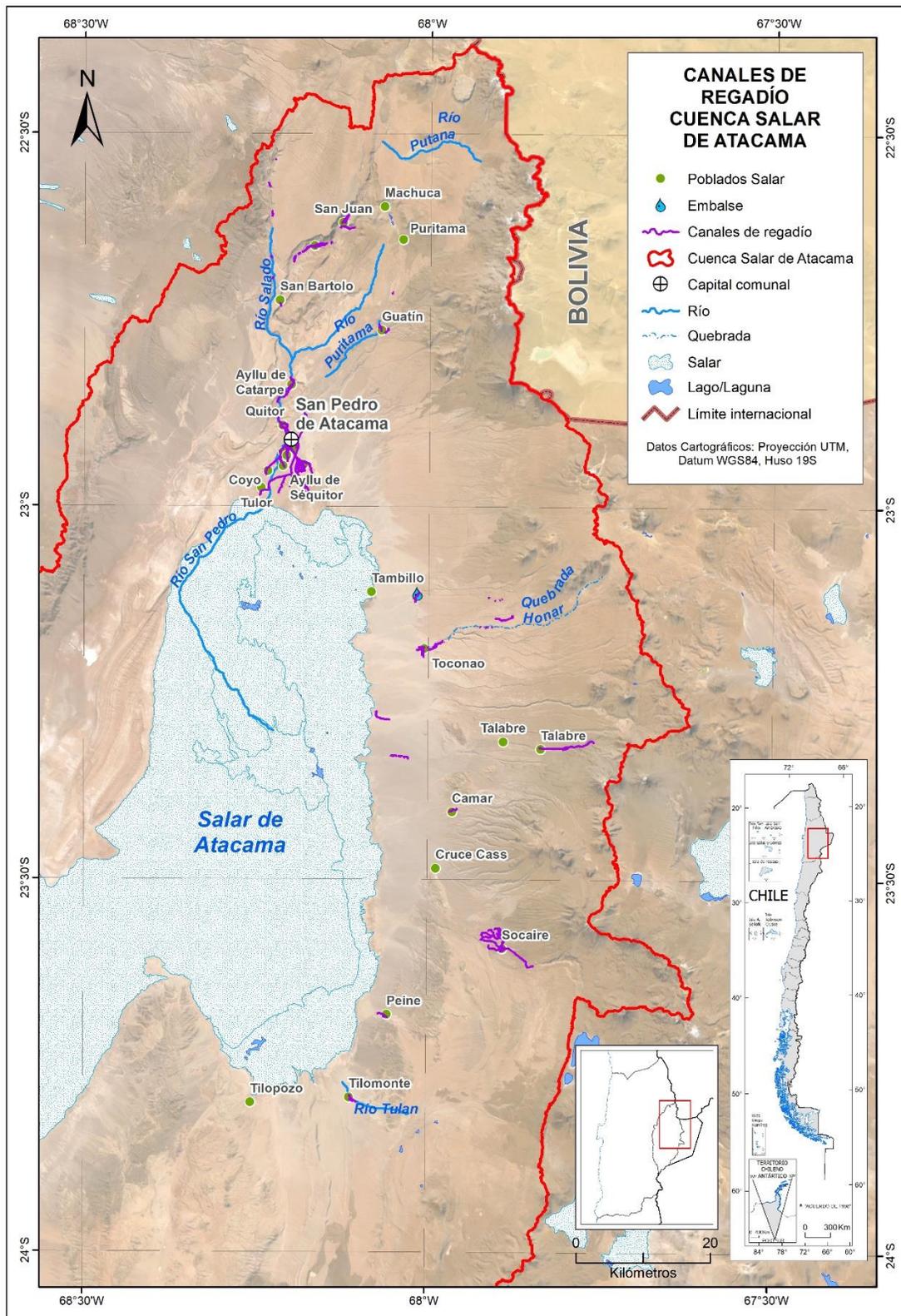
De acuerdo con los antecedentes recopilados, se identificaron 70 bocatomas y una extensión aproximada de 190 km de red de canales de regadío, donde una parte importante de la red está concentrada en zonas de asentamientos humanos. La Tabla 2-18, Figura 2-38 y la Figura 2-39 detallan la distribución de estas obras.

Tabla 2-18: Registro de bocatomas y canales de regadío, por subcuenca, en la cuenca del Salar de Atacama.

Subcuenca	N° de captaciones	N° de canales de regadío	Longitud (Km) canales regadío
Quebrada Mal Paso	1	11	30,6
Río San Pedro	31	45	61,5
Río Tulán	1	2	2,6
Río Vilama	9	17	22,5
Salar de Atacama	28	55	72,7
Total	70	130	189,9

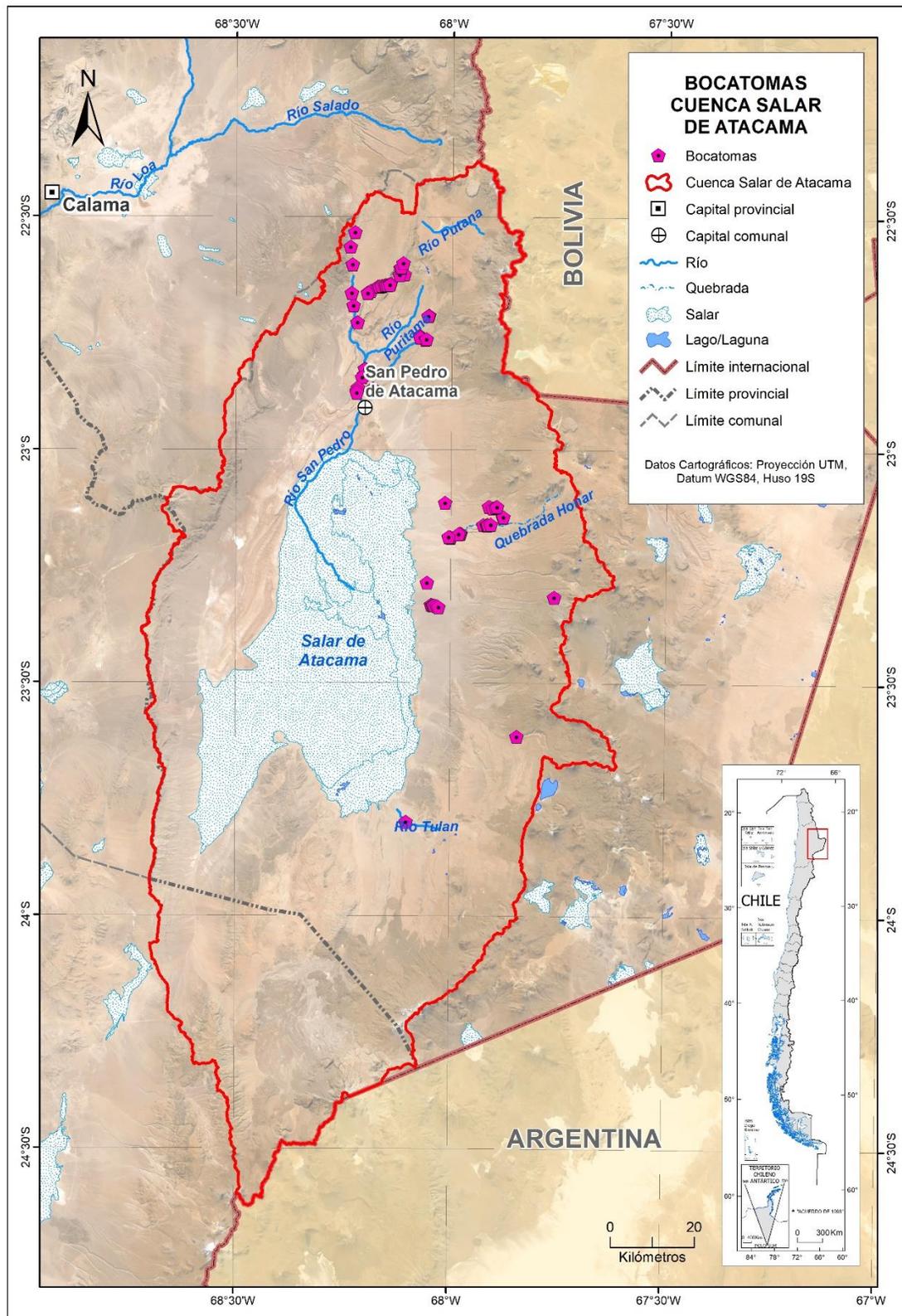
Fuente: Elaboración Propia

Nota: Solo se indican las subcuencas en donde para alguna de las variables existe al menos 1 registro.



Fuente: Elaboración propia a partir de CNR-Arrau (2014)

Figura 2-38: Red de canales de regadío en la cuenca del Salar de Atacama.



Fuente: Elaboración propia a partir de CNR-Arrau (2014)

Figura 2-39: Red de bocatomas en la cuenca del Salar de Atacama.

Dentro de la subcuenca del río San Pedro en la cuenca del Salar de Atacama, se cuenta con un total de 20 compuertas dentro de la red de canales. La Tabla 2-19, presenta el nombre del canal en el cual se encuentra, código identificador, coordenadas geográficas y distancia entre el comienzo del canal aguas arriba hasta donde ubica la compuerta aguas abajo.

Tabla 2-19: Compuertas en la cuenca del Salar de Atacama. Datum WG84-19S

Nombre canal	Código	UTM Este	UTM Norte	Km
Cuchabrachi	CU-CO-01	581.915	7.475.286	0,220
Cuchabrachi	CU-CO-02	581.978	7.475.118	0,432
Patilla	PA-CO-01	582.089	7.475.110	0,214
Patilla	PA-CO-02	582.195	7.475.022	0,358
Patilla	PA-CO-03	582.226	7.475.029	0,385
Patilla	PA-CO-04	582.361	7.474.740	0,770
Patilla	PA-CO-05	582.222	7.474.467	1,095
Patilla	PA-CO-06	581.979	7.474.196	1,565
Patilla	PA-CO-07	581.898	7.473.954	1,823
Patilla	PA-CO-08	581.901	7.473.919	1,860
Patilla	PA-CO-09	581.866	7.473.824	1,948
Patilla	PA-CO-10	581.754	7.473.681	2,108
Patilla	PA-CO-11	581.775	7.473.709	2,154
Tambillo	TA-CO-01	580.802	7.472.890	0,835
Tambillo	TA-CO-02	579.983	7.472.084	2,038
Tambillo	TA-CO-03	579.961	7.472.074	2,059
Bellavista	BE-CO-01	580.031	7.469.938	0,289
San Pedro	SP-CO-01	581.562	7.467.032	4,422
San Pedro	SP-CO-02	580.111	7.469.114	1,104
San Pedro	SP-CO-03	580.114	7.469.100	1,120

Fuente: Elaboración propia a partir de CNR-Arrau Ingeniería EIRL (2014)

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

Existen 5 organismos dentro de la cuenca del Salar de Atacama encargados de abastecer de agua potable a los habitantes. Tanto el pueblo de San Pedro de Atacama como el pueblo de Toconao se abastecen de agua potable a través del "Comité de Agua Potable Rural de San Pedro de Atacama" (CAPRA) y el "Comité de Agua Potable de Toconao", respectivamente, aunque estos organismos no están organizados a través de empresas sanitarias ni concesiones. Además, dentro de la cuenca está la APR de la localidad de Río Grande, la cual abastece a 90 habitantes aproximadamente a partir de 40 arranques. El APR de la localidad de Peine, por su lado, abastece a aproximadamente 20 habitantes mediante un estanque regulador de 100 m³, y la APR ubicado en la localidad de Socaire abastece a 372 habitantes aproximadamente con agua proveniente de una vertiente. La Figura 3-5 muestra la espacialización geográfica de los comités de APR de la cuenca del Salar de Atacama.

En el año 2010 comenzó la ejecución del proyecto "Mejoramiento Integral Sistema de Agua Potable San Pedro de Atacama" encargado por la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) de la región de Antofagasta, y hoy es operado por el Comité de Agua Potable Rural de San Pedro de Atacama. Esta obra tiene como objetivo mejorar el sistema de abastecimiento de la localidad de San Pedro gracias a la construcción de una red de conducción, junto a un sistema de tratamiento de aguas por osmosis inversa alimentado por 3 pozos que extraen

aguas subterráneas en el sector del Ayllu de Vilama, aproximadamente a 3 km al NE de San Pedro de Atacama. Con ello, se beneficia directamente a alrededor de 6.200 personas que viven en los sectores de San Pedro, Talabre, Río Grande, Socaire y Toconao. El proyecto contó con el financiamiento del Gobierno Regional de Antofagasta a través del Fondo Nacional de Desarrollo Regional (FNDR), teniendo un costo total aproximado de \$2.575.817.000. A pesar de esta mejora, en la actualidad el sistema no es capaz de suministrar agua potable a todas las comunidades, por lo que algunas de ellas se siguen abasteciendo en parte por camiones aljibes facilitados por CAPRA, esta información se presenta con mayor detalle en el acápite 3.1.2 Agua potable rural, actual y proyectada.

El Comité de APR de Toconao posee una planta de tratamiento de agua potable mediante la cual se realiza el proceso de remoción de arsénico, abasteciendo del recurso a 800 familias del poblado de Toconao (1.320 habitantes aproximadamente, a partir de 330 arranques). La fuente de suministro consiste en una aducción desde la Quebrada de Vilaco, la cual es abducida para ser filtrada, tratada y almacenada en estanques.

Además, en la cuenca se cuenta con una planta de tratamiento de aguas servidas, la cual usa tecnología de lodos activados para tratar los recursos que llegan a ella. Durante la temporada alta, la planta mantiene en promedio un caudal de entrada de 18,06 l/s y para la temporada baja de 6,94 l/s, esto genera una sobrecarga en el sistema ya que la planta tiene una capacidad de tratamiento entre 10 y 11 l/s (ver Anexo H, acápite 2.2.4.2). Luego de pasar por una serie de filtros y cámaras para separar diferentes componentes, el agua llega al reactor biológico, para después ser clarificada y depositada en la tierra donde se infiltra en el terreno.

En cuanto a la naturaleza de las fuentes de suministro de agua de cada uno de los sistemas de APR en la cuenca del Salar de Atacama, solo CAPRA se abastece de aguas subterráneas. Los sistemas de APR emplazados en Peine, Toconao, Socaire y Río Grande, en cambio, se abastecen desde aguas superficiales. La Tabla 2-20 resume el registro de APRs en la cuenca del salar de Atacama.

Tabla 2-20: Registro de APRs, por subcuenca, en la cuenca del Salar de Atacama.

Subcuenca	Nº de APRs
Quebrada Mal Paso	1
Río San Pedro	2
Salar de Atacama	2
Total	5

Nota: Solo se indican las subcuencas en donde para alguna de las variables existe al menos 1 registro.
Fuente: Elaboración Propia

2.4.1.5 Pozos

Los pozos de bombeo se utilizan para diferentes fines dentro de esta cuenca, donde se destaca el uso para agua potable en las diferentes localidades, extracción de salmuera por parte de empresas mineras y bombeo de pruebas para diferentes mediciones. La Tabla 2-21 resume la distribución por subcuenca tanto de los pozos de bombeo como las punteras en la cuenca del Salar de Atacama.

La Figura 2-40 muestra la ubicación geográfica de los 356 pozos en la cuenca de estudio, donde 317 corresponden a pozos de bombeo de salmuera, 38 de agua industrial y 1 de agua potable.

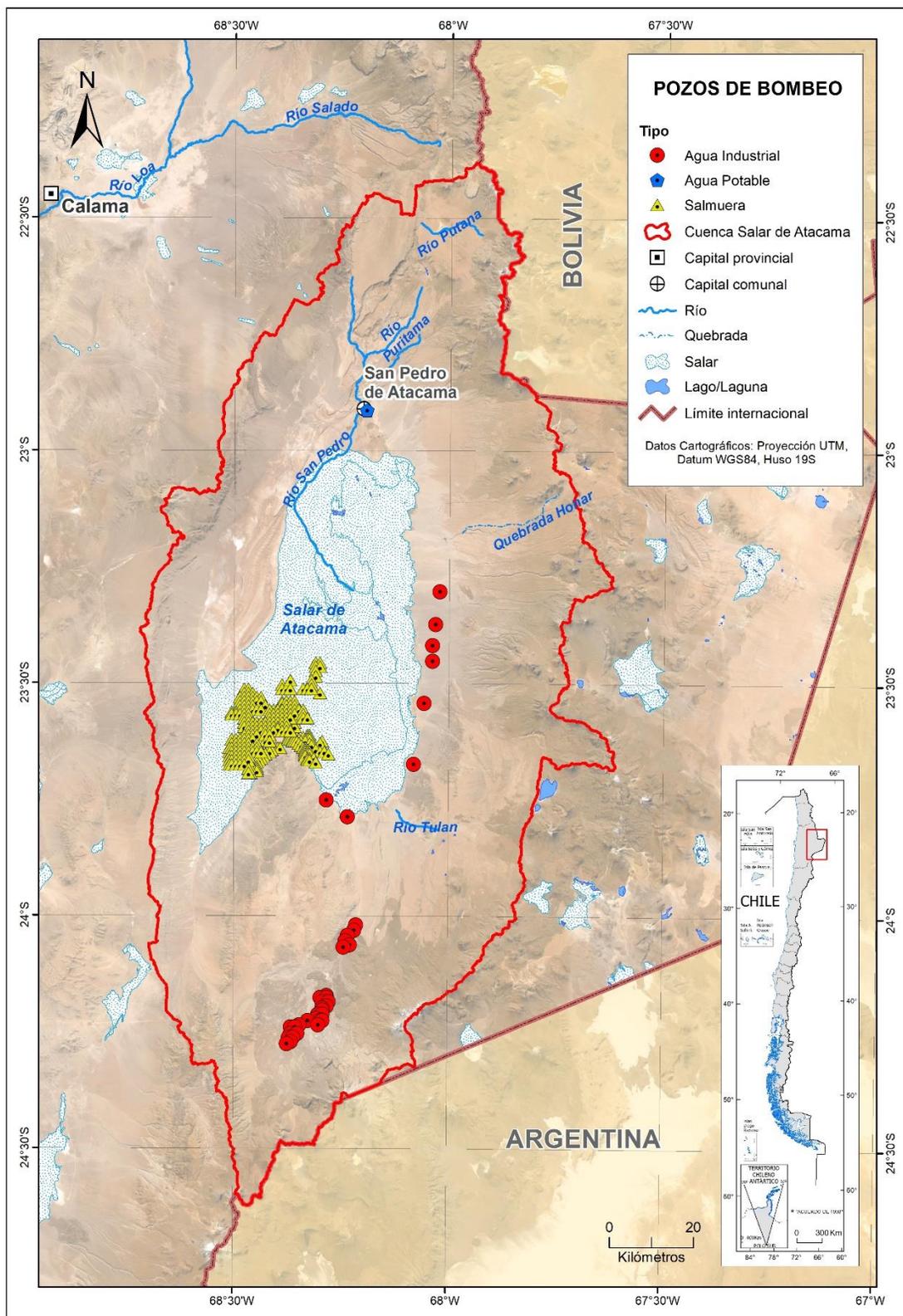
Además de los pozos, la cuenca del Salar de Atacama también presenta punteras, que son pozos de pequeño diámetro y profundidad para el control de aguas subterráneas. Existen un total de 95 punteras, las que en su mayoría son propiedad de Minera Escondida, Albemarle y SQM (CNR-Arrau Ingeniería EIRL, 2014), estas se presentan en la Figura 2-41.

Tabla 2-21: Registro de pozos y punteras, por subcuenca, en la cuenca del Salar de Atacama.

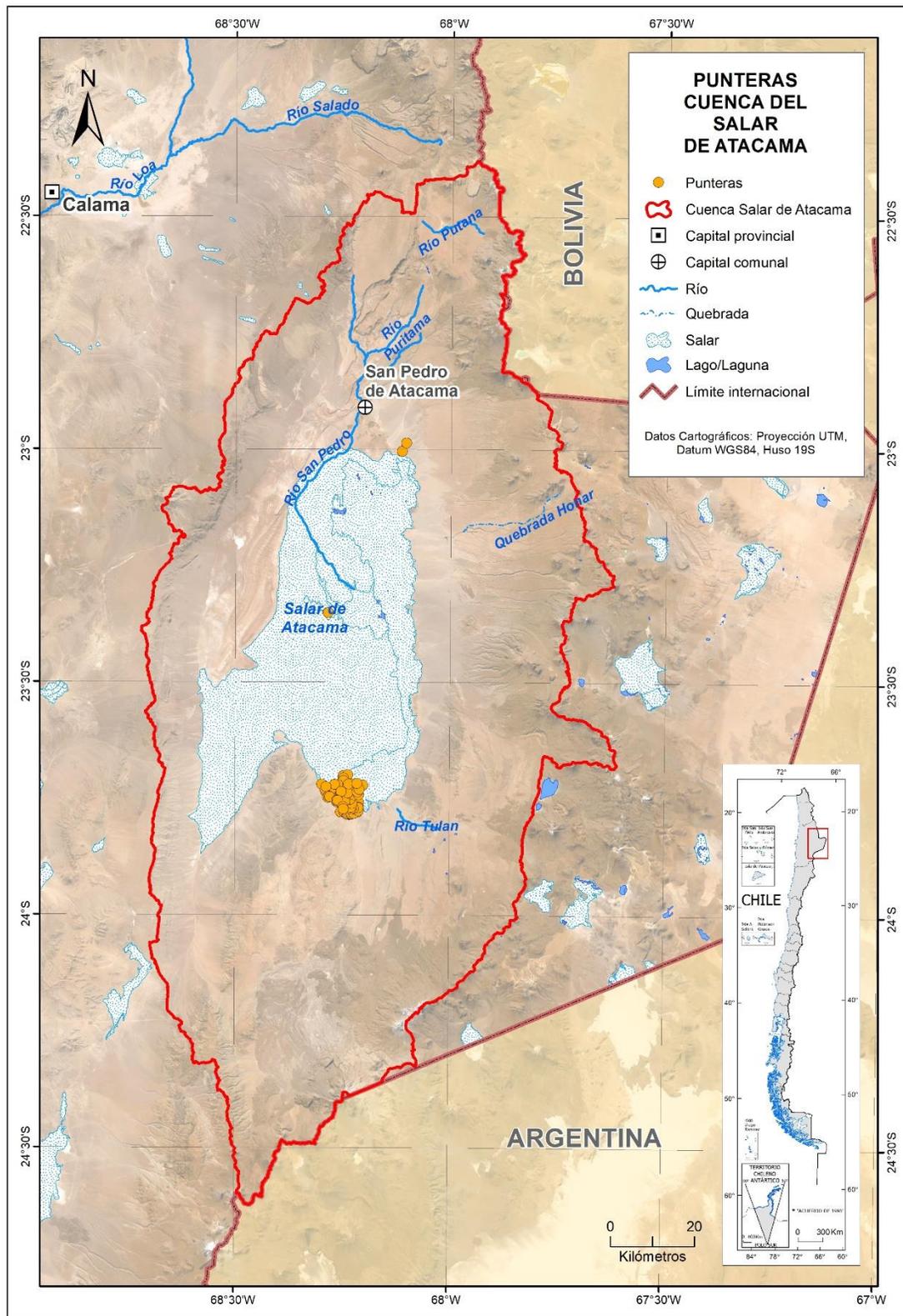
Subcuenca	N° de Pozos	N° de punteras
Pampa de Socompa	9	0
Quebrada Mal Paso	1	0
Río Vilama	1	0
Salar de Atacama	345	95
Total	356	95

Nota: Solo se indican las subcuencas en donde para alguna de las variables existe al menos 1 registro.

Fuente: Elaboración Propia



Fuente: Elaboración propia a partir de información de CORFO-Amphos21 (2018), SMA y SEA
Figura 2-40: Red de pozos de bombeo en la cuenca del Salar de Atacama.



Fuente: Elaboración propia a partir de Mapoteca DGA (2021a)

Figura 2-41: Red de punteras en la cuenca del Salar de Atacama.

La información sobre niveles observados de pozos y punteras dispuestos en la cuenca se obtiene a partir del estudio CORFO-AMPHOS21 (2021), lo cual se detalla en el acápite 4.3.7.1 del Anexo H, donde se presentan los puntos de medición y niveles.

2.4.2 Red hidrométrica

La gestión adecuada de los recursos hídricos y otros componentes de un sistema socioecológico requieren de un adecuado monitoreo del estado de las variables críticas que componen dicho sistema. Con monitoreos adecuados se puede comprender el funcionamiento del sistema y evaluar los efectos que tienen intervenciones de manera directa o indirecta a través de la ejecución de políticas públicas, planes, incentivos y regulaciones. Dado ese rol se ha considerado importante destacar los sistemas de monitoreo que actualmente están en operación en la cuenca del Salar de Atacama.

Respecto al monitoreo de variables hidrometeorológicas en la cuenca del Salar de Atacama realizado por la DGA, la DMC, el INIA y la red privada de estaciones de SQM, se cuenta con 12 estaciones con registros de fluviometría, 29 estaciones con registros meteorológicos (temperaturas extremas, precipitación, viento, evaporación y humedad relativa). Tres estaciones DGA han medido nivel de pozo y 7 estaciones poseen mediciones de calidad del agua (parámetros diversos), dentro de los cuales destacan la conductividad eléctrica, concentración de cloruros e isótopos. Su importancia radica en que dichos compuestos permiten inferir el origen de las aguas subterráneas y su dirección. Dichas estaciones se resumen a escala de subcuenca en la Tabla 2-22, y se muestran en la Tabla 2-23 y Figura 2-42.

Tabla 2-22: Registro de estaciones hidrometeorológicas, por subcuenca, en la cuenca del Salar de Atacama.

Subcuenca	Meteorológicas	Niveles de pozo	Calidad de aguas	Fluviométricas
Pampa de Socompa	1	0	0	0
Quebrada Mal Paso	2	0	1	1
Río San Pedro	2	0	1	1
Río Tulán	0	0	1	2
Río Vilama	1	0	3	2
Salar de Atacama	22	3	1	6
Total	28	3	7	12

Nota: Solo se indican las subcuencas en donde para alguna de las variables existe al menos 1 registro.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 2–23: Estaciones hidrometeorológicas y de calidad de aguas en la cuenca del Salar de Atacama.

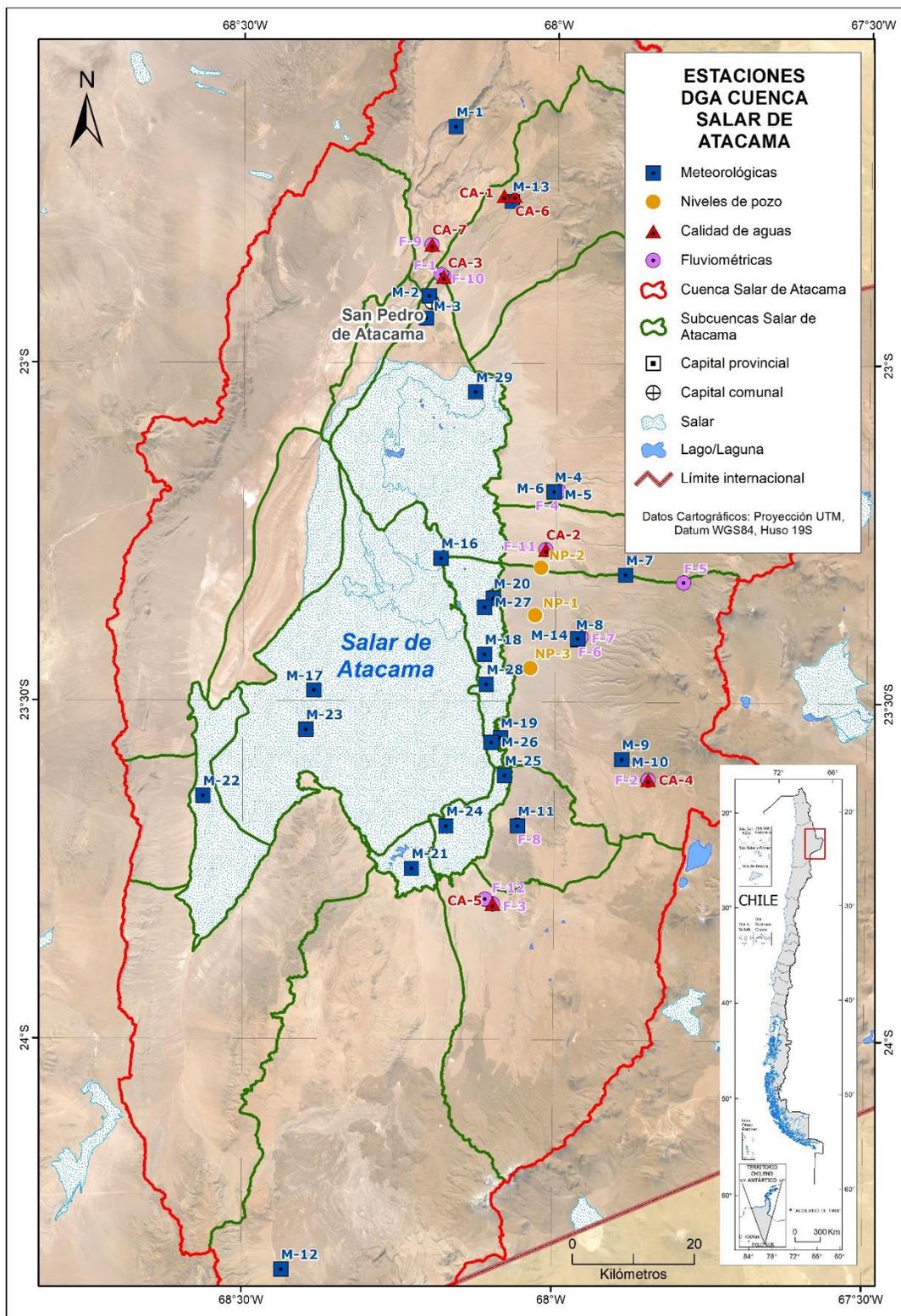
Tipo	ID	Nombre	Fuente	Estado	Variables medidas
Fluviométricas	F-1	Canal Vilama en Vilama	DGA	Vigente	<ul style="list-style-type: none"> • Caudales Medios Mensuales • Caudales Medios Diarios • Altura y Caudal Instantáneo (Diario)
	F-2	Canal Cuno en Socaire	DGA	Vigente	
	F-3	Canal Tilomonte Antes Represa	DGA	Vigente	
	F-4	Quebrada de Jerez	DGA	Vigente	
	F-5	Quebrada de Talabre en Tumbre	DGA	Vigente	
	F-6	Quebrada de Camar - Vertiente 1	DGA	Vigente	
	F-7	Quebrada de Camar - Vertiente 2	DGA	Vigente	
	F-8	Vertiente Peine en Peine	DGA	Vigente	
	F-9	Río San Pedro en Cuchabrachi	DGA	Vigente	
	F-10	Río Vilama en Vilama	DGA	Suspendida	
	F-11	Canal Aguas Blancas	DGA	Suspendida	
	F-12	Canal Tulan en Tilomonte	DGA	Suspendida	
Meteorológicas	M-1	Río Grande	DGA	Vigente	<ul style="list-style-type: none"> • Precipitaciones Mensuales • Precipitaciones Máximas Anuales en 24 horas • Precipitaciones Diarias
	M-2	San Pedro de Atacama	DGA	Vigente	<ul style="list-style-type: none"> • Temperaturas Medias Mensuales • Temperaturas Medias Diarias de Valores Sinópticos • Temperaturas Diarias Extremas • Precipitaciones Mensuales • Precipitaciones Máximas Anuales en 24 horas • Precipitaciones Diarias
	M-3	San Pedro de Atacama (INIA)	INIA	Vigente	<ul style="list-style-type: none"> • Temperaturas Medias Mensuales • Temperaturas Medias Diarias de Valores Sinópticos • Temperaturas Diarias Extremas • Precipitaciones Mensuales • Precipitaciones Máximas Anuales en 24 horas • Precipitaciones Diarias
	M-4	Toconao Experimental	DGA	Suspendida	<ul style="list-style-type: none"> • Temperaturas Medias Mensuales • Temperaturas Medias Diarias de Valores Sinópticos • Temperaturas Diarias Extremas • Precipitaciones Mensuales • Precipitaciones Máximas Anuales en 24 horas • Precipitaciones Diarias
	M-5	Toconao (INIA)	INIA	Vigente	<ul style="list-style-type: none"> • Temperaturas Medias Mensuales • Temperaturas Medias Diarias de Valores Sinópticos

Tipo	ID	Nombre	Fuente	Estado	Variables medidas
					<ul style="list-style-type: none"> • Temperaturas Diarias Extremas • Precipitaciones Mensuales • Precipitaciones Máximas Anuales en 24 horas • Precipitaciones Diarias
	M-6	Toconao Retén	DGA	Suspendida	<ul style="list-style-type: none"> • Temperaturas Medias Mensuales • Temperaturas Medias Diarias de Valores Sinópticos • Temperaturas Diarias Extremas • Precipitaciones Mensuales • Precipitaciones Máximas Anuales en 24 horas • Precipitaciones Diarias
	M-7	Talabre	DGA	Vigente	<ul style="list-style-type: none"> • Precipitaciones Mensuales • Precipitaciones Máximas Anuales en 24 horas • Precipitaciones Diarias
	M-8	Camar	DGA	Vigente	<ul style="list-style-type: none"> • Precipitaciones Mensuales • Precipitaciones Máximas Anuales en 24 horas • Precipitaciones Diarias
	M-9	Socaire	DGA	Vigente	<ul style="list-style-type: none"> • Temperaturas Medias Mensuales • Temperaturas Medias Diarias de Valores Sinópticos • Temperaturas Diarias Extremas • Precipitaciones Mensuales • Precipitaciones Máximas Anuales en 24 horas • Precipitaciones Diarias
	M-10	Socaire (INIA)	INIA	Vigente	<ul style="list-style-type: none"> • Temperaturas Medias Mensuales • Temperaturas Medias Diarias de Valores Sinópticos • Temperaturas Diarias Extremas • Precipitaciones Mensuales • Precipitaciones Máximas Anuales en 24 horas • Precipitaciones Diarias
	M-11	Peine	DGA	Vigente	<ul style="list-style-type: none"> • Temperaturas Medias Mensuales • Temperaturas Medias Diarias de Valores Sinópticos • Temperaturas Diarias Extremas • Precipitaciones Mensuales • Precipitaciones Máximas Anuales en 24 horas • Precipitaciones Diarias

Tipo	ID	Nombre	Fuente	Estado	Variables medidas
	M-12	Monturaqui	DGA	Suspendida	Sin información
	M-13	Guatin	DGA	Vigente	<ul style="list-style-type: none"> • Temperaturas Medias Mensuales • Temperaturas Medias Diarias de Valores Sinópticos • Temperaturas Diarias Extremas • Precipitaciones Mensuales • Precipitaciones Máximas Anuales en 24 horas • Precipitaciones Diarias
	M-14	Camar (INIA)	INIA	Vigente	<ul style="list-style-type: none"> • Temperaturas Medias Mensuales • Temperaturas Diarias Extremas • Precipitaciones Mensuales • Precipitaciones Diarias
	M-15	Toconao (DMC)	DMC	Vigente	<ul style="list-style-type: none"> • Temperaturas Medias Mensuales • Temperaturas Diarias Extremas • Precipitaciones Mensuales • Precipitaciones Diarias
	M-16	Chaxa	SQM	Vigente	<ul style="list-style-type: none"> • Temperaturas Medias Mensuales • Temperaturas Diarias Extremas • Precipitaciones Mensuales • Precipitaciones Diarias
	M-17	SOP	SQM	Vigente	<ul style="list-style-type: none"> • Temperaturas Medias Mensuales • Precipitaciones Mensuales
	M-18	LZA3-2	SQM	Vigente	<ul style="list-style-type: none"> • Temperaturas Medias Mensuales • Precipitaciones Mensuales
	M-19	LZA12-2	SQM	Vigente	<ul style="list-style-type: none"> • Temperaturas Medias Mensuales • Precipitaciones Mensuales
	M-20	LZA12-1	SQM	Vigente	<ul style="list-style-type: none"> • Temperaturas Medias Mensuales • Precipitaciones Mensuales
	M-21	LZA10-1	SQM	Suspendida	<ul style="list-style-type: none"> • Temperaturas Medias Mensuales • Precipitaciones Mensuales
	M-22	Cordillera de la Sal	SQM	Suspendida	<ul style="list-style-type: none"> • Temperaturas Medias Mensuales • Precipitaciones Mensuales
	M-23	KCL	SQM	Vigente	<ul style="list-style-type: none"> • Temperaturas Medias Mensuales • Temperaturas Diarias Extremas • Precipitaciones Mensuales • Precipitaciones Diarias
	M-24	Interna	SQM	Suspendida	<ul style="list-style-type: none"> • Temperaturas Medias Mensuales • Precipitaciones Mensuales
	M-25	LZA7-2	SQM	Vigente	<ul style="list-style-type: none"> • Temperaturas Medias Mensuales • Precipitaciones Mensuales
	M-26	LZA7-1	SQM	Vigente	<ul style="list-style-type: none"> • Temperaturas Medias Mensuales • Precipitaciones Mensuales
	M-27	LZA3-3	SQM	Vigente	<ul style="list-style-type: none"> • Temperaturas Medias Mensuales

Tipo	ID	Nombre	Fuente	Estado	Variables medidas
					<ul style="list-style-type: none"> • Precipitaciones Mensuales
	M-28	Quelana	SQM	Vigente	<ul style="list-style-type: none"> • Temperaturas Medias Mensuales • Precipitaciones Mensuales
	M-29	LZA12-3	SQM	Suspendidas	<ul style="list-style-type: none"> • Temperaturas Medias Mensuales • Precipitaciones Mensuales
Niveles Pozo	NP-1	Alana N°1	DGA	Suspendida	<ul style="list-style-type: none"> • Niveles Estáticos en Pozos (Mensual)
	NP-2	Mullay N°1	DGA	Suspendida	<ul style="list-style-type: none"> • Niveles Estáticos en Pozos (Mensual)
	NP-3	Socaire N°5	DGA	Suspendida	<ul style="list-style-type: none"> • Niveles Estáticos en Pozos (Mensual)
Calidad de aguas	CA-1	Río Puritama en Huatin (Ca)	DGA	Suspendida	<ul style="list-style-type: none"> • Parámetros Físico-Químicos (Mensual)
	CA-2	Canal Aguas Blancas	DGA	Suspendida	<ul style="list-style-type: none"> • Parámetros Físico-Químicos (Mensual)
	CA-3	Canal Vilama en Vilama	DGA	Vigente	<ul style="list-style-type: none"> • Parámetros Físico-Químicos (Mensual)
	CA-4	Canal Cuno en Socaire	DGA	Vigente	<ul style="list-style-type: none"> • Parámetros Físico-Químicos (Mensual)
	CA-5	Canal Tilomonte Antes Represa	DGA	Vigente	<ul style="list-style-type: none"> • Parámetros Físico-Químicos (Mensual)
	CA-6	Río Puripica en Huatin (Ca)	DGA	Suspendida	<ul style="list-style-type: none"> • Parámetros Físico-Químicos (Mensual)
	CA-7	Río San Pedro en Cuchabrachi	DGA	Vigente	<ul style="list-style-type: none"> • Parámetros Físico-Químicos (Mensual)

Fuente: Red hidrométrica la DGA BNASIGIRH, de la DMC, INIA y SQM (2020)



Fuente: Elaboración propia a partir de DGA BNASIGIRH (2019)

Figura 2-42: Localización espacial de los distintos tipos de estaciones distribuidas en la cuenca del Salar de Atacama.

Cabe destacar que, además de los registros oficiales de las estaciones de la DGA, existen datos públicos dispuestos en los estudios de impacto ambiental de las empresas Albemarle, Minera Escondida Ltda., SQM y CMZ por el Servicio de Evaluación Ambiental y en los expedientes de los seguimientos ambientales asociados a las RCA publicados por la Superintendencia del Medio Ambiente, entre otros estudios. Estos reportes y planes de seguimiento presentan registros correspondientes a mediciones de variables hidrometeorológicas, fluviométricas, monitoreo de calidad de aguas y niveles piezométricos. La disposición geográfica de los registros de niveles piezométricos de los instrumentos de monitoreo se presenta en la Tabla 2-24 y desde la Figura 2-43 y Figura 2-44.

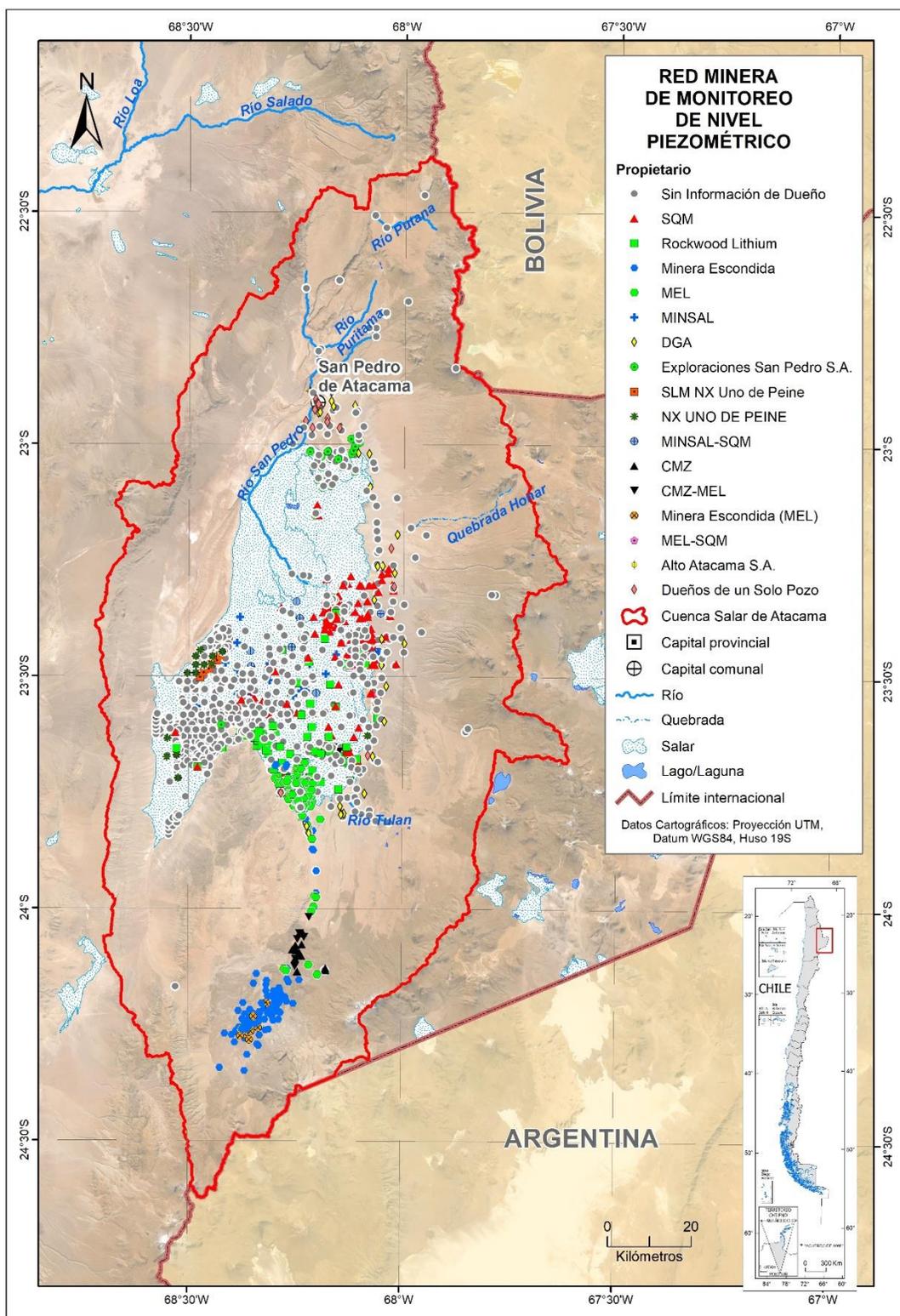
Tabla 2-24: Registro de la red minera de monitoreo de nivel piezométrico y de precipitación y evaporación, por subcuenca, en la cuenca del Salar de Atacama.

Subcuenca	Nivel piezométrico	Precipitación (SQM y Albemarle)	Evaporación
Pampa de Socompa	51	0	0
Quebrada del Agua Colorada	1	0	0
Quebrada Mal Paso	10	0	0
Río San Pedro	28	0	0
Río Tulán	9	0	0
Río Vilama	18	0	0
Salar de Atacama	1666	14*	52
Total	1783	14	52

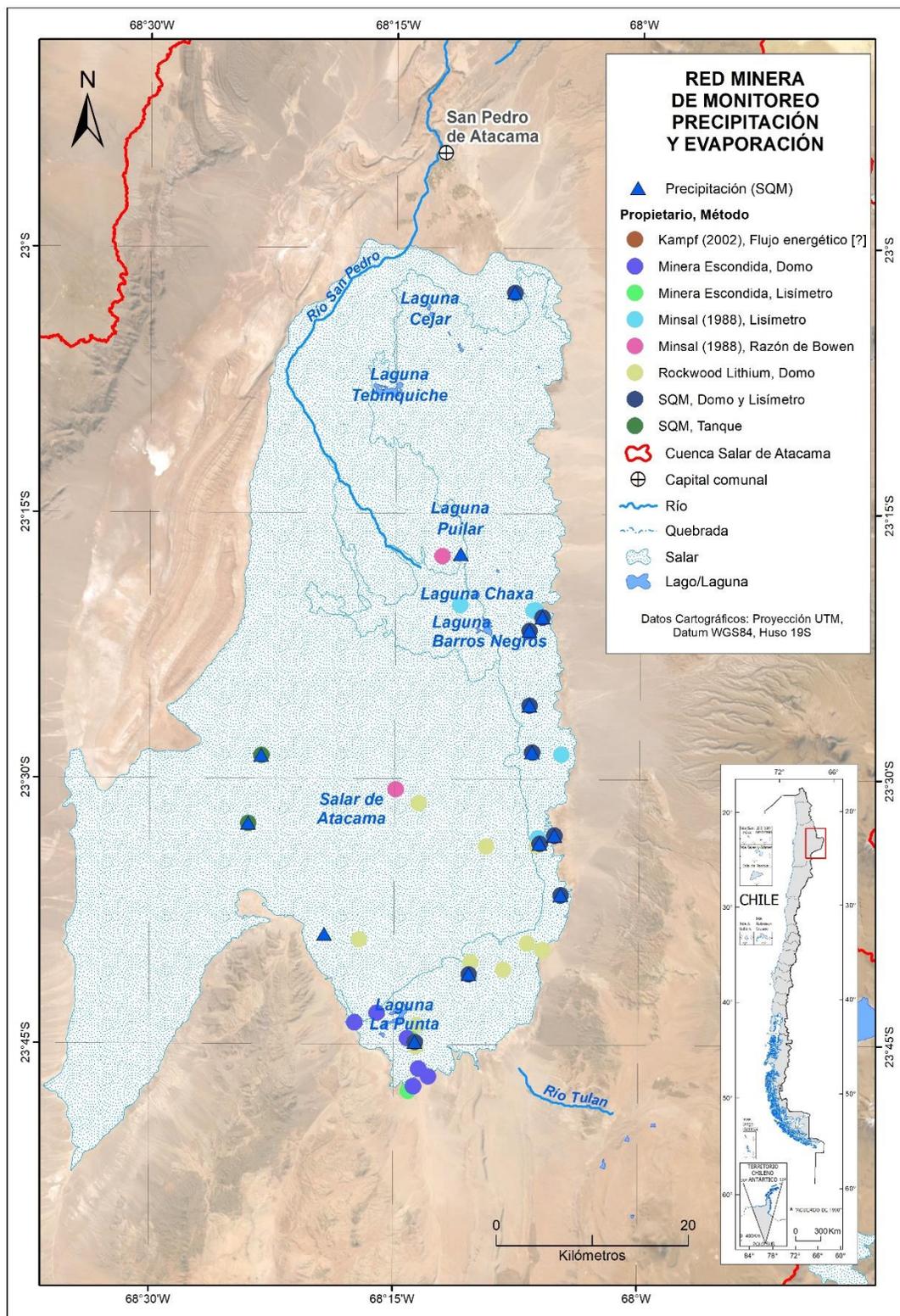
Nota 1: Solo se indican las subcuencas en donde para alguna de las variables existe al menos 1 registro.

Nota 2: Corresponde a estaciones levantadas en CORFO-Amphos21 (2018), y validadas en el presente estudio.

Fuente: Elaboración Propia



Fuente: Elaboración propia a partir de información de CORFO-Amphos21 (2018), SMA y el SEA
Figura 2-43: Puntos de la red de monitoreo de nivel piezométrico de propiedad minera.



Fuente: Elaboración propia a partir de información de CORFO-Amphos21 (2018), SMA y SEA
Figura 2–44: Puntos de la red de monitoreo de evaporación y precipitación de propiedad minera.

Dentro de la cuenca del Salar de Atacama se cuenta con aproximadamente 18 glaciares que cubren una superficie de 0,8 km², los cuales logran acumular agua en forma de hielo y nieve precipitada sobre ellos. En las bases de datos proporcionadas por IDE Chile⁴, se encuentran catastros de glaciares dentro de la cuenca, además de puntos de monitoreos de nieve. Los atributos de estos últimos se presentan en la Tabla 2-25, señalando sus respectivos códigos, ubicaciones geográficas y propietarios.

Tabla 2-25: Puntos de monitoreo de nieve en la cuenca del Salar de Atacama. Datum WG84-19S.

Código	UTM Este	UTM Norte	Propietario
AC3.F025	628.825	7.343.341	S/I
TEC.F001	655.046	7.344.040	Water Management Company
TUY.F004	648.828	7.355.081	Water Management Company
VAR.F001	619.767	7.358.408	S/I

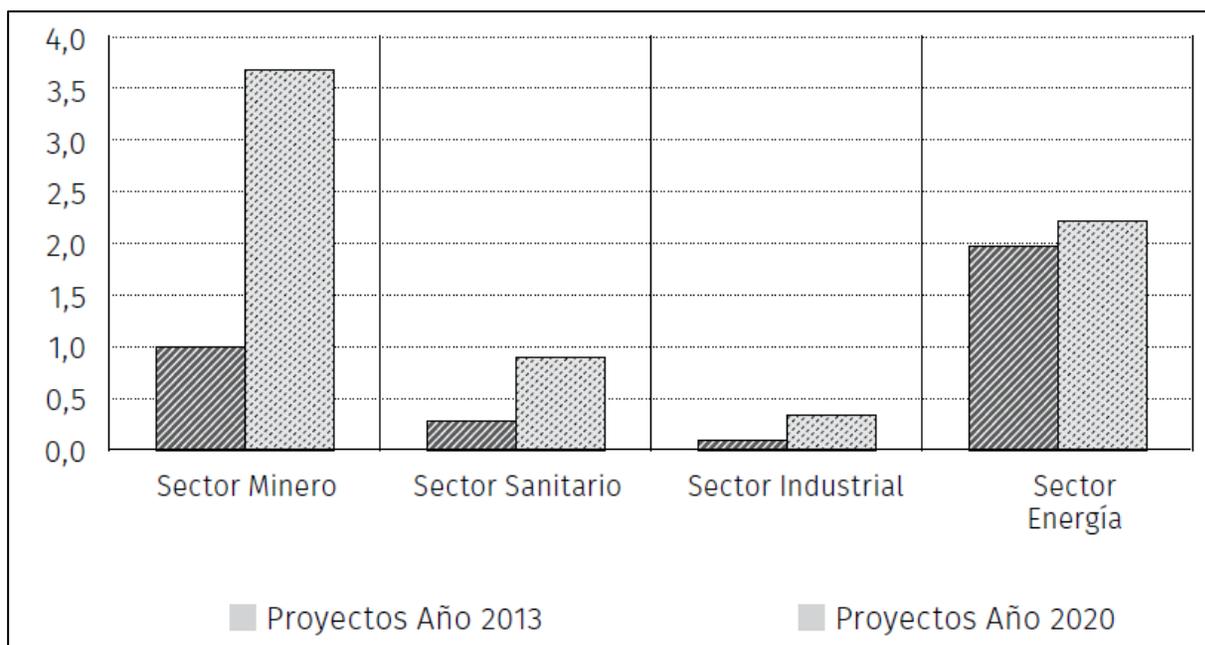
Fuente: Red hidrométrica la DGA BNASIGIRH (2019)

Aun cuando se logra obtener indicaciones respecto a los catastros de glaciares en la zona y de puntos de monitoreo de nieve, no fue posible acceder a registros de estos elementos durante el estudio de la cuenca del Salar de Atacama. Lo anterior se identifica como una brecha de información en el acápite 2.6.4.4, lo cual es importante para mejorar la comprensión y gestión hídrica dentro de la cuenca.

⁴ Infraestructura de Datos Geoespaciales de Chile

2.5 NUEVAS FUENTES EXISTENTES

En la Región de Antofagasta es una de las regionales del país donde con mayor rapidez se está desarrollando la provisión de agua a través de la desalación de agua de mar. Estos proyectos han sido liderados por los sectores mineros y energía. Al año 2013 los proyectos de desalación sumaban un aporte total de 3,3 m³/s y se proyectaba que este monto aumentaría a 7,1 m³/s (Instituto de Políticas Públicas, CEITSAZA, Centro de Estudios en Derecho de Recursos Naturales, Centro Cambio Global UC, CEDEUS, 2014⁵). Detalles se pueden apreciar en la Figura 2-45.



Fuente: Instituto de Políticas Públicas, CEITSAZA, Centro de Estudios en Derecho de Recursos Naturales, Centro Cambio Global UC, CEDEUS (2014)

Figura 2-45: Proyectos con uso de agua de mar en Región de Antofagasta (en m³/s).

No existe a la fecha proyectos que desalen agua de mar y la impulsen hasta la cuenca del Salar de Atacama.

2.6 GOBERNANZA DEL AGUA A NIVEL DE CUENCA

De acuerdo con el diagnóstico realizado, se consideraron espacios de construcción conjunta y articulada entre los actores relevantes del territorio en materia hídrica. De esta manera, hubo un reconocimiento concreto y explícito respecto de que la gobernanza recae en algunos aspectos, además de las autoridades con mandato al respecto, de manera directa e indirecta en comunidades y población del territorio.

De ahí la relevancia de haber implementado diversas dinámicas de participación -aun considerando las limitaciones que se impusieron durante el desarrollo del estudio dado el

⁵ Se identifica como brecha de información la actualización de los proyectos con uso de agua de mar.

estado de restricciones derivadas de la pandemia de COVID-19 mediante las cuales se relevan problemáticas y brechas de coordinación e información existentes entre las políticas sectoriales y los diferentes niveles de la administración pública; así como la oportunidad de fomentar mayores espacios que promuevan la corresponsabilidad social en la gestión hídrica en la cuenca del Salar de Atacama.

Los actores del territorio -y sus representantes- fueron incorporados en instancias de discusión y construcción de las herramientas generadas. Los talleres realizados se abocaron, una vez logrado una base de conocimiento basal de los aspectos del estudio (capacitación), a involucrar de manera activa a los actores en la construcción y calibración de modelos.

Por ejemplo, las sesiones de construcción colaborativa del modelo de simulación WEAP para la cuenca del Salar de Atacama, como se describe en el acápite 2.6.2.2.

Como primer paso para fomentar las instancias de participación, fue necesario relevar el entramado social de los actores del territorio, en la forma de mapa de actores.

En el siguiente apartado, se expone el mapa de actores con interés en la cuenca del Salar de Atacama y la metodología utilizada para la identificación, que incluyó revisión de documentación y reuniones con actores relevantes del territorio.

2.6.1 Mapa de actores

En reconocimiento a que la gobernanza del agua a nivel de la cuenca del Salar de Atacama recae de manera directa e indirecta en un amplio espectro de actores, es fundamental para el diseño de políticas -así como para construir en conjunto un programa de acción a seguir para la gestión sustentable del salar- identificar a los actores claves, así como conocer sus intereses y su influencia sobre los resultados de la planificación.

Así, fue fundamental completar de manera temprana un Mapa de Actores, que permite anticipar con quiénes se cuenta para trabajar en el proceso que se implementa y con quiénes, al menos a priori no, de manera de considerar medidas específicas para garantizar un mayor y mejor apoyo al proceso que se llevó a cabo.

La elaboración de este Mapa de Actores, también sirvió para ayudar a comprender -al menos de manera general, dada las restricciones de visita a terreno- el contexto ambiental y socioeconómico que sustenta la actividad del salar y que incide en el proceso participativo implementado.

A modo de resumen general, la metodología seguida para la planificación del Mapa de Actores consideró los siguientes pasos:

- El diseño del proceso de participación consideró actores a nivel regional, comunal y de pueblos o localidades, con interés directo o indirecto en el uso del agua dentro de la cuenca del Salar de Atacama, a fin de acotar el listado de actores involucrados. Así, el mapeo incluyó a los actores involucrados de una u otra manera en los

resultados del estudio y no se extiende de manera ilimitada a otras áreas geográficas ni actores sin incumbencia.

- Luego, se identificó y caracterizó los actores. A partir de información de la DGA, entrevistas a autoridades y contactos locales y revisión de información bibliográfica (prensa, documentos de evaluación ambiental, etc.), se han reconocido las personas y organizaciones que se ven afectados por o afectan el balance del agua en la cuenca del Salar de Atacama; tienen información, conocimiento y experiencia acerca del tema; y/o tienen control o influencia en la implementación de políticas e instrumentos pertinentes.
- Estos actores se clasificaron en grupos: instituciones públicas; instituciones privadas; ONGs; comunidades indígenas, etc. Para cada actor, se describió funciones y roles; así como nivel de poder o influencia sobre otros actores.
- Con toda esta información, se elaboró una matriz de los actores identificados según su grado de poder y su posición respecto del proceso de determinación de balance hídrico en el salar. A partir de esto, se pudo definir quiénes deberían participar, de qué manera, y en qué fase del ciclo del proceso para que contribuyan de la mejor manera.

Dado lo anterior, se presenta en la Tabla 2-26 y Tabla 2-27 el mapa de los actores de la cuenca del Salar de Atacama y la matriz de interés-poder que presenta cada uno de estos actores.

Tabla 2-26: Mapa de actores en la cuenca del Salar de Atacama.

Escala Análisis	Actores Relevantes			
	Organismos Públicos	Sociedad Civil	Sector privado	Academia
Región	GORE, Secretarías Regionales, Servicios Públicos (CORFO, SERNAGEOMIN, CONADI, entre otros).	Organizaciones emergentes con foco ambiental		Universidades Centros de investigación
Cuenca	Municipalidad San Pedro de Atacama	Consejo de Pueblos Atacameños.		
Local (Ayllus y Pueblos)		Comunidades Indígenas Atacameñas (incluye a las que no forman parte del CPA) Asociaciones de Regantes. APR Organizaciones sociedad civil	Empresas Mineras Asociaciones Gremiales Empresas Turísticas.	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2–27: Matriz de interés - poder para actores relevantes de la cuenca.

		GRADO INTERÉS	
		ALTO	BAJO
GRADO PODER	ALTO	Consejo Pueblos Atacameños Comunidades Indígenas Atacameñas (incluye a las que no forman parte del CPA) Asociaciones de regantes y agricultores Comités de Agua Potable Rural Instituciones Públicas	
	BAJO	Minería	Hotelería ONG

Fuente: Elaboración propia

Para mayor detalle, la información se encuentra en el acápite 4.1.1.3 del Anexo I.

Además, una utilidad práctica e inmediata que tuvo el mapa de actores fue identificar la mejor manera de acercarse a cada actor, la estructura dirigencial de asociaciones, actores que podrían requerir apoyo para movilizarse, entre otros asuntos que permitieron una mejor planificación de las instancias participativas de este proceso.

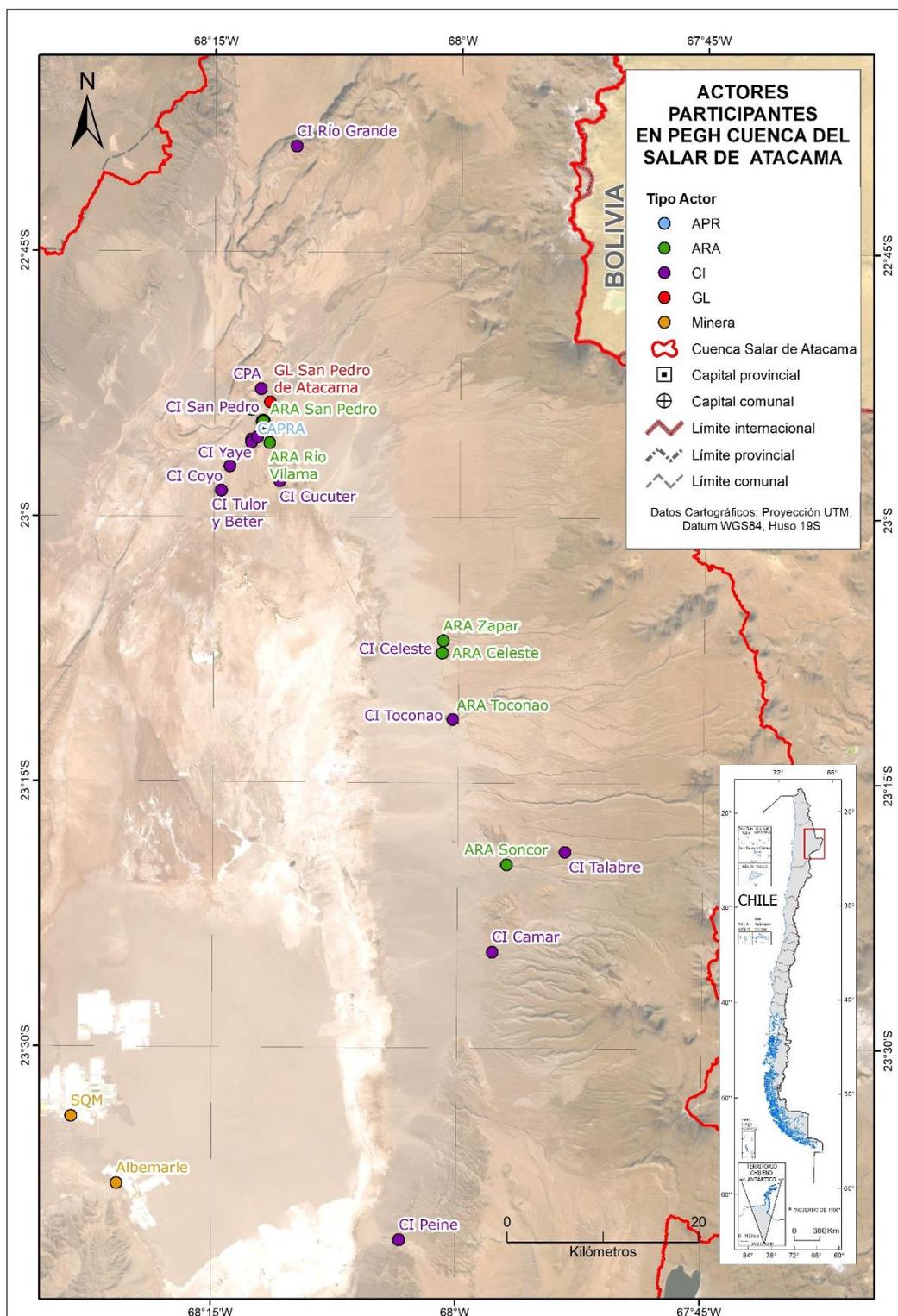
En suma, para generar las bases del diseño del plan de participación ciudadana del proceso de determinación del balance hídrico del Salar de Atacama, se identificó y definió el mapa de actores de interés según las dinámicas de relación existentes entre la Dirección General de Aguas y los actores presentes en la cuenca del Salar de Atacama, y los intereses relacionados a la gestión hídrica en el territorio (detalles en Anexo I, Capítulo 4).

Con la DGA en el centro del proceso, el primer círculo de relaciones se da con otras agencias de gobierno inmediatas intra MOP (DIRPLAN y DOH); luego con otras agencias y autoridades con las cuales se comparte, de manera directa e indirecta, responsabilidades y gestión del agua; y, finalmente, con otros actores del territorio con interés e incidencia en el balance hídrico de la cuenca del Salar de Atacama.

2.6.2 Síntesis de reuniones PAC

A lo largo del estudio se desarrollaron alrededor de 65 reuniones, tanto presenciales como virtuales, con al menos 30 tipos de actores (Organismos Públicos, Comunidades, Sociedad Civil, Sector Privado y Academia) de la cuenca del Salar de Atacama.

La Figura 2–46 muestra la distribución espacial de los diferentes actores que fueron partícipes de las diversas actividades llevadas a cabo a lo largo del desarrollo del estudio.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-46: Distribución de actores participantes de las actividades del Plan Estratégico de Gestión Hídrica de la cuenca del Salar de Atacama.

Nota: Ubicación geográfica de los grupos de participantes es referencial.

Las reuniones mencionadas se clasifican en diferentes tipos, las cuales se presentan en el siguiente acápite.

2.6.2.1 Reuniones de presentación

Durante la etapa de diagnóstico el proceso de participación comprendió de instancias de presentación del estudio entre los actores, dando a conocer la iniciativa a los tres niveles de escala espacial (regional, cuenca, local). La mayoría de estas reuniones se realizaron durante los meses de noviembre y diciembre 2020, y entre los meses de enero y febrero 2021 se ejecutan instancias que permiten reunir a diferentes actores locales con organismos públicos y privados (detalles de la organización de estas reuniones se presenta en el Anexo I.3). En estos espacios formales de participación se sostuvieron discusiones e interacciones con los actores a distintos niveles y coordinación.

De las reuniones de presentación, fue posible rescatar algunas percepciones de los actores participantes respecto a la presentación de la iniciativa, desagregadas entre Sociedad Civil Organizada, Organismos Públicos y Privados. Esto se presenta el Anexo I, Capítulo 3.

En lo general, de lo analizado en las reuniones de presentación fue imposible aislar este proceso del estado general de ánimo y de las inquietudes que rondan en Chile; y, en particular, respecto del uso del agua. Las comunidades a lo largo del país, y muy especialmente en el Norte de Chile presentan gran sensibilidad y expectativas respecto de cómo se irá avanzando en el uso de recursos hídricos.

En las reuniones de participación, los actores levantaron una serie de asuntos que trascienden por mucho el ámbito de esta iniciativa, pero que de todas formas se realizó el espacio para acogerlas y encauzarlas.

2.6.2.2 Taller capacitación herramienta de modelación WEAP

Una de las actividades que se realizaron a los diferentes actores de la cuenca fue el taller de capacitación de la herramienta de modelación WEAP, el cual se desarrolló el día 28 de abril del 2021. Los objetivos de este taller fueron presentar las características básicas sobre cómo se construye y opera un modelo WEAP con un foco en dos herramientas que han sido relevantes en el desarrollo del modelo de la cuenca (MABIA y el enlace WEAP-MODFLOW) y entregar información relevante sobre las consideraciones en la construcción de la primera versión del modelo de la cuenca del Salar de Atacama. La estructura del taller se dividió en 4 módulos: 1) WEAP en una hora, donde se tiene una primera interacción con la herramienta a través de la creación de un área de estudio, definición de parámetros generales, ingreso de elementos al esquema y revisión de resultados; 2) Herramientas básicas y escenarios, donde se usan y crean supuestos claves para el modelo; 3) Modelo MABIA, donde se explica la metodología del modelo el cual consiste en simular transpiración, evapotranspiración, requerimientos y programación de riego, crecimiento y rendimientos de cultivos, entre otras cosas; y 4) Conexión WEAP-MODFLOW, donde se explica el acople entre el modelo WEAP y el modelo MODFLOW, este último consta en un modelo numérico 3D de las aguas subterráneas.

2.6.2.3 Reuniones de construcción colaborativa modelo WEAP

Luego de los talleres de capacitación, se desarrollan sesiones de construcción colaborativa del modelo de simulación WEAP para la cuenca del Salar de Atacama a las Comunidades Indígenas Atacameñas, Asociaciones de Regantes, Consejo de Pueblos Atacameños, CAPRA y Empresas Mineras. Estas sesiones se desarrollaron de manera individual con los diferentes actores entre el 19 de mayo y el 1 de junio.

El objetivo de estas sesiones fue revisar los antecedentes que se están utilizando para caracterizar las necesidades de recursos hídricos asociados a los distintos actores de la cuenca y que son parte importante del modelo de simulación WEAP para la cuenca del Salar de Atacama. Dentro de estos antecedentes se busca: 1) caracterizar la superficie agrícola (actual y proyectada), los tipos de cultivos y sistema de riego utilizados; 2) Caracterizar las necesidades de agua potable para la población y acceso a fuentes de suministro; y 3) Caracterizar las necesidades ecosistémicas en el Salar de Atacama. Para ello se expone el modelo a través de la herramienta WEAP a los participantes de estas sesiones, enfocándose en la modelación de la zona de interés de cada actor, donde se explican los diferentes elementos y supuestos de modelación. Una vez aclarado estos conceptos, se procede a conversar sobre ellos y se hace entrega de un formulario con la información relevante, para luego generar esta transferencia de la información por parte de los participantes.

2.6.2.4 Reuniones de levantamiento de información

Durante el mes de julio del 2021 se realizaron reuniones presenciales y virtuales con diferentes actores locales, organismos públicos y privados que tuvieron como objetivo validar y levantar brechas identificadas, levantar información sobre acciones, objetivos (desempeños) e incertidumbres (escenarios) en torno a los recursos hídricos, lo cual constituye las bases para la construcción del Plan Estratégico de Gestión Hídrica. Además, se aprovecha la instancia para presentar la construcción del modelo de simulación WEAP para la cuenca del Salar de Atacama, enfocándose en la modelación de la zona de interés de cada actor.

La metodología utilizada para alcanzar estos objetivos es el desarrollo de análisis de Toma de Decisiones Robustas (RDM por sus siglas en inglés), el cual está diseñado para analizar contextos de incertidumbre profunda, con el objetivo de diseñar políticas que sean robustas, es decir, políticas que satisfacen los objetivos de los tomadores de decisiones en múltiples futuros posibles, en lugar de tomar una decisión óptima que es válida en sólo una estimación del futuro (Lempert et al., 2013). En esencia, RDM ayuda a planificar para el futuro sin la necesidad de tener que confiar o elegir una predicción específica sobre el futuro. RDM se ha aplicado extensivamente para apoyar procesos de planificación hídrica (Groves et al., 2008; Molina-Perez et al., 2019) y la gestión del riesgo de inundación y sequía (Fischbach et al., 2017), entre otros.

Uno de los modelos para desarrollar este análisis es la matriz DAMI, que contiene cuatro factores que ayudan a definir las relaciones que conectan decisiones o acciones con resultados bajo diferentes suposiciones acerca de cómo interactúan estas incertidumbres.

Las dimensiones de esta matriz se definen a continuación:

Desempeño (D): métricas y objetivos de desempeño. Estos indicadores nos ayudan a definir qué es lo que valoramos en torno a los recursos hídricos.

Acciones (A): Políticas públicas, medidas o acciones consideradas para alcanzar las metas.

Modelos (M): Modelos (o relaciones) que permiten conectar las acciones con el desempeño e incertidumbres.

Incertidumbre (I): Factores inciertos que pueden afectar la capacidad de alcanzar los desempeños esperados.

Este modelo de análisis fue utilizado con cada uno de los actores participantes de los talleres desarrollados en el mes de julio del 2021.

2.6.2.5 Reuniones de validación del plan de acción y resultados preliminares de la modelación

Estas reuniones fueron una de las últimas instancias de participación por parte de los actores de la cuenca del Salar de Atacama, donde se buscaba: 1) Presentar los elementos a partir de los cuales se genera el diagnóstico y las brechas presentes, identificados principalmente en los resultados preliminares de la modelación y los trabajos participativos durante el mes de julio de 2021; 2) Presentar la propuesta del Plan Estratégico de Gestión Hídrica; y 3) Discutir y validar las acciones propuestas dentro del plan por parte de los actores.

Estos talleres se desarrollaron tanto de manera presencial como virtual durante los días 25, 26 y 27 de octubre del 2021, dado de que algunos participantes no pudieron asistir a la instancia presencial, se procedió a generar una instancia virtual el día 16 de noviembre del mismo año. El día 25 de octubre se contó con la participación de los actores de la zona Norte de la cuenca del Salar de Atacama, luego el día 26 de octubre con representantes de la zona Centro y Sur, y por último el día 27 de octubre participan representantes del servicio público de la región.

2.6.2.6 Taller Presentación Modelo Integrado

Este último taller tuvo como objetivos: 1) Presentar los detalles asociados a la construcción del modelo integrado de base (y la construcción de escenarios) de la cuenca del Salar de Atacama en el marco del desarrollo del PEGH Salar de Atacama de la DGA; y 2) Los asistentes al taller tengan las herramientas básicas sobre la manera en que se construye y opera un modelo WEAP con un foco en dos herramientas que han sido relevantes en el desarrollo del modelo de la cuenca (modulo MABIA⁶ y el enlace WEAP-MODFLOW⁷). Este taller por temas tanto técnicos como sanitarios se desarrolla de manera virtual el día lunes 22 de noviembre del 2021.

⁶ https://www.weap21.org/WebHelp/Mabia_Algorithms.htm

⁷ http://www.weap21.org/webhelp/Linking_to_MODFLOW_Full.htm

2.6.3 Brechas de coordinación

2.6.3.1 Análisis de Organizaciones de Usuarios de Aguas

En la gestión de los recursos hídricos en la cuenca del Salar de Atacama se pueden distinguir agrupaciones de usuarios a través de Organizaciones de Usuarios de Aguas y muchos usuarios privados que no se encuentran agrupados en organizaciones formales. Respecto de los primeros es posible destacar que, en la cuenca del Salar de Atacama, no existen Juntas de Vigilancias ni asociaciones de canalistas constituidas formalmente. Solo se observan comunidades de agua como forma de organización de usuarios de agua. Estas comunidades de aguas tienden a llamarse como *Asociaciones Atacameñas de Regantes y Agricultores*⁸ del río o zona relevante donde una comunidad indígena ha practicado agricultura desde tiempos antiguos. No existen formalmente Comunidades de Aguas Subterráneas en la cuenca del Salar de Atacama, pese a la relevancia⁹ y las restricciones que tiene su extracción.

Es importante destacar también que la forma de organización principal de la población en esta cuenca es a través de las comunidades indígenas. A través de ellas se gestionan los recursos hídricos y turnos de riego (CNR-AMPHOS, 2017). Estas comunidades cuentan con la capacitación y el apoyo de CONADI e INDAP para aumentar la productividad y producción de sus recursos. El principal interés que posee las comunidades es el de mantener la actividad agrícola familiar, una actividad que es fundamental para conservar la tradición ancestral heredada (CNR-AMPHOS, 2017). Estas asociaciones indígenas (de conformidad a la Ley 19.253), si bien no conforman una Organización de Usuarios de Aguas en sí misma, son la organización que actúa como tal y que por sus estatutos tiene la función de la captación y distribución de las aguas en los ríos y quebradas de la cuenca del Salar de Atacama. Un ejemplo de lo anterior es el caso del río San Pedro (CNR, 2014).

A partir del registro de derechos de aprovechamiento de agua concedidos de acuerdo con el Catastro Público de Aguas, se pueden identificar las siguientes agrupaciones de usuarios de aguas superficiales y subterráneas pertenecientes a distintas zonas de la cuenca (Tabla 2-28).

⁸ Pese a existir la infraestructura de canales estas Asociaciones de Regantes no corresponden formalmente a Asociaciones de Canalistas sino que Comunidades de Agua (DGA-LAT, 2018)

⁹ Al comparar los acápite 4.2.5 y 4.1.6 queda en evidencia la importancia que tienen los derechos de aguas subterráneas en la cuenca del Salar de Atacama.

Tabla 2–28: Agrupaciones de usuarios de derechos de agua superficiales en la cuenca del Salar de Atacama.

Código de Expediente	Titular Derecho	Uso	Fuente	Derecho (l/s)
NR-0202-325	Agricultores del Pueblo de Caspana	Riego	Quebrada de coya	65
NR-0202-1392	Asoc. Atacameña de Reg. y Agr. de San Pedro de Atacama y Otros.	Riego	Río San Pedro	870
NR-0202-1391	Asoc. Atacameña de Regantes y Agricultores del río Vilama	Riego	Río Vilama	180
NR-0202-1381	Asoc. Atacameña de Regantes y Agricultores de Aguas Blancas	Otros Usos	Quebrada de Aguas Blancas o Hecar	101
NR-0202-1388	Asoc. Atacameña de Regantes y Agricultores de Celeste	Otros Usos	Quebrada Zapar	4
NR-0202-1386	Asoc. Atacameña de Regantes y Agricultores de Soncor	Otros Usos	Vertiente Soncor	12,3
NR-0202-1284	Asoc. Atacameña de Regantes y Agricultores de Toconao	Riego	Quebrada Honar	70
NR-0202-1384	Asoc. Atacameña de Regantes y Agricultores de Toconao	Otros Usos	Río Toconao	60
NR-0202-5038	Asoc. Indígena de Regantes y Agricultores Paso Jama	-	Quebrada del Cajón y Quebrada El Zarso	9,3
NR-0202-1385	Comunidad Atacameña de Camar	Otros Usos	Quebrada de Camar	35,23
NR-0202-1390	Comunidad Atacameña de Machuca	Riego	Río Grande	10
NR-0202-1383	Comunidad Atacameña de Peine	Otros Usos	Vertiente Ossa y Vilte, Vertiente Tarajne y río Tulán	63,3
NR-0202-1389	Comunidad Atacameña de Socaire	Riego	Quebrada Nacimiento	150
NR-0202-1379	Comunidad Atacameña de Talabre	Otros Usos	Quebrada Catarape	59,6
NR-0202-5045	Comunidad Indígena Atacameña de Peine	-		18,6
NR-0202-5048	Comunidad Indígena Atacameña de Peine	(en blanco)		
NR-0203-5004	Comunidad Indígena Atacameña de Peine	Bebida/ Uso Doméstico/ Sanearamiento	Laguna Miscanti	2,3
NR-0202-55	Junta de Vecinos N° 2 de Toconao	Riego	Quebrada Silapeti	8
NR-0202-468	Usuarios Agrícolas del Valle de Zapar	Riego	Quebrada Zapar	20

Fuente: CORFO-PUC (2021) basado en Catastro Público DGA (enero, 2020)

Para el área de San Pedro de Atacama la forma de organización corresponde también a comunidades indígenas y asociaciones de regantes. Destacan en esta zona la Asociación

Atacameña de Regantes y Agricultores de San Pedro de Atacama y la Asociación de regantes y Agricultores del río Vilama. Ambas administran los recursos de agua del río San Pedro y Vilama incluyendo en su gestión a las comunidades indígenas del pueblo de San Pedro de Atacama, Ayllus de Quitar, Condeduque, Yaye, Larache, Solcor, Checar, Sequitor, Coyo, Solor, Tolor, Beter, Pononche y Cucuter y los Ayllus de Guatín, Vilama, Poconche. La gestión de los caudales otorgados para la Asociación Atacameña de Regantes y Agricultores de San Pedro de Atacama, para el caso del río San Pedro, fue organizada en 7 grupos, los cuales tienen una alta capacidad de propuestas para proyectos e iniciativas. Asimismo, para el caso del río Vilama, se identifica a la cual administra y gestiona las aguas del río homónimo, influyendo sobre los Beter y Tolor. Aun cuando es posible identificar las fuentes hídricas e infraestructura (canales) asociada a ambas Asociaciones en estudio DGA-LAT (2018) sobre Diagnóstico Nacional sobre Organizaciones de Usuarios, las organizaciones antes descritas no se encuentran caracterizadas con mayor detalle (ej. N° de regantes, uso del recurso, etc).

En el análisis de estas asociaciones de regantes es importante remarcar el contexto de la actividad agrícola en la región. Debido a la escasa disponibilidad de recursos hídricos, la competencia por su uso, y la baja rentabilidad asociada a esta actividad, es que la agricultura ha tenido históricamente características de una actividad de subsistencia en la región (CNR, 2003). Esto se pone claramente de manifiesto en la baja solvencia económica de las asociaciones de agricultores y regantes en la zona (PLADECO 2011-2015). Sin perjuicio de lo anterior, es crítico considerar el importante componente sociocultural asociado al agua en general y a la práctica del riego en particular en el contexto del Pueblo Atacameño tal como lo destacara Prieto (2016). En este contexto, compartido con muchas cuencas de la zona Norte y altiplano del país, existe una fuerte asociación entre el mundo agrícola y la cultura indígena.

Otra forma de organización en la gestión de recursos hídricos corresponde a los comités de Agua Potable Rural (APR) cuya gestión tiene traslapes con organizaciones de tipo comunitario (vecinos). Este tipo de organización se describe con mayor detalle en el acápite 3.1.2.

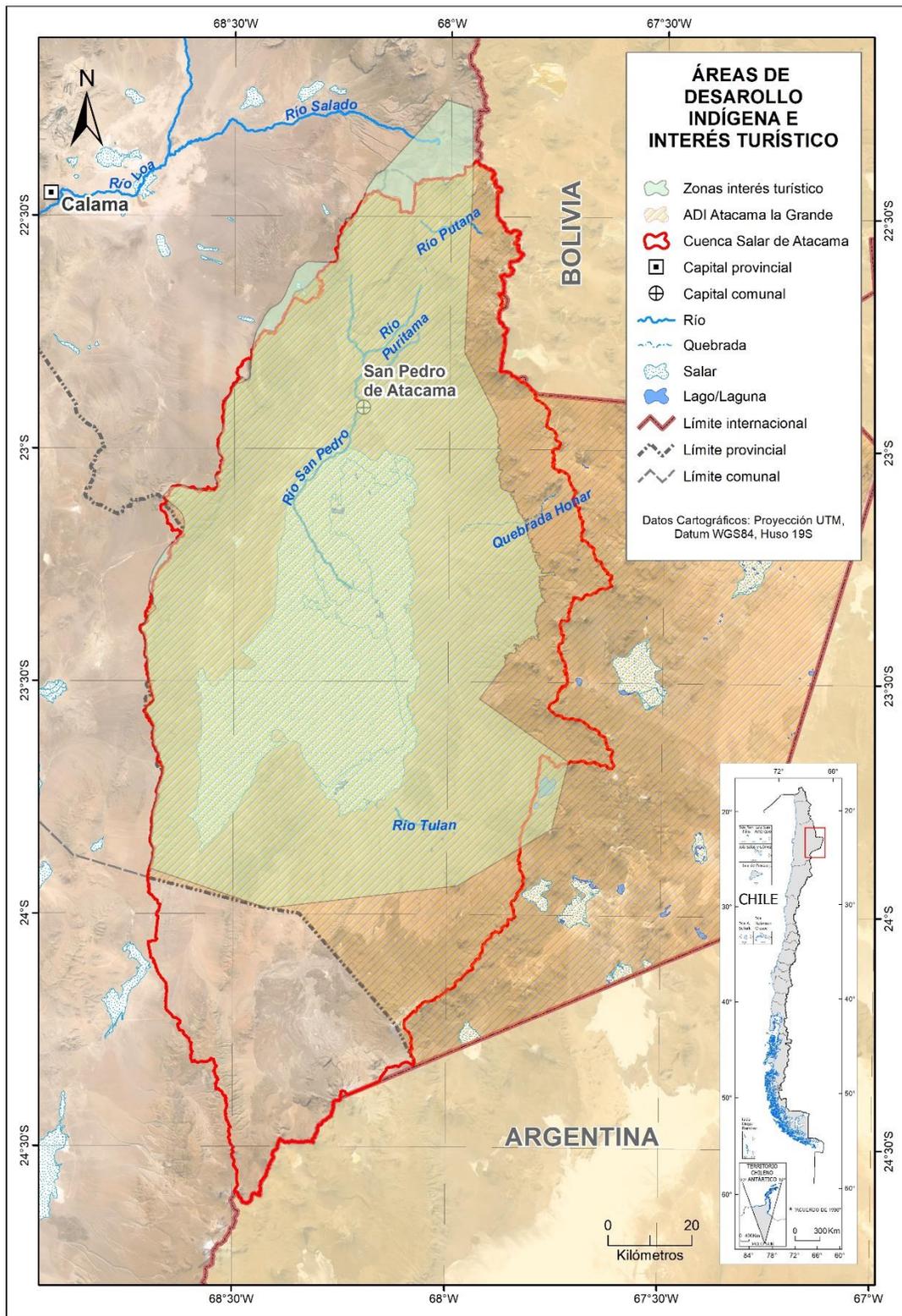
2.6.3.2 Estado actual de coordinación entre actores

Tomando en cuenta la diversidad de actores que influyen en la gestión de recursos hídricos en la cuenca del Salar de Atacama (ver acápite 2.6.1) se pueden identificar distintas escalas de coordinación. Se destaca en este acápite la **coordinación entre instituciones del estado**, la **coordinación entre usuarios del agua** y la **coordinación general entre actores relevantes**.

i. Coordinación entre instituciones del estado

En cuanto a la interacción de las distintas instituciones del estado ligadas al recurso hídrico, se observan tensiones entre normativas, planes y políticas públicas, respecto de objetivos de protección del medio ambiente y uso y goce de recursos naturales para distintos fines productivos. En este sentido, las instituciones trabajan en forma paralela sobre los mismos asuntos, pero no de forma vinculada con una visión global (DGA-ARCADIS, 2016). Destaca en este sentido la existencia de un número importante de instrumentos de gestión de recursos naturales operando en la cuenca del Salar de Atacama. En el trabajo CORFO-PUC

(2021) se describe la lista de sitios de protección de distinta naturaleza como Reservas Nacionales, Santuarios de la Naturaleza y Sitios Prioritarios para la Conservación de la Biodiversidad. En la Figura 2-47 se puede apreciar el traslape entre estos y otros instrumentos de gestión complementarios para la protección de los pueblos originarios (ADI Atacama La Grande) y de las zonas de interés turístico (ZOIT).



Fuente: CORFO-PUC (2021)

Figura 2-47: Intersección entre el polígono de la ADI Atacama La Grande y la ZOIT de la cuenca del Salar de Atacama.

Por otra parte, relativo a esta necesidad de coordinación interinstitucional han existido esfuerzos por desarrollar instrumentos de planificación a nivel regional y comunal (no han existido esfuerzos a la escala de la cuenca del Salar de Atacama). Estos instrumentos se han realizado a nivel de planificación territorial o planificación en la gestión de recursos hídricos. El estudio CORFO-PUC (2021) realiza un análisis de estos instrumentos cuyas conclusiones principales se presentan en el Anexo J, Capítulo 5. En la Tabla 2–29 se muestra una breve introducción de cada una de estas herramientas de gestión.

Tabla 2–29: Instrumentos de planificación a nivel regional y comunal.

Instrumentos de planificación	Descripción
Estrategia Regional de Desarrollo 2009-2020, Región de Antofagasta	Instrumento de planificación para el territorio regional. Su construcción busca incorporar una perspectiva de largo plazo que sirva para la asignación eficiente de inversiones y recursos públicos, para definir políticas, planes y programas que aporten al desarrollo de la región (GORE Antofagasta, 2009).
Plan de Desarrollo Comunal (PLADECO) San Pedro de Atacama	El PLADECO entrega los lineamientos para el desarrollo de una comuna en el corto y mediano plazo, constituyendo el marco orientador del accionar municipal. Este resume e integra las miradas sectoriales en torno a las perspectivas del desarrollo económico, territorial, social, en salud y en medio ambiente en la comuna, postulando para ello lineamientos, objetivos estratégicos (en el corto y mediano plazo) y potenciales proyectos, todo en línea con instrumentos regionales.
Plan Regional de Antofagasta	Consiste en una estrategia regional que tiene como objetivo el desarrollo socioeconómico y territorial de la región de Antofagasta entre los años 2018 y 2022. La metodología de este Plan Regional consiste en realizar un diagnóstico de la Región de Antofagasta, con el motivo de detectar aquellas áreas prioritarias sobre las cuales se deben implementar iniciativas de desarrollo (Gobierno de Chile, 2019).
Plan estratégico para la gestión de los recursos hídricos (PEGRH), Región de Antofagasta	El PEGRH es un instrumento de planificación indicativo realizado el año 2016 (DGA-ARCADIS, 2016). El PEGRH contribuye a orientar las decisiones públicas y privadas, con el fin último de maximizar la función económica, social y ambiental del agua, en armonía con el medioambiente y con condiciones de equilibrio que permita la sustentabilidad dentro de una visión de corto y largo plazo, dotando a los actores de las herramientas y capacidades para abordar los desafíos que esto impone.
Plan Regional de Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico al 2021	Corresponde a un instrumento de planificación sectorial territorializado y vinculante para los servicios del MOP, a un horizonte de 10 años. Su objetivo es contribuir eficaz y eficientemente al desarrollo sustentable de la Región de Antofagasta, mediante la satisfacción de la demanda de mediano plazo (2021) a través de la provisión de servicios de infraestructura y la gestión del Recurso Hídrico (MOP, 2012).
Estrategia Regional de Innovación 2012-2015	Dentro de este instrumento se presenta una línea de acción para el fomento y apoyo público-privado al desarrollo de nuevos productos basados en el valor distintivo de la singularidad en el desierto de Atacama, donde se destaca de manera transversal la idea de relevar el concepto de "Agricultura del Desierto" como idea a fortalecer por los distintos instrumentos de planificación.
Estudio Básico – Diagnóstico para	Este estudio realizado por CNR el año 2016, tiene como objetivo principal la planificación a mediano plazo de las iniciativas de inversión en materia de

Instrumentos de planificación	Descripción
desarrollar el Plan de Gestión de Riego en la Región de Antofagasta	riego en la región. Algunos elementos considerados son: Diagnóstico de la región respecto a la gestión del agua para riego y drenaje, infraestructura, aspectos ambientales e institucionales; Definir y desarrollar una imagen objetivo respecto a la gestión del agua para riego y desarrollo agrícola; Estimar las brechas entre la relación línea de base y la imagen objetivo o escenarios; Proponer un conjunto de iniciativas de inversión priorizadas; Validar el Plan de Gestión de Riego Regional; y Elaborar un Sistema de Información Geográfico (SIG) donde se visualice el catastro de los proyectos y estudios existentes, además de la cartera de iniciativas del Plan.

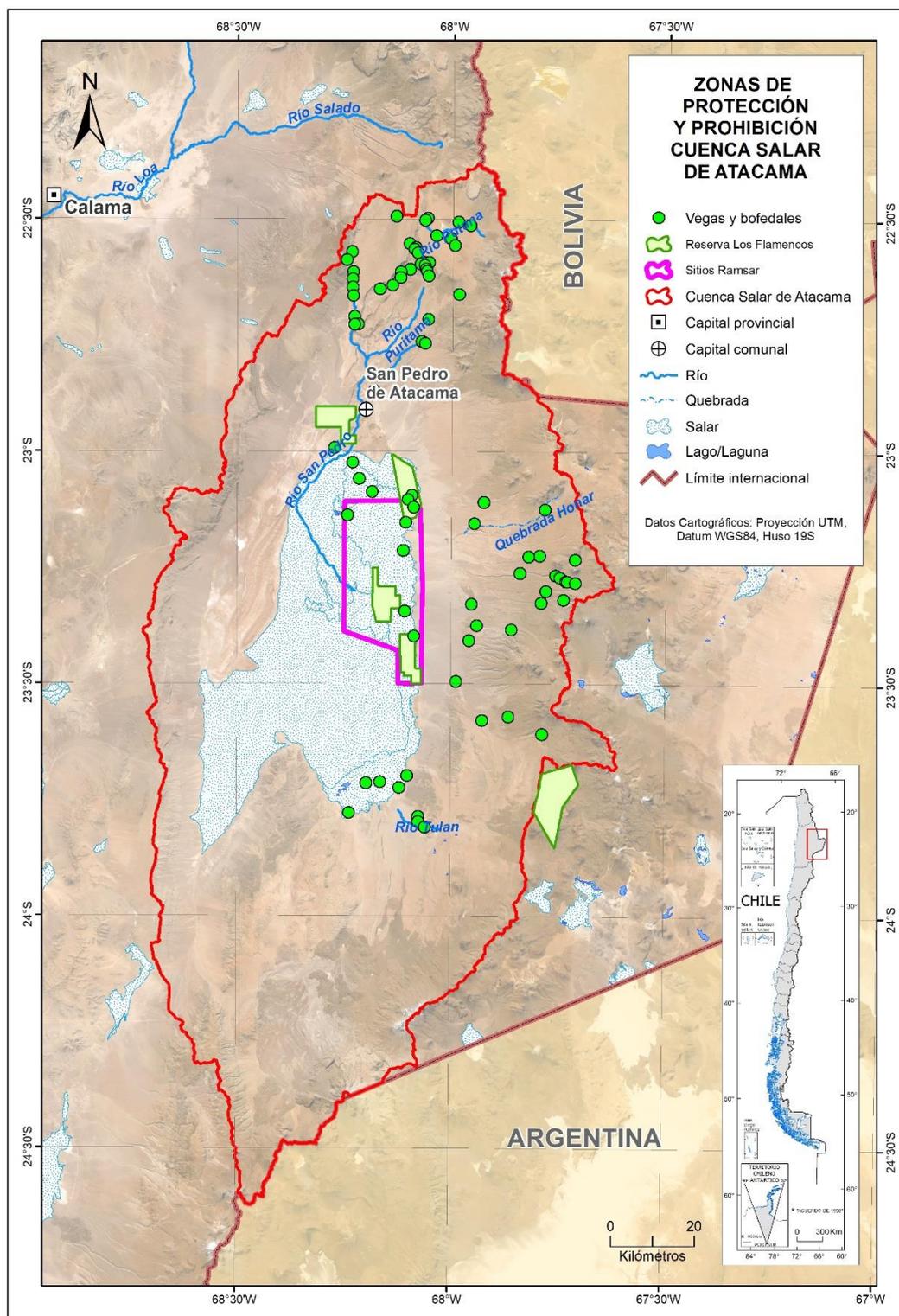
Fuente: Elaboración propia a partir de CORFO-PUC (2021)

ii. Coordinación entre usuarios del agua

En el acápite 2.6.3.1 se destaca que salvo la coordinación para el caso del riego o los servicios de agua potable existe una ausencia en la coordinación generalizada entre distintos tipos de usuarios de aguas superficiales y subterráneas. En algunas zonas de la cuenca esta ausencia de coordinación genera conflictos entre usuarios específicos. Por ejemplo, en la zona de San Pedro de Atacama se presentan conflictos relativos a las actividades de los comuneros dedicados al turismo y por la postura que existe ante la ejecución de proyectos de regulación (CNR, 2017).

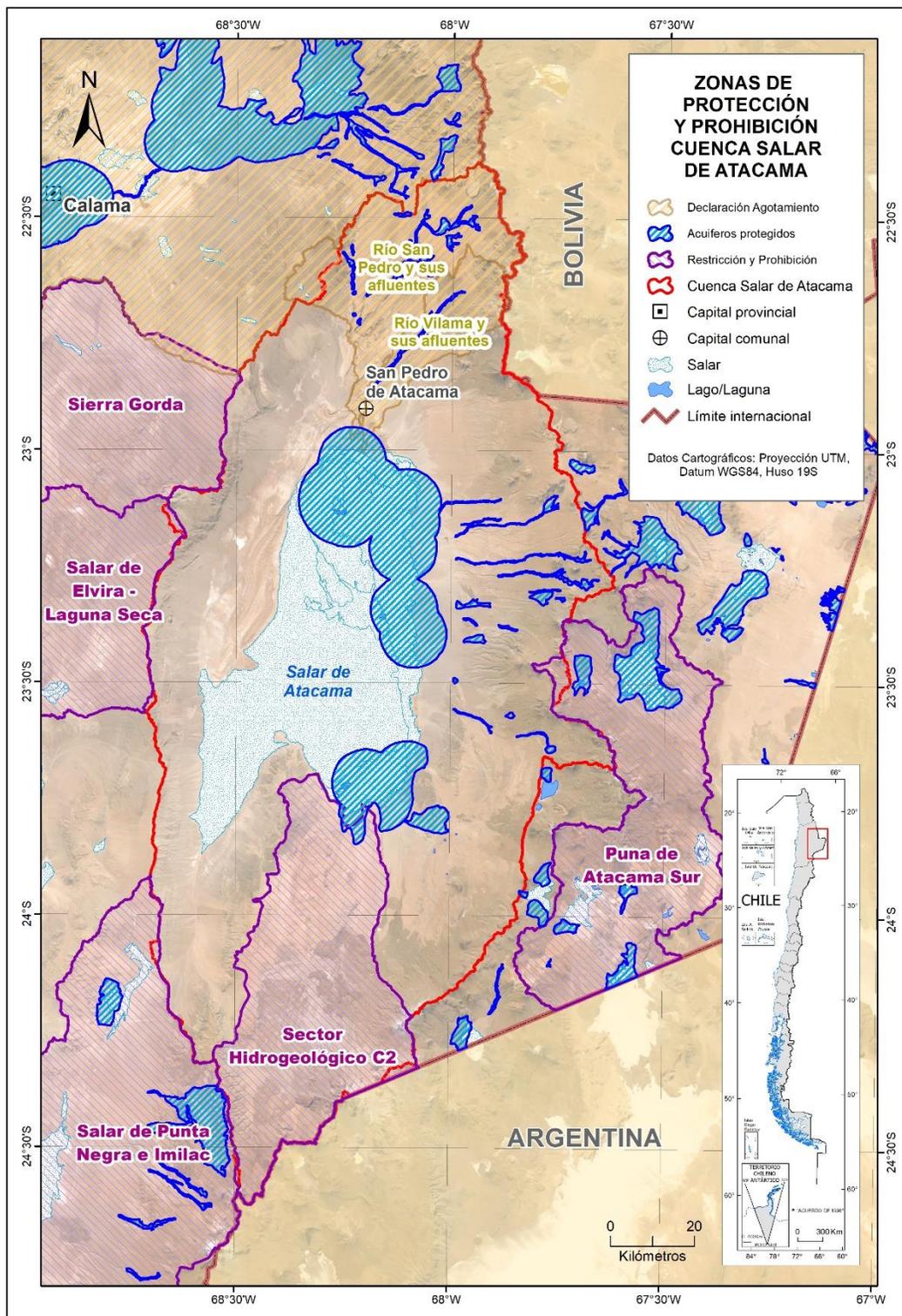
Con respecto a la gestión de los derechos de aprovechamiento agua es importante destacar las distintas restricciones que existen respecto de la solicitud de nuevos de derechos y limitaciones respecto del ejercicio de los derechos en uso en la cuenca.

Respecto de la solicitud de nuevos derechos en la Figura 2-48 y en la Figura 2-49 se presenta el cruce de estos distintos instrumentos que emanan de las potestades que el Código de Aguas confiere a la DGA para proteger a usuarios presentes y otros objetos de protección y conservación como son los Parques Nacionales, por ejemplo. En particular se visualiza la presencia en el territorio de zonas de agotamiento, zonas de restricción y prohibición, vegas y bofedales y acuíferos protegidos, sitios RAMSAR y Reservas Nacionales. Se observa que existen partes importantes de la cuenca que tiene algún tipo de protección frente a la extracción de recursos hídricos. Mayores antecedentes respecto las características específicas de cada uno de estos instrumentos se puede encontrar en el estudio CORFO-PUC (2021).



Fuente: CORFO-PUC (2021)

Figura 2-48: Intersección de reservas nacionales, vegas, bofedales y sitios RAMSAR que restringen el otorgamiento de nuevos derechos o el ejercicio de derechos existentes.



Fuente: Elaboración propia a partir de CORFO-PUC 2021

Figura 2-49: Intersección de zonas de restricción y prohibición, declaraciones de agotamiento y acuíferos protegidos que restringen el otorgamiento de nuevos derechos o el ejercicio de derechos existentes.

Un aspecto importante que surge en esta cuenca es la distinción que se hace respecto de la salmuera, que es tratada actualmente como recurso minero, y recurso hídrico. Durante el proceso PAC surgió una propuesta de revisar esta distinción e incluir la salmuera como un recurso hídrico sujeto de esta manera a las mismas restricciones y desafíos de coordinación que tiene el agua fresca (Anexo I, Tabla 5-7). Esta solicitud surge de la interacción que existe entre las aguas frescas y la salmuera tanto en el balance hídrico como en los posibles efectos en sistemas lagunares. La medida finalmente no fue priorizada en la etapa de discusión con actores locales, pero fue reconocida la importancia de que sea tratada posteriormente en el proceso de discusión de la gobernanza para la cuenca. Por el momento restricciones a la extracción de salmuera siguen definidas en los contratos de explotación con CORFO y en restricciones propias del SEA.

Respecto del ejercicio de los derechos existentes se puede destacar que existen restricciones que ejerce la DGA como parte de las potestades que le entrega el Código de Aguas a las que se agregan aquellas asociadas a las Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA) que de acuerdo con el sistema de operación del SEA pueden ejercer restricciones adicionales al uso de un derecho de aprovechamiento de agua. Se aprecia que no existe una coordinación interinstitucional en la definición y fiscalización de estas restricciones (Loeser, 2018).

En el trabajo CORFO-PUC (2021) se describen en detalle estas restricciones. A continuación, se entrega una síntesis de los elementos principales.

- **Restricciones asociadas al Código de Aguas**

Como parte del acto administrativo en cuya virtud se constituye el derecho de aprovechamiento de agua (Artículo 149 del CA) se deben incluir especificaciones técnicas relacionadas con la naturaleza especial del respectivo derecho y las modalidades que lo afecten, con el objetivo de conservar el medio ambiente o proteger derechos de terceros. En este contexto el Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos¹⁰ indica que en la asignación de derechos provisionales en áreas de restricción bajo ciertas circunstancias¹¹ la DGA puede exigir un Plan de Alerta Temprana (PAT), en aquellos casos cuya evaluación y características particulares justifiquen la conveniencia de establecer un mejor control y seguimiento del estado del acuífero y su condición de explotación. En la cuenca del Salar de Atacama existen una serie de derechos de aguas subterráneas que se han otorgado con un PAT-CA (Plan de Alerta Temprana del Código de Aguas) tal como se presenta en la Tabla 2-30.

¹⁰ Aprobado mediante resolución DGA N° 3.504, de 17 de diciembre de 2008, modificado por la resolución DGA (exenta) N° 2.455, de 10 de agosto de 2011. https://dga.mop.gob.cl/legislacionynormas/normas/Reglamentos/proced_darh.pdf

¹¹ Para aquellos sectores en los cuales no sea aplicable la metodología estándar, debido a las características particulares del sector, o bien no exista un SHAC.

Tabla 2–30: Planes de Alerta Temprana asociados al otorgamiento de derechos de agua (PAT-CA) existentes en la cuenca del Salar de Atacama.

Nombre PAT-CA	Resolución DGA	Usuario
Plan de Alerta Temprana para el acuífero de Monturaqui-Negrillar-Tilopozo, II Región, Antofagasta	Resolución DGA Ex. N°1972/2001	CMZ y Minera Escondida Ltda.
Plan De Alerta Temprana Para El Condicionamiento Del Ejercicio De Derechos De Aprovechamiento De Aguas Subterráneas Otorgados Y A Otorgar Sobre El Salar De Atacama Sector A2, En La Comuna De San Pedro De Atacama, Región De Antofagasta (PAT EPSA 2018)	Resolución DGA Ex. N°3529/2018	Exploraciones San Pedro S.A.

Fuente: CORFO-PUC (2021) a partir de información de la DGA

- **Restricciones asociadas a la institucionalidad ambiental**

El Sistema de Evaluación de Impacto Medio Ambiental (SEIA) permite introducir la dimensión ambiental en el diseño y la ejecución de los proyectos y actividades que se realizan en el país¹². Si luego de la revisión acabada del proyecto, este se ajusta a la normativa ambiental vigente y no presenta inconvenientes para la comunidad, la autoridad administrativa otorgará una resolución de calificación ambiental (RCA en adelante), que, en algunos casos, puede estar sujeta al cumplimiento de ciertas condiciones, que tiendan a minimizar los impactos medio ambientales, derivados del desarrollo del proyecto. En el establecimiento de esta RCA puede limitarse el ejercicio del derecho de aprovechamiento de agua si esto fuese necesario para reducir los impactos ambientales del proyecto evaluado. Cabe destacar que de manera independiente a los Planes de Alerta Temprana asociados al otorgamiento de derechos de agua, existen Planes de Contingencia (PC) y Planes de Alerta Temprana (PAT-SEIA) asociados a los EIA aprobados de los usuarios de agua de la cuenca. Estos planes se presentan en la Tabla 2–31.

Tabla 2–31: Planes de Alerta Temprana asociados a los EIA (PAT-SEIA) aprobados en la cuenca del Salar de Atacama.

Nombre PAT/PC	Proyecto	Usuario
Plan de Alerta Temprana Monturaqui-Negrillar-Tilopozo (PAT MNT)	Lixiviación de Óxidos de Cobre y Aumento de la Capacidad de Tratamiento de Mineral Sulfurado	Minera Escondida Ltda. y CMZ
PAT Sector de Alerta Núcleo	Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama	Albemarle (ex Rockwood Litio)
PAT Sector de Alerta Acuífero	Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama	Albemarle (ex Rockwood Litio)
PAT Sector de Alerta Norte	Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama	Albemarle (ex Rockwood Litio)
PC para el sector de Soncor	Cambios y Mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama	SQM
PC para el sector de Aguas de Quelana	Cambios y Mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama	SQM

¹² <https://www.sea.gob.cl/sea/que-es-seia>

Nombre PAT/PC	Proyecto	Usuario
PC para el sector de Zona de Vegetación Hidromorfa, Sistema Vegetación Borde Est	Cambios y Mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama	SQM
PC para el sector de Zona de Vegetación Brea-Atriplex, Sistema Vegetación Borde Est	Cambios y Mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama	SQM
PC para el sector de Zona de Alerta Temprana, Sistema Vegetación Borde Est	Cambios y Mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama	SQM
Plan de Contingencia Provisorio para el Sistema Peine	Cambios y Mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama	SQM

Fuente: CORFO-PUC (2021) a partir de información del SEA y la SMA

Muchos de estos PAT-SEIA tienen traslapes entre sí respecto de objetos de protección o puntos de monitoreo. O incluso algunos de ellos están concatenados (es decir la ejecución de un PAT-SEIA está condicionada por la ejecución de otro PAT-SEIA pese a ser de empresas distintas). Durante el proceso PAC surgieron preocupaciones respecto de la descoordinación existente en el diseño y posterior fiscalización de estos PAT-SEIA y otras limitaciones del proceso de evaluación ambiental de proyectos (Anexo I, Tabla 5-5 y Anexo I, Anexo 3). Algunos de los puntos destacados respecto de estas limitaciones:

- Las RCA no se evalúan sinérgicamente: No se considera el efecto del resto de los proyectos ya presentes al evaluar uno nuevo.
- El cumplimiento de la normativa ambiental no asegura que no ocurra daño ambiental. Aún cuando el titular cumple con todo lo exigido en la normativa ambiental, puede haber efectos no previstos y daño ambiental. Las evaluaciones de RCA nunca son completas (incerteza científica, falta de conocimiento).
- Toda la información de monitoreo (i.e., para fiscalización) es generada por los titulares de las RCA. Esto genera un gran repositorio de información de difícil seguimiento y análisis.
- Existen limitaciones en la capacidad del estado para fiscalizar los compromisos ambientales.

También es importante destacar que fallas en el cumplimiento de compromisos ambientales han generado una serie de procesos sancionatorios en la cuenca, los cuales han sido procesados y registrados por la Superintendencia del Medio Ambiente. Por ejemplo, para la unidad fiscalizable "Planta de Cloruro de Litio" perteneciente a Albemarle, el proceso sancionatorio activo rol F-018-2022 registra una infracción clasificada como leve y otra como grave, ambas asociadas a la RCA 21/2016 con la que cuenta el operador. En cuanto a la unidad fiscalizable "SQM Salar Atacama" perteneciente a SQM S.A., esta cuenta con un proceso sancionatorio activo (rol F-041-2016), el cual registra seis infracciones a la RCA 226/2006 con la que cuenta el operador (dos clasificadas como leves, tres como graves, y una como gravísima). Por último, la unidad fiscalizable "Minera Escondida" perteneciente a MEL, cuenta con un proceso sancionatorio activo (rol D-099-2020), el cual registra una infracción de clasificación gravísima a la RCA 1/1997 del mismo operador. En todos estos casos el proceso sancionatorio ha tenido relación con cambios en componentes relevantes del ciclo hidrológico.

Además del punto anterior, se da muestra de que existen dificultades de coordinación en normas de calidad de aguas en cuencas áridas y salinas (ver acápite 4.1.4 y 4.2.3).

iii. Coordinación de actores relevantes

En la coordinación de actores diversos en la cuenca destaca el rol que tiene la Municipalidad de la Comuna de San Pedro de Atacama, que tiene un traslape casi exacto con la delimitación de la cuenca hidrológica. Del accionar de la Municipalidad destacan agrupaciones intersectoriales como el Consejo de la Sociedad Civil y el Consejo Ambiental Comunal. También destacan las labores de coordinación de ciertas actividades como el Comité de Turismo Comunal. Esta instancia de coordinación desarrollada mediante la Fundación de Cultura y Turismo y la Dirección de Desarrollo Comunitario (DIDECO), han construido instancias de trabajo participativo en base a la necesidad de fortalecer el desarrollo turístico sustentable de la comuna.

Por otra parte, dentro de los aspectos institucionales relevantes para la gestión hídrica es importante destacar el gran número de comunidades indígenas presentes en la cuenca. Por una parte, desde el punto de vista de organización institucional es relevante observar el grado de coordinación que tienen estas comunidades por ejemplo al alero del Consejo de Pueblos Atacameños. Por otra parte, la gestión hídrica en la cuenca se cruza con algunos factores limitantes para el desarrollo de iniciativas en las comunidades indígenas atacameñas de la ADI de Atacama La Grande. De acuerdo con lo descrito por CONADI (2014) algunos de estos factores serían los siguientes:

- Temas de alta demanda (e.g., Tierras, Territorio, y Aguas) aún no han podido ser satisfechos por completo, generando desconfianza en la relación Comunidades – Gobierno, y perjudicando la instalación de nuevas iniciativas que provengan de los servicios públicos.
- Se requiere de una política de Estado que asegure continuidad en los procesos.
- Se requiere mayor seguimiento a las planificaciones y acuerdos.
- La falta de liderazgo en algunas comisiones, (Social y Tierras-Aguas), producen desmotivación en los asistentes, afectando la toma de decisiones y agilidad de las mismas.

Importante destacar también que en esta cuenca existen las brechas de coordinación que en parte los procedimientos de Consulta Indígena intentan resolver, en especial el generar un ambiente de pertinencia cultural donde la población indígena se sienta con confianza para compartir información y dar su opinión en la evaluación de proyectos o iniciativas. Para lograr estos objetivos el Estado (garante de todo proceso de Consulta Indígena) debe actuar con diligencia y disponer los medios necesarios que permitan generar las condiciones para que la población indígena pueda participar de manera real y efectiva, en un plano de igualdad. Así, es necesario que la Consulta Indígena se de en un contexto de simetría de información. También se debe tener en cuenta que los procesos deben ajustar los tiempos a las realidades locales y socioculturales de la población indígena consultada (pues se asume que los tiempos y mecanismos de toma de decisiones del Estado y otros actores de interés) no son necesariamente similares a los de las comunidades. Estos elementos deben ser tomados en cuenta en el diseño de medidas de gobernanza que proponen en el Plan.

2.6.3.3 Síntesis de brechas de coordinación

A partir del análisis de la información existente y de los resultados de las actividades de participación ciudadana se pueden generar la siguiente síntesis de brechas de coordinación:

- Brechas en instrumentos de planificación y coordinación interinstitucional:
 - Pese a que han existido experiencias de planificación a nivel regional tanto en el uso del territorio como en la gestión de los recursos hídricos no se han desarrollado instancias a escala de la cuenca del Salar de Atacama.
 - Existe escasa evidencia respecto del seguimiento en la implementación de lineamientos y estrategias que se han definido en ejercicios previos de planificación.
 - Hay traslape de instrumentos de gestión en el uso del territorio y recursos hídricos y aparente ausencia de coordinación interinstitucional en la fiscalización y definición de estas limitaciones. Destaca en este sentido la existencia de dos tipos de planes de alerta temprana que genera confusión.

- Brechas en coordinación de organismos usuarios de agua:
 - Pese a la existencia de organizaciones que coordinan en el uso de recursos hídricos, estas no han sido inscritas formalmente como OUA en DGA. Además, las agrupaciones de usuarios de derechos de agua superficiales en la cuenca del Salar de Atacama no se encuentran caracterizadas con mayor detalle.
 - Destaca la falta de organismo de coordinación a escala de cuenca y la ausencia de coordinación entre usuarios de aguas subterráneas.
 - Existen derechos consuetudinarios no inscritos.

- Otras brechas en coordinación relevantes para la gestión de los recursos hídricos:
 - Falta de coordinación en monitoreo: las agencias del estado tienen limitada capacidad de monitoreo de variables hidrometeorológicas y ambientales. Por otra parte, el SEIA recurre a un sistema de monitoreo que ha sido desarrollado principalmente por titulares que poseen permisos ambientales para ejercer actividades productivas. Estos sistemas de monitoreo se construyen caso a caso en virtud de las características de cada proyecto, pero sin obedecer a un plan general de monitoreo a escala de cuenca que tenga claridad respecto de objetivos y reducción de brechas de conocimiento.
 - Esta brecha de coordinación se ve agravada por la existencia de procesos sancionatorios asociados al incumplimiento de compromisos ambientales.
 - Falta de coordinación entre PATs: a lo ya destacado respecto de los PAT asociados a la institucionalidad de gestión de recursos hídricos e institucionalidad ambiental se destaca la falta de coordinación entre los PAT-SEIA de las empresas operando en la cuenca.
 - Existe una confusión por parte de los actores en la cuenca respecto de los alcances y ámbitos de acción de distintos organismos del Estado vinculados al agua, particularmente DGA/DOH (asociada a obras en cauces y sistemas APR).

- Muchos de los sistemas APR no cuentan con resolución SISS y algunos de ellos muestran desafíos relevantes en la gestión de su operación. Estos desafíos se han visto exacerbados durante la pandemia de COVID-19 ya sea por reducción o aumento en consumos en el caso de San Pedro de Atacama o pueblos en el Salar respectivamente producto de la reducción de actividad de turismo y migración hacia pueblos del interior.
- La migración ocurrida producto de la pandemia de COVID-19 ha incentivado también el uso de recursos para actividades agrícolas tensionando su gestión.
- Se destaca la existencia de múltiples modelos de simulación de los recursos hídricos. Las empresas tienen sus propios modelos desarrollados típicamente asociados a los procesos de SEIA. El estado y las comunidades también han generado capacidades relevantes desarrolladas a través de propios antecedentes y estudios. En estos desarrollos hay distintos supuestos y modelos conceptuales. Existe la aspiración de contar con herramientas que permitan sustentar decisiones de gestión en la cuenca.
- Se observan asimetrías de acceso a información entre grupos. Estas diferencias existentes entre tipos de actores (ej. diferencias entre empresas y comunidades) y también al interior de categorías de grupos (ej. diferencias entre comunidades que pueden o no contar con asesores técnicos).
- Se observan también brechas culturales respecto de visión que se tiene respecto del aprovechamiento de los recursos naturales contrastándose una visión productiva muy relacionada al mercado del agua (oferta versus demanda) contra el valor ancestral/ecológico del agua.
- Existen brechas (ubicación en la cuenca y capacidades de participar en procesos virtuales) en la capacidad que tienen distintos actores de poder participar en procesos de definición de instrumentos de gestión.
- Estas últimas tres tipologías de brechas son consideradas en el diseño de procesos de Consulta Indígena.

Esta limitada coordinación a nivel institucional, intersectorial y entre usuarios del recurso hídrico, sumado a la fuerte desconfianza hacia la actividad minera y el desconocimiento del sistema regulatorio, explican la inexistencia de organizaciones de usuarios de segundo nivel en la cuenca, como asociaciones de canalistas o juntas de vigilancia (DGA-ARCADIS, 2016). En concreto, las principales limitantes detectadas para la generación de instrumentos de planificación a escala de cuenca incluyen (DGA-ARCADIS, 2016):

- Limitada capacidad de la institución central (DGA), en términos de recursos económicos y humanos. Esto se complementa con la escasa presencia de la DGA en la cuenca. Esto es resentido por comunidades¹³.
- Limitada coordinación intersectorial de los usuarios, en términos de la capacidad de los sectores de dialogar.

¹³ Importante destacar que la presencia del Director Regional y del Director Subrogante en las actividades de PAC fue ampliamente valorado por las Comunidades Indígenas y usuarios de recursos hídricos en la cuenca.

- Limitados mecanismos de comunicación, coordinación y sistemas de información entre las instituciones.

2.6.4 Brechas de información

2.6.4.1 Estado de información sobre Organizaciones de Usuarios de Agua

Como se menciona en el acápite 2.6.3.1, los registros y anotaciones que se realizan en la DGA y dada la legislación vigente, la comuna de San Pedro de Atacama no presenta organizaciones de usuarios (junta de vigilancia, asociación de canalistas, comunidades de aguas superficiales ni comunidades de aguas subterráneas), solo se observan comunidades de agua como forma de organización de usuarios de agua, y se llaman Asociaciones Atacameñas de Regantes y Agricultores del río o comunidad indígena ha practicado agricultura desde tiempos antiguos.

2.6.4.2 Estado de información sobre Derechos de Aprovechamiento de Aguas

De acuerdo con la base de datos de derechos de aprovechamiento de aguas en la cuenca del Salar de Atacama, se cuenta con la descripción de 182 derechos concedidos actualizado a la fecha de diciembre 2019.

De estos 182 derechos, 115 corresponden a una naturaleza de tipo subterránea, mientras que los 67 restantes corresponden a una naturaleza de tipo superficial. Del total subterráneo, 5 derechos se encuentran sin descripción de uso, sumando un caudal de 124,4 l/s, mientras que, del total superficial, 6 derechos se encuentran sin descripción de uso, sumando un caudal de 221,7 l/s. Detalles respecto de estos derechos se presentan posteriormente en el Capítulo 4.

En cuanto a la información requerida para caracterizar estos derechos se puede destacar que existen 11 derechos que no poseen coordenadas geográficas que permiten la geolocalización de estos derechos dentro de la cuenca. De estos, 5 son derechos de agua subterránea (de los cuales 4 tienen uso minero y 1 uso no definido) y 6 son derechos de agua superficial (de los cuales 2 tienen uso industrial, 1 uso minero, 1 riego, 1 otros usos y 1 uso no definido).

En cuanto a los derechos de aprovechamiento de aguas superficial, se cuenta con la geolocalización 49 derechos dentro de la cuenca¹⁴, de las cuales 5 no presentan un uso definido, 2 corresponden al uso Bebida/Usos doméstico/Saneamiento, 17 a otros usos, 26 a riego y 1 a uso industrial.

2.6.4.3 Herramientas de información hídrica

Las herramientas de información hídrica dentro de la cuenca del Salar de Atacama se generan tanto por organismos del estado como por empresas particulares, las cuales se describen en este acápite.

¹⁴ En total son 51 derechos asignados para la cuenca del Salar de Atacama, sin embargo, dadas las coordenadas geográficas dentro de la base de datos, 2 puntos se encuentran fuera del límite definido según las subcuencas DGA-DARH (DGA-CIREN, 2014).

i. Red hidrometeorológica e hidrogeológica

Como se menciona en el acápite 2.4.2, el monitoreo de variables hidrometeorológicas en la cuenca del Salar de Atacama es realizado por la DGA, la DMC y el INIA, se cuenta con 12 estaciones con registros de fluviometría, 12 estaciones con registros meteorológicos (temperaturas extremas, precipitación, viento, evaporación y humedad relativa). Tres estaciones DGA han medido nivel de pozo (DGA) y 7 estaciones poseen mediciones de calidad del agua (parámetros diversos), dentro de los cuales destacan la conductividad eléctrica, concentración de cloruros e isótopos. Su importancia radica en que dichos compuestos permiten inferir el origen de las aguas subterráneas y su dirección.

Aun así, existen solamente 6 estaciones de precipitación con extensión de datos suficientemente largas para el uso en modelos hidrológicos numéricos como el desarrollado en este estudio, una sola estación de larga data de monitoreo fluviométrico en la cuenca (San Pedro en Cuchabrachi) y que tiene deficiencias respecto del monitoreo de crecidas. Además, pese a que existe un gran número de pozos de monitoreo (manejados en su gran mayoría por empresas mineras), estos están concentrados en la zona Sureste de la cuenca (zona del salar y Monturaqui).

ii. Monitoreo de calidad de aguas

a) Superficial

La cuenca en estudio cuenta con un total de 1.255 puntos de monitoreo de calidad de aguas de tipo superficial, entre estaciones de medición de organismos públicos e información pública dispuesta por el SEA y SMA de estaciones de propiedad privada, las cuales han registrado datos entre 1947 y 2019 (CORFO-PUC, 2021). Estos controles se pueden clasificar según el tipo de fuente:

- Superficial Río/Estero: Existen 403 focos de monitoreo de calidad de agua en ríos/esteros.
- Superficial Laguna/Lago: Se identifican 218 puntos de monitoreo de calidad del agua en cuerpos lacustres y lagunas.
- Manantial: Se tienen 27 puntos de control de calidad en agua en manantiales.
- Manantial termal: Se cuentan con 5 puntos de monitoreo de calidad de aguas en manantiales termales.
- Humedal: Se cuenta con 1 punto de monitoreo de calidad de agua superficial en humedales.

b) Subterránea

La cuenca en estudio cuenta con un total de 3.390 puntos de monitoreo de calidad de aguas de tipo subterráneo, incluyendo registros de organismos públicos e información pública de instrumentos de propiedad privada. Respecto a la base de datos de monitoreo de hidroquímica e isótopos de Comité de Minería No Metálica-Amphos21 (2018) cuenta con registros de 902 puntos y 5.043 analíticas, de los cuales validan 502 y 1.174, respectivamente. Esta información está disponible desde el año 1947 hasta 2016. Cada uno de estos registros cuenta con las coordenadas proyectadas en UTM WGS 1984, la elevación respectiva del punto de la muestra proyectada en el modelo de elevación digital (DEM), y

el tipo de fuente según el cuerpo de agua al que corresponde. En la mayoría de los casos estos datos están ingresados a escala diaria (CORFO-PUC, 2021).

2.6.4.4 Síntesis de brechas de información

Las brechas de información identificadas dentro de la cuenca de estudio se obtienen principalmente a partir de los procesos de participación ciudadana, en específico de los talleres de levantamiento de información, pero además se logran identificar de la información presentada en los acápite anteriores. Estas brechas se pueden clasificar en dos tipos, por una parte, existen brechas de información respecto de componentes del ciclo hidrológico natural que debiesen resolverse a través de mejoras en monitoreo, por otra parte, existen brechas de información respecto de los procesos de toma de decisiones y usos actuales y futuros de recursos hídricos y salmuera en la cuenca.

i. Componentes del ciclo hidrológico natural

a) Estaciones meteorológicas

Existen solamente 6 estaciones de precipitación con extensión de datos suficientemente largas para el uso en modelos hidrológicos numéricos como el desarrollado en este estudio. Se requiere ampliar la cobertura espacial, especialmente en zonas altas. En parte este requerimiento se va a resolver en la medida que estaciones de duración más cortas (existen 29 estaciones en total, pero solo 6 con larga duración de monitoreo) acumulen más datos. Sin embargo, no se observa la instalación de nuevas estaciones en zonas de mayor altura (relevante para la simulación de los procesos de acumulación y derretimiento de nieve y la evolución de los glaciares presentes en la cuenca) (CORFO-PUC, 2021).

b) Estaciones fluviométricas

Existe una sola estación de larga data de monitoreo fluviométrico en la cuenca (San Pedro en Cuchabrachi) y que tiene deficiencias respecto del monitoreo de crecidas. Se debe mejorar la calidad del registro en esa estación e incorporar nuevas estaciones que registren las condiciones fluviométricas en los ríos y quebradas del borde Este de la cuenca. Se deben también realizar aforos a lo largo de estos ríos para identificar puntos de afloramiento y de infiltración de cauce (CORFO-PUC, 2021).

c) Nivel de pozos y propiedades hidráulicas de suelos

Pese a que existe un gran número de pozos de monitoreo (manejados en su gran mayoría por empresas mineras), estos están concentrados en la zona Sureste de la cuenca (zona del salar y Monturaqui). Existe escasa información respecto de niveles en la zona Norte del acuífero del salar. Por otra parte, se han realizado análisis de propiedades hidráulicas de los suelos en la zona del Salar y Monturaqui, pero faltan análisis comparables en la zona de cuencas laterales (CORFO-PUC, 2021).

d) Red de monitoreo nival y glaciológico

A pesar de contar con un catastro de glaciares y puntos de monitoreo de nieve, la cuenca del Salar de Atacama no presenta estudios específicos de los glaciares que se encuentran en ella, tampoco presenta estaciones de monitoreo de carácter nival ni glaciológico, aun cuando se tiene evidencia de que existe acumulación de nieve a partir del análisis de

imágenes satelitales en el marco del estudio (CORFO-PUC, 2021). Por otro lado, dentro del proceso de reuniones PAC los actores no dieron a conocer problemáticas ni necesidades en este ámbito, aun así, es importante para mejorar la comprensión y gestión hídrica dentro de la cuenca.

Lo anterior, dificulta la comprensión del ciclo hidrológico e hidrogeológico completo en la cuenca, además de entender la evolución en el tiempo de los diferentes parámetros que son claves para lograr conectar piezas entre la escala regional y local, y una gestión de los recursos hídricos adecuada.

ii. Usos actuales y futuros de recursos hídricos y salmuera

Por otra parte, existen brechas de información respecto de usos actuales y futuros de recursos hídricos y salmuera en la cuenca. Estas brechas pueden ser cubiertas a través de procesos participativos y de monitoreo respecto del uso del agua.

a) Superficie cultivada y tipo de riego

La información revisada a escala comunal no permite distinguir las diferentes condiciones de riego que existen en la cuenca. Es esperable que la actualización del censo agropecuario y los estudios que desarrolla la CNR al respecto permitan suplir esta brecha. Se requiere información respecto de las expectativas de crecimiento de la actividad agrícola en la cuenca.

b) Consumo de agua potable para la población residente y flujo de turistas

Se requiere un estudio que determine cuáles son las tasas de consumo de agua potable por parte de la población que reside de manera permanente y temporal en la cuenca. Junto a lo anterior, uno de los problemas que dificulta en parte la obtención de esta información son las anomalías que se han presentado en la medición de caudales de extracción de los pozos que utiliza CAPRA para la PTAP.

Adicionalmente se requiere tener una mejor caracterización del flujo de visitantes asociados a la actividad turística en la cuenca. Por el momento se cuenta con información secundaria indirecta como por ejemplo la asistencia a parques nacionales. Se debe también proyectar las expectativas de crecimiento de esta actividad especialmente en el contexto de la actual pandemia COVID-19.

iii. Caracterización geofísica

La información disponible se concentra principalmente en los bordes Este, zona Marginal, borde Oeste y Sur de la cuenca del Salar de Atacama, sectores que corresponden a zonas de explotación y/o exploración minera. En el núcleo del Salar la información geofísica está acotada a perfiles de sísmica. Respecto al sector Norte, la información disponible permite definir las secciones, unidades y la geometría del sistema subterráneo de la cuenca del Salar de Atacama, sin embargo, no hay información respecto a la ubicación o geometría de la interfaz salina en esta zona.

iv. Conocimiento de ecosistemas y sistema integral de información

Por último, existen brechas de información respecto del conocimiento de algunos ecosistemas y de sistemas de información en línea dentro de la cuenca.

a) Información de sistemas lagunares

Uno de los sistemas más complejos que se presentan en la cuenca del Salar de Atacama son los sistemas lagunares, de los cuales se desconoce su funcionamiento y evolución en el tiempo, además de su valor ecosistémico y de especies nativas. Estos sistemas no cuentan con una batimetría, con estudios censales de la fauna del hábitat lacustre ni modelos conceptuales que expliquen el funcionamiento hidrogeológico y ecosistémico de cada sistema lagunar. Además de lo anterior, también se desconoce el impacto y las consecuencias que pueda generar en la biota la disminución o movimiento de la cuña salina en estos sistemas de alta complejidad.

b) Información del estado de vegas y bofedales

Otra brecha de información que se presenta es el desconocimiento y desactualización que se tiene sobre la salud hídrica y ecosistémica de vegas y bofedales en la cuenca de estudio, además de la respuesta que puede tener el medio biótico ante cambios en la disponibilidad de recursos hídricos. El desarrollo de acciones en esta línea no solo ayudaría a entender mejor el estado actual de estos sistemas, sino también potenciaría la conservación y restauración de ecosistemas nativos sensibles.

c) Sistema integral de información en línea

Por último, actualmente dentro de la cuenca se manejan datos y registros de monitoreo de manera paralela entre los diferentes entes públicos y privados, lo que genera dificultad y desconfianza al momento de querer consultar esta información. Proponer acciones que apuntan en esta línea no solo ayudaría a compilar en un mismo lugar los datos y registros mejorando su disponibilidad, sino que también sería clave en la toma de decisiones para una gestión hídrica coordinada y sostenible.

En el marco del cumplimiento de la normativa ambiental vigente (i.e., RCA y PSA asociados) se genera hoy en día una gran cantidad de información asociada a monitoreos de variables claves en la cuenca. Sin embargo, la coordinación entre los distintos organismos participantes de este proceso (e.g., frente a idénticas variables de monitoreo, cada titular de RCA puede emplear una metodología de muestreo distinta y protocolos distintos, lo que imposibilita una futura comparación de la información), así como con otros actores (e.g., comunidades locales encargadas de permitir el paso hacia sectores sensibles que deben ser monitoreados, o el trabajo y conocimiento que realiza la academia en la cuenca), puede mejorarse, lo cual permitiría reducir el intervencionismo en los sectores sensibles de la cuenca del Salar de Atacama.

CAPÍTULO 3 DEMANDA FÍSICA Y LEGAL DE RECURSOS HÍDRICOS PARA DIFERENTES USOS

En el presente capítulo se cuantifica la demanda de agua por los diferentes sectores productivos y otros usos del recurso, tanto actual como su proyección futura, para uso humano, necesidades mínimas ambientales, demandas agrícola, minera, industrial u otras. Para estas demandas se evalúan los Derechos de Aprovechamiento de Agua (DAA) otorgados en la cuenca y se incorpora un análisis del mercado de aguas asociado. La caracterización de esta demanda sirve de base para la construcción de la situación actual y proyectada que se utilizan en el balance de agua.

3.1 USO HUMANO

La demanda para uso humano considera la demanda requerida en agua potable. Para ello, en primer lugar, se presenta un análisis de la población actual de la cuenca y una proyección poblacional futura en los años 2030 y 2050.

3.1.1 Consideraciones de base

3.1.1.1 Demografía y caracterización de la población

La cuenca del Salar de Atacama se extiende sobre la provincia de El Loa, Región de Antofagasta, y en particular sobre la comuna de San Pedro de Atacama, con la cual tiene un traslape geográfico casi exacto. La población histórica de estas tres divisiones político-administrativas de interés se resume en la Tabla 3-1. Como se observa, la población residente en esta comuna alcanza las 10.996 personas (6.161 hombres y 4.835 mujeres), que constituyen el 1,81% de la población total de la Región de Antofagasta, y el 6,21% de la población de la Provincia de El Loa, posicionando a la comuna como una de las con menor población dentro de la región (INE, 2017)¹⁵. En específico, al extenderse sobre una superficie de 23.439 km² alcanza una densidad poblacional de 0,47 hab/km², cifra que se encuentra muy por debajo y contrasta con la media provincial (4,22 hab/km²) y regional (4,82 hab/km²).

La Tabla 3-1 también refleja el explosivo crecimiento tanto en el período 1992-2002 (75%) como en el período 2002-2017 (120%), que ha tenido esta comuna. Ambas variaciones se explican por el efecto conjunto del auge de la actividad minera local (trabajadores desplazados por dichas faenas) y turística. Esta última está cada vez más consolidada en la comuna, resultando en una constante migración (Mapocho Consultores, 2017), y la presencia de una importante población flotante a lo largo del año, producto del flujo de turistas nacionales y extranjeros que acuden a visitar el patrimonio natural y cultural local.

¹⁵ Se identifica como brecha de información la actualización del Censo poblacional. Por motivos de la contingencia sanitaria, se pospuso la fecha de inicio de levantamiento de información. Mayor detalle en <https://www.ine.cl/prensa/2020/10/02/por-escenario-de-covid-19-y-sus-implicancias-t%C3%A9cnicas-ine-reagenda-censo-de-poblaci%C3%B3n-y-vivienda-para-2023>

Tabla 3-1: Población Total censos 1982, 1992, 2002, 2017 en zonas administrativas de interés.

Localidad	Censos (habitantes)			
	1982	1992	2002	2017
Región de Antofagasta	341.702	410.724	493.984	607.534
Provincia de El Loa	103.633	125.079	143.689	177.048
Comuna de San Pedro de Atacama	2.578	2.829	4.969	10.996

Fuente: Censo de Población y Vivienda 2017 (INE,2017)

En cuanto a la distribución por edad (ver Tabla 3-2), de acuerdo con el último Censo (INE, 2017) la población de la comuna de San Pedro de Atacama se concentra en los tramos de edad entre 30 a 44 años (31,1%), con un total del 93,6% de la población menor a los 64 años, valores similares a los obtenidos a escala provincial (93,3%) y regional (92,5%).

Tabla 3-2: Distribución de habitantes por edad en la comuna de San Pedro de Atacama.

Grupo de Edad	Habitantes
0 a 14	1.799
15 a 29	2.760
30 a 44	3.417
45 a 64	2.313
65 o más	707
Total	10.996

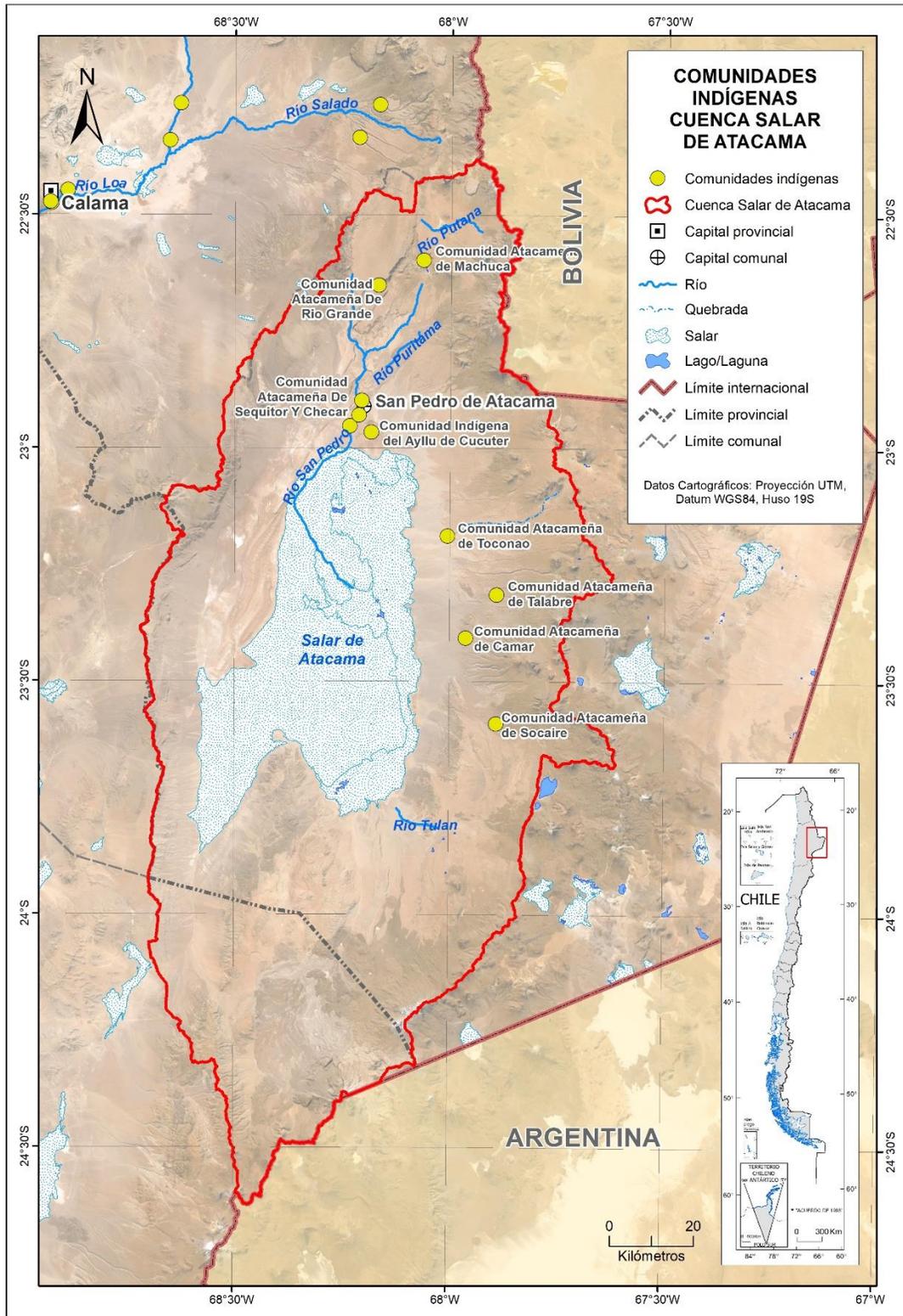
Fuente: Reportes comunales (BCN, 2017)

En cuanto a la distribución urbano-rural de la población (ver Tabla 3-3), de acuerdo con el último Censo (INE, 2017) la comuna de San Pedro de Atacama presenta un equilibrio entre habitantes del sector rural (49,8%) y la población urbana (50,2%). Dichas proporciones difieren significativamente del panorama provincial y regional, los cuales presentan elevados índices de urbanización (92,6% y 94,1% respectivamente). Esta diferencia se explica en la milenaria tradición cultural del área, caracterizada por una importante presencia de comunidades indígenas Atacameñas cuya forma de vida se asocia con actividades de carácter agropecuario (Mapocho Consultores, 2017). En concreto, un total de 21 comunidades indígenas pertenecientes a la etnia Atacameña habitan en la cuenca del Salar de Atacama. Información con respecto a la demografía de las comunidades indígenas se presenta en el Anexo J (ver Tabla 1-2, acápite 1), mientras que su ubicación geoespacial se muestra en la Figura 3-1.

Tabla 3-3: Relación población urbana y rural en zonas administrativas de interés.

Localidad	Población Censo 2017		
	Total	Urbana	Rural
Región de Antofagasta	607.534	571.748	35.786
Provincia de El Loa	177.048	164.011	13.037
Comuna de San Pedro de Atacama	10.996	5.524	5.472

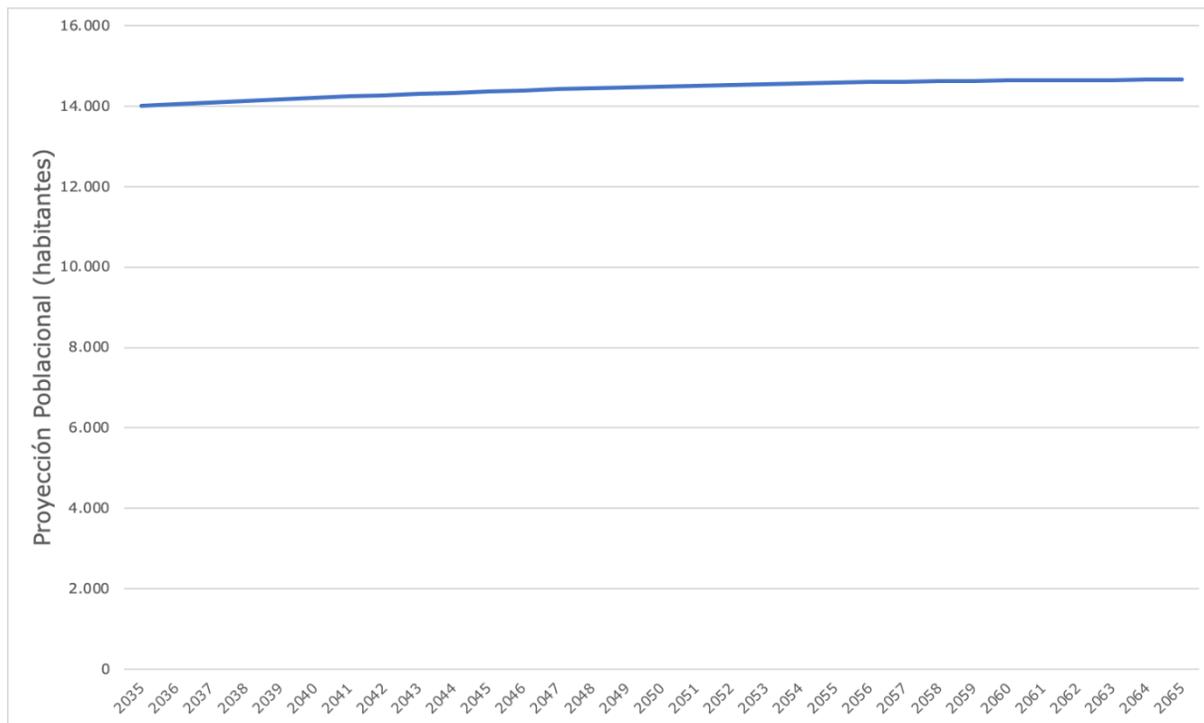
Fuente: CORFO-PUC (2021) en base a Mapocho Consultores (2017)



Fuente: CORFO-PUC (2021) en base a información de CONADI-Ingeland (2016)

Figura 3–1: Distribución de comunidades indígenas en la cuenca del Salar de Atacama.

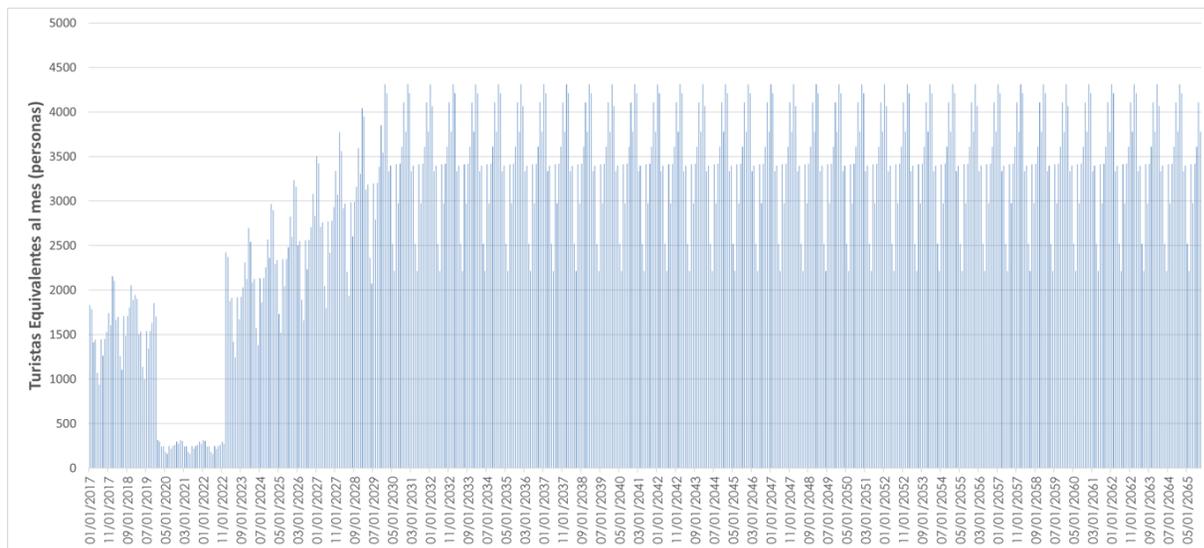
En cuanto a la proyección poblacional en la cuenca del Salar de Atacama, la serie final obtenida para todo el período de estudio se presenta en la Figura 3-2, mientras que todo el detalle de la metodología seguida y las tasas utilizadas para la construcción de esta serie, se presentan en el Anexo F (acápites 3.1).



Fuente: Elaboración propia a partir de INE (varios años)

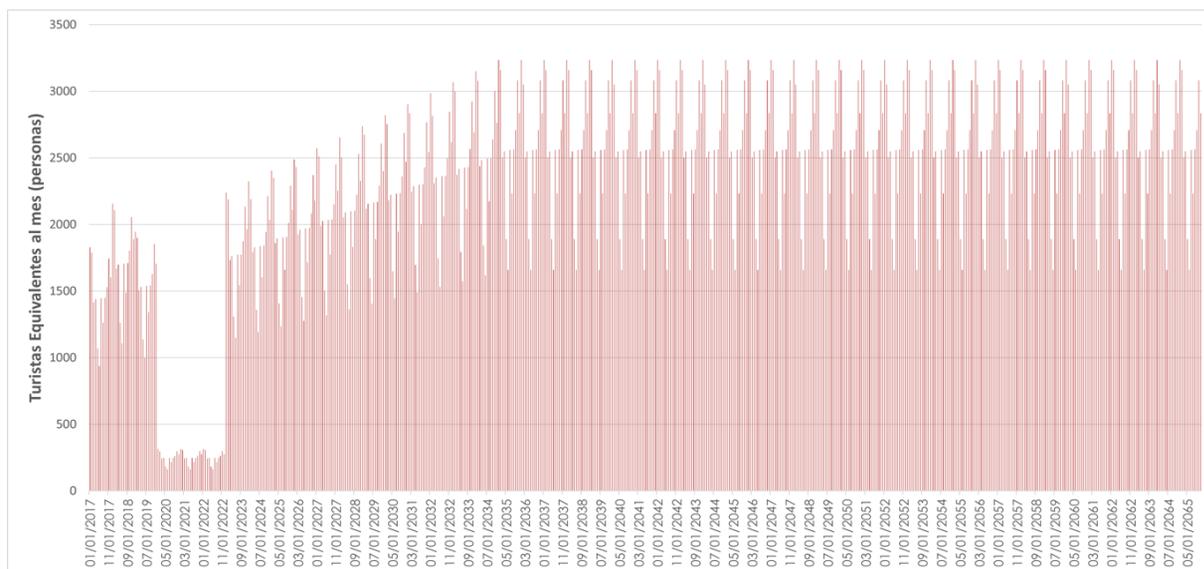
Figura 3-2: Proyección poblacional período 2025-2065 en la cuenca de San Pedro de Atacama.

Dado que para caracterizar el consumo de agua potable en la cuenca es necesario considerar tanto la población residente (recién presentada) como la población flotante (i.e., turistas equivalentes que llegan a visitar los hitos turísticos de la cuenca), la actividad turística en la cuenca también es proyectada a futuro. Para ello, se construyen dos escenarios que buscan representar dos narrativas esperadas para el turismo en la zona: (1) crecimiento alto (ver resultado en Figura 3-3), y (2) crecimiento moderado (ver resultado en Figura 3-4). Todo el detalle metodológico asociado, se presenta en el Anexo F (acápites 3.1.2).



Fuente INE (varios años) y CONAF (varios años)

Figura 3-3: Proyección turistas equivalentes por mes que visitan la cuenca del Salar de Atacama en el periodo 2020-2065, escenario alto crecimiento.

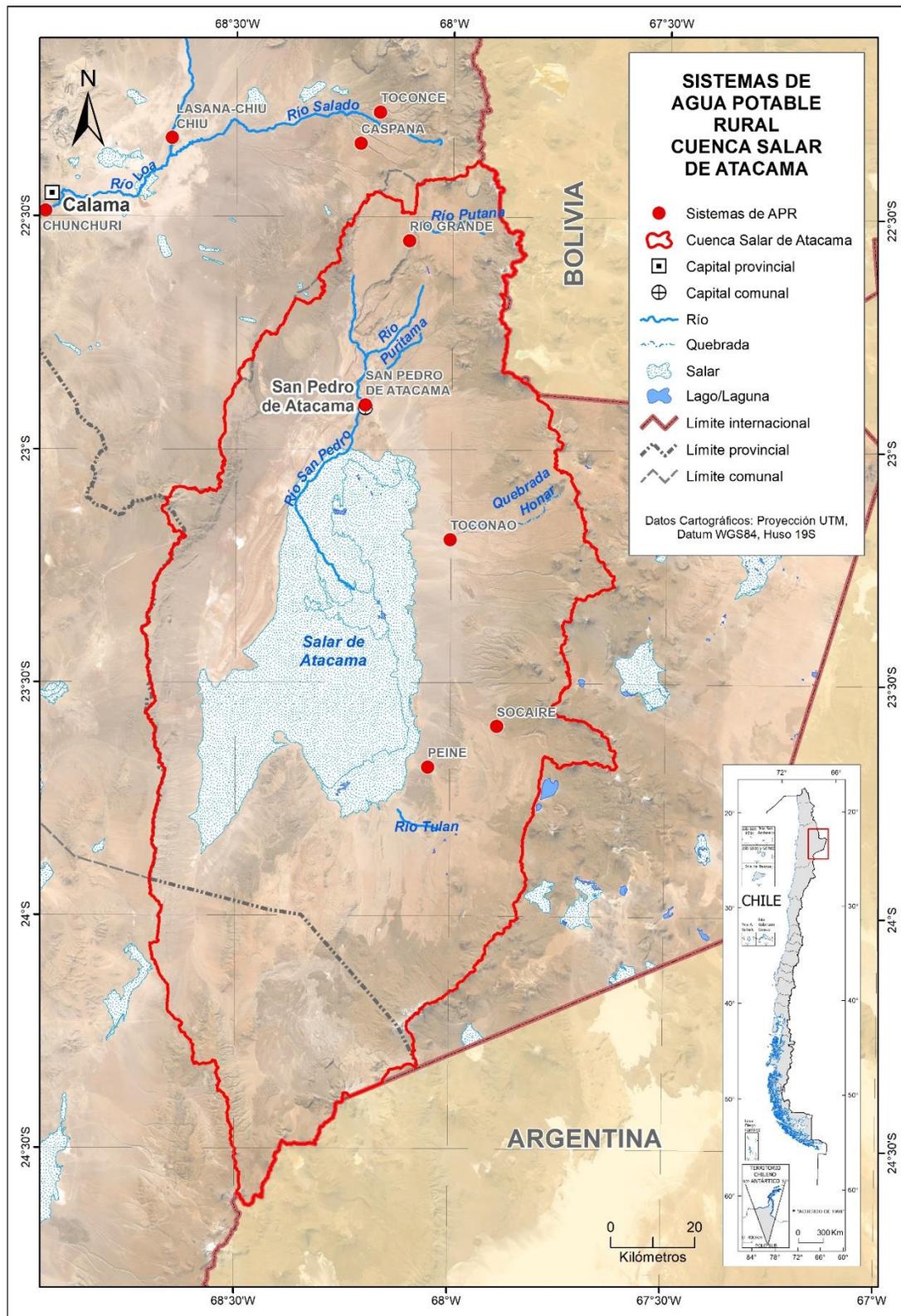


Fuente: INE (varios años) y CONAF (varios años)

Figura 3-4: Proyección turistas equivalentes por mes que visitan la cuenca del Salar de Atacama en el periodo 2020-2065, escenario moderado crecimiento.

3.1.1.2 Abastecimiento de agua potable de la población

En la cuenca del Salar de Atacama no existen empresas sanitarias para el suministro de agua potable. Sin embargo, sí existen sistemas formales de distribución a través de 5 sistemas de Agua Potable Rural (APR), ubicados en las localidades de Toconao, Socaire, San Pedro de Atacama (Comité de Agua Potable Rural de San Pedro de Atacama o CAPRA), Río Grande, y Peine respectivamente (ver Figura 3-5). Mayor detalle de la representación del Comité de Agua Potable Rural de San Pedro de Atacama (CAPRA) se encuentra en Anexo H, acápite 2.2.4.1.



Fuente: CORFO-PUC (2021) en base a información DOH (MOP)

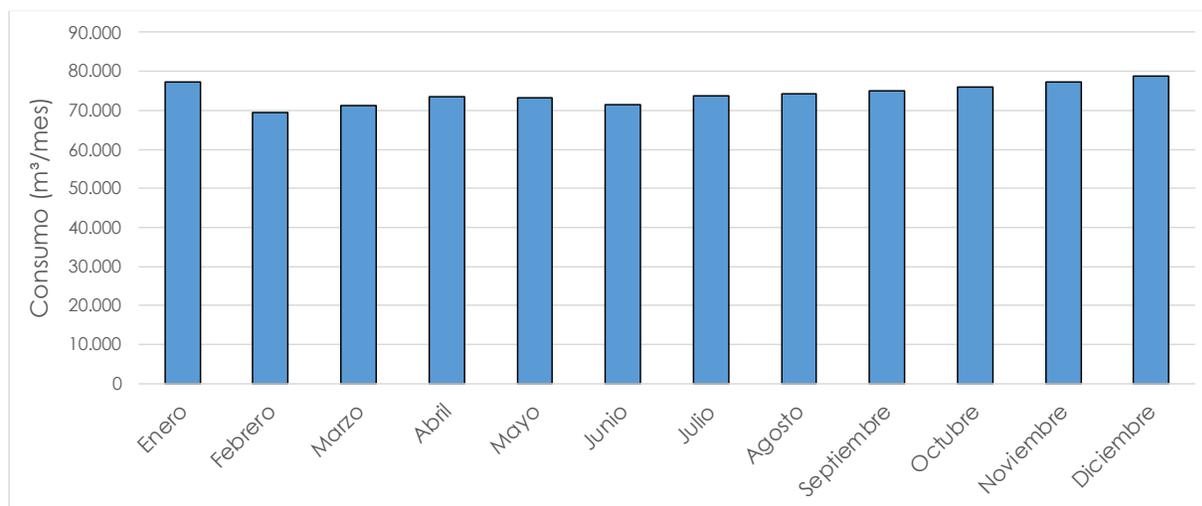
Figura 3-5: Ubicación de Comité APR en la cuenca del Salar de Atacama.

3.1.2 Agua potable rural, actual y proyectada

3.1.2.1 Demanda APR

El consumo de agua para uso humano en la cuenca del Salar de Atacama se asocia tanto a la población residente como a la población flotante (consumo asociado a la actividad turística). A pesar de que no existe la suficiente cantidad de datos para trazar la evolución histórica del consumo de los sistemas APR, sí es posible obtener una estimación de la dotación (medida en litros por habitante por día) acorde con la información de distribución de CAPRA, la información demográfica local, y la información sobre turistas.

Para la estimación de población residente en el pueblo de San Pedro de Atacama se utiliza como fuente de información oficial lo publicado por el censo realizado por INE (2017), alcanzando un valor de 7.968 habitantes el año 2017. Por otro lado, el caudal promedio mensual producido por la planta de tratamiento de agua potable de San Pedro de Atacama (CAPRA) alcanza un valor de 75.702 m³/mes (29,2 l/s) el año 2019, de los cuales un 96% es distribuido hacia el pueblo de San Pedro de Atacama (72.924 m³/mes, equivalente a 28,1 l/s), mientras que el 4% restante es enviado mediante camiones aljibe a distintas localidades rurales (2.778 m³/mes, equivalente a 1,1 l/s). El detalle de producción se presenta en la Figura 3-6, mientras que el detalle de distribución por camiones aljibes a comunidades y particulares se sintetiza en la Tabla 3-4.



Fuente: Elaboración propia en base a datos proporcionados por CAPRA

Figura 3-6: Consumo mensual promedio de agua potable en San Pedro de Atacama para el año 2019.

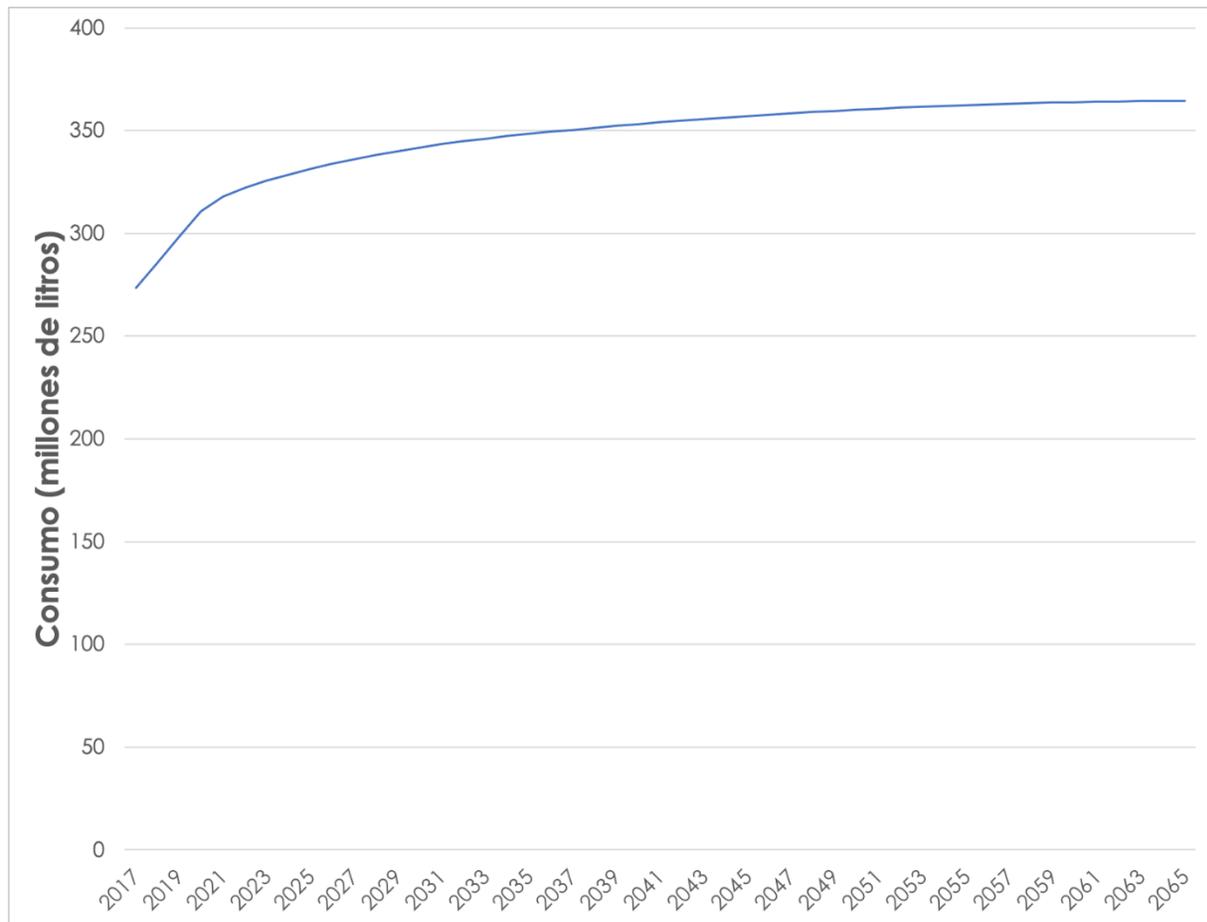
Tabla 3-4: Valores promedio mensual del agua distribuida en camiones aljibes para comunidades y particulares.

Camiones aljibes	Distribución (m³/mes)	Distribución (l/s)
Comunidades	587	0,226
Camar	350	0,135
Coyo	161	0,062
Socaire	32	0,012
Río Grande	12	0,005
Catarpe	10	0,004
Vilama	12	0,005
Ayllus	10	0,004
Particulares	2.191	0,845
Total	2.778	1,072

Fuente: Información proporcionada por CAPRA para este estudio

Sumando ambos componentes poblacionales, y asumiendo que toda la demanda por agua asociada al turismo es cubierta por el sistema de agua potable de San Pedro de Atacama, se obtiene un valor de dotación promedio de 94 l/hab/día (todo el detalle metodológico se presenta en el Anexo F, acápite 3.1.3).

Utilizando la dotación de agua potable calculada, en conjunto con el crecimiento de la actividad turística en la cuenca, se obtiene el consumo de agua potable mostrado en la Figura 3-7.



Fuente: Elaboración propia a partir de CORFO-PUC (2021)

Figura 3–7: Consumo de agua en el pueblo de San Pedro de Atacama asociado al turismo.

3.1.2.2 Eficiencia

Las pérdidas asociadas a los sistemas APR, al igual que los sistemas urbanos, corresponden a los volúmenes producidos y que no son facturados por los consumidores finales. Por tanto, se asume que estos volúmenes corresponden a pérdidas por distribución en la red. Se asume que la eficiencia en la extracción y conducción de agua potable es de un 85%.

3.1.3 Derechos de agua para uso humano

Los derechos de aprovechamiento de agua destinados a agua potable otorgados en la cuenca del Salar de Atacama presentan una naturaleza, tanto subterránea como superficial. Los datos de estos derechos provienen de los registrados en DGA y del Catastro Público de Aguas, donde además de indicar su naturaleza, indican el tipo de uso de agua del DAA. Para este caso, los registros utilizados son los que tiene como uso "Bebida, Uso Doméstico o Saneamiento". La Tabla 3–5 muestra el caudal de este uso para ambas naturalezas, además del porcentaje que representa del total de registros. Cabe destacar que el caudal suministrado por la APR CAPRA en la cuenca del Salar de Atacama (41,6 l/s) representa aproximadamente un 49% de los derechos concedidos para este uso (considerando solo

naturaleza subterránea, dado que la producción de CAPRA proviene de dicha fuente). Es importante señalar que no se cuenta con información detallada de las otras APR presentes en la cuenca sobre extracciones destinadas a agua potable, esta brecha de información se menciona en el acápite 2.6.4.4.

Tabla 3–5: Extracciones destinadas a agua potable (l/s).

	Subterránea	Superficial	Total
Caudal (l/s)	85,1	15,9	101,0
Porcentaje respecto del total (%)	2,2	0,8	1,7

Fuente: Elaboración propia en base a información DGA y CPA (2019)

3.1.4 Demanda hídrica para consumo humano actual y proyectada

A partir de la dotación estimada, la población tanto actual como proyectada y las pérdidas asociadas a los sistemas APR se calculó la demanda hídrica para consumo humano total en la cuenca mediante el modelo WEAP, presentado en el acápite 5 de este informe y en el Anexo H. En la Tabla 3–6 se presenta un resumen de la demanda hídrica para consumo humano actual (período 2000 – 2020) y proyectada en un corto (2020 – 2040) y largo plazo (2040 – 2060) en los escenarios de alto y moderado crecimiento, presentados en el acápite 3.1.1.1.

Tabla 3–6: Demanda hídrica para consumo humano actual y proyectada.

Demanda hídrica para consumo humano	2000-2020	2020-2040	2040-2060
Escenario de alto crecimiento (l/s)	22,4	60,7	71,8
Escenario de moderado crecimiento (l/s)		51,6	60,5

Fuente: Elaboración propia.

3.2 NECESIDADES MÍNIMAS AMBIENTALES

En este apartado se presentan los valores de demanda relativos a las necesidades de carácter ambiental, específicamente las necesidades hídricas de la vegetación natural, el caudal de protección ambiental y el caudal ecológico en la cuenca.

3.2.1 Consideración de sistemas protegidos: necesidades mínimas de la vegetación natural

No se identificaron estudios que permitan cuantificar las necesidades mínimas para que la vegetación natural persista ni el efecto que los cambios en las variables físicas del sistema hídrico (niveles freáticos, salinidad u otros) tienen sobre esta. Definir umbrales en niveles freáticos permite restringir cambios significativos en el sistema, sin embargo, estos no son indicativos del estrés hídrico o niveles de salinidad a los que está expuesta la vegetación natural ni de los cambios que esta puede resistir. Lo anterior corresponde a una brecha asociado a la comprensión de los ecosistemas existentes en la cuenca.

Respecto a las características de las formaciones vegetacionales nativas de la cuenca del Salar de Atacama, en la Tabla 3–7 se presentan parámetros asociados a la cobertura, altura y profundidad de raíces de especies representativas de estas formaciones. Estos

parámetros fueron utilizados para representar la interacción entre la vegetación y los niveles freáticos del sistema subterráneo en el modelo de simulación, presentado en el Capítulo 5 (detalles de esta interacción vegetación-sistema subterráneo se presentan en el acápite 5.2.1 del Anexo H).

Tabla 3-7: Parámetros para especies representativas de las distintas formaciones vegetales nativas de la cuenca del Salar de Atacama.

Clase de Cobertura vegetal	Taxa	Forma de vida	Cobertura (% del área total)	Altura máxima (m)	Profundidad Mínima. Raíces (m)	Profundidad Promedio Raíces (m)	Profundidad Máxima Raíces (m)
Pastizal	<i>Distichlis spicata</i>	Hierba perenne	24,3	0,80	0,1	0,61	No reportado
Humedal	<i>Juncus balticus</i>	Hierba perenne	4,2	0,60	0,15	0.47	0,80
Matorral	<i>Tessaria absinthiodes</i>	Arbusto	1,1	0,50	0,25	0.77	1,5
Bosque	<i>Prosopis tamarugo</i>	Árbol freatófito	Indeterminado	8-20	4	12	18-20

Fuente: CORFO-PUC (2021), Sudzuki (1969), Calderón et al. (2015), Chavez et al. (2016), Decuyper et al. (2016), Stromberg (2013) y CEA (2017)

3.2.2 Derechos de agua para el medio ambiente: caudales ecológicos

A partir del estudio de "Estimación de la demanda actual, proyecciones futuras y caracterización de la calidad de los recursos hídricos en Chile" (DGA, 2017b), se han definido 2 sitios prioritarios para la biodiversidad asociados a cursos de agua en la zona de estudio. Uno de ellos es en "Ayllus de San Pedro de Atacama" y el otro en el "Salar de Atacama", en las estaciones "Canal Vilama en Vilama" y "Canal Cuno en Socaire". La metodología de estimación de los caudales para protección ambiental se presenta en el acápite 1.4 del Anexo F y las estimaciones en la Tabla 3-8 y Tabla 3-9.

Tabla 3-8: Caudales para protección ambiental en Ayllus de San Pedro de Atacama, estación Canal Vilama en Vilama (l/s).

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150

Fuente: Elaboración propia en base a DGA (2017b)

Tabla 3-9: Caudales para protección ambiental en Salar de Atacama, estación Canal Cuno en Socaire (l/s).

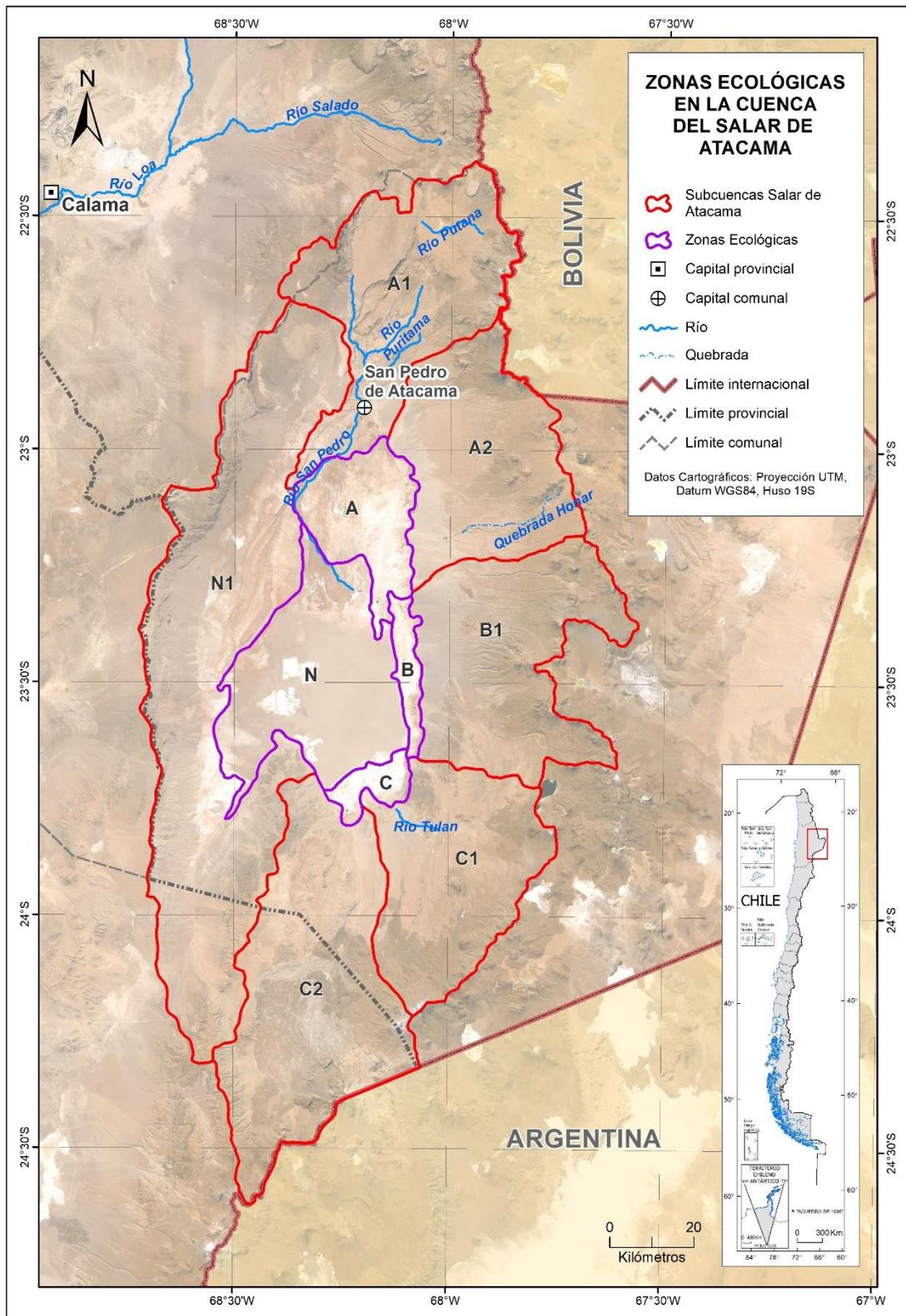
ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
120	130	140	150	150	160	170	190	190	170	110	110	140

Fuente: Elaboración propia en base a DGA (2017b)

Existen otras áreas de importancia ambiental para la conservación de la biodiversidad las cuales presentan una gran complejidad en cuanto a la naturaleza de los distintos afluentes que las alimentan, lo que dificulta la obtención de datos sobre caudales ecológicos. Estas áreas corresponden al Sistema Hidrológico de Soncor y Aguas de Quelana, ambos son parte de la Reserva Nacional Los Flamencos, y el Santuario de la Naturaleza Laguna Tebenquiche. Particularmente para el caso del Sistema Hidrológico de Soncor y Aguas de Quelana, las lagunas y cursos de agua que los conforman se alimentan desde flujos subterráneos de agua dulce-salobre que afloran por flotabilidad producto de diferencias de densidad al Este del Salar (CORFO-PUC 2020, más detalles del funcionamiento lagunar en esta referencia).

El "Manual de Normas y Procedimientos para la administración de Recursos Hídricos" define el caudal ecológico como "caudal mínimo que debieran tener los ríos para mantener los ecosistemas presentes, preservando la calidad ecológica" (DGA, 2007).

Los caudales ecológicos de referencia corresponden a los presentados en el estudio "Análisis de la oferta hídrica del Salar de Atacama", desarrollado por la División de Estudios y Planificación el año 2013, donde se definieron 4 zonas ecológicas. Esto se puede ver en la Figura 3-8.



Fuente: DGA (2013)

Figura 3–8: Zonas ecológicas definidas en la cuenca del Salar de Atacama.

Dentro de estas zonas ecológicas se encuentran superficies de vegas y lagunas, las cuales requieren de un caudal mínimo para mantener los ecosistemas del lugar. Del mismo estudio desarrollado por la División de Estudios y Planificación se presentan los caudales ecológicos de referencia estimados en estas zonas (Tabla 3–10).

Tabla 3–10: Caudal Ecológico para áreas sensibles dentro de la cuenca del Salar de Atacama (l/s).

Zona	Caudal Vegas	Caudal Lagunas	Caudal Ecológico
A	530	350	880
B	130	220	350
C	110	280	380
N	0	0	0
Total	770	850	1.610

Fuente: DGA (2013)

Cabe mencionar que se presentan estos caudales ecológicos de referencia dado que los datos fluviométricos registrados por las estaciones hidrológicas son insuficientes para realizar un análisis completo de demanda ambiental, esto según las brechas identificadas en el acápite 2.6.4.3.

3.3 DEMANDA AGRÍCOLA

La demanda agrícola se representó a través del algoritmo de cálculo MABIA que se encuentra dentro de las opciones de WEAP. Este algoritmo permite la representación de los flujos de agua que ocurren a nivel de cobertura agrícola y vegetal, pudiéndose además implementar diferentes tipos de riego para los diferentes grupos de cultivos. Se considera el modelo desarrollado en CORFO-PUC (2021), siendo actualizado mediante la coordinación y reuniones con actores presentes en la cuenca. De estas reuniones se espera ajustar actualizar la información con respecto a superficie regada, el método de riego usado y los caudales que poseen por derecho de aprovechamiento de agua.

3.3.1 Zonas de riego modeladas

La primera aproximación de las zonas de riego modeladas corresponde a la distribución espacial de la cobertura de tipo *cultivos* desarrollado por Zhao et al. (2016) y modificado por CORFO-PUC (2021) (Figura 3–9). Además, se consideró dentro de cada modelación hidrológica en donde si existe presencia de cultivo, pero no existen canales ni derecho de aguas superficiales cercanos, esta cobertura se descarta y no se considera como tal¹⁶. Este ajuste se debe a que el producto presenta una menor precisión en esta zona, indicando que la base de datos para su validación no fue suficiente en la región de Antofagasta (Zhao et al., 2016b). Además, en actividades de co-construcción¹⁷ del modelo con los actores fue posible ajustar la superficie total cultivada.

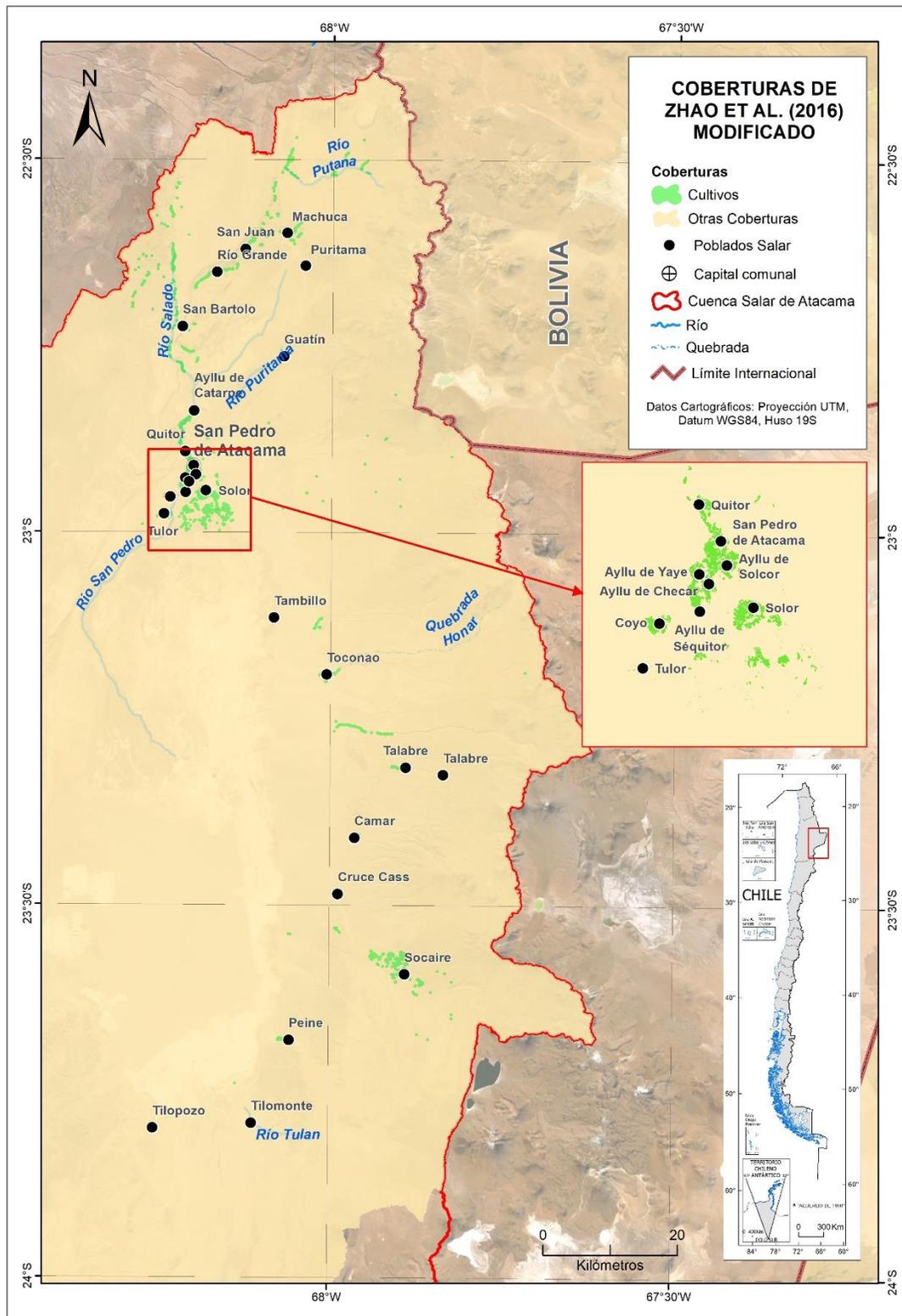
¹⁶ Las áreas descartadas se sumaron a la cobertura “humedal”. Esto se considera como un supuesto, dado que el producto se construyó en base a interpretación de imágenes satelitales, por lo que es posible que existan áreas más húmedas y con alta presencia de vegetación (como un humedal) sean confundidas con áreas regadas y productivas (como un área agrícola).

¹⁷ En estas sesiones se trabajó con la actualización de la superficie total cultivada, el tipo de cultivo presente en su localidad, sistema de turnos de riego (cuando corresponde) y el sistema de riego.

De esta manera, se caracterizan las áreas de riego en el modelo WEAP para aquellas unidades de modelación que poseen cultivos, en donde se asume que todas las áreas identificadas como cobertura de suelo del tipo "cultivos", tienen acceso a agua para riego. Esto se asume dada la información del Censo Agropecuario de 2007 (INE, 2007), en donde el cuadro 6 indica un total de aproximadamente 1.200 ha dentro de la comuna de San Pedro de Atacama¹⁸, mientras que el cuadro 5 indica un total de aproximadamente 1.470 ha regadas¹⁹.

¹⁸ CUADRO 6: SUPERFICIE TOTAL SEMBRADA O PLANTADA POR GRUPO DE CULTIVOS, SEGÚN REGIÓN, PROVINCIA Y COMUNA (INE, 2007).

¹⁹ CUADRO 5: SUPERFICIE REGADA EN LAS EXPLOTACIONES AGROPECUARIAS, AÑO AGRÍCOLA 2006/2007, POR SISTEMAS DE RIEGO, SEGÚN REGIÓN, PROVINCIA Y COMUNA (INE, 2007).



Fuente: CORFO-PUC (2021) a partir de Zhao et al. (2016), MMA (2020) y CEA (2015)

Figura 3–9: Distribución espacial de coberturas dentro de la cuenca del Salar de Atacama.

En la Tabla 3-11 se detalla la superficie agrícola por localidad luego de las sesiones de co-construcción del modelo con actores locales (Anexo F, acápite 3.2), utilizando como base de la localización de las áreas agrícolas la Figura 3-9.

Tabla 3-11: Superficie agrícola regada calculada por localidad dentro de la cuenca del Salar de Atacama.

Localidad	Superficie agrícola (ha)
Río Grande	54
San Pedro de Atacama	647
Vilama	76
Paso Jama	0,4
Toconao	55
Talabre	35
Camar	5,1
Socaire	54
Peine	53
Otros	117,8
Total	1.097

Fuente: Elaboración propia a partir de Zhao et al. (2016), MMA (2020), CEA (2015) y talleres de co-construcción con actores

3.3.1.1 Cultivos modelados

Para caracterizar los cultivos agrícolas presentes en el área de estudio, esta categoría fue desglosada en seis grandes grupos: Plantas Forrajeras, Huertas y Hortalizas, Cereales de Verano, Cereales de Invierno, Frutales y Cítricos. La distribución porcentual resultante en la cuenca posterior a la actualización con actores locales²⁰ se indica en la Tabla 3-12. De acuerdo a lo actualizado por cada actor local esta distribución porcentual varía según la localidad (mayor detalle en Anexo F, acápite 3.2.1.1).

²⁰ En caso de no contar con la actualización del actor local, se asigna la distribución porcentual de cultivos del sector confirmado más cercano. En caso de no contar con la información (ej. Socaire) se mantiene el supuesto inicial de distribución porcentual para el área agrícola identificada.

Tabla 3–12: Distribución porcentual de cultivos agrícolas presentes en la comuna de San Pedro de Atacama.

Categoría	Superficie Comuna San Pedro (ha)	Porcentaje %
Plantas forrajeras	738,4	67,3
Huertas y Hortalizas ¹	208,7	19
Cereales Verano ²	2,9	0,3
Cereales Invierno ³	5,4	0,5
Frutales ⁴	134,9	12,3
Cítricos ⁵	6,9	0,6
Total	1097,3	100,0

Notas: ¹Incluye **choclo**, habas, ajo, huerto y huerta casera; ²Incluye **maíz** y quínoa; ³Incluye **trigo** blanco; ⁴Incluye **peral**, membrillo, tintas viníferas corrientes y otros frutales; ⁵Incluye **naranja**. Los cultivos destacados en negrita se utilizaron como cultivo representativo dentro de cada categoría.

Fuente: CORFO-PUC (2021) en base a INE (2007) y actores locales

3.3.1.2 Parámetros MABIA que caracterizan los cultivos

En la Tabla 3–13 se indican los parámetros utilizados en la biblioteca MABIA para caracterizar los diferentes grupos de cultivos, indicándose valores para duración de etapas fenológicas, coeficientes de cultivo basal (K_{cb}), factor de agotamiento, altura máxima alcanzada y profundidad de raíces.

Otro parámetro relevante para el balance hídrico corresponde a la fracción cubierta con vegetación, ya que esta determina cuál es la superficie sobre la cual se aplican los cálculos de salidas de agua por transpiración, mientras que la fracción no cubierta representa el cálculo de salida de agua por evaporación desde el suelo no cubierto por vegetación. En la Tabla 3–14 se detallan los valores usados para este parámetro.

Tabla 3–13: Parámetros y valores utilizados para diferentes coberturas vegetales en la cuenca del Salar de Atacama.

Cultivo o cobertura de suelo	Categoría	Mes típico de siembra/plantación	Duración etapa [días]: Inicial	Duración etapa [días]: Desarrollo	Duración etapa [días]: Media estación	Duración etapa [días]: Fin estación	Duración etapa [días]: Total	K _{cb} : Inicial	K _{cb} : Media estación	K _{cb} : Fin estación	Factor de Agotamiento [0-0.99]:	Factor de Agotamiento [0-0.99]:	Factor de Agotamiento [0-0.99]:	Altura máxima [m]	Profundidad Raíces [m]: Min	Profundidad Raíces [m]: Max
Huerta y Horticultura	Cereales	Sept	31	38	46	38	153	0,45	1,15	1,05	0,55	0,55	0,55	1,5	0,15	1,2
Cereal Verano	Cereales	Sept	31	38	46	45	160	0,45	1,2	0,48	0,55	0,55	0,55	2	0,15	1,7
Cereal invierno	Cereales	Jul	53	79	39	41	212	0,65	1,11	0,64	0,55	0,55	0,55	1	0,15	1,8
Forrajeras	Forrajera	Sept	90	92	90	93	365	1,1	1,1	1,1	0,55	0,55	0,55	0,7	1,5	2
Cítrico	Frutales	Ene	0	120	125	120	365	0,65	0,64	0,65	0,5	0,5	0,5	4	1,35	2
Frutal	Frutales	Sept	30	50	130	30	240	0,68	1,08	0,83	0,5	0,5	0,5	4	1	2

Fuente: CORFO-PUC (2021) a partir de Allen et al. (1998), CNR-ARRAU (2014) y CNR-AMPHOS21 (2017)

Tabla 3-14: Fracción cubierta por vegetación.

	Cobertura	Fracción de suelo cubierta
Cultivos	Plantas Forrajeras	1
	Huertas y Hortalizas	0,6
	Cereales Verano	1
	Cereales Invierno	1
	Frutales	0,6
	Cítricos	0,6

Fuente: CORFO-PUC (2021)

3.3.2 Método de riego

De acuerdo con lo reportado por el censo agrícola y forestal (INE, 2007), de las 1.467 ha regadas que se encuentran dentro de la comuna de San Pedro de Atacama, el principal sistema de riego corresponde al método gravitacional, en donde el riego por tendido es el que se usa en mayor proporción. En conversación con actores locales, un segundo método de riego presente dentro de la cuenca corresponde al riego por aspersión y un menor porcentaje corresponde a riego por goteo (Tabla 3-15, mayor detalle en Anexo F, acápite 3.2.1.2).

Tabla 3-15 Sistema de riego presentes en la cuenca del Salar de Atacama

Método de riego	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Tendido	1070,1	97,5
Aspersión	24,6	2,2
Goteo	2,6	0,2
Total	1097,3	100

Fuente: CORFO-PUC (2021) en base a INE (2007) y actores locales

Para el caso del método de riego por tendido, se utilizó un valor de eficiencia de un 30% con una fracción mojada de coeficiente 1 (Antúñez & Felmer, 2009). En tanto que, del 70% restante, un 70% percola a aguas subterráneas y un 30% se evapora. Para el caso de riego por aspersión, el valor de eficiencia es de un 75% con un valor de fracción mojada de 1 y para el método de riego por goteo un valor de eficiencia de 90% con valor de fracción mojada de 0,4.

En cuanto a la cantidad de riego, se define una lámina de riego de 50 mm (CORFO-PUC, 2021) con una frecuencia de riego dependiente de los turnos de riego de cada comunidad (CNR, 2021a; CNR, 2021b). Mayor detalle en Anexo F, acápite 3.2.1.2.

3.3.3 Eficiencia de conducción / canales

De lo reportado por CNR (2014), la eficiencia de conducción de los canales es considerada como buena, por lo que para efectos de modelación la eficiencia considera un valor de 80%.

3.3.4 Derechos de agua para la agricultura

Para caracterizar las necesidades de consumo hídrico, se incluyeron limitantes del tipo legal mediante los derechos de aprovechamiento de agua, las cuales posibilitan las

extracciones de este recurso. Por otro lado, también se cuenta con limitaciones físicas por parte de las capacidades físicas de las infraestructuras de canales que se encuentran presentes en la cuenca. En la Tabla 3-16 se detalla las limitantes legales y físicas usadas en el modelo. Dado que las limitantes legales son más restrictivas que las limitantes físicas, el modelo las utiliza como caudal máximo de extracción hídrica para satisfacer demandas agrícolas.

Los puntos de captación de los derechos de aprovechamiento de agua existentes en la cuenca se encuentran actualizados a diciembre 2019 en el Banco Nacional de Aguas (DGA, 2019).

Tabla 3-16: Capacidad de conducción (l/s) y Derechos de aguas superficiales (l/s) en canales presentes en el modelo.

Canal	Capacidad de conducción (l/s)	Derechos de aguas superficiales (l/s)
Extracción Regantes Putana	100 ¹	30
Canal Juntas San Juan	100 ¹	99
Canal Santiago Río Grande	150	125
Canal Regantes Salado 1	100 ¹	17
Canal Regantes Salado 2	100 ¹	11
Canal Regantes San Pedro	1.000	870
Canal Machuca	100 ¹	10
Regantes Vilama (sector Guatin)	100 ¹	44,8
Regantes Vilama	100 ¹	180
Regantes Paso Jama	100 ¹	1,3
Canal Zapar	100 ¹	20
Canal Toconao Norte (Silapeti)	100 ¹	8
Canal Toconao	100 ¹	60
Canal Toconao Prelatura	100 ¹	65
Canal Aguas Blancas	150 ²	101
Canal Talabre	100 ¹	30
Canal Talabre Soncor	100 ¹	26
Canal Camar Alto	100 ¹	6
Canal Camar Bajo	100 ¹	29,23
Canal Regantes Socaire	150 ²	150
Canal Peine	100 ¹	18,6
Canal Tilomonte	100 ¹	44,7

Notas: 1 Valor de referencia dada la capacidad de conducción en canal Cuchabrache y Patilla (100 l/s); 2 Valor de referencia dada la capacidad de conducción del Canal Santiago Río Grande (150 l/s).

Fuente: CORFO-PUC (2021) a partir de CNR-ARRAU (2014) y talleres de co-construcción con actores

3.3.5 Demanda hídrica del sector agrícola

Utilizando los parámetros y supuestos anteriormente mencionados, se obtiene la demanda actual diaria simulada en periodo histórico (1986-2018), correspondiente a una serie de tiempo diaria de evapotranspiración potencial para cada catchment que posee actividad agrícola. En la Tabla 3-17 se presenta el promedio mensual a partir de la serie diaria para las diferentes localidades con producción agrícola dentro de la cuenca

del Salar de Atacama, de los sectores que poseen mayor superficie y su cultivo representativo, para mayor detalle consultar Anexo F, acápite 3.2.3. La demanda hídrica asociada a la totalidad de los predios modelados corresponde a 634 l/s, valor promedio en el período 1986 – 2018.

Tabla 3-17: Demanda agrícola actual a partir de la evapotranspiración potencial (mm/día).

Sector/Regantes y grupo de cultivos	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Asoc. Atacameña de Reg. Y Agr. de San Pedro de Atacama y Otros.												
<i>Solor</i>												
Plantas Forrajeras	8,60	8,24	7,50	7,22	6,09	5,66	6,00	7,37	8,49	9,19	9,54	9,52
Asoc. Atacameña de Reg. Y Agr. Del río Vilama												
<i>Beter</i>												
Plantas Forrajeras	9,01	8,22	7,46	7,10	5,98	5,57	5,89	7,30	8,44	9,25	9,66	9,53
Asoc. Atacameña de Reg. Y Agr. de Celeste												
Frutales y Viña	9,62	8,73	7,97	7,31	2,36	1,03	0,16	0,05	7,90	10,02	10,58	10,44
Asoc. Atacameña de Reg. Y Agr. de Toconao												
<i>Bosque Viejo</i>												
Frutales	8,96	8,10	7,38	6,10	0,01	0,01	0,01	0,00	4,97	6,76	8,89	9,66
Comunidad Atacameña de Socaire												
Plantas Forrajeras	8,35	7,72	7,33	6,68	5,12	4,57	5,48	6,77	8,22	9,33	10,09	9,97
Comunidad Atacameña de Camar												
Plantas Forrajeras	8,62	8,04	7,52	7,11	5,86	5,34	6,11	7,67	8,97	9,78	10,07	9,86
Comunidad Atacameña de Talabre												
Plantas Forrajeras	7,43	6,92	6,41	6,11	5,05	4,64	5,29	6,64	7,64	8,37	8,70	8,50
Comunidad Atacameña de Peine												
<i>Peine</i>												
Plantas Forrajeras	8,20	7,45	6,78	5,94	4,68	4,16	4,79	6,10	7,60	8,40	8,99	8,94

Fuente: Elaboración propia

3.3.5.1 Demanda proyectada para la agricultura

Tal como se expone en el acápite 5.1.3.3 de este documento, se consideran dos escenarios de demanda de agua para riego. El primer escenario considera que la superficie agrícola no varía, enmarcándose en el escenario de demanda moderada y un segundo escenario en que la superficie agrícola aumenta gradualmente entre el año 2025 y 2035. En la Tabla 3-18 se presenta la demanda hídrica proyectada asociada a la totalidad de los predios modelados en los escenarios de simulación presentados en el acápite 5.1.2 en el período 2020 - 2060. A modo general, se observa que las diferencias en la demanda están asociadas principalmente a los cambios en superficie agrícola de los escenarios de demanda y no a los cambios en temperatura de los escenarios climáticos, resultando en una demanda de alrededor de 634 y 665 l/s para el escenario de baja y alta demanda, respectivamente. Notar que la demanda simulada en el período 1986 - 2018 es de 634 l/s. De forma complementaria, en la Tabla 3-19 y Tabla 3-20 se presenta la demanda proyectada bajo el escenario húmedo baja y seco alta, respectivamente. Los valores son obtenidos a partir de la serie de tiempo diaria de evapotranspiración potencial, calculando un valor promedio mensual para cada grupo de cultivo presente por localidad de los sectores que poseen mayor superficie y su cultivo representativo, para mayor detalle consultar Anexo F, acápite 3.2.3.1.

Tabla 3-18: Demanda hídrica proyectada para el sector agrícola.

Demanda hídrica del sector agrícola	2020-2060
Escenario húmedo baja demanda (l/s)	636
Escenario húmedo alta demanda (l/s)	666
Escenario intermedio baja demanda (l/s)	634
Escenario intermedio alta demanda (l/s)	662
Escenario seco baja demanda (l/s)	636
Escenario seco alta demanda (l/s)	667

Nota: La demanda simulada en al período 1986 - 2018 es de 634 l/s.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-19: Demanda agrícola proyectada a partir de la evapotranspiración potencial (mm/día) para el escenario húmedo baja.

Sector/Regantes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Asoc. Atacameña de Reg. Y Agr. de San Pedro de Atacama y Otros.												
<i>Solor</i>												
Plantas Forrajeras	8,73	8,30	7,57	7,27	6,20	5,72	6,12	7,59	8,65	9,37	9,76	9,67
Asoc. Atacameña de Reg. Y Agr. Del río Vilama												
<i>Beter</i>												
Plantas Forrajeras	9,02	8,24	7,45	7,12	6,04	5,56	5,95	7,43	8,49	9,30	9,74	9,59
Asoc. Atacameña de Reg. Y Agr. de Celeste												
Frutales y Viña	9,88	9,01	8,32	7,80	2,41	0,85	0,05	0,03	8,31	10,27	10,86	10,60
Asoc. Atacameña de Reg. Y Agr. de Toconao												
<i>Bosque Viejo</i>												
Frutales	9,09	8,27	7,62	6,39	0,02	0,01	0,01	0,01	5,07	6,83	9,01	9,69
Comunidad Atacameña de Socaire												
Plantas Forrajeras	8,21	7,63	7,29	6,66	5,10	4,49	5,51	6,79	8,41	9,47	10,13	9,95
Comunidad Atacameña de Camar												
Plantas Forrajeras	8,74	8,07	7,64	7,18	5,91	5,38	6,17	7,64	9,10	9,86	10,25	9,86
Comunidad Atacameña de Talabre												
Plantas Forrajeras	7,52	6,94	6,53	6,17	5,12	4,73	5,38	6,63	7,78	8,43	8,85	8,46
Comunidad Atacameña de Peine												
<i>Peine</i>												
Plantas Forrajeras	8,35	7,56	6,97	6,19	4,92	4,36	5,00	6,43	7,99	8,75	9,33	9,21

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3–20: Demanda agrícola proyectada a partir de la evapotranspiración potencial (mm/día) para el escenario seco alta.

Sector/Regantes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Asoc. Atacameña de Reg. Y Agr. de San Pedro de Atacama y Otros.												
<i>Solor</i>												
Plantas Forrajeras	8,66	8,27	7,55	7,31	6,22	5,70	6,16	7,62	8,58	9,32	9,67	9,70
Asoc. Atacameña de Reg. Y Agr. Del río Vilama												
<i>Beter</i>												
Plantas Forrajeras	9,11	8,30	7,52	7,15	6,06	5,57	6,00	7,49	8,50	9,39	9,80	9,71
Asoc. Atacameña de Reg. Y Agr. de Celeste												
Frutales y Viña	9,98	9,07	8,39	7,83	2,38	0,43	0,05	0,01	8,43	10,36	10,91	10,70
Asoc. Atacameña de Reg. Y Agr. de Toconao												
<i>Bosque Viejo</i>												
Frutales	9,14	8,30	7,65	6,40	0,02	0,01	0,01	0,00	5,08	6,88	9,04	9,78
Comunidad Atacameña de Socaire												
Plantas Forrajeras	8,28	7,68	7,38	6,69	5,12	4,51	5,59	6,89	8,42	9,60	10,16	10,03
Comunidad Atacameña de Camar												
Plantas Forrajeras	8,81	8,12	7,71	7,21	5,93	5,39	6,22	7,71	9,11	9,95	10,30	9,96
Comunidad Atacameña de Talabre												
Plantas Forrajeras	7,58	6,98	6,59	6,20	5,15	4,74	5,45	6,71	7,81	8,54	8,90	8,55
Comunidad Atacameña de Peine												
<i>Peine</i>												
Plantas Forrajeras	8,42	7,61	7,04	6,21	4,93	4,36	5,04	6,48	8,00	8,82	9,36	9,28

Fuente: Elaboración propia

3.4 DEMANDA MINERA

3.4.1 Demanda del sector minero

De acuerdo con la información provista por CORFO-Amphos21 (2021), se identifican cuatro empresas que extraen agua dulce, de las cuales dos extraen también salmuera, dentro de los límites de la cuenca Salar de Atacama (en la Figura 3-10 se espacializan). La demanda histórica minera es reportada a partir de volúmenes declarados. En la Tabla 3-21: se presenta la demanda hídrica, asociada a la minería, para el año 2019.

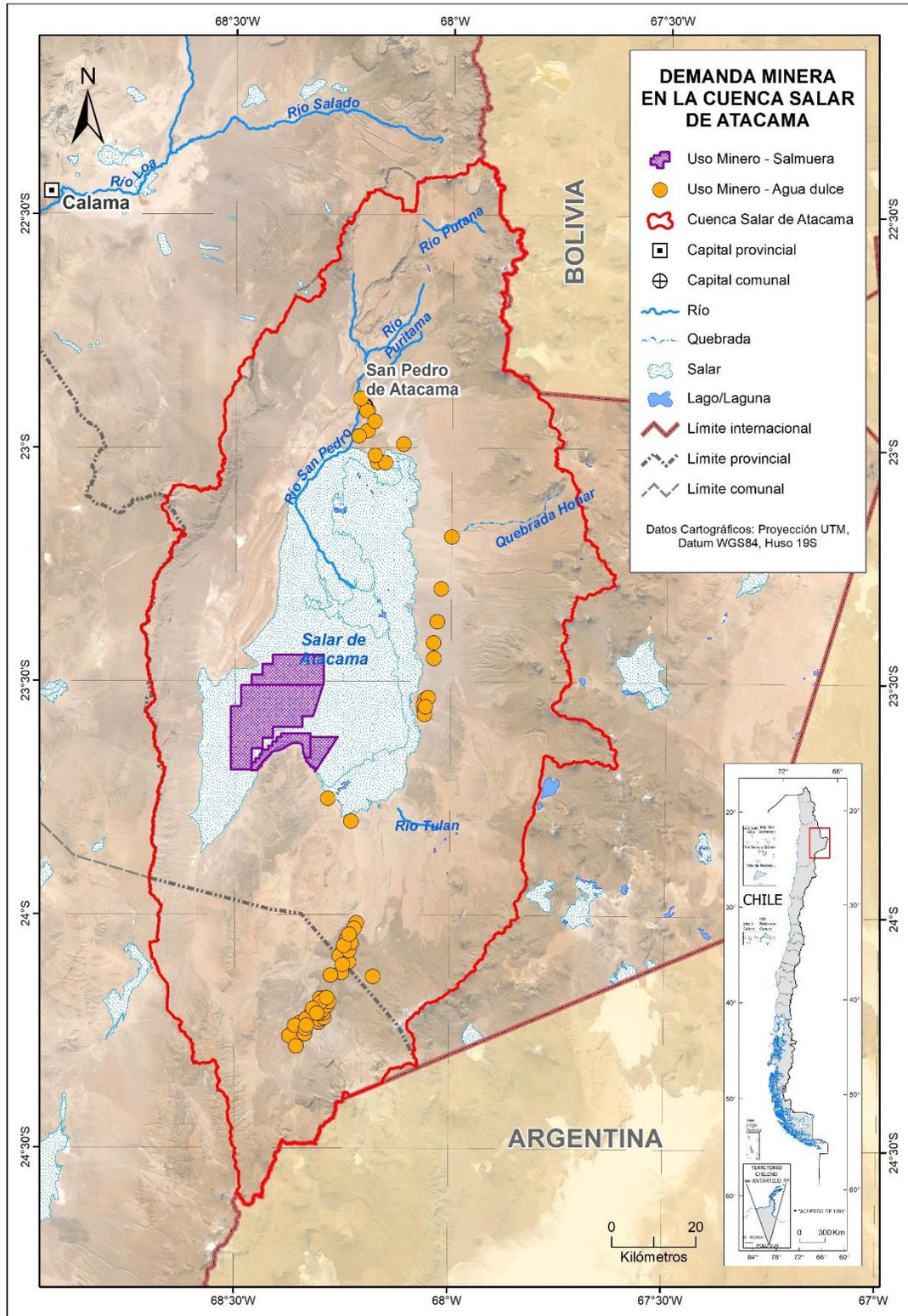
Tabla 3-21: Demanda hídrica del sector minero al año 2019.

Nombre Instalación	Demanda hídrica (m ³ /año)	Demanda hídrica (l/s)
	2019	2019
Albemarle Limitada (Salmuera)	13.938.128	442
Albemarle Limitada (Agua fresca)	224.127	7,1
SQM Salar S.A. (Salmuera)	33.099.698	1.049,6
SQM Salar S.A. (Agua fresca)	5.453.028	172,9
Minera Escondida Limitada	41.581.468	1.318,5
Compañía Minera Zaldívar	6.667.056	211,4
Total	100.727.461	3.201

Nota: Estos valores no corresponden a la RCA respectiva, sino que a la extracción neta de cada operador.

Fuente: Elaboración propia a partir de CORFO-Amphos21 (2021)

En la Figura 3-10 se presenta la ubicación espacial de la demanda minera en la cuenca del Salar de Atacama.



Fuente: Elaboración propia en base a información DGA y CPA (2019)

Figura 3-10: Ubicación de la demanda minera presente en la cuenca del Salar de Atacama.

3.4.1.1 Demanda proyectada para la minería

La proyección de la demanda minera consideró los escenarios propuestos en CORFO-Amphos21 (2021b). En particular, en el presente estudio se consideraron dos escenarios de extracción de agua industrial y salmuera para las empresas mineras. Estos escenarios representan dos extremos con sentido de la realidad, siendo el primero un escenario base acorde a las tendencias actuales y el segundo un escenario que considera una extensión de la actividad minera, los cuales se detallan a continuación. Debido a que Minera Escondida Limitada desistió del proyecto Monturaqui, donde solicitaban una extensión de su aprobación hasta el año 2030, y detuvo sus extracciones a fines del año 2019, no se consideró su operación en los escenarios propuestos.

- a) Escenario 1: Escenario basado en las RCA aprobadas a la fecha y en el plan para la sustentabilidad provistos por las empresas mineras.

Para las extracciones de salmuera se consideró que Albemarle extraerá la totalidad del caudal aprobado en la RCA 21/2016, correspondientes a 442 l/s al año hasta el año 2042 inclusive. En el caso de SQM se consideró el Plan de Desarrollo Sustentable²¹, publicado en octubre de 2020, en el cual indican que reducirán sus extracciones paulatinamente hasta llegar a un 50% del total aprobado por la RCA 226/2006. En el marco de los talleres con los actores de la cuenca del Salar de Atacama, SQM entregó las extracciones netas anuales presupuestadas, considerando una reducción desde un caudal anual de 1.561 l/s al año 2020 hasta 822 l/s al año 2030.

Para las extracciones de agua industrial se consideró que Albemarle extraerá la totalidad del caudal aprobado en la RCA 403/2013 y en la RCA 21/2016, correspondientes a 16,9 l/s. En el caso de SQM se consideró el Plan de Desarrollo Sustentable, publicado en octubre de 2020, en el cual indican que reducirán sus extracciones paulatinamente hasta llegar a un 50% del total aprobado por la RCA 226/2006. En el marco de los talleres con los actores de la cuenca del Salar de Atacama, SQM entregó las extracciones anuales presupuestadas, considerando una reducción desde un caudal anual de 144 l/s al año 2020 hasta 120 l/s al año 2030, manteniendo la inactividad del pozo Camar-2. En el caso de Compañía Minera Zaldívar se consideró una extracción anual de 212,75 l/s hasta el año 2024, acorde a lo propuesto por la empresa en un EIA el año 2018.

- b) Escenario 2: Escenario basado en las RCA aprobadas a la fecha, en el plan para la sustentabilidad provistos por las empresas mineras y en la hipotética aprobación del proyecto "Continuidad Operacional Compañía Minera Zaldívar" y entrada de un futuro operador de la concesión de SQM.

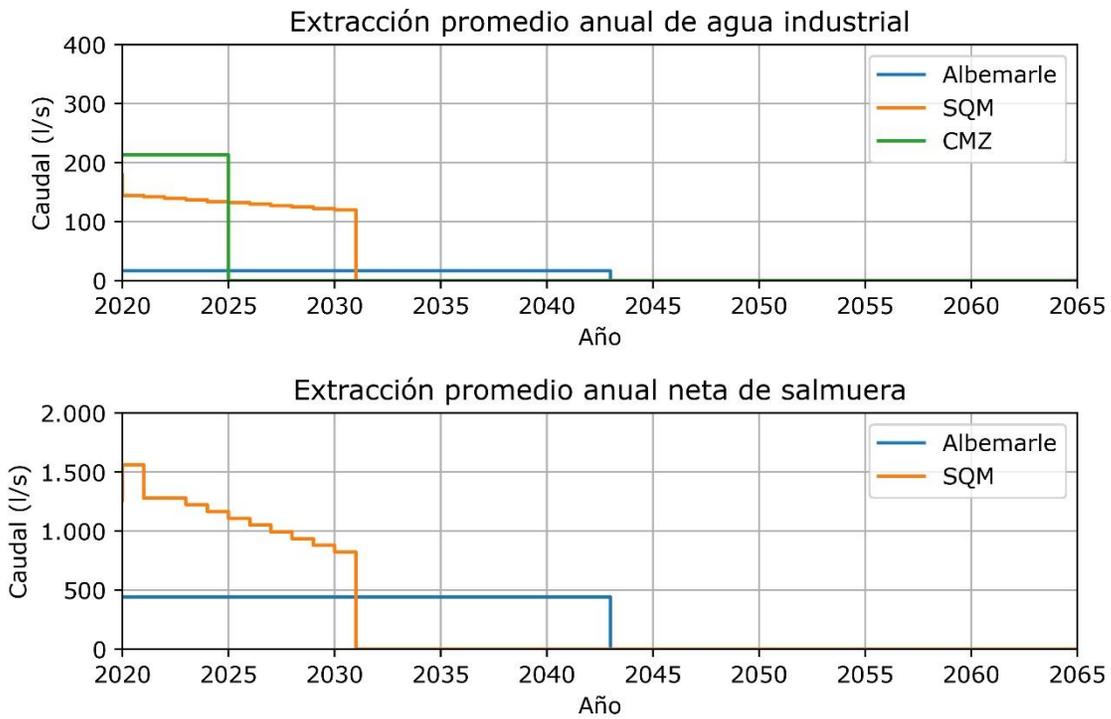
Para las extracciones de salmuera, al igual que en el escenario 1, se consideró que Albemarle extraerá la totalidad del caudal aprobado en la RCA 21/2016, correspondientes a 442 l/s al año hasta el año 2042 inclusive. En el caso de SQM se consideró el Plan de Desarrollo Sustentable, publicado en octubre de 2020, en el

²¹ https://s25.q4cdn.com/757756353/files/doc_news/2020/Sustentabilidad_8Oct2020_esp.pdf

cual indican que reducirán sus extracciones paulatinamente hasta llegar a un 50% del total aprobado por la RCA 226/2006. En el marco de los talleres con los actores de la cuenca del Salar de Atacama, SQM entregó las extracciones netas anuales presupuestadas, considerando una reducción desde un caudal anual de 1.561 l/s al año 2020 hasta 822 l/s al año 2030. Adicionalmente, se consideró la hipotética entrada de un nuevo operador de la concesión de SQM, manteniendo los caudales de extracción de SQM al año 2030 hasta el año 2040 inclusive.

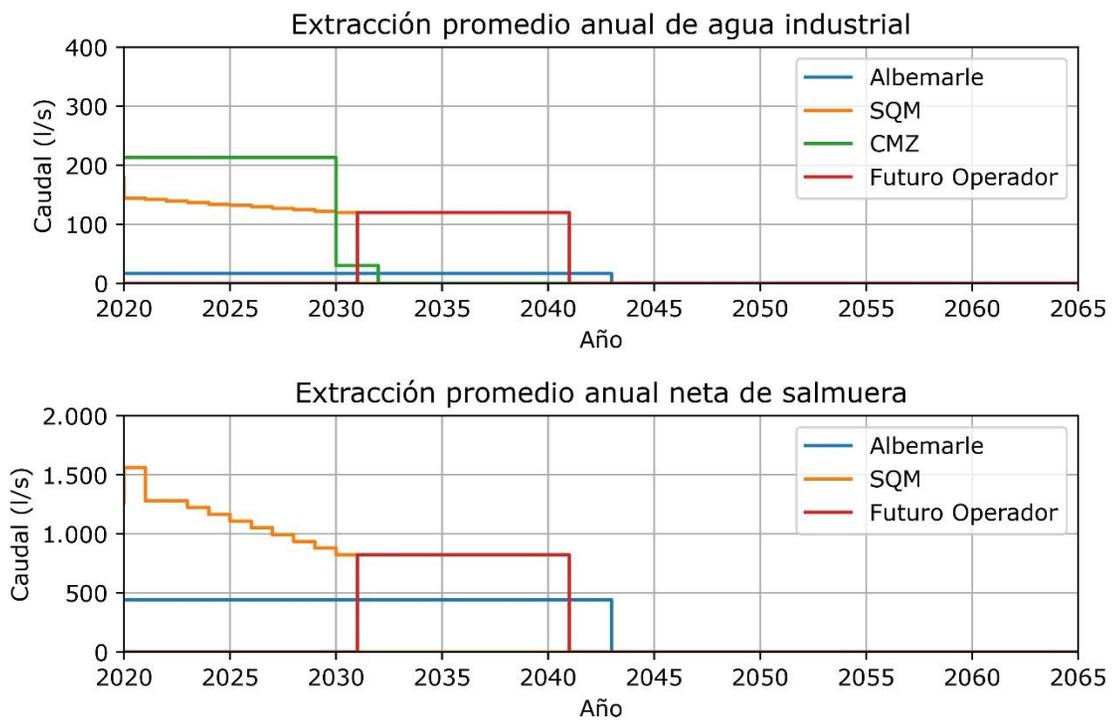
Para las extracciones de agua industrial, al igual que en el escenario 1, se consideró que Albemarle extraerá la totalidad del caudal aprobado en la RCA 403/2013 y en la RCA 21/2016, correspondientes a 16,9 l/s. En el caso de SQM se consideró el Plan de Desarrollo Sustentable, publicado en octubre de 2020, en el cual indican que reducirán sus extracciones paulatinamente hasta llegar a un 50% del total aprobado por la RCA 226/2006. En el marco de los talleres con los actores de la cuenca del Salar de Atacama, SQM entregó las extracciones anuales presupuestadas, considerando una reducción desde un caudal anual de 144 l/s al año 2020 hasta 120 l/s al año 2030, manteniendo la inactividad del pozo Camar-2. Adicionalmente, se consideró la hipotética entrada de un nuevo operador de la concesión de SQM, manteniendo los caudales de extracción de SQM al año 2030 hasta el año 2040 inclusive. En el caso de Compañía Minera Zaldívar se considerará la aprobación de la EIA del proyecto "Continuidad Operacional Compañía Minera Zaldívar", donde se define una extracción anual de 212,75 l/s hasta el año 2029 inclusive y un caudal de 30 l/s hasta el año 2031 inclusive

En las Figura 3-11 y Figura 3-12 se muestran los caudales promedio anual considerados en cada escenario, para cada empresa, separado por extracciones netas de salmuera y agua industrial (mayor detalle se presenta en el anexo F, acápite 3.3, en la Tabla 3-10). Adicionalmente, en la Tabla 3-22 se presenta una síntesis de la proyección de las extracciones de agua industrial y salmuera para la minería.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-11: Caudales medios anuales (l/s) de cada operador en el escenario 1.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-12: Caudales medios anuales (l/s) de cada operador en el escenario 2.

Tabla 3–22: Demanda proyectada para el sector minero.

Demanda del sector minero		2020-2040 ¹
Agua industrial ²	Escenario 1 (l/s)	137
	Escenario 2 (l/s)	143
Salmuera ³	Escenario 1 (l/s)	1.028
	Escenario 2 (l/s)	1.420

Nota 1: Se presenta únicamente el período 2020-2040 debido a que las proyecciones estiman que las extracciones se detienen el año 2043.

Nota 2: La demanda minera de agua industrial el año 2019 es de 1.491 l/s.

Nota 3: La demanda minera de salmuera el año 2019 es de 1.710 l/s.

Nota 4: Notar que en diciembre del año 2019 Minera Escondida Limitada cesa sus extracciones, las cuales corresponden a 1.049 l/s.

Fuente: Elaboración propia.

3.4.2 Derechos de agua para la minería

De acuerdo con el Catastro Público de Aguas (CPA) de la Región de Antofagasta y considerando las extracciones del año 2019 presentadas en la Tabla 3–21, en la Tabla 3–23 se presentan los derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas para la minería y el factor de uso asociado para el año 2019.

Tabla 3–23: Derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas para uso minero catastrados en la cuenca del Salar de Atacama y factor de uso asociada para el año 2019.

Nombre Solicitante	Derechos de aprovechamiento (m ³ /año)	Derechos de aprovechamiento (l/s)	Factor de uso ¹ (%)
Compañía Minera Zaldívar	19.721.038	625,4	33,8
Minera Escondida Limitada	57.893.789	1.835,8	71,8
Minera Spence S.A.	14.191.200	450	-
SQM Salar S.A.	17.313.264	549	31,5
Exploraciones San Pedro S.A.	4.730.400	150	-
Albemarle	473.040	15	47,3
Total	114.322.730	3.625,1	47,1² (56,5)³

¹: Considerando las extracciones para el año 2019 presentadas en la Tabla 3–21.

²: Considerando que Minera Spence S.A. y Exploraciones San Pedro S.A. extraen un caudal de cero.

³: Sin considerar a Minera Spence S.A. y Exploraciones San Pedro S.A.

Fuente: CORFO-PUC (2021) en base al Catastro Público de Aguas (CPA) de la DGA (Diciembre 2019)

3.5 OTRAS DEMANDAS

3.5.1 Demanda del sector pecuario

A partir de la información censal levantada por INE en el último Censo Agropecuario disponible para la región de Antofagasta y la comuna de San Pedro de Atacama (INE, 2007), es posible cuantificar las existencias de ganado sobre las cuales cuantificar su consumo de agua. Debido a la baja cantidad de existencias ganaderas en la región, no se cuenta con información actualizada disponible a este nivel administrativo ni para todos los tipos/especies considerados.

Para la cuantificación del cálculo de los requerimientos de agua según tipo de ganado, se utilizaron los factores de uso considerados en el estudio de "Estimación de la demanda

actual, proyecciones futuras y caracterización de la calidad de los recursos hídricos de Chile” (DGA, 2017). Los requerimientos resultantes para la situación actual se presentan en la Tabla 3-24.

Tabla 3-24: Demanda hídrica actual del sector pecuario.

Tipo de Ganado	Nº de cabezas¹	Requerimiento de agua para producción pecuaria (litros/especie/día)²	Demanda hídrica (m³/año)³	Demanda hídrica (l/s)³
Bovinos	126	45	2.070	0,07
Ovinos	5.560	4,5	9.132	0,29
Cerdos	446	30	4.884	0,15
Equinos	906	135	14.881	0,47
<i>Caballares</i>	<i>217</i>	<i>45</i>	<i>3.564</i>	<i>0,11</i>
<i>Mulares</i>	<i>46</i>	<i>45</i>	<i>756</i>	<i>0,02</i>
<i>Asnales</i>	<i>643</i>	<i>45</i>	<i>10.561</i>	<i>0,33</i>
Caprinos	4	3,5	5	0,00
Camélidos	3.200	6	3.504	0,11
<i>Alpacas</i>	<i>45</i>	<i>3</i>	<i>49</i>	<i>0,00</i>
<i>Llamas</i>	<i>3.155</i>	<i>3</i>	<i>3.455</i>	<i>0,11</i>
Conejos	2.550	0,35	326	0,01
Total	16.898		34.801	1,10

Nota: El cálculo considera la aplicación de los factores de requerimiento por especie sobre las existencias ganaderas cuantificadas por INE (2007).

Fuente: Elaboración propia a partir de INE (2007) y DGA (2017b)

3.5.1.1 Demanda proyectada del sector pecuario

No se realiza demanda proyectada para el sector pecuario, dado que no es considerado dentro de los escenarios de demanda proyectados.

3.5.2 Demanda por generación eléctrica

No existe consumo de agua relevante para generación eléctrica en la cuenca.

3.6 MERCADO DE AGUAS

3.6.1 Evolución histórica

A continuación, se presenta el análisis del Mercado de los DAA en la cuenca del Salar de Atacama (la metodología se detalla en el Anexo F, acápite 3.4). La información que se presenta corresponde a la informada a través de la DGA por el Conservador de Bienes Raíces de Calama con jurisdicción en la comuna de San Pedro de Atacama y publicada en la web DGA. El CBR de Calama tiene jurisdicción en más de una cuenca hidrográfica, por lo que los registros de transacciones identificados en la cuenca de estudio no representan al total de transacciones reales. Para identificar estas transacciones, se tuvo que considerar: 1) la información de la fuente del derecho de aprovechamiento de agua (ríos, canales, pozos, quebradas y vertientes dentro de la cuenca); 2) nombre del vendedor (actores de la cuenca con nombre legal, no natural); y 3) nombre del comprador (actores de la cuenca con nombre legal, no natural).

En la Tabla 3-25 se entrega el total de transacciones identificadas del mercado de DAA informadas por los CBR de Calama durante el periodo del año 2002 hasta el año 2019.

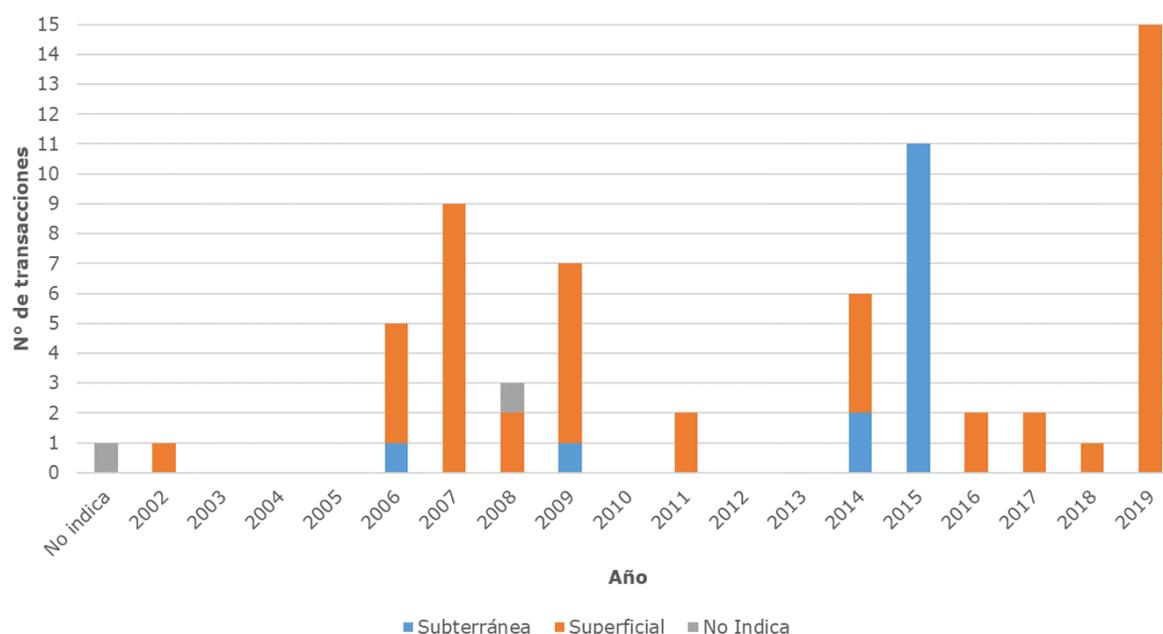
Tabla 3-25: Transacciones según naturaleza del agua, años 2002 – 2019.

Naturaleza del Agua	N° de Transacciones	Característica no indicada		
		Nombre vendedor	Nombre Comprador	Caudal
Subterránea	15	8	0	0
Superficial	48	8	2	0
No indica	2	0	0	0
Total	65	16	2	0

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

El total de transacciones identificadas corresponde a 65, de las cuales, según la naturaleza del agua, 15 (23%) de ellas pertenecen al tipo de fuente subterránea, 48 (74%) corresponden al tipo de fuente superficial y 2 (3%) no indica el tipo de fuente.

La Figura 3-13 muestra el total de transacciones de DAA entre el 2002 y 2019.



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

Figura 3-13: Distribución anual del número de DAA transados, periodo 2002-2019.

3.6.2 Valor del agua

A partir de los mismos registros del Conservador de Bienes Raíces de Calama publicada en la web DGA, se estima el valor de mercado de los DAA, para ello es necesario primero depurar la base de datos según los siguientes criterios: 1) Tipo de transacción sea la Compraventa; 2) Los registros tengan información respecto a la naturaleza del agua; 3) tengan información respecto al tipo de ejercicio del derecho; 4) tengan información

respecto a caudales promedios; 5) tengan información respecto a montos de transacción total; y 6) No tengan asociados a la transacción otros bienes o derechos.

En la Tabla 3–26 se presenta el resultado del proceso anterior.

Tabla 3–26: Aplicación incremental de criterios de depuración.

	Número de transacciones
Base de datos inicial	65
<i>Criterio de depuración</i>	
Compraventa	26
Con información de naturaleza	25
Con información de tipo de ejercicio	16
Con información de caudal	16
Con información de monto	15
Transacciones sin otros bienes	15
Base de datos depurada	15

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

De estas 15 transacciones, todas presentan un tipo de ejercicio del derecho permanente y continuo, además las 15 son de naturaleza superficial. Como resultado, se obtiene una Media y Mediana por caudal de 462,2 y 457,7 UF/l/s.

Es importante recalcar nuevamente que el CBR de Calama tiene jurisdicción en más de una cuenca hidrográfica, por lo que es posible que este análisis excluya transacciones que no han sido reportadas, lo que podría afectar su representatividad del mercado. Por esta razón se incluye en el análisis una descripción de ofertas de venta de DAA publicadas en sitios especializados (Anexo F, acápite 3.4).

CAPÍTULO 4 OFERTA HÍDRICA

En el presente capítulo se estima la oferta hídrica de la cuenca, tanto de las fuentes superficiales como subterráneas y glaciares. Se complementa además con el análisis de las restricciones históricas y actuales sobre uso de las aguas, de forma de establecer un diagnóstico realista de los recursos hídricos que se disponen. Además de la "cantidad", también es influyente la "calidad" de la misma, por ello se incorpora el estado actual de la calidad de las aguas, tanto superficiales como subterráneas. Este capítulo complementa el capítulo de la demanda de agua para poder generar posteriormente el balance de agua en la situación actual y proyectada. Se incluyen también en este capítulo el análisis de restricciones respecto del aprovechamiento de recursos a nivel superficial y subterráneo.

4.1 AGUA SUPERFICIAL

A continuación, se presenta información referente a fuentes superficiales, oferta en la fuente actual y proyectada, calidad de aguas y derechos de naturaleza superficial concedidos en la cuenca del Salar de Atacama.

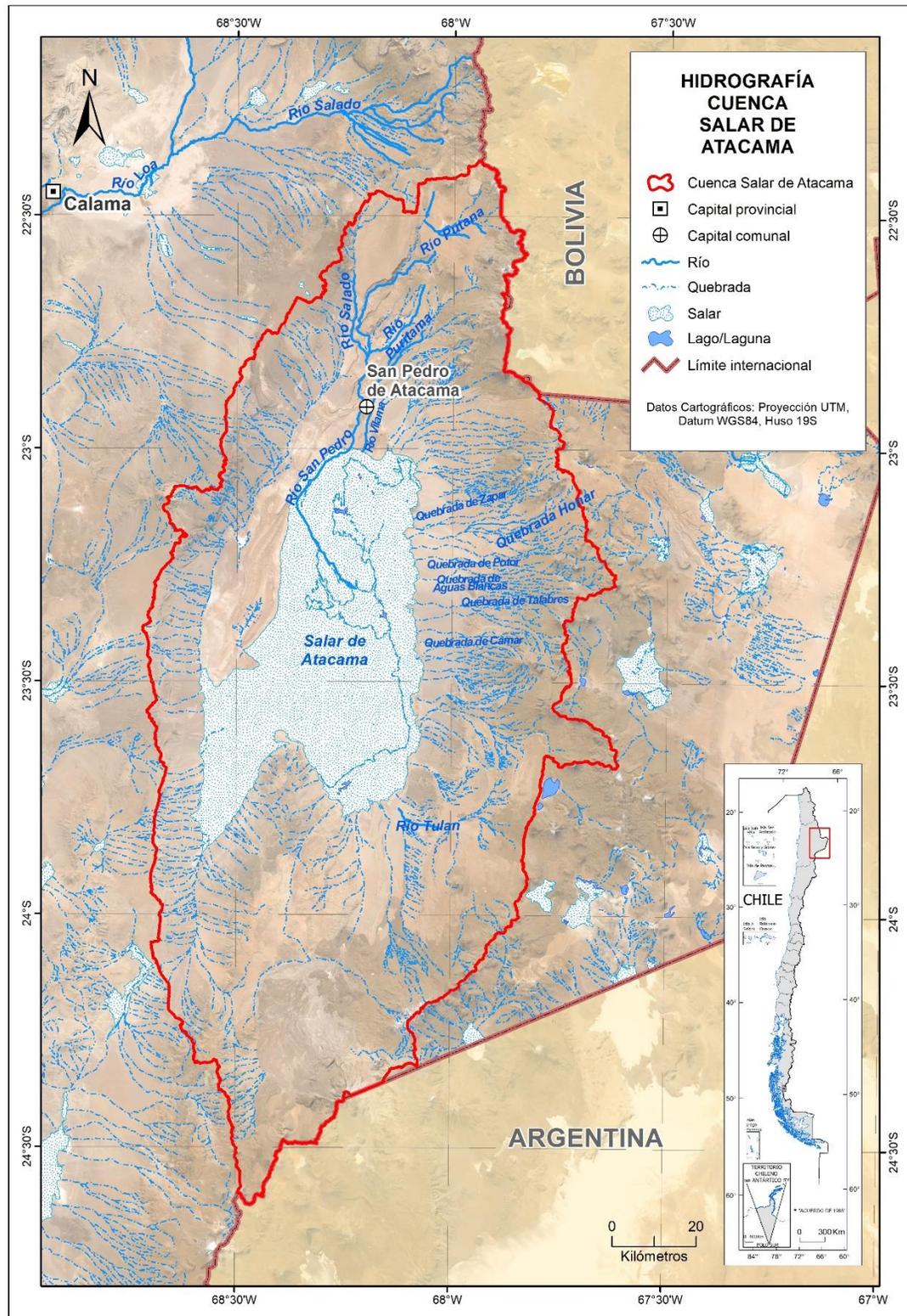
4.1.1 Fuentes superficiales

4.1.1.1 Identificación de fuentes

De acuerdo con lo descrito en el acápite 2.1.4 al conformar una cuenca endorreica, las principales fuentes de agua superficial se ubican en torno al núcleo del Salar de Atacama. Estas fuentes están conformadas principalmente por quebradas de escurrimiento irregular que transportan el agua producto de las lluvias de la época estival, los cuales infiltran en las zonas de mayor permeabilidad en la zona marginal del Salar. Sin embargo, existen algunos cursos superficiales de carácter permanente en la cuenca, y por tanto muy relevantes. Los ríos y quebradas principales de la red hidrográfica de la cuenca que presentan escurrimiento permanente, y cuya ubicación se ilustra en la Figura 4-1 corresponden a:

1. Río Putana
2. Río San Pedro
3. Río Vilama
4. Río Salado
5. Río Puritama
6. Río Tulán
7. Quebrada Honar – Toconao

Los ríos San Pedro y Tulán, en particular, desembocan en el Salar de Atacama. En la Figura 4-1 se presenta la red hidrográfica de la cuenca del Salar de Atacama, incluyendo los ríos principales y cuerpos de agua del Salar. Los principales ríos afluentes al Salar de Atacama de esta lista corresponden al río San Pedro y Vilama, que desembocan en la zona Norte del Salar de Atacama. Además, numerosas quebradas de carácter semi permanente desembocan en el Salar de Atacama tanto en su parte Este como Oeste en forma de conos aluviales, los cuales infiltran rápidamente en las zonas de mayor permeabilidad (CORFO-PUC, 2021).



Fuente: Elaboración propia a partir de información de CORFO-AMPHOS21 (2018)

Figura 4–1: Hidrografía de la cuenca del Salar de Atacama, mencionando ríos y quebradas principales.

El escurrimiento permanente es bastante escaso en esta cuenca, debido a que las zonas bajas cercanas a la zona marginal del Salar no presentan precipitaciones que permitan la generación de escurrimientos relevantes. Se suma el hecho de una importante interacción río-acuífero, la cual implica una importante infiltración, así como afloramientos en estos sistemas laterales. Además de los ríos principales ya mencionados, existen algunas quebradas que poseen escurrimiento permanente, conforme a los registros de la Red hidrométrica la DGA BNASIGIRH, corresponden a la quebrada de Zapar, Hamar, Potor, Aguas Blancas, Camar, Socaire, Peine, Talabre, Jerez y Tarajne. Las quebradas del margen Este presentan una orientación preferente de Este a Oeste, mientras que las del margen Oeste escurren en dirección contraria. Ninguna de las quebradas del margen Oeste presenta escurrimiento permanente.

Existe un aprovechamiento (principalmente para riego) de algunos de estos ríos y quebradas de acuerdo con lo que se presenta en el acápite 4.1.5.

4.1.1.2 División administrativa

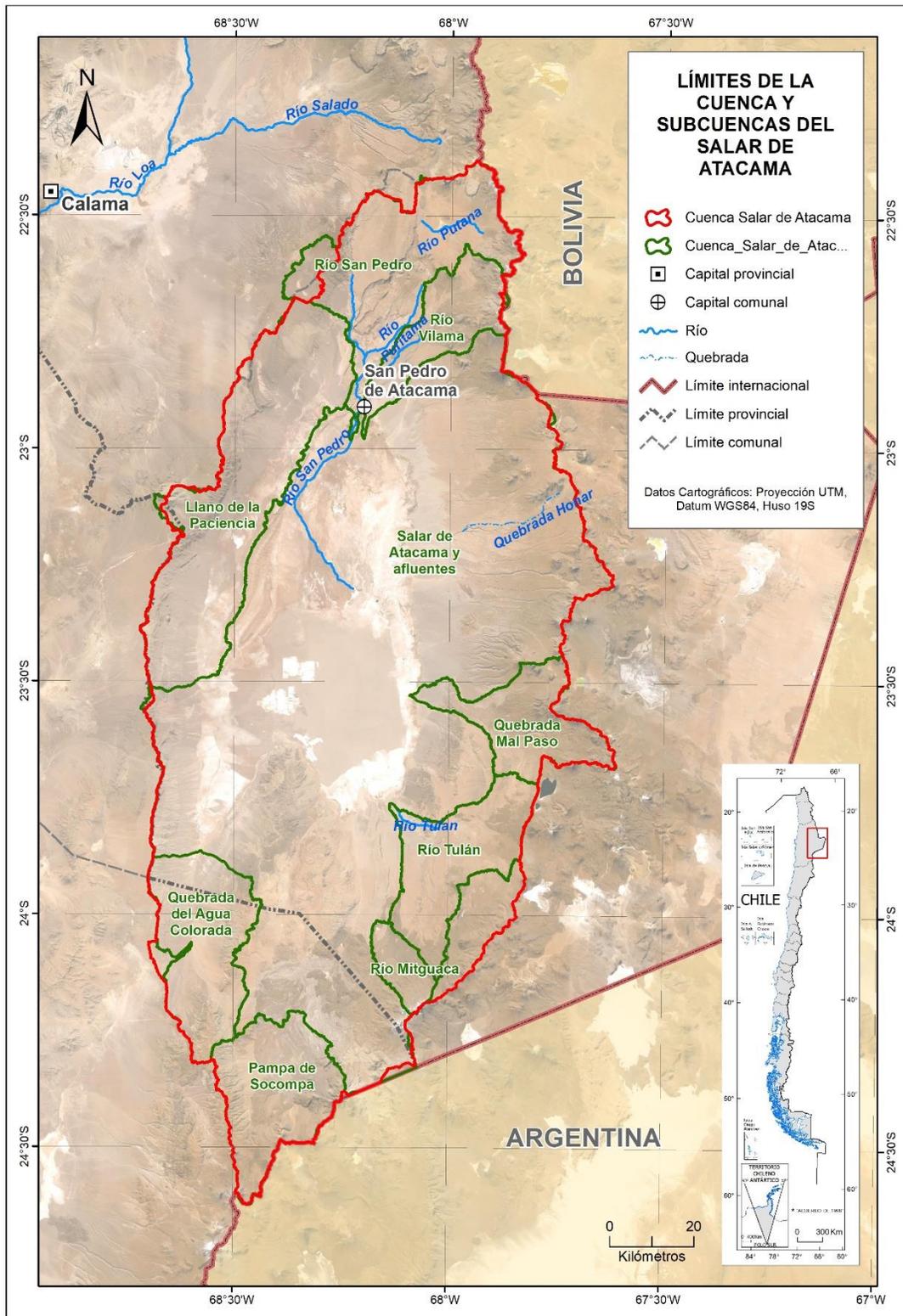
La cuenca Salar de Atacama se divide en una serie de subcuencas cuya delimitación oficial (DGA SIGIRH, 2020) se presenta en la Figura 4-2. No existe seccionamiento de ríos en la cuenca del Salar de Atacama. Adicionalmente, existen estudios en la cuenca que presentan su propia delimitación, como CORFO-AMPHOS21 (2018), Rockwood-SGA (2015) y DGA-GCF Ingenieros (2010). La división administrativa se presenta en la Tabla 4-1.

Tabla 4-1: División administrativa de la cuenca del Salar de Atacama.

Código Cuenca	Nombre Cuenca	Código Subcuenca	Nombre Subcuenca	Superficie (km ²)
0205	Cuenca Salar de Atacama	020500	Salar de Atacama y afluentes	979.016
		020501	Río San Pedro	148.464
		020502	Río Vilama	53.446
		020503	Llano de la Paciencia	192.744
		020504	Quebrada del Agua Colorada	86.906
		020505	Quebrada Mal Paso	61.603
		020505	Pampa de Socompa	83.468
		020506	Río Tulán	78.469
		020507	Río Mitguaca	18.914

Nota: Codificación de cuenca y subcuenca en base a Cuencas DARH.

Fuente: Elaboración propia a partir de DGA (2019)



Fuente: Elaboración propia a partir de DGA (2019)

Figura 4–2: Límites de la cuenca y subcuencas definidos por la delimitación oficial del DARH.

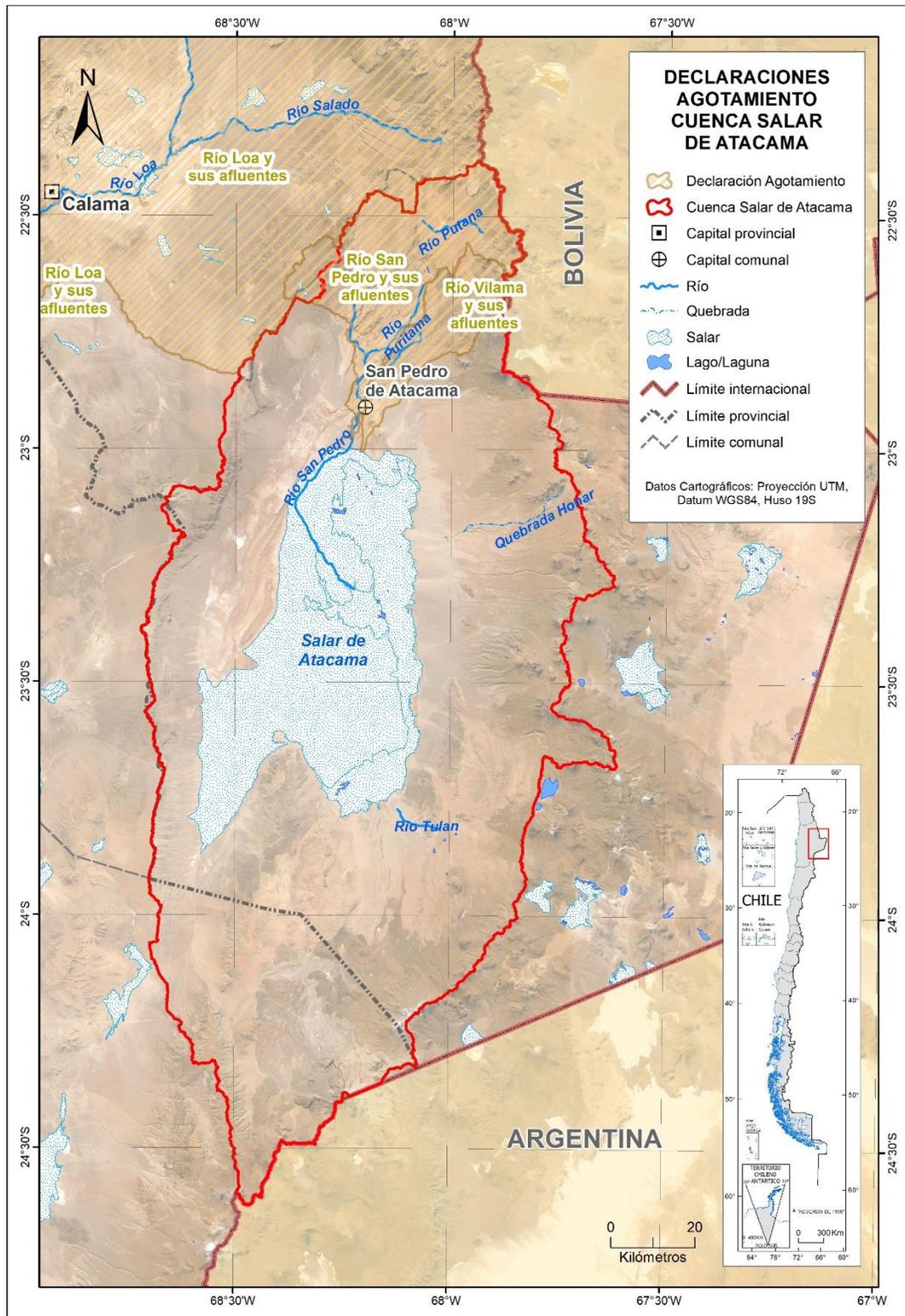
4.1.1.3 Restricciones de uso sobre fuentes superficiales

Existen ciertas zonas del territorio chileno en donde la asignación de nuevos derechos de aprovechamiento de recursos hídricos para usos consuntivos y no consuntivos se encuentra restringido. Esto se debe a que son áreas en donde el recurso se ha declarado en escasez, se ha agotado, o donde se prohíbe la exploración y explotación, ya sea de aguas superficiales o subterráneas mediante vías legales. Se presentan a continuación algunas de estas categorías en relación con las fuentes superficiales y la relevancia que tienen cada una de estas en el contexto de la cuenca del Salar de Atacama. En el acápite 4.2 se presentan las restricciones para las fuentes subterráneas.

i. Declaraciones de agotamiento de aguas superficiales

Las declaraciones de zonas de agotamiento corresponden a un instrumento que posee la DGA para decretar la no disponibilidad del recurso hídrico para el otorgamiento de nuevos derechos de agua superficiales de ejercicio permanentes y de uso consuntivo (no afecta la disponibilidad de derechos eventuales y usos no consuntivos si existiera la disponibilidad). Respecto de su delimitación, la zona declarada en agotamiento corresponde a las cuencas y/o subcuencas que aportan caudal a cauce principal que las describe, vale decir, al río desde donde los derechos pueden ser otorgados. Dada que estas declaraciones son referentes a aguas superficiales, no aplica a los derechos que aguas subterráneas que pudiesen ser otorgados.

En ese sentido, dentro de la cuenca del Salar de Atacama, existen dos subcuencas declaradas en agotamiento definidas en las Resoluciones N° 197 del 24 de enero de 2000, N°44 del 13 de mayo de 2016 y N°3 del 12 de abril de 2017. Estas zonas se ubican al Norte de la cuenca y corresponden a la subcuenca del río San Pedro (y sus afluentes), declarada zona de agotamiento por la Resolución N°44, y la del río Vilama (y sus afluentes) declarada en agotamiento por la Resolución N° 03. Por su parte, y colindando con el Noroeste de la cuenca del Salar de Atacama, la cuenca del río Loa y sus afluentes, fue declarada en agotamiento en la Resolución N° 197. La Figura 4-3 muestra las zonas declaradas en agotamiento en la cuenca.



Fuente: CORFO-PUC (2021) a partir de información de la DGA

Figura 4-3: Zonas con declaraciones de agotamiento en las subcuencas del río San Pedro y río Vilama de la cuenca del Salar de Atacama.

ii. Zonas de conservación

En el país existen zonas en donde se protege la conservación del recurso hídrico debido a su importancia para los ecosistemas presentes.

Se considera una zona bajo protección oficial a cualquier porción de territorio, delimitada geográficamente y establecida mediante acto de autoridad pública, colocada bajo protección oficial con la finalidad de asegurar la diversidad biológica, tutelar la preservación de la naturaleza y conservar el patrimonio ambiental (D.S. N°95 de 2001 que modifica el reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental). Dicho de otra forma, las áreas bajo protección oficial pueden ser aquellas cuyo objeto de conservación corresponde a espacios bajo uso y aprovechamiento de recursos, o que contengan elementos socioculturales de interés para la comunidad.

En este ámbito, la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) en el oficio N°43 del 28 de diciembre de 2004 informa del listado de áreas que son consideradas bajo protección oficial para efectos del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), las que ascienden a 32 figuras de protección. Aquellas que están presentes en la cuenca del Salar de Atacama son:

- 1) Reserva Nacional (Reserva Nacional Los Flamencos)
- 2) Santuario de la Naturaleza (Valle de la Luna y Laguna Tebenquiche)
- 3) Sitios Ramsar (Sistema Hidrológico de Soncor)
- 4) Acuíferos Regiones I, II y XV

Dentro de estas zonas existen algunas bajo protección oficial del estado con fines ambientales y de protección de la naturaleza cuya discusión se desarrolla en el acápite 2.3 y 3.2.1. Se describen en el acápite 4.2.1.3 de manera especial algunas de estas zonas de protección oficial: acuíferos protegidos y vegas y bofedales. Estas son zonas bajo protección oficial que tienen mayor relación con la gestión de derechos de aprovechamiento de agua subterránea.

iii. Decretos de reserva

La reforma del Código de Aguas del año 2005 introdujo la figura de reserva de caudal. El decreto de reserva es una facultad del presidente de la República (mediante decreto fundado y previo informe de la DGA, art 147 bis) que permite, a través de un decreto fundado, reservar el recurso para el abastecimiento de la población por no existir otros medios para obtener el agua, o bien, tratándose de solicitudes de derechos no consuntivos y por circunstancias excepcionales y de interés nacional. Para lo anterior, es posible disponer la denegación parcial de solicitudes de derechos de aprovechamiento en tramitación.

No existen reservas de caudales en la cuenca del Salar de Atacama, de modo que no se consideran en el presente análisis.

iv. Decretos de escasez hídrica

El artículo 314 inciso 1º del Código de Aguas, dispone que el presidente de la República, a petición o con informe de la Dirección General de Aguas, podrá, en épocas de extraordinaria sequía, declarar zonas de escasez por períodos máximos de seis meses, no prorrogables. En esos períodos, la DGA dispone de atribuciones que permiten flexibilizar la administración del agua e intervenir directamente para atender necesidades derivadas de las sequías para reducir al mínimo los daños generales producidos.

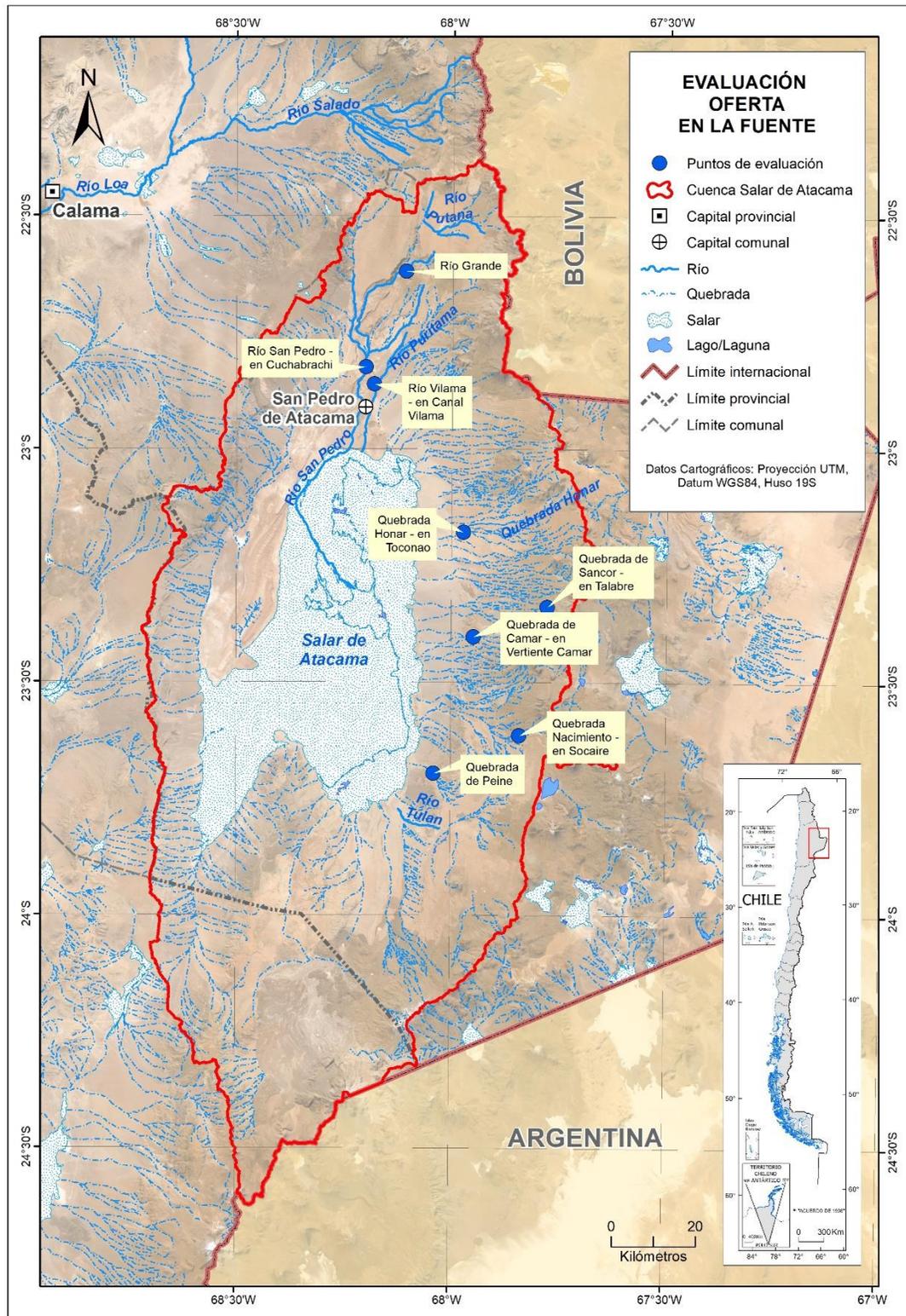
Este tipo de instrumento no ha sido utilizado en la cuenca del Salar de Atacama²².

4.1.2 Oferta en la fuente

Para evaluar la oferta en la fuente se consideró el caudal en los 8 cauces superficiales que se muestran en la Figura 4-4, simulados con el modelo acoplado, presentado en el Capítulo 5. Se consideran tramos de río previo a las principales extracciones de agua²³.

²² <https://dga.mop.gob.cl/administracionrecursoshidricos/decretosZonasEscasez/Paginas/default.aspx>

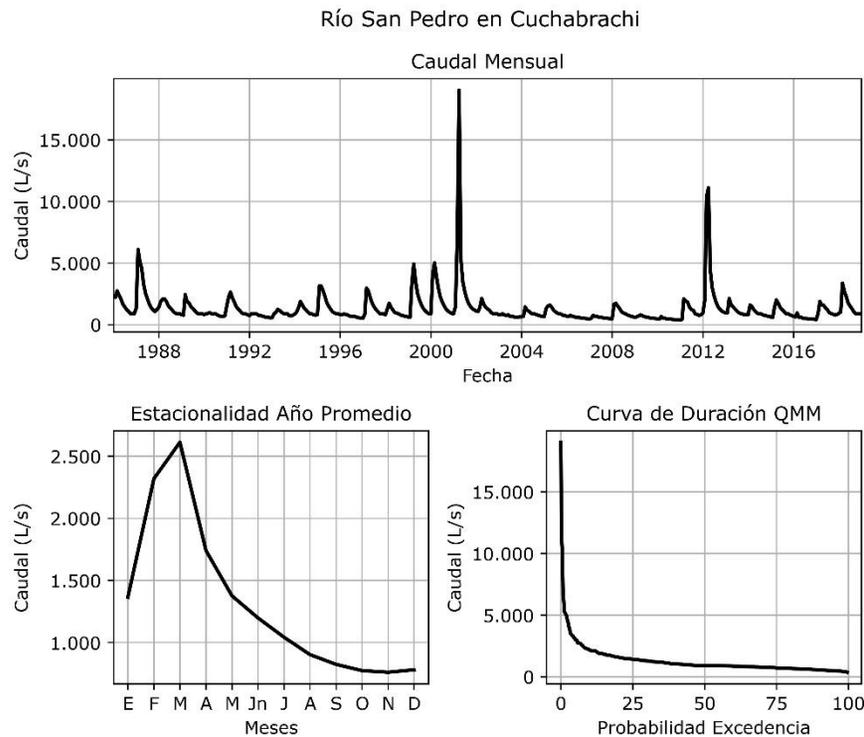
²³ Se consideran puntos ubicados previos a las principales extracciones para agua potable y riego debido a que en este estudio no se consideró un escenario sin intervenciones o en régimen natural. Esto se considera como una brecha del modelo de simulación para el cálculo de la oferta en la fuente, la cual se expone en el acápite 5.3.2.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4-4: Sectores de evaluación oferta en la fuente dentro de la cuenca del Salar de Atacama.

En la Figura 4–5 se presenta como ejemplo el caudal mensual, el promedio mensual y la curva de duración simulada en río San Pedro en Cuchabrachi en el período 1986 – 2018, punto utilizado para la calibración del modelo de hidrología superficial. Los resultados de la oferta en la fuente en el período 1986 – 2018 para los 7 cauces superficiales restantes se presentan en el acápite 1.1 del Apéndice H-1.



Fuente: Elaboración propia

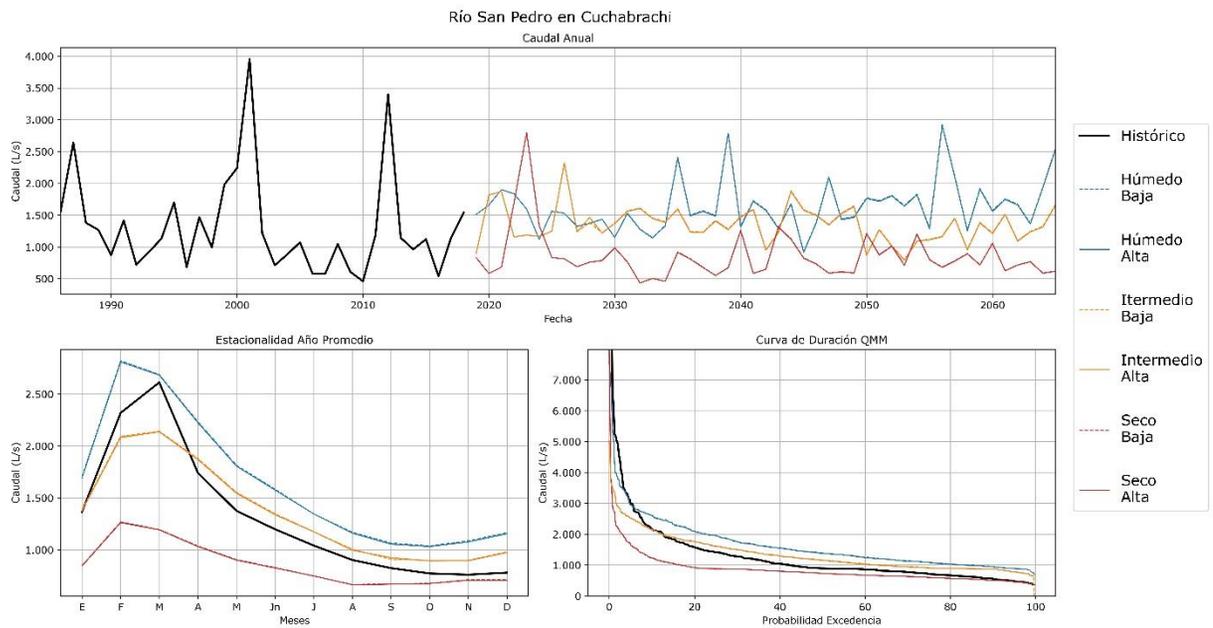
Figura 4–5: Caudales mensuales, estacionalidad y curva de duración simulada en el período 1986 – 2018 en el río San Pedro en Cuchabrachi.

4.1.3 Oferta en la fuente proyectada

Para la evaluación de la oferta en la fuente proyectada, se consideraron los mismos cursos de agua que para la oferta en la situación actual (acápite 4.1.2) en tramos de río a las principales extracciones²⁴. Los escenarios futuros corresponden a los presentados en el acápite 5.1.3, donde se define un escenario húmedo, intermedio y seco en términos de aumento, similitud y disminución de las precipitaciones respecto al período 1986 – 2018.

En la Figura 4–6 se presenta como ejemplo la evaluación de la oferta en la fuente proyectada para el río San Pedro en Cuchabrachi bajo los diferentes escenarios de simulación definidos en el acápite 5.1.3. Los resultados de la oferta en la fuente proyectada para los 7 cauces superficiales restantes se presentan en el acápite 2.1 del Apéndice H-1. En el acápite 5.2.2 se presenta una síntesis de la oferta en la fuente superficial proyectada.

²⁴ Se consideran puntos ubicados previos a las principales extracciones para agua potable y riego debido a que en este estudio no se consideró un escenario sin intervenciones o en régimen natural. Esto se considera como una brecha del modelo de simulación para el cálculo de la oferta en la fuente, la cual se expone en el acápite 5.3.2.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4–6: Caudales mensuales, estacionalidad y curva de duración simulada en el período 1986 – 2018 y en los escenarios en el período 2019 – 2065 en el río San Pedro en Cuchabrachi.

4.1.4 Calidad de aguas

4.1.4.1 Caracterización hidroquímica de aguas superficiales

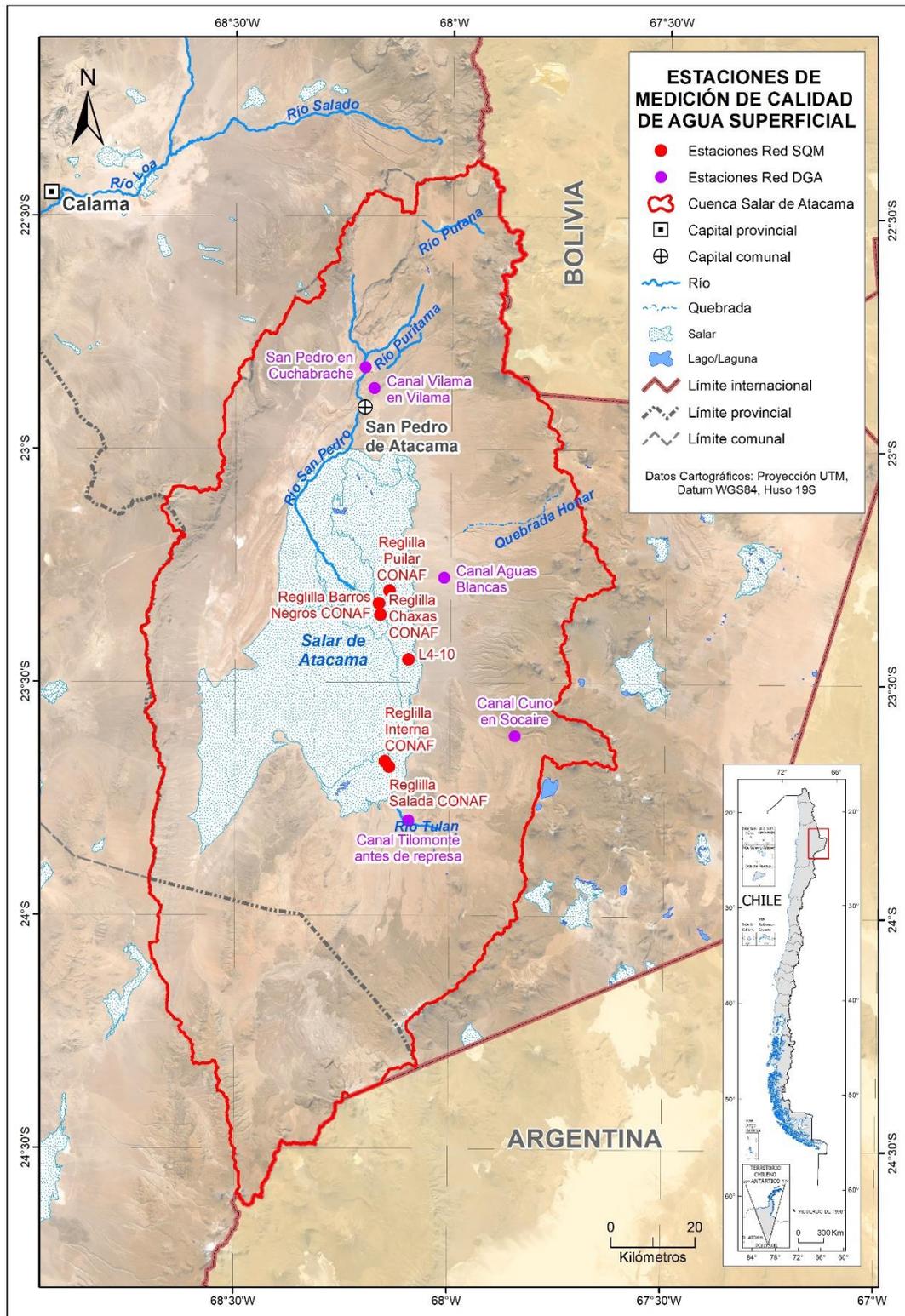
Para analizar las condiciones de calidad de agua superficiales en la cuenca del Salar de Atacama se consultaron un total de once estaciones de calidad en la zona, con cinco pertenecientes a la red DGA (período 1980 - 2021) y seis a la red SQM (período 2007 - 2021). Los nombres y abreviación de cada una, más su estado y coordenadas de ubicación, se presentan en la Tabla 4–2. La distribución espacial de estas estaciones en la cuenca se presenta en la Figura 4–7. A partir de esta figura se puede ver que las estaciones están relativamente concentradas en la zona marginal y en sus inmediaciones en el borde Este, por lo que es complejo generar un análisis respecto a la calidad de agua de fuentes superficiales para riego o uso de agua potable.

En cuanto a la metodología empleada para llevar a cabo la caracterización hidroquímica de las aguas, esta se basa en lo planteado en el estudio “Plan Estratégico de Gestión Hídrica en la Cuenca de Aconcagua” (DGA, 2020). El Anexo F, acápite 4.1.1 presenta mayor detalle de la metodología y depuración de los datos utilizados.

Tabla 4-2: Estaciones de calidad red DGA y red SQM de tipo superficial.

Red	Sistema	Nombre estación	Abreviación	Estado	Coordenadas		Tipo
					Este 84	Norte 84	
DGA	-	San Pedro en Cuchabrachi	SNPCH	Vigente	582.062	7.475.533	Superficial
		Canal Vilama en Vilama	CVV	Vigente	584.206	7.470.634	Superficial
		Canal Aguas Blancas	CAB	Vigente	600.71	7.425.586	Superficial
		Canal Cuno en Socaire	CCS	Vigente	617.422	7.387.883	Superficial
		Canal Tilomonte antes de represa	CT_AR	Vigente	592.17	7.367.957	Superficial
SQM	Soncor	Reglilla Puilar CONAF	R_Puilar	Vigente	587.941	7.422.502	Superficial
		Reglilla Chaxas CONAF	R_Chaxas	Vigente	585.233	7.419.627	Superficial
		Reglilla Barros Negros CONAF	RBN	Vigente	585.824	7.416.990	Superficial
	Aguas de Quelana	L4-10	L4-10	Vigente	592.252	7.406.211	Superficial
	Peine	Reglilla Interna CONAF	R_Interna	Vigente	586.615	7.382.021	Superficial
		Reglilla Salada CONAF	R_Salada	Vigente	587.624	7.380.707	Superficial

Fuente: Elaboración propia a partir de Mapoteca DGA (2021a) y Monitoreo en línea SQM (2021)



Fuente: Red hidrométrica DGA y SQM (2018)

Figura 4-7: Ubicación de las estaciones de medición de calidad de agua superficial.

Las mediciones de cada estación para los diferentes parámetros químicos de relevancia se presentan en el Anexo J, acápite 6.1.1, donde los parámetros son seleccionados en función de las normas de agua potable (NCh409/05) y de riego (NCh1333/78). Es importante mencionar que en la cuenca no existen normas secundarias de agua.

4.1.4.2 Fuentes de contaminación

Las únicas fuentes de contaminación relevantes en la cuenca corresponden a las actividades agrícolas que pueden aumentar la carga de nutrientes y pesticidas y las aguas servidas asociadas al uso de agua potable domiciliario. Lo altos valores en concentración de elementos perjudiciales para la salud humana y para la actividad agrícola que se mencionan en el acápite anterior obedece principalmente a condiciones naturales propias de la geoquímica de esta zona del país, por lo mismo no existe una Norma Secundaria de Calidad Ambiental para aguas superficiales dentro de la cuenca del Salar de Atacama.

4.1.5 Derechos concedidos

A continuación, se presenta el análisis de los DAA superficiales otorgados en la cuenca del Salar de Atacama²⁵. Los resultados son presentados en función de las siguientes variables:

- i. DAA otorgados según Tipo de Solicitud.
- ii. DAA otorgados según Tipo de Derecho y Ejercicio del Derecho.

Tabla 4-3: DAA otorgados y Caudal medio otorgado.

Naturaleza del Agua	Nº	Caudal l/s
Superficial	67	2.114,7

Fuente: Elaboración propia en base a información DGA y CPA (2019)

i. DAA otorgados según Tipo de Solicitud

En la Tabla 4-4 se entrega la distribución de los DAA de acuerdo al tipo de solicitud, esto es, Nuevos Derechos (ND), Solicitudes de Regularización (NR) y Derechos de Usuarios Antiguos (UA).

Tabla 4-4: DAA otorgados y caudal otorgado según Tipo de Solicitud.

Tipo de solicitud	Nº	%	Caudal	
			l/s	%
Solicitudes de Nuevos Derechos (ND)	5	7,5	132,0	6,2
Solicitud de Regularización (NR)	62	92,5	1.982,7	93,8
Derechos de Usuarios Antiguos (UA)	0	0,0	0	0,0
Total	67	100,0	2.114,7	100

Fuente: Elaboración propia en base a información DGA y CPA (2019)

Según se desprende de la Tabla 4-4, la mayor parte del caudal otorgado está asociada a solicitudes de tipo NR, lo que equivale al 92,5% del total de número de solicitudes (equivalente a un 93,8% del caudal total). Solicitudes de nuevos derechos (ND) presenta

²⁵ Todo el detalle de los derechos de aprovechamiento de aguas superficiales se encuentra en el Anexo J y, en su defecto, en el Anexo J.1.

una participación relativa menor en esta cuenca, mientras que no existen derechos de usuarios antiguos (UA).

ii. DAA otorgados según Tipo de derecho y Ejercicio del Derecho

En la Tabla 4-5 se presenta la distribución de los DAA superficiales otorgados según tipo de DAA y ejercicio del DAA. Tal como se hace evidente en esta tabla, la cuenca del Salar de Atacama solo cuenta con derechos de aprovechamiento de carácter consuntivo, siendo solo uno de los 67 derechos superficiales, de carácter eventual y discontinuo. El 98,2% del caudal asignado es de carácter permanente y continuo.

Tabla 4-5: DAA superficiales otorgados según Tipo de DAA y Ejercicio del DAA.

Tipo de DAA y Ejercicio del DAA	N°	%	Caudal	
			l/s	%
Consuntivo	67	100	2.114,7	100
Eventual y Discontinuo	1	1,5	38	1,8
Permanente y Continuo	66	98,5	2.077	98,2
Total	67	100	2.114,7	100

Fuente: elaboración propia en base a información DGA y CPA

iii. Georreferenciación de DAA en la cuenca del Salar de Atacama

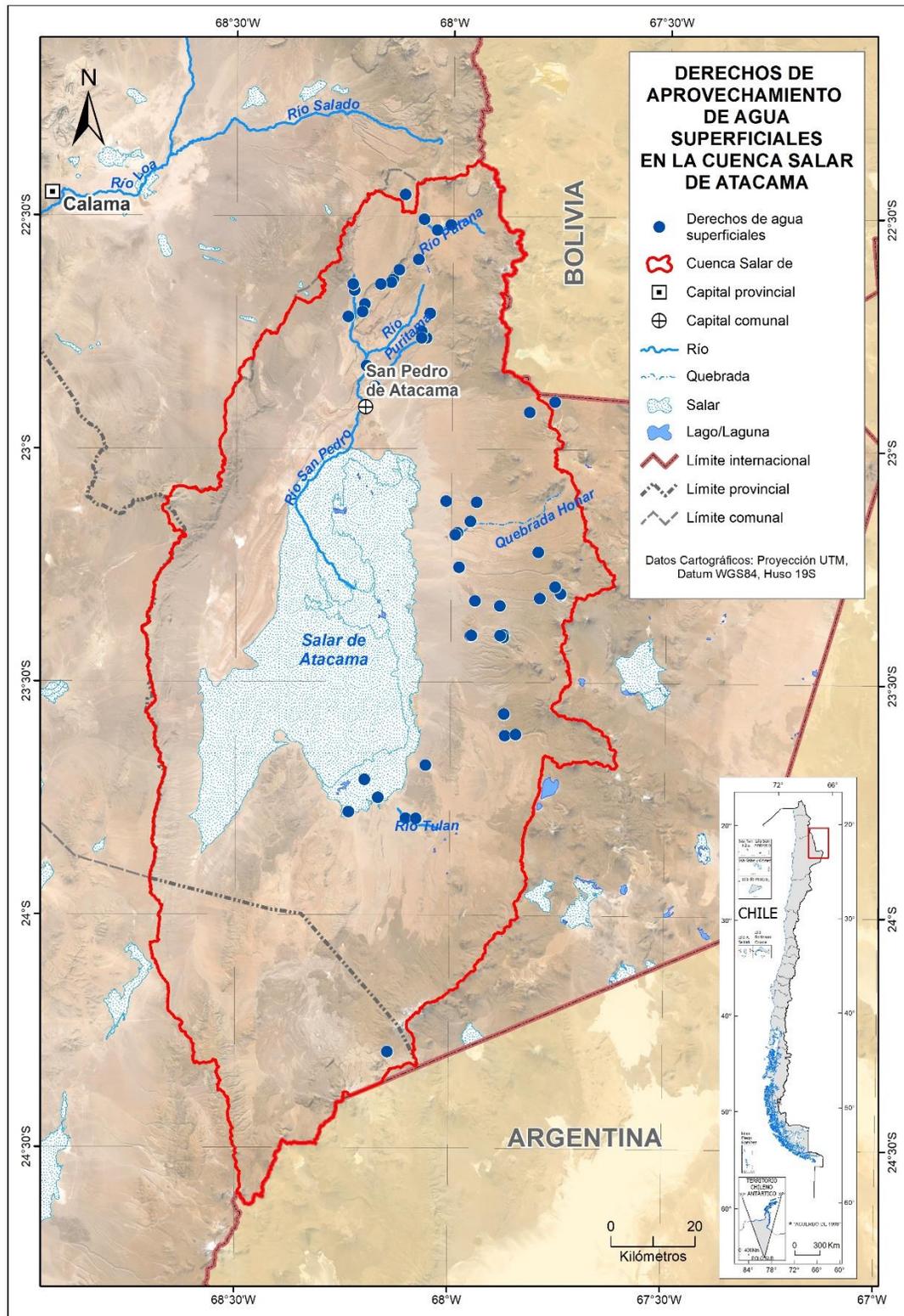
De la base de datos analizada para este estudio, 67 DAA cuentan con información necesaria para su georreferenciación, esto es, coordenadas UTM, Datum y Huso, lo que equivale al 100% del total de registros (ver Tabla 4-6:).

Tabla 4-6: Total de DAA georreferenciados y no georreferenciados.

Naturaleza del Agua	N°	DAA georreferenciado		DAA no georreferenciado	
		N°	%	N°	%
Superficial	67	67	100	0	0

Fuente: Elaboración propia en base a información DGA y CPA (2019)

En la Figura 4-8 se muestra la ubicación geográfica de los puntos de captación asociados a cada DAA en la cuenca del Salar de Atacama.



Fuente: Elaboración propia en base a información DGA y CPA (2019)

Figura 4-8: Ubicación geográfica de los DAA superficiales en la cuenca del Salar de Atacama.

4.2 AGUA SUBTERRÁNEA

A continuación, se presenta información referente a fuentes subterráneas, incluyendo el stock y recarga, además de calidad de aguas y derechos con naturaleza subterránea concedidos en la cuenca del Salar de Atacama.

4.2.1 Fuentes subterráneas

4.2.1.1 Identificación de fuentes

La cuenca del Salar de Atacama contiene fuentes aprovechables tanto de agua fresca como de salmuera. La salmuera está mayormente concentrada en la zona del núcleo del Salar de Atacama (SHAC N) y el agua fresca en el borde Este, Norte y Sur de la cuenca (SHACs A1, A2, B1, C1 y C2), separados en la zona marginal por una zona de transición donde se ubica la interfaz salina, presentada en el acápite 2.1.6, (SHACs A, B y C).

4.2.1.2 División administrativa

En cuanto a la gestión técnica y administrativa de las aguas subterráneas, esta corresponde a los SHACs, presentados en el acápite 2.1.5.3. En base al Informe Técnico SDT 339 (DGA, 2013), el acuífero del Salar de Atacama está dividido en 10 SHACs (ver Figura 2-9), los cuales se presentan en la Tabla 4-7 junto a la oferta hídrica del sistema subterráneo calculada al año 2014 en base al Informe Técnico DARH 234 (DGA, 2014a).

Tabla 4-7: Oferta de recursos hídricos subterráneos en los SHACs de la cuenca del Salar de Atacama.

Cuenca	SHAC	Superficie (km ²)	Disponibilidad al 2014 (l/s) ¹
Salar de Atacama	N	1.678	95
	N1	4.239	
	A	737	993
	A1	2.053	
	A2	1.784	
	B	178	894
	B1	2.044	
	C	177	345
	C1	1.736	
	C2	2.656	

Fuente: Elaboración propia basada en Mapoteca DGA (2021a)

4.2.1.3 Restricciones de uso sobre fuentes subterráneas

Complementando la información entregada en el acápite 4.1.1.3, en la presente sección se presentan detalles respecto de restricciones en el uso de fuentes subterráneas.

i. Zonas de protección

Dentro de las zonas de protección, analizadas en el acápite 4.1.1.3, se encuentran las vegas y bofedales, las cuales se sustentan principalmente de aguas subterráneas. Por este motivo existe una delimitación de acuíferos protegidos, donde no es posible autorizar exploraciones de aguas subterráneas ni construir derechos de aprovechamiento de estas si no se cuenta previamente con una evaluación de impacto ambiental aprobada. Es importante tener en consideración que la protección de estos cuerpos de agua no solo obedece a razones

ecológicas, sino que también a consideraciones culturales. En este sentido en el proceso de delimitación de los acuíferos protegidos se ha recurrido a información proporcionada por comunidades indígenas respecto de la importancia de estos sistemas para la población en por ejemplo la existencia de zonas de pastoreo (DGA, 2014b).

Las vegas y bofedales corresponden a formaciones vegetales que se desarrollan en el suelo con contenido orgánico suficiente para su subsistencia. Presentan una condición hídrica de saturación permanente, lo que se traduce en una alta diversidad biológica y un mayor número de espacios vegetales respecto del entorno. En estas zonas habitan especies como la vicuña, el guanaco y las alpacas, por lo que representan un valioso lugar para la conservación.

A partir del año 1993 la DGA comenzó a realizar estudios para identificar y ubicar áreas de vegas y bofedales para delimitar sus acuíferos alimentadores. Esto llevó a que en 1996 se dictara la Resolución DGA N° 909, la cual realizó dicha delimitación. Lo anterior implica, que en dichas áreas no es posible autorizar exploraciones de aguas subterráneas ni constituir derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas si no se cuenta previamente con una evaluación de impacto ambiental aprobada. En el caso de la región de Antofagasta, se protegieron 167 humedales con una superficie asociada de 2.798 km², equivalentes al 2,22% de la superficie total de la región, los cuales, en el año 2003, aumentaron a 228 humedales que abarcan una superficie de 5.149 km², equivalentes ahora al 4,07% de la superficie total regional.

Si bien según su caracterización, los acuíferos protegidos pueden ingresar dentro de las categorías asociadas a vegas y bofedales, por conformar el sustento de éstos últimos, poseen una extensión más amplia debido a su carácter subterráneo. En ese sentido, se clasifican de forma independiente cuando se refieren a las regiones desde Tarapacá hasta Coquimbo debido a que esta última junto con la de Atacama fueron anexadas por modificación del artículo 63 del código de aguas.

En ese sentido, dentro de la cuenca del Salar de Atacama, existen 39 diferentes acuíferos establecidos como zonas de protección, de los cuales 15 tienen resolución del año 2006, mientras que el resto la tuvo en el año 2003. Existe una relación entre el tamaño del acuífero con la cantidad de vegas que alimenta, siendo el acuífero más grande (1.100 km²) el que aporta caudal a 12 vegas del territorio. No obstante, existe un total de 83 acuíferos protegidos en la región de Antofagasta que se encuentran fuera de los límites de la cuenca. Los acuíferos protegidos que se encuentran al interior de la cuenca del Salar de Atacama representan un 32% de la cantidad total de acuíferos de la región, considerando que la cuenca del Salar de Atacama corresponde a un 13,5% del total de la superficie de la región de Antofagasta.

En la Figura 4-9 se muestran las zonas de vegas y bofedales, junto a la delimitación de los acuíferos protegidos.

ii. Áreas de restricción y zonas de prohibición de aguas subterráneas

En la Tabla 4-8 se muestra el detalle de las áreas de restricción y zonas de prohibición de aguas subterráneas declaradas en la cuenca del Salar de Atacama. En la cuenca no hay

SHACs que hayan sido declarados área de restricción y solo un SHAC, el SHAC C2, está en condición de zona de prohibición (ver Figura 2-49). El SHAC C2 fue declarado zona de prohibición el año 2018 en base al Informe Técnico DARH N°333 del año 2017, denominado "Zona de Prohibición sector constituyeron derechos de aprovechamiento de aguas que comprometen toda la disponibilidad determinada por la DGA para la constitución de derechos de aprovechamiento, tanto definitivos como provisionales. El cálculo de la disponibilidad u oferta hídrica presentada en los antecedentes para declarar el SHAC C2 como zona de prohibición corresponde a un balance de agua conceptual desarrollado en el Informe Técnico SDT 339 (DGA, 2013).

Por otro lado, es importante destacar que el sistema subterráneo de la cuenca del Salar de Atacama no almacena únicamente agua, sino que también salmueras (las cuales se encuentran concentradas en el SHAC N), recurso cuya extracción no está regulada por DAA, sino que mediante aprobaciones ambientales. Debido a que la salmuera no clasifica como recurso hídrico a partir del código de aguas, la DGA tiene competencias limitadas a la hora de decretar áreas de restricción o zonas de prohibición en áreas de concesión mineras asociadas a la minería no metálica, como las que se encuentran actualmente en operación en el SHAC N.

A partir de este estudio queda a disposición un modelo de simulación, detallado en el Anexo H y resumido en el acápite 5.1.1 de este informe, que permitirá complementar posteriores análisis para dilucidar potenciales áreas de restricción o zonas de prohibición. Adicionalmente, en el acápite 5.4.2 se presenta la importancia que tienen estos instrumentos, bajo qué circunstancias se aplican y se proponen consideraciones adicionales en base a las capacidades del modelo y las características de la cuenca para aplicar estas herramientas. De forma complementaria, recomienda a la DGA evaluar la pertinencia de actualizar el análisis de la oferta hídrica sustentable, presentado en el Informe Técnico SDT 339 (DGA, 2013) e Informe Técnico DARH 234 (DGA, 2014a), para revisar el estado de los SHACs de la cuenca del Salar de Atacama.

iii. Zonas de conservación

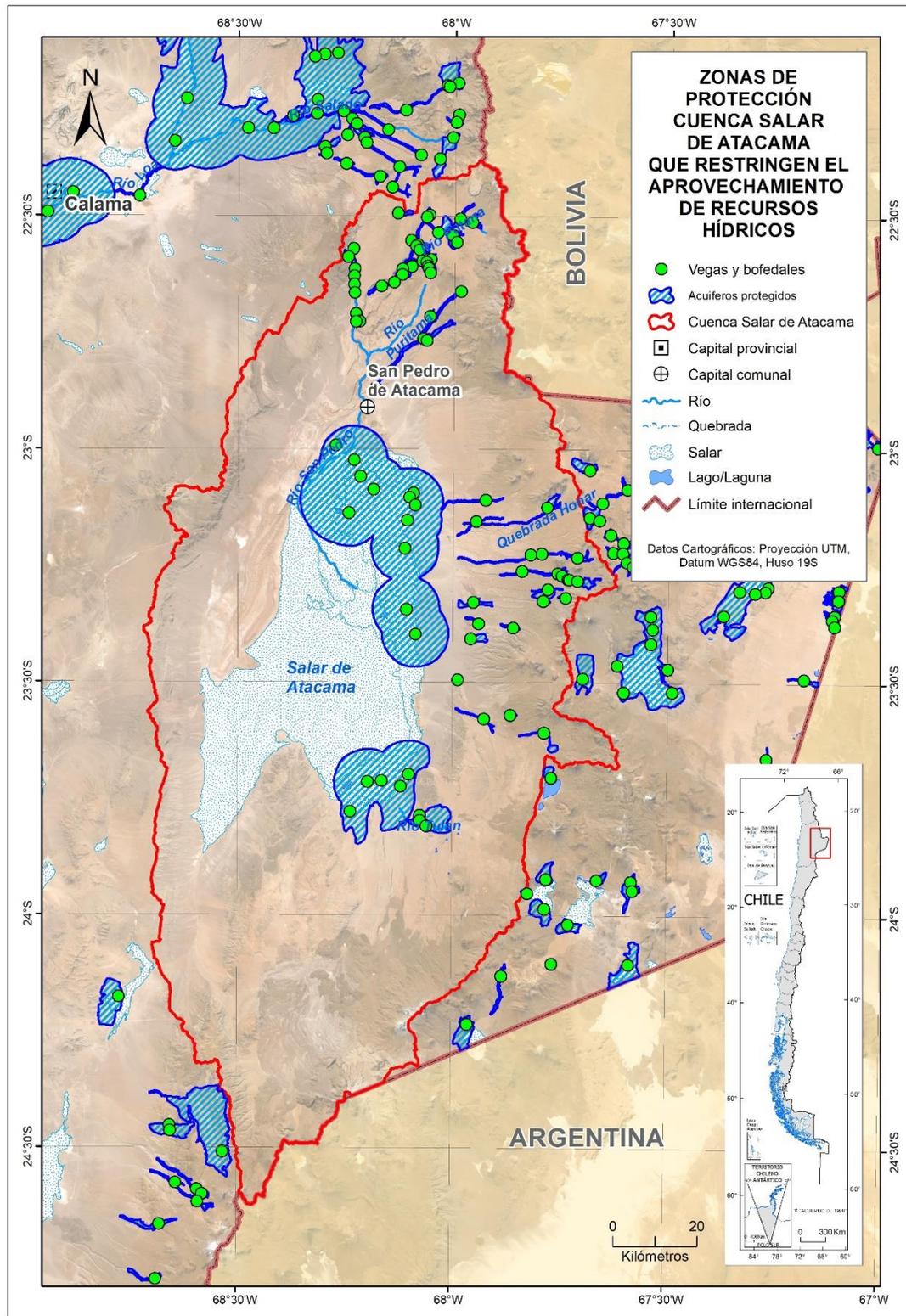
Las zonas de conservación fueron analizadas en el punto 4.1.1.3.

iv. Decretos de reserva

No se han dictado decretos de reserva en la cuenca del Salar de Atacama.

v. Decretos de escasez hídrica

No se han dictado decretos de escasez hídrica en la cuenca del Salar de Atacama.



Fuente: Elaboración propia a partir de información del MMA

Figura 4–9: Zonas de protección oficial en la cuenca del Salar de Atacama que restringen el aprovechamiento de aguas subterráneas.

Tabla 4–8: Áreas de restricción y zonas de prohibición en el acuífero del Salar de Atacama.

Acuífero	Sector	Limitación	Ley 20.411	Res. DGA N°	Fecha Res. DGA	Referencia y año
Salar de Atacama	C2	Zona de prohibición	s/i	13	22-06-2018	Informe Técnico DARH N°333 (2017)

Fuente: Elaboración propia

4.2.2 Stock y recarga

En el presente acápite se presentan resultados del estado actual (al año 2018) del sistema subterráneo a partir de los resultados del modelo numérico acoplado desarrollado en el Capítulo 5.

En lo que respecta al stock de agua subterránea, se realizó el cálculo del volumen almacenado en la extensión del modelo hidrogeológico numérico, según la metodología expuesta en el Anexo F, acápite 5.3.4, y se normalizó respecto al volumen inicial calculado para representar la variación porcentual del volumen almacenado. En la Figura 4–10 se presenta la evolución temporal del almacenamiento acumulado respecto al año 1986, donde se aprecia un aumento en el volumen almacenado en los años 1988 y 2001, asociados a períodos de altas precipitaciones, disminuciones en el año 1988 asociados a bajas precipitaciones y disminuciones sostenidas a partir del año 2005 producto del aumento de extracciones desde el acuífero, llegando hasta un 96% del volumen inicial.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4–10: Evolución del almacenamiento acumulado en el acuífero desde 1986.

Respecto a la recarga en el sistema, en la Tabla 4–9, Tabla 4–10 y Tabla 4–11 se presenta el resumen de las entradas al sistema subterráneo del modelo acoplado en el período 1986-2018, 1986-1999 y 2000-2018, respectivamente, desagregado a escala de SHAC. Notar que, como se menciona en el Anexo F, capítulo 5.3.4, los SHAC no coinciden completamente con el área que abarca el modelo numérico hidrogeológico, por lo que se considera la intersección entre los SHACs y la extensión del modelo numérico hidrogeológico.

Tabla 4-9: Entradas promedio al sistema subterráneo del modelo acoplado en el período 1986 – 2018 (período de calibración).

Entradas (l/s)	N	N1	A	A1	A2	B	B1	C	C1	C2
Recarga lateral	37	30	0	876	976	0	881	0	484	942
Recarga superficial	320	6	768	486	436	16	145	4	20	101
Flujo subterráneo	2.113	291	3.265	489	1.087	1.158	291	1.258	657	402
Total	2.470	326	4.033	1.851	2.499	1.174	1.316	1.262	1.161	1.445

Nota: La zonificación corresponde a la división administrativa mostrada en la Figura 2-9.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4-10: Entradas promedio al sistema subterráneo del modelo acoplado en el período 1986 – 1999 (período preoperacional).

Entradas (l/s)	N	N1	A	A1	A2	B	B1	C	C1	C2
Recarga lateral	22	17	0	853	920	0	845	0	428	841
Recarga superficial	302	5	728	482	397	13	114	3	10	10
Flujo subterráneo	2.076	272	3.197	454	1.045	1.189	293	1.244	655	388
Total	2.400	294	3.925	1.790	2.362	1.202	1.252	1.247	1.093	1.239

Nota: La zonificación corresponde a la división administrativa mostrada en la Figura 2-9.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4-11: Entradas promedio al sistema subterráneo del modelo acoplado en el período 2000 – 2018 (período posterior al inicio de extracciones).

Entradas (l/s)	N	N1	A	A1	A2	B	B1	C	C1	C2
Recarga lateral	48	39	0	892	1.017	0	907	0	525	1.017
Recarga superficial	333	6	797	490	464	18	168	5	28	168
Flujo subterráneo	2.141	304	3.315	514	1.118	1.135	289	1.268	659	413
Total	2.521	350	4.112	1.896	2.600	1.153	1.364	1.274	1.212	1.598

Nota: La zonificación corresponde a la división administrativa mostrada en la Figura 2-9.

Fuente: Elaboración propia

4.2.3 Calidad de agua

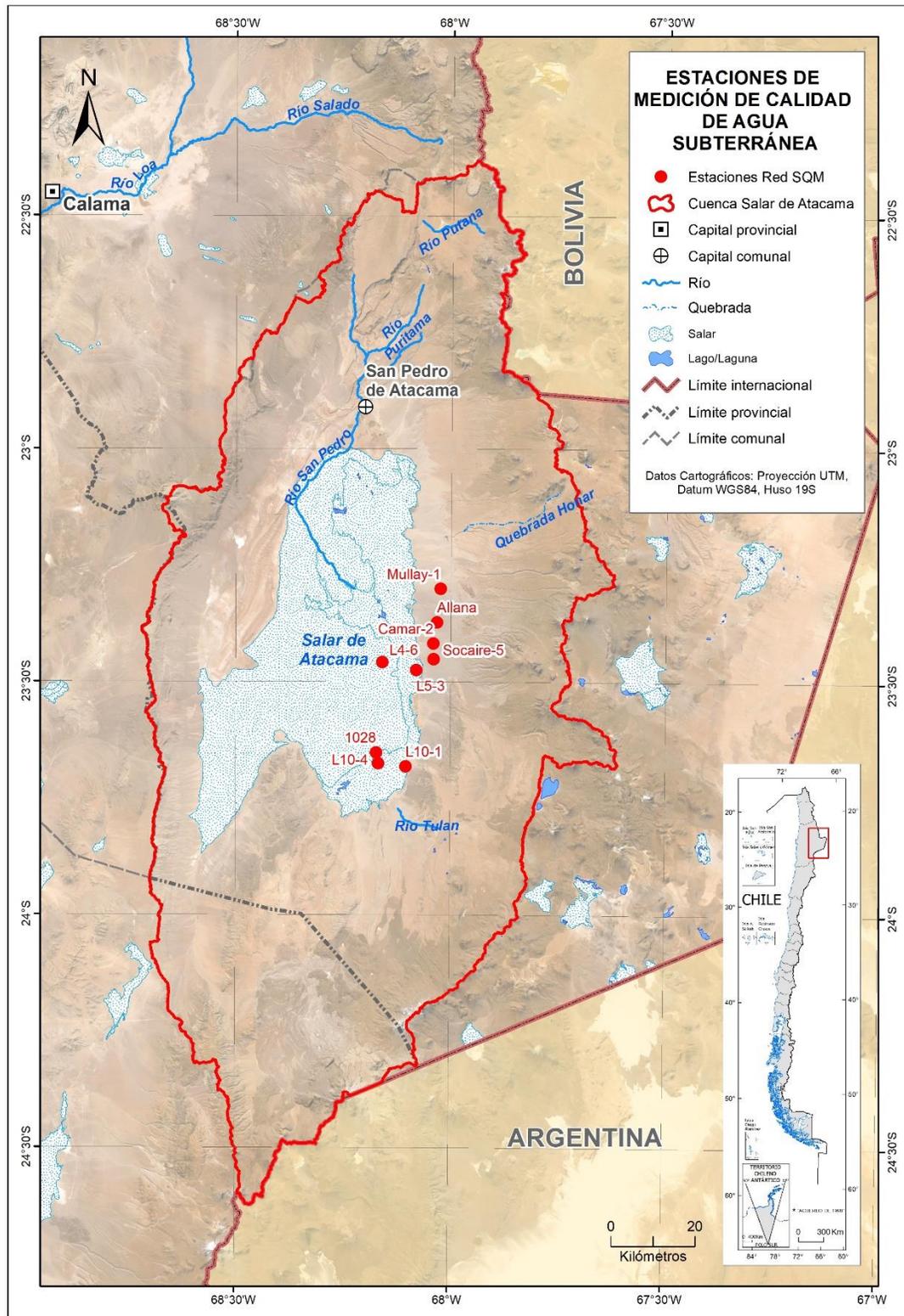
4.2.3.1 Caracterización hidroquímica de aguas subterránea

Para la caracterización hidroquímica de las aguas subterráneas de la cuenca se consultaron un total de nueve estaciones de medición de parámetros físico-químicos, que a diferencia de las aguas superficiales, solo corresponden a estaciones de la red de SQM. En la Tabla 4-12 se encuentra la información de cada estación de pozo utilizada y su distribución espacial en la cuenca se presenta en la Figura 4-11. El sistema Soncor cuenta con las estaciones Mullay y Allana. El sistema Aguas de Quelana con los pozos Camar, Socaire, L4-6 y L5-3. Y El sistema Peine está compuesto por las estaciones L10-1, L10-4, 1028. Estas estaciones están concentradas en la zona marginal y en sus inmediaciones en el borde Este.

Tabla 4-12: Estaciones de calidad red SQM de tipo subterránea (pozos).

Red	Sistema	Nombre estación	Abreviación	Estado	Coordenadas		Tipo
					Este 84	Norte 84	
SQM	Soncor	Mullay-1	Mullay	Vigente	599.919	7.422.645	Pozo
		Allana	Allana	Vigente	598.958	7.414.838	Pozo
	Aguas de Quelana	Camar-2	Camar	Vigente	598.072	7.409.831	Pozo
		Socaire 5	Socaire	Vigente	598.164	7.406.166	Pozo
		L4-6	L4-6	Vigente	585.967	7.405.468	Pozo
		L5-3	L5-3	Vigente	593.971	7.403.544	Pozo
	Peine	1028	1028	Vigente	584.433	7.383.998	Pozo
		L10-4	L10-4	Vigente	584.908	7.381.408	Pozo
		L10-1	L10-1	Vigente	591.440	7.380.661	Pozo

Fuente: Elaboración propia a partir de Mapoteca DGA (2021a) y Monitoreo en línea SQM (2021)



Fuente: Red hidrométrica SQM (2018)

Figura 4–11: Ubicación de las estaciones de medición de calidad de agua subterránea.

Las mediciones de cada estación para los diferentes parámetros químicos de relevancia se presentan en el Anexo J, acápite 6.1.2, donde los parámetros son seleccionados en función de las normas de agua potable (NCh409/05) y de riego (NCh1333/78).

4.2.3.2 Fuentes de contaminación

Al igual que en el caso de las aguas superficiales las únicas fuentes de contaminación relevantes en la cuenca corresponden a las actividades agrícolas que pueden aumentar la carga de nutrientes y pesticidas y las aguas servidas asociadas al uso de agua potable domiciliario. Lo altos valores en concentración de elementos perjudiciales para la salud humana y para la actividad agrícola que se mencionan en el acápite anterior obedece principalmente a condiciones naturales propias de la geoquímica de esta zona del país, por lo mismo no existe una Norma Secundaria de Calidad Ambiental para aguas subterráneas dentro de la cuenca del Salar de Atacama.

4.2.4 Derechos concedidos

Los derechos concedidos con naturaleza subterránea dentro de la cuenca del Salar de Atacama se encuentran resumidos en la Tabla 4-13²⁶. Es importante destacar que las concesiones de extracción de salmuera no esta afecta a derechos de aprovechamiento de agua regulados bajo el Código de Aguas. La salmuera es tratada en este sentido como un recurso minero.

²⁶ Todo el detalle de los derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas se encuentra en el Anexo J y, en su defecto, en el anexo J.1.

Tabla 4-13 Tabla resumen de derechos subterráneos concedidos.

Naturaleza del agua	N°	Caudal (l/s)
Subterránea	109	3.873,3
<i>Solicitudes de Nuevos Derechos (ND)</i>	<i>108</i>	<i>3.871,8</i>
Consuntivo	108	3.776,0
Permanente y Continuo	108	3.776,0
<i>Solicitud de Regularización (NR)</i>	<i>1</i>	<i>1,5</i>
Consuntivo	1	1,5
Permanente y Continuo	1	1,5
Total	109	3.873,3

Fuente: Elaboración propia en base a CORFO-PUC (2021), e información del Catastro Público de Aguas (DGA, 2019)

A continuación, se presenta el análisis de los DAA subterráneos otorgados en la cuenca del Salar de Atacama. Los resultados son presentados en función de las siguientes variables:

- i. DAA otorgados según Tipo de Solicitud.
- ii. DAA otorgados según Tipo de Derecho y Ejercicio del Derecho.

Tabla 4-14: DAA otorgados y Caudal medio otorgado.

Naturaleza del Agua	N°	Caudal l/s
Subterránea	109	3.873,3

Fuente: Elaboración propia en base a CORFO-PUC (2021), e información del Catastro Público de Aguas (DGA, 2019)

i. DAA otorgados según Tipo de Solicitud

En la Tabla 4-15 se entrega la distribución de los DAA de acuerdo al tipo de solicitud, esto es, Nuevos Derechos (ND), Solicitudes de Regularización (NR) y Derechos de Usuarios Antiguos (UA).

Tabla 4-15: DAA otorgados y caudal otorgado según Tipo de Solicitud.

Tipo de solicitud	N°	%	Caudal	
			l/s	%
Solicitudes de Nuevos Derechos (ND)	108	99	3.872	99,96
Solicitud de Regularización (NR)	1	1	1,5	0,04
Total	109	100,0	3.873,3	100,0

Fuente: Elaboración propia en base a CORFO-PUC (2021), e información del Catastro Público de Aguas (DGA, 2019)

Según se desprende de la Tabla 4-15, prácticamente todo el caudal otorgado desde fuentes subterráneas está asociado a solicitudes de tipo ND (99,96%). Solicitudes de regularización (NR), están presentes sólo para un derecho en la cuenca, con un caudal de 1,5 l/s.

ii. DAA otorgados según Tipo de derecho y Ejercicio del Derecho

En la Tabla 4-16 se presenta la distribución de los DAA subterráneos otorgados según tipo de DAA y ejercicio del DAA. Tal como se hace evidente en esta tabla, la cuenca del Salar de Atacama solo cuenta con derechos de aprovechamiento subterráneos de carácter permanente y continuo.

Tabla 4-16: DAA subterráneos otorgados según Tipo de DAA y Ejercicio del DAA.

Tipo de DAA y Ejercicio del DAA	N°	%	Caudal	
			l/s	%
Consuntivo (Permanente y Continuo)	109	100	3.873,3	100

Fuente: Elaboración propia en base a CORFO-PUC (2021), e información del Catastro Público de Aguas (DGA, 2019)

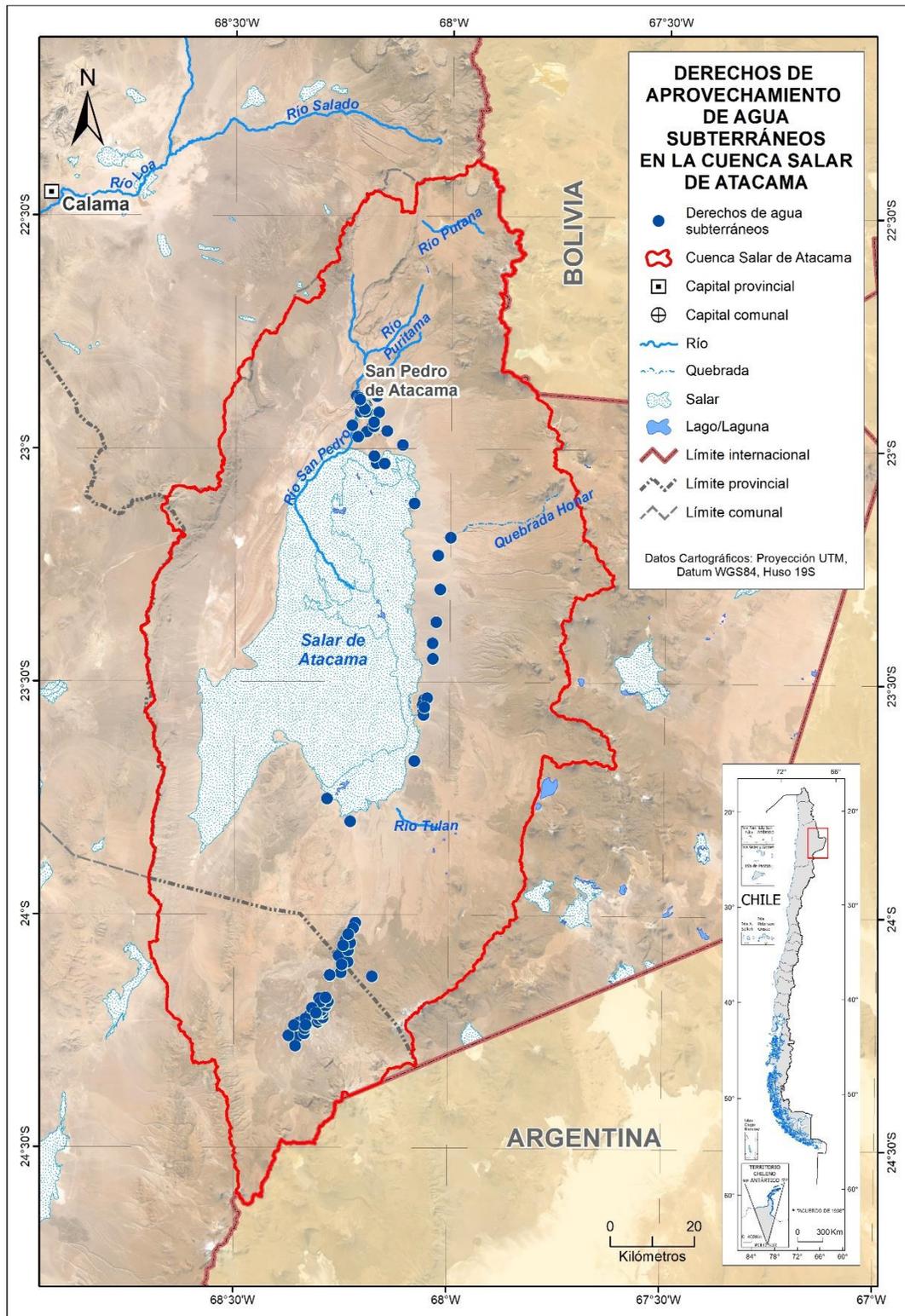
iii. Georreferenciación de DAA en la cuenca del Salar de Atacama

De la base de datos analizada para este estudio, todos cuentan con la información necesaria para su georreferenciación, esto es, coordenadas UTM, Datum y Huso, lo que equivale al 100% del total de registros (ver Tabla 4-17).

Tabla 4-17: DAA subterráneos otorgados según si están georreferenciados y no.

Naturaleza del Agua	N°	DAA georreferenciado		DAA no georreferenciado	
		N°	%	N°	%
Subterránea	109	109	100	0	0

Fuente: Elaboración propia en base a CORFO-PUC (2021), e información del Catastro Público de Aguas (DGA, 2019)



Fuente: Elaboración propia en base a información DGA y CPA (2019)

Figura 4-12: Ubicación geográfica de los DAA subterráneos en la cuenca del Salar de Atacama.

4.3 GLACIARES

4.3.1 Identificación de fuentes

En el acápite 2.3.2 se destaca la presencia de alrededor de 18 glaciares (cubriendo un área aproximada de 0,8 km²) en la cuenca del Salar de Atacama.

4.3.2 Restricciones de uso sobre glaciares

Actualmente, el 86% de los glaciares en Chile se encuentra bajo protección por el Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE). Respecto del 14% restante, pese a no pertenecer a una categoría especial de protección, el Reglamento del SEIA establece que el titular de un proyecto deberá presentar un Estudio de Impacto Ambiental si su proyecto o actividad se localiza próxima a glaciares susceptibles de ser afectados (UGN-DGA, 2019).

Los glaciares pese a ser considerados sistemas sensibles no tienen una ley de protección especial pese a que actualmente existen en discusión dos proyectos de ley que tienen como objetivo la protección directa de estos (Boletín del Congreso Nacional 11876-12²⁷) e impedir la constitución de derechos de aprovechamiento de aguas sobre ellos (Boletín del Congreso Nacional N°11597-12²⁸).

²⁷ <https://www.camara.cl/legislacion/ProyectosDeLey/tramitacion.aspx?prmID=12397&prmBoletin=11876-12>

²⁸ <https://www.camara.cl/legislacion/ProyectosDeLey/tramitacion.aspx?prmID=12114&prmBoletin=11597-12>

CAPÍTULO 5 BALANCE DE AGUA

Para el desarrollo del Balance de Agua en la cuenca del Salar de Atacama y sus implicancias sobre la sustentabilidad a nivel superficial y subterráneo se utilizó el modelo acoplado, presentado en el Anexo H (Capítulo 5). El modelo acoplado es un modelo de simulación que integra los componentes superficial y subterráneo del sistema hídrico de la cuenca del Salar de Atacama. A continuación, se presentan los objetivos e introducción a este modelo junto a la validación de sus resultados, los escenarios de proyecciones futuras en cuanto a disponibilidad y necesidades del recurso hídrico, resultados tanto de la situación actual como proyectada de la cuenca y las brechas identificadas a partir del proceso de construcción y resultados del modelo. Se presenta también un análisis de la sustentabilidad de la cuenca y dos escenarios de gestión para evaluar alcances de posibles iniciativas para reducir la brecha hídrica tanto de agua potable como de riego.

5.1 MODELO DE SIMULACIÓN

5.1.1 Objetivos del desarrollo del modelo de simulación

Los objetivos del desarrollo y actualización del modelo integrado de la cuenca del Salar de Atacama en este estudio fueron:

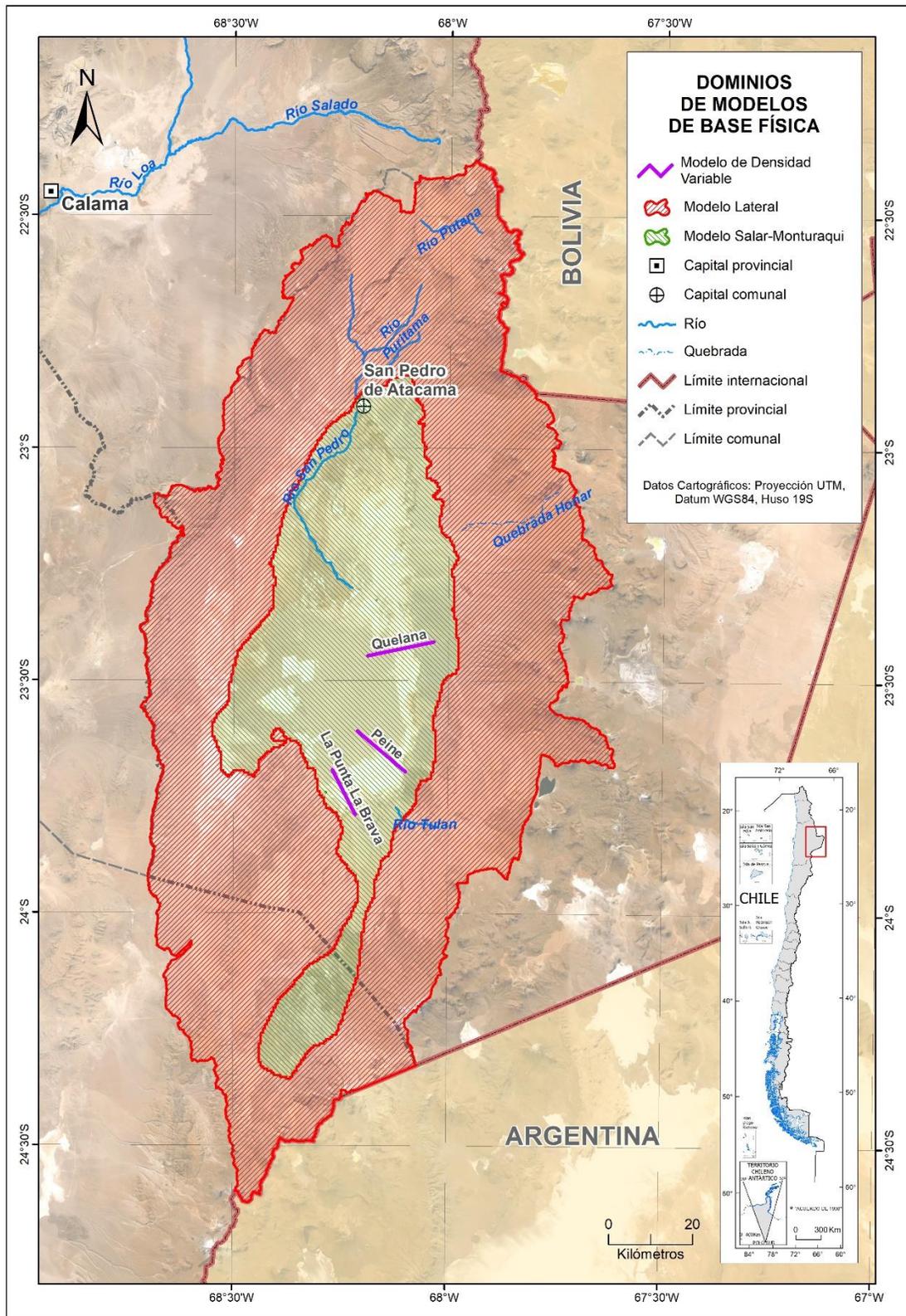
- i. Recopilar los modelos hidrológicos e hidrogeológicos de cada cuenca.
- ii. Construir y/o actualizar los modelos de simulación hidrológicos, e integrarlos a nivel superficial-subterráneo.
- iii. Cambiar de plataforma cuando sea necesario y unificar los modelos hidrológicos (WEAP, VIC) e hidrogeológicos (MODFLOW) para la cuenca.
- iv. Actualizar el modelo de simulación hidrológica superficial y subterránea que represente los escenarios de consumo hídrico y de salmuera, de acuerdo a la demanda de actores sectorizados, considerando además los escenarios climáticos, económicos y demográficos para la cuenca del Salar de Atacama.

5.1.2 Introducción al modelo de simulación

El modelo de simulación utilizado en el PEGH de la cuenca del Salar de Atacama corresponde a un modelo que representa de manera integrada los sistemas de aguas superficiales y subterráneas en la cuenca del Salar de Atacama. Este modelo de simulación se basa en el modelo desarrollado por CORFO-PUC (2021), el que a su vez se basa en el modelo numérico hidrogeológico desarrollado por CORFO-AMPHOS21 (2021) en base al modelo conceptual desarrollado por CORFO-AMPHOS21 (2021). En el contexto del desarrollo del PEGH este modelo de simulación fue revisado en reuniones de co-construcción con distintos actores, quienes aportaron con información relevante para poder caracterizar de la mejor manera posible las necesidades de distintos usos del agua en la cuenca, incluidos los ecosistemas. Este proceso de co-construcción del modelo incluyó sesiones de capacitación con distintos actores relevantes en la cuenca (ver acápite 2.6.2). De esta manera, se obtuvo un modelo acoplado actualizado cuyas características principales, actualizaciones, validación, limitaciones y brechas se presentan en el Anexo H. Las características generales del modelo acoplado se presentan a continuación:

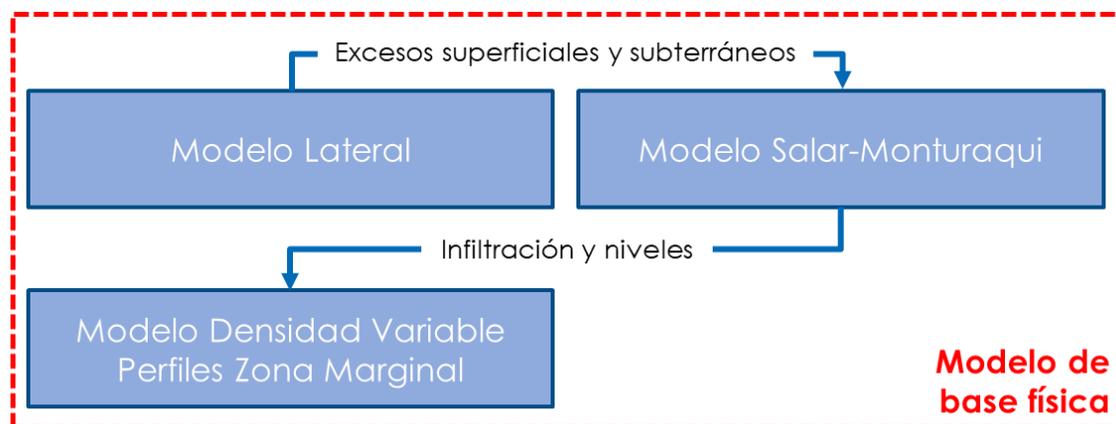
- El modelo WEAP representa la hidrología superficial y subterránea en cuencas laterales (Modelo Lateral), las cuales generan flujos superficiales y subterráneos que entran al modelo Salar-Monturaqui.
- El modelo WEAP representa la hidrología superficial en la zona del Salar y Monturaqui acoplado al modelo MODFLOW para representar la hidrología subterránea (Modelo Salar-Monturaqui).
- El modelo SEAWAT representa las condiciones de concentración de solutos y densidad variable existentes en la interfaz salina, presentada en el acápite 2.1.6, mediante tres perfiles bidimensionales específicos dispuestos en los sistemas lagunares Quelana, Peine y La Punta La Brava, ubicados en la zona marginal del Salar de Atacama (Modelo de densidad variable).

El período histórico del modelo acoplado abarca el período 1986 – 2018 con paso de tiempo mensual. La delimitación espacial de cada uno de estos tres modelos se presenta en la Figura 5-1 y la conexión entre modelos presenta en la Figura 5-2.



Fuente: Elaboración propia

Figura 5–1: Delimitación de los modelos que conforman el modelo acoplado.



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-2: Esquema de las conexiones entre los distintos modelos que conforman el modelo acoplado.

El modelo acoplado permitió caracterizar la disponibilidad de agua a nivel superficial y subterránea, así como también las necesidades de agua fresca de la vegetación y cultivos, necesidades de agua potable y consumos industriales considerando extracciones a nivel superficial y subterránea. Se incluyeron también en el modelo las extracciones y reinyecciones de salmuera de las empresas asociadas a la minería no metálica en el Salar de Atacama. El modelo considera de forma dinámica la capacidad de extracción de agua desde la napa por parte de vegetación con extensión radicular importante para suplir la demanda evapotranspirativa. El detalle de esta característica del modelo se presenta en el acápite 5.2.1 del Anexo H.

Pese a los avances de este modelo de simulación, respecto de herramientas de análisis anteriormente utilizadas por la DGA, como, por ejemplo, el análisis conceptual de la oferta hídrica de la cuenca del Salar de Atacama (DGA, 2013), es importante destacar algunas limitaciones de acuerdo con lo expuesto en CORFO-PUC (2021). Las brechas asociadas a la información para la construcción y actualización del modelo, junto a las simplificaciones para representar el sistema hídrico de la cuenca del Salar de Atacama se presentan en el acápite 5.3.2. A continuación, se presentan algunos alcances del modelo de simulación:

- Un modelo de simulación corresponde a una simplificación de un sistema real.
- El modelo acoplado corresponde al acople entre el modelo numérico hidrogeológico desarrollado por CORFO-AMPHOS21 (2021) y el modelo hidrológico desarrollado por CORFO-PUC (2021), actualizado a partir de información para caracterizar la demanda de agua y salmuera en la cuenca a partir de reuniones de co-construcción. Debido a esto, el modelo acoplado heredó las características de los modelos de base y adquirió restricciones asociadas al acople WEAP-MODFLOW, como la no estacionalidad de los parámetros asociados a las salidas de evaporación desde la napa y el manejo de la recarga en el núcleo del salar desde elementos WEAP y no con una recarga impuesta para representar los cambios en niveles asociados a precipitaciones. Estos dos cambios resultaron en una disminución en la sensibilidad de los niveles a las precipitaciones y a la estacionalidad climática; sin embargo,

como se presenta a continuación, el modelo no pierde representatividad en términos de tendencias de niveles del sistema subterráneo, respecto al modelo base.

- El modelo acoplado corresponde a un modelo a escala regional, lo cual implica simplificaciones a escala local, por lo que debe evaluarse caso a caso la pertinencia de realizar conclusiones a escala centimétrica. Sin embargo, el modelo puede utilizarse para obtener resultados en términos de tendencias de variables relevantes del ciclo hidrológico. Por ejemplo, en la zona marginal o en el núcleo no se deberían evaluar las fluctuaciones intraanuales en base a resultados del modelo, sino que los cambios en tendencias a largo plazo.
- El modelo subterráneo corresponde a una representación integrada (considera el medio compuesto por un fluido de densidad constante), la cual se ajustó para representar de mejor manera los flujos en la interfaz entre agua fresca y salmuera.
- El modelo de flujo con densidad variable representa el comportamiento en la interfaz de forma complementaria al modelo de flujo tridimensional. Sin embargo, corresponde a una simplificación bidimensional de un comportamiento tridimensional.
- El modelo acoplado corresponde a la mejor aproximación con la que se cuenta en la cuenca del Salar de Atacama a nivel integral, en términos de que aborda toda la extensión de la cuenca y los procesos más relevantes del balance hídrico de forma interconectada, y no compartimentado para la toma de decisiones del regulador. Sin embargo, salvo componentes de estrés hídrico no hay una representación de efectos en los sistemas ecológicos.
- Existen limitaciones relativas a la disponibilidad y características de la información utilizada en la construcción del modelo (ver Capítulo 7 del Anexo H).

Para evaluar la capacidad del modelo acoplado para representar los flujos y condiciones observadas en la cuenca del Salar de Atacama, se compararon los resultados del modelo acoplado con los flujos superficiales y subterráneos a escala de cuenca del modelo conceptual desarrollado por CORFO-AMPHOS21 (2021), los caudales medidos en la estación fluviométrica ubicada en el río San Pedro en Cuchabrachi, valores medidos de evaporación de tanque, niveles freáticos medidos en gran parte del sistema subterráneo de la cuenca y perfiles verticales de conductividad eléctrica. El detalle de este proceso se encuentra en el Anexo H, Capítulo 6. Sin embargo, a continuación, se sintetizan los resultados y conclusiones más relevantes del proceso de validación.

Respecto a la comparación de los resultados del modelo con los flujos estimados en el modelo conceptual desarrollado por CORFO-AMPHOS21 (2021), en la Tabla 5-1 se presentan las principales entradas y salidas al sistema superficial del modelo acoplado y conceptual en el período 1986 - 2018, mostrando la capacidad del modelo acoplado de representar los flujos superficiales estimados para la cuenca. Se observó una buena representación de la precipitación total en la cuenca y una subestimación de un 10% de la evapotranspiración, resultando en una sobreestimación en la escorrentía superficial y recarga generada. Notar que la escorrentía superficial generada en las cuencas altas infiltra antes de llegar a la zona Marginal, donde se ubica la interfaz salina (ver acápite 2.1.6), incorporándose a la recarga entrante al sistema subterráneo.

Tabla 5-1: Flujos superficiales presentados en el modelo conceptual de CORFO-AMPHOS21 (2021) y flujos superficiales resultantes del modelo acoplado para el período 1986 - 2018.

Término del balance	Modelo Conceptual	Modelo Acoplado
Precipitación (l/s)	29.661	29.182
Evapotranspiración (l/s)	23.556	21.066
Recarga + escorrentía (l/s)	6.106	6.583

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 5-2 se presenta el balance hídrico del sistema subterráneo resultante del modelo acoplado como un promedio de los períodos 1986 - 1999 y 2000 - 2018, junto a los valores estimados en el modelo conceptual desarrollado por CORFO-AMPHOS21 (2021) tanto en régimen natural como en el período 2000 - 2019. Estos períodos fueron seleccionados para aproximar los períodos previos y posterior al inicio de extracciones más relevantes de salmuera en ventanas de tiempo de duración similar. El balance calculado por el modelo acoplado resultó en valores satisfactorios de los flujos de entrada y salida al sistema subterráneo en el modelo conceptual.

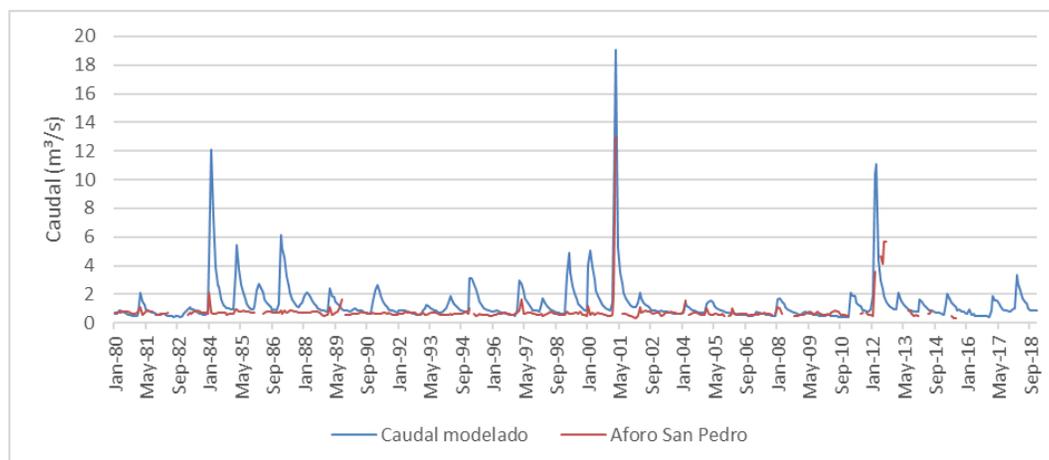
Tabla 5-2: Resumen del balance hídrico del sistema subterráneo del modelo acoplado y modelo conceptual en los períodos 1986 - 1999 y 2000 - 2018.

Término del balance	Modelo acoplado		Modelo conceptual	
	1986 - 1999	2000 - 2018	Régimen natural	2000 - 2019
Entradas (l/s)				
Recarga Lateral	3.934	4.472	3.225 a 4.350	3.225 a 4.350
Recarga Directa	1.991	2.396	1.975 a 2.675	1.975 a 2.675
Total Entradas	5.925	6.868	5.200 a 7.025	5.200 a 7.025
Salidas (l/s)				
Evaporación	3.825	3.336	3.425 a 4.875	3.200 a 4.575
Extracción vegetación ¹	2.042	2.118	1.675 a 2.050	1.675 a 2.050
Extracciones antrópicas	313	2.650	100	2.550 a 2.850
Total Salidas	6.180	8.104	5.200 a 7.025	7.425 a 9.475
Variación en el almacenamiento (l/s)	-255	-1.236	-	-

¹: Corresponde a la extracción de agua desde la napa por parte de la vegetación para suplir su demanda evapotranspirativa (ver acápite 5.2.1 del Anexo H).

Fuente: Elaboración propia

Respecto a la comparación de caudales superficiales simulados y medidos, en la cuenca del Salar de Atacama no existen estaciones fluviométricas con registros suficientes en cantidad ni calidad para realizar una comparación extensiva de los resultados del modelo, a excepción de la estación de San Pedro en Cuchabrachi, la cual fue utilizada como base para la calibración del modelo. Los resultados de la comparación se presentan en la Figura 5-3, donde se observa que los caudales simulados ajustan de buena manera el flujo base, sin embargo, no fue posible realizar una comparación con las crecidas debido a que la estación presenta problemas para poder representar de manera adecuada estos eventos.



Fuente: Elaboración propia

Figura 5–3: Validación comparando caudal promedio mensual modelado y observado en la estación DGA para la estación fluviométrica “río San Pedro de Cuchabrachi”.

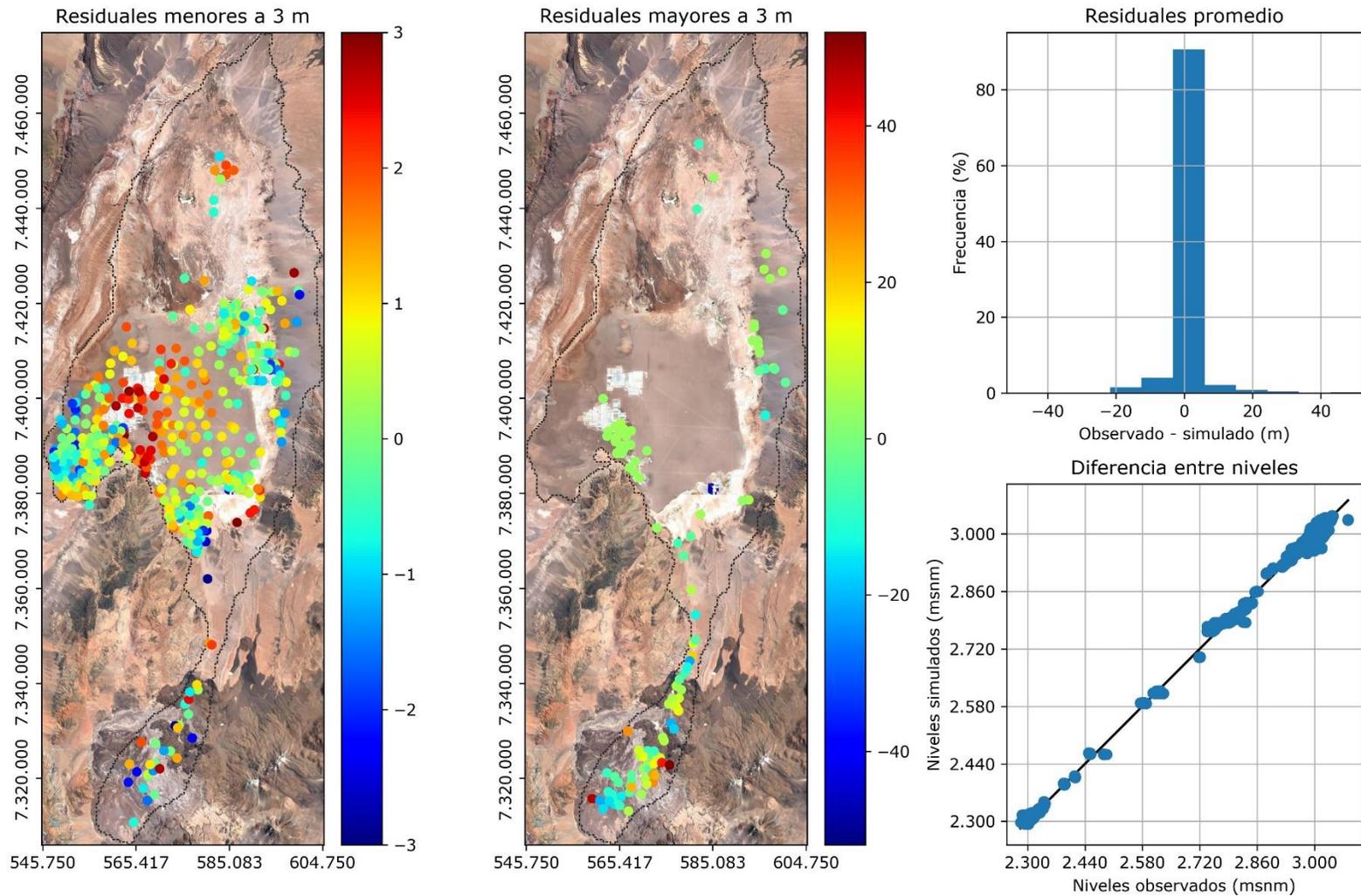
En la cuenca del Salar de Atacama no se dispuso de información de evapotranspiración de cultivos medida para contrastar con los resultados del modelo, sin embargo, se dispuso de estaciones con mediciones de evaporación de tanque. Si bien estos valores corresponden a la evaporación desde una superficie abierta de agua, son una alternativa para evaluar la capacidad del modelo para representar el orden de magnitud de la demanda evapotranspirativa del sistema integrando el efecto de la radiación, viento, temperatura y humedad. En la Tabla 5–3 se presentan valores promedios de la evaporación de tanque medida en estaciones distribuidas en distintos puntos de la cuenca, considerando aquellos valores dentro del período 1986 – 2018, y a distintas alturas, junto a valores promedios de la evapotranspiración potencial calculada en WEAP mediante la ecuación de Penman-Monteith. Estos resultados muestran que los valores calculados por el modelo son del mismo orden de magnitud que las mediciones, sin embargo, el modelo tendió a subestimarlas. Adicionalmente, como se presenta en el Anexo H, acápite 6.3, el modelo representó adecuadamente la temporalidad mensual registrada por el método de evaporación de tanque.

Tabla 5–3: Evaporación de tanque medida en estaciones de monitoreo y evapotranspiración potencial simulada con el modelo acoplado en catchments representativos de la ubicación de la estación.

Estación	Altura estación (m.s.n.m.)	Medición (mm/mes)	Modelado (mm/mes)	Período de comparación
SCL	2.300	278	223	2001 - 2018
Chaxa	2.304	235	223	2000 - 2018
San Pedro de Atacama	2.450	243	191	1986 - 1988
Peine	2.460	278	202	1986 - 2016
Toconao Experimental	2.500	292	193	1986 - 2007
Chiu Chiu	2.524	208	206	1986 - 2010
Socaire	3.250	268	208	1986 - 1998

Fuente: Elaboración propia

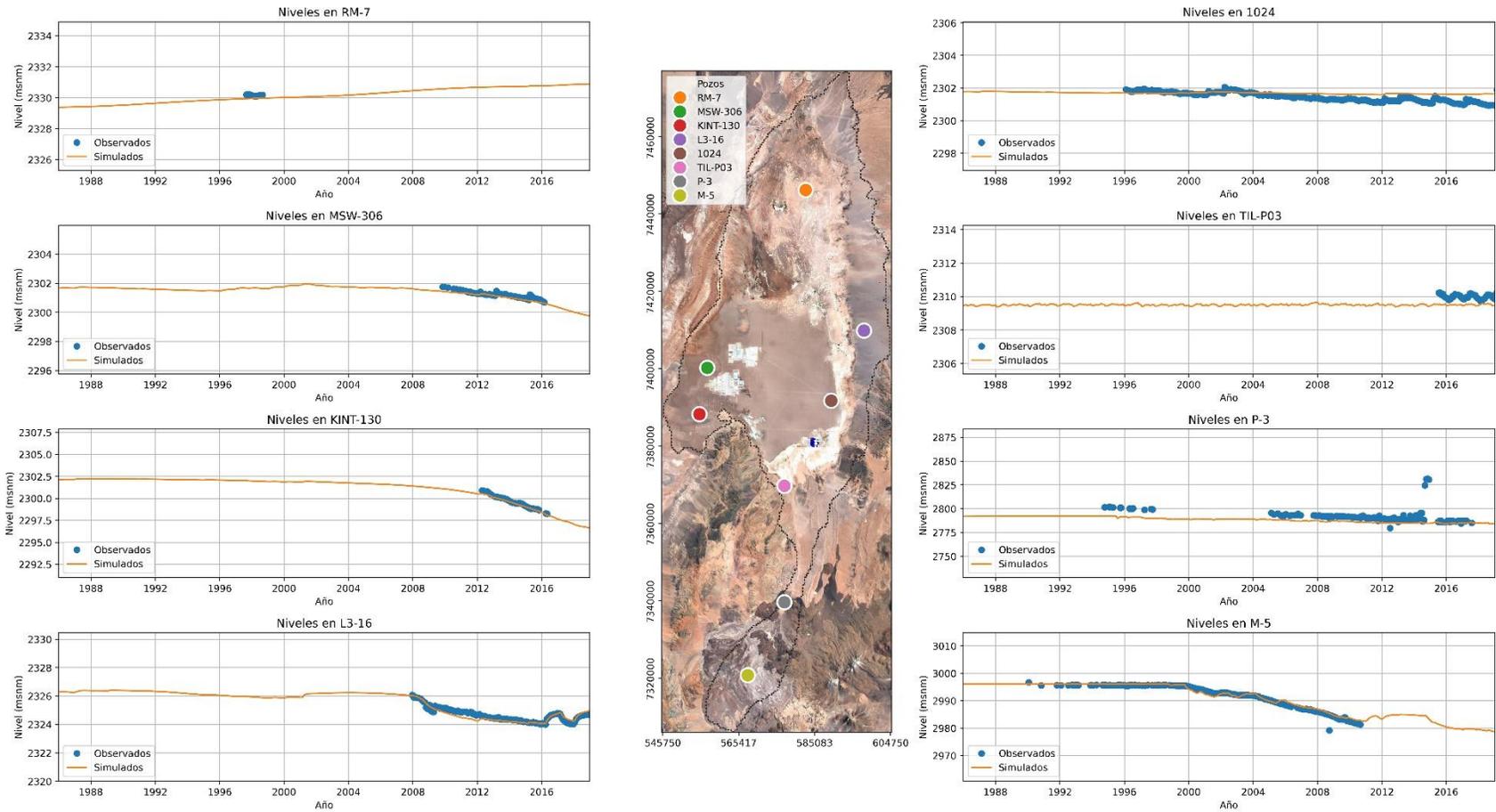
Respecto a los niveles del sistema subterráneo, en la cuenca del Salar de Atacama se dispuso de una gran cantidad de niveles observados, lo cual permitió una calibración y validación del modelo en base a 754 pozos y 82.545 observaciones, resultando en un error cuadrático medio de 5,1 m (0,6% normalizado) y error medio absoluto de 2,3 m (0,6% normalizado), cumpliendo con las sugerencias de la "Guía para el uso de modelos de agua subterráneas en el SEIA" (SEA, 2012). En la Figura 5-4 se muestra la espacialización de los residuales calculados a partir de los niveles observados y simulados y en la Figura 5-5 se presenta la evolución temporal de los niveles observados y simulados 8 puntos ubicados en distintos sectores de la cuenca. Si bien en la zona MNT, ubicada en el sector Sur de la cuenca, se encuentran los residuales de mayor magnitud, se logró representar de forma correcta las tendencias de los niveles observados. Adicionalmente, es relevante notar que en el sector Norte del sistema subterráneo hay poca información respecto a niveles medidos, lo cual es necesario para representar de mejor manera el comportamiento del sistema subterráneo en esa zona. Mayores detalles respecto a la representatividad de los niveles en los distintos SHACs de la cuenca se presentan en el Anexo H, acápite 6.4. Es importante considerar que la resolución del modelo considera celdas de entre 6 a 25 hectáreas, por lo que el ajuste de niveles no debería ser considerado representativo a escala local ni centimétrica.



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-4: Residuales calculados a partir de los niveles observados y simulado por el modelo integrado de la cuenca del Salar de Atacama en el período 1986 - 2018.

Nota: Proyección UTM, Datum WGS84, Huso 19S.

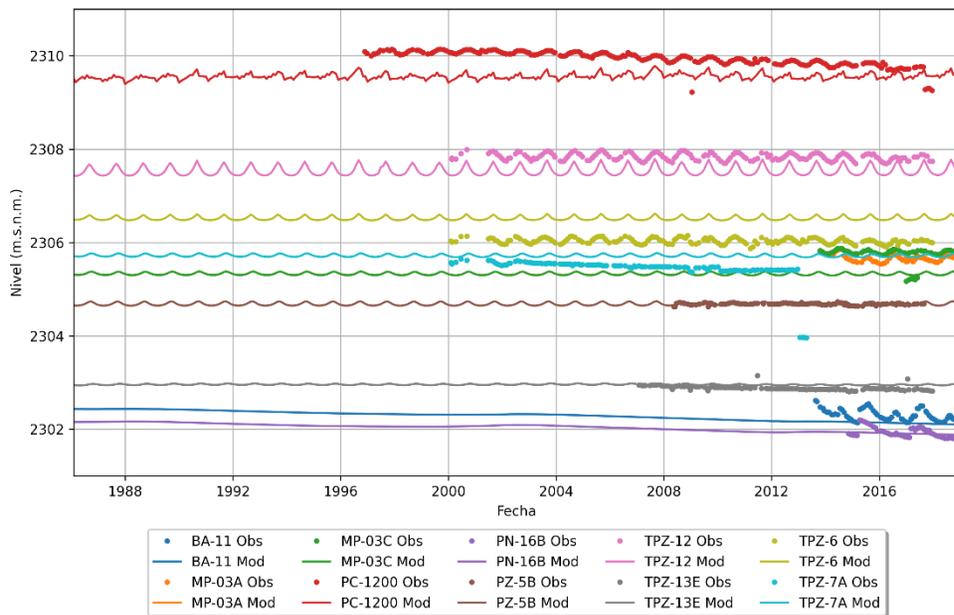


Fuente: Elaboración propia

Figura 5-5: Ejemplo de niveles observados y simulados con el modelo acoplado.

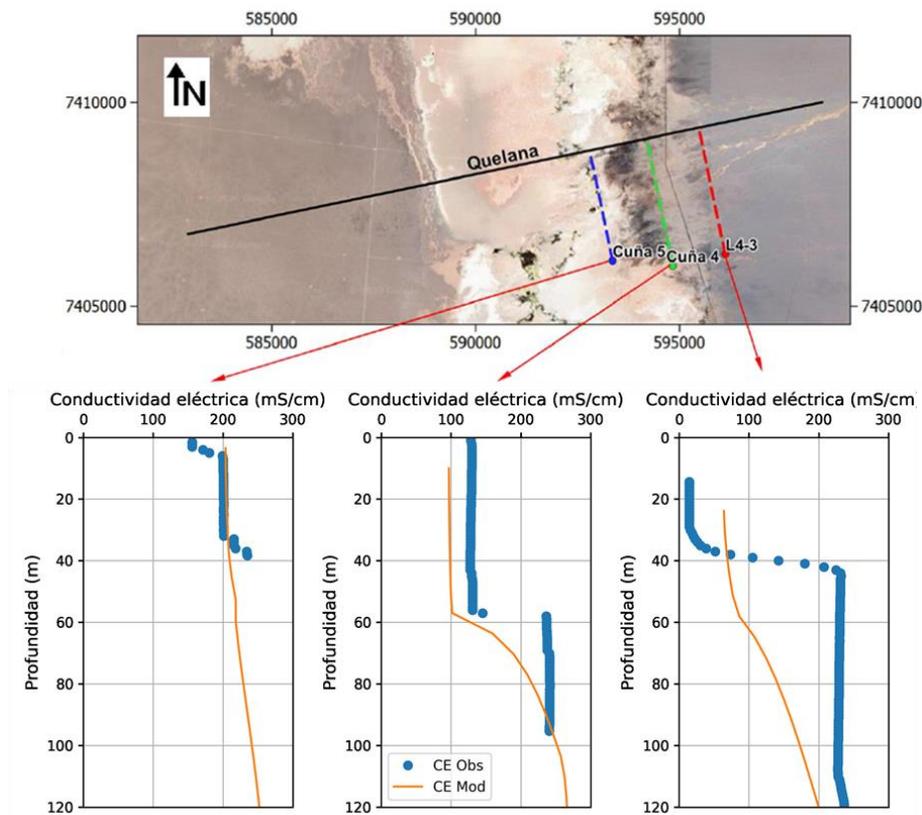
Nota: Proyección UTM, Datum WGS84, Huso 19S.

Respecto a la modelación de flujo con densidad variable, los puntos de monitoreo tanto de niveles como de perfiles de conductividad eléctrica utilizados se encuentran fuera de la extensión de los perfiles bidimensionales que componen el modelo, por lo que la comparación entre mediciones y resultados del modelo debe considerarse referencial. La comparación entre niveles observados y modelados resultó en un RMSE normalizado menor a 5,5% y una representación adecuada de las tendencias. Es importante notar que este modelo a escala local representa de mejor manera las fluctuaciones intraanuales que el modelo a escala regional, sin embargo, no logra capturar los cambios en niveles producto de los eventos de altas precipitaciones en el sector del núcleo. La comparación de perfiles verticales de conductividad eléctrica mostró que el modelo representa la ubicación y extensión de la zona de mezcla de forma razonable. A modo de ejemplo de los resultados obtenidos, en la Figura 5-6 se presenta la comparación de niveles simulados y medidos para el perfil La Punta La Brava y en la Figura 5-7 se presenta la comparación de perfiles verticales de conductividad eléctrica medida y perfiles calculados a partir de la concentración de solutos en el perfil Peine.



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-6: Niveles simulados y medidos en el perfil La Punta La Brava.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-7: Comparación de distribución vertical de conductividad eléctrica medida y simulada para el perfil Quelana.

Nota: Proyección UTM, Datum WGS84, Huso 19S.

Los resultados de la validación del modelo acoplado mostraron una correcta representación del modelo conceptual y de las observaciones tanto del sistema superficial como subterráneo, indicando que esta herramienta es adecuada para analizar la oferta y demanda de agua en la cuenca, sus tendencias a largo plazo bajo distintos escenarios y el proceso de transporte y flujo con densidad variable en la zona marginal. Sin embargo, al momento de realizar conclusiones a partir de los resultados del modelo deben considerarse las limitaciones de este (detalladas en el Capítulo 7 del Anexo H).

5.1.3 Escenarios de simulación

Para caracterizar la situación proyectada se desarrollaron diferentes escenarios en base a escenarios climáticos desarrollados a partir de los modelos de circulación general (GCM) disponible y las demandas de agua fresca y salmuera. Las situaciones hipotéticas acá planteadas no implican una decisión ni voluntad por parte del Estado y sus servicios relevantes, ni la materialización de ciertas acciones como, por ejemplo, el crecimiento de la superficie cultivada, el aumento en la actividad turística o el ingreso de nuevos actores mineros en la cuenca. Se incluyó información proveniente de los talleres participativos (ver acápite 2.6.2.4).

5.1.3.1 Selección de los Modelos de Circulación General Disponibles

En el acápite 2.2.3 se analizaron los diferentes modelos de circulación general (GCM), de lo que se concluye que, a nivel general, para la región de Antofagasta y a nivel particular en la cuenca del Salar de Atacama, se proyecta una heterogeneidad en los resultados de los modelos considerados respecto de los cambios hacia mediados de siglo (2035-2065) respecto del periodo histórico (1985-2010) para la precipitación total anual. Por esta razón, y para mostrar la alta incertidumbre en términos de precipitaciones se seleccionaron tres modelos en el diseño de escenarios: CanESM2 (escenario húmedo); CSIRO-MK3-6-0 (escenario seco); MIROC-ESM (escenario intermedio). A modo de referencia, en las Tabla 5-4, Tabla 5-5 y Tabla 5-6 se presenta la variación porcentual de las precipitaciones a escala de SHAC proyectadas en el período 2020 – 2040 y 2040 – 2060, respecto al período 1986 – 2018, para los tres escenarios climáticos, períodos en los que se analizaron los resultados del modelo de simulación. La Tabla 5-4 presenta las variaciones para los SHACs A1, A2, B1, C1, C2 y N1, la Tabla 5-5 los SHACs, A, B, C y N y Tabla 5-6 presenta la variación agregada de la totalidad de la cuenca. Es importante considerar que el 95% de las precipitaciones ocurren en los SHACs A1, A2, B1, C1, C2 y N1.

Tabla 5-4: Variación porcentual de las precipitaciones en los escenarios climáticos para los períodos 2020 – 2040 y 2040 – 2060, respecto al período 1986 – 2018 en los SHACs A1, A2, B1, C1, C2 y N1.

SHAC	2020 - 2040			2040 - 2060		
	Húmedo (%)	Intermedio (%)	Seco (%)	Húmedo (%)	Intermedio (%)	Seco (%)
A1	-2	5	-22	29	15	-14
A2	-2	5	-21	31	16	-12
B1	4	7	-15	34	19	-11
C1	12	8	-9	38	24	-4
C2	9	8	-11	36	21	-8
N1	3	-1	-21	32	22	1
TOTAL	2	5	-18	32	18	-9

Nota: La zonificación corresponde a la división administrativa mostrada en la Figura 2-9.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 5-5: Variación porcentual de las precipitaciones en los escenarios climáticos para los períodos 2020 – 2040 y 2040 – 2060, respecto al período 1986 – 2018 en los SHACs A, B, C y N.

SHAC	2020 - 2040			2040 - 2060		
	Húmedo (%)	Intermedio (%)	Seco (%)	Húmedo (%)	Intermedio (%)	Seco (%)
A	-2	-12	-24	29	22	4
B	7	3	-14	42	30	6
C	3	8	-27	46	30	18
N	7	2	-13	41	30	5
TOTAL	4	-2	-18	37	27	6

Nota: La zonificación corresponde a la división administrativa mostrada en la Figura 2-9.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 5-6: Variación porcentual de las precipitaciones en los escenarios climáticos para los períodos 2020 – 2040 y 2040 – 2060, respecto al período 1986 – 2018 a escala de cuenca.

	2020 - 2040			2040 - 2060		
	Húmedo (%)	Intermedio (%)	Seco (%)	Húmedo (%)	Intermedio (%)	Seco (%)
Total Cuenca	2	5	-18	33	19	-9

Fuente: Elaboración Propia

A escala de cuenca, el escenario húmedo presenta un aumento de un 2% en el período 2020 – 2040 y luego un aumento de 33% en el período 2040 – 2060, respecto al período 1986 – 2018. El escenario intermedio también presenta un aumento en las precipitaciones de un 5% en el primer período y 19% en el segundo período. Por otro lado, el escenario seco presenta una disminución en las precipitaciones, siendo esta disminución mayor en el período 2020 – 2040 con un 18% y un 9% en el período 2040 - 2060. A escala de SHACs se observa una heterogeneidad en la variación de las precipitaciones en los distintos escenarios y períodos. Adicionalmente, se observa que los SHACs A, B, C y N no necesariamente presentan la misma tendencia que los SHACs A1, A2, B1, C1, C2 y N1, por ejemplo, en el período 2040 – 2060 del escenario seco, los SHACs A, B, C y N presentan un aumento en las precipitaciones, lo cual no ocurre en los otros SHACs. Sin embargo, esto no afecta la tendencia general de la cuenca. Esta heterogeneidad espacial y variabilidad temporal de los cambios en precipitaciones debe tenerse en cuenta al momento de analizar los resultados del modelo.

5.1.3.2 Escenarios de consumo de agua potable

El consumo de agua potable se asoció tanto a la población residente, como a la población flotante (producto de la actividad turística en la cuenca). En cuanto al primer componente (residentes), se proyectó el crecimiento poblacional a nivel comunal siguiendo las tasas de crecimiento propuestas por el INE (2017) hasta el 2035, tras lo cual se continúa con un decrecimiento lineal.

Dada la incertidumbre existente en posibles proyecciones de las tasas históricas de crecimiento del turismo, se decidió simular dos escenarios los cuales evidencian dos futuros plausibles en la cuenca:

- (1) Moderado Crecimiento (se mantienen las necesidades), y
- (2) Alto Crecimiento (aumento de necesidades).

En ambos casos, la tasa histórica obtenida de crecimiento del turismo decrece de forma constante, el cual solo se diferencia en su magnitud. En el primer escenario se consideró una estabilización de la cantidad de turistas dentro del período de simulación, representando una capacidad de carga en la zona. Mientras que el segundo, buscó representar un fuerte crecimiento del sector a futuro (ver mayores detalles en Anexo F, acápite 3.1.2).

5.1.3.3 Escenarios de consumo de agua para riego

Se desarrollaron dos situaciones en lo que respecta al consumo de agua para riego (ver mayores detalles en Anexo F, acápite 3.2.2):

- a) La situación se mantiene como en la situación base, es decir, el tipo de cultivo, la superficie destinada a producción y el sistema de riego utilizado se mantienen (se mantienen las necesidades). El motivo de esta decisión radica en los antecedentes en relación a la proyección futura de la demanda de agua por la actividad agrícola (CNR-AMPHOS, 2017; CNR-ARRAU, 2014; CNR, 2003; CORFO-PUC, 2021), la cual debido a la limitada oferta de agua para riego, la mala calidad de agua para el rubro agrícola, envejecimiento de la población perteneciente al rubro agrícola y la falta de interés de la población joven es que se proyectó un estancamiento en cuanto al crecimiento en superficie tecnificada.
- b) La situación agrícola cambia y ocurre un aumento en la superficie cultivada (aumento de necesidades). La razón por considerar esta situación se debe a la solicitud por parte de los actores, donde manifestaron el interés de aumentar la superficie cultivada. Para el cálculo de cuánto podría crecer la superficie agrícola se consideró el estudio de CNR (2021) para las superficies regadas por el río San Pedro y río Vilama. Para el caso del río San Pedro, el porcentaje de crecimiento para llegar a la superficie potencial regada correspondió a un 2%, mientras que para el río Vilama este valor es más holgado, definido en base a un crecimiento de un 30%. Dado que no se contó con este dato para el resto de los poblados dentro de la cuenca, se considerará un porcentaje de crecimiento de un 15%, considerando un valor intermedio entre ambos porcentajes previos.

5.1.3.4 Combinación de escenarios

Teniendo en consideración los diferentes escenarios climáticos y los diferentes niveles de necesidades (se mantienen las necesidades y aumento de necesidades), se desarrollaron seis escenarios que corresponden a los tres escenarios climáticos cruzados con dos escenarios extremos en términos de las necesidades de recursos hídricos y salmuera en la cuenca. En la Tabla 5-7 se detallan los diferentes escenarios que surgen a partir de lo explicado anteriormente.

Tabla 5-7: Cruce de escenarios y narrativas que los describen.

ID	Narrativas	Escenarios climáticos	Escenarios desarrollo local	Escenarios minería
Seco Baja	Disminuye disponibilidad y se mantienen necesidades	Seco	Población tendencial + Turismo moderado + riego actual	RCA aprobadas actual + Plan para la Sustentabilidad de SQM
Seco Alta	Disminuye disponibilidad y aumentan necesidades	Seco	Población tendencial + Turismo ampliado + riego ampliado	Lo anterior + extensión actores actuales y/o futuros operadores
Intermedio Baja	Se mantiene disponibilidad y necesidades	Intermedio	Población tendencial + Turismo moderado + riego actual	RCA aprobadas actual + Plan para la Sustentabilidad de SQM
Intermedio Alta	Se mantiene disponibilidad y aumentan necesidades	Intermedio	Población tendencial + Turismo ampliado + riego ampliado	Lo anterior + extensión actores actuales y/o futuros operadores
Húmedo Baja	Aumento en disponibilidad y se mantienen necesidades	Húmedo	Población tendencial + Turismo moderado + riego actual	RCA aprobadas actual + Plan para la Sustentabilidad de SQM
Húmedo Alta	Aumento en disponibilidad y en necesidades	Húmedo	Población tendencial + Turismo ampliado + riego ampliado	Lo anterior + extensión actores actuales y/o futuros operadores

Fuente: Elaboración Propia

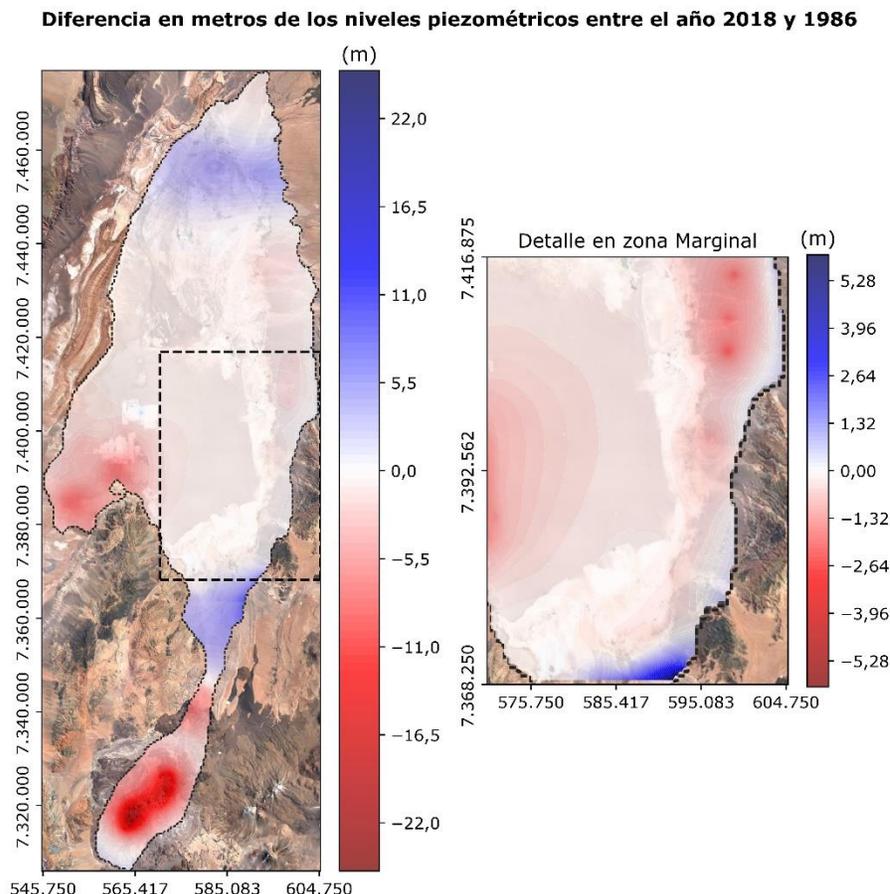
5.2 RESULTADOS DE LOS ESCENARIOS DE SIMULACIÓN

A partir del modelo acoplado presentado en el acápite 5.1.1 de este informe, a continuación, se presenta la situación actual y proyectada de la cuenca del Salar de Atacama. La situación actual consideró el período 1986 – 2018 y la situación proyectada los períodos 2020 – 2040 y 2040 – 2060 bajo los escenarios de simulación descritos en el acápite 5.1.3 de este informe. El detalle de los resultados obtenidos a partir del modelo acoplado se encuentra en el Apéndice H-1. Tanto la brecha hídrica como las brechas asociadas a la información para la construcción y actualización del modelo, junto a las simplificaciones para representar el sistema hídrico de la cuenca del Salar de Atacama, se presentan en el acápite 5.3.

5.2.1 Situación actual

En este acápite se presenta la situación actual de la cuenca del Salar de Atacama, abordando el período 1986 – 2018, en términos de la variación histórica de los niveles del sistema subterráneo, balance de las entradas y salidas naturales de agua a la cuenca y al balance hídrico del sistema subterráneo de la cuenca.

Respecto a los niveles del sistema subterráneo, en la Figura 5–8 se presenta la variación histórica, simulada a partir del modelo integrado en el período 1986 – 2018. Esta figura muestra los principales descensos en las zonas de extracción de agua y salmuera, incluyendo los sectores de operación de Compañía Minera Zaldívar y Minera Escondida Limitada en el sector Sur de la cuenca, donde se alcanzan descensos de hasta 24 y 8 m, respectivamente, los sectores de extracción de agua por parte de SQM en el borde este, donde se alcanzan descensos de hasta 3 m y los sectores de extracción de salmuera por parte de Albemarle y SQM en el núcleo de la cuenca del Salar de Atacama, donde se alcanzan descensos de hasta 8 m. En la zona marginal los resultados del modelo no presentan grandes variaciones, lo cual es consistente con el hecho de que en esta zona no se han registrado cambios del orden de metros, escala de cambios que el modelo es capaz de representar. Adicionalmente, en el sector Norte y sector Sur, entre la zona marginal y sector Monturaqui, se observa un aumento en los niveles, sin embargo, como muestra la Figura 5–4, en estos sectores es donde hay menos puntos de medición, los cuales son necesarios para asegurar una correcta representación del sistema, por lo que los resultados asociados a estas zonas deben considerarse referenciales y ser contrastados o validados en una futura actualización del modelo.



Fuente: Elaboración propia

Figura 5–8: Variación en la piezometría calculada entre los años 2018 y 1986.

Nota: Proyección UTM, Datum WGS84, Huso 19S.

Respecto al balance de entradas y salidas naturales de agua a la cuenca, en la Tabla 5–8 y Tabla 5–9 se presenta un resumen de las entradas por precipitación, salidas por evapotranspiración en superficie y salidas por evaporación desde la napa del sistema subterráneo de cada uno de los SHAC, calculados a partir del modelo acoplado y los presentados en el Informe Técnico SDT 339 (DGA, 2013), respectivamente. Se presenta también el caudal pasante desde las subcuencas altas (SHACs A1, A2, B1, C1, C2 y N1) a las subcuencas bajas (SHACs A, B, C y N), ubicadas aguas debajo de las subcuencas altas. Se consideró que los SHACs A1 y A2 aportan al SHAC A, el SHAC B1 aporta al SHAC B, los SHACs C1 y C2 aportan al SHAC C y el SHAC N1 aporta al SHAC N (ver acápite 2.1.5.3). Los resultados del modelo fueron consistentes con lo presentado en el Informe Técnico, por lo que el modelo acoplado muestra ser una herramienta complementaria que permite incorporar el proceso de evaporación desde la napa al análisis y así complementar la estrategia para estimar la oferta hídrica desarrollada por la DGA en el Informe Técnico SDT 339 (DGA, 2013). En particular, se observa que cerca del 95% de las entradas por precipitación y 78% de las salidas por evapotranspiración y evaporación ocurren en los SHACs A1, A2, B1, C1, C2 y N1. Adicionalmente, cerca del 64% de las salidas naturales en los SHACs A, B, C y N corresponden a evaporación desde la napa, concentradas principalmente en el SHAC N (núcleo del Salar).

Tabla 5-8: Entradas por precipitación, salidas por evapotranspiración desde la superficie y evaporación desde la napa y caudales remanentes, calculadas a partir del modelo acoplado 1986 – 2018.

Subcuenca	Precipitación (l/s)	Evapotranspiración (l/s)	Caudal pasante (l/s)	Zona aguas abajo ¹	Caudal entrante (l/s)	Precipitación (l/s)	Evapotranspiración (l/s)	Evaporación napa (l/s)	Diferencia (l/s)
A1	7.752	5.392	2.360	A	3.561	485	852	770	2.424
A2	5.105	3.904	1.201						
B1	5.009	3.688	1.322	B	1.322	95	363	408	645
C1	2.183	1.921	262	C	1.545	81	201	420	1.005
C2	4.320	3.037	1.283						
N1	3.423	2.739	684	N	684	720	587	1.942	-1.125
Total	27.792	20.681	7.112	Total	7.112	1.381	2.002	3.541	2.949

¹: Zonas donde desembocan las subcuencas correspondientes. (A: A1 y A2, B: B1, C: C1 y C2, N: N1)

Nota: La zonificación corresponde a la división administrativa mostrada en la Figura 2-9.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-9: Oferta Hídrica de la cuenca del Salar de Atacama, a partir de Informe Técnico SDT 339 (DGA, 2013).

Subcuenca	Precipitación (l/s)	Evapotranspiración (l/s)	Demanda Ecológica (l/s) ²	Zona aguas abajo ¹	Caudal entrante (l/s)	Precipitación (l/s)	Demanda Ecológica (l/s)	Evaporación napa (l/s)	Diferencia (l/s)
A1	6.797	5.106	1.079	A	1.873	-	880	-	993
A2	5.335	4.008	65						
B1	5.519	4.126	148	B	1.244	-	350	-	894
C1	4.918	4.154	40	C	1.128	-	380	-	748
C2	5.603	5.200	0						
N1	3.196	3.101	0	N	95	-	0	-	95
Total	31.367	25.695	1.332	Total	4.340	-	1.610	-	2.730

¹: Zonas donde desembocan las subcuencas correspondientes. (A: A1 y A2, B: B1, C: C1 y C2, N: N1)

²: Considera además el término de escorrentía superficial del cuadro 6-8 del SDT 339 (2013)

Nota: La zonificación corresponde a la división administrativa mostrada en la Figura 2-9.

Fuente: Elaboración propia a partir del Informe Técnico SDT 339 (DGA, 2013)

Respecto al balance hídrico del sistema subterráneo, en la Tabla 5-10 se presenta el promedio de las entradas y salidas al sistema subterráneo para la totalidad del sistema subterráneo junto a una desagregación a escala de SHAC en el período 1986 - 2018, calculadas a partir del modelo acoplado. Notar que, como se menciona en el Anexo F, capítulo 5.3.4, los SHAC no coinciden completamente con el área que abarca el modelo numérico hidrogeológico, por lo que se consideró la intersección entre los SHACs y la extensión del modelo numérico hidrogeológico. Adicionalmente, en la Figura 5-9 se presenta la evolución temporal de las componentes del balance hídrico del sistema subterráneo y el volumen almacenado en este. El volumen almacenado se presenta normalizado respecto al valor inicial calculado al año 1986 mediante el modelo acoplado. El error de balance del sistema subterráneo del modelo acoplado resultó en un 0,0%, cumpliendo con la sugerencia de la "Guía para el uso de modelos de agua subterráneas en el SEIA" (SEA, 2012).

Tabla 5-10: Balance hídrico del sistema subterráneo completo y desagregado a escala de SHAC en el período 1986 - 2018, calculado a partir del modelo acoplado.

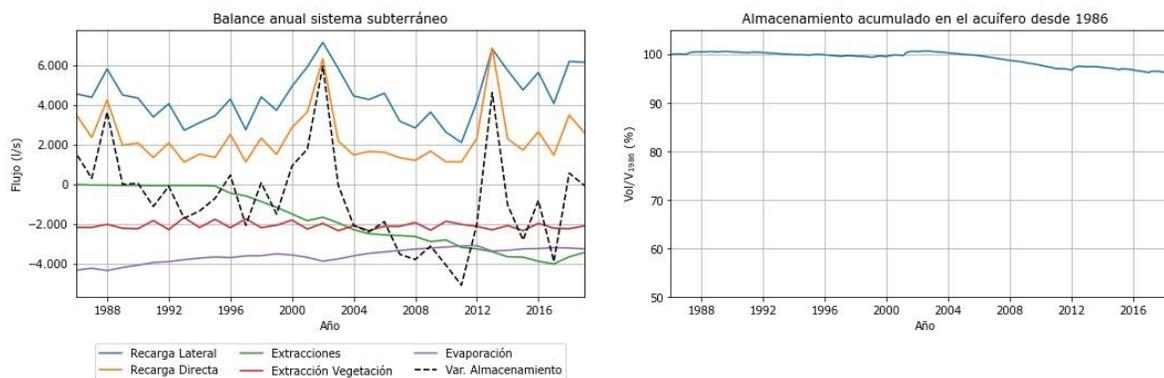
Entradas (l/s)	Completo	N	N1	A	A1	A2	B	B1	C	C1	C2
Recarga Lateral	4.244	37	30	0	885	989	0	876	0	484	942
Recarga Directa	2.224	320	6	764	466	396	15	132	4	20	101
Flujo Inter acuífero	-	2.166	290	3.274	491	1.097	1.135	271	1.255	657	402
Total Entradas	6.468	2.523	326	4.038	1.842	2.482	1.149	1.278	1.259	1.161	1.445
Salidas (l/s)											
Extracciones	1.658	715	5	0	23	0	0	93	3	0	819
Extracción Vegetación	2.086	3	0	903	0	486	199	14	120	287	74
Evaporación	3.543	1.942	2	770	0	0	408	0	420	0	1
Flujo Inter acuífero	-	391	335	2.123	1.767	1.960	554	1.219	720	837	1.130
Total Salidas	7.288	3.052	342	3.797	1.790	2.445	1.161	1.325	1.263	1.124	2.024
Variación en el Almacenamiento (l/s)	-820	-529	-16	242	52	37	-12	-47	-5	37	-579

Nota 1: La zonificación corresponde a la división administrativa mostrada en la Figura 2-9.

Nota 2: La extensión del sistema subterráneo del modelo no abarca la totalidad de los SHAC A1, A2, B1, C1, C2 y N1, por lo que se considera exclusivamente la intersección entre la delimitación de los SHACs con la delimitación del modelo subterráneo.

Nota 3: Extracción vegetación corresponde a la extracción de agua desde la napa por parte de la vegetación para suplir su demanda evapotranspirativa (ver acápite 5.2.1 del Anexo H).

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-9: Entradas y salidas anuales al sistema subterráneo simuladas en el período 1986 – 2018, junto al volumen almacenado en el sistema subterráneo en términos del porcentaje respecto al año 1986.

Nota: Extracción vegetación corresponde a la extracción de agua desde la napa por parte de la vegetación para suplir su demanda evapotranspirativa (ver acápite 5.2.1 del Anexo H).

El balance del sistema subterráneo muestra que hay un vaciamiento del sistema subterráneo a una tasa de aproximadamente 500 l/s en los SHACs N y C2 y una acumulación de alrededor de 200 l/s en el SHAC A. A partir de la evolución temporal de los componentes del balance hídrico del sistema subterráneo se observa una relación directa entre los aumentos en la variación en el almacenamiento y los aumentos en las recargas al sistema subterráneo. Adicionalmente, se observa que el vaciamiento del sistema subterráneo aumenta su magnitud conforme aumentan las extracciones desde el sistema subterráneo a partir del año 1995, acompañado de una disminución en la evaporación desde la napa. Sin embargo, el efecto del aumento en las extracciones sobre el vaciamiento del sistema subterráneo no es compensado por la disminución en la evaporación desde la napa. Por otro lado, no se observan cambios significativos en la extracción desde el sistema subterráneo por parte de la vegetación.

5.2.2 Situación proyectada

En este acápite se presenta una síntesis de los resultados de los escenarios de simulación en términos de variaciones en las variables de interés para un primer período futuro que abarca la ventana 2020 – 2040 y un segundo período futuro que abarca la ventana 2040 – 2060, respecto del período histórico de simulación que abarca la ventana 1986 – 2018. Los tipos de resultados se definen en el Anexo F, acápite 5.3, y consideran la disponibilidad del recurso hídrico tanto a nivel superficial como subterráneo, satisfacción de necesidades de agua para el consumo humano, satisfacción de derechos, satisfacción de la demanda de evapotranspiración de los cultivos, satisfacción de la demanda hídrica de ecosistemas de interés y cambios en salinidad del sistema subterráneo. El detalle de las series temporales de los resultados se presenta en el Capítulo 2 del Apéndice H-1 del Anexo H.

Cada una de las variables de interés se presenta en una tabla resumen para el período 2020 – 2040 y una para el período 2040 – 2060, donde las filas se asociaron a los puntos o sectores analizados y las columnas a los escenarios. Los escenarios se ordenaron agrupando los escenarios climáticos y, luego, los escenarios de demanda, resultando en la siguiente estructura: Húmedo Baja, Húmedo Alta, Intermedio Baja, Intermedio Alta, Seco

Baja y Seco Alta. Adicionalmente, se incorporó un formato de colores cuya intensidad y color es relativa a la variación en el escenario respecto a los valores obtenidos en el período histórico. De esta forma, si los escenarios Baja y Alta presentan colores de similar intensidad y entre escenarios climáticos los colores son de distinta intensidad, se podría inferir que las variaciones estarían asociadas principalmente a los escenarios climáticos más que a los de demanda.

5.2.2.1 Caudales superficiales previo a principales extracciones

Respecto a los caudales superficiales, en la Figura 5–10 se presentan los caudales promedio en tramos de río previo a las principales extracciones, presentados en el acápite 5.3.2.1 del Anexo F, en el período histórico y la variación porcentual en los escenarios futuros respecto al período histórico. Los resultados muestran que la variación en los caudales está asociada principalmente a los escenarios climáticos. En general y a excepción de los caudales en la quebrada de Peine, en el escenario húmedo hay una disminución de hasta un 5% en los caudales en el período 2020 - 2040, sin embargo, en el período 2040 - 2060 se observa un aumento de aproximadamente un 30%. En el escenario intermedio se observa un aumento en los caudales de aproximadamente un 10% en el período 2020 - 2040 y de aproximadamente un 12% en el período 2040 - 2060. En el escenario seco se observa una disminución en los caudales de aproximadamente un 22% en el período 2020 - 2040, y de aproximadamente un 18% en el período 2040 - 2060.

En el caso de los caudales superficiales en la quebrada de Peine se observa un aumento mayor que los simulados en los otros sectores de la cuenca. A partir de los resultados del modelo acoplado, en el período 2010 - 2018 las precipitaciones y la evapotranspiración en las cuencas aportantes a la quebrada de Peine aumentan en un 200% respecto al período 1990 - 2009, resultando en un aumento en el escurrimiento superficial, el flujo hacia el suelo, los afloramientos al cauce superficial (los cuales componen alrededor de un 20% del caudal en la quebrada) y, en consecuencia, en el caudal en la quebrada. En la Figura 5–11 se muestra el caudal y afloramiento medio anual simulados en la quebrada de Peine en el período histórico y en los escenarios de simulación.

En el caso del escenario seco, a comienzos del período 2020 - 2040 se observa un evento de altas precipitaciones que resulta en un aumento en los afloramientos y en el caudal superficial en la quebrada de Peine. Posterior a este evento las precipitaciones y el caudal superficial disminuyen, sin embargo, los afloramientos se mantienen en valores superiores a los del período 1986 - 2009. Luego, en el período 2040 - 2060, las precipitaciones medias toman valores similares a las del período histórico, resultando en un caudal promedio similar al del período histórico. Este evento de altas precipitaciones al comienzo del período 2020 - 2040 y aumento en los afloramientos explican las variaciones en el caudal de la quebrada de Peine en el escenario seco. En los escenarios húmedo e intermedio, el aumento en precipitaciones resulta en un aumento en los afloramientos que se mantiene por sobre los valores del período histórico, generando un aumento en el caudal de la quebrada. Estos resultados muestran la relevancia de levantar información de caudales en distintos puntos de la cuenca para contrastar los resultados del modelo con observaciones y de esta manera representar de mejor manera los flujos en la cuenca. En el caso de la quebrada de Peine no se dispuso de información para validar los procesos que la diferencian de los otros cauces superficiales presentados, por lo que estos resultados deben considerarse referenciales.

Variación del caudal anual en el período **2020 – 2040** respecto al período 1986 - 2018

	Promedio 1986 - 2018 (l/s)	Húmedo Baja (%)	Húmedo Alta (%)	Intermedio Baja (%)	Intermedio Alta (%)	Seco Baja (%)	Seco Alta (%)
Río San Pedro	1.308,0	-2,8	-3,1	9,9	9,6	-21,3	-21,5
Río Vilama	303,4	-3,0	-3,3	11,0	10,7	-23,2	-23,2
Río Grande	8,7	-1,1	-1,1	7,7	7,7	-17,1	-17,1
Quebrada Honar	146,6	-2,7	-2,7	10,9	10,9	-23,9	-23,9
Quebrada de Camar	16,1	-2,8	-2,8	10,6	10,6	-23,2	-23,2
Quebrada Nacimiento	287,3	-0,9	-0,9	11,9	11,9	-18,7	-18,7
Quebrada de Peine	8,5	24,5	24,5	20,1	20,1	17,0	17,0
Quebrada de Sancor	48,1	-4,3	-4,3	8,7	8,7	-24,7	-24,7

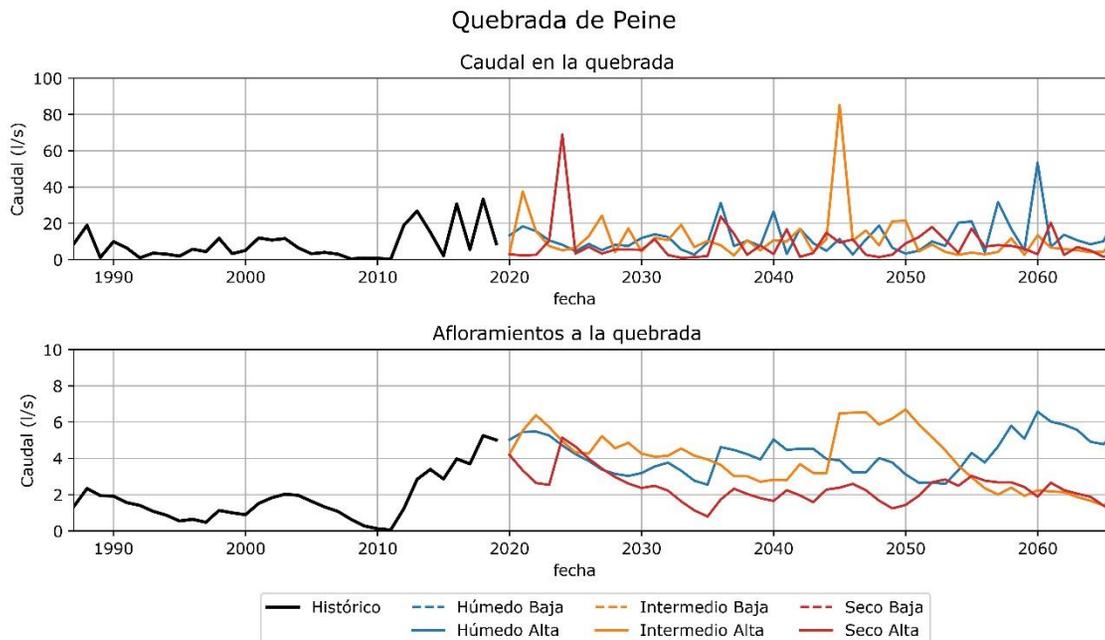
Variación del caudal anual en el período **2040 – 2060** respecto al período 1986 - 2018

	Promedio 1986 - 2018 (l/s)	Húmedo Baja (%)	Húmedo Alta (%)	Intermedio Baja (%)	Intermedio Alta (%)	Seco Baja (%)	Seco Alta (%)
Río San Pedro	1.308,0	30,3	29,6	13,0	12,4	-19,7	-20,1
Río Vilama	303,4	30,0	29,3	12,4	12,0	-20,8	-21,0
Río Grande	8,7	28,8	28,8	13,6	13,6	-13,3	-13,3
Quebrada Honar	146,6	29,0	29,0	11,8	11,8	-20,0	-20,0
Quebrada de Camar	16,1	29,6	29,6	11,3	11,3	-17,4	-17,4
Quebrada Nacimiento	287,3	31,3	31,3	15,8	15,8	-17,5	-17,5
Quebrada de Peine	8,5	57,6	57,6	53,1	53,1	0,5	0,5
Quebrada de Sancor	48,1	27,3	27,3	9,8	9,8	-18,2	-18,2

Fuente: Elaboración Propia

Figura 5–10: Variación porcentual de los caudales superficiales simulados en los períodos 2020 – 2040 y 2040 – 2060, respecto al período 1986 – 2018.

Nota: En colores se indica la variación porcentual de los caudales futuros simulados. Tonos rojos indican una disminución y tonos azules un aumento en el caudal.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 5–11: Caudal y afloramientos simulados en la quebrada de Peine en el escenario histórico y en los escenarios futuros.

Nota: Los escenarios de alta y baja demanda no se logran diferenciar porque presentan los mismos valores (las variaciones en el caudal están asociadas principalmente a los escenarios climáticos).

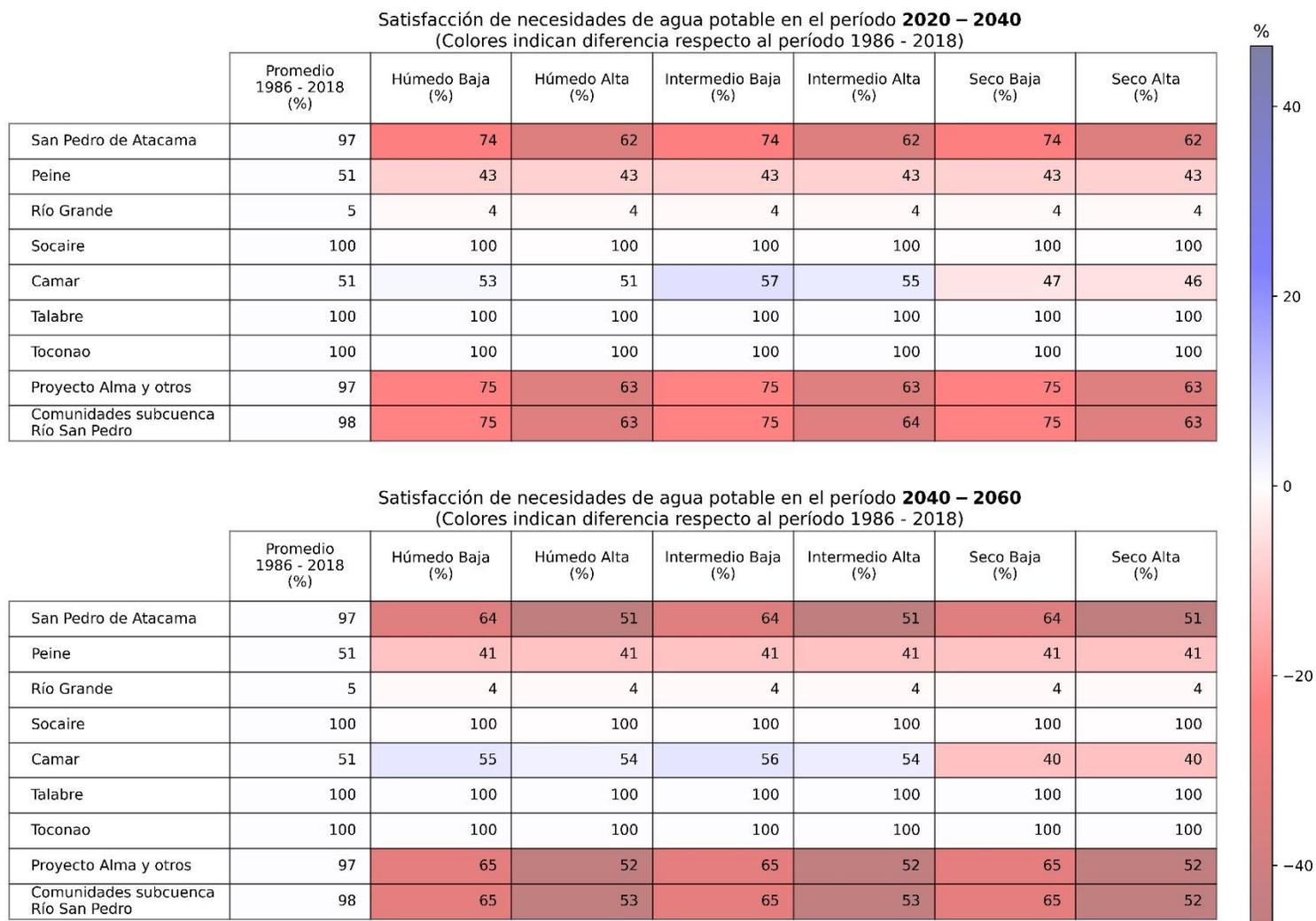
5.2.2.2 Satisfacción de necesidades de agua potable

Respecto a la satisfacción de necesidades de agua potable, en la Figura 5–12 se presenta la satisfacción promedio en el período histórico y en los escenarios futuros en los poblados definidos en el Anexo F, acápite 5.3.3.1. En el modelo acoplado, los poblados de San Pedro, Río Grande, Proyecto Alma y otras comunidades de la subcuenca del río San Pedro son abastecidos exclusivamente mediante camiones aljibe, que distribuyen agua que CAPRA extrae desde el sector Norte del acuífero de la cuenca del Salar de Atacama. En el año 2021 CAPRA manifestó que presentaba dificultades para satisfacer las necesidades de agua potable. Estas dificultades no estaban asociadas a la profundidad de la napa, sino que a la capacidad de extracción de los pozos. Como consecuencia de esta limitación en la capacidad de extracción y al aumento de residentes y turistas proyectado en los escenarios futuros (ver acápite 3.1), los poblados que dependen del suministro de CAPRA presentan una disminución en la satisfacción de necesidades en todos los escenarios, disminución que es mayor en los escenarios de alta demanda. En general, en el escenario de baja demanda la satisfacción disminuye en un 20 y 30% en los períodos 2020 – 2040 y 2040 – 2060, respectivamente. En el escenario de alta demanda, la disminución es de un 30 y 40% en los períodos 2020 – 2040 y 2040 – 2060, respectivamente. En el caso de Río Grande, la disminución es menor que en los poblados ya mencionados y de similar magnitud en todos los escenarios debido a la baja población de este poblado y a la baja cobertura en el período histórico.

En el caso de los poblados de Camar y Socaire, estos se abastecen mediante camiones aljibe y de extracciones desde la quebrada de Camar y de Nacimiento, respectivamente.

Esto resulta en que el poblado de Camar aumenta su capacidad de satisfacer sus necesidades en los escenarios húmedo e intermedio y disminuye en el escenario seco producto de las variaciones en los caudales superficiales. En particular para el caso de Camar, en todos los escenarios climáticos y de baja demanda se observa un aumento de hasta un 5% en la satisfacción de necesidades y una disminución máxima de un 10%. En los escenarios de alta demanda, comparado con los escenarios de baja demanda, se observa una disminución de un 1% aproximadamente producto del suministro desde CAPRA. En el caso de Socaire, se obtiene una total satisfacción de las necesidades debido a su capacidad de extraer agua desde la quebrada de Nacimiento, cuyos caudales simulados son mayores a lo requerido para consumo de agua potable, sin embargo, no hay información respecto a su consumo real, por lo que los resultados presentados son una estimación que requiere ser contrastada con información del sector.

En el caso de Peine, Talabre y Toconao, estos se abastecen únicamente desde cauces superficiales. A partir de la información disponible, Peine se abastece desde la laguna Miscanti, mediante una extracción de 2,3 l/s, sin embargo, esta no satisface la totalidad de la necesidad de agua potable, resultando en una disminución de la satisfacción en los distintos escenarios debido al aumento de población proyectada. En el caso de los poblados de Talabre y Toconao, estos se abastecen desde la quebrada de Sancor y Honar, respectivamente, cuyos cauces superficiales son mayores a la demanda de agua, resultando en una satisfacción total de las demandas en todos los escenarios de simulación.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 5–12: Satisfacción de necesidades de agua potable promedio en los períodos 1986 – 2018, 2020 – 2040 y 2040 – 2060.

Nota: En colores se indica la variación absoluta del porcentaje de satisfacción de necesidades de agua potable respecto al período 1986 - 2018. Tonos rojos indican una disminución y tonos azules un aumento en la satisfacción.

5.2.2.3 Cobertura del derecho en canales para las Asociaciones Atacameñas de Regantes y Agricultores

Respecto a la cobertura del derecho en canales para las Asociaciones Atacameñas de Regantes y Agricultores (AARA) y Comunidades Atacameñas (CA), en la Figura 5-13 se presenta la cobertura promedio en el período histórico y en los escenarios futuros en los canales presentados en el Anexo F, acápite 5.3.3.2. Los resultados muestran que la variación en la cobertura del derecho está asociada principalmente a los escenarios climáticos. Sin embargo, debido a que la extracción de agua desde ríos o quebradas mediante canales corresponde a una extracción mensual, cuyo valor máximo se limitó por el derecho, la variación en la cobertura no está directamente relacionada a la variación en el caudal promedio del cauce desde el cual se extrae, sino que también a la variabilidad temporal que este tenga. Un ejemplo de esto es lo que ocurre en la quebrada de Peine en el escenario seco, donde el caudal promedio, respecto al período 1986 – 2018, aumenta en un 17% en el período 2020 – 2040 y en menos de un 1% en el período 2040 – 2060 (Figura 5-11). Sin embargo, el aumento en el caudal en el primer período es producto de un evento de altas precipitaciones al comienzo del período, la cual compensa la disminución en el resto del período. Dado que el canal de la CA de Peine puede extraer un máximo de 20 l/s desde la quebrada, estos eventos de altas precipitaciones resultan en instantes con un 100% de cobertura, los cuales no necesariamente tienen el mismo efecto en la cobertura promedio como el efecto que tiene la crecida en el caudal promedio simulado. En el período 2040 – 2060, se observa un aumento en las precipitaciones promedio respecto del período 2020 – 2040, junto a una mantención de los afloramientos, resultando en un flujo base mayor que el del período histórico y en un aumento en la cobertura del derecho en el canal.

En general y respecto al período 1986 - 2018, los resultados del modelo acoplado muestran que, en el escenario húmedo la cobertura de la demanda aumenta en aproximadamente un 6% y 7% en el período 2020 – 2040 y 2040 – 2060, respectivamente. En el escenario intermedio se observa un aumento de aproximadamente un 7% y un 4% en el período 2020 – 2040 y 2040 – 2060, respectivamente. En el escenario seco se observa una disminución de aproximadamente un 11% y 4% en el período 2020 – 2040 y 2040 – 2060, respectivamente.

Cobertura del derecho en canales el período 2020 – 2040
(Colores indican diferencia respecto al período 1986 - 2018)

	Promedio 1986 - 2018 (%)	Húmedo Baja (%)	Húmedo Alta (%)	Intermedio Baja (%)	Intermedio Alta (%)	Seco Baja (%)	Seco Alta (%)
AARA de San Pedro de Atacama	90	95	95	98	98	72	72
AARA del Río Vilama	93	97	98	99	99	77	77
AARA de Celeste	100	100	100	100	100	100	100
AARA de Toconao	99	100	100	100	100	92	92
CA de Socaire	90	93	93	93	93	80	80
CA de Camar	49	52	52	58	58	37	37
CA de Talabre	54	56	56	58	58	43	43
CA de Peine	14	22	22	23	23	14	14

Cobertura del derecho en canales el período 2040 – 2060
(Colores indican diferencia respecto al período 1986 - 2018)

	Promedio 1986 - 2018 (%)	Húmedo Baja (%)	Húmedo Alta (%)	Intermedio Baja (%)	Intermedio Alta (%)	Seco Baja (%)	Seco Alta (%)
AARA de San Pedro de Atacama	90	98	98	92	92	84	83
AARA del Río Vilama	93	99	99	95	95	87	87
AARA de Celeste	100	100	100	100	100	100	100
AARA de Toconao	99	100	100	100	100	96	96
CA de Socaire	90	93	93	92	92	87	87
CA de Camar	49	62	62	53	53	42	42
CA de Talabre	54	58	58	55	55	49	49
CA de Peine	14	22	22	18	18	18	18

Fuente: Elaboración Propia

Figura 5–13: Cobertura del derecho en canales promedio en los períodos 1986 – 2018, 2020 – 2040 y 2040 – 2060.

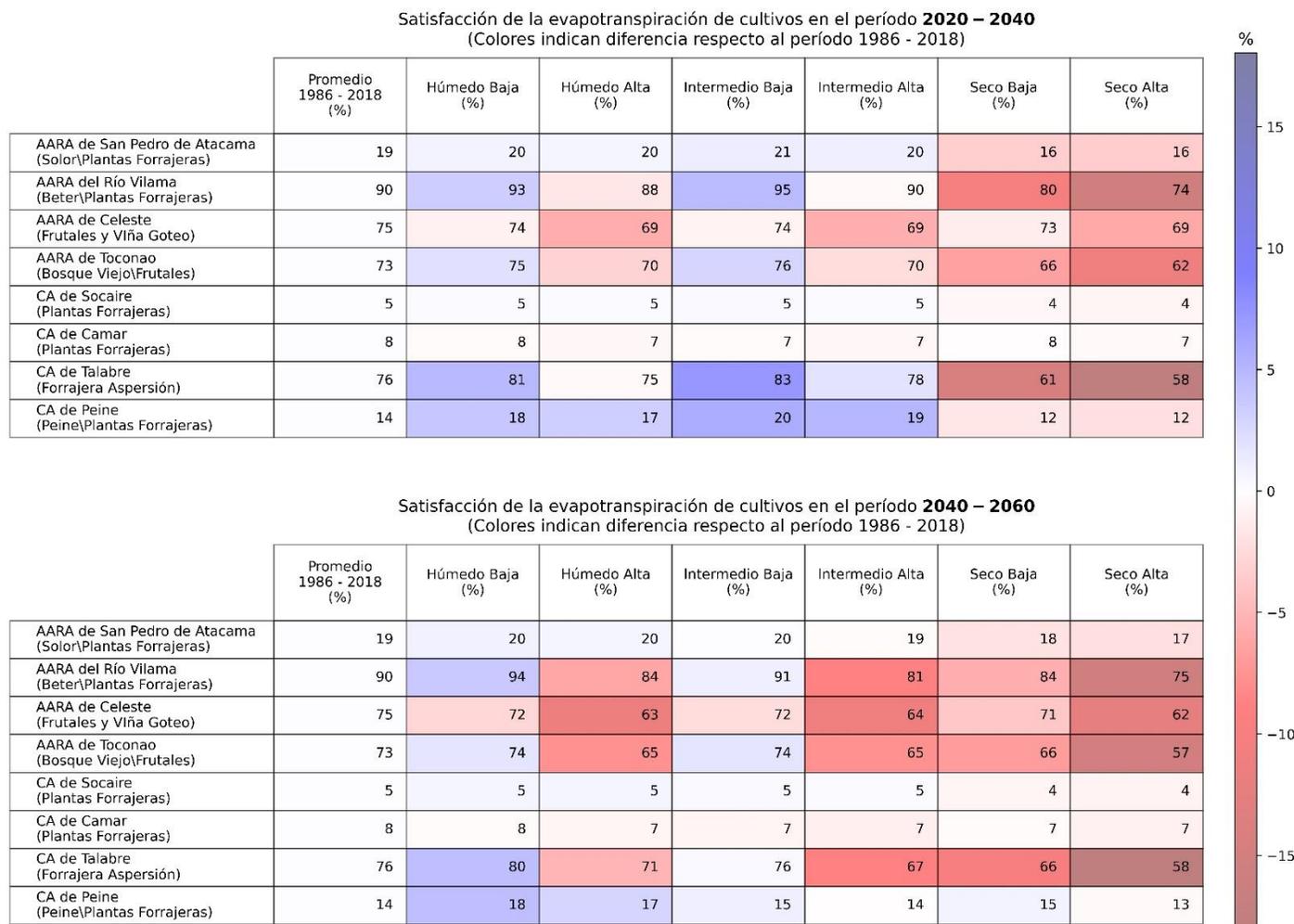
Nota: En colores se indica la variación absoluta del porcentaje de cobertura del derecho en el canal respecto al período 1986 - 2018. Tonos rojos indican una disminución y tonos azules un aumento en la cobertura.

5.2.2.4 Satisfacción de la evapotranspiración de cultivos para las Asociaciones Atacameñas de Regantes y Comunidades Atacameñas

Respecto a la satisfacción de la evapotranspiración de cultivos para las Asociaciones Atacameñas de Regantes (AARA) y Comunidades Atacameñas (CA), en la Figura 5-14 se presenta la satisfacción promedio en el período histórico y en los escenarios futuros para los sitios agrícolas presentados en el Anexo F, acápite 5.3.3.2. Los resultados muestran que la variación en la satisfacción de la evapotranspiración está asociada tanto a los escenarios climáticos como a los de demanda. La demanda de evapotranspiración de cultivos aumenta con la temperatura, la cual aumenta en todos los escenarios, y con la superficie de riego, la cual se considera que en el escenario de alta demanda aumenta en un 2%, 30% y 15% (ver acápite 3.3.5.1) para San Pedro, Vilama y el resto de las zonas de riego de la cuenca, respectivamente. Por otro lado, la demanda evapotranspirativa es satisfecha mediante las precipitaciones que ocurren directamente en las zonas de riego y las extracciones desde cauces superficiales mediante canales.

En la zona de riego del río San Pedro, debido al bajo aumento de la superficie de riego para el escenario de alta demanda, la variación en la satisfacción de la evapotranspiración está asociada principalmente a los escenarios climáticos. Sin embargo, tanto en el período 2020 - 2040 como en el período 2040 - 2060, la variación en la satisfacción respecto al período 1986 - 2018 es menor a un 1% en los escenarios húmedo e intermedio y en el escenario seco se observa una disminución menor a un 4%. En el caso de Vilama, Toconao y Talabre, en el período 2020 - 2040 se observa un aumento en la satisfacción de hasta un 7% en los escenarios húmedo e intermedio de baja demanda. En el período 2040 - 2060 se observan variaciones similares a las del período 2020 - 2040 en el escenario húmedo, pero en el escenario intermedio se observa una disminución respecto al período 2020 - 2040, sin embargo, la satisfacción se mantiene por sobre a la simulada en el período histórico. En el escenario seco de baja demanda se observa una disminución de entre un 7 y un 15% en el período 2020 - 2040, y una disminución adicional de un 5% en el período 2040 - 2060. En los escenarios de alta demanda, se observa una disminución de un 5% respecto los escenarios de baja demanda.

En el caso de Celeste, al no presentar cambios en la cobertura del derecho en canales, no hay un cambio en la disponibilidad de agua para riego proveniente de causas superficiales, por lo que los cambios en la satisfacción son únicamente efecto de las variaciones en precipitaciones, temperatura y superficie de riego. Esto resulta en una disminución de la satisfacción en hasta un 4% en los escenarios de baja demanda y en un 5 y 10% en el período 2020 - 2040 y 2040 - 2060, respectivamente, en los escenarios de alta demanda. En el caso de Socaire y Camar no se observan variaciones mayores a un 1% en ninguno de los escenarios. En el caso de Peine, los cambios en satisfacción están asociados principalmente a los cambios en la cobertura del derecho en el canal, con una baja variación asociada a los escenarios de demanda. Esto resulta en que la satisfacción aumenta en un 5 y 3% en el período 2020 - 2040 y 2040 - 2060 del escenario húmedo, en un 5 y un 7% en el período 2020 - 2040 y 2040 - 2060 del escenario intermedio y variaciones menores a un 2% en el escenario seco.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 5–14: Satisfacción promedio de la evapotranspiración de cultivos simulada para las ventanas 1986 – 2018, 2020 – 2040 y 2040 – 2060.

Nota 1: En colores se indica la variación absoluta del porcentaje de satisfacción respecto al período 1986 - 2018. Tonos rojos indican una disminución y tonos azules un aumento en la satisfacción.

Nota 2: Entre paréntesis se indica el cultivo seleccionado para la comparación.

5.2.2.5 Ecosistemas y sistemas lagunares de interés

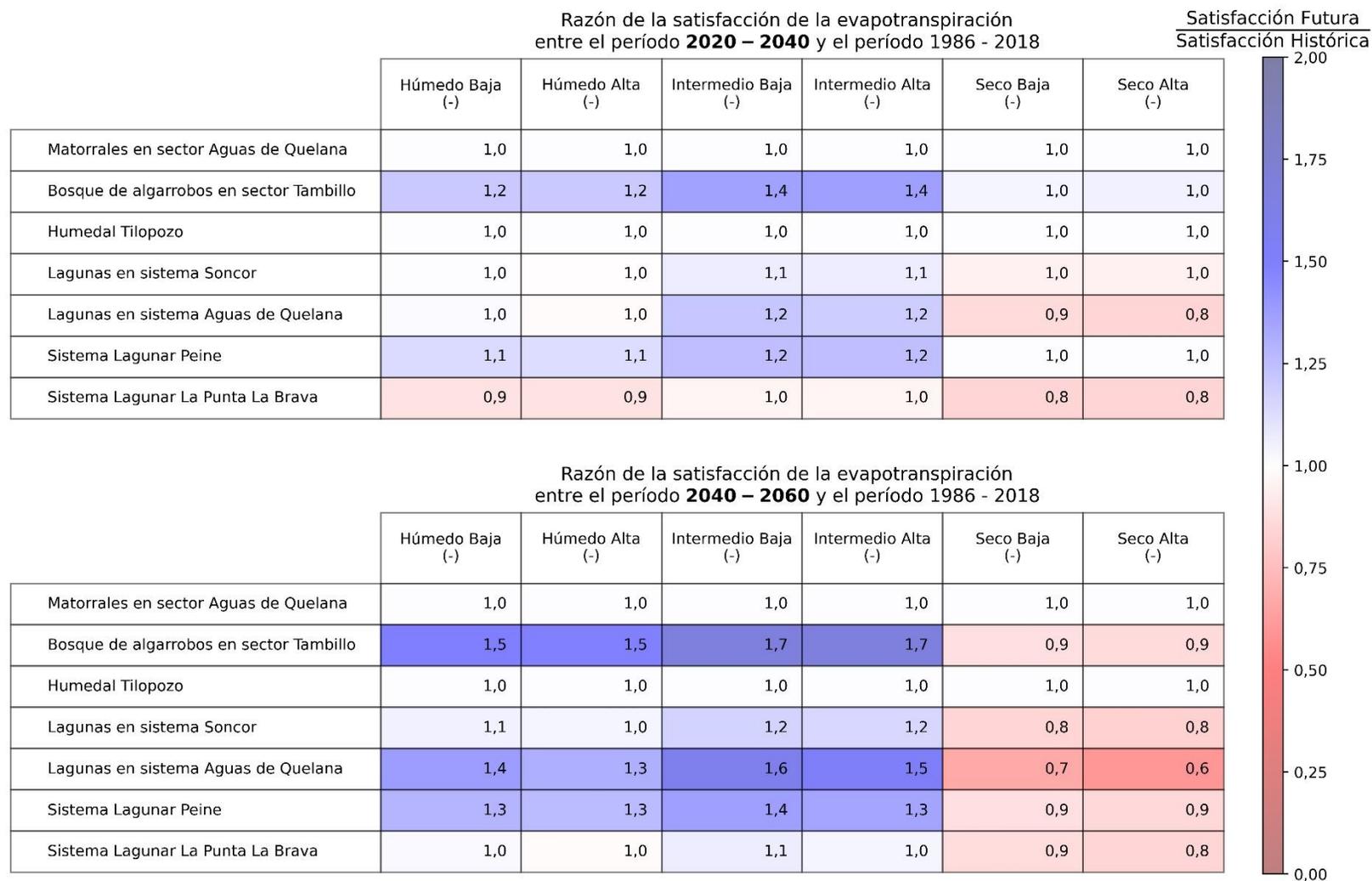
Respecto a los ecosistemas y sistemas lagunares de interés, en la Figura 5-15 se presenta la razón entre la satisfacción de la evapotranspiración futura simulada respecto al promedio simulado en el período 1986 – 2018 en los sistemas presentados en el Anexo F, acápite 5.3.3.3. Esta métrica permitió evaluar variaciones del estrés hídrico de estos sistemas en los escenarios futuros. Valores unitarios indican que el estrés hídrico es similar al del período histórico, valores mayores a uno indican un menor estrés hídrico o mayor satisfacción de la evapotranspiración respecto al período histórico y valores menores a uno indican un mayor estrés hídrico o una menor satisfacción de la evapotranspiración respecto al período histórico.

Los resultados muestran que la variación en la satisfacción de la evapotranspiración está asociada principalmente a los escenarios climáticos. Sin embargo, producto de las diferencias en las extracciones mineras consideradas en los escenarios de alta y baja demanda, en el período 2040 – 2060 se observan diferencias asociadas a los escenarios de demanda. Es importante notar que el agua que abastece a estos sistemas proviene del sistema subterráneo y entra a la cuenca principalmente desde los SHACs A1, A2, B1, C1 y C2, donde las variaciones en precipitaciones en el período 2020 – 2040 son mayores en el escenario intermedio que en el escenario húmedo, resultando en una mayor satisfacción de la evapotranspiración en el escenario intermedio que en el húmedo.

Los ecosistemas de interés representados en el modelo acoplado interactúan con el sistema subterráneo cuando la profundidad de raíces es mayor o igual a la profundidad de la napa (la metodología de esta conexión entre el sistema superficial y subterráneo del modelo acoplado se presenta en el acápite 5.2.1 del Anexo H), permitiendo extraer agua desde el sistema subterráneo para suplir la demanda de evapotranspiración, siendo así la principal fuente de agua para estos sistemas. En el caso del humedal Tilopozo y de los matorrales en el sector Aguas de Quelana no se observan variaciones en la satisfacción de la evapotranspiración debido a que los escenarios resultan en una satisfacción del 100% producto de la capacidad de extraer agua desde el acuífero durante la totalidad del período de simulación. En el caso del bosque de algarrobos en el sector Tambillo se observa un aumento gradual en la satisfacción de la evapotranspiración, llegando hasta una razón de satisfacción de 1,2 y 1,7 en el escenario húmedo e intermedio, respectivamente, en el período 2040 - 2060. En el escenario seco, se observa una disminución gradual en la satisfacción de la evapotranspiración, llegando hasta una razón de satisfacción de 0,9 en el período 2040 – 2060.

Los sistemas lagunares representados en el modelo, a diferencia de los ecosistemas de interés, interactúan con el sistema subterráneo mediante afloramientos que dependen de los niveles en la zona marginal (la metodología de esta conexión entre el sistema superficial y subterráneo del modelo acoplado se presenta en el acápite 5.2.2 del Anexo H). En el caso de los cuerpos lagunares del sistema Soncor, Aguas de Quelana y Peine, se observa un aumento gradual en la satisfacción de la evapotranspiración en los escenarios húmedo e intermedio y una disminución en el escenario seco. En el escenario húmedo e intermedio, estos sistemas presentan una razón de satisfacción entre 1,0 y 1,2 en el período 2020 – 2040 y entre 1,0 y 1,6 en el período 2040 – 2060. En el escenario seco, la razón de satisfacción resulta en valores entre 0,8 y 1,0 en el período 2020 – 2040 y entre 0,6 y 0,9

en el período 2040 -2060. En el caso del sistema lagunar La Punta La Brava se observa una disminución en la cobertura de la evapotranspiración en los tres escenarios climáticos en el período 2020 – 2040 producto del descenso de los niveles cercanos a las zonas de extracciones de salmuera, resultando en una disminución en los afloramientos. Sin embargo, en el período 2040 – 2060, la cobertura de la evapotranspiración aumenta producto de la recuperación de los niveles. En los períodos 2020 – 2040 y 2040 - 2060 la razón de satisfacción toma valores entre 0,9 y 1,0 en el escenario húmedo, 1,0 y 1,1 en el escenario intermedio y 0,8 y 0,9 en el escenario seco, respectivamente.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 5–15: Razón de la cobertura de la evapotranspiración en las ventanas 2020 – 2040 y 2040 – 2060 respecto a la cobertura del período 1986 – 2018.

Nota: En colores se indica la razón entre la satisfacción de la evapotranspiración simulada en el escenario futuro y la simulada en el período 1986 - 2018. Tonos rojos indican una disminución y tonos azules un aumento en la satisfacción.

5.2.2.6 Balance hídrico del sistema superficial: Entradas y salidas naturales al sistema

Respecto al balance superficial de la cuenca, en la Figura 5-16, se presenta una síntesis de las entradas y salidas naturales al sistema, considerando un esquema similar al presentado en el Informe Técnico SDT 339 (DGA, 2013), incluyendo las entradas por precipitación, las salidas por evapotranspiración y evaporación desde la napa y la diferencia entre las entradas y salidas totales. Esta síntesis incluye los valores promedios simulados en el período histórico y la variación porcentual en los escenarios futuros. En general, los resultados muestran que las variaciones en las entradas y salidas de los SHACs A1, A2, B1, C1, C2 y N1 están asociadas principalmente a los escenarios climáticos. En los SHACs A, B, C y N las variaciones en las entradas y salidas también están asociadas a los escenarios climáticos, sin embargo, en el período 2040 – 2060, producto de la diferencia entre los escenarios de demanda y a la disminución de los niveles freáticos en sectores cercanos a las zonas de extracciones de salmuera, se observa que la evaporación desde la napa es un 4% menor en los escenarios de alta demanda comparado con los escenarios de baja demanda, resultando en un aumento de un 5% en la diferencia total entre las entradas y salidas naturales a la cuenca completa para los escenarios de alta demanda.

Para los SHACs A1, A2, B1, C1, C2 y N1, en el escenario húmedo e intermedio se observa un aumento tanto en las precipitaciones como en la evapotranspiración y en el escenario seco se observa una disminución en ambas componentes. Estas variaciones resultan en una disminución del caudal pasante a los SHACs A, B, C y N en el período 2020 – 2040 en un 11%, 13% y 29% en los escenarios húmedo, intermedio y seco, respectivamente, y en el período 2040 – 2060 resultan en un aumento de un 26% y 10% en el escenario húmedo e intermedio, respectivamente, y una disminución de un 26% en el escenario seco.

Respecto a los SHACs A, B, C y N, en el escenario húmedo se observa un aumento en las precipitaciones y evapotranspiración, sin embargo, la evaporación desde la napa disminuye en el período 2020 – 2040 y aumenta en el período 2040 – 2060. En el escenario intermedio se observa una disminución en las precipitaciones en el período 2020 – 2040 y un aumento en el período 2040 – 2060, adicionalmente, se observa un aumento tanto en la evapotranspiración como en la evaporación desde la napa. En el escenario seco se observa una disminución en las precipitaciones y en la evaporación en el período 2020 – 2040 y un aumento de estas en el período 2040 – 2060, adicionalmente, se observa una disminución en la evaporación desde la napa. Estos cambios resultan en que la diferencia entre las entradas y salidas naturales totales a la cuenca disminuya en el período 2020 - 2040 en un 27%, 42% y 63% en los escenarios húmedo, intermedio y seco, respectivamente. Por otro lado, en los escenarios de baja demanda, en el período 2040 – 2060 se observa un aumento de un 37% en el escenario húmedo y una disminución de un 11% y 49% en el escenario intermedio y seco, respectivamente. En los escenarios de alta demanda, la diferencia entre entradas y salidas naturales es un 5% mayor a la del escenario de baja demanda.

Variación de las entradas y salidas naturales de agua a la cuenca en el período **2020 – 2040** respecto al período 1986 - 2018

	Término del balance	Promedio 1986 - 2018 (l/s)	Húmedo Baja (%)	Húmedo Alta (%)	Intermedio Baja (%)	Intermedio Alta (%)	Seco Baja (%)	Seco Alta (%)
SHACs	Precipitación	27.792	2	2	5	5	-18	-18
A1, A2, B1	Evapotranspiración	20.681	7	7	11	11	-14	-14
C1, C2 y N1	Caudal pasante	7.112	-11	-12	-13	-13	-29	-29
SHACs	Precipitación	1.381	4	4	-2	-2	-18	-18
A, B,	Evapotranspiración	2.002	9	8	9	9	-6	-6
C y N	Evaporación napa	3.541	-4	-5	4	3	-9	-10
Total	Diferencia	2.949	-27	-26	-42	-42	-63	-63

Variación de las entradas y salidas naturales de agua a la cuenca en el período **2040 – 2060** respecto al período 1986 - 2018

	Término del balance	Promedio 1986 - 2018 (l/s)	Húmedo Baja (%)	Húmedo Alta (%)	Intermedio Baja (%)	Intermedio Alta (%)	Seco Baja (%)	Seco Alta (%)
SHACs	Precipitación	27.792	32	32	18	18	-9	-9
A1, A2, B1	Evapotranspiración	20.681	35	35	21	21	-3	-3
C1, C2 y N1	Caudal pasante	7.112	26	26	10	10	-26	-26
SHACs	Precipitación	1.381	37	37	27	27	6	6
A, B,	Evapotranspiración	2.002	36	36	37	36	4	3
C y N	Evaporación napa	3.541	14	10	20	16	-12	-16
Total	Diferencia	2.949	37	42	-11	-6	-49	-44

Fuente: Elaboración Propia

Figura 5–16: Entradas por precipitación, salidas por evapotranspiración y evaporación desde la napa y diferencia entre entradas y salidas simuladas en el período histórico (1986 – 2018) y variación porcentual en los escenarios futuros en los períodos 2020 – 2040 y 2040 - 2060.

Nota: En colores se indica la variación porcentual de los caudales futuros simulados respecto al caudal simulado en el período 1986 – 2018. Tonos azules indican una disminución y tonos morados un aumento.

La diferencia en la variación de la evaporación desde la napa en los escenarios húmedo e intermedio es resultado de que en el período 2020 – 2040 las precipitaciones en los SHACs A1, A2, B1, C1 y C2, donde ocurren el 95% de las precipitaciones, son mayores en el escenario intermedio. Estas precipitaciones infiltran antes de llegar a la zona marginal, resultando en un aumento en los niveles y favoreciendo la evaporación desde la napa en el escenario intermedio.

5.2.2.7 Balance hídrico del sistema subterráneo

Respecto al balance hídrico del sistema subterráneo, debido a la gran cantidad de sectores a analizar y de componentes de entradas y salidas, este se resumió en términos del porcentaje del volumen promedio almacenado en un año en particular respecto al promedio del año 1986, correspondiente al año de inicio del período de simulación y a un período previo al inicio de extracciones mineras en la cuenca. Un valor de un 100% para un año implica que el volumen almacenado es igual al volumen almacenado al año 1986. En la Figura 5-17 se presenta el porcentaje del volumen promedio almacenado simulado al año 2018, 2040 y 2060, relativo al simulado al año 1986, en los SHACs de la cuenca del Salar de Atacama. Notar que la extensión del modelo numérico hidrogeológico no abarca la totalidad de los SHACs, por lo que se consideró la intersección entre los SHACs y la extensión del modelo, como se indica en el Anexo F, acápite 5.3.4.1. A excepción de los SHACs N y N1, las variaciones en el volumen almacenado están asociadas principalmente a los escenarios climáticos, en cambio, en los SHACs N y N1 están asociados principalmente a los escenarios de demanda. Sin embargo, en todos los SHACs se observa una marcada diferencia entre los escenarios húmedo e intermedio con el escenario seco.

A excepción de los SHACs N y N1, en el escenario húmedo e intermedio se observa un aumento en el volumen almacenado, siendo estos aumentos mayores en los SHACs A, A1, A2, B1 y C1. Adicionalmente, en el SHAC C2 se observa que al año 2060 el volumen almacenado es mayor al volumen almacenado previo a las extracciones por parte de Compañía Minera Zaldívar y Minera Escondida Limitada, mostrando la potencial capacidad de recuperación de este sector acuífero en escenarios con aumento en las precipitaciones. En el caso de los SHACs N y N1, en el escenario húmedo e intermedio se observa una disminución del volumen almacenado al año 2040 debido a las extracciones. Luego, al año 2060 se observa una recuperación de un 10% en un período de aproximadamente 20 años sin extracciones, sin embargo, el volumen acuífero se mantiene entre un 7% y 10% por debajo del volumen almacenado al año 1986. En el caso del escenario seco, se observa una disminución en el volumen almacenado, llegando a una disminución mayor a un 5% respecto al remanente calculado al año 2018 en los SHACs N, N1, A1, A2, B1 y C2 al año 2040 y en los SHACs A1 y A2 al año 2060. Los SHACs B y C muestran una baja tendencia a la reducción en el volumen almacenado en el escenario seco, sin embargo, en el escenario húmedo presentan un aumento en el volumen de más de un 5%. Respecto a las variaciones simuladas en el sector Norte del sistema subterráneo de la cuenca, es necesario notar que, si bien el modelo presenta un buen ajuste de los niveles simulados, en el sector Norte, donde se abarca parte del SHAC A y los SHACs A1 y A2, no hay información suficiente para una calibración de la componente subterránea del modelo, por lo que las variaciones en estos SHACs deben ser consideradas como referenciales y contrastarlas con información en terreno.

Volumen almacenado en el sistema subterráneo al año **2040** respecto al año 1986
(Colores indican diferencia respecto al año 2018)

	2018 (%)	Húmedo Baja (%)	Húmedo Alta (%)	Intermedio Baja (%)	Intermedio Alta (%)	Seco Baja (%)	Seco Alta (%)
N	89	84	80	85	80	82	77
N1	96	94	93	94	93	92	91
A	107	114	114	119	119	108	107
A1	119	147	146	161	160	101	101
A2	102	110	110	116	116	95	95
B	98	100	100	101	100	97	97
B1	95	105	103	109	107	91	89
C	99	102	102	103	103	99	99
C1	108	125	125	126	126	103	103
C2	94	97	97	98	98	94	94

Volumen almacenado en el sistema subterráneo al año **2060** respecto al año 1986
(Colores indican diferencia respecto al año 2018)

	2018 (%)	Húmedo Baja (%)	Húmedo Alta (%)	Intermedio Baja (%)	Intermedio Alta (%)	Seco Baja (%)	Seco Alta (%)
N	89	94	90	93	89	88	84
N1	96	101	99	100	99	95	93
A	107	125	125	128	128	104	104
A1	119	195	195	172	171	106	105
A2	102	128	127	122	122	94	94
B	98	103	102	102	102	97	97
B1	95	120	119	113	112	91	90
C	99	105	105	104	104	99	99
C1	108	138	138	127	127	104	104
C2	94	103	102	103	102	95	94

Fuente: Elaboración Propia

Figura 5-17: Volumen almacenado en el sistema subterráneo simulado al año 2040 y 2060, respecto al volumen simulado al año 1986.

Nota 1: En colores se indica la variación absoluta con respecto al año 2018. Tonos rojos indican una disminución y tonos azules un aumento en el volumen almacenado.

Nota 2: Para el año 2018, 2040 y 2060 se considera el volumen promedio del año respectivo.

5.2.2.8 Niveles freáticos

Respecto a los niveles, en la Figura 5-18 se presenta la máxima amplitud simulada en el período 1986 - 2018 (diferencia entre el mayor y menor nivel simulado en un punto en el período 1986 - 2018), el nivel promedio simulado en el año 2018 y la variación entre el nivel promedio simulado a los años 2040 y 2060, respecto al nivel promedio simulado al año 2018, para los puntos definidos en el Anexo F, acápite 5.3.4.2. En la Tabla 5-11 se indica qué representa y el sector donde se ubican estos puntos. Es importante notar que

en el modelo acoplado las extracciones de Compañía Minera Zaldívar finalizan el año 2024 en el escenario de baja demanda y en el año 2030 en el escenario de alta demanda, las extracciones de Albemarle y SQM finalizan el año 2042 y 2030, respectivamente, tanto en el escenario de baja demanda como en el de alta demanda. Sin embargo, en el escenario de alta demanda se consideró que un potencial futuro operador continúa durante el período 2031 – 2040 con la ubicación y tasas de extracción de SQM al año 2030 (ver acápite 3.4.1.1). Adicionalmente, las extracciones de Minera Escondida Limitada no se consideraron en los escenarios futuros debido a que desistió del proyecto Monturaqui y detuvo todos los bombeos el día 31 de diciembre del 2019.

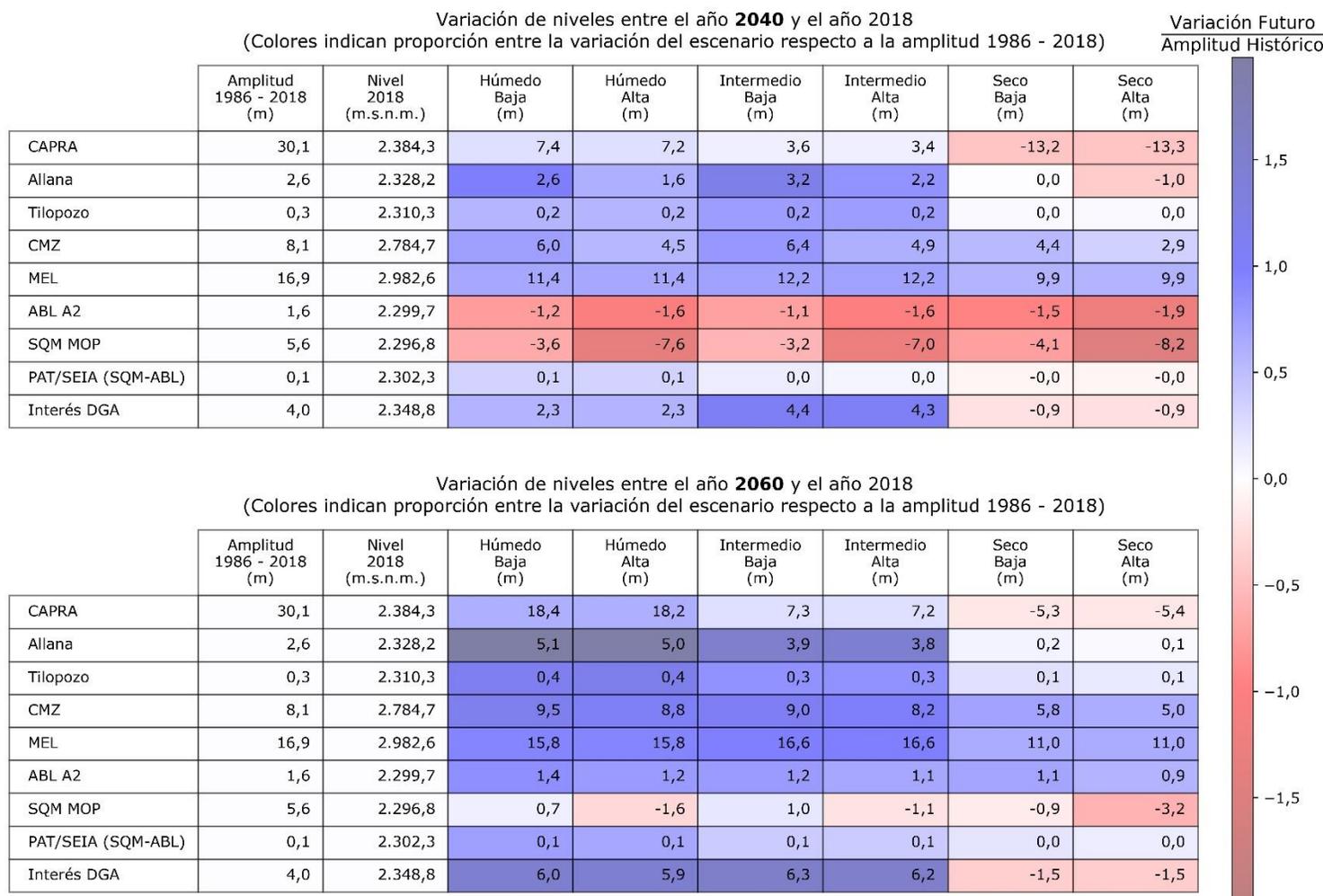
Tabla 5–11: Representación y sector donde se ubican los puntos presentados en la Figura 5–18.

Punto	Representación
CAPRA	Punto de extracción por parte de CAPRA, ubicado en el sector Norte.
Allana	Punto donde se ubica el pozo Allana, operado por SQM, ubicado en el borde Este.
Tilopozo	Punto donde se ubica el pozo Tilopozo, operado por Albemarle, ubicado en la zona Sur, cercano a la zona marginal.
CMZ	Punto medio de los pozos de extracción de Compañía Minera Zaldívar, ubicados en un punto central de la zona Sur.
MEL	Punto medio de los pozos de extracción de Minera Escondida Limitada, ubicados en el extremo Sur.
ABL A2	Punto medio del sector A2 para la extracción de salmueras por parte de la empresa Albemarle en el núcleo del salar.
SQM MOP	Punto medio del sector MOP para la extracción de salmueras por parte de la empresa SQM en el núcleo del salar.
PAT/SEIA (SQM-ABL)	Punto de monitoreo compartido por SQM y Albemarle en el sector Norte de la zona marginal.
Interés DGA	Representativo de los puntos solicitados por la DGA debido a que se ubican en sectores donde han sido propuestas EIAs en el sector Norte de la cuenca.

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados muestran que la variación de los niveles está dentro del orden de magnitud de la amplitud simulada en el período 1986 – 2018. La variación de niveles en el sector Norte, Este y Sur de la cuenca está asociada principalmente a los escenarios climáticos. Adicionalmente, en los puntos donde se ubican pozos de extracción se observa una recuperación de los niveles en todos los escenarios, sin embargo, en estos puntos existe una diferencia asociada a los escenarios de demanda producto de la extensión de las extracciones en esos puntos, diferencia que tiende a desaparecer al año 2060. En la zona marginal los niveles se mantienen relativamente constantes, con cambios dentro del orden de magnitud de los simulados en el período 1986 - 2018. En la zona del núcleo los niveles se ven afectados principalmente por los escenarios de demanda, mostrando una recuperación posterior al término de las actividades mineras. Al año 2040, en el escenario de alta demanda se observa un descenso adicional de 4 m en el sector de SQM-MOP debido a la extensión de las extracciones en ese sector y al año 2060 esta diferencia se reduce a alrededor de 2 m. Adicionalmente, al comparar los escenarios de demanda, alrededor de un 30% (~45 cm) de los descensos simulados en el sector A2 estarían asociados a la influencia de las extracciones en los sectores SOP-MOP. A modo general, en los escenarios

húmedo e intermedio, al año 2060 se observa una recuperación de los niveles respecto a los valores simulados al año 2018, a excepción del punto SQM-MOP en el escenario de alta demanda, donde los niveles se mantienen alrededor de 2 m por debajo de lo simulado al año 2018. Respecto a las variaciones simuladas en el sector Norte del sistema subterráneo de la cuenca, es necesario considerar que, si bien el modelo presenta un buen ajuste de los niveles simulados, en el sector Norte no hay información suficiente para una calibración del modelo, por lo que las variaciones en este sector deben ser consideradas como referenciales y contrastarlas con información en terreno.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 5–18: Variación de los niveles simulados al año 2040 y 2060, respecto a los niveles simulados al año 2018, en puntos distribuidos a lo largo de la cuenca.

Nota 1: En colores se indica razón entre la variación simulada en el escenario y la amplitud del período 1986 – 2018. Tonalidades rojas indican disminución del nivel y tonalidades azules indican aumento del nivel.

Nota 2: Para el año 2018, 2040 y 2060 se considera el volumen promedio del año respectivo.

5.2.2.9 Salinidad del sistema subterráneo en sistemas Quelana, Peine y La Punta La Brava

Respecto a la salinidad en los sistemas Quelana, Peine y La Punta La Brava, ubicados en la zona marginal, se consideraron dos resultados principales: La variación de la concentración de solutos promedio en los primeros 20 m de profundidad en puntos representativos de sistemas lagunares y la variación del desplazamiento a 10 m de profundidad de la interfaz salina. Detalles respecto a estas definiciones se encuentran en el Anexo F, acápite 5.3.5. Es importante destacar que el comportamiento de la interfaz salina es complejo y corresponde a un proceso de transporte y flujo en un sistema donde hay una diferencia de aproximadamente un 20% densidad entre los fluidos. Adicionalmente, los resultados muestran que, debido a la construcción del modelo de flujo con densidad variable, el comportamiento de estos sistemas está influenciado principalmente por los niveles cercanos a la zona marginal en la zona del núcleo.

En la Figura 5-19 se presenta la concentración promedio simulada al año 2018 y la variación entre la concentración promedio simulada a los años 2040 y 2060, respecto al promedio simulado al año 2018. Los resultados muestran que la variación en concentraciones está asociada principalmente a los escenarios climáticos y estas variaciones se mantienen dentro de un rango del 5% de la concentración simulada al año 2018. En el escenario seco los tres puntos analizados presentan una disminución en las concentraciones. En el escenario húmedo e intermedio se observan patrones distintos para cada uno de los puntos. En Quelana se observa un aumento sostenido en el tiempo en las concentraciones, en Peine se observa una disminución en las concentraciones al año 2040 y un leve aumento al año 2060 y en La Punta La Brava se observa una disminución sostenida en el tiempo de la concentración.

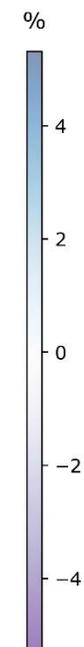
En la Figura 5-20 se presenta el desplazamiento simulado en el período 1986 - 2018 y el desplazamiento al año 2040 y 2060 respecto del año 2018. Notar que el signo de los desplazamientos no conlleva una connotación positiva o negativa, sino que únicamente la dirección del desplazamiento desde la ubicación inicial de la interfaz. Desplazamientos con signo negativo indican desplazamientos hacia el núcleo (hacia el Oeste de la zona marginal) y con signo positivo indican desplazamiento hacia el borde Este (hacia el Este de la zona marginal). Los resultados muestran que los desplazamientos están asociados principalmente a los escenarios climáticos, sin embargo, al año 2060 existe una componente asociada a los escenarios de demanda. Adicionalmente, los desplazamientos simulados en los escenarios futuros son menores a los simulados en el período 1986 - 2018. En el escenario seco, los tres puntos analizados presentan un desplazamiento sostenido hacia la zona del núcleo. En el escenario húmedo e intermedio, los tres perfiles muestran un desplazamiento hacia el núcleo al año 2040 y una leve recuperación al año 2060. Al comparar los escenarios de demanda en al año 2060, se observa que en los escenarios de alta demanda hay un desplazamiento adicional de entre 10 y 20 m en Quelana, 6 m en Peine y 5 m en La Punta La Brava.

Variación de la concentración de solutos en los puntos analizados entre el año **2040** y el año 2018
(Valores indican variación absoluta y colores indican variación porcentual)

	2018 (kg/m ³)	Húmedo Baja (kg/m ³)	Húmedo Alta (kg/m ³)	Intermedio Baja (kg/m ³)	Intermedio Alta (kg/m ³)	Seco Baja (kg/m ³)	Seco Alta (kg/m ³)
Quelana	212,6	0,4	0,1	5,9	5,7	-1,1	-1,2
Peine	291,7	-8,2	-8,2	-4,5	-4,5	-9,6	-9,6
PuntaBrava	355,9	-10,9	-10,9	-9,1	-9,1	-8,1	-8,1

Variación de la concentración de solutos en los puntos analizados entre el año **2060** y el año 2018
(Valores indican variación absoluta y colores indican variación porcentual)

	2018 (kg/m ³)	Húmedo Baja (kg/m ³)	Húmedo Alta (kg/m ³)	Intermedio Baja (kg/m ³)	Intermedio Alta (kg/m ³)	Seco Baja (kg/m ³)	Seco Alta (kg/m ³)
Quelana	212,6	7,4	6,2	10,3	8,9	-7,1	-8,4
Peine	291,7	-5,4	-7,1	-2,9	-4,2	-13,3	-15,5
PuntaBrava	355,9	-17,7	-18,2	-11,5	-11,9	-16,4	-17,0



Fuente: Elaboración propia

Figura 5–19: Variación en la concentración de solutos en puntos representativos de sistemas lagunares en los años 2040 y 2060 respecto del año 2018.

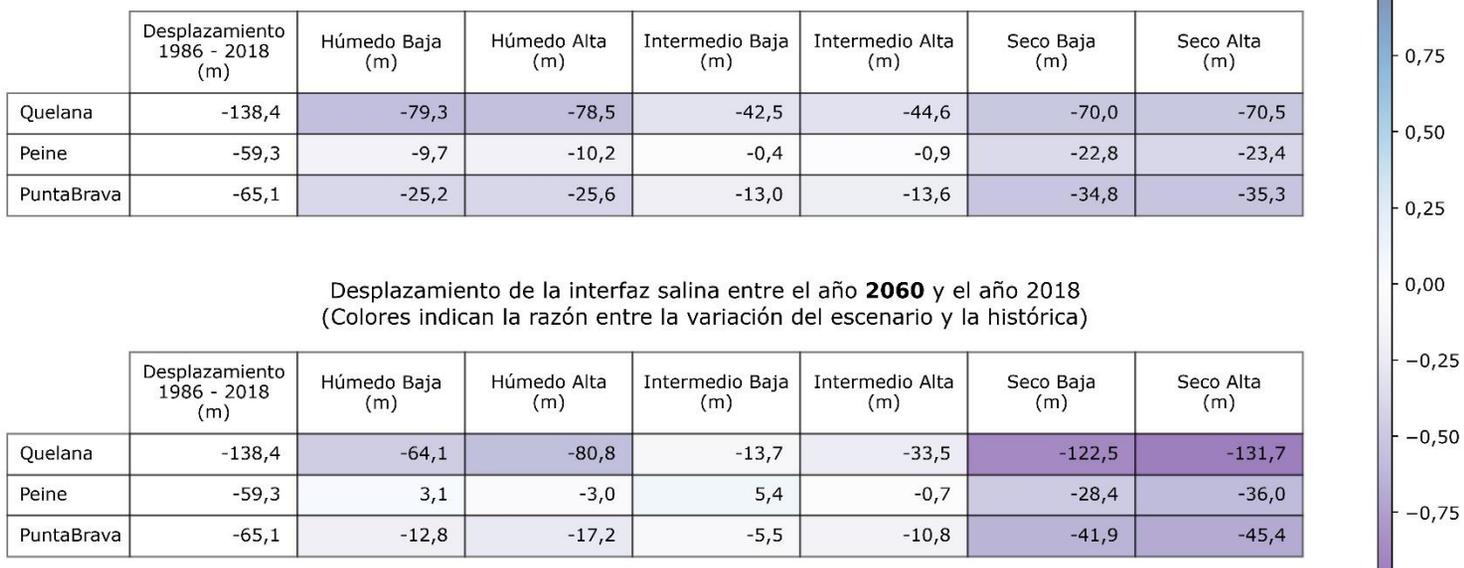
Nota 1: La concentración corresponde al promedio en los primeros 20 m en los puntos representativos de sistemas lagunares.

Nota 2: En colores se indica la variación porcentual con respecto al año 2018. Tonos morados indican una disminución y tonos azules un aumento en la concentración de solutos.

Nota 3: Para el año 2018, 2040 y 2060 se considera la concentración promedio del año respectivo.

Desplazamiento de la interfaz salina entre el año **2040** y el año 2018
(Colores indican la razón entre la variación del escenario y la histórica)

Variación Futuro
Variación Histórico



Fuente: Elaboración propia

Figura 5–20: Desplazamiento de la interfaz salina en los años 2040 y 2060 respecto del año 2018.

Nota 1: El desplazamiento se determina en base a la isoconcentración de 75% de concentración de salmuera a 10 m de profundidad.

Nota 2: En colores se indica la razón entre el desplazamiento futuro e histórico. Tonos morados indican un menor desplazamiento y tonos azules un mayor desplazamiento.

Nota 3: Para el año 2018, 2040 y 2060 se considera la concentración promedio del año respectivo.

5.2.2.10 Comentarios de los escenarios simulados

Los resultados de la situación proyectada muestran que, en general, las principales diferencias en las variables analizadas están asociadas a los escenarios climáticos, siendo el escenario húmedo e intermedio los que resultan en aumento de la disponibilidad del recurso superficial y satisfacción de necesidades, y el escenario seco en una disminución. Solo el escenario húmedo resulta en un aumento en la diferencia entre entradas y salidas naturales al sistema, además, el aumento de la demanda resulta en una menor tasa de evaporación desde la napa y, en consecuencia, un aumento en la diferencia entre entradas y salidas naturales al sistema.

Respecto al sistema subterráneo, los cambios entre el período previo y posterior al inicio de extracciones mineras están asociados principalmente al aumento de las extracciones mineras de salmuera y agua, que, si bien las extracciones de salmuera indujeron una disminución en la evaporación desde la napa, el aumento en las salidas totales al sistema subterráneo fue mayor al aumento en las entradas totales. A diferencia de los cambios en el período histórico, en los escenarios futuros de simulación las principales diferencias están asociadas a los escenarios climáticos, a excepción del SHAC N, donde existe una componente relevante de los escenarios de demanda mineros. En los escenarios húmedo e intermedio, al año 2060 los niveles en el SHAC N muestran la capacidad de volver a los valores simulados al año 2018 y en los puntos de extracción ubicados tanto en el borde Este como en el SHAC C2 se observa la capacidad volver a valores similares a los simulados previo al año 2000 (período previo al inicio de las extracciones mineras). Respecto a la interfaz salina, las variaciones en concentración y el desplazamiento simulado en los escenarios futuros se encuentran dentro de los rangos simulados en el período histórico.

5.3 BRECHAS

En este acápite se presenta la brecha hídrica asociada a la satisfacción de necesidades de agua para consumo humano y riego, simulada para el período 1986 – 2018 y 2020 – 2060, y las brechas asociadas al desarrollo del modelo de simulación.

5.3.1 Brecha hídrica

El análisis de la brecha hídrica consideró los sectores definidos en los acápites 5.3.3.1 y 5.3.3.2 del Anexo F para el consumo humano y riego, respectivamente.

Respecto a la satisfacción de necesidades de agua potable, en la Tabla 5–12 se presenta el porcentaje de satisfacción y la brecha hídrica simulada en el período 1986 – 2018 junto a la brecha hídrica proyectada en los escenarios de simulación en el período 2020 – 2060. De los poblados analizados, Peine, Camar y San Pedro de Atacama son los que presentan una mayor brecha hídrica en el período 1986 – 2018, acumulando un 96% de la brecha del total de los poblados analizados (que suman un total de 104.884 m³/año). En la conceptualización del modelo acoplado, el poblado de Peine se abastece únicamente desde la laguna Miscanti con un caudal de 2,3 l/s, el poblado de Camar se abastece desde la quebrada de Camar y recibe hasta 0,13 l/s (~10% de su demanda) mediante camiones aljibe. El poblado de Río Grande, que en el modelo acoplado se abastece únicamente mediante camiones aljibe, si bien presenta una brecha de menor magnitud comparada con los otros poblados, la satisfacción es de un 5%. Esto indica que, en el caso del poblado de

Peine, Camar y Río Grande se deben explorar nuevas fuentes de abastecimiento que permitan suplir la brecha hídrica existente o identificar si existe alguna otra fuente de abastecimiento que no se haya logrado identificar en este estudio e incorporarlas al modelo. Por otro lado, para el poblado de Socaire no se dispuso de información respecto a su consumo real, por lo que los resultados presentados son una estimación que requiere ser contrastada con información del sector. Lo anterior se identifica como una brecha asociada a la Seguridad Hídrica en términos de la confiabilidad de suministro de agua potable.

En el período 2020 – 2060 la brecha hídrica total asociada a agua potable asciende a alrededor de 555.000 m³/año en los escenarios de baja demanda y a alrededor de 875.000 m³/año en el escenario de alta demanda. El aumento en la brecha está asociada principalmente a la proyección de la población residente y turistas (ver acápite 3.1) y a la restricción en la capacidad de extracción de CAPRA, que abastece al poblado de San Pedro, y mediante camiones aljibes abastece a Río Grande, Proyecto ALMA, Camar, Socaire y otras comunidades de la subcuenca del río San Pedro. Esto se identifica como una brecha asociada a la Seguridad Hídrica en términos de la confiabilidad de suministro de agua potable.

De forma transversal para la satisfacción de necesidades de agua potable, la brecha hídrica existente y proyectada en este estudio corresponde a una brecha asociada a la Seguridad Hídrica, la cual debe abordarse de forma estratégica para satisfacer las necesidades de agua potable en la cuenca.

Respecto a la cobertura de derechos en canales de riego, en la Tabla 5–13 se presenta el porcentaje de cobertura y la brecha hídrica simulada en el período 1986 – 2018, junto a la brecha hídrica proyectada en los escenarios de simulación en el período 2020 – 2060. En el período 1986 – 2018, a partir de los resultados del modelo acoplado, se estima una brecha hídrica total en estos canales de alrededor de 5.400.000 m³/año, la cual disminuye a alrededor de 2.980.000 m³/año en el escenario húmedo y a 3.480.000 m³/año en el escenario intermedio. En el escenario seco la brecha asciende a alrededor de 10.250.000 m³/año. La AARA de San Pedro de Atacama es la que presenta la mayor brecha, con una brecha estimada de aproximadamente 2.750.000 m³/año en el período 1986 – 2018 y entre 940.000 y 6.200.000 m³/año en el período 2020 – 2060 de los escenarios futuros. Esta brecha hídrica es en parte resultado de la variabilidad de los caudales simulados, como se ejemplificó con el caso de la CA de Peine en el acápite 5.2.2, y podría resolverse mediante la implementación de infraestructura de almacenamiento o contención de aguas que permita racionar agua proveniente de eventos de altas precipitaciones y así poder llevarlas a los canales al mes siguiente, favoreciendo la cobertura del derecho en los canales de riego.

Respecto a la satisfacción de necesidades de evapotranspiración de cultivos, en la Tabla 5–14 se presenta el porcentaje de satisfacción y la brecha hídrica simulada en el período 1986 – 2018, junto a la brecha hídrica proyectada en los escenarios de simulación en el período 2020 – 2060. En el período 1986 – 2018 se estima una brecha hídrica del total de los cultivos analizados de alrededor de 3.888.000 m³/año, la cual se estima en valores entre 3.840.000 y 3.990.000 en los escenarios húmedo e intermedio, incluyendo los escenarios de baja y alta demanda. En el escenario seco la brecha aumenta a 4.220.000 y 4.340.000

en el escenario seco de baja y alta demanda, respectivamente. En general, la brecha estimada para la AARA de San Pedro de Atacama y la CA de Socaire componen un 55% y 20% de la brecha total estimada para estos puntos, respectivamente. Lo anterior corresponde a una brecha asociada a la Seguridad Hídrica en términos de la confiabilidad de suministro de agua para la agricultura.

En la Tabla 5-15 se presenta un resumen agregado de la brecha hídrica para los componentes previamente analizados.

Tabla 5-12: Brecha hídrica asociada a las necesidades de agua potable simulada en el período 2020 – 2060.

Brecha hídrica: Agua Potable	Satisfacción 1986-2018 (%)	Brecha 1986-2018 (m³/año)	Húmedo Baja (m³/año)	Húmedo Alta (m³/año)	Intermedio Baja (m³/año)	Intermedio Alta (m³/año)	Seco Baja (m³/año)	Seco Alta (m³/año)
San Pedro de Atacama	97	10.916	420.187	734.068	419.990	733.797	420.778	735.154
Peine	51	69.061	101.259	101.259	101.259	101.259	101.259	101.259
Río Grande	5	2.811	3.483	3.483	3.483	3.483	3.483	3.483
Socaire	100	0	0	0	0	0	0	0
Camar	51	21.368	24.752	25.522	23.474	24.323	30.380	30.626
Talabre	100	0	0	0	0	0	0	0
Toconao	100	0	0	0	0	0	0	0
Proyecto ALMA y otros	98	671	7.869	11.056	7.865	11.047	7.870	11.066
Comunidades subcuenca río San Pedro	98	58	688	969	688	968	689	970
Total	-	104.884	558.239	876.357	556.759	874.878	564.458	882.559

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 5-13: Brecha hídrica asociada a los derechos en canales de riego simulada en el período 2020 – 2060.

Brecha hídrica: Riego Canales	Satisfacción 1986-2018 (%)	Brecha 1986-2018 (m³/año)	Húmedo Baja (m³/año)	Húmedo Alta (m³/año)	Intermedio Baja (m³/año)	Intermedio Alta (m³/año)	Seco Baja (m³/año)	Seco Alta (m³/año)
AARA de San Pedro de Atacama	90	2.744.563	942.588	960.083	1.344.969	1.368.328	6.200.477	6.240.208
AARA del río Vilama	93	415.201	100.686	95.915	163.116	155.913	1.069.658	1.053.106
AARA de Celeste	100	0	0	0	0	0	0	0
AARA de Toconao	99	15.458	1.991	1.991	1.940	1.940	124.044	124.040
CA de Socaire	90	482.884	336.533	336.533	344.488	344.489	838.077	838.083
CA de Camar	49	467.432	390.388	390.388	402.597	402.602	555.974	555.974
CA de Talabre	54	811.028	751.878	751.877	766.175	766.175	962.016	962.016
CA de Peine	14	502.453	456.899	457.216	460.427	460.538	496.032	496.175
Total	-	5.439.020	2.980.963	2.994.004	3.483.713	3.499.986	10.246.277	10.269.601

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 5-14: Brecha hídrica asociada a las necesidades de agua por cultivos simulada en el período 2020 – 2060.

Brecha hídrica: Riego Cultivos	Satisfacción 1986-2018 (%)	Brecha 1986-2018 (m³/año)	Húmedo Baja (m³/año)	Húmedo Alta (m³/año)	Intermedio Baja (m³/año)	Intermedio Alta (m³/año)	Seco Baja (m³/año)	Seco Alta (m³/año)
AARA de San Pedro de Atacama (Solor\Plantas Forrajeras)	19	2.244.474	2.267.778	2.272.869	2.260.538	2.265.666	2.365.627	2.369.965
AARA del río Vilama (Beter\Plantas Forrajeras)	90	65.623	41.822	90.191	46.992	94.651	119.743	169.553
AARA de Celeste (Frutales y Viña Goteo)	75	13.465	15.116	18.716	14.830	18.442	15.640	19.262
AARA de Toconao (Bosque Viejo\Frutales)	73	123.430	119.751	153.277	116.210	149.627	161.793	191.174
CA de Socaire (Plantas Forrajeras)	5	937.014	933.524	933.969	925.339	925.857	954.139	955.176
CA de Camar (Plantas Forrajeras)	8	96.188	97.343	97.802	96.991	97.389	97.970	98.509
CA de Talabre (Forrajera Aspersión)	76	147.909	120.064	165.195	124.867	168.467	229.038	265.379
CA de Peine (Peine\Plantas Forrajeras)	14	260.811	257.820	261.261	257.584	260.187	275.337	278.103
Total	-	3.888.915	3.853.218	3.993.280	3.843.350	3.980.287	4.219.286	4.347.122

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 5-15: Brecha hídrica total simulada en el período 2020 – 2060 asociada a necesidades de agua potable, cobertura de derecho en canales y satisfacción de evapotranspiración de cultivos en los puntos analizados.

Brecha hídrica	Brecha 1986-2018 (m³/año)	Húmedo Baja (m³/año)	Húmedo Alta (m³/año)	Intermedio Baja (m³/año)	Intermedio Alta (m³/año)	Seco Baja (m³/año)	Seco Alta (m³/año)
Satisfacción de necesidades de agua potable	104.884	558.239	876.357	556.759	874.878	564.458	882.559
Cobertura del derecho en canales	5.439.020	2.980.963	2.994.004	3.483.713	3.499.986	10.246.277	10.269.601
Satisfacción evapotranspiración de cultivos	3.888.915	3.853.218	3.993.280	3.843.350	3.980.287	4.219.286	4.347.122
Total	9.432.819	7.392.420	7.863.641	7.883.822	8.355.151	15.030.021	15.499.282

Fuente: Elaboración Propia

5.3.2 Brechas del modelo de simulación

En el desarrollo, actualización y análisis de resultados del modelo de simulación se detectaron brechas que podrían ser mejoradas en futuros estudios. Estas brechas están asociadas a la información disponible para representar de mejor manera los flujos y requerimientos de agua en la cuenca, la escasez de estudios que permitan comprender las implicancias que tienen los cambios en el sistema subterráneo sobre los ecosistemas, limitaciones de las plataformas utilizadas y las simplificaciones realizadas para la conceptualización de la cuenca.

Desde el punto de vista de la información disponible, la calibración y validación del modelo requiere de mediciones de distintas variables para contrastar los resultados obtenidos por el modelo. En cuanto al monitoreo de variables del sistema superficial, existe una única estación fluviométrica en la cuenca para validar los caudales superficiales simulados, ubicada en el río San Pedro en Cuchabrachi. Si bien esta estación permitió extrapolar parámetros para la caracterización de las unidades de modelación hidrológica al resto de la cuenca y obtener una estimación adecuada de la recarga al sistema subterráneo, se requiere una mayor cobertura de estaciones a lo largo de la cuenca para validar comportamientos como los simulados en la quebrada de Peine. Además, representar correctamente los caudales superficiales permitirá también estimar de forma más adecuada la disponibilidad del recurso para la cobertura de derechos y satisfacción de necesidades. Respecto a las salidas de agua a la atmósfera por evapotranspiración, existen mediciones de evaporación de tanque en 7 puntos distribuidos a lo largo de toda la cuenca, los cuales se usaron para contrastar la evapotranspiración potencial calculada con el modelo acoplado, sin embargo, no existen mediciones de evapotranspiración real de cultivos para poder validar estos resultados.

En cuanto al monitoreo de variables del sistema subterráneo, existe una gran cantidad de pozos de monitoreo de niveles distribuidos a lo largo de la cuenca, a excepción de la zona Norte, donde la información es escasa en términos de cantidad de pozos y cantidad de mediciones en el tiempo, lo cual ha limitado la calibración del modelo subterráneo en esa zona. Adicionalmente, una gran parte de los pozos ubicados en la zona marginal o en la zona de transición entre salmueras y agua fresca no permiten obtener mediciones a distintas profundidades debido a que están completamente ranurados, lo cual limita su uso en sistemas donde hay una estratificación vertical de la densidad y para contrastar con los resultados del modelo de flujo y del modelo de transporte y flujo con densidad variable.

Se recomienda ampliar la red de monitoreo en términos de caudales superficiales, evapotranspiración de cultivos, niveles (en el sector Norte del acuífero y en la zona marginal donde haya pozos que presenten estratificación vertical de la densidad) para poder validar los resultados del modelo en los sectores donde se dispone de poca información y eventualmente recalibrar el modelo en caso de ser necesario para representar de mejor manera las nuevas observaciones.

Respecto a las fuentes de abastecimiento de agua potable, no hay información del consumo real del poblado de Socaire ni de potenciales fuentes secundarias en los poblados de Peine y Río Grande, las cuales fueron comentadas en las reuniones de co-construcción pero sin

información oficial. Recopilar esta información es relevante para cuantificar correctamente la demanda y la capacidad de suplirla.

Desde el punto de vista de la relación entre las variables físicas y el estado de los ecosistemas de interés de la cuenca del Salar de Atacama, no hay estudios que permitan cuantificar el efecto que causan los cambios en las variables físicas representadas por el modelo acoplado (niveles freáticos, salinidad e interacción superficial-subterránea) sobre los ecosistemas de interés. Se recomienda la realización de estos estudios para poder relacionar los cambios en las variables físicas que el modelo de simulación permite evaluar y el estado de los ecosistemas de interés.

Respecto a las brechas del modelo de simulación, WEAP no permite que variables como la evaporación máxima desde la napa del paquete ETS o la profundidad del dren del paquete DRN varíen en el tiempo, sino que considera un valor constante para cada paso de tiempo. Adicionalmente, WEAP no representa cuerpos de agua de forma explícita, ni el efecto de la salinidad sobre la evapotranspiración, la cual puede implicar reducciones de hasta un 30% en sistemas como los presentes en la cuenca del Salar de Atacama, por lo que se requiere de una estrategia complementaria para representar los cuerpos de agua de los sistemas lagunares ubicados en la zona marginal.

Respecto a la calibración del modelo de simulación, en la zona MNT del sistema subterráneo, ubicado en el sector Sur de la cuenca, si bien los parámetros hidráulicos se encontraron dentro del rango del modelo conceptual, la estrategia de calibración en base a zonificaciones, utilizada en este estudio, en CORFO-AMPHOS21 (2021) y en CORFO-PUC (2021), resultó en sobreestimaciones y subestimaciones de los niveles en puntos cercanos entre ellos, sin embargo, se observa una buena representación de las tendencias de los niveles en estos puntos. Por esto es por lo que se recomienda explorar nuevas estrategias para la calibración en esta zona, además de considerar pruebas de recuperación que se realicen o hayan sido realizadas en la zona MNT. Adicionalmente, debido a que la recarga en el núcleo del salar proviene del balance superficial de WEAP y no a una serie impuesta para representar los cambios en niveles asociados a precipitaciones, el modelo presenta una menor sensibilidad a las precipitaciones en los niveles. Se recomienda evaluar un reajuste de los parámetros de WEAP (acápites 2.2.1 del Anexo H) para generar una recarga que permita representar de mejor manera la reactividad de los niveles a los eventos de altas precipitaciones.

Respecto al uso del modelo de simulación, se deben considerar las limitaciones presentadas en el acápite 7 del Anexo H, en particular, se debe ser cuidadoso al momento de levantar conclusiones a escalas locales y el uso de la herramienta debe ser considerado para evaluar procesos a escala regional en términos de tendencias. En caso de ser necesario un análisis a escala local, se recomienda la construcción de modelos locales con una resolución que permita evaluar los cambios requeridos en el análisis. Este modelo local debería considerar dentro de sus condiciones de borde al menos los niveles resultantes del modelo numérico hidrogeológico, ya sea como una condición de borde de nivel prescrito o mixta.

Respecto a los escenarios de simulación, al momento de definir y analizar escenarios climáticos en base a modelos de circulación general (GCM) se debe tener en consideración

la heterogeneidad espacial y variabilidad temporal de los cambios en las variables climáticas. Debido a que cerca del 95% de las precipitaciones ocurren en los SHACs altos (SHACs A1, A2, B1, C1, C2 y N1), la tendencia general de los cambios del modelo GCM estará principalmente asociados a estos SHACs y no a los SHACs bajos (A, B, C y N), los cuales mostraron tendencias contrarias en los escenarios intermedio y seco (ver acápite 5.1.3.1). Adicionalmente, se debe tener en consideración que entre los SHACs altos o bajos puede haber tendencias distintas y que los cambios en las variables climáticas no son constantes en el tiempo, sino que varían en el tiempo, como ocurrió en todos los escenarios de simulación analizados. Por otro lado, no existe un modelo o escenario en que se considere un régimen completamente natural sin demandas o intervenciones antrópicas que permita estimar la oferta bajo estas condiciones.

5.4 SUSTENTABILIDAD

5.4.1 Oferta Hídrica Sustentable Superficial

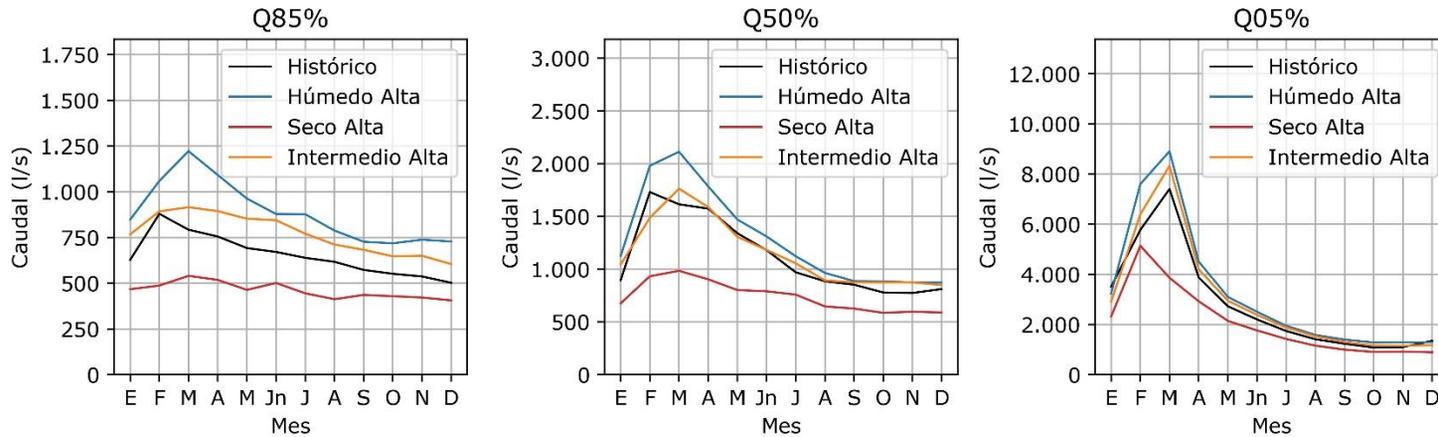
Para evaluar la oferta sustentable de tipo superficial se consideraron los resultados del modelo acoplado en los distintos escenarios climáticos. En ningún caso se consideró un escenario sin demandas, sin embargo, los puntos evaluados se ubican aguas arriba de los principales puntos de extracción y corresponden al río San Pedro en Cuchabrachi y el río Vilama en canal Vilama. Este análisis debe considerarse como referencial debido a que no consideró restricciones locales como, por ejemplo, humedales, ecosistemas o derechos eventuales en algún sector de interés.

5.4.1.1 Curvas de variación estacional

En este acápite se exponen los resultados de los caudales para una probabilidad de excedencia de un 5% (Q05%), 50% (Q50%) y 85% (Q85%) para cada mes, contrastando los distintos escenarios climáticos, para el río San Pedro en Cuchabrachi (Figura 5–21) y el río Vilama en canal Vilama (Figura 5–22).

Los valores presentados muestran que los caudales simulados en el río San Pedro son alrededor de 4 a 5 veces los caudales simulados en el río Vilama. El escenario seco muestra una disminución en los caudales, además de una homogeneización de cómo se distribuyen los caudales en el año. En el caso del escenario húmedo, se aprecia un aumento para las tres probabilidades de excedencia mostradas. En el caso del escenario intermedio, se observa que los caudales asociados a un 5% de probabilidad de excedencia son similares a los simulados para el escenario húmedo, los caudales asociados a un 50% de probabilidad de excedencia son similares a los simulados en el período histórico y los caudales asociados a una probabilidad de 85% de excedencia están en un punto intermedio entre el escenario histórico y húmedo. En promedio, los caudales asociados a un 85% de probabilidad de excedencia aumentan en un 35% para el escenario húmedo, en un 20% para el escenario húmedo y disminuyen en un 30 % para el escenario seco, respecto del escenario histórico.

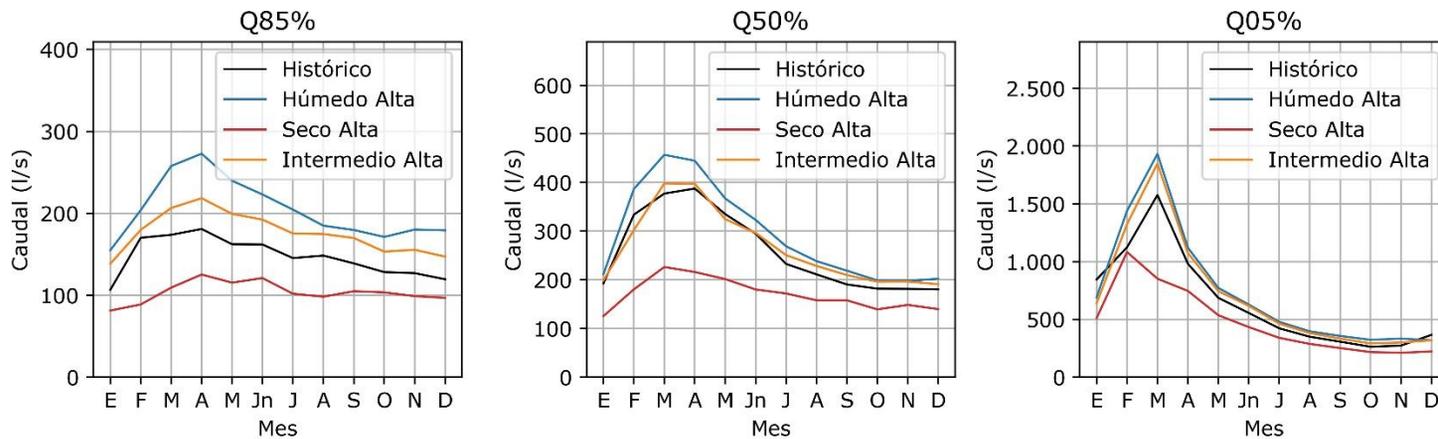
Probabilidad de excedencia río San Pedro en Cuchabrachi



Fuente: Elaboración Propia

Figura 5-21: Probabilidad de excedencia mensual en los distintos escenarios en el río San Pedro en Cuchabrachi.

Probabilidad de excedencia río Vilama en canal Vilama



Fuente: Elaboración Propia

Figura 5-22: Probabilidad de excedencia mensual en los distintos escenarios en el río Vilama en canal Vilama.

5.4.1.2 Derechos existentes en río San Pedro y río Vilama

Los derechos existentes al año 2021 en el río San Pedro y río Vilama corresponden a un valor promedio mensual que no varía a lo largo del año y el tipo de uso corresponde a riego. En la Tabla 5-16 se presenta mayor detalle.

Tabla 5-16: Derechos existentes en río San Pedro y río Vilama.

Río	Derecho (l/s)	Tipo de Derecho	Naturaleza Agua Original	Ejercicio de Derecho Original	Modo extracción
San Pedro	870	Consuntivo	Superficial y corriente	Permanente y continuo	Gravitacional
Vilama	180	Consuntivo	Superficial y corriente	Permanente y continuo	Gravitacional

Fuente: Elaboración propia a partir de DGA (2019)

5.4.1.3 Oferta hídrica sustentable y caudal ecológico

A partir de los derechos presentados en el acápite anterior, se presenta la oferta hídrica para el río San Pedro y Vilama en la Tabla 5-17 y Tabla 5-18, respectivamente. Este cálculo debe considerarse como referencial debido a que no consideró restricciones locales, sino que consideró únicamente la diferencia entre los caudales asociados a probabilidad de excedencia de 85% (Q85%) y la suma de los derechos y los caudales ecológicos. El cálculo del caudal ecológico consideró la aplicación del punto c) de la actualización realizada el año 2015 al Decreto N°14, de 2012, a las series de caudales simulados en el período 1986 – 2018 (período histórico del modelo).

Los resultados de la oferta hídrica muestran que en el período histórico el caudal de probabilidad de excedencia de 85% (Q85%) no logra suplir los derechos existentes, resultando en un saldo negativo en la totalidad de los meses. Esto muestra que el otorgamiento de derechos no solo ocuparía el saldo de dicha sección, sino que también saldo en las secciones siguientes del río. El saldo negativo o déficit promedio del período histórico es de 468 y 91 l/s para el río San Pedro y Vilama, respectivamente. Los resultados de los escenarios futuros muestran que solo para el escenario húmedo existe un saldo positivo en al menos un mes (1 mes en San Pedro y 3 meses en Vilama). En promedio, el déficit disminuye en un 55% en el escenario húmedo, un 30% en el escenario intermedio y aumenta en un 45% en el escenario intermedio. Sin embargo, como se comentó al comienzo del acápite, este análisis debe ser considerado como referencial y no indicativo. Lo anterior indica que los caudales superficiales generados hasta los puntos analizados son mayores a los derechos y al caudal ecológico, siendo esta una brecha hídrica asociada a Seguridad Hídrica.

Tabla 5-17: Oferta hídrica en río San Pedro (l/s) calculada a partir del modelo integrado para los distintos meses del año en los distintos escenarios climáticos.

Valor	Escenario	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Q85% (l/s)	Histórico	627	879	792	755	692	671	638	617	572	551	537	502
	Húmedo	851	1067	1222	1091	964	880	878	788	728	720	741	729
	Intermedio	770	893	921	889	859	844	772	712	682	649	652	607
	Seco	469	488	541	517	467	501	446	414	438	426	423	407
Derecho (l/s)		870	870	870	870	870	870	870	870	870	870	870	870
Q. Ecol (l/s)		250	262	262	262	262	262	262	252	247	238	234	217
Saldo (l/s)	Histórico	-493	-253	-340	-377	-440	-461	-494	-505	-545	-557	-567	-585
	Húmedo	-269	-65	90	-41	-168	-252	-254	-334	-389	-388	-363	-358
	Intermedio	-350	-239	-211	-243	-273	-288	-360	-410	-435	-459	-452	-480
	Seco	-651	-644	-591	-615	-665	-631	-686	-708	-679	-682	-681	-680

Nota 1: En rojo se destacan los meses donde el saldo es negativo.

Nota 2: Este cálculo debe ser considerado como referencial debido a que no consideran restricciones locales como, por ejemplo, humedales, ecosistemas o derechos eventuales si corresponde en algún sector de interés.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 5-18: Oferta hídrica en río Vilama (l/s) calculada a partir del modelo integrado para los distintos meses del año en los distintos escenarios climáticos.

Valor	Escenario	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Q85% (l/s)	Histórico	107	170	174	181	162	162	145	148	139	128	127	119
	Húmedo	153	206	260	273	242	223	206	183	179	170	180	178
	Intermedio	137	180	207	220	199	193	173	175	168	152	155	146
	Seco	81	88	108	124	115	120	101	97	104	103	98	97
Derecho (l/s)		180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180
Q. Ecol (l/s)		45	61	61	61	61	61	61	60	60	56	56	52
Saldo (l/s)	Histórico	-118	-71	-67	-60	-78	-79	-95	-92	-101	-108	-109	-113
	Húmedo	-72	-34	19	32	1	-17	-35	-57	-60	-66	-55	-54
	Intermedio	-88	-61	-34	-20	-41	-48	-68	-66	-71	-84	-81	-86
	Seco	-144	-153	-133	-117	-126	-121	-140	-143	-136	-133	-138	-135

Nota 1: En rojo se destacan los meses donde el saldo es negativo.

Nota 2: Este cálculo debe ser considerado como referencial debido a que no consideran restricciones locales como, por ejemplo, humedales, ecosistemas o derechos eventuales si corresponde en algún sector de interés.

Fuente: Elaboración Propia

5.4.2 Sustentabilidad de Sectores acuíferos

El Código de Aguas faculta a la DGA para declarar un determinado SHAC como área de restricción o zona de prohibición, permitiendo limitar el otorgamiento de nuevos derechos de explotación de aguas subterráneas, y así asegurar la sustentabilidad de este sector acuífero. La DGA puede también alzar la condición de área de restricción o zona de prohibición en aquellos casos en que nuevos estudios demuestren que ya no existen las causales que motivaron la declaración de área de restricción o zona de prohibición. Los motivos bajo los cuales se podría declarar un área de restricción o zona de prohibición se especifican en el "Reglamento sobre normas de exploración y explotación de aguas subterráneas" (BCN, 2013).

Para que un SHAC sea declarado como área de restricción debe cumplirse al menos uno de los siguientes puntos o criterios de sustentabilidad:

- Cuando antecedentes técnicos den cuenta de la existencia de un riesgo de grave descenso de los niveles en una zona del Sector Hidrogeológico de Aprovechamiento Común que pueda afectar la extracción de aguas subterráneas de derechos de aprovechamiento existentes en ella.
- La demanda comprometida sea superior a la recarga de éste, ocasionando riesgo de grave disminución de los niveles del Sector Hidrogeológico de Aprovechamiento Común, con el consiguiente perjuicio de derechos de terceros ya establecidos en él.
- Los estudios técnicos demuestren que la demanda comprometida provocará una reducción superior al cinco por ciento del volumen almacenado, en un plazo de cincuenta años.
- Los estudios técnicos indiquen que la demanda comprometida producirá una afección a los caudales de los cursos de aguas superficiales en más de un diez por ciento del caudal medio mensual asociado al ochenta y cinco por ciento de probabilidad de excedencia, durante seis meses consecutivos.
- Cuando antecedentes técnicos demuestren que el aumento de extracciones en un Sector Hidrogeológico de Aprovechamiento Común afecta la disponibilidad sustentable de otro sector.
- Cuando antecedentes técnicos demuestren que existe riesgo de contaminación por desplazamiento de aguas contaminadas o de la interface agua dulce-salada.

En un SHAC declarado como área de restricción la DGA podrá constituir derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en carácter de provisionales.

Por otro lado, un SHAC puede ser declarado zona de prohibición cuando se hayan constituido derechos de aprovechamiento de aguas que comprometen toda la disponibilidad determinada por la DGA para la constitución de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas, tanto definitivos como provisionales.

Hasta el año 2021 no se contaba con un modelo de simulación hidrogeológico para la cuenca del Salar de Atacama, por lo que la DGA determinaba la oferta hídrica sustentable mediante un análisis conceptual, siendo el más actualizado el desarrollado en el Informe Técnico SDT 339 (DGA, 2013) e Informe Técnico DARH 234 (DGA, 2014a). Este análisis se basa en un balance de agua a escala de SHAC, el cual no permite analizar la totalidad de los criterios

de sustentabilidad descritos. Sin embargo, en el presente estudio queda a disposición un modelo integrado superficial-subterráneo, presentado en el acápite 5.1 de este informe y detallado en el Anexo H (Capítulo 5), el cual se propone como una herramienta complementaria para evaluar la oferta hídrica sustentable y los criterios de sustentabilidad en base a las capacidades del modelo y a las características de la cuenca.

5.4.2.1 Consideraciones, objetivos y alcances

Los criterios de sustentabilidad utilizados por la DGA han sido formulados con el objetivo de estimar, a través de un modelo de simulación, la explotación máxima sustentable de sectores acuíferos sedimentarios en cuencas exorreicas y que presentan una interacción río-acuífero importante. Sin embargo, la cuenca del Salar de Atacama es una cuenca endorreica que confluye al núcleo del salar, por lo que existen procesos relevantes que pueden afectar la sustentabilidad del sistema subterráneo que no han sido considerados a la hora de definir los criterios para cuencas exorreicas. En la cuenca del Salar de Atacama existen ecosistemas, como las lagunas y humedales (ver acápite 2.3), que dependen fuertemente del sistema subterráneo, tanto en niveles como en concentración de solutos. Es por esto por lo que se deben definir criterios de sustentabilidad complementarios que velen por que se mantenga un balance sustentable (para las personas y los ecosistemas) de las entradas y salidas al sistema subterráneo. Estos criterios deberían apoyarse también en otros instrumentos, como lo son los PAT-PC y PAT-SEIA (ver acápite 2.6.3.2 y CORFO-PUC, 2021). La necesidad de estos criterios de sustentabilidad complementarios corresponde a una brecha asociada a la comprensión de los sistemas biofísicos de la cuenca.

Los cambios en las entradas y salidas de salmuera o agua en el SHAC N y N1 no se deben obviar, sino que deben ser considerados al momento de analizar escenarios de simulación. Debido a que la salmuera y agua coexisten de forma estrecha y se relacionan mediante la dinámica existente en la interfaz salina, el sistema subterráneo debe ser evaluado como un sistema integrado y no como dos sistemas independientes que no interactúan (CORFO-AMPHOS21, 2021; CORFO-PUC, 2021).

Para definir criterios de la mejor manera posible es necesario complementar con estudios que relacionen los cambios físicos del sistema con los efectos que estos cambios tienen sobre los ecosistemas. Definir umbrales en niveles freáticos permite restringir cambios significativos en el sistema, sin embargo, estos no son indicativos del estrés hídrico o niveles de salinidad a los que están expuestos los ecosistemas ni de los cambios que estos pueden resistir, considerando las proyecciones climáticas existentes para la cuenca. Esta relación entre cambios físicos y efectos en los ecosistemas de la cuenca es una brecha relevante para la definición y evaluación de la sustentabilidad del sistema subterráneo.

5.4.2.2 Herramientas para la toma de decisión

El modelo de simulación generado en este estudio (ver acápite 5.1.1) es una herramienta actualizada que permite evaluar el balance hídrico superficial y subterráneo de la cuenca del Salar de Atacama junto a los cambios en el estrés hídrico de los sistemas superficiales y en las variables físicas del sistema subterráneo. Dentro de las variables físicas del sistema subterráneo que el modelo de simulación permite evaluar se encuentra el volumen almacenado, niveles freáticos, concentración de solutos en sectores relevantes y desplazamiento de la interfaz salina. Sin embargo, deben considerarse las limitaciones del

modelo de simulación asociadas a la disponibilidad de información para validar los resultados de este (ver brechas asociadas al modelo de simulación en el acápite 5.3.2) y a que, al ser el modelo una representación a escala regional y no local, sus resultados deben evaluarse en términos de tendencias (las limitaciones del modelo se resumen en el acápite 5.1.1 de este informe y se detallan en el Capítulo 7 del Anexo H). Esto no implica que los resultados del modelo no sean representativos, sino que, en los sectores donde existe poca información, se deben contrastar los resultados con nueva información recopilada en terreno.

Por su parte, los ecosistemas relevantes de la cuenca y los puntos de extracción de aguas subterráneas para consumo humano se encuentran dentro del dominio de modelación del sistema subterráneo incorporado en el modelo de simulación. Adicionalmente, debido a que la herramienta permite evaluar las variables presentadas en el párrafo anterior, esta permitiría evaluar los criterios de sustentabilidad existentes, a excepción del criterio asociado a la afección a la interacción río-acuífero. El criterio asociado a la afección a la interacción río-acuífero no es evaluable con el modelo de simulación debido a que la interacción río-acuífero no es un proceso relevante en magnitud dentro de los otros procesos que ocurren en la cuenca, por lo que la conceptualización del modelo no requirió considerar la existencia de ríos por sobre la zona que se desarrolla el acuífero.

Sin perjuicio de lo anterior, para definir criterios de sustentabilidad complementarios a los existentes se sugiere considerar al menos las siguientes variables físicas que el modelo es capaz de evaluar: 1) estrés hídrico de cultivos y ecosistemas de interés (en términos de la evapotranspiración actual y potencial), 2) volumen almacenado en el sistema subterráneo, 3) niveles piezométricos, 4) concentración de solutos en sectores relevantes y 5) desplazamiento de la interfaz salina.

5.5 ESCENARIOS DE GESTIÓN ESPECÍFICOS

En este acápite se presentan los escenarios de gestión específicos, en los cuales se evaluó en el modelo de simulación la mejora en la satisfacción de necesidades de agua potable mediante mejoras en el abastecimiento de agua potable y de la evapotranspiración de cultivos mediante mejoras en la eficiencia de riego. El escenario base utilizado para realizar esta evaluación corresponde al escenario más crítico de los indicados en el acápite 5.2.2: Seco Alta demanda. Este escenario es el que ejerció mayor presión sobre el sistema, al ser una combinación entre una proyección climática en que las precipitaciones disminuyen y la demanda para uso humano y uso agrícola aumentan hacia el futuro.

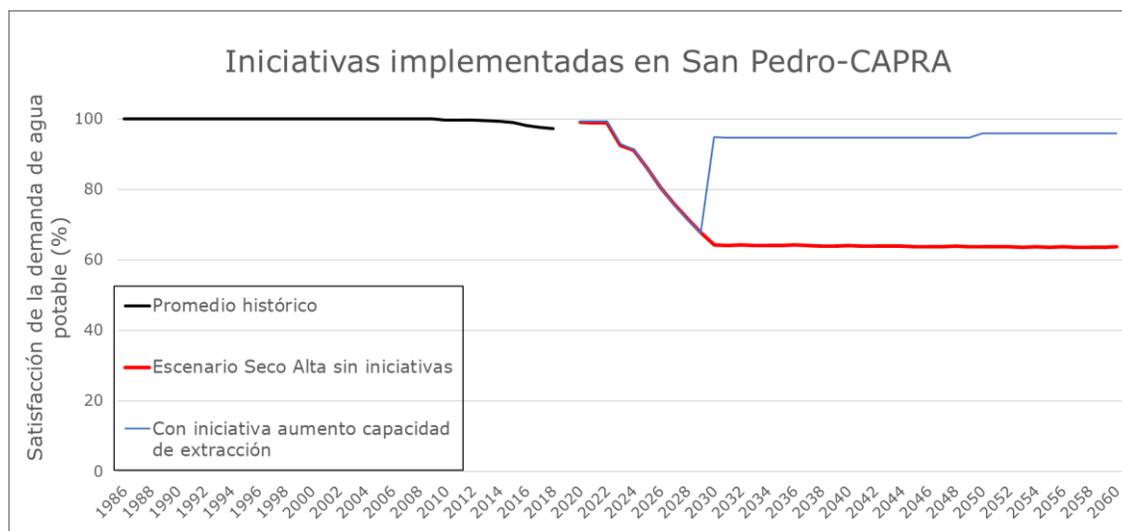
5.5.1 Escenario de gestión 1: Mejoras en el abastecimiento de agua potable

El primer escenario de gestión tiene relación con iniciativas que permitan mejorar la satisfacción de las necesidades de agua potable. En este escenario se consideró un aumento de la capacidad de extracción actual de CAPRA de 80 l/s a 130 l/s desde el año 2030, y 160 l/s desde el año 2050.

5.5.1.1 Resultados escenario de gestión 1

En la Figura 5-23 se presenta la satisfacción de las necesidades de agua potable en San Pedro-CAPRA en el escenario histórico, en el escenario futuro de base (seco alta demanda)

y en el escenario de gestión donde se aumentó la capacidad de extracción al doble desde el año 2030²⁹. Los resultados muestran que el aumento de la demanda de agua para uso humano genera que, incluso, en la actualidad CAPRA no tiene la capacidad de cubrir el 100% de la demanda. Esto se ve perjudicado aún más en el escenario de alta demanda, donde la proyección de turistas es mayor. A pesar de que la acción contempla un aumento de la capacidad al doble de lo que actualmente extrae, esta no es suficiente para cubrir el 100% la demanda futura. Estos resultados indican que se deben considerar acciones complementarias, como, por ejemplo, un plan de mejoras en la eficacia en la red de distribución y/o un plan de educación al turista que implique dar a conocer que el recurso es limitado y que debe ser cuidado.



Fuente: Elaboración propia

Figura 5–23: Satisfacción de la demanda de agua potable bajo escenario de gestión específico.

5.5.2 Escenario de gestión 2: Mejoras en la eficiencia de riego y ampliación de tranque

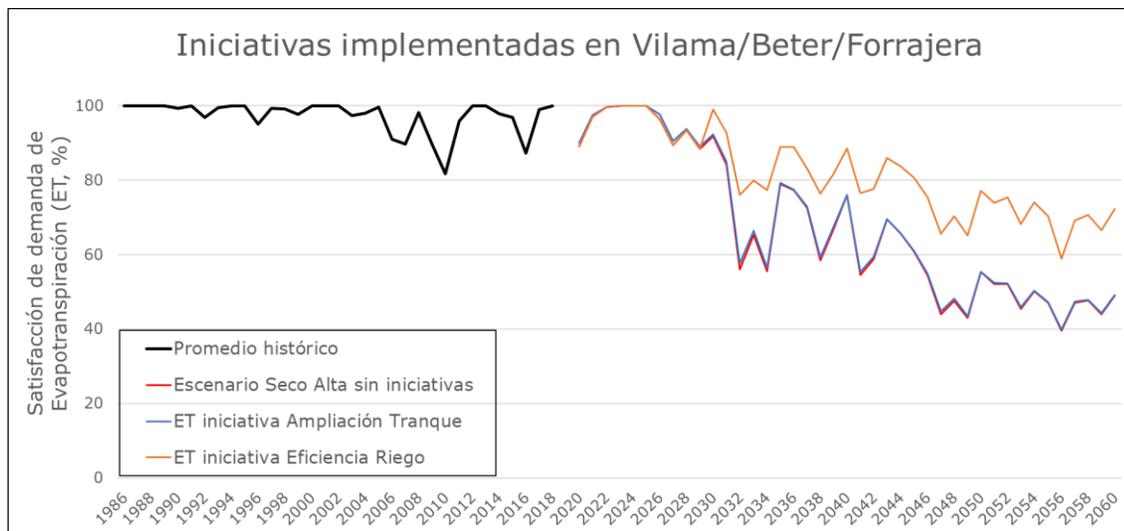
El segundo escenario de gestión tiene relación con iniciativas que apuntan a mejorar la satisfacción de la demanda de evapotranspiración a través de cambios en el sistema de riego utilizado. En este caso particular, se implementó la transición de riego por tendido a riego tecnificado como riego por aspersión (a partir del año 2030) en plantas forrajeras (este cultivo se seleccionó debido a que es el que posee mayor superficie en la localidad de Vilama) y la ampliación del tranque acumulador presente en Vilama (iniciando la capacidad del tranque con 1.500 m³ hasta el año 2020, aumentando a 15.000 m³ en el periodo 2020-2050, y un segundo aumento a 30.000 m³ en el periodo 2050-2060).

5.5.2.1 Resultados escenario de gestión 2

En la Figura 5–24 se presenta la satisfacción de la evapotranspiración de un cultivo representativo en el escenario histórico, en el escenario futuro de base (seco alta demanda) y en el escenario de gestión. Los resultados muestran que el aplicar mejoras en la eficiencia

²⁹ Explorar esta alternativa junto con un plan de mejoras en eficacia en la red de distribución, apuntaría a aumentar aún más el porcentaje de satisfacción de demanda.

de riego aumenta el porcentaje de satisfacción de evapotranspiración del cultivo plantas forrajeras comparado al escenario base. Sin embargo, al igual que en el escenario base, los resultados del escenario de gestión muestran una disminución de la satisfacción, llegando a alrededor de un 70% al año 2060 (el escenario base disminuye hasta un valor de aproximadamente 45% al año 2060). En el caso de la iniciativa de ampliación del tranque, la escala temporal del modelo no logró capturar el beneficio de este, siendo la limitante principal el caudal disponible para realizar la extracción que tiene por derecho de aprovechamiento. Esto se puede ver, ya que incluso en el periodo histórico, la satisfacción de la demanda del cultivo no está cubierta completamente, habiendo periodos en que esta incluso baja del 80%. Ambas iniciativas fueron evaluadas de manera independiente, por lo que aplicando ambas iniciativas de manera simultánea podría permitir disminuir esta brecha de satisfacción.



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-24: Satisfacción de la demanda de la evapotranspiración de un cultivo (plantas forrajeras) bajo escenarios de gestión específicos.

CAPÍTULO 6 ACCIONES

En el presente capítulo se presentan los principales ejes de soluciones a las necesidades y brechas identificados en los diferentes procesos dentro del marco del estudio, además de las acciones identificadas en el diagnóstico del Capítulo 2 al Capítulo 5.

El procedimiento para la conformación de la estrategia y diseño del plan en la cuenca del Salar de Atacama consta de cuatro principales etapas: 1) Definición de necesidades y acciones; 2) Construcción de listado inicial de acciones (Capítulo 2 al Capítulo 5); 3) Validación y discusión de acciones propuestas; y 4) Reorganización, priorización y consolidación a través de criterio experto (ver detalles en Anexo F, acápite 6.2). Las etapas 1 y 2 se presentan en este capítulo, mientras que las etapas 3 y 4 se presentan en el Capítulo 7.

6.1 OBJETIVOS Y DESEMPEÑO

Se definen los objetivos y desempeños de los diferentes actores, diagnóstico del estado de la información, instituciones e infraestructura, y brechas que se identifican de los resultados preliminares del modelo, lo cual se obtiene principalmente a través de las reuniones de levantamiento de información (acápites 2.6.2.4) y los talleres que se desarrollaron en ellas.

Como resultado de los talleres con los principales actores, se establecen las dimensiones de desempeño esperado en la cuenca del Salar de Atacama, como se observa en la Figura 6-1.



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-1: Dimensiones de objetivos y desempeños del diseño del plan.

6.2 LISTADO INICIAL DE ACCIONES

A partir del diseño del plan se construye un listado inicial de acciones, el cual se genera también a partir de los talleres presenciales y virtuales de levantamiento de información (acápites 2.6.2.4) con actores de la cuenca, además de otras fuentes como acciones en desarrollo por Municipalidad de San Pedro de Atacama (DIMAO), estudios de CNR y DOH. El listado se presenta en los siguientes acápite.

6.2.1 Seguridad Hídrica

Los objetivos y desempeños identificados para la Seguridad Hídrica durante los diferentes procesos de este estudio, se describe como la confiabilidad de suministro de agua para diferentes componentes del sistema de la cuenca del Salar de Atacama. A continuación, se presentan aquellos componentes.

6.2.1.1 Agua Potable

El objetivo y desempeño para la Seguridad Hídrica para Agua Potable se describe como la confiabilidad en el suministro de agua potable actual y para futuras generaciones, tanto en cantidad como en calidad del recurso hídrico, debido principalmente al crecimiento poblacional y de demanda de agua potable, especialmente asociado a la actividad turística dentro de la cuenca.

En la Tabla 6-1 se muestran las diferentes acciones iniciales sobre Seguridad Hídrica para Agua Potable, las cuales ayudan a cumplir con el desempeño de esta dimensión del diseño del plan.

Tabla 6-1: Listado inicial de acciones de Seguridad Hídrica para Agua Potable.

Agua Potable	
Desempeño	Acciones
Confiabilidad en el suministro de agua potable	Implementar y mejorar Plantas de Tratamiento de Agua Potable para comunidades
	Mejora PTAP San Pedro de Atacama
	Nueva fuente para PTAP Río Grande
	Incorporar infraestructura de almacenamiento, contención, captación
	Reducción de pérdidas intradomiciliarias
	Nuevas tecnologías y sistema de tratamiento de aguas grises y negras
	Optimización del uso del agua en el consumo humano a través de técnicas y tecnologías
	Sistema de filtros para agua potable
	Estudio de capacidad de carga turística
	Estudio para identificación de lugares con mayor contaminación de aguas arriba
	Profesionalizar el sistema de CAPRA
	Regularización de consumo de agua asociado a actividad turística
	Captura de evaporación de piscinas de salmuera
Desalinización de agua de mar a San Pedro	

Fuente: Elaboración propia

6.2.1.2 Riego

El objetivo y desempeño para la Seguridad Hídrica para Riego se describe como la confiabilidad en el suministro de agua para la agricultura, tanto en cantidad como en calidad del recurso hídrico, para potenciar la producción y el desarrollo. Esto permitiría instaurar a la agricultura como eje de desarrollo económico y sociocultural dentro de la cuenca, incentivando la economía agraria local y la exploración de nuevos cultivos para abarcar más

productos en el mercado, sin dejar de lado la adaptación de cultivos frente al Cambio Climático y la protección de zonas agrícolas vulnerables ante eventos extremos.

En la Tabla 6–2 se muestran las diferentes acciones iniciales sobre Seguridad Hídrica para Riego, las cuales ayudan a cumplir con el desempeño de esta dimensión del diseño del plan.

Tabla 6–2: Listado inicial de acciones de Seguridad Hídrica para Riego.

Riego	
Desempeño	Acciones
Confiabilidad en el suministro de agua para la agricultura	Evaluar desarrollo planta de tratamiento de aguas grises para riego
	Nuevas fuentes de agua (cambio de captaciones)
	Incorporar infraestructura de almacenamiento, contención, captación
	Mejorar infraestructura de riego y canales
	Modernizar el sistema de control y monitoreo de distribución de agua
	Implementación de tecnología de adsorción para mejorar calidad de agua para regadío
	Estudio, implementación y capacitación de nuevas tecnologías de riego para una agricultura sostenible (invernaderos y riego tecnificado, entre otras)
	Optimización del uso del agua en la agricultura a través de técnicas y tecnologías
	Planificación para el desarrollo agro-cultural
	Resoluciones sanitarias para cultivos y mataderos
Banco de semillas	

Fuente: Elaboración propia

6.2.1.3 Protección de Ecosistemas

El objetivo y desempeño para la Seguridad Hídrica para protección de ecosistemas se describe como la conservación y restauración de los ecosistemas nativos, con énfasis en bofedales, humedales y sistemas lagunares.

En la Tabla 6–3 se muestran las diferentes acciones iniciales sobre Seguridad Hídrica para protección de ecosistemas, las cuales ayudan a cumplir con el desempeño de esta dimensión del diseño del plan.

Tabla 6–3: Listado inicial de acciones de Seguridad Hídrica para Protección de Ecosistemas.

Protección de Ecosistemas	
Desempeño	Acciones
Conservación y restauración de los ecosistemas nativos	Revisión de planes de alerta temprana
	Revisión de compromisos ambientales de RCA
	Rotación del ganado (masa ganadera) Veranal-Invernal
	Forestación con especies nativas
	Actualizar información sobre el estado de salud hídrica y ecosistémica de vegas y bofedales
	Mediciones de los sistemas lagunares y censos comparativos de fauna de hábitat lacustre

Protección de Ecosistemas	
Desempeño	Acciones
	PAT conjunto entre usuarios de RRHH
	Implementación de áreas protegidas para cuerpos de agua y SVAH
	Tratamiento terciario de las PTAS a nivel nacional
	Forestación de especies nativas como medida de control ante eventos extremos

Fuente: Elaboración propia

6.2.2 Monitoreo y Conocimiento de la cuenca

El objetivo y desempeño para el monitoreo y conocimiento de la cuenca se identifica como la comprensión ampliada y compartida del ciclo hidrológico, de sistemas biofísicos y socioambientales dentro de la cuenca. Junto a:

- Porcentaje adecuado de cobertura de medición de recursos hídricos superficiales y subterráneos.
- Información para conectar piezas claves entre la escala regional y local.
- Incorporar educación en materia de recursos hídricos y uso del agua.

En la Tabla 6-4 se muestran las diferentes acciones iniciales sobre monitoreo y conocimiento de la cuenca, las cuales ayudan a cumplir con el desempeño de esta dimensión del diseño del plan.

Tabla 6-4: Listado inicial de acciones de Monitoreo y Conocimiento de la cuenca.

Monitoreo y Conocimiento	
Desempeño	Acciones
Necesidad de mejorar la comprensión del ciclo hidrológico y sistemas biofísicos y socioambientales	Sistema de monitoreo participativo de: extracciones efectivas de agua y salmuera; y componentes bióticas de sistemas lagunares
	Ampliar red de monitoreo
	Fortalecer y complementar red de monitoreo de estaciones meteorológicas
	Fortalecer y complementar red de monitoreo de estaciones fluviométricas
	Asesoría y capacitación a comunidades sobre contingencias ambientales y comportamiento aguas subterráneas
	Capacitación y asesoría sobre comportamiento de las aguas subterráneas (efecto de extracciones al largo plazo) y contingencias ambientales en el territorio
	Educación ambiental a ciudadanía (uso eficiente del agua)

Fuente: Elaboración propia

6.2.3 Gobernanza y proceso de toma de decisiones

El objetivo y desempeño para la gobernanza y el proceso de toma de decisiones es la integración institucional/normativa y gobernanza participativa, que convoque a todos los actores a una gestión integrada a nivel de cuenca, con una planificación estratégica y sustentable del recurso hídrico. Implementar de manera coordinada la gestión de recursos hídricos con la gestión de riesgos ocasionados por eventos extremos, debido a que se han

presentado daños a infraestructura pública y privada dentro de la cuenca ocasionados por estos eventos extremos.

En la Tabla 6-5 se muestran las diferentes acciones iniciales sobre gobernanza y proceso de toma de decisiones, las cuales ayudan a cumplir con el desempeño de esta dimensión del diseño del plan.

Tabla 6-5: Listado inicial de acciones de Gobernanza y proceso de toma de decisiones.

Gobernanza	
Desempeño	Acciones
Integración institucional/normativa y gobernanza participativa a nivel de cuenca	Mesa de gobernanza hídrica compuesta por todos los actores
	Incrementar participación de las comunidades en el desarrollo de acciones y proyectos
	Plan unificado entre actores para un desarrollo a escala de cuenca
	Evaluar tratamiento de salmuera como recurso hídrico
	Evaluar prohibición de entrega de nuevos DAA incluyendo consulta a comunidades
	Desarrollar Normas Secundarias de Calidad de Agua en la cuenca
	Fortalecer organizaciones de usuarios de agua
	Evaluar la equidad en el acceso y el uso del recurso hídrico
	Plan progresivo de disminución de la extracción de agua subterránea y superficial, así como de salmuera
	Capacitación (fortalecimiento capital humano)
Crear un ente aparte fiscalizador	

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 7 CARTERA DE INICIATIVAS PROPUESTAS

El presente capítulo entrega la cartera de iniciativas para el Plan Estratégico de Gestión Hídrica de la cuenca del Salar de Atacama. Esta cartera presenta los diferentes componentes de cada iniciativa propuesta, junto con su respectiva evaluación económica.

Durante el diseño del plan, se generó una validación y discusión de las iniciativas propuestas, las cuales se produjeron en el contexto de las reuniones de validación del plan de acción y resultados preliminares de la modelación, esto a través de talleres tanto presenciales como virtuales. En ese sentido fue necesario definir los ejes de acción del plan, los cuales se presentan en los siguientes acápite.

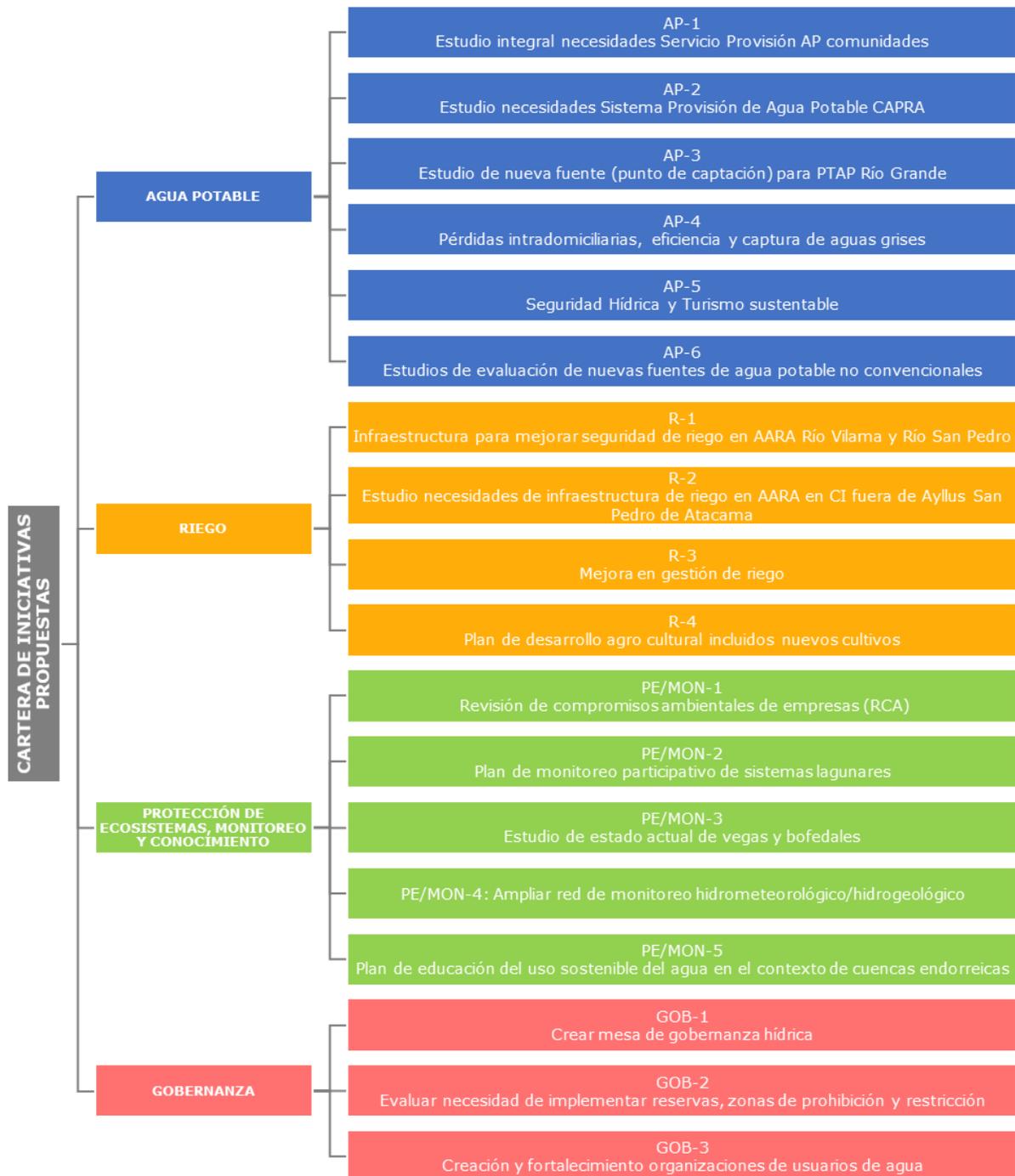
Antes de presentar las iniciativas propuestas a los actores para su validación y discusión, fue necesario realizar una depuración de las acciones para luego generar esta cartera de iniciativas propuestas. Esta depuración implicó 3 pasos.

1. Se eliminaron acciones que no apuntan a solucionar las problemáticas y brechas identificadas durante el proceso de participación ciudadana.
2. Se detallaron y complementaron acciones que en una primera instancia no presentan suficiente información para poder armar su ficha resumen de iniciativa.
3. Se acoplaron acciones que tienen líneas de acción similares o complementarias entre ellas.

Luego de esta depuración, se procedió a construir cada una de las fichas de las iniciativas propuestas para el plan de acción. Estas se presentan en el siguiente acápite.

Cabe señalar que el componente de Protección de Ecosistema se presenta junto a la dimensión de Monitoreo y Conocimiento, dado que las iniciativas comparten objetivos y sinergias.

La Figura 7-1 muestra en resumen las iniciativas propuestas analizada por cada uno de los ejes de acción del plan.



Fuente: Elaboración propia

Figura 7-1: Diagrama de iniciativas propuestas y analizadas.

Estas iniciativas propuestas y analizadas apuntan a disminuir las diferentes brechas identificadas en el diagnóstico, las cuales se presentan en los capítulos anteriores (Capítulo 2 al Capítulo 5). La Tabla 7-1 muestra el cruce entre las brechas identificadas y las iniciativas propuestas.

Tabla 7-1: Listado de brechas identificadas en el diagnóstico y las iniciativas relacionadas.

Acápites donde se identifica la brecha	Brecha identificada	Iniciativa
2.3.2 Glaciares	En la actualidad no se presenta información ni estudios específicos sobre los glaciares presentes en la cuenca del Salar de Atacama.	PE/MON-2: Plan de monitoreo participativo de sistemas lagunares.
2.4.2 Red hidrométrica	No se cuenta con registros de catastro de glaciares ni puntos de monitoreo de nieve en la cuenca del Salar de Atacama.	PE/MON-4: Ampliar red de monitoreo hidrometeorológico/hidrogeológico.
2.6.3 Brechas de coordinación	Brechas en instrumentos de planificación y coordinación interinstitucional, coordinación de organismos usuarios de agua y coordinación en gestión de los recursos hídricos.	GOB-1: Crear mesa de gobernanza hídrica. GOB-3: Creación y fortalecimiento organizaciones de usuarios de agua.
2.6.4.4 ii. b) Consumo de agua potable para la población residente y flujo de turistas	Brechas de información respecto a las tasas de consumo de agua potable por parte de la población que reside de manera permanente y temporal en la cuenca, además de mejorar la caracterización del flujo de visitantes asociados a la actividad turística en la cuenca.	AP-1: Estudio integral necesidades Servicio Provisión AP comunidades. AP-2: Estudio necesidades Sistema Provisión de Agua Potable CAPRA. AP-5: Seguridad Hídrica y Turismo sustentable. R-2: Estudio necesidades de infraestructura de riego en AARA en CI fuera de Ayllus San Pedro de Atacama.
2.6.4.4 iv. a) Información de sistemas lagunares	Se desconoce el funcionamiento y evolución en el tiempo de los sistemas lagunares, además de su valor ecosistémico y de especies nativas. Se desconoce también el impacto y consecuencias que pueda generar en la biota la disminución o movimiento de la cuña salina.	PE/MON-2: Plan de monitoreo participativo de sistemas lagunares.
2.6.4.4 iv. b) Información del estado de vegas y bofedales	Se desconoce acerca de la salud hídrica y ecosistémica de vegas y bofedales en la cuenca, además de la respuesta que puede tener el medio biótico ante cambios en la disponibilidad de recursos hídricos.	PE/MON-3: Estudio de estado actual de vegas y bofedales según funcionamiento hídrico e hidrogeológico en sectores de acuíferos.
2.6.4.4 iv. c) Sistema integral de información en línea	Existen datos, información y registros de monitoreo paralelo entre entes públicos y privados, lo que genera dificultad y desconfianza al momento de consultar esta información.	PE/MON-2: Plan de monitoreo participativo de sistemas lagunares. PE/MON-3: Estudio de estado actual de vegas y bofedales según funcionamiento hídrico e hidrogeológico en sectores de acuíferos. PE/MON-4: Ampliar red de monitoreo hidrometeorológico/hidrogeológico.
3.2.1 Consideración de sistemas protegidos:	No se identificaron estudios que permitan cuantificar las necesidades mínimas para que la vegetación natural persista ni el	PE/MON-1: Revisión de compromisos ambientales de empresas (RCA).

Acápito donde se identifica la brecha	Brecha identificada	Iniciativa
necesidades mínimas de la vegetación natural	efecto que los cambios en las variables físicas del sistema hídrico (niveles freáticos, salinidad u otros) tienen sobre esta.	PE/MON-3: Estudio de estado actual de vegas y bofedales según funcionamiento hídrico e hidrogeológico en sectores de acuíferos.
4.1.1.3iii Decretos de reserva	No existen reservas de caudales en la cuenca del Salar de Atacama.	GOB-2: Evaluar necesidad de implementar reservas, áreas de restricción y zonas de prohibición.
4.1.4.2 Fuentes de contaminación	No existe una Norma Secundaria de Calidad Ambiental para aguas superficiales dentro de la cuenca del Salar de Atacama.	AP-1: Estudio integral necesidades Servicio Provisión AP comunidades. R-4: Plan de desarrollo agro cultural incluidos nuevos cultivos.
4.2.1.3ii Areas de restricción y zonas de prohibición	Se recomienda a la DGA evaluar la pertinencia de actualizar el análisis de la oferta hídrica sustentable, presentado en el Informe Técnico SDT 339 e Informe Técnico DARH 234.	GOB-2: Evaluar necesidad de implementar reservas, áreas de restricción y zonas de prohibición.
5.3.1 Brecha hídrica	A partir de los resultados del modelo, poblado de Peine, Camar y Río Grande deberían explorar nuevas fuentes de abastecimiento de agua. Por otro lado, para el poblado de Socaire no hay información respecto al consumo real de agua.	AP-1: Estudio integral necesidades Servicio Provisión Agua Potable Comunidades. AP-3: Estudio de nueva fuente (punto de captación) para Planta de Tratamiento de Agua Potable Río Grande.
	Aumento en la brecha hídrica proyectada producto de la restricción en la capacidad de extracción de CAPRA y al crecimiento de la población/turismo.	AP-2: Estudio necesidades Sistema Provisión de Agua Potable CAPRA. AP-5: Seguridad Hídrica y Turismo sustentable.
	Se proyecta un aumento en la brecha hídrica de forma transversal, la cual debe abordarse de forma estratégica para satisfacer las necesidades de agua potable en la cuenca.	AP-4: Pérdidas intradomiciliarias, eficiencia y captura de aguas grises. AP-6: Estudios de evaluación de nuevas fuentes de agua potable no convencionales.
	Hay y se proyecta un aumento en la brecha en la cobertura del derecho en canales para las Asociaciones de Regantes y Agricultores.	R-1: Infraestructura para mejorar la seguridad de riego en AARA río Vilama y río San Pedro. R-2: Estudio necesidades de infraestructura de riego en ARA en C.I. fuera de Ayllus San Pedro de Atacama.
	Hay y se proyecta un aumento en la brecha en la satisfacción de necesidades de evapotranspiración de cultivos.	R-1: Infraestructura para mejorar la seguridad de riego en AARA río Vilama y río San Pedro. R-2: Estudio necesidades de infraestructura de riego en ARA en C.I. fuera de Ayllus San Pedro de Atacama.
5.3.2 Brechas del modelo de simulación	Brechas de información disponible para la construcción y validación del modelo acoplado.	PE/MON-4: Ampliar red de monitoreo hidrometeorológico/hidrogeológico. GOB-1: Crear mesa de gobernanza hídrica.
	Brecha de información de fuentes de abastecimiento de agua potable e información del consumo.	AP-1: Estudio integral necesidades Servicio Provisión Agua Potable Comunidades.

Acápito donde se identifica la brecha	Brecha identificada	Iniciativa
	Brecha de conocimiento respecto a la relación entre las variables físicas y el estado de los ecosistemas de interés de la cuenca del Salar de Atacama.	PE/MON-2: Plan de monitoreo participativo de sistemas lagunares. PE/MON-3: Estudio de estado actual de vegas y bofedales según funcionamiento hídrico e hidrogeológico en sectores de acuíferos.
	Actualización y revisión del modelo acoplado.	GOB-1: Crear mesa de gobernanza hídrica.
	No existe un modelo o escenario en régimen natural o sin demandas ni intervenciones. La definición de escenarios de cambio climático debe considerar la heterogeneidad espacial y la variabilidad temporal de las variables climáticas.	GOB-1: Crear mesa de gobernanza hídrica. GOB-2: Evaluar necesidad de implementar reservas, áreas de restricción y zonas de prohibición.
5.4.1.3 Oferta hídrica sustentable y caudal ecológico	Los resultados de la oferta hídrica muestran que en el período histórico y en los escenarios proyectados el caudal de probabilidad de excedencia de 85% (Q85%) no logra suplir los derechos existentes, resultando en un saldo negativo en la totalidad de los meses.	R-1: Infraestructura para mejorar seguridad de riego en AARA río Vilama y río San Pedro.
5.4.2.1 Consideraciones, objetivos y alcances	Los criterios de sustentabilidad existentes no fueron elaborados pensando en cuencas como la del Salar de Atacama, sino que para cuencas exorreicas.	GOB-2: Evaluar necesidad de implementar reservas, áreas de restricción y zonas de prohibición.
	No hay estudios que relacionen los cambios físicos del sistema con los efectos que estos cambios tienen sobre los ecosistemas.	PE/MON-1: Revisión de compromisos ambientales de empresas (RCA). PE/MON-2: Plan de monitoreo participativo de sistemas lagunares.

Fuente: Elaboración propia

7.1 AGUA POTABLE (AP)

Las iniciativas de Seguridad Hídrica para agua potable pertenecientes a la cartera de iniciativas propuesta, junto con sus contenidos y etapas se presentan de forma preliminar en la Tabla 7-2. Luego, de la Tabla 7-3 a la Tabla 7-8 se presentan las Fichas de las iniciativas de Agua Potable en mayor detalle.

Tabla 7-2: Listado de iniciativas propuestas de Seguridad Hídrica para Agua Potable.

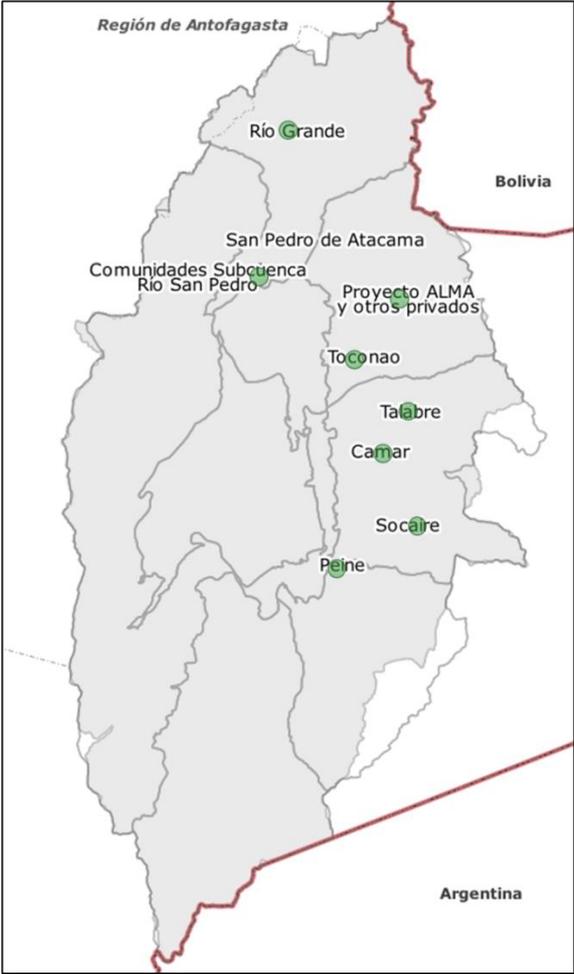
N°	Nombre de iniciativa	Contenidos/Etapas
AP-1	Estudio integral necesidades Servicio Provisión AP comunidades	Infraestructura de almacenamiento, tratamiento, conducción y distribución de agua potable

N°	Nombre de iniciativa	Contenidos/Etapas
		Estudio para identificar restricciones de calidad de agua en fuentes de agua superficial Instalación de sistema de filtros para agua potable en Toconao y Socaire Tratamiento de aguas servidas
AP-2	Estudio necesidades Sistema Provisión de Agua Potable CAPRA	Infraestructura de almacenamiento, tratamiento, conducción y distribución de agua potable Profesionalizar el sistema de CAPRA Tratamiento de aguas servidas
AP-3	Estudio de nueva fuente (punto de captación) para PTAP Río Grande	
AP-4	Pérdidas intradomiciliarias, eficiencia y captura de aguas grises	Promover tecnologías uso eficiente del agua Reducción de pérdidas intradomiciliarias Evaluar uso de tecnologías de tratamiento de aguas grises
AP-5	Seguridad Hídrica y Turismo sustentable	Estudio Huella Hídrica y su proyección Evaluar medidas (ordenanzas) para uso adecuado de agua Acuerdo de Producción Limpia (APL) Turístico
AP-6	Estudios de evaluación de nuevas fuentes de agua potable no convencionales	Llevar agua desalinizada (proveniente de mar) a cuenca Salar de Atacama Captura de evaporación de piscinas la salmuera de mineras

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-3: Ficha resumen iniciativa N° AP-1.

Código Ficha	AP-1
Nombre de la iniciativa	Estudio integral necesidades Servicio Provisión AP comunidades.
Desempeño	Confiabilidad en el suministro de agua potable.
Descripción	Desarrollar estudio que identifique las necesidades y potenciales acciones sobre el servicio de provisión de agua potable a las comunidades de la cuenca del Salar de Atacama, excluyendo San Pedro de Atacama - CAPRA. Este estudio tiene un carácter integral entre las diferentes etapas en el abastecimiento de agua potable, como en la captación, almacenamiento, tratamiento, conducción, distribución y recuperación de agua.
Objetivo	1. Identificar necesidades de servicio de provisión de agua potable dentro de las diferentes comunidades del Salar de Atacama tales como mejoras en la capacidad de almacenamiento, tratamiento del agua, sistema de distribución/conducción y/o recuperación del agua, para así entregar alternativas a las comunidades que no cuentan con un sistema de agua potable adecuado. 2. Diagnosticar, definir y proyectar alternativas técnicas y económicas para las diferentes necesidades en los sistemas de agua potable.
Brecha	Abastecimiento deficiente de agua potable.
Beneficiarios directos	Población habitante en la cuenca del Salar de Atacama.
Relación con políticas y/o cartera de acciones actual	Esta iniciativa guarda relación con las "Ideas de proyecto" presentados en el Plan de Desarrollo Comunal de San Pedro de Atacama, donde se plantea contribuir en la gestión del mejoramiento de plantas de tratamiento de aguas servidas para San Pedro de Atacama (Mapocho Consultores, 2017). Además del Plan Estratégico de gestión de Recursos Hídricos de la región de Antofagasta, donde las iniciativas C4, C6 y C7 plantean: Mejoramiento Sistema APR localidad de Camar, Mejoramiento sistema de agua potable localidad de Talabre y Construcción aducción Quebrada Blanca Socaire, respectivamente (DGA-ARCADIS, 2016).
Requisitos habilitantes y/o comentarios adicionales	Esta iniciativa no se relaciona con los resultados de escenarios de gestión.
Posible fuente de financiación	DOH/CORFO
CAPEX (UF)	0
OPEX (UF)	5.979
Tiempo total de implementación (meses)	15
Horizonte	Corto plazo
Encargado implementación	DOH
Encargado de gestión	DOH
Etapas	1. Elaboración de bases para el estudio y su posterior licitación.

Código Ficha	AP-1
	<p>2. Identificación de: i) Necesidades de abastecimiento de agua potable en comunidades; ii) Nuevas fuentes de agua para el abastecimiento de agua potable; y iii) Requerimientos de mejora en la infraestructura de almacenamiento, tratamiento, distribución/conducción y recuperación.</p> <p>3. Propuestas y evaluación social, económica y ambiental de acciones para satisfacer las necesidades identificadas.</p>
Hitos e indicadores	<p>1. Bases para el estudio completadas.</p> <p>2. Licitación realizada y estudio adjudicado.</p> <p>3. Necesidades, nuevas fuentes y mejoras de infraestructura identificadas.</p> <p>4. Acciones necesarias identificadas y evaluaciones realizadas.</p> <p>5. Estudio finalizado y aprobado.</p>
Origen de la iniciativa	<p>i) Actividades de Participación Ciudadana (Anexo I, Capítulo 5); ii) Brechas de Modelación (Tabla 7-1); iii) Brechas de información (acápites 2.6.4.4); iv) PLADECO San Pedro de Atacama (Mapocho Consultores, 2017) (Anexo J, acápite 5.2); v) Plan Estratégico para la Gestión de los Recursos Hídricos, Región de Antofagasta (DGA-ARCADIS, 2016) (Anexo J, acápite 5.2).</p>
Ubicación de la iniciativa	<div style="text-align: center;">  </div> <p>Nota: Los puntos verdes representan asentamientos humanos donde se requiere llevar a cabo la iniciativa.</p>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-4: Ficha resumen iniciativa N° AP-2.

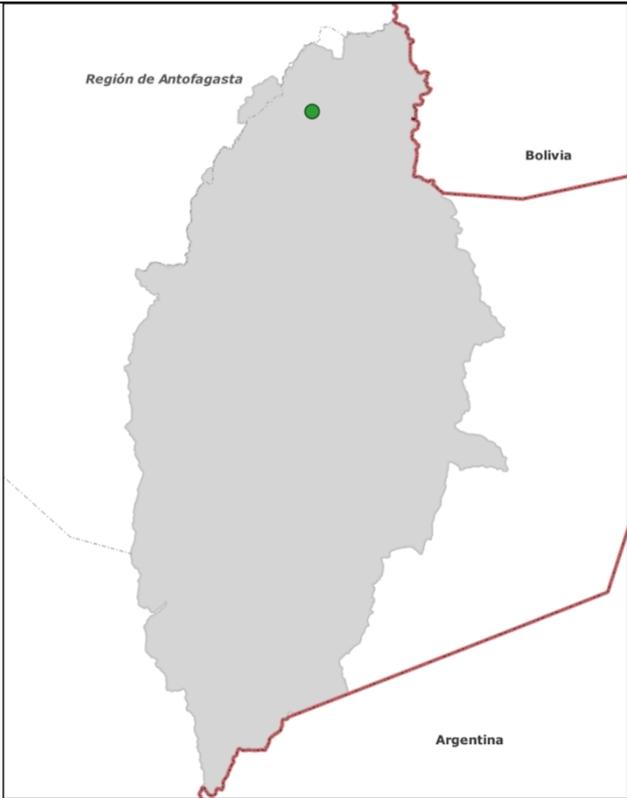
Código Ficha	AP-2
Nombre de la iniciativa	Estudio necesidades Sistema Provisión de Agua Potable CAPRA.
Desempeño	Confiabilidad en el suministro de agua potable.
Descripción	Realizar un estudio que diagnostique los problemas del sistema de provisión de agua potable de CAPRA y del saneamiento de aguas servidas. Este estudio debe abordar las necesidades actuales y para a un horizonte 20 años.
Objetivo	Determinar soluciones al actual sistema de provisión de agua potable de CAPRA para mejorar el caudal requerido por la población por el periodo de previsión de 20 años en San Pedro de Atacama.
Brecha	Abastecimiento deficiente de agua potable en San Pedro de Atacama. Actualmente el sistema no provee un servicio continuo a toda la ciudad. El tratamiento de aguas servidas es deficiente y genera problemas ambientales.
Beneficiarios directos	Población habitante en San Pedro de Atacama y Toconao.
Relación con políticas y/o cartera de acciones actual	Esta iniciativa guarda relación con las "Ideas de proyecto" presentados en el Plan de Desarrollo Comunal de San Pedro de Atacama, donde se plantea contribuir al mejoramiento de la planta de agua potable de San Pedro de Atacama y contribuir en la gestión de la nueva planta de tratamiento de aguas servidas de San Pedro de Atacama (Mapocho Consultores, 2017).
Requisitos habilitantes y/o comentarios adicionales	Esta iniciativa no se relaciona con los resultados de escenarios de gestión.
Posible fuente de financiación	DOH
CAPEX (UF)	0
OPEX (UF)	3.324
Tiempo total de implementación (meses)	9
Horizonte	Corto plazo
Encargado implementación	DOH
Encargado de gestión	DOH
Etapas	1. Elaboración de bases para el estudio y su posterior licitación. 2. Identificación de problemas y necesidades de abastecimiento de agua potable de CAPRA y de saneamiento de PTAS. 3. Propuestas y evaluación social, económica y ambiental de acciones para satisfacer las necesidades identificadas.
Hitos e indicadores	1. Bases para el estudio completadas. 2. Licitación realizada y estudio adjudicado. 3. Problemas y necesidades identificados. 4. Acciones necesarias identificadas y evaluadas. 5. Estudio finalizado y aprobado.
Origen de la iniciativa	i) Actividades de Participación Ciudadana (Anexo I, Capítulo 5); ii) Brechas de Modelación (Tabla 7-1); iii) Brechas de información (acápites 2.6.4.4); iv)

<p>Código Ficha</p>	<p>AP-2</p>
	<p>PLADECO San Pedro de Atacama (Mapocho Consultores, 2017) (Anexo J, acápite 5.2).</p>
<p>Ubicación de la iniciativa</p>	<div style="text-align: center;">  </div> <p>Nota: El punto verde representa la localidad de San Pedro de Atacama.</p>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-5: Ficha resumen iniciativa N° AP-3.

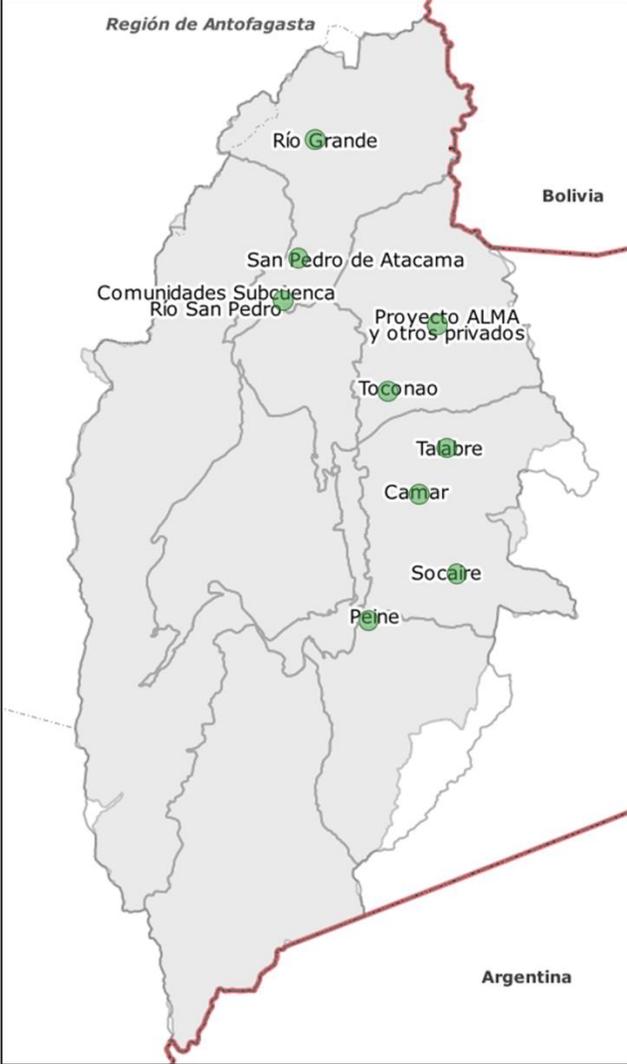
Código Ficha	AP-3
Nombre de la iniciativa	Estudio de nueva fuente (punto de captación) para PTAP Río Grande.
Desempeño	Confiabilidad en el suministro de agua potable.
Descripción	Realizar un estudio para identificar un nuevo punto de captación para la PTAP Río Grande.
Objetivo	Identificar un nuevo punto de captación para abastecer de agua potable de manera permanente y continua a la localidad de Río Grande según sus requerimientos hídricos.
Brecha	En la comunidad de Río Grande existe una planta sin funcionamiento la cual necesita de una nueva fuente de abastecimiento de agua cruda para suministro continuo y seguro de agua potable a los 171 habitantes de la localidad.
Beneficiarios directos	Población habitante de Río Grande.
Relación con políticas y/o cartera de acciones actual	Esta iniciativa se origina a partir de la licitación por parte de la DOH del Estudio Hidrogeológico Localidad de Río Grande.
Requisitos habilitantes y/o comentarios adicionales	No se identifican requisitos habilitantes en esta medida.
Posible fuente de financiación	DOH
CAPEX (UF)	0
OPEX (UF)	824
Tiempo total de implementación (meses)	6
Horizonte	Mediano plazo
Encargado implementación	DOH
Encargado de gestión	DOH
Etapas	1. Elaboración de bases para el estudio y su posterior licitación. 2. Evaluar la factibilidad de tres posibles nuevas fuentes de agua cruda para alimentar la PTAP de la comunidad de Río Grande.
Hitos e indicadores	1. Bases para el estudio completadas. 2. Licitación realizada y estudio adjudicado. 3. Tres posibles fuentes identificadas y evaluadas. 4. Estudio finalizado y aprobado.
Origen de la iniciativa	i) Actividades de Participación Ciudadana (Anexo I, Capítulo 5); ii) Brechas de Modelación (Tabla 7-1); iii) Iniciativas informadas por la DOH Regional.
Ubicación de la iniciativa	

Código Ficha	AP-3	
	 <p data-bbox="490 1035 1136 1066">Nota: El punto verde representa la localidad de Río Grande.</p>	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-6: Ficha resumen iniciativa N° AP-4.

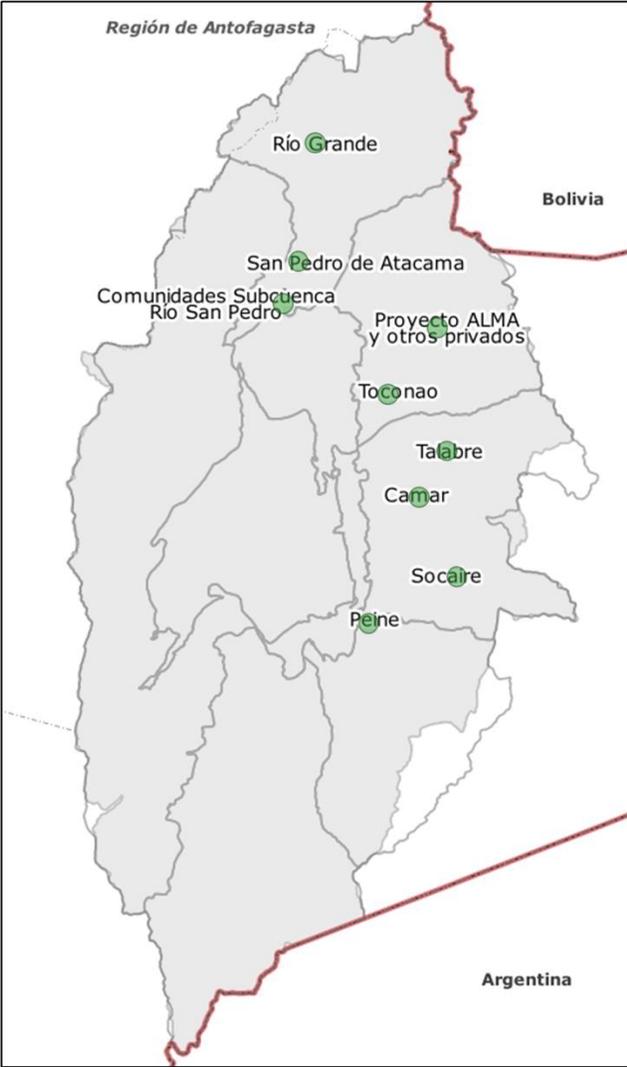
Código Ficha	AP-4
Nombre de la iniciativa	Pérdidas intradomiciliarias, eficiencia y captura de aguas grises.
Desempeño	Confiabilidad en el suministro de agua potable.
Descripción	Desarrollar un programa donde: 1. Se gestione un proceso de fiscalización sobre el estado de cañerías con el fin de evitar pérdidas de agua, de modo de realizar una mantención a aquellas dañadas. 2. Se evalúe el uso de nuevas tecnologías de tratamiento de aguas grises intradomiciliarias para uso doméstico. 3. Se evalúe y promueva el uso de tecnologías que mejoran el uso eficiente del agua en los hogares.
Objetivo	Reducir pérdidas en la conducción intradomiciliaria, aumentar la reutilización de las aguas grises y optimizar el uso intradomiciliario del agua.
Brecha	Deficiente estado de las redes intradomiciliarias, ineficiencia en usos domiciliario y desaprovechamiento de aguas grises. Además, se proyecta un aumento en la brecha hídrica de forma transversal, la cual debe abordarse de forma estratégica para satisfacer las necesidades de agua potable en la cuenca.
Beneficiarios directos	Población habitante en la cuenca del Salar de Atacama.
Relación con políticas y/o cartera de acciones actual	Esta iniciativa guarda relación con las "Ideas de proyecto" presentados en el Plan de Desarrollo Comunal de San Pedro de Atacama, donde se plantea elaborar un programa apoyo técnico para la reutilización y disposición de aguas grises en zonas rurales y urbanas (Mapocho Consultores, 2017).
Requisitos habilitantes y/o comentarios adicionales	No se identifican requisitos habilitantes en esta medida.
Posible fuente de financiación	SISS/Municipalidad
CAPEX (UF)	6.491
OPEX (UF)	8.996
Tiempo total de implementación (meses)	39
Horizonte	Mediano plazo
Encargado implementación	SISS/Municipalidad
Encargado de gestión	SISS/Municipalidad
Etapas	1. Catastro de viviendas pertenecientes a la red de agua potable correspondiente a su comunidad. 2. Identificar lugares que presentan mayor deterioro en el estado de las cañerías. 3. Estudio de evaluación de tecnologías de tratamiento de aguas grises y de mejora en uso eficiente del agua.
Hitos e indicadores	1. Número de viviendas catastradas. 2. Número de sitios identificados con mayor deterioro.

Código Ficha	AP-4
	<p>3. Porcentaje de sitios reparados según el número de sitios identificados. 4. Número de hogares con sistemas de tratamiento de aguas grises u otras tecnologías.</p>
Origen de la iniciativa	<p>i) Actividades de Participación Ciudadana (Anexo I, Capítulo 5); ii) Brechas de Modelación (Tabla 7-1); iii) PLADECO San Pedro de Atacama (Mapocho Consultores, 2017) (Anexo J, acápite 5.2).</p>
Ubicación de la iniciativa	<div style="text-align: center;">  </div> <p data-bbox="493 1528 1435 1583">Nota: Los puntos verdes representan asentamientos humanos donde se requiere llevar a cabo la iniciativa.</p>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-7: Ficha resumen iniciativa N° AP-5.

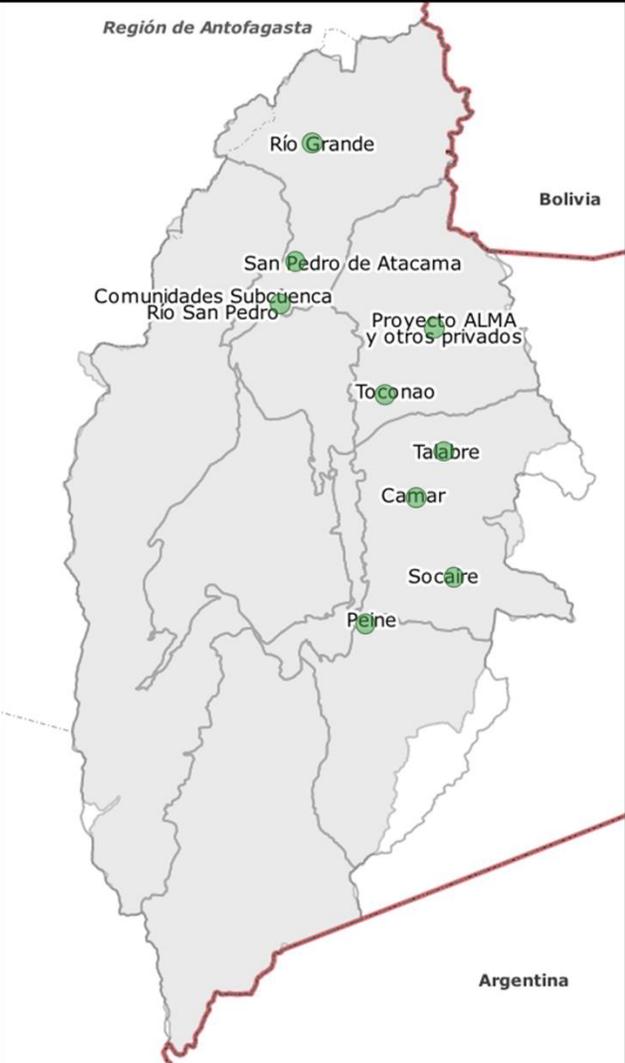
Código Ficha	AP-5
Nombre de la iniciativa	Seguridad Hídrica y Turismo sustentable.
Desempeño	Confiabilidad en el suministro de agua potable.
Descripción	Desarrollar programa de seguridad hídrica y de turismo sustentable dentro de la cuenca del Salar de Atacama. Este programa contempla: 1. Estudio y proyección de Huella Hídrica en la cuenca. 2. Estudio de evaluación de medidas para uso adecuado del agua, como restricciones temporales, uso de artefactos eficiente para hoteles y restaurantes existentes y condicionantes para la entrega de nuevas patentes como exigencia de incorporar sistemas de captura de aguas grises. 3. Implementación de Acuerdo de Producción Limpia (APL) para el rubro turístico en la cuenca.
Objetivo	1. Conocer el consumo de agua y su proyección en la cuenca según cada uno de sus usos. 2. Evaluar diferentes medidas que ayudan al uso adecuado del agua, principalmente para hoteles y restaurantes. 3. Aplicar una producción limpia a través de metas y acciones específicas para el rubro turístico en la cuenca.
Brecha	Desconocimiento del consumo de agua según uso y el impacto del turismo sobre el agua potable y requerimiento de ella para el sector.
Beneficiarios directos	Población residente y flotante en la cuenca del Salar de Atacama.
Relación con políticas y/o cartera de acciones actual	No se reconoce relación con Políticas y/o Cartera de acciones actual.
Requisitos habilitantes y/o comentarios adicionales	Esta iniciativa no se relaciona con los resultados de escenarios de gestión.
Posible fuente de financiación	Gobierno Regional o Provincial/Municipalidad
CAPEX (UF)	0
OPEX (UF)	10.193
Tiempo total de implementación (meses)	15
Horizonte	Corto plazo
Encargado implementación	CORFO/Gobierno Regional o Provincial/Municipalidad
Encargado de gestión	CORFO/Gobierno Regional o Provincial/Municipalidad
Etapas	1. Desarrollar estudio de huella hídrica y su proyección en la cuenca. 2. Desarrollar estudio de evaluación de medidas para uso adecuado del agua. 3. Implementación de APL turístico.
Hitos e indicadores	Porcentaje de los objetivos cumplidos de los estudios y programas.

<p>Código Ficha</p>	<p>AP-5</p>
<p>Origen de la iniciativa</p>	<p>i) Actividades de Participación Ciudadana (Anexo I, Capítulo 5); ii) Brechas de Modelación (Tabla 7-1); iii) Brechas de información (acápite 2.6.4.4); iv) Plan de Acción Región Antofagasta Sector Turismo, 2014-2018 (SERNATUR, 2014) (Anexo J, acápite 5.2).</p>
<p>Ubicación de la iniciativa</p>	<div style="text-align: center;">  </div> <p>Nota: Los puntos verdes representan asentamientos humanos donde se requiere llevar a cabo la iniciativa.</p>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-8: Ficha resumen iniciativa N° AP-6.

Código Ficha	AP-6
Nombre de la iniciativa	Estudios de evaluación de nuevas fuentes de agua potable no convencionales.
Desempeño	Confiabilidad en el suministro de agua potable.
Descripción	Desarrollar estudio de evaluación de alternativas de nuevas fuentes de agua potable no convencionales, tales como desalinización de agua de mar y captura de evaporación de piscinas de salmuera.
Objetivo	Evaluar la factibilidad de alternativas no convencionales de nuevas fuentes de agua en la cuenca del Salar de Atacama.
Brecha	Abastecimiento deficiente de agua potable.
Beneficiarios directos	Población habitante en la cuenca del Salar de Atacama.
Relación con políticas y/o cartera de acciones actual	No se reconoce relación con Políticas y/o Cartera de acciones actual.
Requisitos habilitantes y/o comentarios adicionales	No se identifican requisitos habilitantes en esta medida.
Posible fuente de financiación	CORFO/DGA/Gobierno Regional
CAPEX (UF)	0
OPEX (UF)	7.595
Tiempo total de implementación (meses)	11
Horizonte	Largo plazo
Encargado implementación	CORFO/DGA/Gobierno Regional
Encargado de gestión	CORFO/DGA/Gobierno Regional
Etapas	Desarrollar estudio de evaluación de alternativas de nuevas fuentes de agua potable no convencionales.
Hitos e indicadores	Porcentaje de los objetivos cumplidos del estudio.
Origen de la iniciativa	i) Actividades de Participación Ciudadana (Anexo I, Capítulo 5); ii) Brechas de Modelación (Tabla 7-1); iii) Brechas de información (acápito 2.6.4.4).
Ubicación de la iniciativa	

Código Ficha	AP-6	
	<div style="text-align: center;">  </div> <p data-bbox="493 1308 1425 1360">Nota: Los puntos verdes representan asentamientos humanos donde se requiere llevar a cabo la iniciativa.</p>	

Fuente: Elaboración propia

7.2 RIEGO (R)

Las iniciativas de Seguridad Hídrica para riego pertenecientes a la cartera de iniciativas propuesta, junto con sus contenidos y etapas se presentan de forma preliminar en la Tabla 7-9. Luego, de la Tabla 7-10 a la Tabla 7-13 se presentan las Fichas de las iniciativas de Riego en mayor detalle.

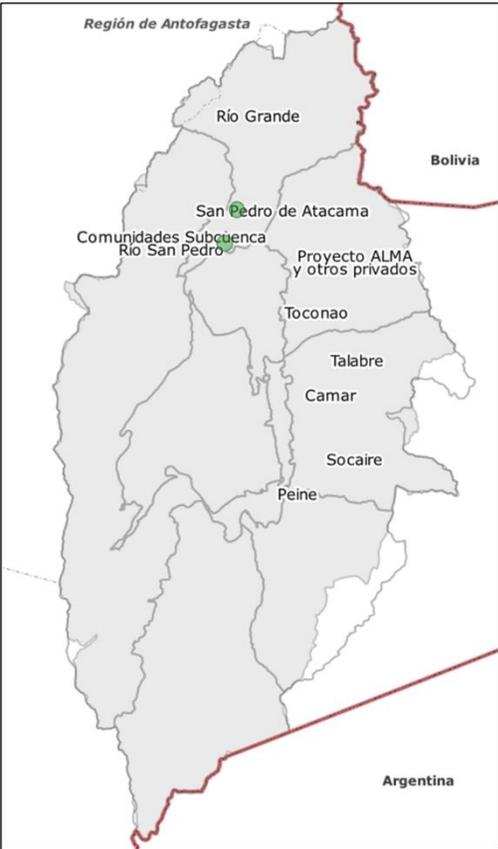
Tabla 7-9: Listado de iniciativas propuestas de Seguridad Hídrica para Riego.

N°	Nombre de iniciativa	Contenidos/Etapas
R-1	Infraestructura para mejorar seguridad de riego en AARA río Vilama y río San Pedro	Incorporar infraestructura de almacenamiento y contención
		Modificaciones y mejoras a canales de riego y bocatomas
		Evaluar posibilidades de tecnificación del riego
		Evaluar desarrollo planta de tratamiento de aguas grises para riego
R-2	Estudio necesidades de infraestructura de riego en AARA en CI fuera de Ayllus San Pedro de Atacama	
R-3	Modernización del sistema de control y monitoreo de distribución de agua	Turnos de riego
		Modernizar sistema de control y monitoreo de distribución de agua
R-4	Plan de desarrollo agro cultural incluidos nuevos cultivos	Banco de semillas y vivero especies nativas
		Resoluciones sanitarias para cultivos y mataderos
		Implementación de tecnología de adsorción para mejorar calidad de agua
		Evaluar posibilidades de tecnificación del riego

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-10: Ficha resumen iniciativa N° R-1.

Código Ficha	R-1
Nombre de la iniciativa	Infraestructura para mejorar seguridad de riego en ARA río Vilama y río San Pedro.
Desempeño	Confiabilidad en el suministro de agua para la agricultura.
Descripción	Este programa contempla: 1. Incorporar infraestructura de almacenamiento de agua, como la construcción de estanques, impermeabilización de tranques existentes. 2. Modificaciones y mejoras a canales de riego y bocatomas. A través de revestimiento, diseño, entubado y cierre del canal, mejoras en las obras de entrega e instalación de desarenadores. 3. Evaluar la posibilidad de tecnificar una parte del riego, considerando siempre el aspecto cultural. 4. Evaluar el desarrollo de una planta de tratamiento de aguas grises para utilizar en el riego.
Objetivo	Aumentar la disponibilidad de agua mediante incorporación y mejoras en la infraestructura.
Brecha	Necesidad de agua para riego insatisfecha.
Beneficiarios directos	Asociaciones Atacameñas de Regantes y Agricultores del Río Vilama y de San Pedro de Atacama.
Relación con políticas y/o cartera de acciones actual	Esta iniciativa se origina en gran parte debido a los estudios de CNR que diagnostican la condición en la que se encuentran las zonas de los Ayllus del río Vilama y San Pedro. Estos estudios son los siguientes: i) Estudio Básico Diagnóstico y Mejoramiento Riego Extrapredial Ayllus río Vilama (CNR, 2019); y ii) Estudio Básico Diagnóstico y Mejoramiento Riego Extrapredial Ayllus río San Pedro (CNR, 2020). Además, se relaciona con el Plan Regional de Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico al 2021 Región de Antofagasta (MOP, 2012), a través de los lineamientos de mejoramiento cauces Río San Pedro de Atacama, Vilama y afluentes, y mejoramiento Sistema de Riego de Río Grande y Zonas Aledañas San Pedro de Atacama.
Requisitos habilitantes y/o comentarios adicionales	Es importante que al momento de evaluar esta iniciativa, en el punto 3 (Evaluar la posibilidad de tecnificar una parte del riego) se tenga como eje central los aspectos culturales, ya que existe una cultura del uso del agua y el riego de cultivos a través de técnicas tradicionales que son muy valoradas para los regantes y agricultores de la cuenca. Por otro lado, se debe considerar que esta iniciativa podría causar un impacto negativo, directa o indirectamente, en el medioambiente y ecosistema dentro de la cuenca, dado que consiste en llevar a cabo obras importantes en infraestructura, por lo que se recomienda realizar un trabajo previo respecto de los efectos que pueda causar y un posible efecto sinérgico.
Posible fuente de financiación	CNR
CAPEX (UF)	95.238
OPEX (UF)	23.535
Tiempo total de implementación (meses)	120
Horizonte	Largo plazo
Encargado implementación	CNR

Código Ficha	R-1
Encargado de gestión	CNR
Etapas	<ol style="list-style-type: none"> 1. La construcción y mejoramiento de los tranques desarrollados por el estudio de CNR, con prioridad las mejores evaluadas. 2. Realizar las mejoras y modificaciones a canales de riego y bocatomas desarrollados por el estudio de CNR, con prioridad las mejores evaluadas. 3. Realizar un estudio del diagnóstico de reúso de aguas servidas tratadas para riego. 4. Realizar un estudio de diagnóstico para proyectos de tecnificación de riego.
Hitos e indicadores	<ol style="list-style-type: none"> 1. Número de infraestructura de almacenamiento construidas. 2. Número de modificaciones y mejoras a canales de riego y bocatomas realizadas. 3. Porcentaje de avance de los estudios, en función a los objetivos establecidos que se han logrado.
Origen de la iniciativa	i) Actividades de Participación Ciudadana (Anexo I, Capítulo 5); ii) Brechas de Modelación (Tabla 7-1); iii) Plan Regional de Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico al 2021 Región de Antofagasta (MOP, 2012) (Anexo J, acápite 5.2); iv) Estudio Básico Diagnóstico y Mejoramiento Riego Extrapredial Ayllus río Vilama (CNR, 2019) (Anexo J, acápite 5.2); v) Estudio Básico Diagnóstico y Mejoramiento Riego Extrapredial Ayllus río San Pedro (CNR, 2020) (Anexo J, acápite 5.2).
Ubicación de la iniciativa	 <p>Nota: Los puntos verdes representan la ubicación de las Asociaciones Atacameñas de Regantes y Agricultores del Río Vilama y de San Pedro de Atacama, donde se requiere llevar a cabo la iniciativa.</p>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-11: Ficha resumen iniciativa N° R-2.

Código Ficha	R-2
Nombre de la iniciativa	Estudio necesidades de infraestructura de riego en ARA en C.I. fuera de Ayllus San Pedro de Atacama.
Desempeño	Confiabilidad en el suministro de agua para la agricultura.
Descripción	Realizar un estudio que genere un diagnóstico y propuestas para mejorar el riego, en otras Asociaciones de Regantes Agricultores en Comunidades Indígenas que pertenecen a la cuenca. Se deberá evaluar las necesidades de infraestructura extrapredial, tecnificación del riego y desarrollo de plantas de tratamiento de aguas grises.
Objetivo	Mejorar la calidad de vida de los agricultores y fomentar la actividad agrícola en la zona.
Brecha	Desarrollo limitado de la actividad agrícola en la cuenca.
Beneficiarios directos	Regantes y Agricultores de la cuenca del Salar de Atacama.
Relación con políticas y/o cartera de acciones actual	Esta iniciativa se relaciona con el Plan Regional de Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico al 2021 Región de Antofagasta (MOP, 2012), a través de los lineamientos de mejoramiento Sistema de Riego de Río Grande y Zonas Aledañas San Pedro de Atacama.
Requisitos habilitantes y/o comentarios adicionales	Esta iniciativa presenta condiciones habilitantes para la iniciativa R-3, dado que es necesario contar con un diagnóstico específico y propuestas de mejoras en torno al riego, para luego mejorar la toma de decisiones y gestión de los recursos hídricos para el riego. Por otro lado, se debe considerar que esta iniciativa podría causar un impacto negativo indirectamente en el medioambiente y ecosistema dentro de la cuenca, dado que consiste en realizar un estudio donde se proponga llevar a cabo obras importantes en infraestructura, por lo que se debe considerar dentro de este estudio la evaluación de los efectos que pueda causar y un posible efecto sinérgico.
Posible fuente de financiación	CNR
CAPEX (UF)	0
OPEX (UF)	12.831
Tiempo total de implementación (meses)	36
Horizonte	Mediano plazo
Encargado implementación	Consultoría
Encargado de gestión	CNR
Etapas	1. Realización de un estudio de Diagnóstico y Mejoramiento de riego similar al de Ayllus río San Pedro y Vilama, los primeros 18 meses a las ARA de Zapar - Soncor - Toconao - Aguas Blancas. 2. Realización de un estudio de Diagnóstico y Mejoramiento de riego similar al de Ayllus río San Pedro y Vilama, los siguientes 18 meses a las ARA del sector Cordillera, Celeste - Paso Jama.
Hitos e indicadores	1. Porcentaje de avance de los estudios, en función a los objetivos establecidos que se han logrado. 2. Número de Asociaciones de Regantes y Agricultores estudiadas.

<p>Código Ficha</p>	<p>R-2</p>
<p>Origen de la iniciativa</p>	<p>i) Actividades de Participación Ciudadana (Anexo I, Capítulo 5); ii) Brechas de Modelación (Tabla 7-1); iii) Brechas de información (acápites 2.6.4.4); iv) Plan Regional de Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico al 2021 Región de Antofagasta (MOP, 2012) (Anexo J, acápite 5.2); v) Estudio Básico Diagnóstico y Mejoramiento Riego Extrapredial Ayllus río Vilama (CNR, 2019) (Anexo J, acápite 5.2); vi) Estudio Básico Diagnóstico y Mejoramiento Riego Extrapredial Ayllus río San Pedro (CNR, 2020) (Anexo J, acápite 5.2).</p>
<p>Ubicación de la iniciativa</p>	<div data-bbox="646 485 1273 1549" data-label="Figure"> <p>The map displays the geographical outline of the Región de Antofagasta, bordered by Bolivia to the north and east, and Argentina to the south. Several specific areas are circled in yellow, indicating zones of agricultural activity and irrigation infrastructure. These zones are labeled as Río Grande, Toconao, Talabre, Camar, Socaire, and Peine. Other geographical features labeled include San Pedro de Atacama, Comunidades Subcuenca Río San Pedro, and Proyecto ALMA y otros privados.</p> </div> <p data-bbox="493 1556 1424 1608">Nota: Las zonas amarillas representan los lugares donde se encuentran superficies de cultivo y infraestructura de riego, lo cual es donde se requiere llevar a cabo la iniciativa.</p>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-12: Ficha resumen iniciativa N° R-3.

Código Ficha	R-3
Nombre de la iniciativa	Modernización del sistema de control y monitoreo de distribución de agua.
Desempeño	Confiabilidad en el suministro de agua para la agricultura.
Descripción	Mediante la modernización del sistema de control y monitoreo de distribución de agua, implementar telemetría y operación a distancia de los canales de riego (control y recopilación de información a lo largo de la red). Además, realizar una revisión y actualización de los horarios de los turnos de riego que hoy se aplican, permitiéndose una optimización del agua en el riego.
Objetivo	Modernizar la red de riego desde su operación, permitiendo solucionar problemas que hoy se presentan por deficiencias en el sistema, mejorar y optimizar el uso de caudales.
Brecha	Control sobre los caudales en red de riego y distribución del agua deficiente.
Beneficiarios directos	Regantes y Agricultores de la cuenca del Salar de Atacama.
Relación con políticas y/o cartera de acciones actual	Esta iniciativa se relaciona con los estudios "Estudio Básico Diagnóstico y Mejoramiento Riego Extrapredial Ayllus río Vilama" (CNR, 2019) y "Estudio Básico Diagnóstico y Mejoramiento Riego Extrapredial Ayllus río San Pedro" (CNR, 2020), ya que en ellos se proponen ciertos turnos de riego para río Vilama como San Pedro, los cuales se pueden implementar en otros lugares de la cuenca.
Requisitos habilitantes y/o comentarios adicionales	Esta iniciativa depende en parte a que se generen antecedentes y diagnósticos a partir de la iniciativa R-2, por lo que su desarrollo está supeditada al progreso de R-2.
Posible fuente de financiación	CNR
CAPEX (UF)	26.610
OPEX (UF)	0
Tiempo total de implementación (meses)	12
Horizonte	Largo plazo
Encargado implementación	CNR
Encargado de gestión	CNR
Etapas	1. Implementar las modificaciones a los turnos de riego propuestos por CNR en su estudio, tanto en río San Pedro y río Vilama. 2. Desarrollar el mejoramiento del sistema de control y monitoreo mediante Telemetría.
Hitos e indicadores	1. Implementación de los turnos de riego. 2. Número de grupos de riego que han implementado telemetría.
Origen de la iniciativa	i) Actividades de Participación Ciudadana (Anexo I, Capítulo 5); ii) Estudio Básico Diagnóstico y Mejoramiento Riego Extrapredial Ayllus río Vilama (CNR, 2019) (Anexo J, acápite 5.2); iii) Estudio Básico Diagnóstico y Mejoramiento Riego Extrapredial Ayllus río San Pedro (CNR, 2020) (Anexo J, acápite 5.2).

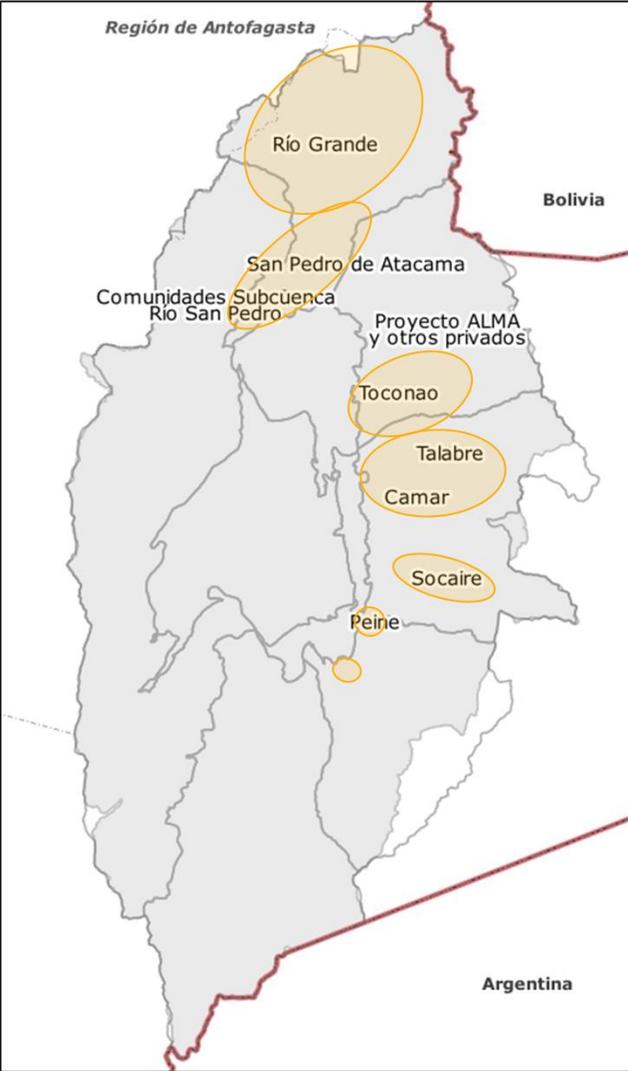
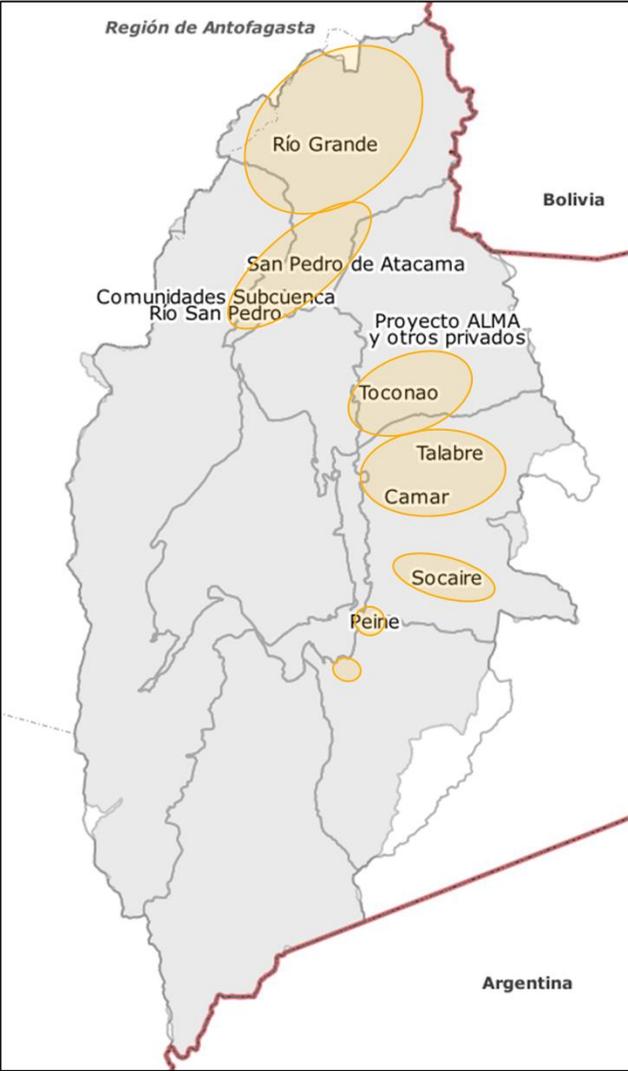
<p>Código Ficha</p>	<p>R-3</p>
<p>Ubicación de la iniciativa</p>	 <p>Nota: Las zonas amarillas representan los lugares donde se encuentran superficies de cultivo y infraestructura de riego, lo cual es donde se requiere llevar a cabo la iniciativa.</p> <p>Fuente: Elaboración propia</p>

Tabla 7-13: Ficha resumen iniciativa N° R-4.

Código Ficha	R-4
Nombre de la iniciativa	Plan de desarrollo agro-cultural, incluidos nuevos cultivos.
Desempeño	Confiabilidad en el suministro de agua para la agricultura.
Descripción	Contempla la creación de un banco de semillas propio y un vivero de especies nativas entre las Asociaciones de Regantes y Agricultores (Reserva Elemental Puribeter). Evaluar la tecnificación de una parte del riego en otras Asociaciones de Regantes y Agricultores, considerando el componente cultural. También, resoluciones sanitarias para cultivos y mataderos de manera de poder vender los productos locales a los hoteles y restaurantes de la zona. Además, la implementación de tecnología de adsorción para mejorar la calidad del agua de riego.
Objetivo	Generar lineamientos de desarrollo de la cuenca, comprometiendo a los actores relacionados.
Brecha	Falta de lineamientos para una producción agro-cultural y alternativas para mejorar el desarrollo agrícola de la zona.
Beneficiarios directos	Regantes y Agricultores de la cuenca del Salar de Atacama.
Relación con políticas y/o cartera de acciones actual	No se reconoce relación con Políticas y/o Cartera de acciones actual.
Requisitos habilitantes y/o comentarios adicionales	Los aspectos culturales son una condición habilitante para esta iniciativa que tiene como foco el desarrollo de un plan agro-cultural.
Posible fuente de financiación	Municipalidad/MINAGRI
CAPEX (UF)	6.612
OPEX (UF)	11.224
Tiempo total de implementación (meses)	18
Horizonte	Largo plazo
Encargado implementación	Municipalidad/MINAGRI
Encargado de gestión	Municipalidad/MINAGRI
Etapas	1. Creación de un banco de semillas propio y un vivero de especies nativas. 2. Desarrollo de la Planta Piloto de tratamiento de la calidad de agua de 1 l/s, que permita un monitoreo de la calidad de agua para riego y los efectos de su tratamiento. 3. Realizar estudio de diagnóstico, infraestructura y operación del sistema de riego en otras ARA de la cuenca (excluye río San Pedro y Vilama). Luego, fortalecer el diseño y gestión de proyectos de tecnificación de riego en la cuenca.
Hitos e indicadores	1. Creación del banco de semillas.

Código Ficha	R-4
	<p>2. Porcentaje de avance del estudio, en función a los objetivos establecidos que se han logrado.</p> <p>3. Caudal tratado por la planta de calidad de agua.</p> <p>4. Número de nuevas resoluciones sanitarias obtenidas para cultivos y mataderos.</p>
Origen de la iniciativa	<p>i) Actividades de Participación Ciudadana (Anexo I, Capítulo 5); ii) Plan Estratégico para la Gestión de los Recursos Hídricos, Región de Antofagasta (DGA-ARCADIS, 2016) (Anexo J, acápite 5.2); iii) Estrategia Regional de Innovación 2012-2020 Región de Antofagasta, (GORE Antofagasta, 2012) (Anexo J, acápite 5.2).</p>
Ubicación de la iniciativa	<div style="text-align: center;">  </div> <p>Nota: Las zonas amarillas representan los lugares donde se encuentran superficies de cultivo y infraestructura de riego, lo cual es donde se requiere llevar a cabo la iniciativa.</p>

Fuente: Elaboración propia

7.3 PROTECCIÓN DE ECOSISTEMAS, MONITOREO Y CONOCIMIENTO (PE/MON)

Las iniciativas de protección de ecosistemas, monitoreo y conocimiento de la cuenca pertenecientes a la cartera de iniciativas propuesta, junto con sus contenidos y etapas se presentan de forma preliminar en la Tabla 7-14. Luego, de la Tabla 7-15 a la Tabla 7-19 se presentan las Fichas de las iniciativas de Protección de Ecosistemas, Monitoreo y Conocimiento en mayor detalle.

Tabla 7-14: Listado de iniciativas propuestas de Protección de Ecosistemas, Monitoreo y Conocimiento.

N°	Nombre de iniciativa	Contenidos/Etapas
PE/MON-1	Revisión de compromisos ambientales de empresas (RCA)	Estudio de revisión de variables a observar en función de objetos de protección y entendimiento del ciclo hidrológico
		Revisión de traslapes (redundancias) y desafíos en coordinación en actuales planes de alerta temprana
		Comunicación efectiva y oportuna de activación PAT
PE/MON-2	Plan de monitoreo participativo de sistemas lagunares	Estudio que permita redefinir sitios y variables de monitoreo
		Evaluar métodos de monitoreo no invasivos como por ejemplo imágenes satelitales
		Definir protocolos para acceso a sitios de monitoreo por parte de comunidades
		Capacitación a comunidades y otros actores interesados en sistemas de monitoreo y seguimiento en línea
	Desarrollo de plataforma de disponibilización de resultados de monitoreo publico privado	
PE/MON-3	Estudio de estado actual de vegas y bofedales según funcionamiento hídrico e hidrogeológico en sectores de acuíferos.	
PE/MON-4	Ampliar red de monitoreo hidrometeorológico/hidrogeológico	Estudio de alternativas para el monitoreo de crecidas en cuencas altiplánicas
		Instalación de monitoreo de nivel freático en SHAC A1
		Instalación de estación meteorológica sobre 3.500m en borde Este de la cuenca del salar
		Establecer ruta de nieve en subcuenca río Putana
PE/MON-5	Plan de educación del uso sostenible del agua en el contexto de cuencas endorreicas	Capacitación sobre contingencias ambientales y aguas subterráneas

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-15: Ficha resumen iniciativa N° PE/MON-1.

Código Ficha	PE/MON-1
Nombre de la iniciativa	Revisión de compromisos ambientales de empresas (RCA).
Desempeño	Necesidad de mejorar la comprensión del ciclo hidrológico y sistemas biofísicos y socioambientales.
Descripción	Desarrollo de estudio revisión de variables a observar en función de objetos de protección y entendimiento del ciclo hidrológico, junto a revisión de traslapes y desafíos en coordinación en los planes actuales de alerta temprana.
Objetivo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Realizar pronóstico, seguimiento, evaluación y verificación de los efectos o impactos previstos de las actividades de extracción de agua fresca y salmuera. 2. Revisar el cumplimiento de los compromisos ambientales asociados al componente hídrico de la cuenca. 3. Facilitar la recopilación e interpretación de información de monitoreo asociado a compromisos ambientales. 4. Coordinar y comunicar de manera efectiva y oportuna la activación de los Planes de Alerta Temprana. 5. Asegurar el buen estado de objetos de protección ambiental.
Brecha	Desconocimiento de los impactos producidos por la extracción de agua fresca y salmuera dentro de la cuenca del Salar de Atacama.
Beneficiarios directos	Acuífero y ecosistemas acuáticos, comunidades de la cuenca del Salar de Atacama.
Relación con políticas y/o cartera de acciones actual	No se reconoce relación con Políticas y/o Cartera de acciones actual.
Requisitos habilitantes y/o comentarios adicionales	Para lograr desarrollar de mejor manera esta iniciativa, es necesario que se lleve a cabo primero la iniciativa PE/MON-4: Ampliar red de monitoreo hidrometeorológico/hidrogeológico, lo cual ayuda a generar información relevante para diagnosticar de mejor manera los sistemas en las zonas de interés. Por otro lado, para el desarrollo de esta iniciativa se debe tener en consideración lo analizado, recomendado y propuesto por CORFO en el "Estudio para el análisis y preparación de un plan de trabajo en relación a las distintas RCA sobre el Salar de Atacama" (CORFO, 2017).
Posible fuente de financiación	SEA/DGA
CAPEX (UF)	0
OPEX (UF)	11.013
Tiempo total de implementación (meses)	24
Horizonte	Corto plazo
Encargado implementación	DGA/SEA/Empresas
Encargado de gestión	DGA
Etapas	<ol style="list-style-type: none"> 1. Elaboración de bases para los estudios y planes y su posterior licitación. 2. Análisis jurídico e institucional respecto de revisión de compromisos ambientales.

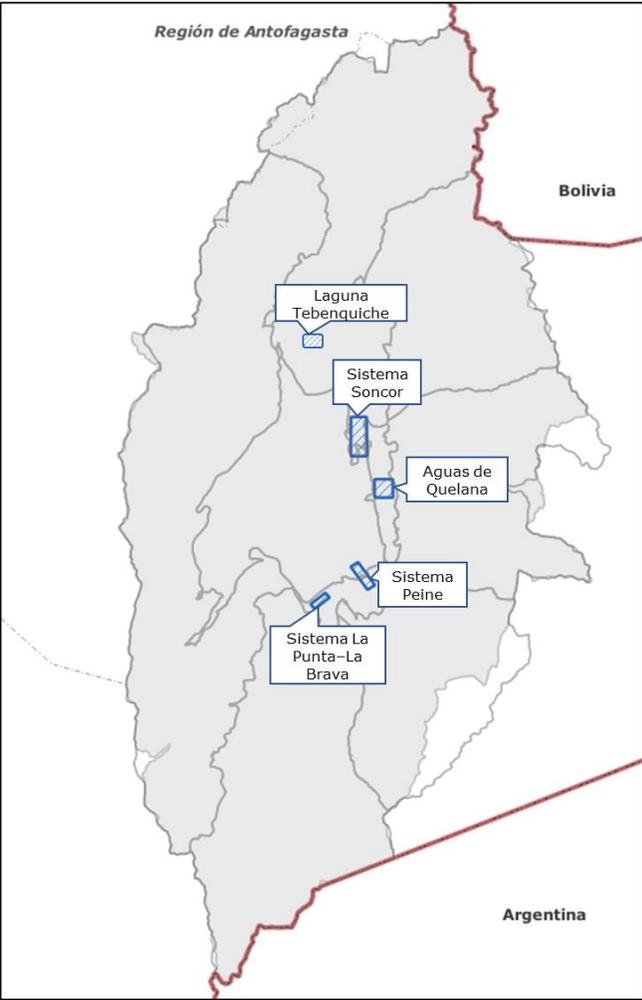
Código Ficha	PE/MON-1
	<p>3. Estudio de definición de variables de monitoreo de componentes físicos y bióticos asociados a ecosistemas acuáticos de interés.</p> <p>4. Estudio de revisión de compromisos ambientales definidos en RCA.</p> <p>5. Estudio para la definición de un sistema coordinado e integrado de compromisos ambientales basado en el estado de objetos de protección.</p> <p>6. Plan para la comunicación efectiva y oportuna en la activación de los PAT.</p>
Hitos e indicadores	<p>1. Número de nuevas variables a estudiar.</p> <p>2. Número de nuevos sitios de monitoreo.</p> <p>3. Porcentaje de compromisos ambientales de empresas (RCA) revisadas respecto al total.</p>
Origen de la iniciativa	<p>i) Actividades de Participación Ciudadana (Anexo I, acápite 5.4, Taller dedicado especialmente a discutir los desafíos de la implementación de la institucionalidad ambiental en la Cuenca del Salar de Atacama); y ii) Brechas de Modelación (Tabla 7-1).</p>
Ubicación de la iniciativa	<div style="text-align: center;"> </div> <p>Nota: Las zonas rosadas representan los puntos de interés tanto para agua fresca como salmuera. Esta figura es una aproximación, para mayor detalle revisar el acápite 2.6.3.2 y el Anexo F, acápite 5.3.4.2.</p>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-16: Ficha resumen iniciativa N° PE/MON-2.

Código Ficha	PE/MON-2
Nombre de la iniciativa	Plan de monitoreo participativo de sistemas lagunares.
Desempeño	Necesidad de mejorar la comprensión del ciclo hidrológico y sistemas biofísicos y socioambientales.
Descripción	Desarrollo de un plan de monitoreo participativo y colaborativo entre los diferentes actores de la cuenca, donde se monitoreen los sistemas lagunares y nuevos sitios y variables de interés. Además, cuenta con la evaluación de nuevos métodos de monitoreo, capacitaciones a comunidades y otros actores sobre sistemas de monitoreo y seguimiento en línea, definición de protocolos para acceso a sitios de monitoreo, y desarrollo de plataforma de disponibilización de datos de monitoreo público privado. Se pueden considerar guías ya desarrolladas para un correcto diseño de este monitoreo participativo ³⁰ .
Objetivo	Involucrar a los principales actores a realizar un monitoreo activo y cooperativo entre ellos, donde puedan compartir y comparar información clave para el entendimiento de los sistemas dentro de la cuenca.
Brecha	Desconocimiento por parte de algunos actores respecto del funcionamiento de los sistemas de monitoreo y desconfianza de algunos sobre los datos y resultados de estos monitoreos.
Beneficiarios directos	DGA, actores privados y comunidades relacionados con la toma de decisiones de asuntos hídricos dentro de la cuenca del Salar de Atacama.
Relación con políticas y/o cartera de acciones actual	No se reconoce relación con Políticas y/o Cartera de acciones actual.
Requisitos habilitantes y/o comentarios adicionales	Se debe tener en consideración la voluntad de las comunidades en participar, dado que existen algunos procesos ambientales por incumplimientos aún abiertos que podrían condicionar de entrada la confianza para esta iniciativa.
Posible fuente de financiación	MMA/Empresas/SMA
CAPEX (UF)	3.593
OPEX (UF)	50.867
Tiempo total de implementación (meses)	32
Horizonte	Corto plazo
Encargado implementación	DGA, SMA, Empresas privadas, Comunidades indígenas, Municipio y Universidades regionales
Encargado de gestión	DGA, SMA, Empresas privadas, Comunidades indígenas, Municipio y Universidades regionales
Etapas	1. Elaboración de bases para el estudio y su posterior licitación. 2. Estudio de redefinición de sitios y variables de monitoreo. 3. Estudio de evaluación de nuevos métodos de monitoreo.

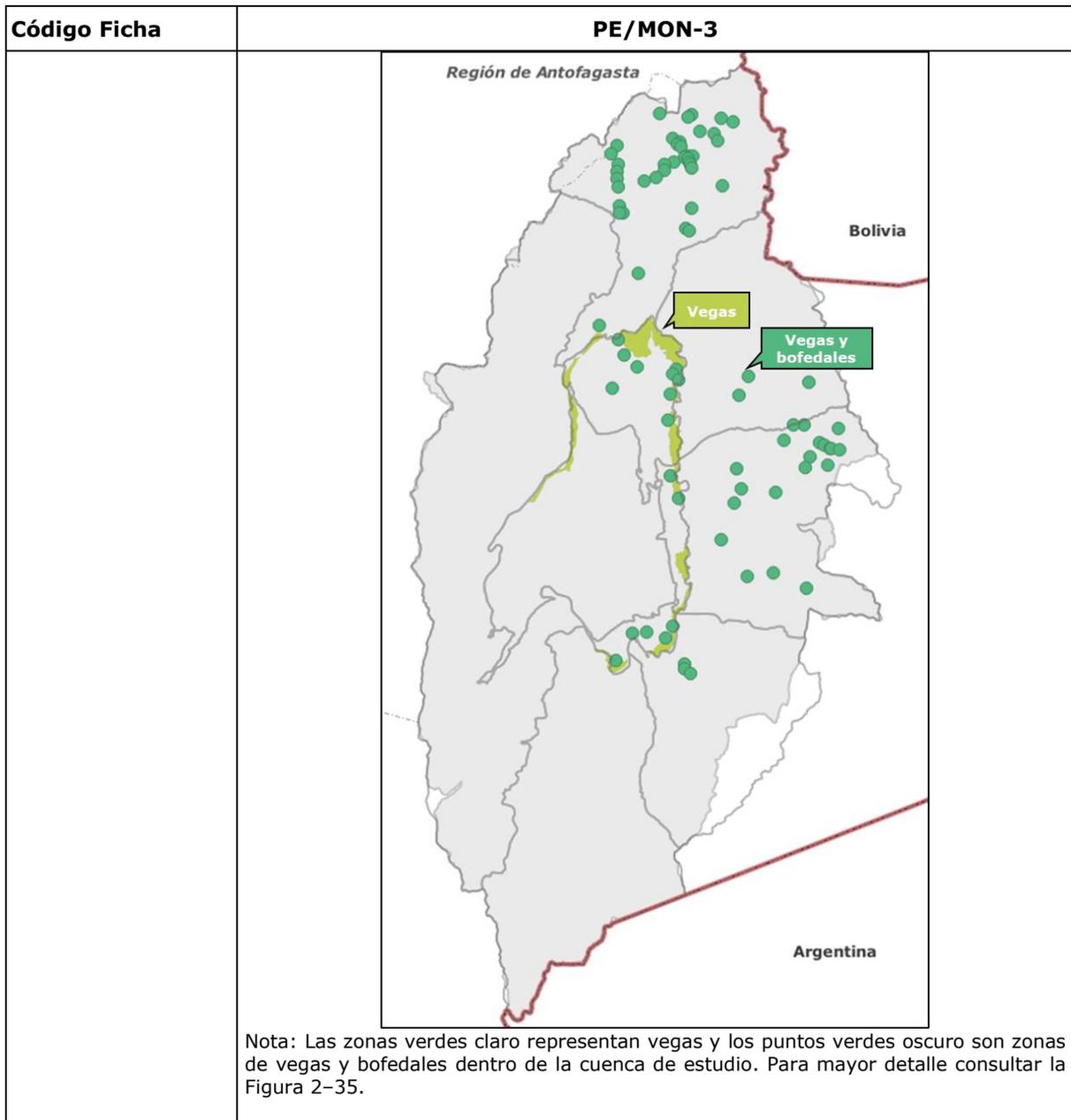
³⁰ Un ejemplo de esto: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/176101478070836114/pdf/108843-WP-CAO-ENGLISH-Participatory-Water-Monitoring-PUBLIC.pdf>

Código Ficha	PE/MON-2
	<p>4. Desarrollo de plataforma de disponibilización de datos de monitoreo público privado.</p> <p>5. Definición de protocolos para acceso a sitios de monitoreo.</p> <p>6. Capacitaciones técnicas a comunidades y otros actores sobre sistemas de monitoreo y seguimiento en línea.</p>
Hitos e indicadores	<p>1. Porcentaje de los objetivos específicos de los estudios completados.</p> <p>2. Número de personas capacitadas para monitorear y compilar registros.</p> <p>3. Número de actores de la cuenca que cuentan con al menos una persona capacitada para monitorear y compilar registros.</p>
Origen de la iniciativa	<p>i) Actividades de Participación Ciudadana (Anexo I, Capítulo 5); ii) Brechas de Modelación (Tabla 7-1); iii) Brechas de información (acápite 2.6.4.4); iv) Plan Regional de Antofagasta 2018-2022 (Gobierno de Chile, 2019) (Anexo J, acápite 5.2); v) Plan Estratégico para la Gestión de los Recursos Hídricos, Región de Antofagasta (DGA-ARCADIS, 2016) (Anexo J, acápite 5.2).</p>
Ubicación de la iniciativa	 <p>Nota: Las zonas azules representan los sistemas lagunares presentes en la cuenca.</p>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-17: Ficha resumen iniciativa N° PE/MON-3.

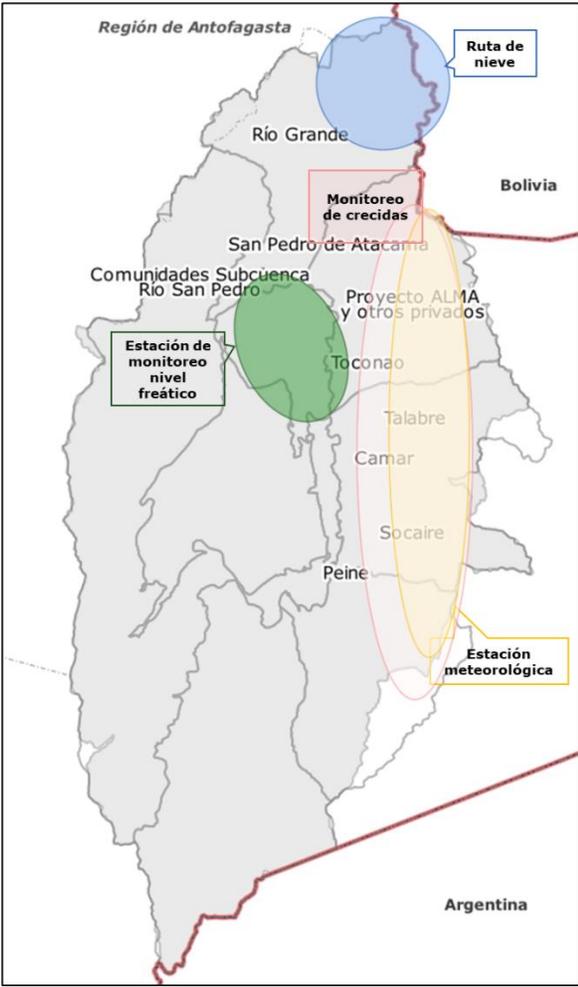
Código Ficha	PE/MON-3
Nombre de la iniciativa	Estudio de estado actual de vegas y bofedales según funcionamiento hídrico e hidrogeológico en sectores de acuíferos.
Desempeño	Necesidad de mejorar la comprensión del ciclo hidrológico y sistemas biofísicos y socioambientales.
Descripción	Realización de un estudio que genere un diagnóstico del estado actual de vegas y bofedales según su funcionamiento hídrico e hidrogeológico, que incluya un manejo y conservación de ellos. Se debe definir una nueva delimitación del área de protección, además de proponer red de pozos de monitoreo para realizar seguimiento del acuífero protegido ya que actualmente no se conoce su evolución.
Objetivo	Determinar el estado actual de vegas y bofedales en la cuenca, redefiniendo y delimitando los sectores acuíferos que los alimentan y estudiar su funcionamiento hidrogeológico.
Brecha	Desconocimiento del estado actual de vegas y bofedales según su funcionamiento hídrico e hidrogeológico.
Beneficiarios directos	DGA, actores relacionados con la toma de decisiones de asuntos hídricos dentro de la cuenca del Salar de Atacama.
Relación con políticas y/o cartera de acciones actual	Esta iniciativa se relaciona con la iniciativa propuesta del Plan Estratégico para la Gestión de los Recursos Hídricos, Región de Antofagasta (DGA-ARCADIS, 2016) "P12: "Caracterización del funcionamiento hídrico e hidrogeológico de sectores acuíferos que alimentan vegas y bofedales protegidos".
Requisitos habilitantes y/o comentarios adicionales	Esta iniciativa podría afectar indirectamente zonas donde se tenga que limitar el uso de agua para diferentes fines.
Posible fuente de financiación	CONAF/MMA
CAPEX (UF)	0
OPEX (UF)	6.931
Tiempo total de implementación (meses)	39
Horizonte	Mediano plazo
Encargado implementación	CONAF/MMA
Encargado de gestión	CONAF/MMA
Etapas	1. Elaboración de bases para el estudio y su posterior licitación. 2. Realización del estudio por parte de la consultora que se lo adjudique.
Hitos e indicadores	1. Porcentaje de superficie de vegas y bofedales incorporado en el estudio. 2. Número de acuíferos protegidos.
Origen de la iniciativa	i) Actividades de Participación Ciudadana (Anexo I, Capítulo 5); ii) Brechas de Modelación (Tabla 7-1); iii) Brechas de información (acápites 2.6.4.4); iv) Plan Estratégico para la Gestión de los Recursos Hídricos, Región de Antofagasta (DGA-ARCADIS, 2016) (Anexo J, acápite 5.2).
Ubicación de la iniciativa	



Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-18: Ficha resumen iniciativa N° PE/MON-4.

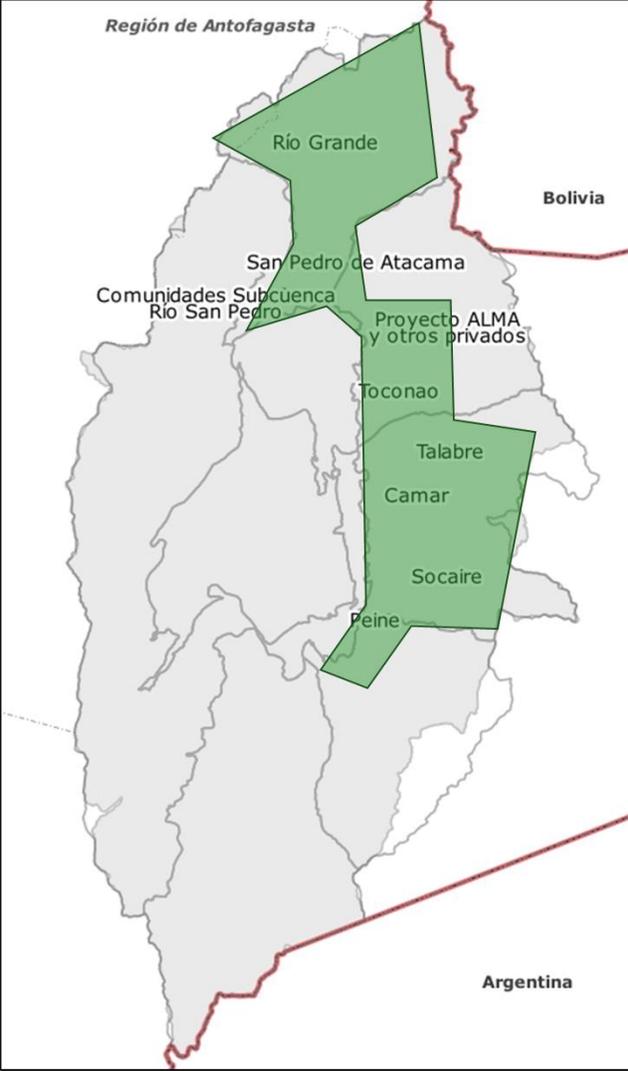
Código Ficha	PE/MON-4
Nombre de la iniciativa	Ampliar red de monitoreo hidrometeorológico/hidrogeológico.
Desempeño	Necesidad de mejorar la comprensión del ciclo hidrológico y sistemas biofísicos y socioambientales.
Descripción	Ampliar y fortalecer la red de monitoreo hidrometeorológico e hidrogeológico mediante la instalación de estación meteorológica (sobre 3.500 m en borde Este en la Cuenca del Salar), instalación de monitoreo del nivel freático en SHAC A1. Además, un estudio de alternativas para el monitoreo de crecidas en cuencas altiplánicas y establecer ruta de nieve en subcuenca río Putana.
Objetivo	Generar información sobre parámetros meteorológicos, fluviométricos, niveles, extracciones y calidad de agua.
Brecha	Desconocimiento de procesos relevantes del ciclo hidrológico, como registros de glaciares, monitoreo de nieve, lo que afecta en la construcción y validación de los modelos.
Beneficiarios directos	DGA, actores relacionados con la toma de decisiones de asuntos hídricos dentro de la cuenca del Salar de Atacama.
Relación con políticas y/o cartera de acciones actual	Esta iniciativa se relaciona con el lineamiento de estrategia hídrica a nivel regional del "Plan regional de Antofagasta 2018-2022 (Gobierno de Chile, 2019), específicamente con la acción de monitoreo y gestión hídrica que plantea implementar una red de monitoreo de recursos hídricos, para gestionar el agua de acuíferos con información certera. Además, dentro del Plan Estratégico para la Gestión de los Recursos Hídricos, Región de Antofagasta (DGA-ARCADIS, 2016) se proponen las iniciativas C13: Análisis de Previsiones de Precipitaciones para determinación de Caudales de Crecidas, P21: Plan de mejoramiento de estaciones fluviométricas, y P22: Ampliar red de medición de niveles de agua subterráneas y de calidad química DGA. Por último, el Plan regional de Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico al 2021 Región de Antofagasta (MOP, 2012) propone una serie de acciones relacionados con esta materia (para más detalle ver Anexo J, acápite 5.2).
Requisitos habilitantes y/o comentarios adicionales	Esta iniciativa es clave para habilitar otras debido al aporte que tiene en generar información para comprender de mejor manera los diferentes ciclos hidrológicos y sistemas biofísicos dentro de la cuenca del Salar de Atacama. Además, se debe tener como base información reportada por la red actual (ver acápites 2.4.1.5 y 2.4.2).
Posible fuente de financiación	DGA
CAPEX (UF)	1.053
OPEX (UF)	57.433
Tiempo total de implementación (meses)	60
Horizonte	Mediano plazo
Encargado implementación	DGA
Encargado de gestión	DGA
Etapas	1. Instalación de una estación de monitoreo de nivel freático en SHAC A1.

Código Ficha	PE/MON-4
	<p>2. Instalación de estación meteorológica sobre 3.500 m en borde Este de la cuenca.</p> <p>3. Realización de un estudio de alternativas para el monitoreo de crecidas en cuencas altioplánicas.</p> <p>4. Establecer, mediante un estudio, la ruta de nieve en subcuenca río Putana.</p>
Hitos e indicadores	<p>1. Número de nuevas estaciones de monitoreo instaladas.</p> <p>2. Número de nuevas estaciones meteorológicas instaladas.</p> <p>3. Porcentaje de los objetivos cumplidos de estudio de monitoreo de crecidas y ruta de nieve.</p>
Origen de la iniciativa	<p>i) Actividades de Participación Ciudadana (Anexo I, Capítulo 5); ii) Brechas de Modelación (Tabla 7-1); iii) Brechas de información (acápite 2.6.4.4); iv) Plan Regional de Antofagasta 2018-2022 (Gobierno de Chile, 2019) (Anexo J, acápite 5.2); v) Plan Estratégico para la Gestión de los Recursos Hídricos, Región de Antofagasta (DGA-ARCADIS, 2016) (Anexo J, acápite 5.2); vi) Plan Regional de Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico al 2021 Región de Antofagasta (MOP, 2012) (Anexo J, acápite 5.2).</p>
Ubicación de la iniciativa	<div style="text-align: center;">  </div> <p>Nota: La zona verde representa el lugar donde se instalaría la estación de monitoreo de nivel freático, la zona amarilla donde se instalaría la estación meteorológica, la zona azul zona de estudio de rutas de nieve y las zonas rosadas zona de estudio de monitoreo de crecidas.</p>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-19: Ficha resumen iniciativa N° PE/MON-5.

Código Ficha	PE/MON-5
Nombre de la iniciativa	Plan de educación del uso sostenible del agua en el contexto de cuencas endorreicas.
Desempeño	Necesidad de mejorar la comprensión del ciclo hidrológico y sistemas biofísicos y socioambientales.
Descripción	Desarrollo de un plan de educación sobre el uso (agua potable y riego) sostenible del agua y capacitación sobre el comportamiento aguas subterráneas y el efecto de las extracciones al largo plazo, además de la realización de capacitaciones sobre seguimiento y acciones para el uso eficiente del agua.
Objetivo	1. Asesorar y capacitar a las comunidades para que tengan un entendimiento mejor de la cuenca y los posibles escenarios futuros. 2. Entregar conocimiento sobre el uso eficiente del agua a la ciudadanía de la cuenca, para que puedan comprender de mejor manera los diferentes hábitos y técnicas del uso del agua y las consecuencias que conllevan.
Brecha	Desconocimiento de procesos relevantes del ciclo hidrológico y los posibles efectos de las extracciones.
Beneficiarios directos	Población habitante en la cuenca del Salar de Atacama.
Relación con políticas y/o cartera de acciones actual	No se reconoce relación con Políticas y/o Cartera de acciones actual.
Requisitos habilitantes y/o comentarios adicionales	Es importante que al momento de analizar esta iniciativa se tenga en consideración la cultura del agua y cosmovisión de las comunidades y habitantes de la cuenca.
Posible fuente de financiación	Municipalidad/DGA
CAPEX (UF)	0
OPEX (UF)	10.849
Tiempo total de implementación (meses)	28
Horizonte	Mediano plazo
Encargado implementación	Municipalidad/DGA
Encargado de gestión	Universidades regionales, Municipalidad
Etapas	1. Elaboración de bases para el plan y su posterior licitación. 2. Realización del plan de educación, asesoría y capacitación.
Hitos e indicadores	1. Porcentaje de los objetivos específicos de los estudios completados. 2. Número de personas capacitadas para monitorear y compilar registros. 3. Número de actores de la cuenca que cuentan con al menos una persona capacitada para monitorear y compilar registros.
Origen de la iniciativa	i) Actividades de Participación Ciudadana (Anexo I, Capítulo 5).
Ubicación de la iniciativa	

Código Ficha	PE/MON-5
	<div style="text-align: center;">  </div> <p data-bbox="495 1312 1425 1365">Nota: La zona verde representa (de manera aproximada) el área donde se encuentran asentamientos humanos y superficie de cultivos.</p>

Fuente: Elaboración propia

7.4 GOBERNANZA (GOB)

Las iniciativas de gobernanza y proceso de toma de decisiones pertenecientes a la cartera de iniciativas propuesta, junto con sus contenidos y etapas se presentan de forma preliminar en la Tabla 7-20. Luego, de la Tabla 7-21 a la Tabla 7-23 se presentan las Fichas de las iniciativas de Gobernanza en mayor detalle.

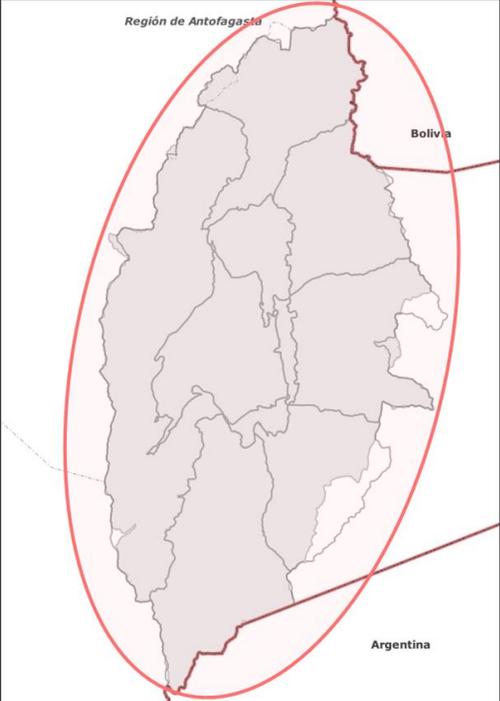
Tabla 7-20: Listado de iniciativas propuestas de Gobernanza y proceso de toma de decisiones.

N°	Nombre de iniciativa	Contenidos/Etapas
GOB-1	Crear mesa de gobernanza hídrica	Estudio legal para conformación de la mesa en un contexto de múltiples intereses, ubicación en territorio indígena, diversidad geográfica y participación de servicios públicos
		Priorización y seguimiento del PEGH
		Generación de capacidades a los miembros de la mesa
		Actualización y revisión modelo integrado cuenca salar de Atacama
GOB-2	Evaluar necesidad de implementar reservas, áreas de restricción y zonas de prohibición	Generar informe técnico sobre balance hídrico
		Desarrollo de estudio que determine los criterios de sustentabilidad pertinentes para la cuenca del Salar de Atacama
		Evaluar necesidad de prorrata en contexto de PAT de institucionalidad ambiental
GOB-3	Creación y fortalecimiento organizaciones de usuarios de agua	Conformación Junta Vigilancia de los ríos SP y Vilama, incluyendo usuarios de aguas subterráneas

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-21: Ficha resumen iniciativa N° GOB-1.

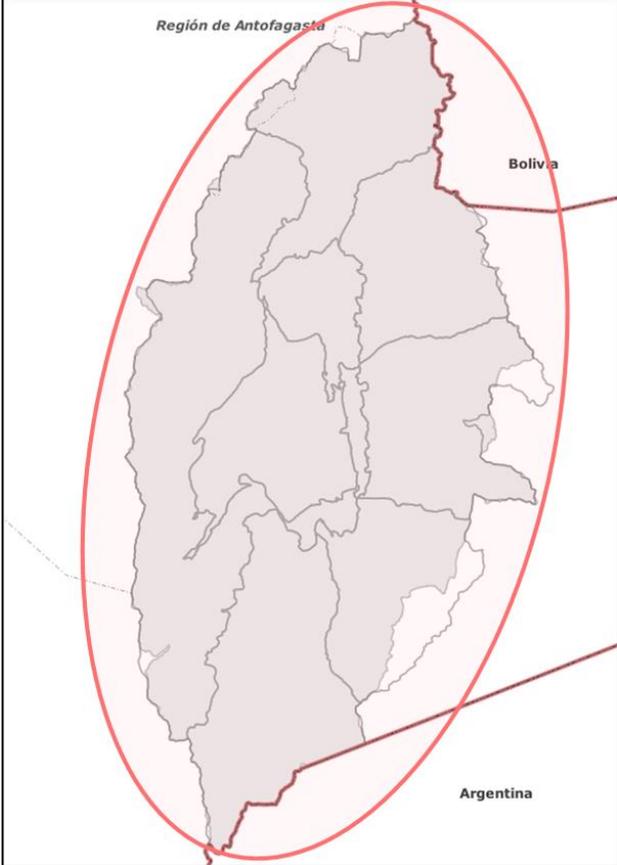
Código Ficha	GOB-1
Nombre de la iniciativa	Crear mesa de gobernanza hídrica.
Desempeño	Integración institucional/normativa y gobernanza participativa a nivel de cuenca.
Descripción	Estudio legal para conformación de la mesa de gobernanza hídrica de la cuenca del Salar de Atacama en un contexto de múltiples intereses, ubicación en territorio indígena, diversidad geográfica y participación de servicios públicos.
Objetivo	El objetivo general de esta mesa es mejorar la gestión hídrica integrada de la cuenca (institucional/normativa y gobernanza participativa), a través de instancias de diálogo, apoyo técnico y consultivo a los diferentes actores. Como objetivo particular tiene: 1. Generación de capacidades a los miembros de la mesa. 2. Priorización y seguimiento del PEGH. 3. Actualización y revisión modelo integrado cuenca Salar de Atacama y extensión del análisis de los escenarios del modelo.
Brecha	Brechas en la gobernanza y gestión del recurso hídrico de manera integral, además en instrumentos de planificación y coordinación interinstitucional, coordinación de organismos usuarios de agua y coordinación en gestión de los recursos hídricos.
Beneficiarios directos	Actores públicos y privados y comunidades relacionados con la toma de decisiones de asuntos hídricos dentro de la cuenca del Salar de Atacama.
Relación con políticas y/o cartera de acciones actual	El proyecto "Responsible Lithium Partnership" en desarrollo (duración de fase inicial de 3 años aproximadamente) por la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) consiste en una plataforma multisectorial en la cuenca del Salar de Atacama, donde representantes de diversas organizaciones, comunidades, empresas e instituciones colaboran entorno a temáticas planteadas por ellos mismos respecto al cuidado del ecosistema de la cuenca.
Requisitos habilitantes y/o comentarios adicionales	Para lograr las confianzas requeridas en el diseño de la mesa hídrica en el contexto de la cuenca del Salar de Atacama se pueden recurrir a los principios fundamentales del proceso de Consulta Indígena: 1. La buena fe, entendida como que quienes intervienen de la población indígena y del titular y otras partes interesadas, lo hacen de manera íntegra y honesta. En concreto, que promueven diálogos sinceros y búsqueda de acuerdos basados en la confianza y el respeto mutuo, la transparencia y responsabilidad, en ausencia de presiones o coacción. La buena fe también implica que el Estado (garante de todo proceso de Consulta Indígena) debe actuar con diligencia y disponer los medios necesarios que permitan generar las condiciones para que la población indígena pueda participar de manera real y efectiva, en un plano de igualdad. Así, es necesario que el proceso se de en un contexto de simetría de información. 2. La flexibilidad, que implica ajustar los tiempos a las realidades locales y socioculturales de la población indígena que participa. Por otro lado, es importante señalar que esta iniciativa se hará cargo del futuro del plan convocando a los actores responsables (ver Capítulo 8). Además, una vez constituida esta mesa, los propios integrantes definirán si es necesaria su continuidad y acordarán con las fuentes de financiamiento buscar su continuidad. En la continuidad del Plan, se propone que la mesa hídrica se apoye en el modelo de simulación presentado en este estudio. El modelo requiere de una revisión periódica y actualización para acortar las brechas de información y de conceptualización del sistema. Esto permitirá evaluar de mejor manera la

Código Ficha	GOB-1
	dinámica del sistema, además de la disponibilidad de agua y satisfacción de demandas en potenciales escenarios futuros tanto de demanda como climáticos para orientar la toma de decisiones de la mesa respecto de la priorización de las iniciativas. El uso de este modelo debe considerar las limitaciones que este tiene y las necesidades de implementar modelos locales acorde a los análisis que sean requeridos por la mesa.
Posible fuente de financiación	Gobierno Regional
CAPEX (UF)	0
OPEX (UF)	5.942
Tiempo total de implementación (meses)	27
Horizonte	Corto plazo
Encargado implementación	DGA/Gobierno Regional/Municipio/Universidades regionales/MMA/Empresas
Encargado de gestión	Gobierno Regional
Etapas	Desarrollar estudio legal para conformación de la mesa de gobernanza hídrica de la cuenca del Salar de Atacama.
Hitos e indicadores	1. Número de instancias de reunión al año. 2. Número de organizaciones/instituciones representadas. 3. Constitución de la mesa
Origen de la iniciativa	i) Actividades de Participación Ciudadana (Anexo I, Capítulo 5); ii) Brechas de Modelación (Tabla 7-1); iii) Brechas de información (acápite 2.6.4.4).
Ubicación de la iniciativa	 <p>El mapa muestra el territorio de Chile dividido en regiones. Una línea roja ovalada resalta la Región de Antofagasta en el norte del país. Se ven también las regiones de Bolivia al este y Argentina al sur y oeste.</p>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-22: Ficha resumen iniciativa N° GOB-2.

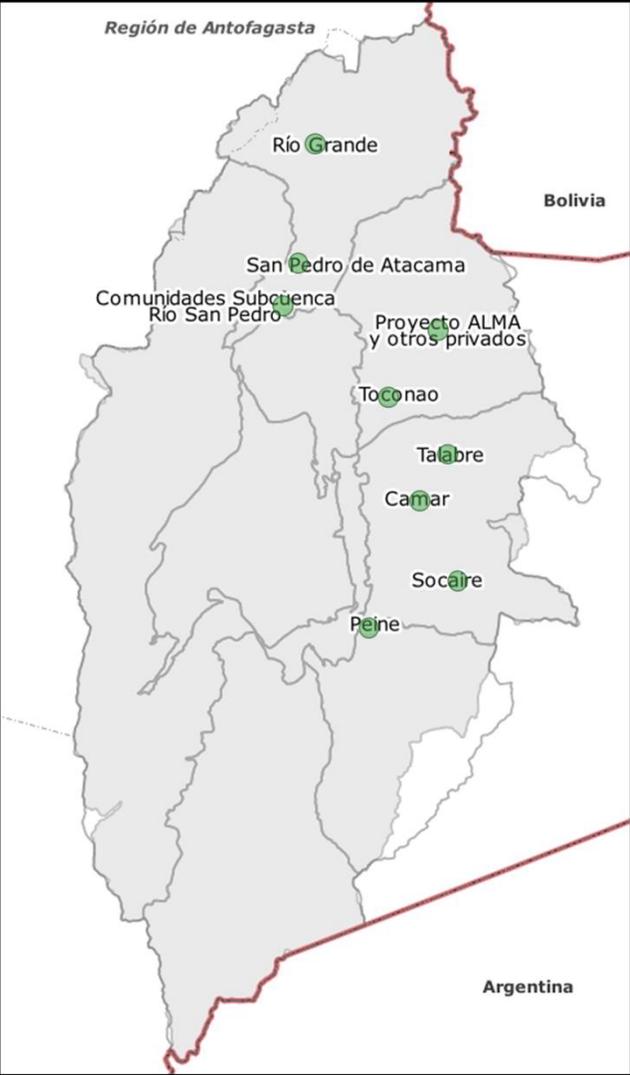
Código Ficha	GOB-2
Nombre de la iniciativa	Evaluar necesidad de implementar reservas, áreas de restricción y zonas de prohibición.
Desempeño	Integración institucional/normativa y gobernanza participativa a nivel de cuenca.
Descripción	Desarrollo de estudio técnico sobre balance hídrico de la cuenca, junto a la evaluación de implementación de reservas de agua y zonas de prohibición y restricción.
Objetivo	Generar conocimiento y determinar factibilidad de medidas para asegurar la preservación y conservación de los recursos hídricos a través de una gestión eficiente y sustentable.
Brecha	Acceso inadecuado de agua y brechas en gestión integrada del agua en la cuenca, además de la brecha de conocimiento sobre criterios de sustentabilidad para cuencas como la del Salar de Atacama, y la inexistencia de reservas de caudales en la cuenca.
Beneficiarios directos	Acuífero y ecosistemas hídricos, comunidades de la cuenca del Salar de Atacama.
Relación con políticas y/o cartera de acciones actual	No se reconoce relación con Políticas y/o Cartera de acciones actual.
Requisitos habilitantes y/o comentarios adicionales	El modelo de simulación presentado en este estudio mostró ser una herramienta complementaria a la estrategia para estimar la oferta hídrica desarrollada por la DGA en el Informe Técnico SDT 339 (DGA, 2013), permitiendo incorporar el proceso de evaporación desde la napa al análisis del balance hídrico. Se propone este modelo como una herramienta complementaria para evaluar el balance hídrico y la oferta hídrica sustentable en la cuenca. Para definir criterios de sustentabilidad complementarios a los existentes se sugiere considerar al menos las siguientes variables físicas que el modelo es capaz de evaluar: i) estrés hídrico de cultivos y ecosistemas de interés (en términos de la evapotranspiración actual y potencial); ii) volumen almacenado en el sistema subterráneo; iii) niveles piezométricos; iv) concentración de solutos en sectores relevantes; y v) desplazamiento de la interfaz salina.
Posible fuente de financiación	DGA
CAPEX (UF)	0
OPEX (UF)	5.975
Tiempo total de implementación (meses)	15
Horizonte	Mediano plazo
Encargado implementación	DGA
Encargado de gestión	DGA
Etapas	1. Desarrollo de estudio de Balance Hídrico. 2. Desarrollo de estudio que determine los criterios de sustentabilidad pertinentes para la cuenca del Salar de Atacama.

Código Ficha	GOB-2
	3. Desarrollo estudio de evaluación de medidas de gestión hídrica.
Hitos e indicadores	Porcentaje de avance de los estudios, en función de los objetivos establecidos que han sido cumplidos.
Origen de la iniciativa	i) Actividades de Participación Ciudadana (Anexo I, Capítulo 5); ii) Brechas de Modelación (Tabla 7-1); iii) Brechas de información (acápite 2.6.4.4); iv) Plan Regional de Antofagasta 2018-2022 (Gobierno de Chile, 2019) (Anexo J, acápite 5.2).
Ubicación de la iniciativa	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-23: Ficha resumen iniciativa N° GOB-3.

Código Ficha	GOB-3
Nombre de la iniciativa	Creación y fortalecimiento organizaciones de usuarios de agua.
Desempeño	Integración institucional/normativa y gobernanza participativa a nivel de cuenca.
Descripción	Conformación de Junta Vigilancia de los ríos San Pedro y Vilama, incluyendo usuarios de aguas subterráneas.
Objetivo	Fortalecer vínculo entre los usuarios de agua para coordinar y organizar la gestión del agua en los sitios de interés.
Brecha	Brechas en instrumentos de planificación y coordinación interinstitucional, coordinación de organismos usuarios de agua y coordinación en gestión de los recursos hídricos.
Beneficiarios directos	Usuarios de los DAA otorgados en la cuenca del Salar de Atacama.
Relación con políticas y/o cartera de acciones actual	No se reconoce relación con Políticas y/o Cartera de acciones actual.
Requisitos habilitantes y/o comentarios adicionales	Una vez constituidas las organizaciones de usuarios de agua, estas deberán evaluar su continuidad y acordar con las fuentes de financiamiento buscar su continuidad.
Posible fuente de financiación	CNR
CAPEX (UF)	246
OPEX (UF)	5.796
Tiempo total de implementación (meses)	27
Horizonte	Largo plazo
Encargado implementación	CNR
Encargado de gestión	CNR
Etapas	1. Elaboración de bases para el plan y su posterior licitación. 2. Desarrollo estudio de consultoría técnica y jurídica.
Hitos e indicadores	Número de nuevos OUA conformados.
Origen de la iniciativa	i) Actividades de Participación Ciudadana (Anexo I, Capítulo 5); ii) Brechas de información (acápites 2.6.4.4); iii) Plan Estratégico para la Gestión de los Recursos Hídricos, Región de Antofagasta (DGA-ARCADIS, 2016) (Anexo J, acápites 5.2).
Ubicación de la iniciativa	

Código Ficha	GOB-3	
	 <p data-bbox="493 1314 1427 1367">Nota: Los puntos verdes representan los lugares donde se deben evaluar la necesidad de constituir organizaciones de usuarios de agua.</p>	

Fuente: Elaboración propia

7.5 EVALUACIÓN DE LAS INICIATIVAS

La evaluación económica, social y ambiental de las iniciativas presentadas en los acápite anteriores se desarrolló según lo expuesto en el acápite 6.2 del Anexo F. A continuación, se presentan los resultados de estas evaluaciones del plan de acción de la cuenca del Salar de Atacama.

7.5.1 Evaluación Económica

En este acápite se presentan los resultados del análisis económico de cada una de las iniciativas pertenecientes a la cartera de iniciativas propuestas. Existen dos componentes que se estimaron para cada una de las medidas en este análisis, la inversión de capital o

gastos de capital (CAPEX por su sigla en inglés, *capital expenditures*) y los gastos operacionales (OPEX por su sigla en inglés, *operational expenditures*).

La estimación de estos dos componentes se logró a través de la definición de una serie de características anteriormente presentadas en las fichas de las iniciativas. Los aspectos más relevantes para el desarrollo de este análisis son: la descripción y actividades necesarias de cada iniciativa, las etapas que componen cada iniciativa y el tiempo total de implementación de la iniciativa. Luego de definir estos aspectos, se estimaron u obtuvieron de estudios/programas previos valores unitarios, tanto de inversiones como de gastos operacionales, donde junto a estas características de las iniciativas, se desarrolla un flujo de caja del cual se obtuvieron estimaciones del CAPEX y OPEX de cada acción. Cabe destacar que, dada esta metodología los valores estimados son una aproximación de lo que podrían ser los valores reales de estos gastos e inversiones.

La Tabla 7-24 presenta los valores estimados de CAPEX y OPEX de cada una de las acciones propuestas en la cartera de iniciativas propuestas de este estudio.

Tabla 7-24: Resultado de la evaluación económica de las iniciativas propuestas para el plan de acción de la cuenca del Salar de Atacama.

Nº	Nombre de la iniciativa	CAPEX (UF)	OPEX (UF)
AP-1	Estudio integral necesidades Servicio Provisión AP comunidades	0	5.979
AP-2	Estudio necesidades Sistema Provisión de Agua Potable CAPRA	0	3.324
AP-3	Estudio de nueva fuente (punto de captación) para PTAP Río Grande	0	824
AP-4	Pérdidas intradomiciliarias, eficiencia y captura de aguas grises	6.491	8.996
AP-5	Seguridad Hídrica y Turismo sustentable	0	10.193
AP-6	Estudios de evaluación de nuevas fuentes de agua potable no convencionales	0	7.595
R-1	Infraestructura para mejorar seguridad de riego en ARA río Vilama y río San Pedro	95.238	23.535
R-2	Estudio necesidades de infraestructura de riego en ARA en C.I. fuera de Ayllus San Pedro de Atacama	0	12.831
R-3	Modernización del sistema de control y monitoreo de distribución de agua	26.610	0
R-4	Plan de desarrollo agro-cultural, incluidos nuevos cultivos	6.612	11.224
PE/MON-1	Revisión de compromisos ambientales de empresas (RCA)	0	11.013
PE/MON-2	Plan de monitoreo participativo de sistemas lagunares	3.593	50.867
PE/MON-3	Estudio de estado actual de vegas y bofedales según funcionamiento hídrico e hidrogeológico en sectores de acuíferos	0	6.931
PE/MON-4	Ampliar red de monitoreo hidrometeorológico/hidrogeológico	1.053	57.433

N°	Nombre de la iniciativa	CAPEX (UF)	OPEX (UF)
PE/MON-5	Plan de educación del uso sostenible del agua en el contexto de cuencas endorreicas	0	10.849
GOB-1	Crear mesa de gobernanza hídrica	0	5.942
GOB-2	Evaluar necesidad de implementar reservas, áreas de restricción y zonas de prohibición	0	5.975
GOB-3	Creación y fortalecimiento organizaciones de usuarios de agua	246	5.796

Fuente: Elaboración propia

7.5.2 Evaluación Social y Ambiental

Un aspecto importante para la priorización de las medidas es el análisis social que se desarrolla para cada una de ellas, el cual proviene de las diferentes actividades de participación ciudadana que se llevaron a cabo durante la realización de este estudio.

Para la evaluación social se consideraron los puntos de vista de los diferentes actores a través de la experiencia adquirida en las diferentes actividades PAC, lo cual permitió validar las medidas en función de si aporta o no en la solución de las problemáticas y brechas identificadas durante los procesos de participación. Para ello, se define un indicador social (IS) el cual toma valores entre 1 y 3, donde la puntuación más alta se obtiene cuando la iniciativa soluciona problemáticas y necesidades mencionadas por más de un actor y es abordada repetidamente en las actividades PAC. Por otro lado, se obtiene el valor más bajo del IS si la iniciativa no es identificada dentro de las actividades. La Tabla 7-25 presenta la justificación de cada una de estas puntuaciones.

Tabla 7-25: Asignación de puntuación del indicador social para las iniciativas de la propuesta de la cartera.

Puntuación del indicador social	Clasificación
1	La iniciativa soluciona problemáticas y necesidades que prácticamente no se identifican dentro de las actividades PAC.
2	La iniciativa soluciona problemáticas y necesidades que se presentan parcialmente dentro de las actividades PAC.
3	La iniciativa soluciona problemáticas y necesidades mencionadas por más de un actor y repetidamente en las actividades PAC.

Fuente: Elaboración propia

Otro aspecto relevante que se tuvo en consideración para la priorización de las iniciativas es el análisis ambiental, el cual está en función del impacto en la protección y conservación del medio ambiente y ecosistemas que pueda causar, de manera directa o indirecta, cada una de las iniciativas propuestas.

La asignación del puntaje en temas ambientales se desarrolla a través de opinión experta, donde la clasificación del indicador ambiental (IA) depende del impacto, tanto directo como indirecto, que pueda tener la medida. Este impacto puede ser negativo, neutro o positivo respecto a la incidencia en el medio ambiente y ecosistemas. La Tabla 7-26 expone con mayor detalle esta clasificación.

Tabla 7–26: Asignación de puntuación del indicador ambiental para las iniciativas de la propuesta de la cartera.

Puntuación del indicador ambiental	Clasificación
-2	La iniciativa presenta un impacto negativo en el medio ambiente y ecosistemas dentro de la cuenca.
-1	La iniciativa presenta un impacto medianamente negativo en el medio ambiente y ecosistemas dentro de la cuenca.
0	La iniciativa presenta una incidencia neutra en el medio ambiente y ecosistemas dentro de la cuenca.
+1	La iniciativa presenta un impacto medianamente positivo en el medio ambiente y ecosistemas dentro de la cuenca.
+2	La iniciativa presenta un impacto positivo en el medio ambiente y ecosistemas dentro de la cuenca.

Fuente: Elaboración propia

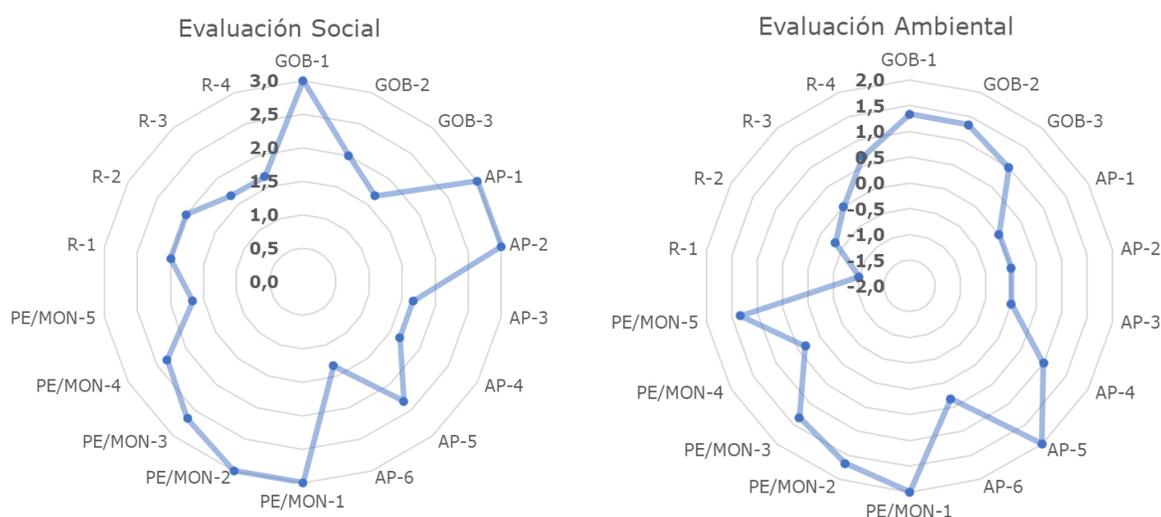
Una vez definido el sistema de puntuación y la clasificación de cada indicador, se procedió a calificar cada una de las medidas según las definiciones anteriores. La Tabla 7–27 muestra el resultado de este análisis, entregando indicadores sociales y ambientales para cada iniciativa, además se presenta la Figura 7–2 para visualizar de mejor manera estos indicadores.

Tabla 7–27: Asignación de puntuación de los indicadores social y ambiental para las iniciativas de la propuesta de la cartera.

N°	Nombre de la iniciativa	Indicador Social	Indicador Ambiental
GOB-1	Crear mesa de gobernanza hídrica	3,0	1,3
GOB-2	Evaluar necesidad de implementar reservas, áreas de restricción y zonas de prohibición	2,0	1,3
GOB-3	Creación y fortalecimiento organizaciones de usuarios de agua	1,7	1,0
AP-1	Estudio integral necesidades Servicio Provisión AP comunidades	3,0	0,0
AP-2	Estudio necesidades Sistema Provisión de Agua Potable CAPRA	3,0	0,0
AP-3	Estudio de nueva fuente (punto de captación) para PTAP Río Grande	1,7	0,0
AP-4	Pérdidas intradomiciliarias, eficiencia y captura de aguas grises	1,7	1,0
AP-5	Seguridad Hídrica y Turismo sustentable	2,3	2,0
AP-6	Estudios de evaluación de nuevas fuentes de agua potable no convencionales	1,3	0,3
PE/MON-1	Revisión de compromisos ambientales de empresas (RCA)	3,0	2,0
PE/MON-2	Plan de monitoreo participativo de sistemas lagunares	3,0	1,7
PE/MON-3	Estudio de estado actual de vegas y bofedales según funcionamiento hídrico e hidrogeológico en sectores de acuíferos.	2,7	1,3

N°	Nombre de la iniciativa	Indicador Social	Indicador Ambiental
PE/MON-4	Ampliar red de monitoreo hidrometeorológico/hidrogeológico	2,3	0,3
PE/MON-5	Plan de educación del uso sostenible del agua en el contexto de cuencas endorreicas	1,7	1,3
R-1	Infraestructura para mejorar seguridad de riego en ARA río Vilama y río San Pedro	2,0	-1,0
R-2	Estudio necesidades de infraestructura de riego en ARA en C.I. fuera de Ayllus San Pedro de Atacama	2,0	-0,3
R-3	Modernización del sistema de control y monitoreo de distribución de agua	1,7	0,0
R-4	Plan de desarrollo agro-cultural, incluidos nuevos cultivos	1,7	0,7

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Figura 7–2: Asignación de puntuación de los indicadores social y ambiental para las iniciativas de la propuesta de la cartera.

Es importante recalcar que, las iniciativas R-1 y R-2 pueden presentar un impacto negativo, tanto directa como indirectamente, en el medio ambiente y ecosistemas dentro de la cuenca, dado que se clasifican con un valor del indicador ambiental negativo, debido a que R-1 consiste en llevar a cabo una serie de obras importantes en infraestructura, y R-2 al ser un estudio donde se puedan proponer este mismo tipo de obras presenta un valor absoluto menor que R-1. Esto se traduce en posibles externalidades negativas al medio ambiente al momento de ser implementadas, por lo que es recomendable realizar un trabajo posterior respecto al efecto que puedan generar cada una de las iniciativas por separado y un posible efecto sinérgico negativo.

7.6 SÍNTESIS DE CARTERA DE INICIATIVAS PROPUESTAS

A modo de resumen, en la Tabla 7–28 se presentan las iniciativas de la cartera de iniciativas propuestas para el Plan de Gestión Hídrica de la cuenca del Salar de Atacama de manera sintética, con elementos más destacados de ellas. Los indicadores relativos sociales y

ambientales se obtienen haciendo un ranking desde la iniciativa con mejor a peor valor de indicador, tanto para el análisis social como ambiental.

Tabla 7-28: Tabla de síntesis de iniciativas propuestas.

N°	Nombre de la iniciativa	Plazo (meses)	Institución financiera	CAPEX (UF)	OPEX (UF)	Indicador relativo Social	Indicador relativo Ambiental
AP-1	Estudio integral necesidades Servicio Provisión AP comunidades	15	DOH / CORFO	0	5.979	1°	13°
AP-2	Estudio necesidades Sistema Provisión de Agua Potable CAPRA	9	DOH	0	3.324	1°	13°
AP-3	Estudio de nueva fuente (punto de captación) para PTAP Río Grande	6	DOH	0	824	12°	13°
AP-4	Pérdidas intradomiciliarias, eficiencia y captura de aguas grises	39	SISS / Municipalidad	6.491	8.996	12°	8°
AP-5	Seguridad Hídrica y Turismo sustentable	15	CORFO / Gobierno Regional o Provincial / Municipalidad	0	10.193	7°	1°
AP-6	Estudios de evaluación de nuevas fuentes de agua potable no convencionales	11	CORFO / DGA / Gobierno Regional	0	7.595	18°	11°
R-1	Infraestructura para mejorar seguridad de riego en ARA río Vilama y río San Pedro	120	CNR	95.238	23.535	9°	18°
R-2	Estudio necesidades de infraestructura de riego en ARA en C.I. fuera de Ayllus San Pedro de Atacama	36	CNR	0	12.831	9°	17°
R-3	Modernización del sistema de control y monitoreo de distribución de agua	12	CNR	26.610	0	12°	13°
R-4	Plan de desarrollo agro-cultural, incluidos nuevos cultivos	18	Municipalidad / MINAGRI	6.612	11.224	12°	10°
PE/MON-1	Revisión de compromisos ambientales de empresas (RCA)	24	SEA/DGA	0	11.013	1°	1°
PE/MON-2	Plan de monitoreo participativo de sistemas lagunares	32	MMA / Empresas / SMA	3.593	50.867	1°	3°

N°	Nombre de la iniciativa	Plazo (meses)	Institución financiera	CAPEX (UF)	OPEX (UF)	Indicador relativo Social	Indicador relativo Ambiental
PE/MON-3	Estudio de estado actual de vegas y bofedales según funcionamiento hídrico e hidrogeológico en sectores de acuíferos.	36	CONAF / MMA	0	6.931	6°	4°
PE/MON-4	Ampliar red de monitoreo hidrometeorológico/ hidrogeológico	60	DGA	1.053	57.433	7°	11°
PE/MON-5	Plan de educación del uso sostenible del agua en el contexto de cuencas endorreicas	28	GORE / DGA	0	10.849	12°	4°
GOB-1	Crear mesa de gobernanza hídrica	27	CORFO / DGA / GORE	0	5.942	1°	4°
GOB-2	Evaluar necesidad de implementar reservas, áreas de restricción y zonas de prohibición	15	DGA	0	5.975	9°	4°
GOB-3	Creación y fortalecimiento organizaciones de usuarios de agua	27	CNR	246	5.796	12°	8°

Fuente: Elaboración propia

7.7 DISTRIBUCIÓN DE COSTOS DEL PLAN POR INSTITUCIÓN

En función de los resultados de la evaluación económica, y la responsabilidad en la ejecución de las iniciativas, se resume a continuación CAPEX y OPEX por institución (Tabla 7-29, Tabla 7-30 y Tabla 7-31).

Tabla 7-29: Tabla de iniciativas ejecutadas por DGA.

N°	Nombre de la iniciativa	Institución financiera	CAPEX (UF)	OPEX (UF)
GOB-2	Evaluar necesidad de implementar reservas, áreas de restricción y zonas de prohibición	DGA	0	5.975
PE/MON-4	Ampliar red de monitoreo hidrometeorológico/ hidrogeológico	DGA	1.053	57.433
TOTAL			1.053	63.408

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-30: Tabla de iniciativas ejecutadas por DGA y otras instituciones.

N°	Nombre de la iniciativa	Institución financiera	CAPEX (UF)	OPEX (UF)
GOB-1	Crear mesa de gobernanza hídrica	GORE/DGA	0	5.942
AP-6	Estudios de evaluación de nuevas fuentes de agua potable no convencionales	CORFO / DGA / Gobierno Regional	0	7.595
PE/MON-1	Revisión de compromisos ambientales de empresas (RCA)	SEA/DGA	0	11.013
PE/MON-5	Plan de educación del uso sostenible del agua en el contexto de cuencas endorreicas	GORE / DGA	0	10.849
TOTAL			0	35.399

Fuente: Elaboración propia

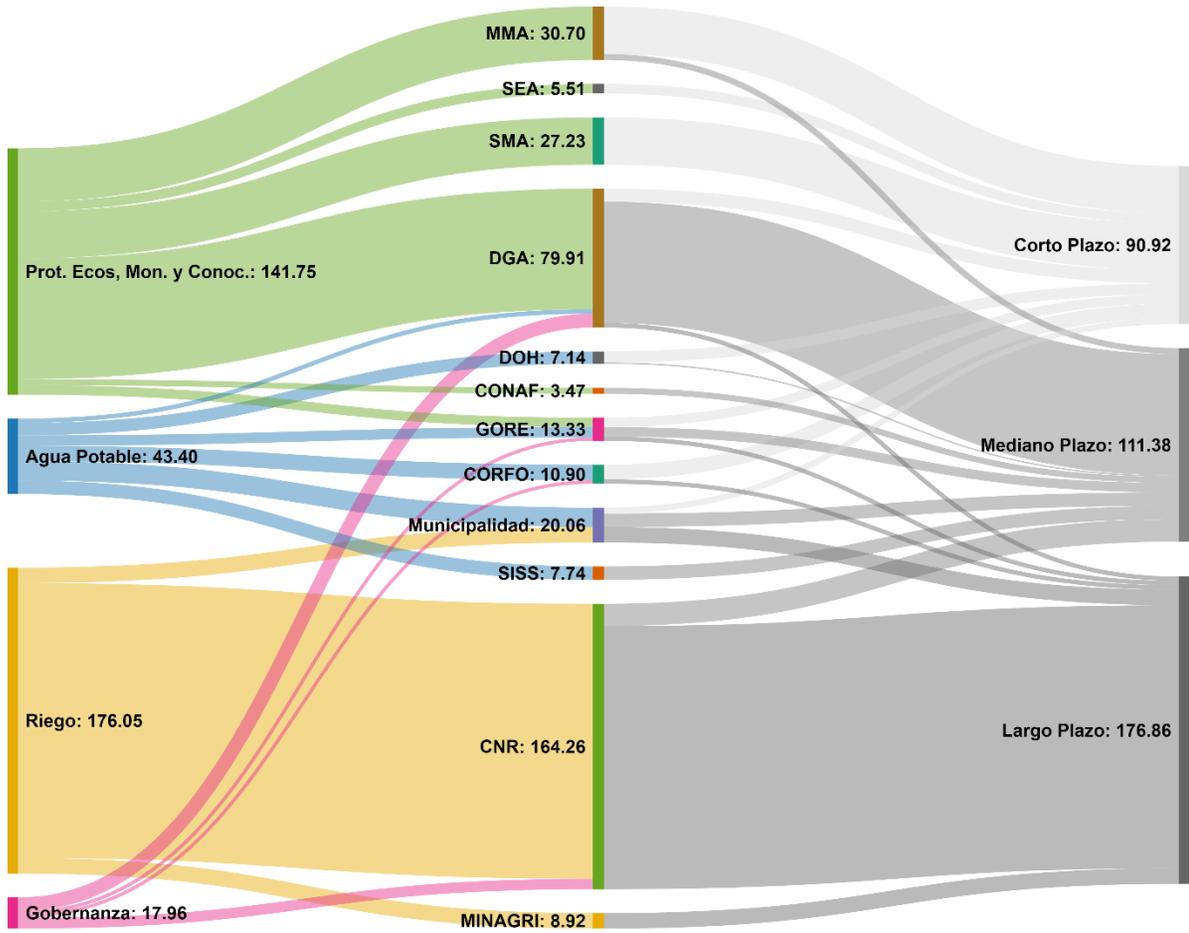
Tabla 7-31: Tabla de iniciativas ejecutadas por otras instituciones.

N°	Nombre de la iniciativa	Institución financiera	CAPEX (UF)	OPEX (UF)
AP-1	Estudio integral necesidades Servicio Provisión AP comunidades	DOH/CORFO	0	5.979
AP-2	Estudio necesidades Sistema Provisión de Agua Potable CAPRA	DOH	0	3.324
AP-3	Estudio de nueva fuente (punto de captación) para PTAP Río Grande	DOH	0	824
AP-4	Pérdidas intradomiciliarias, eficiencia y captura de aguas grises	SISS / Municipalidad	6.491	8.996
AP-5	Seguridad Hídrica y Turismo sustentable	Gobierno Regional	0	10.193

N°	Nombre de la iniciativa	Institución financiera	CAPEX (UF)	OPEX (UF)
		Provincial/ Municipalidad		
R-1	Infraestructura para mejorar seguridad de riego en ARA río Vilama y río San Pedro	CNR	95.238	23.535
R-2	Estudio necesidades de infraestructura de riego en ARA en C.I. fuera de Ayllus San Pedro de Atacama	CNR	0	12.831
R-3	Modernización del sistema de control y monitoreo de distribución de agua	CNR	26.610	0
R-4	Plan de desarrollo agro-cultural, incluidos nuevos cultivos	Municipalidad / MINAGRI	6.612	11.224
PE/MON-2	Plan de monitoreo participativo de sistemas lagunares	MMA/ Empresas/SMA	3.593	50.867
PE/MON-3	Estudio de estado actual de vegas y bofedales según funcionamiento hídrico e hidrogeológico en sectores de acuíferos.	CONAF / MMA	0	6.931
TOTAL			138.544	134.704

Fuente: Elaboración propia

Para representar de mejor manera la distribución de los costos la Figura 7-3 muestra el diagrama de Sankey, el cual presenta los flujos de costos por institución financiera (CAPEX más OPEX en miles de UF) y los horizontes de tiempo (corto, mediano y largo plazo).



Nota: Los números representan los flujos de los costos (CAPEX + OPEX) en miles de UF.

Fuente: Elaboración propia

Figura 7-3: Diagrama de Sankey, representando montos por tipo de iniciativa, plazos e instituciones financieras.

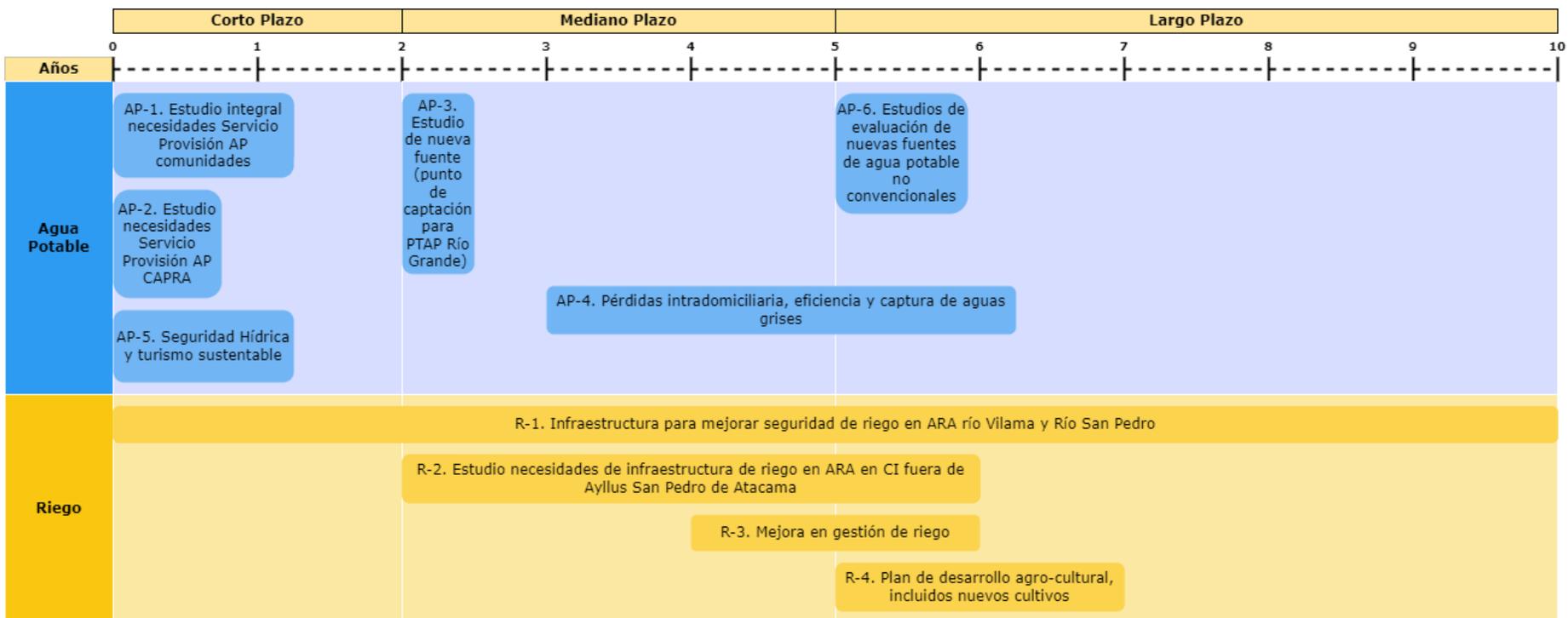
CAPÍTULO 8 IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN

En el presente capítulo se discuten consideraciones para una implementación exitosa del plan propuesto. En primer lugar, se describe la posible gobernanza del PEGH para la cuenca del Salar de Atacama, luego se presentan una carta Gantt con las iniciativas propuestas y su justificación del orden temporal de cada iniciativa según el análisis desarrollado en el Capítulo 7, después se presentan los hitos de implementación y por último se tiene la estrategia de implementación y de comunicación del plan.

8.1 ESTRUCTURA DE IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN

A partir del desarrollo del presente estudio e incluyendo las múltiples reuniones de participación con los diferentes actores interesados en el PEGH de la cuenca, uno de los aspectos clave que surgió para avanzar en el cumplimiento del plan fue la conformación de una mesa de gobernanza hídrica (GOB-1). Dada la historia de conflictos y desconfianza entre distintos actores se busca que esta mesa sea la encargada de la implementación y seguimiento del PEGH. De acuerdo a lo planteado anteriormente esta mesa deberá estar conformada por representantes de las CI, de los ministerios sectoriales, de los regantes, de la municipalidad de San Pedro de Atacama, del gobierno regional, de centros de estudio y del sector privado de minería y turismo. Dado lo clave de esta acción se recomienda que la DGA tome la responsabilidad de convocar a los actores para crear esta mesa, generando una directiva y el asesoramiento técnico necesario. Una vez establecida esta mesa deberá validar las iniciativas propuestas en este plan e iniciar las iniciativas necesarias para lograr su implementación.

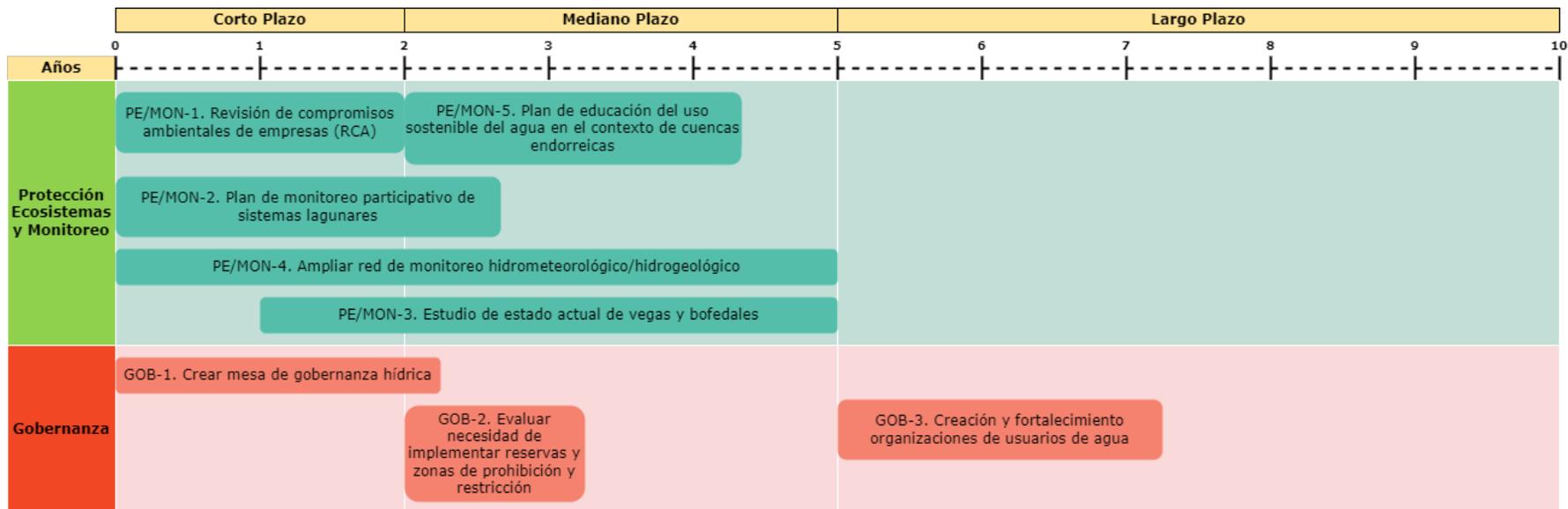
En la Figura 8-1 y Figura 8-2 se presenta la carta Gantt de las iniciativas propuestas. Estas están agrupadas por eje de acción y separadas en iniciativas a corto (hasta año 2 inclusive), mediano (entre tercer y quinto año inclusive) y largo plazo (sexto al décimo año).



Nota: El alto de los rectángulos de las iniciativas no tiene ningún significado en particular, a diferencia del ancho que depende de la duración total de cada iniciativa.

Fuente: Elaboración propia

Figura 8–1: Carta Gantt de la implementación del plan.



Nota: El alto de los rectángulos de las iniciativas no tiene ningún significado en particular, a diferencia del ancho que depende de la duración total de cada iniciativa.

Fuente: Elaboración propia

Figura 8-2: Carta Gantt de la implementación del plan (continuación).

El orden temporal de las iniciativas que se muestra en la Figura 8-1 y Figura 8-2 forma parte del análisis para llegar a las medidas priorizadas, esto considerando las metodologías de evaluación social y ambiental realizados en el acápite 7.5.2. Las iniciativas priorizadas debido a su indicador social son: i) AP-1; ii) AP-2; y iii) GOB-1, ya que obtuvieron la puntuación máxima en la escala social (3,0). Por otro lado, la iniciativa priorizada únicamente debido a su indicador ambiental es AP-5, ya que obtuvo la puntuación máxima en la escala ambiental (+2,0). Además, existen dos casos donde las iniciativas lograron un valor alto tanto en su indicador social como ambiental, y estas son las iniciativas PE/MON-1 (IS = 3,0; IA = +2,0) y PE/MON-2 (IS = 3,0; IA = +1,7).

Dentro de este proceso de priorización se presentan iniciativas que son habilitantes, las cuales se definen como "aquellas iniciativas que habilitan a otras iniciativas, es decir, que entregan elementos para que las iniciativas siguientes sean capaces de desarrollarse". Estas iniciativas habilitantes pueden haber obtenido valores de indicadores sociales y ambientales menores que otras iniciativas (según el análisis desarrollado en el acápite 7.5), pero fueron priorizadas temporalmente según lo apreciado en la Figura 8-1 y Figura 8-2 (ver Tabla 7-11 y Tabla 7-18). Las iniciativas que cumplen con esta característica según definición entregada se observan en la Tabla 8-1.

Tabla 8-1: Tabla de iniciativas habilitantes dentro de la implementación del plan.

N°	Nombre de la iniciativa	Indicador relativo Social	Indicador relativo Ambiental
R-2	Estudio necesidades de infraestructura de riego en ARA en C.I. fuera de Ayllus San Pedro de Atacama	9°	17°
PE/MON-4	Ampliar red de monitoreo hidrometeorológico/hidrogeológico	7°	11°

Fuente: Elaboración propia

Otras iniciativas que dentro de los análisis realizados presentan valores de indicadores sociales y ambientales altos son: PE/MON-3 (IS = 2,7; IA = 1,3) y GOB-2 (IS = 2,0; IA = 1,3), las cuales forman parte de las iniciativas de corto/mediano plazo dentro de la cartera. La iniciativa GOB-2 ("Evaluar necesidad de implementar reservas, áreas de restricción y zonas de prohibición"), requiere del cumplimiento de algunos hitos de la iniciativa GOB-1 ("Crear mesa de gobernanza hídrica") para poder comenzar, es por esto por lo que no inicia en el primer año de la cartera de iniciativas.

8.2 HITOS DE IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN

En el siguiente acápite se presentan los principales hitos que pueden ser claves para la implementación del Plan Estratégico de Gestión Hídrica, tanto para corto, mediano y largo plazo.

8.2.1 Hitos a corto plazo

Los principales hitos a corto plazo que son claves para la implementación del PEGH son cuatro iniciativas: i) GOB-1: Creación mesa de gobernanza hídrica; ii) PE/MON-4: Ampliar red de monitoreo hidrometeorológico/hidrogeológico; iii) AP-1: Estudio integral

necesidades Servicio Provisión AP comunidades; y AP-2: Estudio necesidades Sistema Provisión de Agua Potable CAPRA.

Como se menciona anteriormente, la iniciativa GOB-1 es clave para resolver conflictos y generar confianza entre los distintos actores dentro de la cuenca del Salar de Atacama. Por otro lado, para que esta mesa pueda trabajar en el corto plazo resolviendo algunas brechas críticas como el abastecimiento de agua potable, es necesario comenzar con los estudios de las iniciativas AP-1 y AP-2. Por último, la iniciativa PE/MON-4 cumple un papel clave dentro del plan dado que es una iniciativa habilitante para otras iniciativas.

8.2.2 Hitos a mediano plazo

Los principales hitos a mediano plazo que son claves para la implementación del PEGH son dos iniciativas: i) GOB-2: Evaluar necesidad de implementar reservas, áreas de restricción y zonas de prohibición; y ii) R-2: Estudio necesidades de infraestructura de riego en ARA en C.I. fuera de Ayllus San Pedro de Atacama.

La iniciativa GOB-2 es clave para el desarrollo a mediano plazo dado que ayudará a la mesa de gobernanza hídrica a desarrollar una gestión eficiente y sustentable dentro de la cuenca para así asegurar la preservación y conservación de los recursos hídricos. Además, la iniciativa R-2 cumple un papel clave dentro del plan dado que es una iniciativa habilitante para otras iniciativas.

8.2.3 Hitos a largo plazo

A largo plazo es clave para la implementación del plan la iniciativa GOB-3: Creación y fortalecimiento organizaciones de usuarios de agua, ya que es fundamental para desarrollar capacidades organizacionales entre los diferentes usuarios y la mesa de gobernanza hídrica.

Cabe destacar luego de presentar estos hitos de corto, mediano y largo plazo del PEGH, que a medida que se vaya actualizando el plan es necesario que se revisen y actualicen, estos hitos de referencia.

8.3 ESTRATEGIA DE IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN

El correcto desarrollo de las iniciativas propuestas dentro del PEGH de la cuenca del Salar de Atacama depende de factores externos al propio plan, como lo son aspectos institucionales y cultura del agua.

8.3.1 Aspectos institucionales

Los aspectos institucionales representan un factor trascendental para que la implementación del PEGH se desarrolle de manera favorable o adversa, lo cual depende de ciertas condicionantes institucionales (Fundación Chile, 2019) que se clasifican en:

- Condicionantes institucionales de diseño: corresponden a las limitaciones o facilidades derivadas de la estructura institucional o de las funciones asignadas (o ausentes) a las distintas instituciones. En esta categoría se consideran problemas tales como los de coordinación interinstitucional.

- Condicionantes institucionales de capacidades: corresponden a las limitaciones o facilidades que se originan en las políticas, funcionamiento, y en la disponibilidad de recursos humanos, orgánicos, financieros, logísticos, etc. de las instituciones que tienen la responsabilidad de aplicar los instrumentos incluidos en las normativas.

A partir de esto, se presentan iniciativas que incluyen ciertos aspectos institucionales que hay que considerar. i) GOB-1 Creación mesa de gobernanza hídrica a nivel de cuenca: si bien existe una institucionalidad a nivel regional (Mesa Regional por el Agua), el desarrollo de esta iniciativa podría no tener ningún impacto si no presenta capacidades para cumplir con sus objetivos. ii) PE/MON-4 Ampliación red de monitoreo hidrometeorológico/hidrogeológico: existe una institucionalidad pública para el desarrollo de obras de ampliación de red hidrométrica y el desarrollo de programas de monitoreo, las cuales se ejecutan de acuerdo con las estratégicas institucionales ministeriales, sus objetivos de gestión, indicadores de desempeño, cronograma de gastos y nivel de ejecución presupuestaria. Cabe señalar que el desarrollo de este tipo de institucionalidad pública se trabaja principalmente a nivel regional, no obstante, se puede ver limitada por aspectos de institucionales a nivel central. iii) GOB-2 Evaluación de la implementación de reservas, áreas de restricción y zonas de prohibición: estas iniciativas requieren de una importante coordinación interinstitucional, central y/o regional. Se identifica como limitante la capacidad de coordinación e integración que posee la compleja estructura institucional existente para abordar estas iniciativas, así como la disponibilidad de recursos humanos encargados de evaluar y ejecutar las actividades asociadas a esta tipología. iv) GOB-3 Creación y fortalecimiento organizaciones de usuarios de agua: si bien existe una institucionalidad pública respecto a las funciones asignadas para cada institución respecto a la conformación de OUs, conforme a lo señalado en el Código de Aguas, el acto de conformación queda supeditada a la acción de actores titulares de DAA interesados y sus capacidades de coordinación y gestión. v) PE/MON-1 Revisión de compromisos ambientales de empresas (RCA): esta iniciativa requiere de una importante coordinación interinstitucional y/o central. Se identifica como limitante la capacidad de coordinación e integración que posee la compleja estructura institucional existente para abordar esta iniciativa en particular, es por esto que dentro de las etapas propuestas se plantea realizar un análisis jurídico e institucional respecto de revisión de compromisos ambientales.

8.3.2 Aspectos de cultura del agua

El proceder individual de las personas, en relación con el aprovechamiento del agua, está influido culturalmente por la cosmovisión, las costumbres y los hábitos que se tienen en su uso, así como por el grado de conocimiento técnico y acceso a información disponible. Gran parte de las iniciativas propuestas tienen en sí una componente cultural vinculada con el agua. La principal fuente de información respecto de los temas relativos al agua lo constituyen los medios de comunicación de masas, los que frecuentemente entregan una visión excesivamente simple, parcial y descontextualizada de la compleja realidad de la gestión del agua, lo que hace más difícil la formación de una ciudadanía verdaderamente consciente de la naturaleza de los desafíos que presenta el tema en el país (FCh, 2019).

A partir de esto, se presentan iniciativas que incluyen ciertos aspectos culturales que hay que considerar. i) GOB-1 Creación mesa de gobernanza hídrica a nivel de cuenca: esta iniciativa se puede ver limitada si es que no todos los principales actores, en especial los

representantes de las comunidades, no forman parte del proceso de implementación de la iniciativa. ii) GOB-2 Implementación de reservas, áreas de restricción y zonas de prohibición: el desconocimiento por parte de los titulares de DAA respecto del marco normativo dentro del cual se ejecuta esta iniciativa, en especial en temas referentes a aspectos legales necesarios para su aplicación, así como respecto a los marcos ambientales y de conservación que sustentan su ejecución, puede dificultar la implementación de estas iniciativas. iii) GOB-3 Creación y fortalecimiento organizaciones de usuarios de agua: esta iniciativa se sustenta en la necesidad de que los titulares de DAA reconozcan la importancia de generar organizaciones que permitan gestionar los recursos hídricos de manera colectiva e integral, por lo que esta iniciativa se puede ver limitada si hay desconocimiento o desinterés por parte de los actores relevantes sobre este tipo de procesos. Asimismo, esta tipología de iniciativas se puede ser limitada debido a los diferentes grados de desconfianza entre los titulares de DAA.

8.3.3 Aspectos de financiamiento

Los aspectos de financiamiento también representan un factor trascendental para que la implementación del PEGH de la cuenca del Salar de Atacama se desarrolle de manera favorable o adversa. Por lo general, este aspecto es una limitante al momento de planificar una serie de iniciativas u programa de acciones, a pesar de que estas iniciativas sean económica, social y/o ambientalmente viables.

A partir de esto, se presentan iniciativas que incluyen ciertos requerimientos dentro de los aspectos financieros que se deben tener en consideración. i) GOB-1 Creación mesa de gobernanza hídrica a nivel de cuenca: esta iniciativa requiere de asignación de fondos públicos, aún cuando diferentes tipos de actores sean parte de su conformación, por lo que su aplicación depende de los presupuestos disponibles por parte del Gobierno Regional de Antofagasta. Aun así, es posible obtener colaboración con otras instituciones para optar a fondos públicos como CORFO. ii) GOB-2 Evaluación de la implementación de reservas, áreas de restricción y zonas de prohibición: esta iniciativa requiere de asignación de fondos públicos, por lo que su aplicación depende de los presupuestos disponibles por parte de la DGA, dado que es la institución encargada de implementar la iniciativa. iii) GOB-3 Creación y fortalecimiento organizaciones de usuarios de agua: esta iniciativa requiere de asignación de fondos públicos, por lo que su aplicación depende de los presupuestos disponibles por parte de la CNR, dado que es la institución encargada de implementar la iniciativa. Aun así, es posible obtener colaboración con otras instituciones para optar a fondos públicos como la DGA. iv) PE/MON-4 Ampliación red de monitoreo hidrometeorológico/hidrogeológico: esta iniciativa requiere de asignación de fondos públicos, por lo que su aplicación depende de los presupuestos disponibles por parte de la DGA, dado que es la institución encargada de implementar la iniciativa. Aun así, es posible obtener colaboración con otras instituciones para optar a fondos públicos como el Gobierno Regional de Antofagasta y/o CONAF.

8.3.4 Aspectos territoriales de la cuenca

La cuenca del Salar de Atacama concentra sus aspectos territoriales en dos focos. El primero en la zona Norte de la cuenca donde se concentra en San Pedro de Atacama, las comunidades de su alrededor y Río Grande, esto dado principalmente por la cercanía con los ríos San Pedro y Vilama y el impacto que tiene en el riego. El Segundo foco, se reparte

en la zona Este y Sur de la cuenca, dada la relación que tienen las comunidades con las lagunas presentes, además de la producción minera.

8.4 ESTRATEGIA DE COMUNICACIÓN

En este acápite se presenta la estrategia comunicacional del PEGH de la cuenca del Salar de Atacama, tanto la implementada durante el desarrollo de este estudio como la que se espera en fases posteriores al plan.

8.4.1 Estrategia durante el desarrollo

La estrategia de comunicación implementada en este PEGH presentó los siguientes componentes:

- Recopilación de antecedentes de proceso de participación realizados con anterioridad.
- Proceso de reuniones de presentación del estudio donde se sostuvo discusiones e interacciones con los actores a distintos niveles y coordinación (regional, cuenca, local).
- Etapa de talleres de capacitación de la herramienta de modelación WEAP, enfocados en presentar las características básicas sobre cómo se construye y opera un modelo WEAP.
- Proceso de reuniones de construcción colaborativa del modelo de simulación WEAP, donde se revisaron antecedentes que es información de entrada del modelo.
- Proceso de información y consulta a través de talleres y reuniones con los actores relevantes (acápites 2.6.1), con el fin de validar y levantar brechas identificadas, acciones, objetivos (desempeños) e incertidumbres (escenarios).
- Proceso de validación a través de talleres de trabajo, específicamente se validaron las problemáticas y necesidades identificadas y las acciones que forman parte del plan.
- Por último, un taller de cierre donde se presentó en detalle la construcción del modelo integrado de base (y la construcción de escenarios) de la cuenca del Salar de Atacama.

8.4.2 Estrategia posterior al desarrollo

La propuesta de la estrategia comunicacional del PEGH para un desarrollo favorable del plan contiene tres objetivos centrales: i) Planificar el proceso de comunicación y discusión; ii) Informar a los actores relevantes y otros actores de la cuenca sobre los avances en la implementación del PEGH; y iii) Dialogar y verificar la aceptación de las iniciativas y el estudio en general por parte de los actores que se verían beneficiados.

i. Planificar el proceso de comunicación y discusión

Se propone generar instancias internas de la institución para determinar las organizaciones y miembros de las comunidades a participar del proceso de difusión del PEGH, para así poder comunicar según los diferentes receptores de la información.

ii. Informar a los actores relevantes y otros actores de la cuenca sobre los avances en la implementación del PEGH

Se propone que la DGA genere un canal de comunicación, como un correo electrónico institucional de contacto, el cual quede disponible para que el público general pueda hacer seguimiento, consultas o aportes, con el objetivo de transparentar el avance de las iniciativas del plan. Así mismo, se recomienda la identificación de una persona referencial del servicio a nivel local (DGA Región de Antofagasta) con conocimiento íntegro del PEGH que pueda resolver dudas o consultas de terceros sobre el avance de implantación de las medidas, así como sea el encargado de mantener los canales de comunicación constantes con actores relevantes para la ejecución de las iniciativas del PEGH.

Además de lo anterior, se recomienda el uso de medios de difusión a través de las plataformas de la DGA (web, redes sociales) y medios de difusión tradicionales a escala local y de alto alcance dentro de la cuenca como son los programas de radio. Es importante señalar que, una parte importante de las comunidades presentes en la cuenca reciben de mejor manera los mensajes de manera directa a través de talleres y/o reuniones presenciales, esto dado lo aprendido durante el proceso participativo de este estudio.

iii. Dialogar y verificar la aceptación de las iniciativas y el estudio en general por parte de los actores que se verían beneficiados

Como el público objetivo varía en función de las iniciativas que se presentan en el plan, se propone que, antes de que se asignen recursos para el desarrollo de las iniciativas, se establezcan reuniones de trabajo, al menos, con los actores beneficiados y las instituciones encargadas de la gestión de ellas. El fin de esto es presentar los aspectos técnicos, sociales y económicos de las iniciativas correspondientes.

CAPÍTULO 9 MONITOREO Y EVALUACIÓN DEL PLAN

En el presente capítulo se proponen las acciones para hacer el monitoreo y evaluación al plan. Para garantizar la obtención de los objetivos propuestos en el plan es necesario contar permanentemente con una estrategia que dé seguimiento y evalúe el cumplimiento de las medidas priorizadas.

9.1 INDICADORES

La Tabla 9-1 presenta los tipos de indicadores de cada una de las iniciativas de corto, mediano y largo plazo. Los indicadores de avance son aquellos que dan cuenta de una iniciativa que avanza hasta ser completada, por otro lado, los indicadores de impacto son aquellas que se deben evaluar permanentemente y que dan cuenta de variables físicas o umbrales de satisfacción de una condición establecida.

Para monitorear el avance del plan se deberá verificar el estado de los indicadores propuestos, así como el cumplimiento de los objetivos y cierre de las brechas que aborda cada iniciativa.

Tabla 9-1: Indicadores de monitoreo de las iniciativas propuestas.

N°	Nombre iniciativa	Objetivo de iniciativa	Indicadores de avance	Indicadores de impacto
Eje Gobernanza				
GOB-1	Crear mesa de gobernanza hídrica	El objetivo general de esta mesa es mejorar la gestión hídrica integrada de la cuenca (institucional/normativa y gobernanza participativa), a través de instancias de diálogo, apoyo técnico y consultivo a los diferentes actores. Como objetivo particular tiene: 1. Generación de capacidades a los miembros de la mesa. 2. Priorización y seguimiento del PEGH. 3. Actualización y revisión modelo integrado cuenca salar de Atacama.	1. Número de organizaciones/instituciones representadas	1. Mesa fue constituida 2. Número de instancias de reunión al año
GOB-2	Evaluar necesidad de implementar reservas, áreas de restricción y zonas de prohibición	Generar conocimiento y determinar factibilidad de medidas para asegurar la preservación y conservación de los recursos hídricos a través de una gestión eficiente y sustentable.	1. Porcentaje de avance de los estudios, en función de los objetivos establecidos que han sido cumplidos	
GOB-3	Creación y fortalecimiento organizaciones de usuarios de agua	Fortalecer vínculo entre los usuarios de agua para coordinar y organizar la gestión del agua en los sitios de interés.	1. Número de nuevos OUA conformados	
Eje Agua Potable				
AP-1	Estudio integral necesidades Servicio Provisión AP comunidades	1. Identificar necesidades de servicio de provisión de agua potable dentro de las diferentes comunidades del Salar de Atacama tales como mejoras en la capacidad de almacenamiento, tratamiento del agua, sistema de distribución/conducción y/o recuperación del agua, para así entregar alternativas a las comunidades que no cuentan con un sistema de agua potable adecuado. 2. Diagnosticar, definir y proyectar alternativas técnicas y económicas para las diferentes necesidades en los sistemas de agua potable.	1. Porcentaje de avance del estudio, en función a los objetivos establecidos que se han logrado	
AP-2	Estudio necesidades Sistema Provisión de Agua Potable CAPRA	Determinar soluciones al actual sistema de provisión de agua potable de CAPRA para mejorar el caudal requerido por la población por el periodo de previsión de 20 años en San Pedro de Atacama.	1. Porcentaje de avance del estudio, en función a los objetivos establecidos que se han logrado	
AP-3	Estudio de nueva fuente (punto de captación) para PTAP Río Grande	Identificar un nuevo punto de captación para abastecer de agua potable de manera permanente y continua a la localidad de Río Grande según sus requerimientos hídricos.	1. Porcentaje de avance del estudio, en función a los objetivos establecidos que se han logrado	

N°	Nombre iniciativa	Objetivo de iniciativa	Indicadores de avance	Indicadores de impacto
AP-4	Pérdidas intradomiciliarias, eficiencia y captura de aguas grises	Reducir pérdidas en la conducción intradomiciliaria, aumentar la reutilización de las aguas grises y optimizar el uso intradomiciliario del agua.	1. Número de viviendas catastradas 2. Número de sitios identificados con mayor deterioro	1. Porcentaje de sitios reparados según el número de sitios identificados 2. Número de hogares con sistemas de tratamiento de aguas grises u otras tecnologías
AP-5	Seguridad Hídrica y Turismo	1. Conocer el consumo de agua y su proyección en la cuenca según cada uno de sus usos. 2. Evaluar diferentes medidas que ayudan al uso adecuado del agua, principalmente para hoteles y restaurantes. 3. Aplicar una producción limpia a través de metas y acciones específicas para el rubro turístico en la cuenca.	1. Porcentaje de avance del estudio, en función a los objetivos establecidos que se han logrado	
AP-6	Estudios de evaluación de nuevas fuentes de agua potable no convencionales	Evaluar la factibilidad de alternativas no convencionales de nuevas fuentes de agua en la cuenca del Salar de Atacama.	1. Porcentaje de avance de los estudios, en función a los objetivos establecidos que han sido cumplidos	
Eje Protección Ecosistemas y Monitoreo				
PE/MON-1	Revisión de compromisos ambientales de empresas	1. Realizar pronóstico, seguimiento, evaluación y verificación de los efectos o impactos previstos de las actividades de extracción de agua fresca y salmuera. 2. Revisar el cumplimiento de los compromisos ambientales asociados al componente hídrico de la cuenca. 3. Facilitar la recopilación e interpretación de información de monitoreo asociado a compromisos ambientales. 4. Coordinar y comunicar de manera efectiva y oportuna la activación de los Planes de Alerta Temprana. 5. Asegurar el buen estado de objetos de protección ambiental.		1. Número de nuevas variables a estudiar 2. Número de nuevos sitios de monitoreo 3. Porcentaje de compromisos ambientales de empresas (RCA) revisadas respecto al total
PE/MON-2	Plan de monitoreo participativo de sistemas lagunares	Involucrar a los principales actores a realizar un monitoreo activo y cooperativo entre ellos, donde puedan compartir y comparar información clave para el entendimiento de los sistemas dentro de la cuenca.	1. Porcentaje de avance de los estudios, en función a los objetivos establecidos que se han logrado	1. Número de personas capacitadas para monitorear y compilar registros 2. Número de actores de la cuenca que cuentan con al menos una persona capacitada para monitorear y compilar registros

N°	Nombre iniciativa	Objetivo de iniciativa	Indicadores de avance	Indicadores de impacto
PE/MON-3	Estudio de estado actual de vegas y bofedales según funcionamiento hídrico e hidrogeológico en sectores de acuíferos.	Determinar el estado actual de vegas y bofedales en la cuenca, redefiniendo y delimitando los sectores acuíferos que los alimentan y estudiar su funcionamiento hidrogeológico.	1. Porcentaje de superficie de vegas y bofedales incorporado en el estudio	1. Número de acuíferos protegidos
PE/MON-4	Ampliar red de monitoreo hidrometeorológico/hidrogeológico	Generar información sobre parámetros meteorológicos, fluviométricos, niveles, extracciones y calidad de agua.	1. Porcentaje de avance de los estudios de monitoreo de crecidas y ruta de nieve, en función a los objetivos establecidos que se han logrado	1. Número de nuevas estaciones de monitoreo instaladas 2. Número de nuevas estaciones meteorológicas instaladas
PE/MON-5	Plan de educación del uso sostenible del agua en el contexto de cuencas endorreicas	1. Asesorar y capacitar a las comunidades para que tengan un entendimiento mejor de la cuenca y los posibles escenarios futuros. 2. Entregar conocimiento sobre el uso eficiente del agua a la ciudadanía de la cuenca, para que puedan comprender de mejor manera los diferentes hábitos y técnicas del uso del agua y las consecuencias que conllevan.	1. Porcentaje de los objetivos específicos de los estudios completados	1. Número de personas capacitadas para monitorear y compilar registros 2. Número de actores de la cuenca que cuentan con al menos una persona capacitada para monitorear y compilar registros
Eje Riego				
R-1	Infraestructura para mejorar seguridad de riego en A.R.A río Vilama y río San Pedro	Aumentar la disponibilidad de agua mediante incorporación y mejoras en la infraestructura.	1. Porcentaje de avance de los estudios, en función a los objetivos establecidos que se han logrado	1. Número de infraestructura de almacenamiento construidas 2. Número de modificaciones y mejoras a canales de riego y bocatomas realizadas
R-2	Estudio necesidades de infraestructura de riego en A.R.A en C.I fuera de Ayllus San Pedro de Atacama	Mejorar la calidad de vida de los agricultores y fomentar la actividad agrícola en la zona.	1. Porcentaje de avance de los estudios, en función a los objetivos establecidos que se han logrado 2. Número de A.R.A estudiadas.	

N°	Nombre iniciativa	Objetivo de iniciativa	Indicadores de avance	Indicadores de impacto
R-3	Modernización del sistema de control y monitoreo de distribución de agua	Modernizar la red de riego desde su operación, permitiendo solucionar problemas que hoy se presentan por deficiencias en el sistema, mejorar y optimizar el uso de caudales.		<ol style="list-style-type: none"> 1. Implementación de los turnos de riego 2. Número de grupos de riego que han implementado telemetría
R-4	Plan de desarrollo agro-cultural, incluidos nuevos cultivos	Generar lineamientos de desarrollo de la cuenca, comprometiendo a los actores relacionados.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Porcentaje de avance del estudio, en función a los objetivos establecidos que se han logrado 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Creación del banco de semillas 2. Caudal tratado por la planta de calidad de agua 3. Número de nuevas resoluciones sanitarias obtenidas para cultivos y mataderos

Fuente: Elaboración propia

9.2 SEGUIMIENTO

Según lo establecido en las iniciativas propuestas, el seguimiento del plan deberá estar a cargo de la mesa de gobernanza hídrica. Corresponderá a esa mesa definir los criterios de evaluación. Sin embargo, se deben tener en cuenta dos consideraciones en la evaluación. Por una parte, la evaluación técnica de las iniciativas requerirá de profesionales expertos en las áreas que corresponda. Por otra parte, también la información respecto del avance del plan deberá ser dada a conocer a todos los interesados de manera transparente.

Independiente de los criterios que adopte la mesa en la Tabla 9-1 se presentan indicadores de avance y de impacto para cada una de las iniciativas propuestas y que pueden ser utilizados para el proceso de seguimiento de la implementación del plan.

En los casos que los indicadores de avance presenten retrasos respecto de lo que acordado por la mesa o propuesto por este plan, se deberá convocar a los actores responsables, identificar las causas del retraso, revisar algunos aspectos de la iniciativa de ser necesario y volver a programarla dentro del plan de trabajo.

El monitoreo de los indicadores de impacto, en cambio, pueden ser utilizados para evaluar el logro de los objetivos planteados y por lo tanto representa en fin el último de la implementación del plan. En caso de que no se lograra uno o más objetivos de una iniciativa la evaluación de la misma deberá dilucidar las razones que llevaron a este resultado. En caso de considerarse necesario se deberá volver a formular una iniciativa para subsanar los problemas presentados y lograr los objetivos planteados en ella.

Se recomienda realizar una evaluación del avance del cumplimiento de indicadores de manera anual. Como resultado de esta evaluación de deberá reformular el mismo reprogramando actividades o modificandolas, según corresponda.