



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

ANEXO F – ASPECTOS METODOLÓGICOS

REALIZADO POR:

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

S.I.T. N° 484

Santiago, diciembre 2021

CONTENIDO

CAPÍTULO 1	METODOLOGÍA APLICADA EN LA CARACTERIZACIÓN DE LAS CUENCAS	7
1.1	RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA	7
1.1.1	Cuenca del Salar de Atacama	7
1.1.2	Información hidrometeorológica disponible	7
1.1.3	Selección de estaciones según cantidad y calidad de registros.	14
1.2	RELLENO DE INFORMACIÓN E INDICADORES	15
1.2.1	Relleno de información meteorológica	15
1.2.2	Cálculo de indicadores hidroclimáticos	17
1.3	ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO	19
	• Comparación con precipitación	29
	• Comparación con Temperatura	33
1.4	ESTIMACIÓN CAUDALES DE PROTECCIÓN AMBIENTAL	38
CAPÍTULO 2	METODOLOGÍA APLICADA EN LA PARTICIPACIÓN CIUDADANA	39
2.1	INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DE LA PAC	39
2.2	HERRAMIENTAS METODOLÓGICAS.....	40
2.3	PLAN DE TRABAJO PAC.....	41
2.4	RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES	42
2.5	DEFINICIÓN MAPA DE ACTORES	42
2.5.1	Definición de Actor Relevante	42
2.5.2	Metodología Convocatoria Actores Relevantes	42
2.5.3	Análisis del mapa de actores y elaboración de estrategia	43
2.6	DESCRIPCIÓN REUNIONES PAC.....	44
2.6.1	Reuniones de presentación en la cuenca	44
CAPÍTULO 3	METODOLOGÍA APLICADA EN LA CARACTERIZACIÓN DE DEMANDA	45
3.1	CARACTERIZACIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA PARA USO HUMANO	45
3.1.1	Proyecciones de cambio poblacional	45
3.1.2	Proyecciones de actividad turística	46
3.1.3	CÁLCULO DE LA DOTACIÓN	53
3.2	CARACTERIZACIÓN DE LA DEMANDA PARA USO AGRÍCOLA	55
3.2.1	Actualizaciones de consideraciones base de la demanda agrícola	55
3.2.2	Proyecciones de aumento de superficie agrícola	62
3.2.3	Demanda del sector agrícola	62
3.3	CARACTERIZACIÓN DE LA DEMANDA PARA USO MINERO	75
3.3.1	Proyecciones de demanda para la minería.....	75
3.4	CARACTERIZACIÓN DEL MERCADO DE AGUAS	77
3.4.1	Diagnóstico	77
3.4.2	Depuración de la base de datos	77
3.4.3	Estimación de precios de DAA	77

CAPÍTULO 4	METODOLOGÍA APLICADA EN LA CARACTERIZACIÓN DE OFERTA	79
4.1	CARACTERIZACIÓN DE CALIDAD DEL AGUA	79
4.1.1	Base de datos y metodología para su depuración	79
4.2	METODOLOGÍA APLICADA A LA CORRECCIÓN DE NIVELES POR DENSIDAD	80
4.2.1	Introducción.....	80
4.2.2	Metodología para la corrección de niveles	80
CAPÍTULO 5	METODOLOGÍA APLICADA EN CONSTRUCCIÓN DE MODELO Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	84
5.1	ACTUALIZACIÓN DE MODELO A TRAVÉS DE PROCESO PARTICIPATIVO	84
5.2	DISTRIBUCIÓN DE CAUDALES FUTUROS DE EXTRACCIÓN DE SALMUERA	88
5.2.1	Introducción.....	88
5.2.2	Descripción de la estrategia	88
5.2.3	Formulación matemática.....	88
5.2.4	Parámetros de entrada para implementar la estrategia en WEAP	90
5.3	PRESENTACIÓN RESULTADOS MODELO ACOPLADO	91
5.3.1	Introducción.....	91
5.3.2	Disponibilidad de recursos antes de extracciones	91
5.3.3	Satisfacción de necesidades	93
5.3.4	Balances.....	100
5.3.5	Interfaz salina	107
CAPÍTULO 6	METODOLOGÍA UTILIZADA EN CONSTRUCCIÓN PEGH	109
6.1	METODOLOGÍA RDM Y MATRICES DAMI.....	109
6.1.1	Desempeños	110
6.1.2	Acciones	111
6.1.3	Modelos.....	113
6.1.4	Incertidumbres	113
6.2	EVALUACIÓN DE LAS INICIATIVAS DEL PLAN	114
6.2.1	Evaluación Económica	114
6.2.2	Evaluación Social y Ambiental	118

TABLAS

Tabla 1-1 Estaciones hidrometeorológicas y de calidad de aguas en la cuenca del Salar de Atacama.....	8
Tabla 1-2: Indicadores de temperatura y precipitación definidos para la zona de estudio.	18
Tabla 1-3: Indicadores de caudal definidos para la zona de estudio.....	19
Tabla 2-1: Herramientas Metodológicas PAC.	40
Tabla 2-2: Matriz de interés – poder.	44
Tabla 3-1: Proyección poblacional período 2025-2035 en la cuenca de San Pedro de Atacama.....	45
Tabla 3-2: Proyección poblacional período 2035-2065 en la cuenca de San Pedro de Atacama.....	46
Tabla 3-3: Número de habitantes por localidad en la cuenca del Salar de Atacama.	53
Tabla 3-4: Valores promedio mensual de producción de la planta de ósmosis inversa y el consumo de agua potable durante el año 2019.....	54
Tabla 3-5: Distribución porcentual de cultivos agrícolas presentes en la comuna de San Pedro de Atacama.	55
Tabla 3-6 Detalle de superficie y distribución de cultivos según sector/regante.....	56
Tabla 3-7 Sistema de riego presentes en la cuenca del Salar de Atacama	57
Tabla 3-8 Detalle método de riego según cultivo.....	57
Tabla 3-9 Detalle frecuencia de riego de sectores/regantes dentro de la cuenca.	58
Tabla 3-10: Demanda agrícola actual a partir de la evapotranspiración potencial (mm/día)	63
Tabla 3-11: Demanda agrícola proyectada a partir de la evapotranspiración potencial (mm/día) para el escenario húmedo baja	67
Tabla 3-12: Demanda agrícola proyectada a partir de la evapotranspiración potencial (mm/día) para el escenario seco alta.	71
Tabla 3-13: Caudales medios anuales (l/s) de cada operador en los escenarios propuestos.	76
Tabla 5-1 Ejemplo de planilla base para la actualización de superficie agrícola y sistemas de riego.....	85
Tabla 5-2 Ejemplo de planilla base para la actualización del sistema de agua potable....	87
Tabla 5-3 Ejemplo de planilla base para la actualización de la vegetación natural en el sector del salar.	88
Tabla 5-4: Identificación de los indicadores de estado asociados al PAT/SEIA de cada operador.	106
Tabla 5-5: Ubicación de puntos de interés solicitados por la DGA.....	106
Tabla 6-1: Listado inicial de acciones de Seguridad Hídrica para Agua Potable.....	111
Tabla 6-2: Listado inicial de acciones de Seguridad Hídrica para Riego.	111
Tabla 6-3: Listado inicial de acciones de Seguridad Hídrica para Protección de Ecosistemas.	112
Tabla 6-4: Listado inicial de acciones de Monitoreo y Conocimiento de la cuenca.	112
Tabla 6-5: Listado inicial de acciones de Gobernanza y proceso de toma de decisiones.....	112
Tabla 6-6: Asignación de puntuación del indicador social para las iniciativas de la propuesta de la cartera.	118

Tabla 6-7: Asignación de puntuación del indicador ambiental para las iniciativas de la propuesta de la cartera.	118
Tabla 6-8: Asignación de puntuación de los indicadores social y ambiental para las iniciativas por parte de los expertos.	119
Tabla 6-9: Indicadores relativos social y ambiental para las iniciativas.	120

FIGURAS

Figura 1-1: Localización espacial de los distintos tipos de estaciones distribuidas en la cuenca del Salar de Atacama.	13
Figura 1-2: Información de estaciones meteorológicas y fluviométricas ubicadas en la cuenca para el periodo 1988-2017.....	14
Figura 1-3: Comparación de distintas técnicas de escalamiento para la distribución de frecuencia de una variable, a partir de una muestra sintética de datos (paneles superiores). Las curvas continuas rojas y azules representan la variable a ajustar en dos periodos..	21
Figura 1-4: Cambios (porcentaje de cambio) proyectados de precipitación para 6 GCMs en la cuenca del Salar de Atacama y su entorno hacia mediados de siglo (2035-2065) respecto del periodo histórico.....	22
Figura 1-5: Cambios en temperaturas medias anuales (expresados como diferencia simple entre futuro menos histórico), para la cuenca del salar de Atacama en seis modelos de cambio climático en el escenario más severo (RCP 8.5).	23
Figura 1-6: Series de precipitación anual a nivel de estación e interpoladas a la coordenada de esta en 2 modelos de cambio climático.	25
Figura 1-7: Series de temperatura mínima a nivel de estación e interpoladas a la coordenada de esta en 2 modelos de cambio climático.	27
Figura 1-8: Series de temperatura máxima a nivel de estación e interpoladas a la coordenada de esta en 2 modelos de cambio climático.	28
Figura 1-9: Sesgo en la estimación de precipitaciones del producto CR2MET versiones 1.4.2 y versión 2.0 con las observaciones de estaciones, expresadas como diferencia absoluta (mm).	31
Figura 1-10: Sesgo en la estimación de precipitaciones del producto CR2MET versiones 1.4.2 y versión 2.0 con las observaciones de estaciones, expresadas como diferencia relativa (%).	32
Figura 1-11: Sesgo de la estimación de precipitaciones de CR2MET en función de la latitud.	33
Figura 1-12: Sesgos entre los valores medidos en las estaciones meteorológicas de Temperatura mínima con los valores estimados por CR2met en sus versiones 1 y 2 para el elemento de la grilla en al cual se encuentran estas estaciones.	35
Figura 1-13: Sesgos entre los valores medidos en las estaciones meteorológicas de Temperatura máxima con los valores estimados por CR2met en sus versiones 1 y 2 para el elemento de la grilla en al cual se encuentran estas estaciones.	36
Figura 1-14: Sesgo en la estimación de la temperatura mínima para la versión 2.0 (azul), en función de la latitud.....	37
Figura 1-15: Sesgo en la estimación de la temperatura máxima para la versión 2.0 (azul), en función de la latitud.....	37
Figura 1-16: Caudal de reserva para conservación ambiental.	38
Figura 3-1: Estadísticas de visitantes a SNASPE Reserva Nacional los Flamencos, y total de pernотaciones al destino turístico San Pedro de Atacama.	47
Figura 3-2: Estancia media de pasajeros a escala mensual.	48
Figura 3-3: Turistas equivalentes por mes que visitan San Pedro de Atacama.	48
Figura 3-4: Serie mensual con el promedio de las proporciones de turistas equivalentes.	49

Figura 3-5: Turistas equivalentes por mes que visitan la cuenca de San Pedro de Atacama en el periodo 2001-2020.	49
Figura 3-6: Decrecimiento lineal de las estadísticas de visitantes a SNASPE Reserva Nacional los Flamencos para el período 1980-2001.	50
Figura 3-7: Extensión turistas equivalentes por mes que visitan la cuenca del Salar de Atacama en el periodo 1980-2001.	50
Figura 3-8: Tasas de crecimiento históricas registradas en las visitas al SNASPE Reserva Nacional Los Flamencos y en las pernoctaciones a San Pedro de Atacama.....	51
Figura 3-9: Proyección visitas a la cuenca de San Pedro de Atacama en el periodo 2020-2065, escenario alto (azul) y moderado (rojo) crecimiento.	52
Figura 3-10: Proyección turistas equivalentes por mes que visitan la cuenca del Salar de Atacama en el periodo 2020-2065, escenario alto crecimiento.....	52
Figura 3-11: Proyección turistas equivalentes por mes que visitan la cuenca del Salar de Atacama en el periodo 2020-2065, escenario moderado crecimiento.....	53
Figura 3-12: Consumo mensual promedio de agua potable en San Pedro de Atacama para el año 2019.	54
Figura 4-1: Esquema de la corrección de niveles para sistemas con zona de mezcla importante.....	81
Figura 4-2: Relación entre conductividad eléctrica y densidad medidas en terreno. Se muestra la ecuación de correlación, así como el error cuadrático.	81
Figura 4-3: Relación densidad de fluido y total de sólidos disueltos (SDT) medida en puntos de observación.	82
Figura 4-4: Distribución de la profundidad de las isosuperficies de EC de 200 y 100 mS/cm, y cortes verticales mostrando el espesor de la zona de mezcla.	83
Figura 5-1: Key Assumption de WEAP asociada a extracciones futuras de salmuera, tomando como ejemplo la rama de SQM.....	90
Figura 5-2: Cursos de agua superficial seleccionados para analizar la disponibilidad de recursos.	92
Figura 5-3: Poblados seleccionados para analizar la satisfacción de necesidades.....	94
Figura 5-4: Sitios agrícolas seleccionados para analizar la satisfacción de necesidades. .	96
Figura 5-5: Evaluación de satisfacción de necesidades para los ecosistemas de interés. .	98
Figura 5-6: Evaluación de satisfacción de necesidades para los sistemas lagunares.....	99
Figura 5-7: Esquema de entradas y salidas (flechas azules) a considerar para el balance superficial a escala de SHAC. Las flechas rojas corresponden a componentes que se podrían calcular a partir del balance propuesto.	101
Figura 5-8: Esquema de entradas y salidas a considerar para el balance subterráneo a escala de SHAC.	101
Figura 5-9: Delimitación de SHACs y del modelo hidrogeológico numérico (MODFLOW).	102
Figura 5-10: Ejemplo de la evolución temporal del volumen del acuífero SHAC C2, proporcional al volumen inicial calculado en 1986.	103
Figura 5-11: Ubicación de los puntos seleccionados para analizar la evolución de niveles en los distintos escenarios.....	105
Figura 5-12: Ubicación de los perfiles bidimensionales SEAWAT para la modelación de flujo con densidad variable.	108
Figura 6-1: Matriz DAMI.	109
Figura 6-2: Ejemplo de la evaluación económica propia de una iniciativa.	117

CAPÍTULO 1 METODOLOGÍA APLICADA EN LA CARACTERIZACIÓN DE LAS CUENCAS

1.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA

1.1.1 Cuenca del Salar de Atacama

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 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.

1.1.2 Información hidrometeorológica disponible

Respecto al monitoreo de variables hidrometeorológicas en la cuenca del Salar de Atacama, se cuenta con 12 estaciones con registros fluviométricos, 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. Dichas estaciones se muestran en la Tabla 1-1.

Tabla 1-1 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

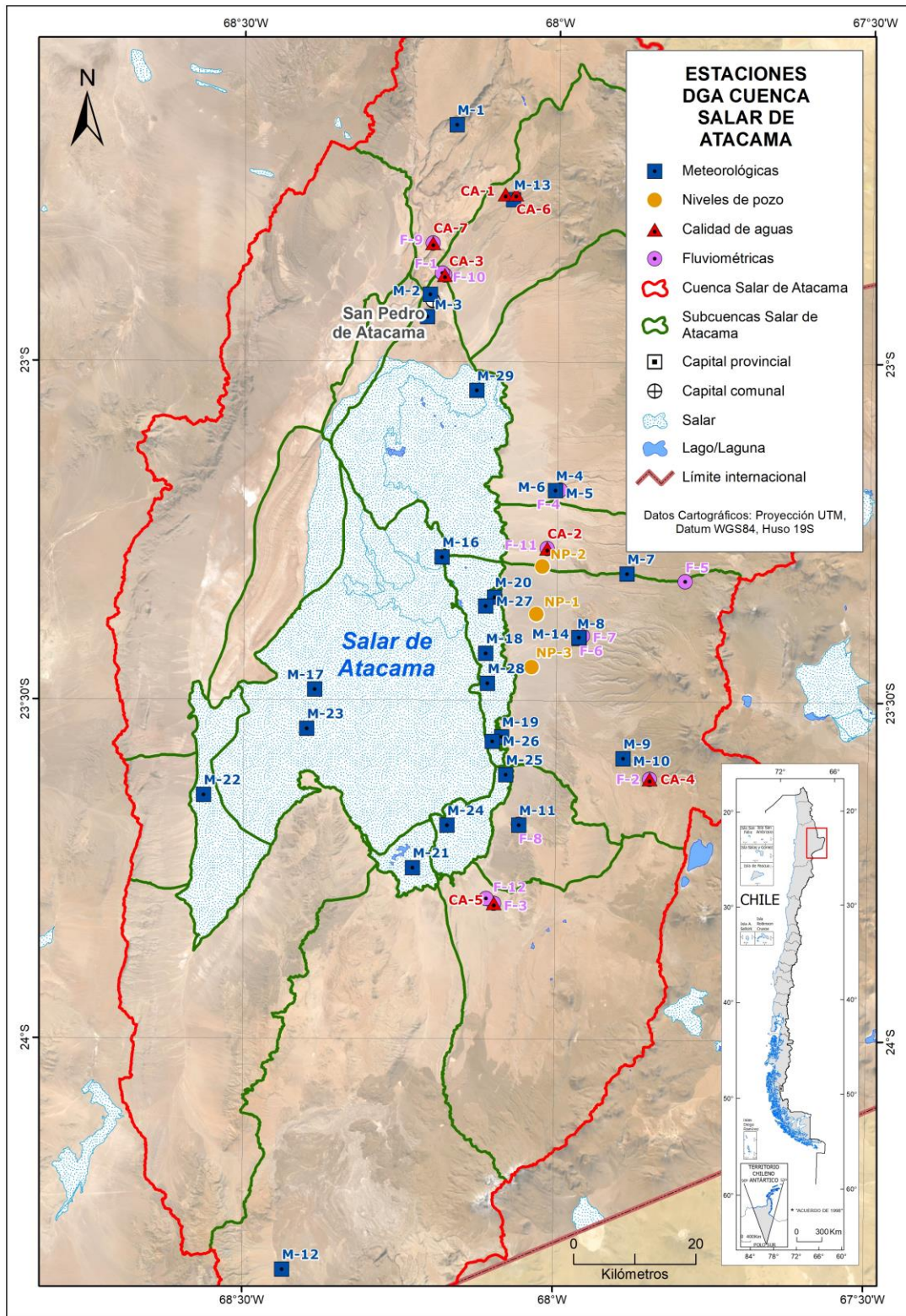
Tipo	ID	Nombre	Fuente	Estado	Variables medidas
					<ul style="list-style-type: none"> • Temperaturas Medias Diarias de Valores Sinópticos • Temperaturas Diarias Extremas • Precipitaciones Mensuales • Precipitaciones Máximas Anuales en 24 horas • Precipitaciones Diarias
	M-6	Toconao Retén	DGA	Suspendida	<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

Tipo	ID	Nombre	Fuente	Estado	Variables medidas
					<ul style="list-style-type: none"> • Precipitaciones Máximas Anuales en 24 horas • Precipitaciones Diarias
	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

Tipo	ID	Nombre	Fuente	Estado	Variables medidas
	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 • 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, (2020)

Respecto a la distribución de las estaciones, estas se ubican principalmente al Este de la cuenca y del salar, en zonas cercanas a los asentamientos humanos (poblados) y distribuidas en varias subcuencas de la zona, como se ilustra en la Figura 1-1.



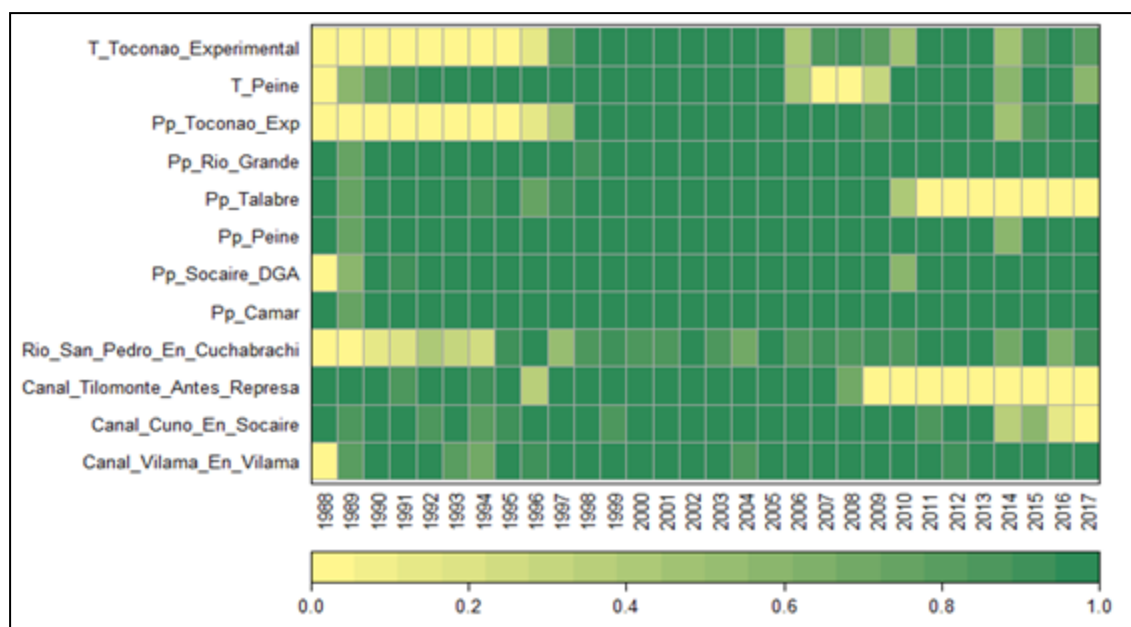
Fuente: Elaboración propia a partir de DGA BNASIGIRH, (2019)

Figura 1-1: Localización espacial de los distintos tipos de estaciones distribuidas en la cuenca del Salar de Atacama.

A nivel de completitud de registros de las estaciones meteorológicas y fluviométricas de la DGA, se seleccionaron aquellas estaciones que tuviesen más de un 30% de registros para el periodo 1988-2016 (este periodo se selecciona ya que corresponde al período común entre la mayoría de las estaciones, teniendo presente que el periodo de datos efectivo a utilizar corresponde a 1985-2020). El criterio establece calidad del 100% si es que el número de días con registro es equivalente o mayor al valor obtenido cuando se pondera el periodo definido Ω (que puede ser 30 días en el caso de análisis mensual o 365 para análisis a escala anual) con un escalar β (que oscila entre 0 y 1), de lo contrario la calidad de la serie para el periodo definido es el número efectivo de días dividido por el producto descrito y expresado en porcentaje. De esta forma se tiene que:

$$Calidad = \begin{cases} 100\% \text{ si } \text{días} \geq \Omega * \beta [\text{Registro completo}] \\ \left(\frac{\text{días}}{\Omega * \beta}\right) * 100\% \text{ si } \text{días} < \Omega * \beta [\text{Registro incompleto}] \end{cases} \quad \text{Ecuación 1}$$

En este caso $\Omega = 365$ y $\beta = 0,8$. Vale decir se considera año completo con 365 y calidad 100% si es que existen al menos $365 * 0,8 = 292$ días con registros (continuos o discontinuos). La Figura 1-2 muestra lo expuesto para las principales estaciones meteorológicas y fluviométricas de la cuenca.



Fuente: DGA BNASIGIRH (2019)

Figura 1-2: Información de estaciones meteorológicas y fluviométricas ubicadas en la cuenca para el periodo 1988-2017.

Nota: Aquellas con el prefijo "T" corresponden a temperatura, aquellas con prefijo "Pp" a precipitación, y aquellas sin prefijo denotan a las que miden caudal.

1.1.3 Selección de estaciones según cantidad y calidad de registros.

En este acápite se describe la metodología que se utilizó para definir el periodo de estudio. Los criterios que se toman en cuenta el ideal de tener estaciones con información lo más continua posible y abarcando un periodo que idealmente supere los 30 años recomendados

para análisis de variabilidad climática y tendencia recomendados por la Organización Meteorológica Mundial (WMO por sus siglas en inglés).

Originalmente la idea fue considerar la información disponible desde 1980 en adelante (más de 35 años de datos). Sin embargo, como se ha mencionado anteriormente son pocas las estaciones que cumplen los criterios de calidad mínima para ese rango de tiempo. Dado lo anterior se contemplaron distintos periodos de estudios de modo de ver los cambios en la cantidad de estaciones que cumplían con los requisitos de calidad de registros. Los periodos seleccionados fueron 1980-2016, 1985-2016 y 1992-2016. Tomando en cuenta los criterios de largo del periodo y calidad de la información, y adicionalmente teniendo en cuenta que la distribución espacial de las estaciones seleccionadas cubriera la heterogeneidad hidrometeorológica de la cuenca del Salar de Atacama, del punto de vista de la representatividad de las distintas cotas de elevación de la cuenca, se estableció el periodo de 31 años comprendido entre los años 1986 y 2016 para la selección de estaciones.

Bajo esta lógica, y para el análisis de indicadores extremos, se seleccionaron 3 estaciones para el análisis de precipitación (Peine, río Grande y Camar), una para temperaturas extremas (Peine) y una para Caudal (río Vilama en Vilama).

1.2 RELLENO DE INFORMACIÓN E INDICADORES

1.2.1 Relleno de información meteorológica

Previo al análisis de indicadores climáticos, y dado que es muy común encontrar vacíos de información en series climáticas, se realizó un relleno de datos a través de métodos estadísticos comúnmente recomendados para estos fines. A partir de la base de datos recopilada, se seleccionan todas las estaciones con datos diarios para el periodo de análisis (desde 1985 hasta 2020).

Para aplicar el relleno, primero se seleccionan las estaciones con mayor cantidad de datos diarios en una base de datos total de estaciones en el territorio chileno. Para ellos, se utilizaron los registros sistematizados por el Centro de Clima y la Resiliencia de la Universidad de Chile (CR2) y complementados con las bases de datos generadas para la misma extensión espacial. Para el caso de las temperaturas, un mes se considera como incompleto si la estación presenta seis o más días faltantes. Para el caso de las precipitaciones, la estación debe tener a lo más cuatro días faltantes para cada mes para declarar la serie de datos como incompleta. De esa manera, se asegura que las estaciones utilizadas tienen una gran cantidad de registros históricos útiles para el relleno.

Posteriormente, se agregan o promedian los datos para obtener series mensuales. Para el caso de las temperaturas, la variable de estudio se obtiene promediando la serie diaria de temperaturas medias (promedio de las temperaturas máxima y mínima de cada día) y para las precipitaciones, el valor del mes se calcula como la suma de todos los valores diarios. En el caso de caudal, aplica el promedio de los valores.

Para el relleno de datos, se utiliza la metodología de regresión lineal entre estaciones en un ensamble. Es decir, se buscan relaciones lineales entre la estación con datos faltantes a rellenar y otra estación con suficientes datos y se aplica de forma iterativa hasta no encontrar correlaciones por sobre un umbral predefinido. La metodología consiste en generar la matriz de correlación entre cada estación y utilizar aquellas con un coeficiente

superior a 0,7 en ambos casos, realizando una cadena de modelos de regresión lineal que considera como variable independiente las estaciones con sentido de correlación descendente. Esta amplia selección de estaciones permite encontrar mayores estaciones correlacionadas que si, por el contrario, se selecciona un número reducido de estaciones con mayor cantidad de datos, pero poco correlacionadas entre sí.

Al construir las relaciones lineales para todas las estaciones entre sí, se obtienen los parámetros α_{ij} y β_{ij} entre la estación j (variable independiente) y la estación i (variable dependiente, estación a rellenar), según la ecuación 2:

$$X_{i,t} = \alpha_{ij} * X_{j,t} + \beta_{ij} \quad \text{Ecuación 2}$$

Para el relleno de la estación i, se busca la estación j con mayor correlación a partir de la matriz de correlaciones, y si esa estación tiene datos en el mes faltantes de la estación a rellenar, se aplica la ecuación lineal de relleno. El relleno se realiza sólo para las posiciones en las que se encuentra un dato observado en la estación de la variable independiente. Si no se encuentran datos en una fecha en particular, se consideran las siguientes estaciones en orden decreciente de correlación, considerándose un mínimo de 0,7.

En el caso de las precipitaciones, en el momento en que $X_{j,t}$ sea cero, se asume que $X_{i,t}$ es también cero, independientemente del valor del intercepto β_{ij} , de manera de no contar con precipitaciones negativas (en caso de que β fuera negativo) o de nunca tener meses sin lluvia (en caso que β fuera positivo).

En los casos en que ninguna estación utilizada para rellenar posea datos de algún mes puntual, y para aquellas posiciones que una vez terminado el proceso sigan sin poder haber sido rellenadas, se aplica la regla de un promedio simple entre los meses anterior y posterior.

Con las series mensuales rellenas, se procede a realizar el relleno diario aplicando la misma metodología descrita pero ahora segmentando los datos por mes. Vale decir se rellenan todos los datos de enero primero, y así hasta llegar a diciembre. De todas formas, como los ensambles son menores dado que la información está más desagregada, no siempre se pueden rellenar todos los vacíos.

Finalizado este paso, se utilizan las medias de las series mensuales rellenas y las varianzas anuales que se desprenden para realizar un relleno total de los días que faltan y un escalamiento de valores para conservar las medias y desviaciones de la serie original.

Solo estaciones con calidad mayor a 70% o más, y años con registros mayor a 25 en el periodo de estudio serán sujetas de ser completadas con las metodologías de relleno descritas. Esto implica que para las estaciones de temperatura obtuvieron series completas para 4 estaciones de temperatura y 14 de precipitación, con 4 de ellas conteniendo ambas variables. Estos números mínimos podrán aumentar en la medida que se ajusten parámetros y tolerancias de registros y ensambles en los modelos.

1.2.2 Cálculo de indicadores hidroclimáticos

La información de temperatura y precipitación rellenada con la metodología descrita en el acápite anterior fue utilizada para generar diversos indicadores hidroclimáticos de condiciones extremas. Estos indicadores fueron identificados del estudio de Zhang et al. (2014), y son de uso común en estudios similares al presente (Klein Tank and Können, 2003, Moberg et al., 2006, Yenigun et al., 2008, Pal and Al-Tabbaa, 2009, Taschetto y England, 2009, Kioutsioukis et al., 2010, Lupikasza, 2010). Estos indicadores permiten detectar cambios temporales en las condiciones más extremas de los regímenes hidrometeorológicos. La Tabla 1-2 detalla los indicadores recopilados desde las fuentes mencionadas para temperaturas y precipitación mientras que la Tabla 1-3 detalla aquellos utilizados en caudal.

Tabla 1-2: Indicadores de temperatura y precipitación definidos para la zona de estudio.

índice	Descripción	Unidades
Max Tmax	Temperatura máxima de las temperaturas máximas	°C
Min Tmax	Temperatura mínima de las temperaturas máximas	°C
Max Tmin	Temperatura máxima de las temperaturas mínimas	°C
Min Tmin	Temperatura mínima de las temperaturas mínimas	°C
Warm Nights R	Nº días Tmin sobre percentil 90 registro	días
Warm Nights E	Nº días Tmin sobre percentil 90 estacional	días
Cold Nights R	Nº días Tmin bajo percentil 10 registro	días
Cold Nights E	Nº días Tmin bajo percentil 10 estacional	días
Warm Days R	Nº días Tmax sobre percentil 90 registro	días
Warm Days E	Nº días Tmax sobre percentil 90 estacional	días
Cold Days R	Nº días Tmax bajo percentil 10 registro	días
Cold Days E	Nº días Tmax bajo percentil 10 estacional	días
Summer Days	Nº días Tmax > 25 °C	días
Frost Days	Nº días Tmin < 0 °C	días
CDF	Nº días consecutivos de Tmin < 0 °C	días
Rango	Rango Temperatura Diaria	°C
Desviación	Desviación Estándar	mm
R10mm	P mayor a 10 mm	días
R20mm	P mayor a 20 mm	días
TDD	P menor a 1 mm (días sin lluvia)	días
RX1day	P máxima	mm
RX5day	P máxima en 5 días consecutivos	mm
R95% R	Días que P>P percentil 95 registro	días
R95% E	Días que P>P percentil 95 estacional	días
R75% R	Días que P>P percentil 75 registro	días
R75% E	Días que P>P percentil 75 estacional	días
P> R95% R	Suma de P>P percentil 95 registro	mm
P> R95% E	Suma de P>P percentil 95 estacional	mm
P> R75% R	Suma de P>P percentil 75 registro	mm
P> R75% E	Suma de P>P percentil 75 estacional	mm

Considerando el periodo diario de series rellenas para las estaciones de precipitación y la de temperatura, se calcularon los índices para las variables correspondientes en cuatro escalas temporales distintas: a nivel mensual, estacional, anual y considerando toda la serie. Lo anterior, para tener representatividad de los distintos periodos de tiempo en la zona de estudio. En los siguientes informes se abordarán otras escalas temporales, como decadales, o considerando ventanas móviles, me podó de poder apreciar tendencias generales suavizadas y entrar de forma propiamente tal al análisis de tendencias.

Tabla 1-3: Indicadores de caudal definidos para la zona de estudio.

Índice	Descripción	Unidades
Qmin	Caudal mínimo de los caudales medios	m ³ /s
Qmax	Caudal máximo de los caudales medios	m ³ /s
Día Qmax	Día en que ocurre Qmax	días
Qmax inst	Caudal máximo de los caudales instantáneos	m ³ /s
Low Flow	Mínimo promedio de 7 días consecutivos	m ³ /s

1.3 ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

Para entender los procesos de cambio climático que pueden afectar la cuenca del Salar de Atacama a nivel de temperaturas y precipitación, es necesario comprender la creación de los modelos y escenarios que dan origen a los resultados a reportar.

En ese sentido, se tiene que el cambio climático hace referencia a una variación estadísticamente significativa tanto en el estado medio del clima como en su variabilidad, y dicha condición tiene un componente de persistencia en el tiempo (típicamente décadas o más). Cambios climáticos pueden ser atribuibles a procesos internos naturales del sistema terrestre, o a factores externos (antropogénicos).

Varias instituciones internacionales de investigación en ciencias atmosféricas y clima desarrollan modelos globales de clima acoplados (GCMs, por sus siglas en inglés), los cuales consideran el conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos fundamentales para la representación en el sistema climático. Estas plataformas de modelación son herramientas fundamentales en la evaluación del clima presente, y de escenarios de clima históricos y futuros. En particular, las proyecciones climáticas se realizan considerando supuestos de concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, entre otras forzantes naturales y antrópicas.

En la fase reciente del proyecto principal asociado a la generación de modelos (CMIP por sus siglas en inglés), se han definido escenarios futuros de Concentración Representativos (*Representative Concentration Pathways*, RCP) que definen la evolución temporal de los gases de efecto invernadero en la atmósfera. Estos escenarios se reconocen por la perturbación en el balance radiativo al tope de la atmósfera equivalente al año 2100, con respecto a niveles preindustriales. Así, los escenarios con menor y mayor esfuerzo en la reducción emisiones de GEI prevén, respectivamente, un *forzamiento radiativo* equivalente a 8,5 y 2,6 W/m² en 2100 (RCP2.6 y RCP8.5).

La metodología descrita a continuación se extrae de aquella utilizada en el Proyecto de Actualización del Balance Hídrico Nacional que contempla la generación de forzante meteorológicas (DGA, 2017) y series de cambio climático futuras generadas en el marco del proyecto ARCLIM. En los siguientes acápite se explica la metodología utilizada para la selección de modelos y escenarios, la bajada de escala (o downscaling) y se presentan algunos resultados previos para la cuenca del Salar de Atacama.

1.3.1.1 Selección de modelos y escenarios de emisión de GEI

Siguiendo las definiciones de DGA (2017) se considera para este estudio usar el escenario RCP8.5 y un subconjunto de GCMs de entre varios de modelos evaluados en CMIP versión 5. El escenario RCP 8.5 (el más severo), es el que será utilizado dado que es el más plausible de ocurrir en el corto plazo (periodo 2030-2060) según las tendencias actuales de emisiones de la humanidad (Schwalm et al., 2020). Para la selección de los modelos, se aplicaron una serie de criterios explicados en DGA (2017), los cuales consideran:

- 1) **Respuesta regional a modos globales de variabilidad climática.** Se considera la influencia de El Niño/Oscilación del Sur (ENSO) y el Modo Anular del hemisferio Sur (SAM) en la variabilidad de precipitación en Chile.
- 2) **Sensibilidad climática.** La sensibilidad climática se refiere a la respuesta global del sistema climático a una cierta forzante externa. Se considera el cambio en la temperatura media del planeta como respuesta a un doblamiento en la concentración de GEI.
- 3) **Cambios regionales.** Se evalúan los cambios de temperatura y precipitación en Chile hacia mediados de siglo y el presente, según el escenario RCP8.5. Al igual que en el criterio anterior, se busca un conjunto heterogéneo de modelos según este criterio de sensibilidad local.

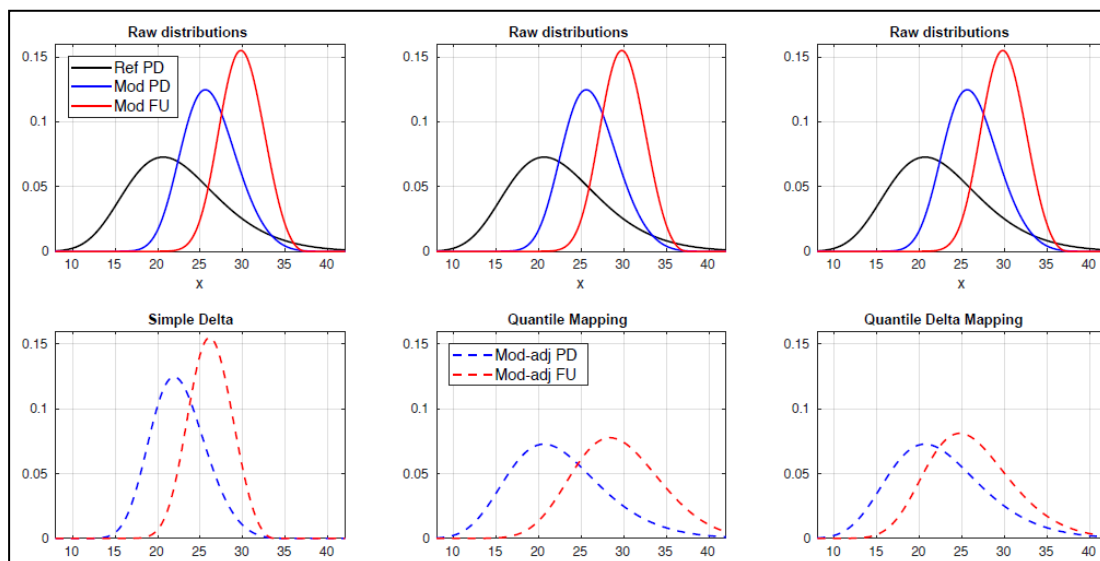
1.3.1.2 Procedimiento de bajada de escala de datos (o downscaling)

Existen dos opciones para realizar el escalamiento de los resultados de los modelos desde la escala de una grilla global (del orden de 100 km) a una escala local: métodos estadísticos y dinámicos. En DGA (2017) se utiliza una metodología de escalamiento estadística que permite obtener a relativo bajo costo computacional un alto número de escenarios y de esta manera poder caracterizar la incertidumbre climática. Los enfoques de escalamiento estadístico se basan en el supuesto que la relación estadística entre la información de los GCM y los datos observados establecida en el periodo de línea base se mantiene constante en escenarios climáticos futuros. Por ejemplo, el método de corrección de sesgo (deltas) y desagregación espacial, ha sido utilizado exitosamente en estudios de impacto del cambio climático sobre recursos hídricos dentro del contexto nacional e internacional.

La técnica del *Quantile Mapping* (QM) corrige el sesgo de un GCM tomando en cuenta la distribución de la variable utilizada como referencia y la simulada para el tiempo presente. Esta técnica es efectiva en remover sesgos relativos a observaciones, pero tiene el problema de amplificar o atenuar los cambios en el tiempo simulados por el GCM. En particular, en el escalamiento de precipitación diaria se puede representar erróneamente los efectos de eventos de baja intensidad, y sobrestimar valores extremos. Por eso, se utilizó en DGA (2017) la técnica *Quantile Delta Mapping* (QDM) (Cannon et al, 2015), que preserva los cambios absolutos (utilizados típicamente para temperatura) o relativos (precipitación) en los cuantiles, corrigiendo al mismo tiempo los sesgos en la distribución de frecuencia de la variable simulada, respecto de la referencia.

La Figura 1-3 ilustra las técnicas de escalamiento descritas, para un caso hipotético de ajuste de temperaturas simuladas para un periodo de tiempo presente (curva azul) y futuro (rojo), a un conjunto de referencia (negro). Se aprecia como los tres métodos corrigen el valor medio simulado para el tiempo presente. Sin embargo, el método Delta mantiene una distribución irreal de la variable simulada. El método QM, por su parte, muestra un buen ajuste en la distribución de la variable, pero amplifica los cambios en la media entre un

periodo y otro. En este ejemplo se aprecia claramente la capacidad del método QDM de ajustar la variable simulada a la distribución de referencia, y mantener los cambios en el tiempo (absolutos) de los distintos percentiles.

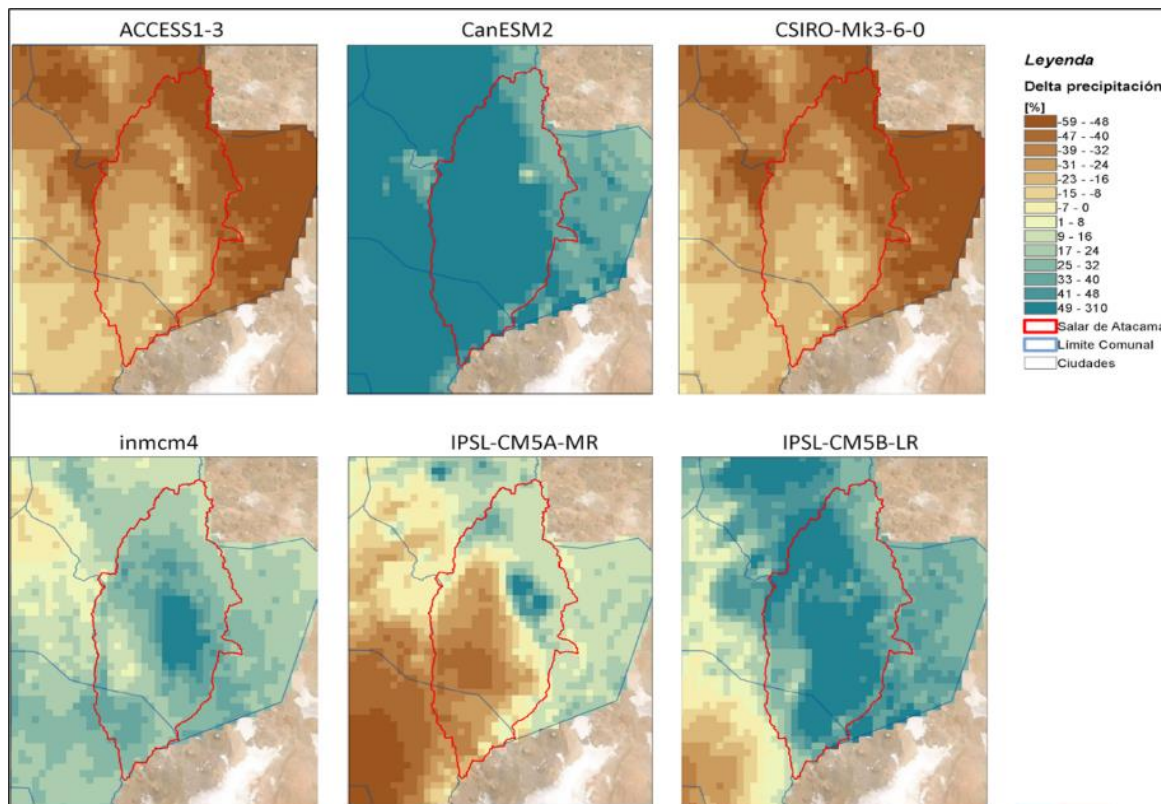


Fuente: DGA, (2018)

Figura 1-3: Comparación de distintas técnicas de escalamiento para la distribución de frecuencia de una variable, a partir de una muestra sintética de datos (paneles superiores). Las curvas continuas rojas y azules representan la variable a ajustar en dos periodos.

1.3.1.3 Escenarios climáticos futuros en la cuenca del Salar de Atacama

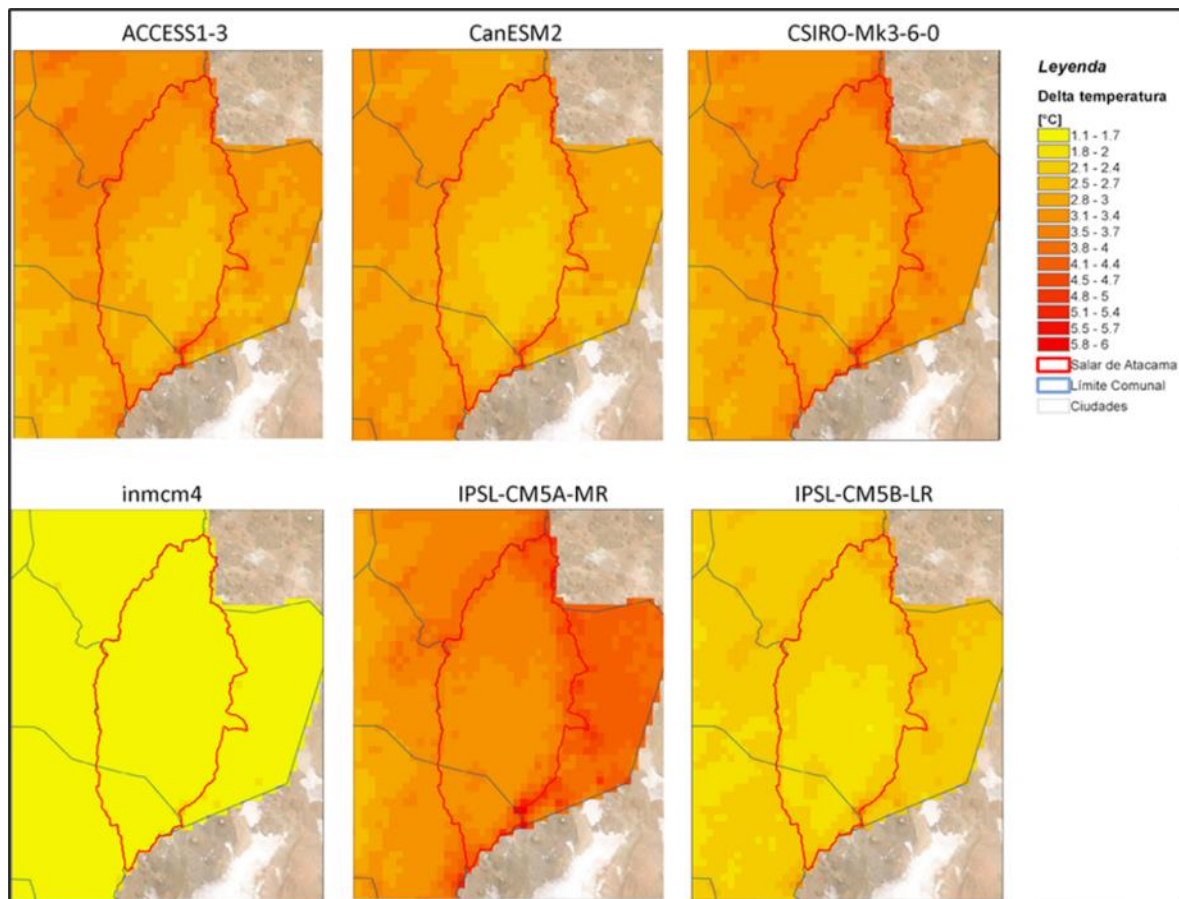
A nivel general para la región de Antofagasta y a nivel particular para la cuenca del Salar de Atacama, se observa una heterogeneidad en los resultados de los seis modelos considerados respecto de los cambios hacia mediados de siglo (2035-2065) respecto del periodo histórico (1985-2010) para la precipitación total anual. Algunos modelos (como CSIRO) indican una reducción en las precipitaciones, mientras que otros (CanESM2) plantean aumentos mayores al 50%, de modo que para esta variable existe una heterogeneidad y por consiguiente una incertidumbre respecto de los cambios esperados. No obstante, y a nivel específico, pareciera que los modelos tienden a proyectar aumentos de agua caída, no obstante, al ser esta una medida relativa, al ser las precipitaciones en la zona relativamente bajas (entre 0 y 12 mm por año (DGA, 2018)), los valores reales en incremento no sobrepasarían del orden de los 10 a 15 mm, y esto en las áreas más lluviosas del altiplano. La Figura 1-4 muestra lo expuesto.



Fuente: Elaboración propia

Figura 1-4: Cambios (porcentaje de cambio) proyectados de precipitación para 6 GCMs en la cuenca del Salar de Atacama y su entorno hacia mediados de siglo (2035-2065) respecto del periodo histórico.

Para el caso de las temperaturas, se prevén aumentos marcados del orden de los 2°C hacia mediados de siglo, valores relevantes si se considera que en promedio para Chile continental la temperatura se incrementaría un poco más de un grado Celsius (DGA, 2018). Esto puede acarrear diversas consecuencias en el Salar de Atacama, primero de alcances hidrológicos que, aunque exista un aumento de las precipitaciones, es también plausible que estas disminuyan en las partes más altas de la cuenca. Los aumentos en temperatura pueden acarrear mayores pérdidas por evapotranspiración que las actuales, lo que llevaría en términos generales a balances similares a los que hoy existen en el sitio, o incluso más desfavorables. La Figura 1-5, ilustra estos resultados para los modelos analizados.



Fuente: Elaboración propia

Figura 1-5: Cambios en temperaturas medias anuales (expresados como diferencia simple entre futuro menos histórico), para la cuenca del salar de Atacama en seis modelos de cambio climático en el escenario más severo (RCP 8.5).

1.3.1.4 Generación de clima futuro en los catchments de la cuenca del salar de Atacama.

Una vez seleccionados los modelos en los tres escenarios a trabajar, se obtienen las series futuras de las variables de precipitación, temperatura máxima, temperatura mínima, humedad relativa y velocidad del viento. Dado que, al igual que para la obtención de series históricas, existen sesgos asociados, estos deben corregirse en base al periodo de control para luego trasladar esta corrección al periodo futuro junto con el delta de cambio propio del modelo hacia el futuro, realizado los escalamientos correspondientes. Este proceso es similar para temperaturas, viento y humedad, en donde se corrige en base a los sesgos mensuales para cada una de las estaciones índice que se atribuye a los catchments, no obstante, en precipitación, con el propósito de caracterizar de la mejor forma posible los valores extremos, se aplica el procedimiento de Quantile Delta Mapping (QDM) descrito en el acápite 1.3.1.2.

La base del procedimiento consiste en generar una serie de control en cada estación índice, construida desde cada GCM a utilizar en las coordenadas de estas estaciones. La serie entonces corresponde a la serie interpolada del GCM en la coordenada de la estación

respectiva, corregida por sesgo (mediante deltas mensuales en temperaturas extremas, y QDM para el caso de las precipitaciones) por las observaciones de la misma estación.

a) Construcción de series futuras de precipitación

La construcción de la serie de precipitaciones en los catchments sigue un proceso secuencial que parte de la misma lógica utilizada para la obtención de las series históricas para toda la cuenca. En este sentido el procedimiento consta de 2 partes. Una primera parte consiste en la corrección del sesgo del GCM y una segunda parte consiste en la extrapolación espacial de las series de precipitación a partir del producto de isosuperficie de precipitación de AMPHOS21.

Para ello, los GCM seleccionados son información de base con la cual se genera una serie de precipitaciones en el periodo de control cuya relación con las observaciones será llevada hacia el periodo futuro. El proceso que permite entonces la construcción de las precipitaciones futuras en cada catchment considera las siguientes etapas:

- a) Se obtiene la serie de precipitaciones de una pseudo estación para cada GCM en el periodo de control, vale decir, una serie como la obtenida para el periodo histórico, pero utilizando la información del GCM correspondiente en el periodo de control interpolada a la ubicación de las estaciones, en vez de las observaciones en sí. Vale decir, esta serie es aquella interpolada del GCM corregida mediante QDM a partir de las observaciones. Esto se hace por cada estación índice i .

$$Pp \text{ Control GCM estación índice }_i = QDM(Pp \text{ Control GCM interpolada }_i)$$

- b) Luego, se obtiene la serie de precipitaciones para el catchment j correspondiente, en base a la serie de la pseudo estación obtenida en a). Esta considera el cálculo realizado para el periodo histórico (1979-2018) pero ahora en base a la esta nueva serie en el periodo de control.

$$Pp \text{ Control GCM catchment }_j = \frac{Pp \text{ Control GCM estación índice }_i \cdot Pp \text{ media hist anual AMPHOS en catchment }_j}{Pp \text{ media anual estación índice }_i}$$

- c) Para la obtención de las series futuras se genera una serie de precipitaciones de una pseudo estación para cada GCM en el periodo futuro, vale decir, una serie como la obtenida para el periodo histórico, pero utilizando la información del GCM correspondiente en el periodo futuro interpolado a la ubicación de la estación índice utilizando el mismo factor de ajuste considerado para el periodo control.

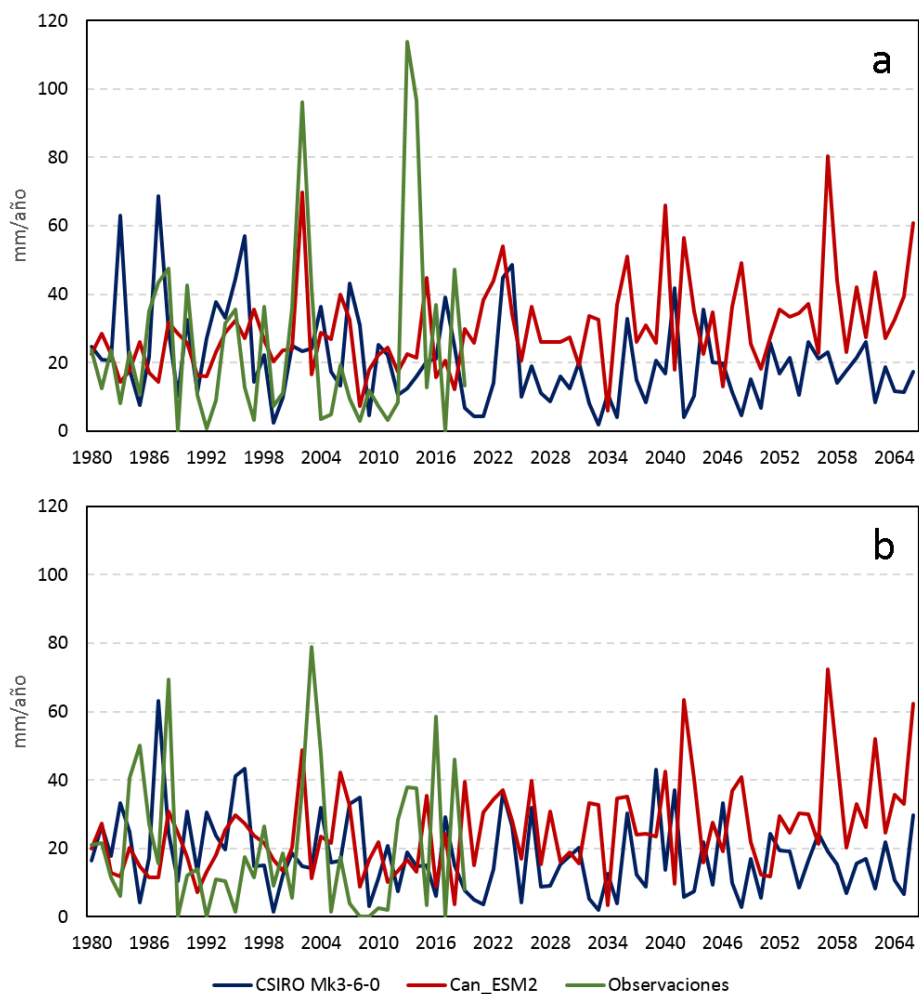
$$Pp \text{ Futuro GCM estación índice }_i = QDM(Pp \text{ Futuro GCM interpolada }_i)$$

- d) Finalmente, la serie para el periodo futuro del catchment j sigue un proceso de doble corrección, el primero para ajustar los cambios del futuro respecto del histórico considerando el procedimiento previo y el segundo el escalamiento utilizado en el

presente para la concordancia expuestos por AMPHOS21. Finalmente, la serie futura en un catchment j se calcula:

$$Pp \text{ Futuro GCM catchment}_j = Pp \text{ Futuro GCM estación índice}_i \cdot \frac{Pp \text{ media hist anual AMPHOS en catchment}_j}{Pp \text{ media anual estación índice}_i}$$

Al aplicar el procedimiento descrito a 2 estaciones índice (Peine y San Pedro de Atacama) en las series del periodo de control y futuras de los modelos CSIRO MK3-6-0 y Can-ESM2 (2 modelos candidatos que presentan proyecciones opuestas y extremas en términos de cambios en precipitación), se aprecian correctos ajustes a escala de medias anuales respecto de las observaciones respectivas (Figura 1-6).



Fuente: Elaboración propia

Figura 1-6: Series de precipitación anual a nivel de estación e interpoladas a la coordenada de esta en 2 modelos de cambio climático.

Nota: Se muestra el periodo de control (observaciones) y futuro (modelos CSIRO MK3-6-0 y Can-ESM2) para las estaciones a) San Pedro de Atacama y b) Peine.

b) Construcción de series futuras de temperatura

En el caso de las temperaturas extremas, se sigue una metodología distinta a la planteada para precipitaciones, en base a la corrección de sesgo mensual del producto CR2Met respecto de las observaciones. En este caso, esta corrección se realiza sobre el periodo de control del GCM, y los coeficientes se traspasan al periodo futuro para obtener series ajustadas por esta corrección basada en las estaciones índice en cada catchment.

El procedimiento, aplicable tanto a temperatura mínima como máxima se puede resumir de la siguiente manera:

- a) Se obtiene el sesgo por mes m del GCM (SGCMe) para el periodo control respecto de las estaciones índice i :

$$\text{Sesgo GCM estación}_{i,m} = \text{Temp Control GCM interpolada}_{i,m} - \text{Temp historica índice}_{i,m}$$

- b) La serie corregida por catchment j , en periodo de control, corresponde a la serie agregada por pesos de las celdas que se encuentran en el catchment correspondiente, a la que se le suma el sesgo del GCM asociado a la estación i en el mes m :

$$\text{Temp control GCM corregida}_j = \left(\sum_j \text{Temp control GCM}_j * W_j \right) + \text{SGCMe}_{im}, \forall j, m \in i$$

$$\text{donde } W_j = \left(\frac{w_j}{\sum_j w_j} \right) \text{ y } \sum W_j = 1$$

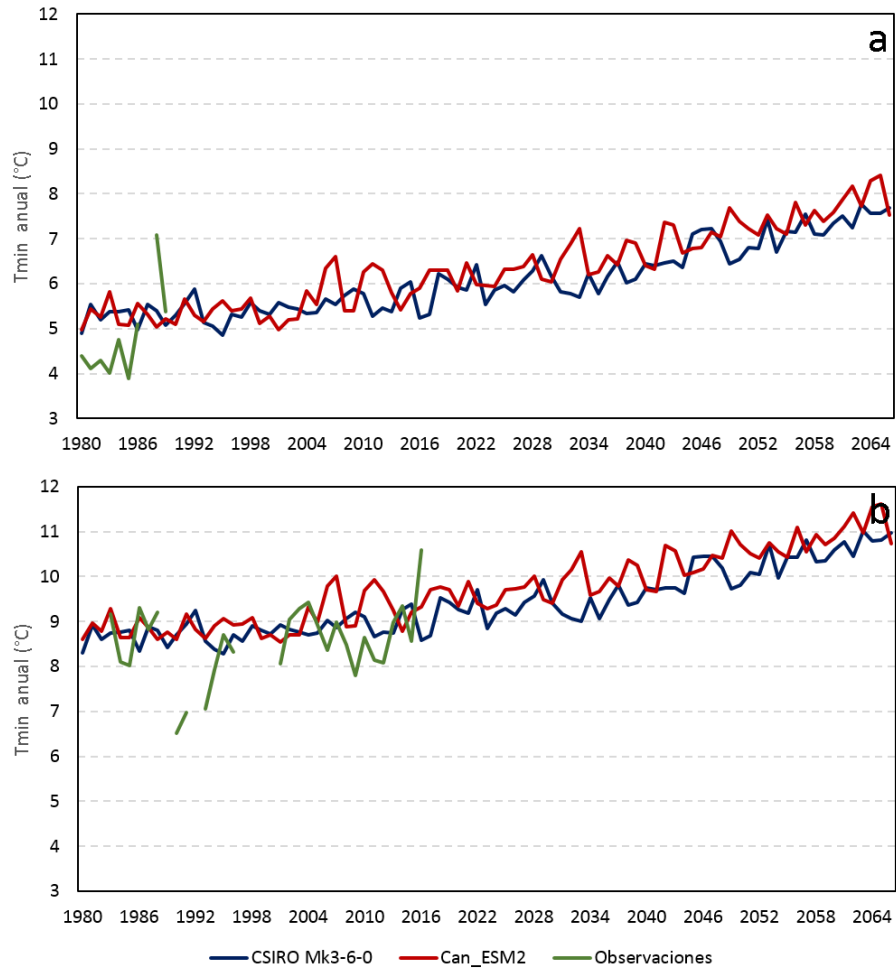
Donde W_j describe los pesos de cada celda del catchment.

- c) La serie futura finalmente sigue la misma lógica, pero ahora con la serie futura en el GCM que corresponda.

$$\text{Temp futuro GCM corregida}_j = \left(\sum_j \text{Temp futuro GCM}_j * W_j \right) + \text{SGCMe}_{im}, \forall j, m \in i$$

$$\text{donde } W_j = \left(\frac{w_j}{\sum_j w_j} \right) \text{ y } \sum W_j = 1$$

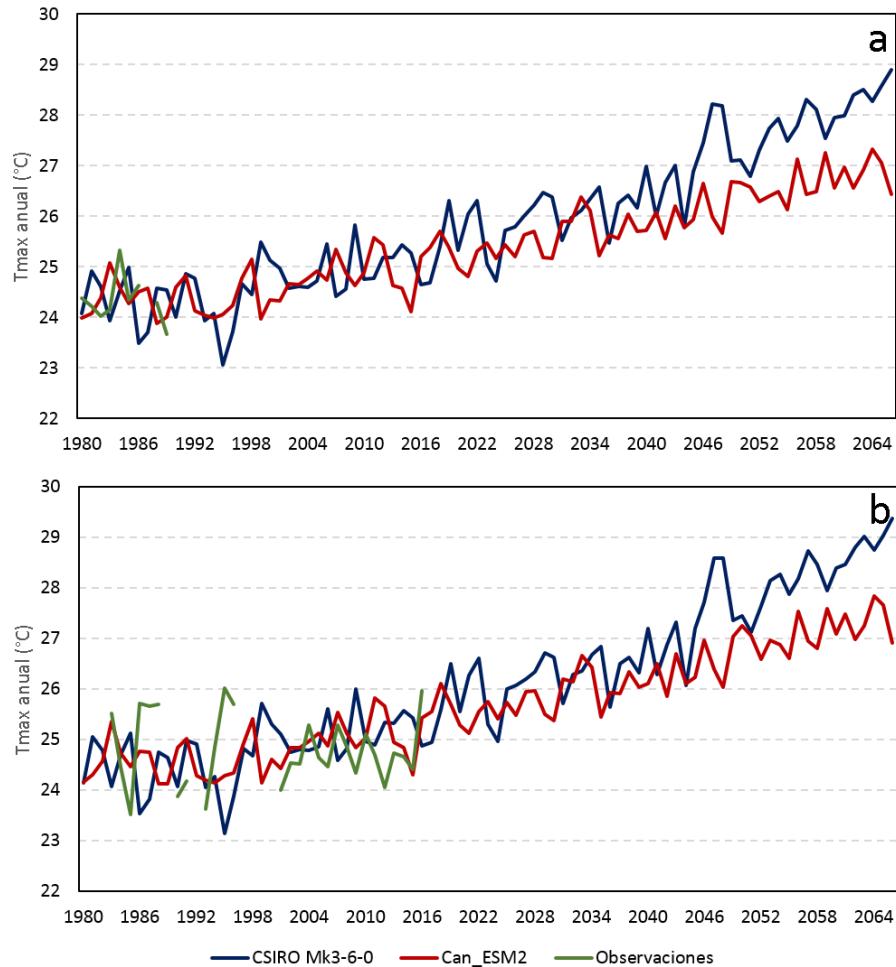
De modo de evaluar los modelos de cambio climático en base al procedimiento expuesto, se contrastó la temperatura máxima de las estaciones Peine y San Pedro de Atacama con los modelos CSIRO MK3-6-0 y Can-ESM2 interpolados a la ubicación de la estación. Se aprecia una tendencia de incremento en temperatura mínima y máxima respecto del periodo histórico concordantes con la corrección de sesgo mensual (Figura 1-7 y Figura 1-8).



Fuente: Elaboración propia

Figura 1-7: Series de temperatura mínima a nivel de estación e interpoladas a la coordenada de esta en 2 modelos de cambio climático.

Nota: Se muestra el periodo de control (observaciones) y futuro (modelos CSIRO MK3-6-0 y Can-ESM2) para las estaciones a) San Pedro de Atacama y b) Peine.



Fuente: Elaboración propia

Figura 1-8: Series de temperatura máxima a nivel de estación e interpoladas a la coordenada de esta en 2 modelos de cambio climático.

Nota: Se muestra el periodo de control (observaciones) y futuro (modelos CSIRO MK3-6-0 y Can-ESM2) para las estaciones a) San Pedro de Atacama y b) Peine.

c) Construcción de otras variables climáticas

Dada la densidad (3 estaciones INIA) y cantidad de registros (datos desde 2009) de observaciones de humedad relativa y viento, la realización de un procedimiento de corrección de sesgo para la información grillada puede levantar más incertidumbre de la que intenta resolver.

En ese sentido, las series climatológicas de humedad relativa y viento (hacia 2060), considera la replicación de las series corregidas para ambas variables. Esto implica que la serie futura corresponde a la serie corregida por sesgo en el periodo histórico en base a las estaciones INIA, a partir de sesgos mensuales en base a estaciones índice asignadas a cada catchment. Sin embargo, se deben tener en consideración dos aspectos relevantes respecto de este paso: primero, que la distribución espacial de las estaciones INIA puede inducir más sesgo del que se desea corregir al asignarse a catchments lejanos tanto en distancia como ubicación, y segundo, que la cantidad de registros en estas variables no puede

clasificarse como climatología, ya que la mayoría se encuentra operativa desde 2010, que en justamente el año donde culmina el periodo de control.

d) Comparación del producto CR2Met con las observaciones.

Con el propósito de brindar consistencia a los resultados de la modelación hidrológica realizada en el presente estudio, es que se han comparado los productos de forzantes meteorológicas generados por el CR2, en el marco de los proyectos de actualización del Balance Hídrico Nacional (DGA, 2017), en una primera versión y actualizado en una versión en la etapa III de aquel proyecto (versión 2). Se analiza la versión 1 de los productos de temperatura (versión 1.3) y precipitación (versión 1.4.2) junto con la versión 2 de ambas variables, en contraste con las observaciones de las estaciones para cada una de las variables, en forma latitudinal, midiendo el sesgo existente entre los valores de cada estación y el valor interpolado mediante IDW a la coordenada de esta, utilizando sus cuatro vecinos más cercanos.

El proceso comparó mediante sesgos ambas versiones de los productos para las variables de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima, a escala mensual, para el periodo 1985-2015. El valor reportado corresponde al sesgo medio de todas las estaciones contenidas en una ventana móvil de 1° de latitud que avanza un paso según la resolución del modelo (0,05°). Por ejemplo, la primera banda compara los sesgos de las observaciones de las estaciones contenidas entre los -17,025° y los -18,025° de latitud con las interpolaciones de las versiones de las forzantes correspondientes, para luego avanzar a una segunda banda entre los -17,075° y -18,075°, y así sucesivamente hasta llegar a los -56,975° de latitud. Se presentan los resultados para todas las bandas latitudinales definidas que comprenden Chile continental y no solo para aquellas en donde se ubica el Salar de Atacama, dado que es una evaluación global del producto y además, dada la baja densidad de estaciones comparada con otras zonas de Chile, se previenen sesgos de interpretación.

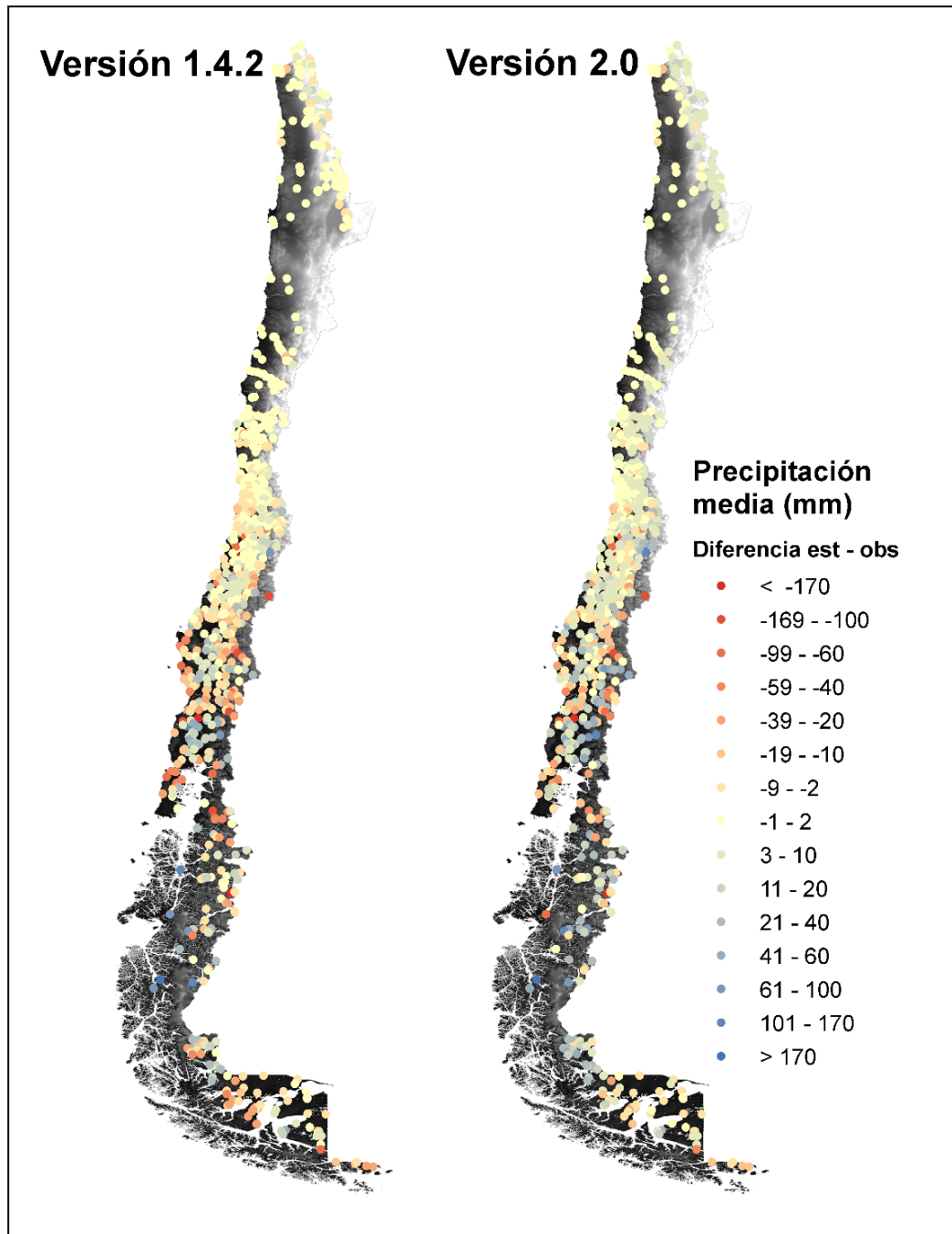
- **Comparación con precipitación**

Un aspecto de interés sobre la información que entrega el CR2Met, es que debido a que se trata de estimaciones espaciales a partir de datos de estaciones puntuales, a los que se agrega información satelital y consideraciones topográficas y meteorológicas, el valor específico sobre una coordenada puede presentar sesgo respecto de las observaciones (hayan participado o no en la construcción del modelo). Por lo tanto se ha comparado el valor medio observado de precipitación en cada estación, con el valor del pixel en el cual se encuentra la estación, correspondiente a un promedio espacial. La diferencia se reconoce como un sesgo de estimación. Un análisis de estos valores se muestra en la Figura 1-9. En ella se indica el valor absoluto del sesgo, en milímetros en un contraste con ambas versiones del producto CR2Met. Se aprecia que para el altiplano la versión 2 posee un sesgo positivo absoluto mayor que la versión 1, vale decir es un modelo más "húmedo"; este patrón persiste por la zona cordillerana de la zona central, mientras que la versión 1 parece tener sesgos más negativos que la versión 2 en la zona costera de la macrozona centro. Hacia el sur el comportamiento es misceláneo, excepto en la zona de la región de los lagos donde existe una tendencia a la sobreestimación por parte de ambos modelos.

No obstante, dado el heterogéneo patrón espacial de precipitaciones en la zona central, por apreciaciones de escala resulta complejo comprar entre latitudes en términos de diferencias absolutas. Por este motivo, la Figura 1-10 muestra el comportamiento del sesgo descrito en términos relativos. Bajo esto, se corroboran los sesgos positivos en la zona del altiplano y la cordillera de la zona central para la versión 2 del modelo CR2met, mientras que en la versión 1 los sesgos positivos en la zona costera de la zona centro sur existen y se acrecientan en la región del Biobío. A su vez, se aprecian sesgos positivos en ambas versiones, pero con mayor preponderancia en la versión 2.

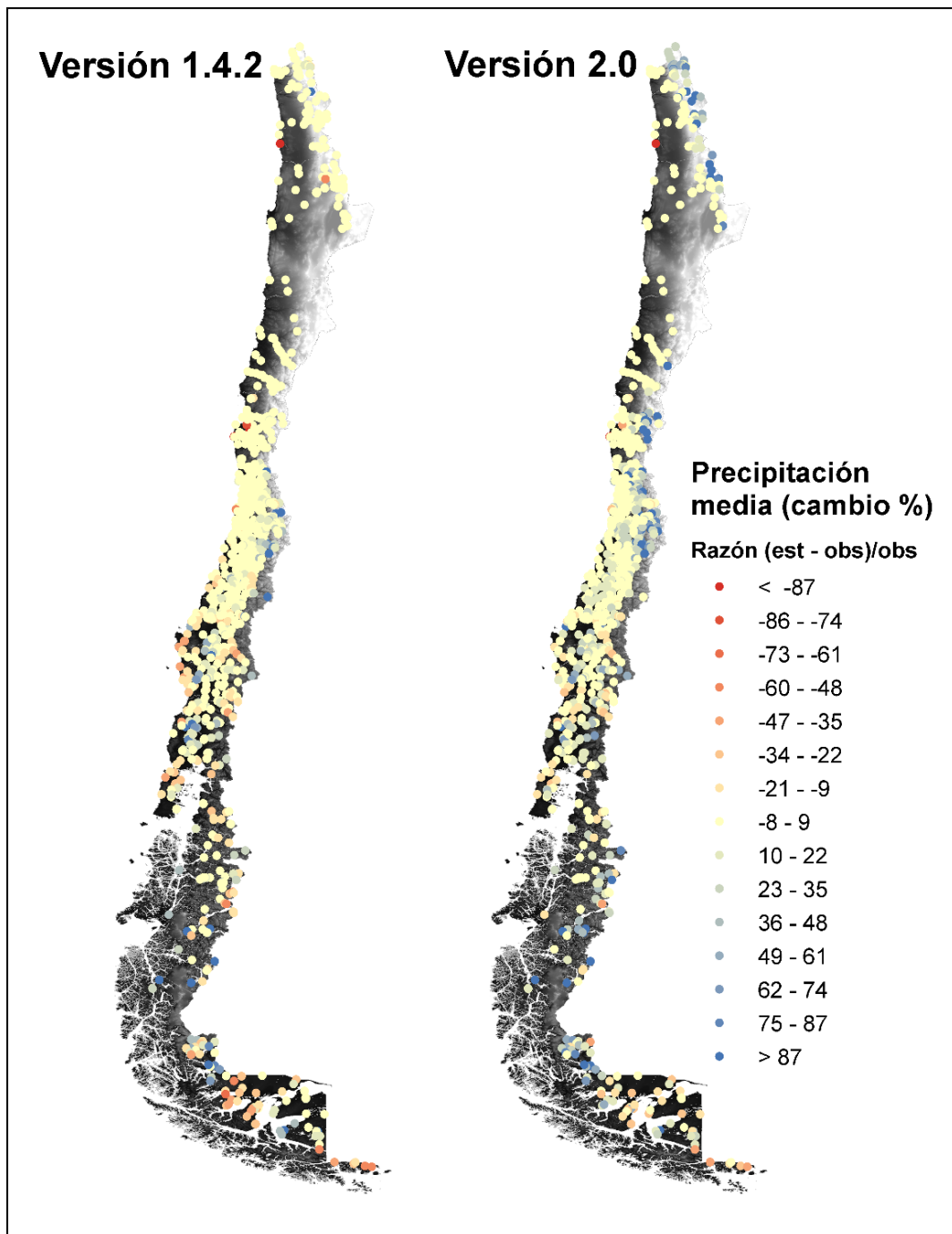
Con el propósito de corroborar estas diferencias entre ambos modelos y observaciones, la Figura 1-11 muestra los resultados del análisis señalado en el acápite anterior, verificando los sesgos medios de estaciones que se encuentran en una ventana móvil de 1° de latitud que avanza cada 0.05° (la resolución del modelo). Se aprecia que efectivamente la versión 2 del modelo CR2met presenta sesgos positivos con la precipitación de las observaciones en toda la macrozona norte, en donde se corrobora que este sesgo tiene relación estrecha con las estaciones presentes en el lugar, patrón que se difumina en el resto de las macrozonas. La versión 1 prácticamente no presenta sesgo en la macrozona norte. En la macrozona centro existe un patrón similar al de la macrozona norte, aunque de menor intensidad, posiblemente debido a la amortización que produce el aumento en la frecuencia de estaciones utilizadas para calcular el sesgo medio. Si bien en la versión 1 los sesgos positivos aumentan, son menores que en la versión 2. En la macrozona sur el comportamiento tiende a ser similar en ambos modelos, con tendencias positivas y negativas pero estas últimas más marcadas en la versión 1 (más seco). En la zona Austral el modelo 2 contiene más precipitación que la que reportan las observaciones en la mayoría del territorio salvo en el extremo más austral, de todas formas, ambos modelos poseen un comportamiento heterogéneo en esta zona.

En resumen, la versión 2 del producto meteorológico CR2Met entrega más precipitación que la reportada en las estaciones, comportamiento que se mantiene relativamente constante en todo el territorio continental de Chile. Por su parte, la versión 1 incrementa su sesgo absoluto medio y relativo conforme se avanza al sur, aunque de forma heterogénea.



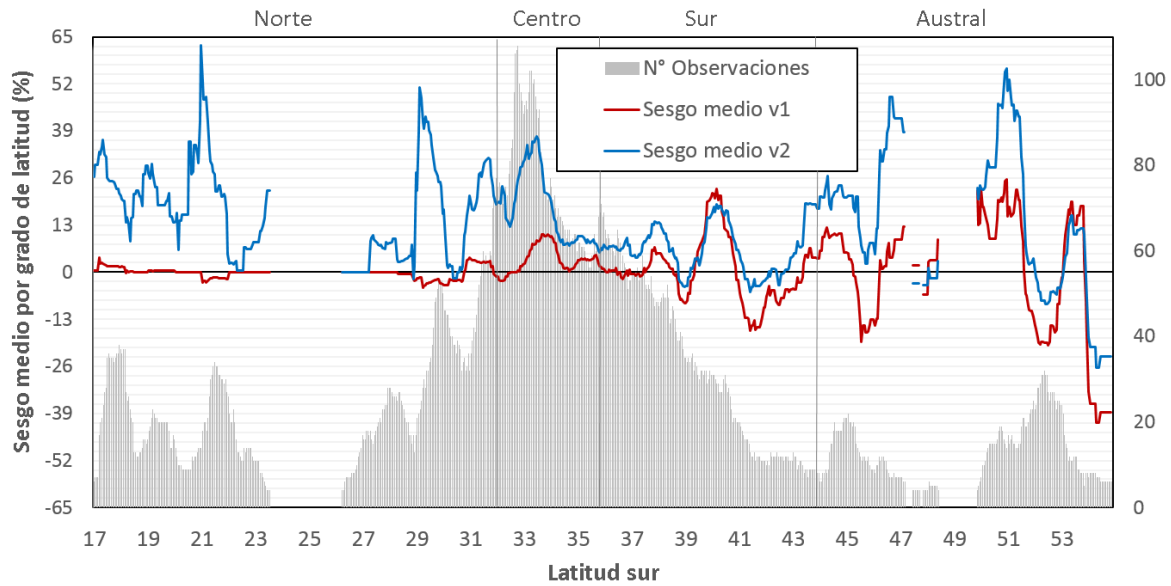
Fuente: Elaboración propia

Figura 1-9: Sesgo en la estimación de precipitaciones del producto CR2MET versiones 1.4.2 y versión 2.0 con las observaciones de estaciones, expresadas como diferencia absoluta (mm).



Fuente: Elaboración propia

Figura 1-10: Sesgo en la estimación de precipitaciones del producto CR2MET versiones 1.4.2 y versión 2.0 con las observaciones de estaciones, expresadas como diferencia relativa (%).



Fuente: Elaboración propia

Figura 1-11: Sesgo de la estimación de precipitaciones de CR2MET en función de la latitud.

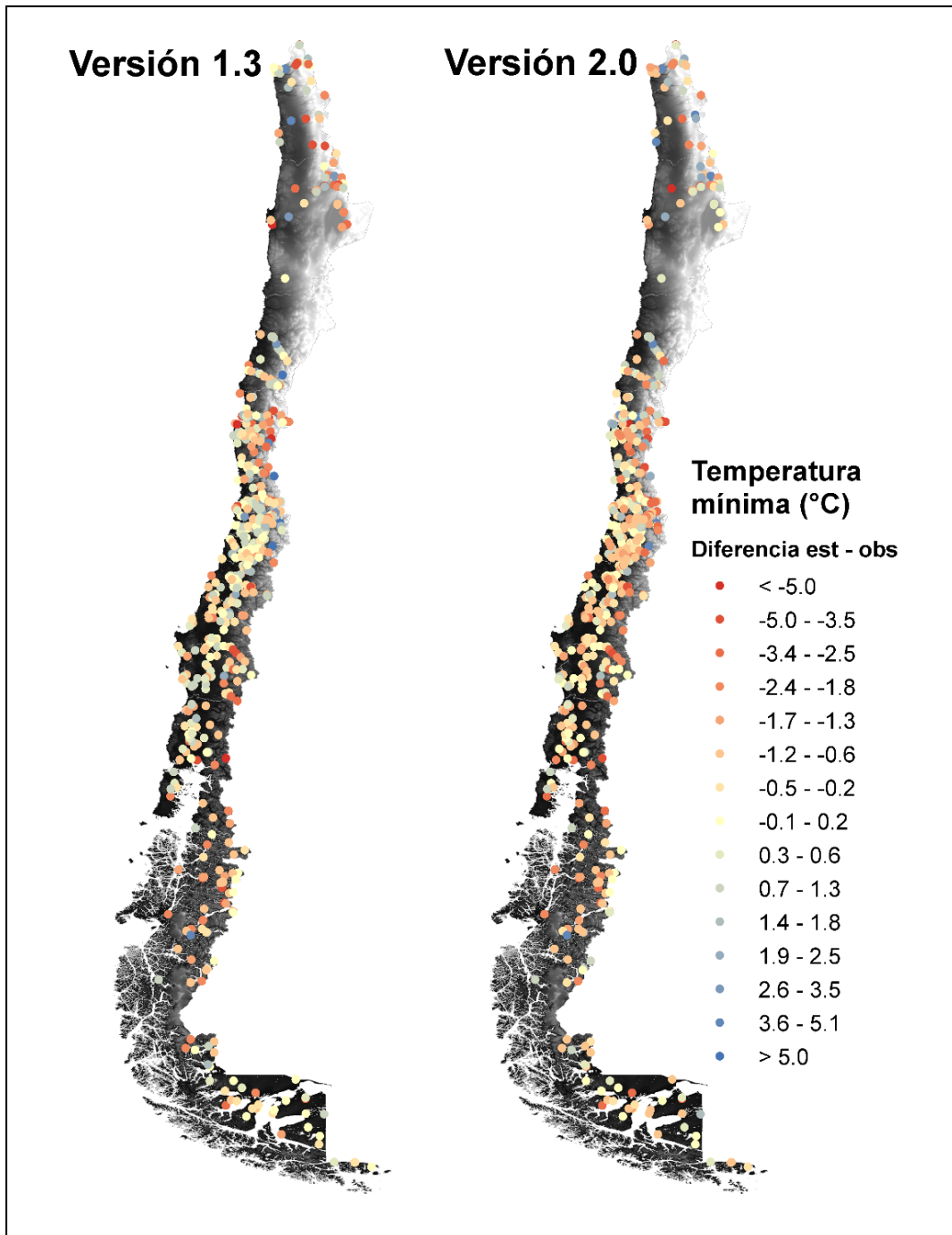
Nota: Considerar que la cuenca del salar de atacama se inserta entre los 22 y 25 grados de latitud sur.

- **Comparación con Temperatura**

Las estimaciones de temperatura grillada de CR2met corresponden a temperaturas mínimas y temperaturas máximas. La grilla es la misma que la empleada en las estimaciones de precipitación, y los valores están estimados con la misma metodología, en base a las medidas puntuales de temperatura observadas en estaciones meteorológicas. En el producto meteorológico se informa la serie de valores diarios de ambas temperaturas, y la información de la serie de valores mensuales corresponde al promedio en el mes de cada una de ellas.

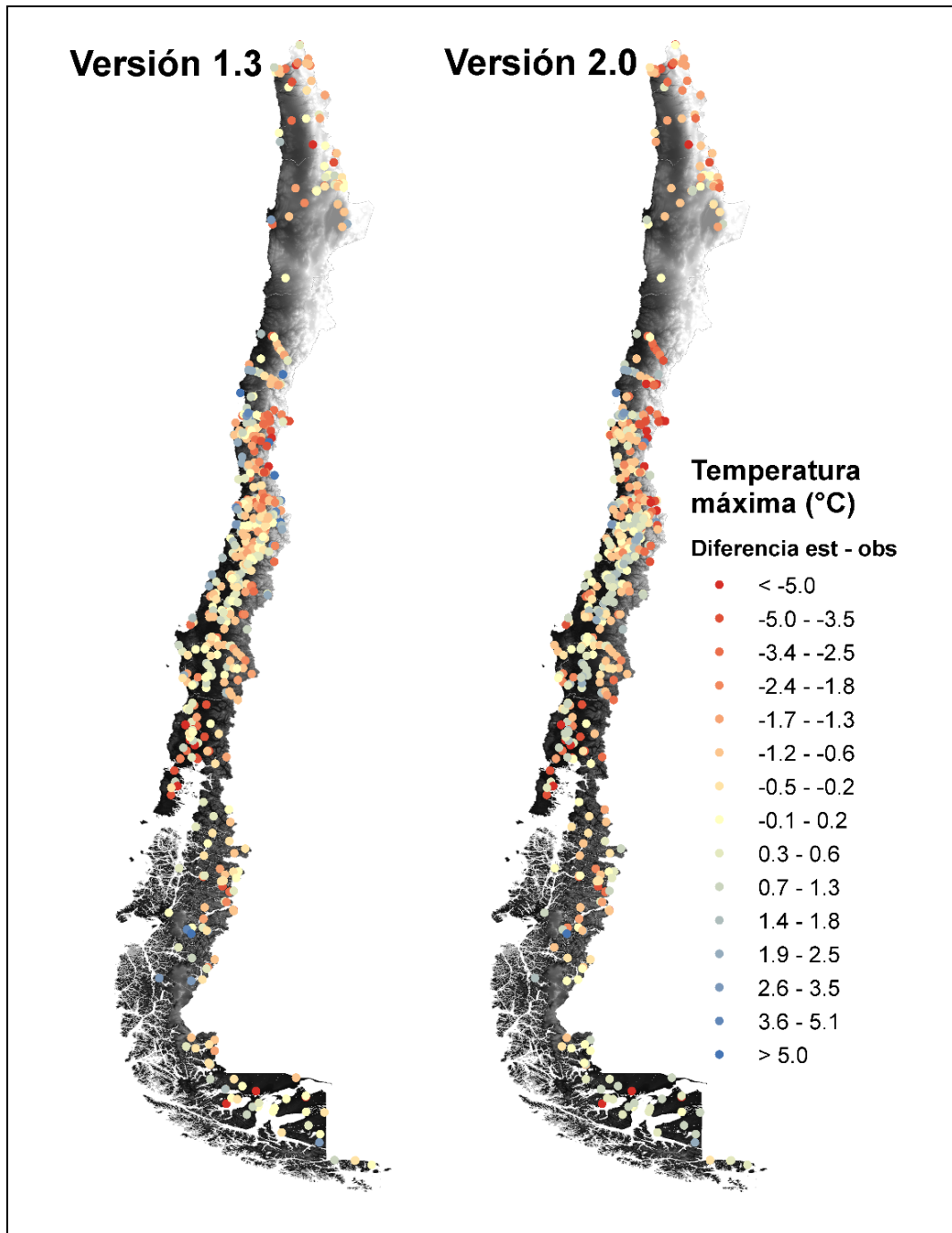
Al igual que en el caso de las precipitaciones estas estimaciones de temperatura también presentan sesgos. En la Figura 1-12 y la Figura 1-13 se muestra un análisis de los sesgos observados en las estimaciones de temperaturas máximas y mínimas en la versiones 1.3 y la versión 2.0 de CR2met. Las diferencias absolutas medidas en °C son más relevantes en la zona de la cordillera, en la zona norte y en la zona austral, como sesgos negativos en la versión 2 para el caso de la temperatura mínima. Los sesgos de temperatura mínima parecieran ser menores en la versión 1 que en la versión 2, sobre todo en la macrozona centro, en el resto de las zonas el comportamiento es misceláneo en ambos modelos. Por otra parte, para temperatura máxima se aprecian sesgos positivos visualmente apreciables en la zona centro sur de Chile para el modelo 2, mientras que en ambos modelos se aprecia un sesgo negativo en zonas de la región de Valparaíso y la de Coquimbo, sobretodo en zonas cordilleras. Por otra parte, el modelo 1 presenta sesgos positivos apreciables en la mayoría de las estaciones ubicadas en las zonas costeras entre Atacama y la región de Ñuble.

En todos los casos se aprecia una mayor tendencia a sesgos negativos, y el sesgo promedio no es nulo. Esto se puede apreciar con mayor claridad en las Figura 1-14 y Figura 1-15, en las cuales se muestra el sesgo de ambas temperaturas en función de la latitud. Se aprecia que para temperatura mínima los sesgos tienden a ser negativos en ambos promedios con un mejor comportamiento de la versión 2 en la macrozona norte, y un menor sesgo de la versión 1 en la macrozona centro y la parte norte de la macrozona sur, mientras que en resto de Chile continental el comportamiento es similar en ambas versiones, con un patrón de ser negativo, vale decir los valores de las observaciones son en promedio mayores que los de las estimaciones. En el caso de las temperaturas máximas, en la macrozona norte existen sesgos negativos para ambas versiones que en algunas zonas bordean los $2,5^{\circ}\text{C}$, siendo la versión 1 del producto meteorológico quien posee un comportamiento menos sesgado, en la macrozona centro las estimaciones mejoran y la versión 2 parece tener un desempeño levemente mejor. Mientras que en la zona sur los sesgos en ambas versiones tienden a ser bastante negativos nuevamente, aunque esto podría atribuirse a la baja cantidad de observaciones (menos de 10 estaciones) utilizadas para realizar las comparaciones. En la zona más austral la versión 1 parece tener un desempeño levemente mejor.



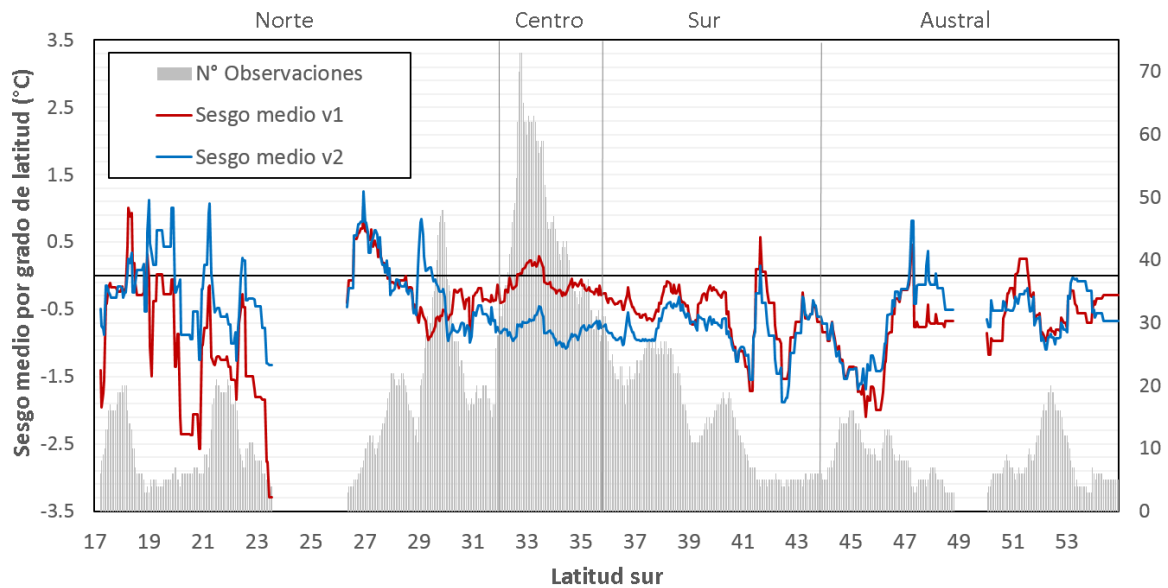
Fuente: Elaboración propia

Figura 1-12: Sesgos entre los valores medidos en las estaciones meteorológicas de Temperatura mínima con los valores estimados por CR2met en sus versiones 1 y 2 para el elemento de la grilla en al cual se encuentran estas estaciones.



Fuente: Elaboración propia

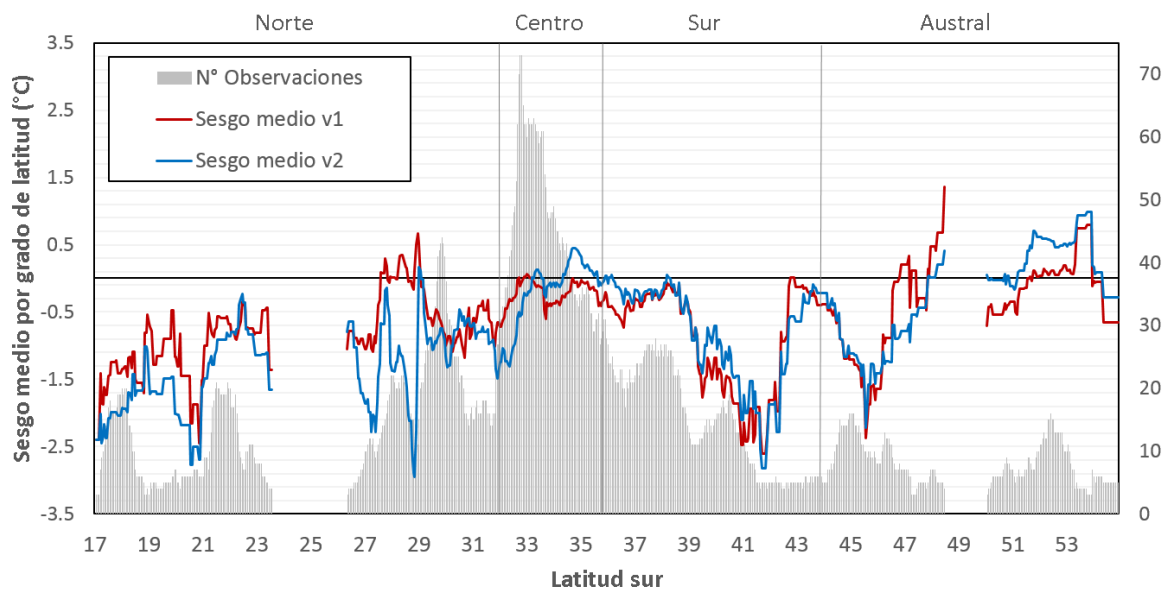
Figura 1-13: Sesgos entre los valores medidos en las estaciones meteorológicas de Temperatura máxima con los valores estimados por CR2met en sus versiones 1 y 2 para el elemento de la grilla en al cual se encuentran estas estaciones.



Fuente: Elaboración propia

Figura 1-14: Sesgo en la estimación de la temperatura mínima para la versión 2.0 (azul), en función de la latitud

Nota: Considerar que la cuenca del salar de atacama se inserta entre los 22 y 25 grados de latitud sur.



Fuente: Elaboración propia

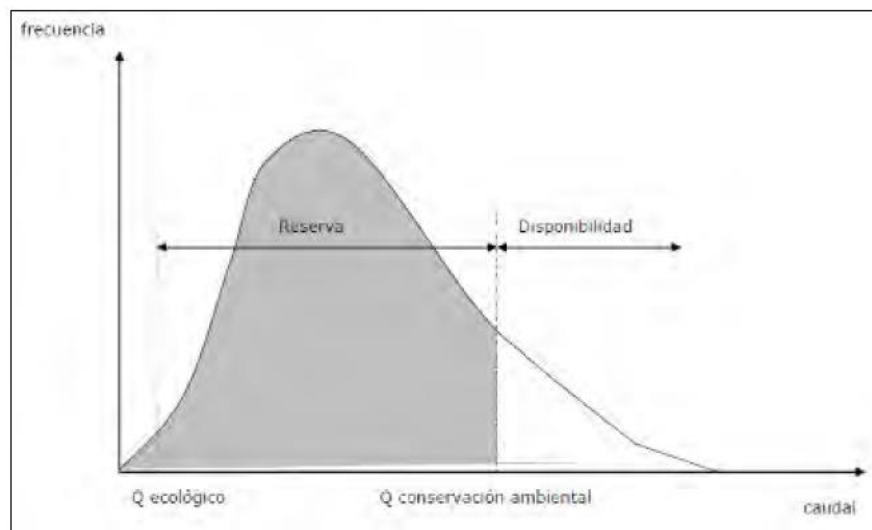
Figura 1-15: Sesgo en la estimación de la temperatura máxima para la versión 2.0 (azul), en función de la latitud.

Nota: Considerar que la cuenca del salar de atacama se inserta entre los 22 y 25 grados de latitud sur.

1.4 ESTIMACIÓN CAUDALES DE PROTECCIÓN AMBIENTAL

La metodología utilizada para estimar los caudales para protección ambiental de la Tabla 3.2-2 y 3.2-3 (Informe Etapa 2), proviene del estudio DGA "Estimación de la demanda actual, proyecciones futuras y caracterización de la calidad de los recursos hídricos en Chile" (DGA, 2017b), donde se utilizan los siguientes principios:

- Se busca encontrar un caudal de conservación (protección) ambiental, definido por la suma del caudal ecológico más el de reserva por interés nacional, que es el tramo comprendido entre el caudal ecológico y el 20% de probabilidad de excedencia. Esto permitirá mantener la mayor parte del tiempo, en su condición natural, la distribución de caudales en la cuenca (área gris en la Figura 1-16), y de esta manera mantener prácticamente inalterada la magnitud, frecuencia, y duración del régimen hídrico.



Fuente: DGA (2017b)

Figura 1-16: Caudal de reserva para conservación ambiental.

- Caudal para protección ambiental:

$$Q_{protección\ ambiental} = Q_{prob.excedencia\ 20\%} - Q_{ecológico} \quad \text{Ecuación 3}$$

Este cálculo se aplicará a las zonas de protección (SNASPE, Sitios Prioritarios para la Conservación de la Diversidad Biológica y Sitios Ramsar) existentes en cada región, identificando una estación fluviométrica de referencia de la red hidrométrica de la DGA en cada caso.

CAPÍTULO 2 METODOLOGÍA APLICADA EN LA PARTICIPACIÓN CIUDADANA

Para el desarrollo de la componente de participación ciudadana en el marco del estudio “Plan Estratégico de Recursos Hídricos (PERH) de la cuenca del Salar de Atacama”, se considera la relevante particularidad que presenta el territorio en cuanto a los grupos humanos que la componen y las actividades económicas que en ella se desarrollan.

2.1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DE LA PAC

Con el propósito de proporcionar viabilidad política y legitimidad social al diseño del Plan Estratégico de Gestión Hídrica indicativo para la cuenca del Salar de Atacama, el proceso de participación ciudadana debe facilitar instancias de diálogo y colaboración efectiva entre todos los actores territoriales involucrados, principalmente de las comunidades indígenas que, además de los derechos basales de participación común a toda la población, es sujeto de derechos particulares, según el Artículo 7(1) del Convenio N° 169. Por tanto, este proceso asegura la participación libre e informada “en la discusión en torno a las propuestas de sistema de gobernanza para una futura implementación del Plan por cuenca y en las distintas actividades planteadas para el desarrollo de este estudio”.

Conforme a lo anterior, el diseño de este plan de participación ha considerado de manera particular -además de cumplir con los preceptos metodológicos de la Resolución D.G.A. (exenta) N° 634/2020; en particular, en lo que refiere a los contenidos en el acápite 3.6- los siguientes principios:

- Flexibilidad, generando instancias de diálogo proactivo, abierto, constante, amigable y accesible, que permitan el levantamiento de las necesidades territoriales de los actores locales. El proceso de participación se adapta a los tiempos, realidades socioculturales locales, asumiendo que los mecanismos y tiempos de las tomas de decisiones son diferentes a los del ejecutivo. Se realizan reuniones informativas con las instituciones representativas indígenas en modalidades virtual y presencial en las cuales se entrega la información preliminar de la iniciativa, presentando una propuesta para acordar aspectos de la metodología a utilizar.
- Equidad de Género, asegurando la participación de las mujeres indígenas.
- Integración, propiciando espacios de construcción y participación activa para que las comunidades puedan proponer medidas y actividades que de alguna manera signifiquen incidir la propuesta.

Así también, los principales objetivos en este proceso fueron:

- i) Sistematizar y analizar la información generada en los distintos procesos de participación ciudadana realizada por los distintos planes de gestión ya desarrollados, en cuanto a compromisos adquiridos, conclusiones generales, etc.
- ii) Realizar un proceso de consulta a la institucionalidad del agua de cada cuenca, garantizando la participación de todos los interesados, y promoviendo la coordinación y orientación de las diversas intervenciones locales, de manera de

orientar las decisiones públicas y privadas de los proyectos, programas y planes relacionados, directa o indirectamente con el agua.

- iii) Obtener la información necesaria que permita retroalimentar elementos del diagnóstico que complementen el desarrollo del plan de cuenca, y también para entender la realidad de las cuencas, y así formular escenarios de gestión hídrica exitosos.
- iv) Presentar a las Juntas de Vigilancia, las Organizaciones de Usuarios de Agua de las cuencas, empresas usuarias de agua y Comunidades Indígenas, los resultados de la simulación de los escenarios diseñados en el plan de cuenca, para involucrarlos y responder a sus observaciones y comentarios.
- v) Validar en conjunto con las Juntas de Vigilancia, Organizaciones de Usuarios de Agua de la cuenca y empresas usuarias de agua, el planteamiento de las estrategias de gestión de acuerdo a las brechas identificadas.

A continuación, se presenta las herramientas metodológicas de participación ajustadas y adaptadas tanto a las particulares condiciones existentes en el territorio como al contexto de pandemia que afecta al país desde marzo del 2020, debiendo apelar a diferentes mecánicas de participación (distancia y presencial).

2.2 HERRAMIENTAS METODOLÓGICAS

Entendiendo el contexto territorial y de pandemia, y de manera que se pueda garantizar una participación integradora de todos los actores, la siguiente tabla plantea las herramientas metodológicas utilizadas en el marco del diagnóstico del PEGH, que permiten:

- Generar vínculos de confianza necesarios para avanzar en el proceso participativo
- Difundir el propósito de la iniciativa.
- Recolectar información
- Validar propuestas
- Asegurar las condiciones necesarias para una real participación de todos los actores relevantes presentes en el territorio.

Ante esto, se utilizaron herramientas que se adaptan a factores locales permitiendo implementar espacios de diálogo y reflexiones conjuntas de manera virtual, y también generando algunos espacios presenciales de colaboración ciudadana.

Tabla 2-1: Herramientas Metodológicas PAC.

HERRAMIENTA	NIVEL PARTICIPACIÓN
Recopilación y sistematización de antecedentes referentes a procesos de participación ciudadana realizados en estudios similares o relacionados al PEGH, generados con anterioridad.	Información
Reuniones con actores claves para el proceso de participación, para obtener información y directrices que permitan	Información Consulta

HERRAMIENTA	NIVEL PARTICIPACIÓN
cocrear y coordinar las correspondientes instancias virtuales que se requieran para la ejecución de actividades remotas y presenciales.	
Reuniones territoriales, en una primera etapa se realiza acercamiento a los actores, informando objetivos, etapas y actividades del estudio con el fin de generar una mutua colaboración para la generación de estrategias. Luego, mediante talleres grupales se evalúan estrategias que salen de las conversaciones realizadas en la reunión de presentación. Y finalmente, se da conocer el modelo y se comenta la experiencia de proceso de PAC.	Información Consulta Deliberación
Difusión utilizando canales informativos existentes a nivel de cuenca como WhatsApp comunitario, correos electrónicos, llamadas telefónicas, etc. considerando las particularidades propias de las comunidades indígenas a nivel de pueblos y/o ayllus.	Información

Fuente: Elaboración propia.

Las dinámicas de participación, asociación y el ejercicio de la ciudadanía, se presentan en un desafiante escenario provocado por la pandemia de coronavirus, proporcionando un marco propicio para la experimentación de nuevas formas de participación institucional basadas en el uso de Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) como mecanismo de fomento para la participación ciudadana y la gobernanza participativa de manera virtual. Así también, desde un inicio la intervención a realizar en esta etapa se concentró en priorizar la aproximación directa y presencial a los actores relevantes, siendo posible realizar este tipo de instancias presenciales tomando los resguardos requeridos por la autoridad sanitaria, abarcando zonas imposibilitadas de participación virtual por sus condiciones sociales y/o geográficas.

2.3 PLAN DE TRABAJO PAC

Basadas las dificultades descritas, y de acuerdo a los objetivos y metodología indicada previamente para el componente PAC del estudio y tras el proceso de recopilación de antecedentes participativos en fuentes secundarias, las estrategias adaptativas definidas para el plan de trabajo contemplaron lo siguiente:

- Recopilación de Antecedentes y definición actores relevantes
- Diseño y programación de actividades PAC
- Ejecución de reuniones y talleres.

En el Anexo I se hace mención al plan de participación.

2.4 RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES

Se recabó y sistematizó información referente a antecedentes de procesos participativos en estudios relacionadas a recursos hídricos, en la cuenca del Salar de Atacama, a su vez, se generó un listado amplio de posibles actores a considerar en el proceso participativo del estudio, siendo categorizados mediante atributos y representación sectorial, lo cual se describe en el punto 3.5.5.2 del presente informe. Los criterios fueron determinados en base al conocimiento del equipo consultor en trabajos previos y discusión con el mandante. Estos criterios, como se comentó, tienen relación con un análisis cualitativo de atributos de los actores y de determinada escala espacial, relacionado a la gestión hídrica del territorio.

2.5 DEFINICIÓN MAPA DE ACTORES

Se presentan los aspectos considerados para la realización de matriz de actores relevantes según diferentes criterios utilizados para la identificación y aspectos de la metodología de convocatoria.

2.5.1 Definición de Actor Relevante

Se consideró actores a nivel regional, comunal y de pueblos o ayllus, con interés directo o indirecto en el uso del agua del salar, a fin de acotar el listado de actores involucrados. Luego, se identificaron y caracterizaron los actores, reconociendo las personas y organizaciones que se ven afectados por o afectan el balance del agua en el salar; tienen información, conocimiento y experiencia acerca del tema; y/o tienen control o influencia ("poder") en la implementación de políticas e instrumentos pertinentes.

2.5.2 Metodología Convocatoria Actores Relevantes

Desde un inicio la intervención priorizó la aproximación directa y presencial a los actores relevantes. Se planificaron diversas rondas de reuniones, las cuales, en su mayoría, debieron ser orientadas a metodologías participativas virtuales. Estas reuniones (presenciales y virtuales), desde el proceso de diagnóstico, lograron garantizar la participación de los(as) actores, así como obtener información clave como insumos para el ejercicio de sistematización. Se consideraron los siguientes criterios para definir a los actores relevantes convocados:

- i. Forman parte de la comunidad, representando intereses legítimos y/o capacidad de convocatoria en temas de gestión hídrica;
- ii. Poseen atribuciones en relación directa con los objetivos del proyecto;
- iii. Disponen de capacidades, conocimiento, infraestructura y recursos técnicos en materia hídrica.

- iv. Tienen capacidad de gestión y negociación con los diversos agentes y/o niveles gubernamentales que permiten construir consensos y acuerdos

2.5.3 Análisis del mapa de actores y elaboración de estrategia

A partir de la fase de diagnóstico, se realizó la construcción del mapa de actores analizando sus tipos de relaciones, con el fin de elaborar una estrategia de vinculación para una apropiada convocatoria de estos a las actividades del proceso de participación ciudadana.

Para lograr un orden en la identificación de la mayor diversidad de actores, según su pertenencia sectorial, se dividió a los actores en 4 tipos de conjuntos sociales:

- Instituciones públicas: GORE, Secretarías Regionales, Servicios Públicos (CORFO, SERNAGEOMIN, CONADI, entre otros) Municipalidad San Pedro de Atacama
- Sociedad civil: Organizaciones emergentes conflictos ambientales, Consejo de Pueblos Atacameños, Comunidades Indígenas Atacameñas (incluye a las que no forman parte del CPA) Asociaciones de Regantes. APR
- Sector privado: Empresas Mineras, Asociaciones Gremiales, Empresas Turísticas
- Sector académico: Universidades, Centros de investigación.

i) Relación Interés/Poder

En el contexto de este proceso participativo, el "interés" de los actores se entiende como el interés que cada uno de los actores tiene en la decisión que va a tomar la autoridad respecto de la gestión hídrica de la cuenca. El "poder" se entiende como la capacidad de influencia que puede tener cada actor respecto de estas decisiones. Estos pueden ir variando en función del nivel de influencia que tenga cada actor sobre los otros, sus intereses o necesidades subyacentes a la gestión hídrica, entre otros. Se utilizó como herramienta para establecer posiciones de los diversos actores la matriz de influencia/posición donde se puede observar que:

- En el eje horizontal se sitúa el indicador de interés territorial de los actores en materia hídrica, al que se asocian componentes como que poseen derechos de agua, participación de procesos previos de consulta relacionados con la gestión del agua, conocimiento técnico especializado, experiencia y/o recursos técnicos en la temática hídrica; y
- En el eje vertical se sitúa el indicador de Poder (Alto/Bajo), que permite visualizar los actores que pueden limitar o facilitar el proceso (actores con poder de convocatoria, capacidad de gestión territorial, y trayectoria en procesos participativos). Las relaciones predominantes pueden ir desde confiables y cooperativas, hasta conflictivas y obstaculizadoras del proceso participativo.

Tabla 2-2: Matriz de interés – poder.

		GRADO INTERÉS	
		ALTO	BAJO
GRADO PODER	ALTO		
	BAJO		

Fuente: Elaboración propia

ii) Mapa relaciones sociales de actores relevantes

A fin de visualizar los vínculos entre los actores convocados al proceso participativo del PEHG SdA, se estableció el grado de relación entre ellos a través de un mapa de relaciones, mediante el cual es posible detectar la tensión existente entre actividades económicas existentes en el territorio, así como la desconfianza de organizaciones de la sociedad civil hacia el sector privados.

2.6 DESCRIPCIÓN REUNIONES PAC

2.6.1 Reuniones de presentación en la cuenca

Durante la etapa de diagnóstico el proceso de participación se compone de instancias de presentación del proyecto entre los actores, dando a conocer la iniciativa a los tres niveles de escala espacial (regional, cuenca, local). En estos espacios formales de participación se sostuvieron discusiones e interacciones con los actores a distintos niveles y coordinación. Los resultados se presentan en el Anexo I del Plan Estratégico correspondiente a la cuenca.

CAPÍTULO 3 METODOLOGÍA APLICADA EN LA CARACTERIZACIÓN DE DEMANDA

3.1 CARACTERIZACIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA PARA USO HUMANO

En este acápite se presenta la metodología y resultados asociados a la caracterización de la demanda por agua para uso humano para el modelo integrado de recursos hídricos que se desarrolló para el Plan Estratégico de Gestión Hídrica de la cuenca del Salar de Atacama. Esta caracterización se desarrolló a partir de información recabada en talleres y reuniones, además de información que se ha podido desprender de fuentes públicas. Dado que dicho consumo de agua se asocia tanto a la población residente como a la población flotante (producto de la actividad turística en la cuenca), se presenta primero la proyección futura de la población residente en la cuenca. Luego, se presenta la situación histórica junto a dos escenarios de proyección de la población flotante en la cuenca. Finalmente, se presenta el cálculo de dotación, y como dicho parámetro se ingresa al modelo de simulación.

3.1.1 Proyecciones de cambio poblacional

Para el estudio de escenarios de cambio poblacional se analizó la comuna de San Pedro de Atacama, la cual tiene una superficie casi equivalente a la de la cuenca Salar de Atacama. La población de esta comuna ha crecido considerablemente en los últimos dos censos registrados por el INE, alcanzando una tasa de crecimiento intercensal de 121,3% en el período 2002-2017. Valores que contrastan con los registrados tanto a nivel provincial como regional. A pesar de este explosivo crecimiento, los resultados de las proyecciones 2002-2035 realizadas por el INE (2017) muestran que este proceso de crecimiento se estabilizará a futuro con tasas decrecientes. Tomando de base estas tasas, en conjunto con los datos observados en la comuna de San Pedro de Atacama del censo 2017 (INE), se proyectó la población en el período 2025-2035 en la Tabla 3-1.

Tabla 3-1: Proyección poblacional período 2025-2035 en la cuenca de San Pedro de Atacama.

Año	Proyección de Habitantes	Tasa Crecimiento Interanual (%)
2025	13.325	0,7
2026	13.424	0,7
2027	13.513	0,6
2028	13.597	0,6
2029	13.673	0,5
2030	13.742	0,5
2031	13.809	0,4
2032	13.868	0,4
2033	13.921	0,4
2034	13.970	0,3
2035	14.012	0,29

Fuente: CORFO-PUC (2021)

El crecimiento poblacional que se evidencia en el corto plazo (período 2025-2035), se explica tanto por el auge de la actividad minera, como de la actividad turística. Ambas contribuyen tanto a la formación de una población flotante, como a una migración permanente hacia la cuenca.

Para construir la proyección a largo plazo (período 2035-2065), y dado que las tasas registradas por el INE en la proyección al 2035 decrecen constantemente (i.e., el proceso de crecimiento histórico tiende a estabilizarse), se realizó un decrecimiento lineal a cero hasta el año 2065 (ver Tabla 3-2).

Tabla 3-2: Proyección poblacional período 2035-2065 en la cuenca de San Pedro de Atacama.

Año	Proyección de Habitantes	Tasa Crecimiento Interanual (%)
2035	14.012	0,29
2036	14.053	0,28
2037	14.092	0,27
2038	14.130	0,26
2039	14.167	0,25
2040	14.203	0,24
2041	14.237	0,23
2042	14.270	0,22
2043	14.302	0,21
2044	14.333	0,20
2045	14.362	0,19
2046	14.390	0,18
2047	14.416	0,17
2048	14.441	0,16
2049	14.465	0,15
2050	14.487	0,15
2051	14.508	0,14
2052	14.528	0,13
2053	14.546	0,12
2054	14.563	0,11
2055	14.579	0,10
2056	14.593	0,09
2057	14.606	0,08
2058	14.617	0,07
2059	14.627	0,06
2060	14.635	0,05
2061	14.642	0,04
2062	14.648	0,03
2063	14.652	0,02
2064	14.655	0,01
2065	14.657	0,00

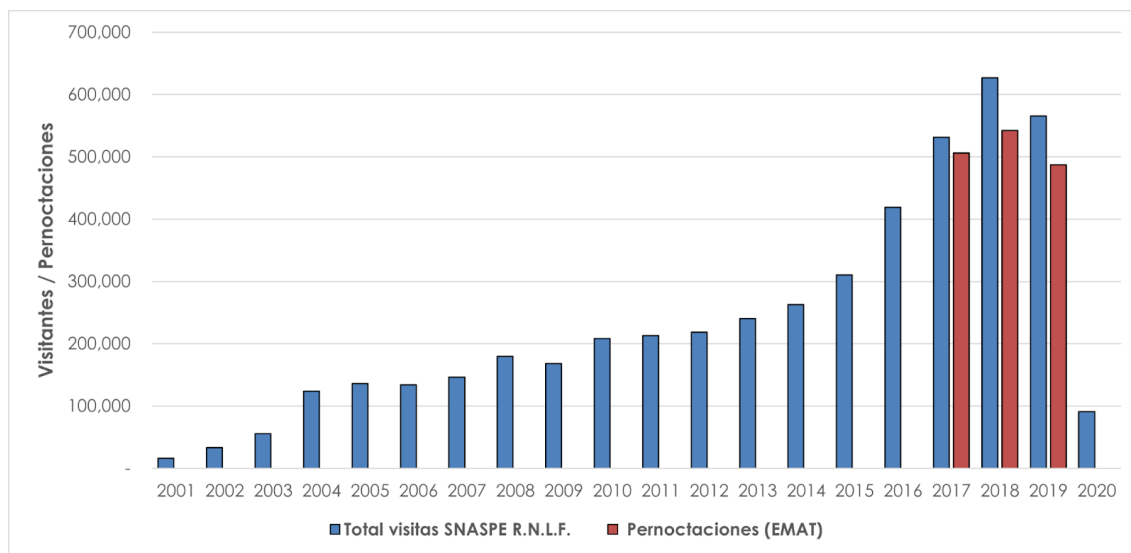
Fuente: CORFO-PUC (2021)

3.1.2 Proyecciones de actividad turística

La caracterización de la demanda de agua potable asociada a la actividad turística (i.e., el consumo de agua asociado a los turistas equivalentes que llegan mensualmente a recorrer los hitos turísticos de la cuenca) se estructuró sobre dos períodos temporales: (1) período histórico (1980-2020), y (2) período futuro (2021-2065).

3.1.2.1 Período 1980 - 2020

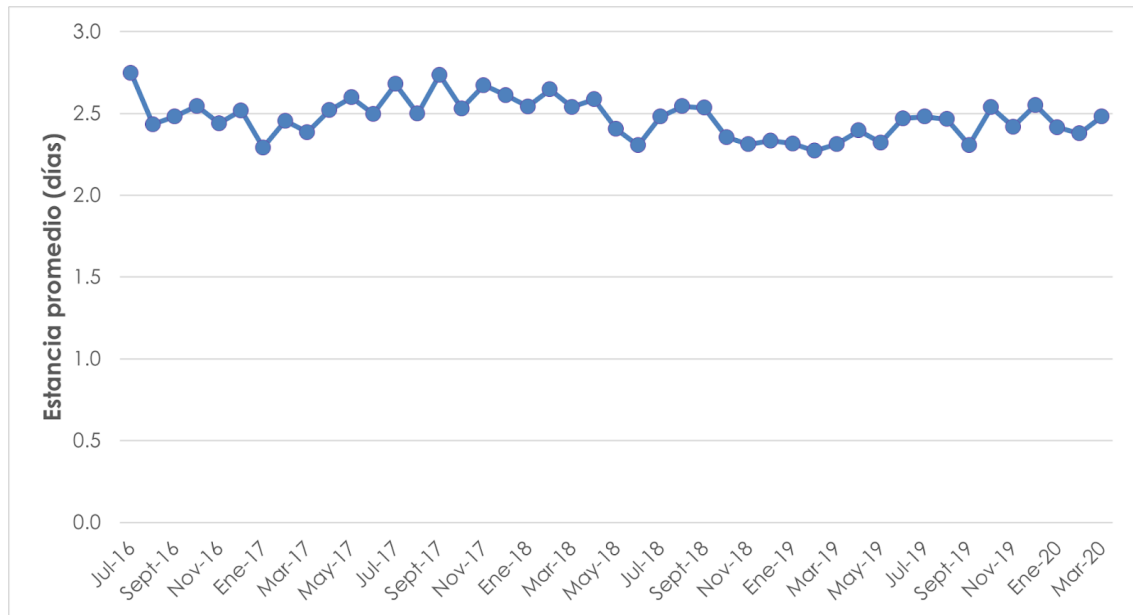
En la Figura 3-1 se muestran las estadísticas de visitantes al SNASPE Reserva Nacional los Flamencos ubicada en la cuenca del Salar de Atacama (CONAF, varios años), así como el total de pernoctaciones a San Pedro de Atacama (en base a datos de la Encuesta Mensual de Alojamiento Turístico realizada por el INE). De modo de poder caracterizar la actividad turística histórica en la cuenca para el periodo de 1980 al 2020, se realizó el supuesto de que es posible aproximar la cantidad de visitantes a la cuenca mediante los datos históricos de visitas a la Reserva Nacional los Flamencos. Tal y como se observa en la Figura 3-1, aunque el nivel registrado anual durante los años 2017, 2018 y 2019 no es exactamente igual, los datos de CONAF sí logran capturar la tendencia.



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

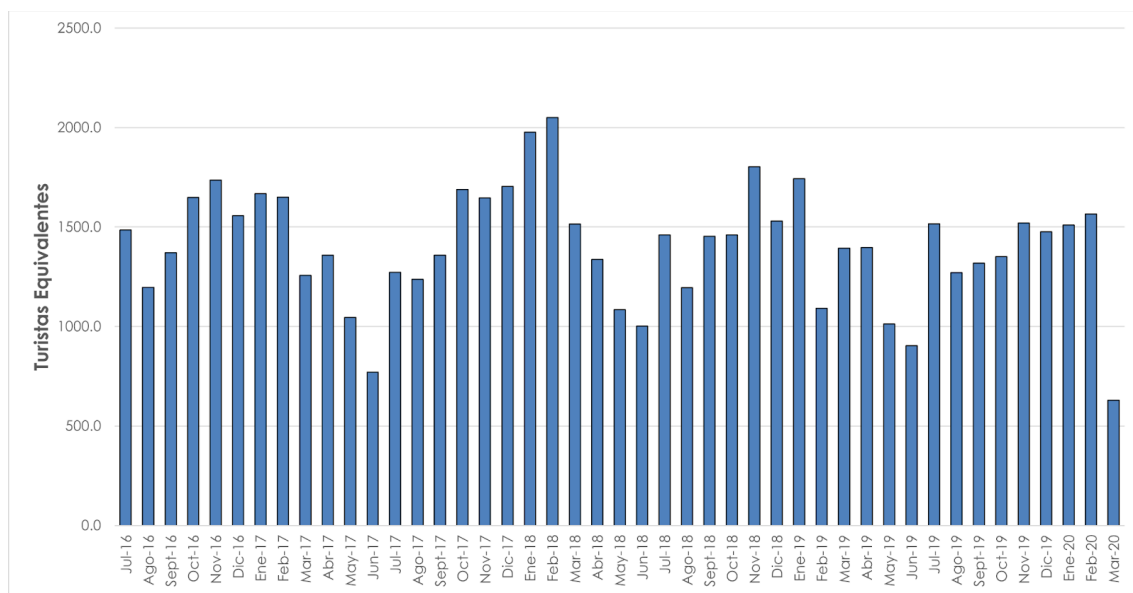
Figura 3-1: Estadísticas de visitantes a SNASPE Reserva Nacional los Flamencos, y total de pernoctaciones al destino turístico San Pedro de Atacama.

Para ingresar el consumo de agua asociado a la actividad turística al modelo de simulación integrado, es necesario obtener un valor de actividad, medido como "personas (i.e., turistas) equivalentes", el cual es luego transformado a demanda de agua mediante un valor único de dotación de agua potable. Para obtener este valor de actividad, se hace uso de la estancia media registrada por el INE en la EMAT (ver Figura 3-2), lo cual entrega los valores de turistas equivalentes a escala mensual que se presentan en la Figura 3-3 para el período cubierto por esta encuesta.



Fuente: INE (varios años)

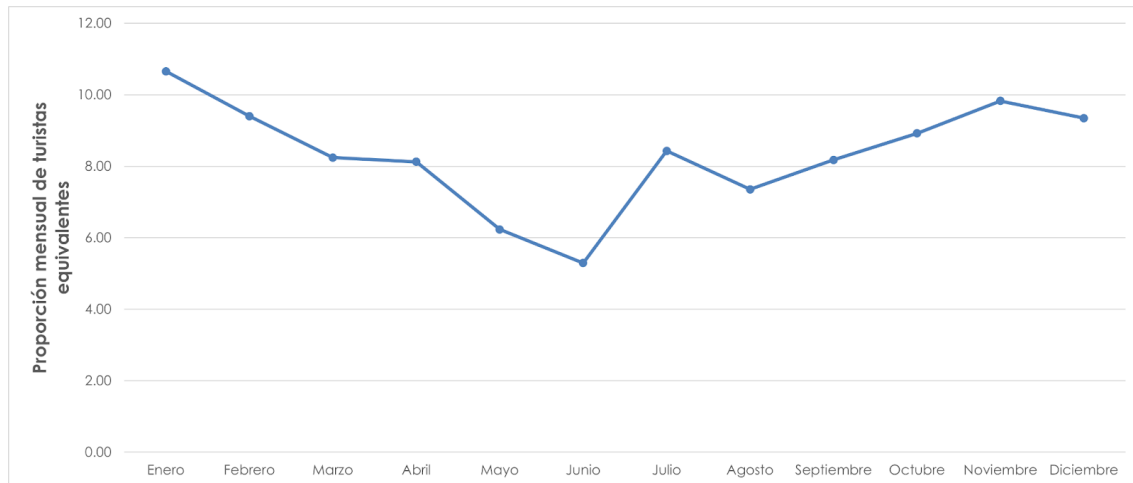
Figura 3-2: Estancia media de pasajeros a escala mensual.



Fuente: INE (varios años)

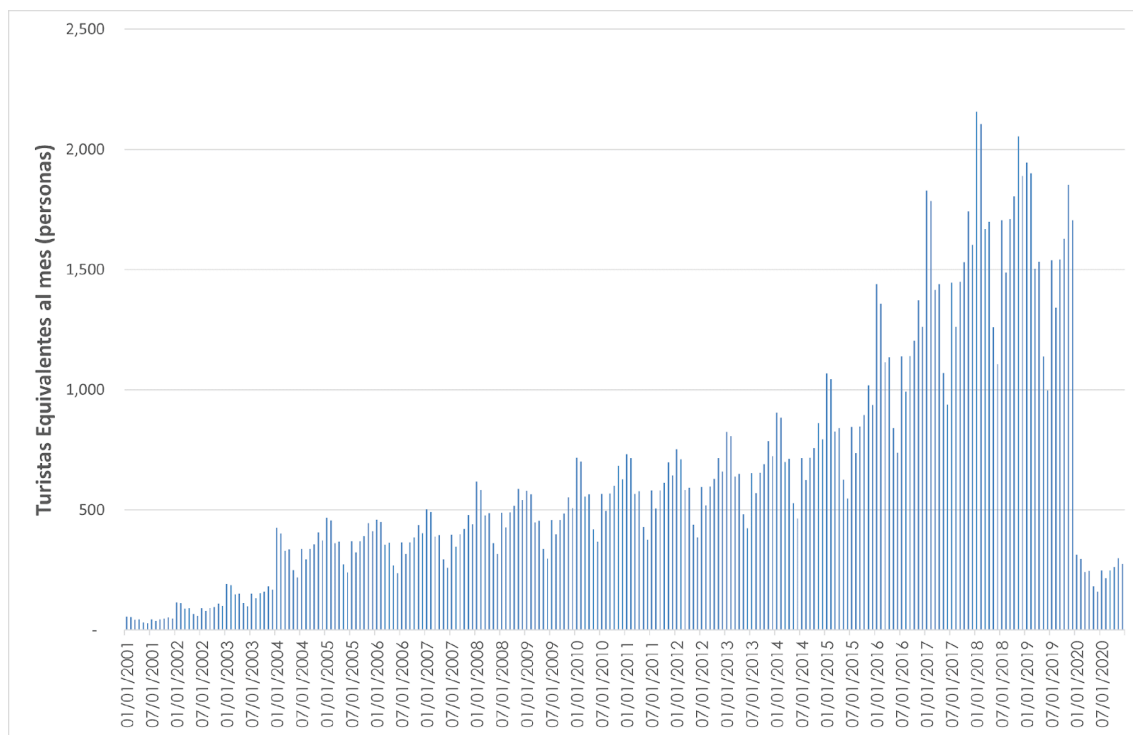
Figura 3-3: Turistas equivalentes por mes que visitan San Pedro de Atacama.

Para obtener los turistas equivalentes en el periodo anterior a los datos registrados por la EMAT se sigue una lógica similar. Los datos aproximados de pernoctaciones en la cuenca (mediante los datos de visitas a la Reserva Nacional Los Flamencos) se llevan a una escala mensual haciendo uso de la serie presentada en la Figura 3-4, la cual promedia las proporciones de turistas equivalentes obtenidos con los datos de EMAT (años 2017, 2018 y 2019).



Fuente: INE (varios años)

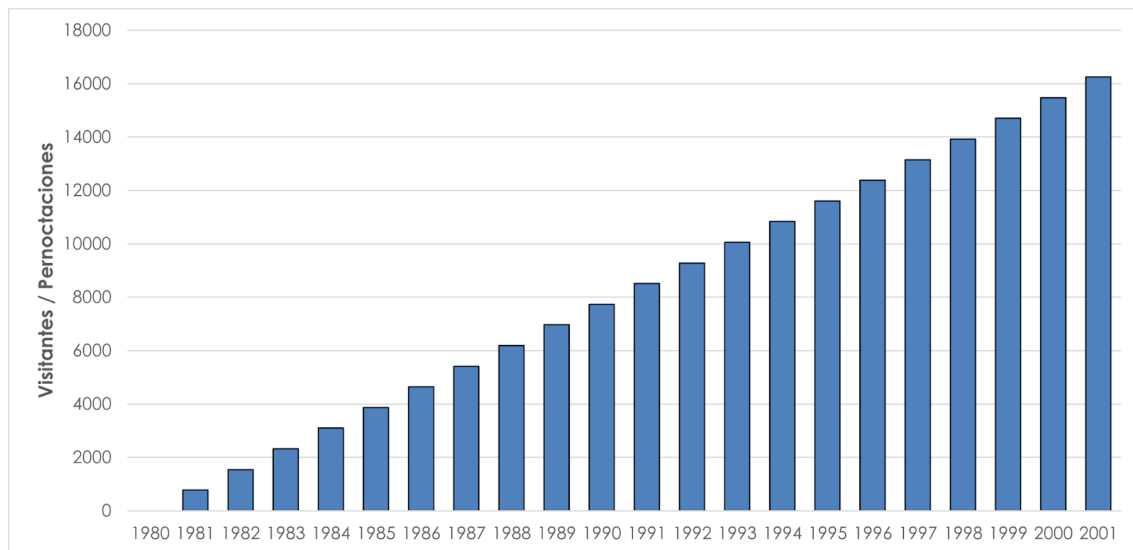
Figura 3-4: Serie mensual con el promedio de las proporciones de turistas equivalentes.



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

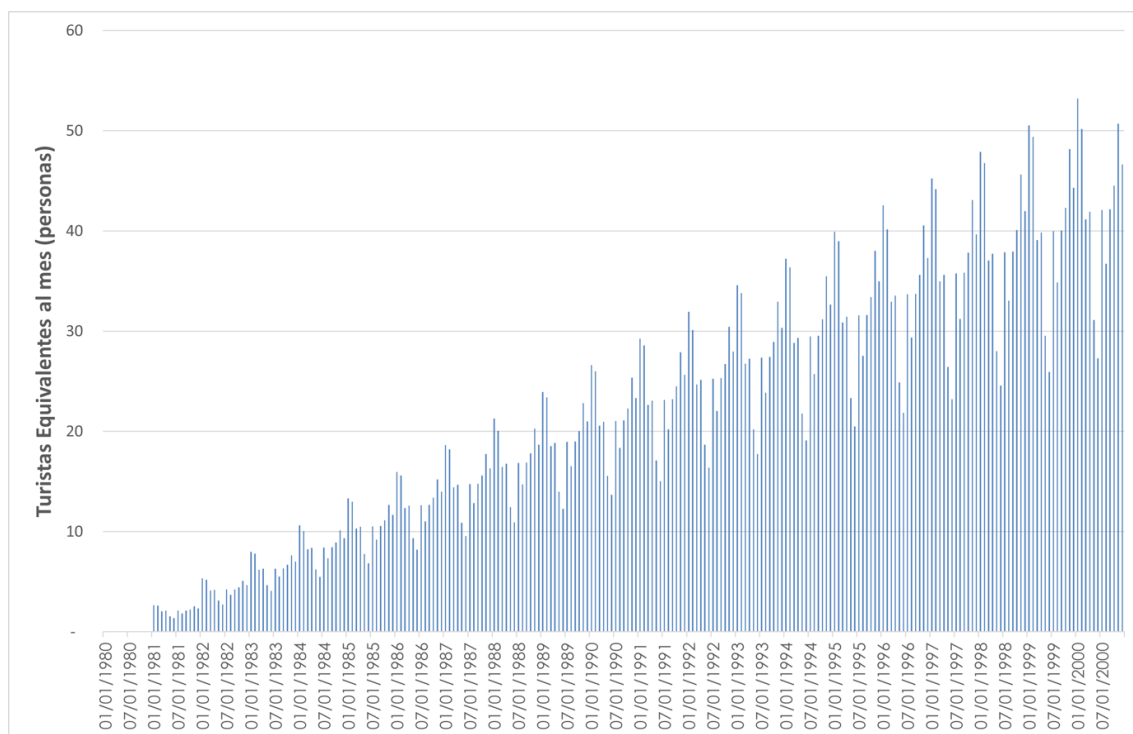
Figura 3-5: Turistas equivalentes por mes que visitan la cuenca de San Pedro de Atacama en el periodo 2001-2020.

Dado que no se cuenta con datos previos al año 2001, se hace decrecer linealmente el turismo registrado en ese año hasta el año 1980 (ver Figura 3-6). Luego, usando la misma serie mensual promedio presentada en la Figura 3-4, se obtienen los turistas equivalentes que visitan la cuenca del Salar de Atacama en el período 1980-2001 (ver Figura 3-7).



Fuente: CONAF (varios años)

Figura 3-6: Decrecimiento lineal de las estadísticas de visitantes a SNASPE Reserva Nacional los Flamencos para el período 1980-2001.



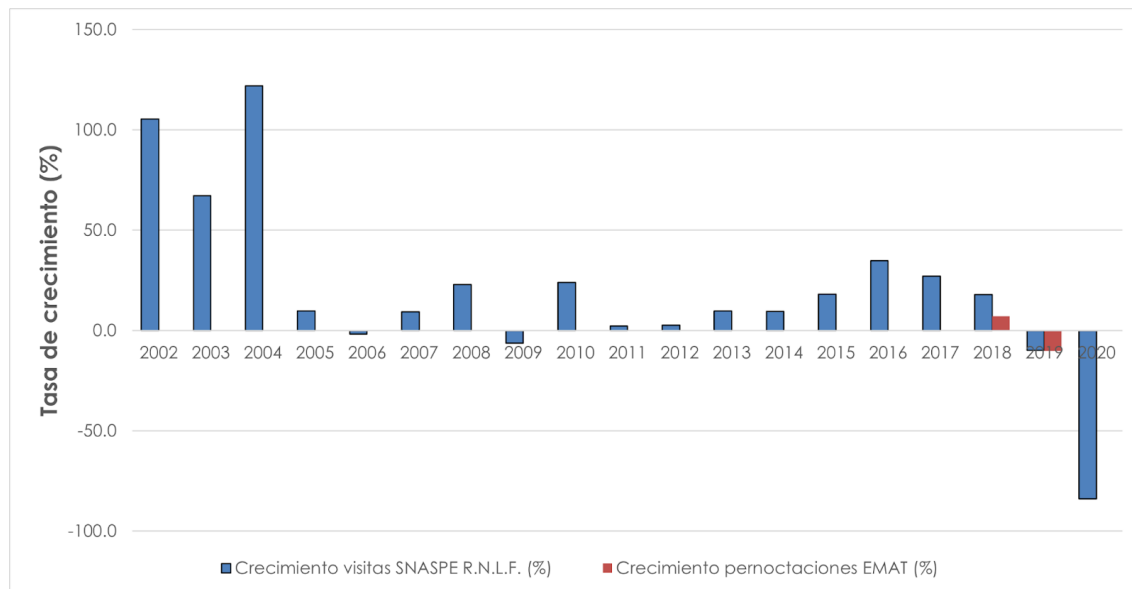
Fuente: INE (varios años) y CONAF (varios años)

Figura 3-7: Extensión turistas equivalentes por mes que visitan la cuenca del Salar de Atacama en el periodo 1980-2001.

3.1.2.2 Período 2021 - 2065

Para poder calcular el consumo de agua asociado al sector turismo en el período 2021-2065, es necesario proyectar los turistas equivalentes por mes que visitan la cuenca. Para lograr esto, se consideró la misma distribución mensual de los turistas presentada en la

Figura 3-4 para el período histórico. Por otro lado, los datos disponibles muestran las tendencias de crecimiento en visitas y pernoctaciones (ver Figura 3-8).

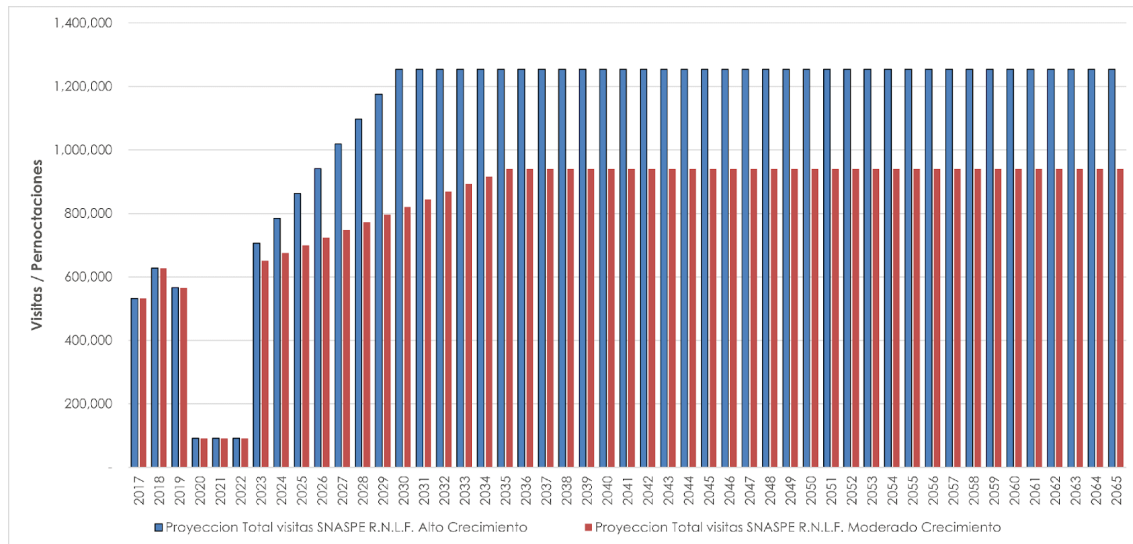


Fuente: INE (varios años) y CONAF (varios años)

Figura 3-8: Tasas de crecimiento históricas registradas en las visitas al SNASPE Reserva Nacional Los Flamencos y en las pernoctaciones a San Pedro de Atacama.

Se desprende de la Figura 3-8 que el destino turístico de San Pedro de Atacama, en el periodo más reciente y pre-covid (i.e., entre 2016 y 2018), ha tendido a estabilizarse en cuanto al crecimiento en la cantidad de turistas, pasando de una tasa de crecimiento de 34.8% (2016), a 27% (2017), y 17.9% (2018) respectivamente. De modo de poder reconocer el impacto de la pandemia en el corto plazo (i.e., 2021-2022), se decidió replicar el valor de turistas equivalentes obtenidos para el año 2020, hacia dicho período. En cuanto al resto de la serie temporal (i.e., 2023-2065), dada la falta de tasas de proyección para el turismo a escala comuna, cuenca, o región, se optó por generar dos parámetros que permiten calibrar dos distintivos escenarios. El primer parámetro corresponde a la "capacidad de carga" de San Pedro de Atacama, y hace referencia a la cantidad máxima de turistas equivalentes que puede recibir este destino turístico durante un año (i.e., a saturación). El segundo parámetro corresponde a la fecha en que se alcanza dicha capacidad de carga dentro del horizonte proyectado de simulación (2022-2065).

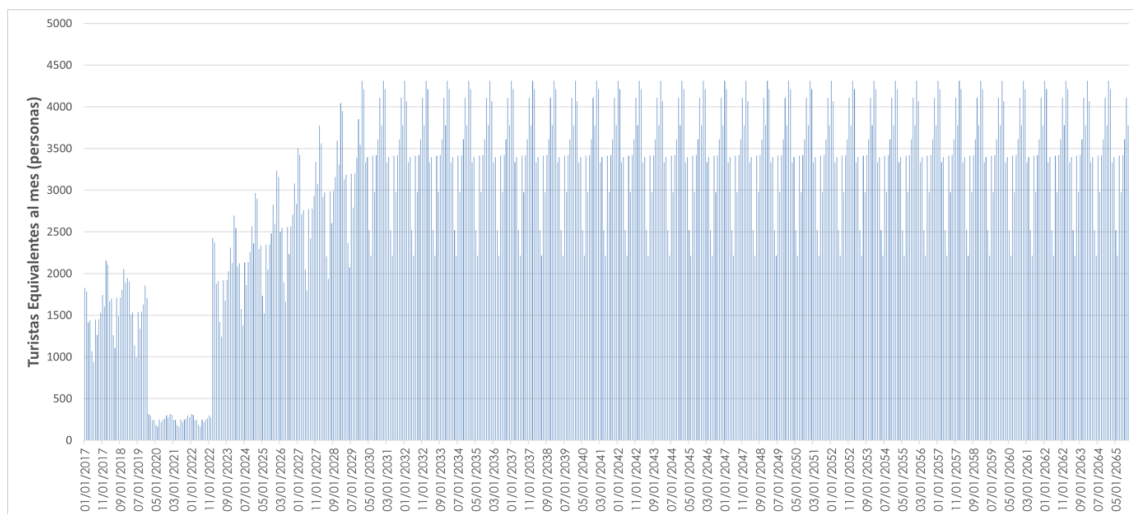
Los escenarios que se desarrollan en base a los parámetros antes presentados buscan representar dos narrativas esperadas para el turismo en la zona: (1) crecimiento alto, y (2) crecimiento moderado. En el primer escenario, se consideró que la capacidad de carga de la cuenca corresponde al doble de las visitas durante el 2018 (i.e., 1.254.308 visitas), año en el cual se registró el mayor valor histórico, y se considera que se alcanza dicho valor el año 2030 (ver serie en azul en la Figura 3-9). En el segundo escenario, se consideró que la capacidad de carga corresponde a 1,5 veces el valor registrado el año 2018 (i.e., 940.731 visitas), y que se alcanza dicho valor el año 2035 (ver serie en rojo en la Figura 3-9).



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

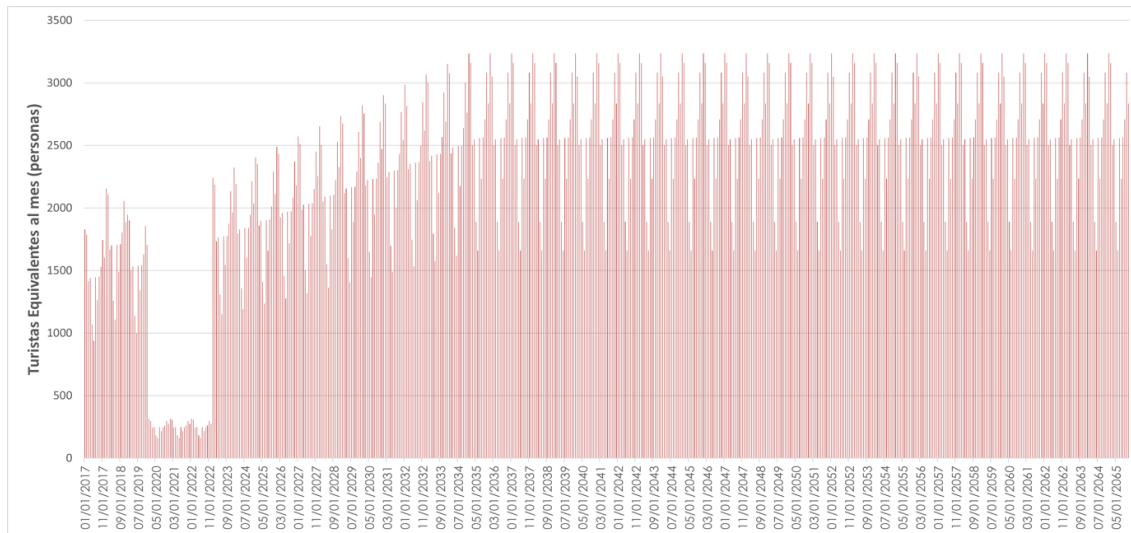
Figura 3-9: Proyección visitas a la cuenca de San Pedro de Atacama en el periodo 2020-2065, escenario alto (azul) y moderado (rojo) crecimiento.

Como se mencionaba previamente, para ambas proyecciones se consideró la misma distribución mensual utilizada para el periodo histórico (i.e., se asume que no habrá mayor variabilidad mensual a futuro), lo cual resulta en las proyecciones mostradas en la Figura 3-10 (escenario alto crecimiento) y Figura 3-11 (escenario moderado crecimiento).



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

Figura 3-10: 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 3-11: Proyección turistas equivalentes por mes que visitan la cuenca del Salar de Atacama en el periodo 2020-2065, escenario moderado crecimiento.

3.1.3 CÁLCULO DE LA DOTACIÓN

El consumo de agua para uso humano 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, la población residente en el pueblo de San Pedro de Atacama, información obtenida de los resultados (microdatos) del censo (INE, 2017), alcanza los 7.664 habitantes para el año 2017. El resto de la población residente en la comuna se distribuye en torno a las localidades rurales (ver Tabla 3-3).

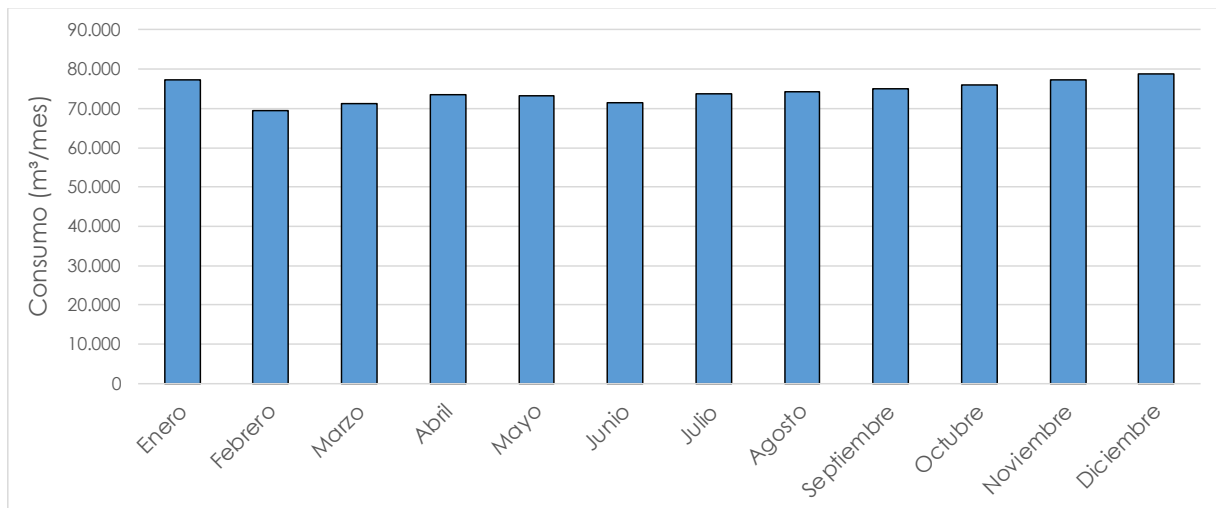
Tabla 3-3: Número de habitantes por localidad en la cuenca del Salar de Atacama.

Localidad	Población (Habitantes)
Pueblo de San Pedro de Atacama	7.664
Socaire	408
Camar	83
Catarpe	-
Río Grande	27
Coyo	152
Vilama	7
Peine	1.475
Talabre	55
Toconao	742
ALMA	145

Localidad	Población (Habitantes)
Total	10.996

Fuente: Elaboración propia en base a INE (2017)

En cuanto al segundo componente (turistas equivalentes), se consideró para el cálculo de la dotación la población turista calculada para el año 2019, y se asume que dicha población flotante consume agua potable desde el pueblo de San Pedro de Atacama. Para obtener el valor de dotación, ambos valores de población (residentes y turistas) se combinan con el consumo de agua potable registrado en el sistema de Agua Potable Rural de San Pedro de Atacama (CAPRA) durante el año 2019 (ver Figura 3-12).



Elaboración propia en base a datos proporcionados por CAPRA

Figura 3-12: Consumo mensual promedio de agua potable en San Pedro de Atacama para el año 2019.

Tabla 3-4: Valores promedio mensual de producción de la planta de ósmosis inversa y el consumo de agua potable durante el año 2019.

Mes	Caudal promedio mensual	
	(l/s)	(m³/mes)
Enero	28,85	77.282
Febrero	25,95	62.787
Marzo	26,61	71.284
Abril	27,48	71.227
Mayo	27,37	73.318
Junio	26,67	69.141
Julio	27,52	73.716

Mes	Caudal promedio mensual	
	(l/s)	(m ³ /mes)
Agosto	27,69	74.176
Septiembre	27,97	72.487
Octubre	28,34	75.902
Noviembre	28,90	74.907
Diciembre	29,44	78.865
Promedio	27,73	72.924

Fuente: Información de producción del año 2019 proporcionada por CAPRA para este estudio

Así, se obtiene un valor de dotación de 94 l/hab/día. Dicho valor se consideró constante en todo el periodo de simulación, variando por tanto solamente el número de residentes o turistas equivalentes en la cuenca de acuerdo con lo antes presentado.

3.2 CARACTERIZACIÓN DE LA DEMANDA PARA USO AGRÍCOLA

3.2.1 Actualizaciones de consideraciones base de la demanda agrícola

A continuación, se detalla la información base actualizada en la modelación, como el tipo de cultivos presentes en la comunidad, la superficie que abarcan estos, métodos y frecuencia de riego.

3.2.1.1 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 locales¹ se indica en la Tabla 3-5. De acuerdo a lo actualizado por cada actor local esta distribución porcentual varía según la localidad (Tabla 3-6).

Tabla 3-5: Distribución porcentual de cultivos agrícolas presentes en la comuna de San Pedro de Atacama.

Categoría	Consideración previa		Actualización con actores locales	
	Superficie Comuna San Pedro (ha)	Porcentaje %	Superficie Comuna San Pedro (ha)	Porcentaje %
Plantas forrajeras	750,7	72,0	738,4	67,3
Huertas y Hortalizas ¹	199,8	19,2	208,7	19
Cereales Verano ²	33,3	3,2	2,9	0,3

¹ 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.

Categoría	Consideración previa		Actualización con actores locales	
	Superficie Comuna San Pedro (ha)	Porcentaje %	Superficie Comuna San Pedro (ha)	Porcentaje %
Cereales Invierno ³	17,8	1,7	5,4	0,5
Frutales ⁴	36,6	3,5	134,9	12,3
Cítricos ⁵	3,9	0,4	6,9	0,6
Total	1.042,1	100	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.

Tabla 3-6 Detalle de superficie y distribución de cultivos según sector/regante.

Sector/Regantes	Superficie total (Ha)	Distribución de cultivos por sector/regantes (%)	
Asoc. Atacameña de Reg. Y Agr. de San Pedro de Atacama y Otros.	647	Plantas Forrajeras	73,5
		Huertas y Hortalizas	18,0
		Cereales Invierno	0,3
		Frutales	8,2
Asoc. Atacameña de Reg. Y Agr. del río Vilama	77	Plantas Forrajeras	65,0
		Huertas y Hortalizas	32,5
		Cereales Verano	1,2
		Cereales Invierno	1,3
Asoc. Atacameña de Reg. Y Agr. de Celeste	2,9	Plantas Forrajeras	5
		Huertas y Hortalizas	10
		Cereales Verano	5
		Frutales	80
Asoc. Atacameña de Reg. Y Agr. de Toconao	53	Frutales	90
		Cítricos	10
Comunidad Atacameña de Socaire	54,2	Plantas Forrajeras	72,0
		Huertas y Hortalizas	19,2
		Cereales Verano	3,2
		Cereales Invierno	1,7
		Frutales	3,5
		Cítricos	0,4
Comunidad Atacameña de Camar	5,1	Plantas Forrajeras	72,0
		Huertas y Hortalizas	19,2
		Cereales Verano	3,2
		Cereales Invierno	1,7
		Frutales	3,5
		Cítricos	0,4
Comunidad Atacameña de Talabre	35,1	Plantas Forrajeras	80
		Huertas y Hortalizas	10
		Frutales	10
Comunidad Atacameña de Peine (incluye Tilopozo)	52,55	Plantas Forrajeras	50
		Huertas y Hortalizas	50

Sector/Regantes	Superficie total (Ha)	Distribución de cultivos por sector/regantes (%)	
		Otros	171,2
		Huertas y Hortalizas	15,4
		Cereales Invierno	0,8
		Frutales	15,4
		Cítricos	0,8
Total considerado	1.097,3	--	--

Fuente: CORFO-PUC, (2021) a partir de INE, 2007 y actores locales.

3.2.1.2 Métodos de riego

De acuerdo a lo conversado con actores locales, el principal método de riego corresponde al riego por tendido. Un segundo método presente dentro de la cuenca corresponde al riego por aspersión y en menor porcentaje a riego por goteo. En la Tabla 3-7 se detalla la superficie con el sistema de riego presente en la cuenca. En la Tabla 3-8 se detalla el sistema de riego utilizado por grupo de cultivo considerado en el modelo.

Tabla 3-7 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.

Tabla 3-8 Detalle método de riego según cultivo

Método de riego	Superficie (ha)
<i>Tendido</i>	
Plantas Forrajeras	713,8
Huertas y Hortalizas	204,9
Cereales Verano	5,4
Cereales Invierno	2,9
Frutales	132,6
Cítricos	6,9
<i>Aspersión</i>	
Plantas Forrajeras	24,6
<i>Goteo</i>	
Huertas y Hortalizas	0,3
Frutales	2,3

Nota: Riego por aspersión se encuentra presente en la Comunidad Atacameña de Talabre y el riego por goteo en la Asoc. Atacameña de Reg. Y Agr. de Celeste.

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

En cuanto a la frecuencia de riego, esta depende de sector o grupo de regantes. En la Tabla 3-9 se indica en detalle la frecuencia de riego en los primeros días del año para diferentes regantes presentes en la cuenca.

Tocon	Sector / Regant							Turno
	7	6	5	4	3	2	Ayllu/Sector	
Zapar	Cond7	Cucuter	Solor	Coyo, Scauter	Cond3, Laracho, Sabor	Checar, Yayo, Cond2		
X							1-Jan	
							2-Jan	
						X	3-Jan	
						X	4-Jan	
						X	5-Jan	
					X		6-Jan	
					X		7-Jan	
					X		8-Jan	
					X		9-Jan	
			X				10-Jan	
			X				11-Jan	
							12-Jan	
		X					13-Jan	
		X					14-Jan	
		X					15-Jan	
	X						16-Jan	
							17-Jan	
							18-Jan	
X							19-Jan	
							20-Jan	
						X	21-Jan	
						X	22-Jan	
						X	23-Jan	
					X		24-Jan	
					X		25-Jan	
					X		26-Jan	
					X		27-Jan	
			X				28-Jan	
			X				29-Jan	
				X			30-Jan	
					X		31-Jan	

Talabre	Camar	Socaire	Regantes de Celeste		Sector / Regant	
			Goteo	Tendido	3	2
						Turno
						Ayllu/Sector
Tendido					Sector	1-Jan
x	x	x	x	x	Bosque	2-Jan
			x		Miño	3-Jan
			x			4-Jan
			x			5-Jan
			x			6-Jan
			x	x		7-Jan
x			x			8-Jan
			x			9-Jan
			x	x		10-Jan
			x			11-Jan
			x			12-Jan
			x	x		13-Jan
			x			14-Jan
x			x			15-Jan
			x	x		16-Jan
			x			17-Jan
			x			18-Jan
			x	x		19-Jan
			x			20-Jan
			x			21-Jan
x			x	x		22-Jan
			x			23-Jan
			x			24-Jan
			x	x		25-Jan
	x	x	x			26-Jan
			x			27-Jan
			x	x		28-Jan
x			x			29-Jan
			x			30-Jan
			x	x		31-Jan

Sector / Regant	Turno	Ayllu / Sector	1-Jan	2-Jan	3-Jan	4-Jan	5-Jan	6-Jan	7-Jan	8-Jan	9-Jan	10-Jan	11-Jan	12-Jan	13-Jan	14-Jan	15-Jan	16-Jan	17-Jan	18-Jan	19-Jan	20-Jan	21-Jan	22-Jan	23-Jan	24-Jan	25-Jan	26-Jan	27-Jan	28-Jan	29-Jan	30-Jan	31-Jan
		Aspersión	x		x		x		x		x		x		x		x		x		x		x		x		x		x		x		x

Nota: Acá se presenta a modo de ejemplo los primeros días del año. Esta frecuencia por Ayllu/sector se mantiene hasta completar los 365 días, salvo que el cultivo no requiera riego. El nombre Cond2, Cond3 y Cond7 hacen referencia a los turnos de riego del Ayllu Condeduque.

Fuente: CNR 2021a, CNR 2021b y actores locales.

3.2.2 Proyecciones de aumento de superficie agrícola

A partir de los estudios de CNR para San Pedro y Vilama, se determinó un crecimiento de la superficie agrícola a partir de la diferencia entre la superficie regada y la superficie potencialmente regada.

Para el caso de San Pedro, indican que podría crecer en un 2% para alcanzar la superficie potencial regada. En el caso de Vilama, este crecimiento potencial es mayor, por lo que se vería limitado por la cantidad de agua disponible para su riego.

Teniendo esto en cuenta para los escenarios de alta demanda, la proyección de aumento de la superficie cultivada se definió en un crecimiento lineal en el periodo 2025-2035. Siendo este crecimiento para San Pedro de un 2%, para Vilama de un 30% y las demás localidades agrícolas de un 15%.

3.2.3 Demanda del sector agrícola

A continuación, en la Tabla 3-10 se presenta la tabla completa de demanda agrícola representada a través de la evapotranspiración potencial del cultivo.

Tabla 3-10: 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>Checar</i>												
Huertas y Hortalizas	5,4	0,5	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	2,4	6,4	9,3	9,8	9,7
Plantas Forrajeras	9,1	8,4	7,6	7,2	6,1	5,7	6,0	7,4	8,5	9,3	9,7	9,7
<i>Condeduque</i>												
Frutales	9,26	8,43	7,68	7,11	1,26	0,03	0,02	0,02	6,15	8,83	9,79	9,80
Huertas y Hortalizas	5,15	0,47	0,21	0,02	0,02	0,03	0,02	2,14	6,18	8,83	9,76	9,61
Plantas Forrajeras	8,97	8,32	7,56	7,22	6,09	5,66	6,00	7,37	8,50	9,28	9,70	9,60
<i>Coyo</i>												
Frutales	9,31	8,52	7,75	7,37	0,39	0,03	0,02	0,02	6,89	8,52	9,99	9,92
Huertas y Hortalizas	4,96	0,47	0,22	0,02	0,02	0,03	0,02	2,15	5,75	8,38	9,69	9,51
Plantas Forrajeras	8,95	8,34	7,59	7,22	6,09	5,66	6,00	7,38	8,51	9,33	9,72	9,66
<i>Cucuter</i>												
Cereales Invierno	7,70	0,49	0,19	0,02	0,02	0,03	4,77	7,02	8,15	9,22	9,77	9,67
Frutales	9,37	8,53	7,75	7,38	0,59	0,03	0,02	0,02	7,37	9,07	10,05	9,94
Huertas y Hortalizas	5,40	0,47	0,21	0,02	0,02	0,03	0,02	3,25	6,51	8,87	9,80	9,67
Plantas Forrajeras	9,08	8,36	7,59	7,22	6,09	5,66	6,00	7,38	8,51	9,33	9,75	9,67
<i>Larache</i>												
Frutales	9,38	8,53	7,75	7,39	2,50	0,03	0,02	0,02	6,54	9,34	10,05	9,94
Huertas y Hortalizas	5,57	0,49	0,19	0,02	0,02	0,03	0,02	1,97	7,69	9,11	9,85	9,75
Plantas Forrajeras	9,14	8,36	7,59	7,22	6,09	5,66	6,00	7,38	8,51	9,33	9,75	9,67
<i>Sequiton</i>												
Cereales Invierno	7,32	0,54	0,21	0,02	0,02	0,03	4,55	5,99	7,60	8,65	9,49	9,39
Frutales	9,31	8,52	7,75	7,37	0,39	0,03	0,02	0,02	6,89	8,52	9,99	9,92
Huertas y Hortalizas	4,99	0,47	0,21	0,02	0,02	0,03	0,02	2,51	6,24	8,76	9,74	9,59
Plantas Forrajeras	8,95	8,34	7,59	7,22	6,09	5,66	6,00	7,38	8,51	9,33	9,72	9,66
<i>Solcor</i>												
Frutales	9,38	8,53	7,75	7,39	2,50	0,03	0,02	0,02	6,54	9,34	10,05	9,94
Huertas y Hortalizas	5,57	0,49	0,19	0,02	0,02	0,03	0,02	1,97	7,69	9,11	9,85	9,75
Plantas Forrajeras	9,14	8,36	7,59	7,22	6,09	5,66	6,00	7,38	8,51	9,33	9,75	9,67
<i>Solor</i>												
Cereales Invierno	6,69	0,54	0,24	0,02	0,02	0,03	3,75	5,02	6,51	7,94	9,18	9,07
Frutales	9,02	8,25	7,57	6,92	0,07	0,03	0,02	0,02	5,78	7,86	9,33	9,54
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
Huertas y Hortalizas	4,33	0,43	0,26	0,02	0,02	0,03	0,02	2,10	4,65	8,03	9,59	9,36

Sector/Regantes y grupo de cultivos	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
<i>Yaye</i>												
Frutales	9,38	8,53	7,75	7,39	1,25	0,03	0,02	0,02	6,20	9,38	10,02	9,94
Huertas y Hortalizas	5,37	0,49	0,19	0,02	0,02	0,03	0,02	2,43	6,35	9,29	9,84	9,72
Plantas Forrajeras	9,14	8,36	7,59	7,22	6,09	5,66	6,00	7,38	8,51	9,33	9,75	9,67
Asoc. Atacameña de Reg. Y Agr. Del río Vilama												
<i>Alambrado</i>												
Plantas Forrajeras	8,93	8,19	7,46	7,10	5,98	5,57	5,89	7,30	8,44	9,22	9,61	9,47
<i>Beter</i>												
Cereales Invierno	8,98	2,02	0,19	0,02	0,02	0,03	5,43	7,28	8,45	9,28	9,71	9,57
Huertas y Hortalizas	5,92	0,51	0,19	0,02	0,02	0,03	0,02	3,79	8,27	9,34	9,78	9,62
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
<i>Guatin</i>												
Cereales Verano	2,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,25	3,07	6,81	8,53	7,38
Huertas y Hortalizas	5,04	1,31	0,47	0,15	0,05	0,04	0,02	1,59	4,50	7,43	8,42	8,33
Plantas Forrajeras	6,97	6,47	5,99	5,64	4,52	4,18	4,64	5,76	6,64	7,32	7,72	7,64
<i>Poconche</i>												
Huertas y Hortalizas	4,60	0,49	0,22	0,02	0,02	0,03	0,02	2,46	5,90	8,58	9,66	9,45
Plantas Forrajeras	8,99	8,22	7,46	7,10	5,98	5,57	5,89	7,30	8,44	9,25	9,66	9,53
<i>Tulor</i>												
Huertas y Hortalizas	6,57	0,51	0,19	0,02	0,02	0,03	0,02	3,06	7,85	9,22	9,78	9,62
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
<i>Vilama</i>												
Huertas y Hortalizas	4,77	0,46	0,27	0,02	0,02	0,03	0,02	1,72	4,71	8,06	9,53	9,25
Plantas Forrajeras	8,93	8,19	7,46	7,10	5,98	5,57	5,89	7,30	8,44	9,22	9,61	9,47
Asoc. Atacameña de Reg. Y Agr. de Celeste												
Cereales Verano	5,28	0,27	0,18	0,07	0,03	0,02	0,02	2,82	6,58	9,22	10,71	10,12
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
Huertas y Hortalizas	3,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,55	3,79	8,14	9,99	9,67
Plantas Forrajeras	8,35	7,68	6,99	6,56	5,52	5,04	5,63	7,11	8,29	9,11	9,47	9,38
Asoc. Atacameña de Reg. Y Agr. de Toconao												
<i>Valle Jere</i>												
Cítricos	5,95	5,33	4,88	4,59	4,34	4,12	4,60	5,71	6,40	6,68	6,77	6,68
Frutales	9,03	8,30	7,57	6,87	0,20	0,02	0,02	0,01	5,91	7,59	9,10	9,70
<i>Bosque Viejo</i>												
Cítricos	5,42	4,83	4,61	4,30	3,81	3,80	4,03	4,91	5,60	6,24	6,40	6,06
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
<i>Sector Campo</i>												

Sector/Regantes y grupo de cultivos	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Cítricos	5,13	5,15	4,59	4,03	4,08	3,78	3,86	4,90	5,82	6,22	6,13	6,33
Frutales	8,90	8,13	7,42	6,12	0,06	0,01	0,01	0,00	5,27	6,71	8,84	9,72
Comunidad Atacameña de Socaire												
Cereales Invierno	6,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,91	3,61	5,25	7,32	9,88	9,90
Cereales Verano	4,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,40	3,59	8,38	11,31	9,90
Cítricos	5,01	4,73	4,47	4,00	3,88	3,53	3,88	4,81	5,90	6,64	7,14	6,97
Frutales	9,63	8,76	8,41	6,58	0,05	0,04	0,03	0,02	4,57	6,23	9,18	10,49
Huertas y Hortalizas	4,28	0,18	0,14	0,07	0,03	0,02	0,02	1,43	3,58	8,06	10,78	10,44
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												
Cereales Invierno	6,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,36	4,24	5,96	8,04	9,96	9,72
Cereales Verano	3,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,65	4,08	9,00	11,15	9,58
Cítricos	5,24	4,94	4,65	4,34	4,18	3,89	4,24	5,32	6,17	6,57	6,67	6,47
Frutales	9,25	8,54	8,09	6,67	0,07	0,02	0,02	0,01	5,33	6,94	9,35	10,08
Huertas y Hortalizas	4,26	0,15	0,11	0,05	0,03	0,01	0,01	1,75	4,17	8,71	10,67	10,26
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												
Frutales	8,15	7,62	7,21	6,59	0,61	0,03	0,05	0,01	5,44	6,50	8,40	8,91
Huertas y Hortalizas	4,51	0,51	0,22	0,10	0,06	0,03	0,03	1,66	4,04	7,75	9,35	9,10
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
Huertas y Hortalizas	3,92	0,09	0,06	0,00	0,01	0,01	0,00	1,39	3,54	7,54	9,47	9,23
<i>Tilopozo</i>												
Plantas Forrajeras	8,43	7,60	7,00	6,24	4,94	4,56	5,18	6,59	8,02	8,90	9,43	9,25
Huertas y Hortalizas	3,93	0,07	0,05	0,00	0,01	0,01	0,00	1,45	3,68	7,96	9,94	9,53

Fuente: Elaboración propia

3.2.3.1 Demanda proyectada para la agricultura

A continuación, en la Tabla 3-11 y Tabla 3-12 se presenta la tabla completa de demanda agrícola proyectada representada a través de la evapotranspiración potencial del cultivo para el escenario húmedo baja y seco alta, respectivamente.

Tabla 3-11: 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>Checar</i>												
Huertas y Hortalizas	5,5	0,4	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	6,7	9,5	10,0	9,9
Plantas Forrajeras	9,2	8,4	7,6	7,3	6,2	5,7	6,1	7,6	8,7	9,5	9,9	9,8
<i>Condeduque</i>												
Frutales	9,35	8,51	7,73	7,19	1,36	0,03	0,00	0,04	6,37	9,02	9,99	9,94
Huertas y Hortalizas	5,28	0,38	0,41	0,00	0,04	0,03	0,00	2,26	6,47	9,02	9,94	9,76
Plantas Forrajeras	9,08	8,39	7,61	7,27	6,20	5,72	6,12	7,59	8,65	9,44	9,88	9,74
<i>Coyo</i>												
Frutales	9,45	8,60	7,78	7,45	0,45	0,03	0,00	0,04	7,16	8,69	10,20	10,07
Huertas y Hortalizas	5,09	0,37	0,42	0,00	0,04	0,03	0,00	2,26	6,05	8,55	9,87	9,67
Plantas Forrajeras	9,10	8,43	7,62	7,27	6,20	5,72	6,12	7,59	8,66	9,47	9,91	9,79
<i>Cucuter</i>												
Cereales Invierno	7,93	0,39	0,40	0,00	0,04	0,03	4,96	7,36	8,37	9,46	9,96	9,84
Frutales	9,47	8,60	7,78	7,45	0,66	0,03	0,00	0,04	7,61	9,33	10,22	10,07
Huertas y Hortalizas	5,56	0,38	0,41	0,00	0,04	0,03	0,00	3,53	6,78	9,09	10,00	9,85
Plantas Forrajeras	9,21	8,43	7,62	7,27	6,20	5,72	6,12	7,59	8,66	9,47	9,91	9,80
<i>Larache</i>												
Frutales	9,47	8,60	7,78	7,45	2,67	0,03	0,00	0,04	6,78	9,53	10,22	10,07
Huertas y Hortalizas	5,73	0,39	0,40	0,00	0,04	0,03	0,00	2,05	8,10	9,29	10,03	9,90
Plantas Forrajeras	9,22	8,43	7,62	7,27	6,20	5,72	6,12	7,59	8,66	9,47	9,91	9,80
<i>Sequiton</i>												
Cereales Invierno	7,57	0,40	0,41	0,00	0,04	0,03	4,74	6,28	7,89	8,88	9,71	9,58
Frutales	9,45	8,60	7,78	7,45	0,45	0,03	0,00	0,04	7,16	8,69	10,20	10,07
Huertas y Hortalizas	5,12	0,37	0,41	0,00	0,04	0,03	0,00	2,67	6,56	8,98	9,93	9,76
Plantas Forrajeras	9,10	8,43	7,62	7,27	6,20	5,72	6,12	7,59	8,66	9,47	9,91	9,79

Sector/Regantes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
<i>Solcor</i>												
Frutales	9,47	8,60	7,78	7,45	2,67	0,03	0,00	0,04	6,78	9,53	10,22	10,07
Huertas y Hortalizas	5,73	0,39	0,40	0,00	0,04	0,03	0,00	2,05	8,10	9,29	10,03	9,90
Plantas Forrajeras	9,22	8,43	7,62	7,27	6,20	5,72	6,12	7,59	8,66	9,47	9,91	9,80
<i>Solor</i>												
Cereales Invierno	6,86	0,43	0,43	0,00	0,04	0,03	3,86	5,25	6,70	8,12	9,37	9,23
Frutales	9,14	8,35	7,64	7,05	0,08	0,03	0,00	0,04	5,96	8,05	9,58	9,72
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
Huertas y Hortalizas	4,41	0,36	0,43	0,01	0,04	0,03	0,00	2,22	4,81	8,18	9,76	9,50
<i>Yaye</i>												
Frutales	9,47	8,60	7,78	7,45	1,36	0,03	0,00	0,04	6,41	9,59	10,21	10,07
Huertas y Hortalizas	5,52	0,39	0,40	0,00	0,04	0,03	0,00	2,55	6,67	9,53	10,03	9,89
Plantas Forrajeras	9,22	8,43	7,62	7,27	6,20	5,72	6,12	7,59	8,66	9,47	9,91	9,80
Asoc. Atacameña de Reg. Y Agr. Del río Vilama												
<i>Alambrado</i>												
Plantas Forrajeras	8,99	8,23	7,45	7,12	6,04	5,56	5,95	7,43	8,49	9,29	9,73	9,57
<i>Beter</i>												
Cereales Invierno	9,03	2,24	0,41	0,00	0,04	0,04	5,49	7,41	8,49	9,33	9,79	9,63
Huertas y Hortalizas	6,10	0,40	0,41	0,00	0,04	0,04	0,00	3,92	8,46	9,39	9,86	9,69
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
<i>Guatin</i>												
Cereales Verano	2,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,23	2,96	6,60	8,33	7,23
Huertas y Hortalizas	5,11	1,47	0,66	0,19	0,07	0,05	0,04	1,60	4,63	7,42	8,27	8,20
Plantas Forrajeras	6,79	6,34	5,85	5,54	4,42	4,01	4,52	5,63	6,40	7,10	7,55	7,48
<i>Poconche</i>												
Huertas y Hortalizas	4,67	0,39	0,43	0,00	0,04	0,04	0,00	2,58	6,09	8,69	9,76	9,54
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

Sector/Regantes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
<i>Tulor</i>												
Huertas y Hortalizas	6,82	0,40	0,41	0,00	0,04	0,04	0,00	3,14	8,16	9,31	9,86	9,69
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
<i>Vilama</i>												
Huertas y Hortalizas	4,88	0,38	0,44	0,00	0,04	0,03	0,00	1,80	4,81	8,14	9,62	9,33
Plantas Forrajeras	8,99	8,23	7,45	7,12	6,04	5,56	5,95	7,43	8,49	9,29	9,73	9,57
Asoc. Atacameña de Reg. Y Agr. de Celeste												
Cereales Verano	5,40	0,33	0,25	0,07	0,04	0,04	0,02	2,87	6,70	9,40	10,99	10,25
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
Huertas y Hortalizas	3,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,62	3,94	8,33	10,26	9,82
Plantas Forrajeras	8,57	7,93	7,30	7,01	5,68	5,12	5,92	7,41	8,60	9,34	9,72	9,52
Asoc. Atacameña de Reg. Y Agr. de Toconao												
<i>Valle Jere</i>												
Cítricos	6,09	5,46	5,07	4,83	4,40	4,13	4,74	5,83	6,52	6,76	6,88	6,73
Frutales	9,19	8,48	7,84	7,26	0,16	0,03	0,02	0,03	6,07	7,70	9,24	9,76
<i>Bosque Viejo</i>												
Cítricos	5,49	4,94	4,76	4,50	3,86	3,82	4,15	5,03	5,71	6,30	6,47	6,09
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
<i>Sector Campo</i>												
Cítricos	5,21	5,25	4,73	4,23	4,13	3,79	3,98	5,02	5,93	6,28	6,21	6,36
Frutales	9,03	8,30	7,66	6,40	0,06	0,01	0,01	0,01	5,37	6,78	8,96	9,75
Comunidad Atacameña de Socaire												
Cereales Invierno	6,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,91	3,58	5,32	7,38	9,96	9,94
Cereales Verano	4,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	3,66	8,48	11,36	9,89
Cítricos	4,96	4,67	4,49	4,03	3,89	3,51	3,94	4,86	6,09	6,77	7,19	6,98
Frutales	9,50	8,68	8,39	6,63	0,07	0,05	0,04	0,02	4,67	6,32	9,22	10,48
Huertas y Hortalizas	4,27	0,18	0,18	0,10	0,04	0,03	0,03	1,44	3,67	8,16	10,83	10,43
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

Sector/Regantes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Comunidad Atacameña de Camar												
Cereales Invierno	6,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,39	4,21	6,05	8,11	10,14	9,72
Cereales Verano	3,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,64	4,14	9,06	11,35	9,58
Cítricos	5,31	4,96	4,74	4,40	4,21	3,92	4,27	5,30	6,27	6,61	6,78	6,44
Frutales	9,36	8,57	8,23	6,73	0,09	0,03	0,02	0,02	5,41	6,99	9,51	10,07
Huertas y Hortalizas	4,34	0,17	0,14	0,06	0,03	0,02	0,01	1,72	4,23	8,77	10,87	10,25
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												
Frutales	8,29	7,67	7,38	6,72	0,65	0,06	0,05	0,02	5,61	6,61	8,59	8,90
Huertas y Hortalizas	4,69	0,53	0,26	0,16	0,08	0,05	0,04	1,68	4,17	7,83	9,52	9,08
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
Huertas y Hortalizas	4,06	0,07	0,10	0,01	0,02	0,01	0,01	1,49	3,76	7,85	9,84	9,52
<i>Tilopozo</i>												
Plantas Forrajeras	4,15	3,85	3,61	3,33	2,84	2,70	3,14	3,75	4,35	4,68	4,82	4,67
Huertas y Hortalizas	1,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,82	2,00	4,18	5,09	4,82

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-12: 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>Checar</i>												
Huertas y Hortalizas	5,1	0,4	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	2,4	5,9	9,3	10,0	9,9
Plantas Forrajeras	9,3	8,5	7,7	7,3	6,2	5,7	6,2	7,7	8,7	9,6	10,0	9,9
<i>Condeduque</i>												
Frutales	9,39	8,53	7,76	7,14	0,99	0,04	0,01	0,01	6,02	8,80	9,91	10,01
Huertas y Hortalizas	4,96	0,40	0,21	0,01	0,02	0,04	0,01	2,13	5,79	8,86	9,95	9,79
Plantas Forrajeras	9,09	8,42	7,65	7,31	6,23	5,71	6,17	7,65	8,63	9,48	9,89	9,82
<i>Coyo</i>												
Frutales	9,39	8,61	7,83	7,34	0,25	0,04	0,01	0,01	6,62	8,53	10,06	10,09
Huertas y Hortalizas	4,81	0,40	0,22	0,01	0,02	0,04	0,01	2,07	5,45	8,45	9,87	9,70
Plantas Forrajeras	8,99	8,43	7,68	7,31	6,23	5,72	6,17	7,65	8,66	9,53	9,89	9,88
<i>Cucuter</i>												
Cereales Invierno	7,43	0,44	0,18	0,00	0,02	0,04	4,64	6,78	7,86	9,17	9,87	9,79
Frutales	9,52	8,66	7,85	7,41	0,40	0,04	0,01	0,01	7,17	8,93	10,25	10,17
Huertas y Hortalizas	5,17	0,42	0,19	0,01	0,02	0,04	0,01	2,97	6,10	8,84	9,96	9,84
Plantas Forrajeras	9,16	8,49	7,70	7,31	6,23	5,72	6,17	7,65	8,67	9,56	9,96	9,90
<i>Larache</i>												
Frutales	9,55	8,66	7,86	7,48	2,02	0,04	0,01	0,01	6,40	9,35	10,25	10,19
Huertas y Hortalizas	5,31	0,44	0,18	0,00	0,02	0,04	0,01	1,99	7,09	9,11	10,04	9,94
Plantas Forrajeras	9,28	8,49	7,70	7,31	6,23	5,72	6,17	7,65	8,67	9,57	9,97	9,92
<i>Sequiton</i>												
Cereales Invierno	7,13	0,47	0,19	0,01	0,02	0,04	4,39	5,78	7,34	8,60	9,59	9,51
Frutales	9,39	8,61	7,83	7,34	0,25	0,04	0,01	0,01	6,62	8,53	10,06	10,09
Huertas y Hortalizas	4,83	0,41	0,20	0,01	0,02	0,04	0,01	2,38	5,82	8,76	9,91	9,76
Plantas Forrajeras	8,99	8,43	7,68	7,31	6,23	5,72	6,17	7,65	8,66	9,53	9,89	9,88

Sector/Regantes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
<i>Solcor</i>												
Frutales	9,55	8,66	7,86	7,48	2,02	0,04	0,01	0,01	6,40	9,35	10,25	10,19
Huertas y Hortalizas	5,31	0,44	0,18	0,00	0,02	0,04	0,01	1,99	7,09	9,11	10,04	9,94
Plantas Forrajeras	9,28	8,49	7,70	7,31	6,23	5,72	6,17	7,65	8,67	9,57	9,97	9,92
<i>Solor</i>												
Cereales Invierno	6,61	0,43	0,25	0,02	0,02	0,04	3,72	4,98	6,41	7,99	9,34	9,25
Frutales	9,09	8,28	7,59	6,80	0,07	0,04	0,01	0,01	5,65	7,81	9,35	9,69
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
Huertas y Hortalizas	4,29	0,33	0,27	0,02	0,02	0,04	0,01	2,04	4,53	8,16	9,79	9,57
<i>Yaye</i>												
Frutales	9,56	8,66	7,86	7,46	0,93	0,04	0,01	0,01	6,05	9,36	10,18	10,17
Huertas y Hortalizas	5,14	0,44	0,18	0,00	0,02	0,04	0,01	2,41	5,87	9,28	10,01	9,87
Plantas Forrajeras	9,30	8,48	7,70	7,31	6,23	5,72	6,17	7,65	8,67	9,57	9,96	9,91
Asoc. Atacameña de Reg. Y Agr. Del río Vilama												
<i>Alambrado</i>												
Plantas Forrajeras	8,86	8,14	7,46	7,15	6,06	5,57	6,00	7,48	8,45	9,24	9,59	9,48
<i>Beter</i>												
Cereales Invierno	8,76	1,02	0,18	0,00	0,02	0,05	5,53	7,37	8,41	9,39	9,84	9,73
Huertas y Hortalizas	5,31	0,45	0,19	0,00	0,02	0,05	0,01	3,61	7,47	9,35	9,90	9,79
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
<i>Guatin</i>												
Cereales Verano	2,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,24	2,96	6,69	8,40	7,35
Huertas y Hortalizas	4,60	0,83	0,36	0,10	0,04	0,03	0,04	1,50	3,96	7,07	8,23	8,19
Plantas Forrajeras	6,87	6,39	5,91	5,58	4,45	4,02	4,57	5,70	6,42	7,20	7,61	7,60
<i>Poconche</i>												
Huertas y Hortalizas	4,37	0,41	0,22	0,01	0,02	0,05	0,01	2,22	5,27	8,42	9,72	9,51
Plantas Forrajeras	9,00	8,27	7,52	7,15	6,06	5,57	6,00	7,49	8,50	9,38	9,78	9,68

Sector/Regantes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
<i>Tulor</i>												
Huertas y Hortalizas	5,77	0,45	0,19	0,00	0,02	0,05	0,01	2,95	6,66	9,10	9,88	9,76
Plantas Forrajeras	9,10	8,30	7,52	7,15	6,06	5,57	6,00	7,49	8,50	9,39	9,80	9,71
<i>Vilama</i>												
Huertas y Hortalizas	4,49	0,34	0,29	0,02	0,02	0,05	0,01	1,70	4,40	8,05	9,62	9,37
Plantas Forrajeras	8,86	8,14	7,46	7,15	6,06	5,57	6,00	7,48	8,45	9,24	9,59	9,48
Asoc. Atacameña de Reg. Y Agr. de Celeste												
Cereales Verano	5,26	0,25	0,14	0,04	0,04	0,04	0,04	2,85	6,49	9,41	11,01	10,25
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
Huertas y Hortalizas	4,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,63	3,94	8,41	10,30	9,92
Plantas Forrajeras	8,66	7,99	7,36	7,04	5,70	5,13	5,97	7,48	8,60	9,42	9,76	9,61
Asoc. Atacameña de Reg. Y Agr. de Toconao												
<i>Valle Jere</i>												
Cítricos	5,87	5,30	4,90	4,68	4,34	4,11	4,77	5,87	6,44	6,66	6,73	6,61
Frutales	9,15	8,40	7,77	7,00	0,14	0,04	0,04	0,01	5,82	7,45	9,15	9,75
<i>Bosque Viejo</i>												
Cítricos	5,49	4,96	4,74	4,52	3,87	3,82	4,19	5,08	5,71	6,34	6,49	6,12
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
<i>Sector Campo</i>												
Cítricos	5,22	5,26	4,73	4,24	4,14	3,80	4,02	5,06	5,94	6,32	6,23	6,40
Frutales	9,09	8,32	7,70	6,42	0,06	0,01	0,01	0,00	5,38	6,82	8,99	9,84
Comunidad Atacameña de Socaire												
Cereales Invierno	6,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,96	3,66	5,35	7,50	9,94	9,96
Cereales Verano	4,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,43	3,66	8,59	11,39	9,97
Cítricos	4,94	4,66	4,48	3,98	3,88	3,52	3,99	4,92	6,07	6,86	7,20	7,02
Frutales	9,55	8,70	8,46	6,56	0,04	0,04	0,05	0,03	4,65	6,36	9,23	10,56
Huertas y Hortalizas	4,26	0,14	0,13	0,05	0,02	0,03	0,04	1,46	3,66	8,26	10,86	10,50
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

Sector/Regantes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Comunidad Atacameña de Camar												
Cereales Invierno	6,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,42	4,25	6,05	8,19	10,18	9,82
Cereales Verano	3,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,65	4,14	9,15	11,40	9,68
Cítricos	5,34	4,99	4,75	4,39	4,20	3,90	4,30	5,34	6,27	6,67	6,80	6,49
Frutales	9,43	8,62	8,29	6,72	0,08	0,02	0,04	0,03	5,41	7,02	9,54	10,16
Huertas y Hortalizas	4,34	0,16	0,09	0,03	0,01	0,02	0,02	1,74	4,23	8,85	10,91	10,34
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												
Frutales	8,20	7,54	7,27	6,38	0,48	0,09	0,08	0,04	5,20	6,42	8,49	8,88
Huertas y Hortalizas	4,33	0,41	0,20	0,07	0,04	0,04	0,05	1,61	3,96	7,81	9,52	9,07
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
Huertas y Hortalizas	4,00	0,08	0,04	0,00	0,02	0,01	0,02	1,48	3,74	7,92	9,88	9,59
<i>Tilopozo</i>												
Plantas Forrajeras	4,15	3,85	3,61	3,33	2,84	2,70	3,14	3,75	4,35	4,68	4,82	4,67
Huertas y Hortalizas	1,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,82	2,00	4,18	5,09	4,82

Fuente: Elaboración propia

3.3 CARACTERIZACIÓN DE LA DEMANDA PARA USO MINERO

3.3.1 Proyecciones de demanda para la minería

Tomando en cuenta los escenarios propuestos en CORFO-AMPHOS21 (2021b) se consideraron dos escenarios de extracción de agua industrial y salmuera para las empresas mineras. El primero corresponde a un escenario en base a las tendencias de demanda actuales, mientras que el segundo considera una extensión de la actividad minera.

En la Tabla 3-13 se muestran los caudales promedio anual considerados en cada escenario, para cada empresa, separado por extracciones netas de salmuera y agua industrial.

Tabla 3-13: Caudales medios anuales (l/s) de cada operador en los escenarios propuestos.

Empresa	Albemarle Salmuera	Albemarle Salmuera	Albemarle Industrial	Albemarle Industrial	SQM Salmuera	SQM Salmuera	SQM Industrial	SQM Industrial	CMZ Industrial	CMZ Industrial	Futuro Operador Salmuera	Futuro Operador Salmuera	Futuro Operador Industrial	Futuro Operador Industrial
Año\Escenario	E1	E2	E1	E2	E1	E2	E1	E2	E1	E2	E1	E2	E1	E2
2019	442,00	442,00	16,90	16,90	1258,00	1258,00	180,00	180,00	212,75	212,75	0,00	0,00	0,00	0,00
2020	442,00	442,00	16,90	16,90	1561,00	1561,00	144,00	144,00	212,75	212,75	0,00	0,00	0,00	0,00
2021	442,00	442,00	16,90	16,90	1280,00	1280,00	142,00	142,00	212,75	212,75	0,00	0,00	0,00	0,00
2022	442,00	442,00	16,90	16,90	1280,00	1280,00	139,00	139,00	212,75	212,75	0,00	0,00	0,00	0,00
2023	442,00	442,00	16,90	16,90	1223,00	1223,00	137,00	137,00	212,75	212,75	0,00	0,00	0,00	0,00
2024	442,00	442,00	16,90	16,90	1166,00	1166,00	134,00	134,00	212,75	212,75	0,00	0,00	0,00	0,00
2025	442,00	442,00	16,90	16,90	1108,00	1108,00	132,00	132,00	0,00	212,75	0,00	0,00	0,00	0,00
2026	442,00	442,00	16,90	16,90	1051,00	1051,00	130,00	130,00	0,00	212,75	0,00	0,00	0,00	0,00
2027	442,00	442,00	16,90	16,90	994,00	994,00	127,00	127,00	0,00	212,75	0,00	0,00	0,00	0,00
2028	442,00	442,00	16,90	16,90	937,00	937,00	125,00	125,00	0,00	212,75	0,00	0,00	0,00	0,00
2029	442,00	442,00	16,90	16,90	879,00	879,00	122,00	122,00	0,00	212,75	0,00	0,00	0,00	0,00
2030	442,00	442,00	16,90	16,90	822,00	822,00	120,00	120,00	0,00	30,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2031	442,00	442,00	16,90	16,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,00	0,00	822,00	0,00	120,00
2032	442,00	442,00	16,90	16,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	822,00	0,00	120,00
2033	442,00	442,00	16,90	16,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	822,00	0,00	120,00
2034	442,00	442,00	16,90	16,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	822,00	0,00	120,00
2035	442,00	442,00	16,90	16,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	822,00	0,00	120,00
2036	442,00	442,00	16,90	16,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	822,00	0,00	120,00
2037	442,00	442,00	16,90	16,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	822,00	0,00	120,00
2038	442,00	442,00	16,90	16,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	822,00	0,00	120,00
2039	442,00	442,00	16,90	16,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	822,00	0,00	120,00
2040	442,00	442,00	16,90	16,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	822,00	0,00	120,00
2041	442,00	442,00	16,90	16,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2042	442,00	442,00	16,90	16,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2043 a 2065	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fuente: Elaboración propia

3.4 CARACTERIZACIÓN DEL MERCADO DE AGUAS

En este acápite se detalla la metodología que se utilizó para realizar los análisis del mercado de aguas en la cuenca del Salar de Atacama.

3.4.1 Diagnóstico

Para el diagnóstico del Mercado de Aguas en la cuenca del Salar de Atacama, se consideró la información contenida en la base de datos entregada por DGA y que registra las transacciones informadas por CBR de Calama con jurisdicción en la comuna de San Pedro de Atacama, esta base de datos está disponible en la página web de la DGA, <https://snia.mop.gob.cl/ciudadaniacbr/>.

La metodología utilizada se basó en el análisis de la información de las transacciones efectivas de los DAA en el mercado reportado por Conservador de Bienes Raíces de Calama con jurisdicción en la provincia de El Loa la cual cuenta con las comunas de Calama, San Pedro de Atacama y Ollagüe. Este reporte es publicado en la web DGA y accedido por última vez el 01 marzo 2021. Toda la metodología aplicada a esta base de datos se trabajó en el mismo software que se descarga, que es Microsoft Excel.

3.4.2 Depuración de la base de datos

En primer lugar, 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).

Luego, a partir de los mismos registros del Conservador de Bienes Raíces de Calama publicada en la web DGA, se estimó el valor de mercado de los DAA, para ello fue necesario primero depurar la base de datos con el objetivo de descartar registros inconsistentes e incompletos que no contengan elementos mínimos para estimar valores de litros por segundo. El procedimiento y criterios de depuración se basan en el procedimiento señalado en el estudio "Análisis de Mercados de Derechos de Aprovechamiento de Aguas en Chile", SIT N.º 438, diciembre 2018. Los criterios utilizados fueron los siguientes:

- 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.

3.4.3 Estimación de precios de DAA

Para la estimación de precios de litros por segundo (L/s) se realizó un análisis para los DAA a partir de los mismos registros del Conservador de Bienes Raíces de Calama publicada en la web DGA, con naturaleza subterránea y superficial, con tipo de transacción "Compraventa" y ejercicio del derecho "Permanente y Continuo". Para ello, se revisó que

las inscripciones consideradas para la estimación de precios de mercado de DAA dispusieran de los antecedentes correspondientes para asegurar una estimación fidedigna. Los criterios utilizados para la estimación se muestran a continuación:

- Tipo de transacción: compraventa
- Naturaleza del derecho: subterráneo y superficial, dependiendo del caso
- Tipo de derecho; consuntivo
- Caudal: volumen por unidad de tiempo
- Valor total de la transacción: monto en pesos, dólares o UF.

Luego de estos criterios, se convierten todos los valores de caudales a L/s, al igual que los valores de transacción a UF, con sus respectivas tasas de cambio.

Por último, se identificó y excluyó valores atípicos como registros con precio de transacción \$0, y caudales menores a 0,01 L/s. En el primer caso donde el precio de transacción es \$0, no se puede considerar de transacción dado que el precio asociado a esta es 0, lo cual no tiene sentido económico. En el caso de caudales menores a 0,01 L/s, son caudales muy pequeños para ser considerados dentro de una transacción, además genera que los precios por caudal sean los máximos, por lo que se supone que sean errores de registro.

Por último, una vez depurada la base de datos, la estimación de los precios de mercado fue realizada usando la media y la mediana.

CAPÍTULO 4 METODOLOGÍA APLICADA EN LA CARACTERIZACIÓN DE OFERTA

4.1 CARACTERIZACIÓN DE CALIDAD DEL AGUA

4.1.1 Base de datos y metodología para su depuración

La base de datos se conforma a partir de los registros de las estaciones DGA y SQM disponibles públicamente en la web (DGA: Estadística estaciones DGA, SQM: sqm en línea). De la red DGA se consideran las cinco estaciones disponibles y distribuidas en la cuenca, mientras que para la red SQM solo se recurren a cuatro o cinco estaciones por sistema, escogiendo entre ellas aquellas con mayor cantidad de datos y distribuidas espacialmente tanto en el eje Norte-Sur como en el eje Este-Oeste (el detalle se resume en la Tabla 4-2). No se utilizan todas las estaciones de cada sistema SQM, dado que estas están próximas entre ellas y ubicadas principalmente en la zona sureste del núcleo del salar, donde ya se ubican dos de las cinco estaciones DGA.

La base de datos obtenida a partir de las estaciones DGA y SQM incluye a lo más cuatro mediciones por año para cada parámetro dentro del periodo consultado (DGA: 1980-2021, SQM: 2007-2021). Por consecuencia, el total de datos varía, pero con un promedio de al menos 40 registros en cada parámetro. Cabe mencionar que la estación Canal Aguas Blancas es la estación con menos datos, teniendo un promedio de 10 datos dentro del periodo para cada parámetro.

Ahora, la metodología empleada para el desarrollo de la caracterización hidroquímica de aguas superficiales y subterráneas se basó en lo planteado en el estudio "Plan Estratégico de Gestión Hídrica en la cuenca de Aconcagua" (DGA, 2020). Esto trata sobre la representación de datos históricos de cada estación consultada en *boxplots*, tal que se comparan estos gráficos sin *outliers* con el valor de referencia establecido en cada norma (NCh409/05 y NCh1333/78). Se considera que los registros cumplen la norma cuando todo el *boxplot* está por debajo del valor de referencia, mientras que se incumple cuando parte del *boxplot* está sobre el valor, es decir, no es necesario que todo el gráfico esté por sobre el valor para que se considere como incumplimiento.

En cuanto a la depuración de datos, que es el procedimiento previo a la elaboración de *boxplots*, se trabajó basándose en lo presentado en la "Guía para la elaboración de Normas Secundarias de calidad ambiental en aguas continentales y marinas" (MMA, 2017) para la identificación de *outliers* y en el estudio "Mapa Hidroquímico de Chile" (DGA, 2019) para la manipulación de valores registrados bajo la sensibilidad del instrumento utilizado.

Lo primero fue eliminar toda fecha sin registro de la lista de datos históricos (celdas vacías). Una vez esto, se llevó a cabo un primer filtro de valores atípicos en cada estación, con tal de que no interfieran en la estadística de la serie al momento de identificar *outliers* (el siguiente paso), dado que estos se reconocen como aquellos valores que están por fuera del intervalo formado por la media ± 3 *desviación estándar. Por último, para los valores registrados bajo la sensibilidad del instrumento de medición se les asignó la mitad de su valor, es decir, si se indica que la sensibilidad es de 0,03 mg/l o 0,01 mg/l, entonces se asignará 0,015 mg/l y 0,005 mg/l respectivamente.

Los resultados de esta metodología se presentan en el Anexo J, Capítulo 6, tanto para agua superficial como subterránea.

4.2 METODOLOGÍA APLICADA A LA CORRECCIÓN DE NIVELES POR DENSIDAD

4.2.1 Introducción

En el acuífero de la cuenca del Salar de Atacama coexisten fluidos de distinta densidad, variando de 1,00 g/cm³ para el agua hasta 1,23 g/cm³ para la salmuera, de forma estrecha a través de la interfaz salina que los conecta, por lo que el sistema subterráneo se trató de forma integrada. Debido a esto y para representar de mejor manera los flujos en la zona de la interfaz salina (Marazuela et al., 2018; CORFO-AMPHOS21, 2021), el modelo MODFLOW, incorporado al modelo integrado para la cuenca del Salar de Atacama para representar el sistema subterráneo, se ajustó para representar niveles equivalentes de salmuera. Por lo tanto, comparar los niveles o descensos resultantes del modelo con datos medidos no es directo. En este acápite se presenta la metodología utilizada para la corrección de niveles, en particular para corregir de equivalentes de salmuera a piezométricos. A diferencia de la estrategia de CORFO-AMPHOS21 (2021), donde la comparación de niveles observados y simulados se realiza en base a niveles equivalentes de salmuera (se corrigen los niveles medidos a niveles de salmuera), en este estudio se evalúan siempre niveles observados sin corregir y niveles del modelo MODFLOW corregidos a niveles piezométricos.

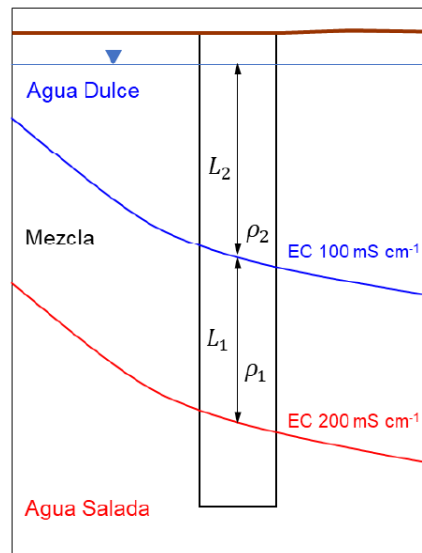
4.2.2 Metodología para la corrección de niveles

En sistemas en que la zona de mezcla no es significativa o que la interfaz entre los fluidos de distinta densidad es abrupta, el enfoque más utilizado es el propuesto por Ghyben (1888) y Herzberg (1901), sin embargo, estos supuestos no son aplicables al sistema subterráneo del Salar de Atacama, donde el tamaño de la zona de mezcla es importante. Cuando el tamaño de la zona de mezcla es importante es necesario incorporarla en la corrección. En este caso, la expresión que relaciona niveles equivalentes de salmuera con niveles piezométricos se obtiene al igualar las presiones en la base de la zona de mezcla, considerando un espesor y densidad promedio de la zona de mezcla. A partir de Lusczynski (1961) y Marazuela et al. (2018), la expresión para convertir niveles equivalentes de salmuera (h_s) a niveles piezométricos (h_p) queda como:

$$h_p = h_s - \left(L_1 \frac{\rho_1 - \rho_s}{\rho_s} + L_2 \frac{\rho_2 - \rho_s}{\rho_s} \right)$$

donde L y ρ son el espesor y la densidad, respectivamente, de la zona de mezcla (1) y de agua (2), como muestra la Figura 4-1. En esta figura se muestra la zona de mezcla delimitada a partir de dos superficies de conductividad eléctrica (EC), donde:

- EC de 100 mS/cm aproxima la interfaz entre el agua y la zona de mezcla
- EC de 200 mS/cm aproxima la interfaz entre la salmuera y la zona de mezcla



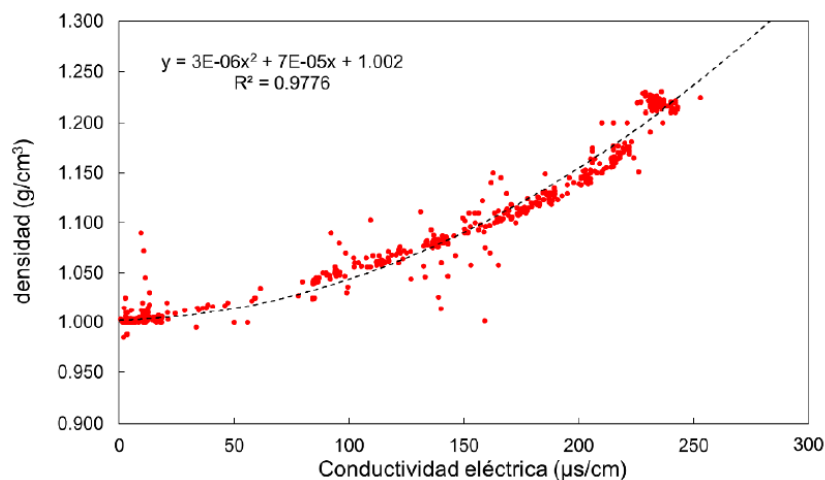
Fuente: CORFO-AMPHOS21 (2021) y modificado de Marazuela et al. (2018)

Figura 4-1: Esquema de la corrección de niveles para sistemas con zona de mezcla importante.

Para el cálculo de la densidad promedio para cada tramo, se consideró el análisis de la relación entre conductividad eléctrica y densidad de los fluidos, desarrollado por CORFO-AMPHOS21 (2021) (ver Figura 4-2 y Figura 4-3), resultando en densidades de 1,00, 1,10 y 1,23 g/cm³, para agua fresca, zona de mezcla y salmuera, respectivamente. A partir del análisis desarrollado por CORFO-AMPHOS21 (2021), la concentración de solutos disueltos (SDT), la densidad (ρ) y la conductividad eléctrica (EC), se relacionan como:

$$\rho = 1.002,8 \frac{kg}{m^3} + 0.7188 \cdot SDT$$

$$\rho = 3^{-6} \frac{g}{\mu S^2 \cdot cm} \cdot (EC)^2 + 7^{-5} \frac{g}{\mu S \cdot cm^2} \cdot EC + 1,002 \frac{g}{cm^3}$$



Fuente: CORFO-AMPHOS21 (2021)

Figura 4-2: Relación entre conductividad eléctrica y densidad medidas en terreno. Se muestra la ecuación de correlación, así como el error cuadrático.

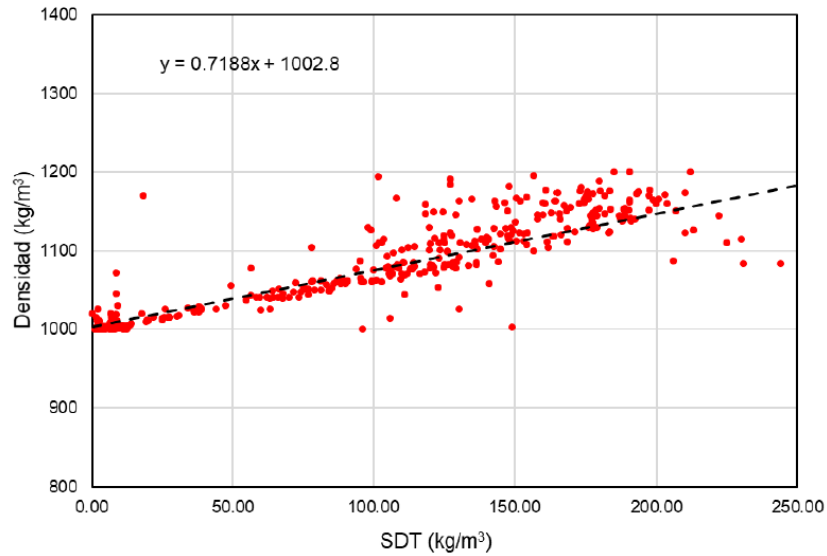
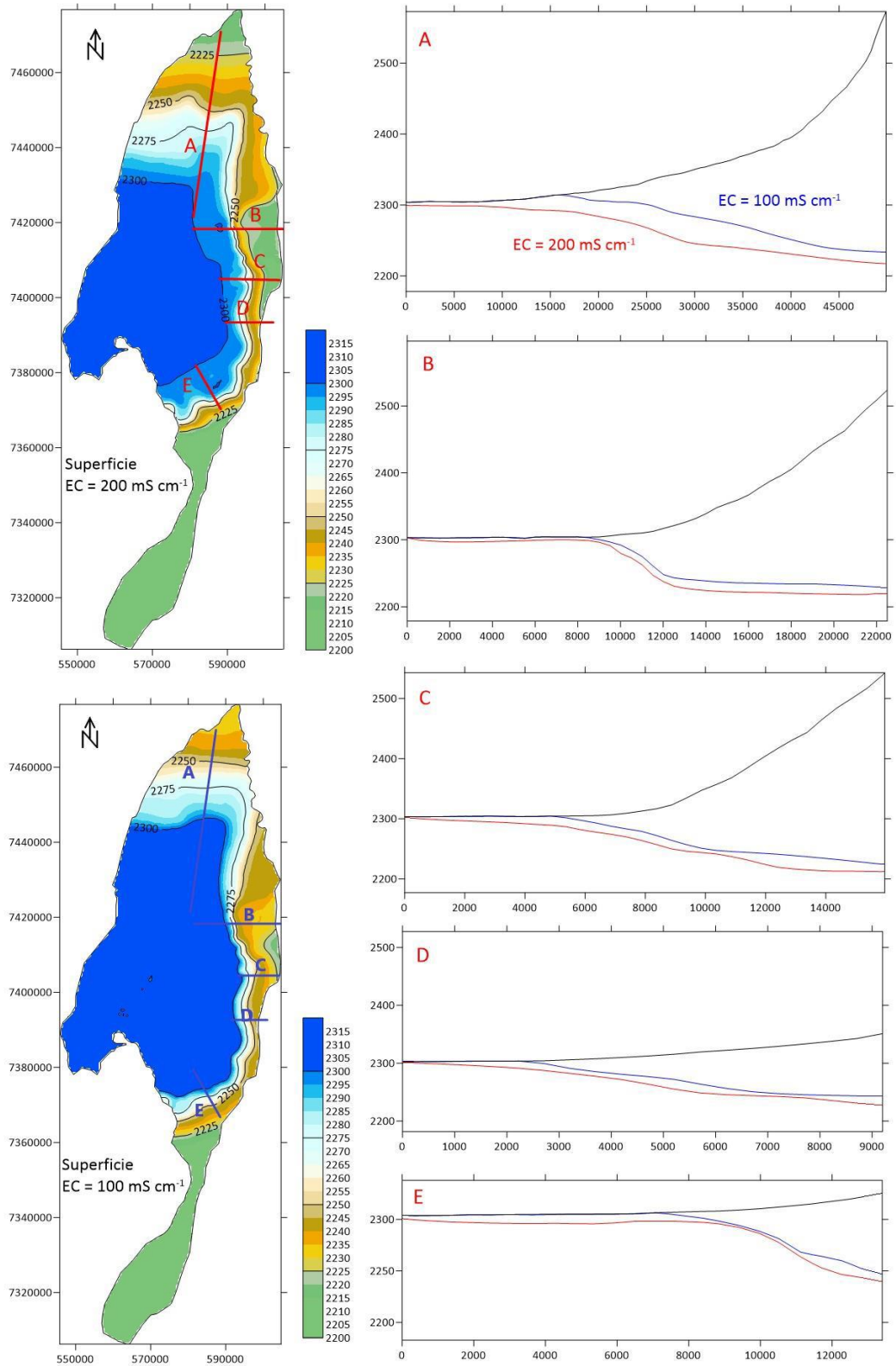


Figura 4-3: Relación densidad de fluido y total de sólidos disueltos (SDT) medida en puntos de observación.

Las superficies de conductividad eléctrica (EC de 100 y 200 mS/cm) fueron entregadas por parte de CORFO-AMPHOS21 (2021) a CORFO-PUC (2021) y fueron definidas a partir de Marazuela et al. (2018). La extensión de estas superficies sobre el modelo MODFLOW se presentan en la Figura 4-4.



Fuente: CORFO-AMPHOS21 (2021) y modificado de Marazueta et al. (2018)

Figura 4-4: Distribución de la profundidad de las isosuperficies de EC de 200 y 100 mS/cm, y cortes verticales mostrando el espesor de la zona de mezcla.

CAPÍTULO 5 METODOLOGÍA APLICADA EN CONSTRUCCIÓN DE MODELO Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

5.1 ACTUALIZACIÓN DE MODELO A TRAVÉS DE PROCESO PARTICIPATIVO

La estrategia de mejoras del modelo desarrollado por CORFO-PUC (2021) corresponde a la actualización mediante información proporcionada por actores locales.

Como primera actividad se les presentó la herramienta de modelación para dar a conocer el contexto y que los actores visualicen el tipo de información requerida y cómo esta se incorpora en el modelo. Además de mostrar las diferentes posibilidades de análisis mediante los escenarios posibles que se puedan modelar (por ejemplo, cambio en el tipo de cultivo y/o en el sistema de riego utilizado).

Como un segundo acercamiento, se procedió a tener reuniones con actores locales focalizadas en cada una de las localidades presentes en la cuenca. En esta reunión se presentó de manera general el modelo y la información relevante que se necesita para actualizarlo, y así tener una mejor representación de la realidad local. Se les proporcionó unas planillas simplificadas que indican la información que se obtiene de bibliografía y que se requirió para la actualización de acuerdo con la realidad de cada uno de ellos.

A modo general, se solicitó actualizar la información de derecho de aguas, el uso y su caudal; el canal utilizado y el caudal de este; el área total cultivada (siendo diferenciada por modelo con dominio en el sector lateral y sector salar cuando fuera pertinente) y la distribución de cultivos en esa área cultivada y el sistema de riego utilizado, además, en caso de ser posible, la proyección que como comunidad estiman hacia el futuro sobre la superficie agrícola. También se recogió información con respecto al agua potable, actualizando la información de habitantes y población flotante, el consumo de agua potable diario, la fuente de abastecimiento y posibles pérdidas (entre extracción y consumo final). Por último, para aquellos actores relevantes dentro del dominio del sector del salar, se solicitó entregar más en detalle las características de la vegetación presente y que como comunidades les pareciera importante que se represente en el modelo. Desde la Tabla 5-1 a la Tabla 5-3 se muestran ejemplos de planillas utilizadas con los actores. Esta planilla permite tener una referencia de la información requerida, en caso de que la información disponible no sirva para completar en este tipo de formato, la planilla queda a libre disposición para completarla como más le acomode, utilizando las casillas "comentarios" (por ejemplo, si no tiene la superficie exacta de determinado grupo de cultivos, también se puede responder de manera tal que indiquen la superficie total y el porcentaje de ocupación de sus diferentes cultivos).

Tabla 5-1 Ejemplo de planilla base para la actualización de superficie agrícola y sistemas de riego

	Base de Datos		Información AR/CI		Comentarios
	Uso	Caudal (L/s)	Uso	Caudal (L/s)	
Derecho de Aguas Superficiales	Otros Usos	44.7			

	Base de Datos		Información AR/CI		Comentarios
	Nombre	Caudal	Nombre	Caudal	
Canal	Canal Tilomonte	44.7			

	Zhao 2016	Información AR/CI				Cuenca Salar	Comentarios
		Hoy		Futuro			
	Cuenca Lateral	Cuenca Salar	Cuenca Lateral	Cuenca Salar	Cuenca Lateral	Cuenca Salar	
Área Total cultivada (ha)	2.7	0					

(suma de todos los catchments)

Distribución cultivo-sistema riego	Cultivo	Categoría Cultivo	A partir de Censo 2007 y Zhao (ha)	A partir de Censo 2007 y Zhao (ha)	Hoy		Futuro		Comentarios
					Cuenca Lateral	Cuenca Salar	Cuenca Lateral	Cuenca Salar	
Sistema de riego					Información AR/CI (ha)	Información AR/CI (ha)	Información AR/CI (ha)	Información AR/CI (ha)	
Tendido	Alfalfa	Plantas Forrajeras	1.94	0.00					
	Choclo	Huertas y Hortalizas	0.52	0.00					
	Maíz	Cereales Verano	0.09	0.00					
	Trigo	Cereales Invierno	0.05	0.00					
	Peral	Frutales	0.09	0.00					
	Naranja	Cítricos	0.01	0.00					
Total			2.70	0.00	0	0	0	0	
Aspersión	Alfalfa	Plantas Forrajeras	0						
	Choclo	Huertas y Hortalizas	0						

	Maíz	Cereales Verano	0						
	Trigo	Cereales Invierno	0						
	Peral	Frutales	0						
	Naranja	Cítricos	0						
Total			0		0	0	0	0	
Goteo	Alfalfa	Plantas Forrajeras	0						
	Choclo	Huertas y Hortalizas	0						
	Maíz	Cereales Verano	0						
	Trigo	Cereales Invierno	0						
	Peral	Frutales	0						
	Naranja	Cítricos	0						
Total			0		0	0	0	0	
	Alfalfa	Plantas Forrajeras	0						
	Choclo	Huertas y Hortalizas	0						
	Maíz	Cereales Verano	0						
	Trigo	Cereales Invierno	0						
	Peral	Frutales	0						
	Naranja	Cítricos	0						
Total			0		0	0	0	0	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5-2 Ejemplo de planilla base para la actualización del sistema de agua potable

	Información CI				Comentarios
	Censo 2017	Hoy	Futuro	Población flotante	
Hogares	95				
Habitantes	1475				

	Estimación en base a información APR	Información CI		Comentarios
Consumo diario	287 L/d/hab			

Registros de extracción y consumo

	Modelo	Información CI	Comentarios
Fuente de abastecimiento	Desde Quebrada		

	Dato	Información CI	Comentarios
Pérdidas (entre extracción y consumo final)	15%		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5-3 Ejemplo de planilla base para la actualización de la vegetación natural en el sector del salar.

Cobertura	Especie dominante	Nombre común	Textura de Suelo	Altura máxima aérea (m)	Profundidad raíces mínimo (m)	Profundidad raíces máximo (m)
Matorral	<i>Tessaria absinthioides</i>	Brea, Soroma, Chilquilla, Sorona	Franco-Arcilloso	2	0.25	1.6
Bosque	<i>Prosopis tamarugo</i>	Tamarugo	Franco-Arcilloso	5	1	12
Cultivo	Forrajera	Alfalfa	Franco-Arcilloso	0.7	1.5	2

Información actor social							
Cobertura	Especie dominante	Textura de Suelo	Altura máxima aérea (m)	Altura máxima (m)	Profundidad raíces mínimo (m)	Profundidad raíces máximo (m)	Comentarios
Matorral							
Bosque							
Cultivo							

Fuente: Elaboración propia.

5.2 DISTRIBUCIÓN DE CAUDALES FUTUROS DE EXTRACCIÓN DE SALMUERA

5.2.1 Introducción

Debido a que no hay claridad respecto a las decisiones de cómo se distribuyen las extracciones de salmuera de las empresas ante cambios en los niveles, los cuales podrían eventualmente descender de forma considerable hasta llegar al acuitardo que se encuentra en el núcleo del salar (lo que genera problemas de convergencia en el modelo hidrogeológico numérico), en las instancias de co-construcción se conversó con las empresas SQM y Albemarle para definir una estrategia de la espacialización de las extracciones.

5.2.2 Descripción de la estrategia

Acorde a lo conversado en las instancias de co-construcción del modelo con las empresas SQM y Albemarle, para la implementación de las extracciones futuras se buscó conservar la proporcionalidad de la distribución espacial y la variabilidad mensual de cada empresa, considerando como base la implementación de estas en el modelo CORFO-AMPHOS21 (2021) en el período 2018. Sin embargo, en caso de haber un descenso considerable de los niveles en las celdas donde se ubican los pozos, estos dejan de operar y se reproporcionan los caudales para extraer el total definido. A continuación, se presenta la formulación matemática implementada en WEAP para redistribuir los caudales y los parámetros requeridos para generar los caudales de extracciones futuras de salmuera para los sectores de Albemarle y SQM.

5.2.3 Formulación matemática

Para la distribución de caudales de extracción neta de salmuera en los pozos se buscó conservar dos aspectos para las distintas empresas: 1) la distribución mensual de los caudales de extracción del año 2018 y 2) la distribución espacial de las extracciones para

cada mes del año 2018. La estrategia implementada consideró calcular el caudal de extracción q de un pozo p de una empresa e para un mes m de la forma:

$$q_{e,p,m} = T_{e,m} \cdot E_{e,p,m}$$

donde T corresponde a un factor que asegura la distribución mensual de los caudales de extracciones y E un factor que asegura la distribución espacial de los caudales de extracción. Adicionalmente, el factor E tiene la capacidad de desactivar un pozo y redistribuir espacialmente los caudales en caso de que sea necesario.

Sea e una empresa que requiere extraer un caudal neto promedio anual Q_e . Para un mes m , el caudal neto mensual $Q_{e,m}$, se calcula a partir de la relación entre los caudales netos mensuales y el caudal neto promedio anual al año 2018, de la forma:

$$est_{e,m}^{2018} = \frac{Q_{e,m}^{2018}}{Q_e^{2018}}$$

$$Q_{e,m} = Q_e \cdot est_{e,m}^{2018}$$

donde $est_{e,m}^{2018}$ corresponde a la distribución mensual de los caudales de extracción del año 2018. El valor $Q_{e,m}$ corresponde al factor T previamente mencionado para calcular el caudal de extracción de un pozo de una empresa para un mes en particular

Cada mes del año 2018 tiene una distribución espacial distinta de los caudales de extracción. La fracción que extrae un pozo p en un mes determinado del año 2018 respecto al total de ese año, se calcula como:

$$F_{e,p,m}^{2018} = \frac{Q_{e,p,m}^{2018}}{Q_{e,m}^{2018}}$$

donde $F_{p,m}^{2018}$ y $Q_{p,m}^{2018}$ corresponden a la fracción y al caudal de extracción del pozo p , en el mes m del año 2018. Esta fracción de extracción es utilizada para mantener la proporción espacial de los caudales de extracción, sin embargo, bajo ciertas condiciones esta fracción requiere tomar un valor 0 (cero) para desactivar la extracción del pozo. Para determinar la fracción de extracción de un pozo para un determinado mes en el escenario de simulación considera la siguiente relación:

$$F_{e,p,m} = \begin{cases} F_{e,p,m}^{2018} & \text{si } Nivel_p > BOT_p + holgura \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

donde $F_{e,p,m}$ corresponde a la fracción de extracción del pozo p para un determinado mes en el escenario de simulación y $Nivel_p$ y BOT_p son el nivel calculado por MODFLOW y la cota inferior de la capa 1 de la celda donde se ubica el pozo p , respectivamente. *holgura* es un parámetro que permite ajustar la regla, aumentando el nivel del terreno respecto al cual se realiza la comparación para desactivar el pozo. De esta forma, se define un factor agregado F_m , correspondiente a la suma de las fracciones de extracción:

$$F_{e,m} = \sum_p F_{e,p,m}$$

La relación $F_{e,p,m}/F_{e,m}$ corresponde al factor E previamente mencionado para calcular el caudal de extracción de un pozo de una empresa para un mes en particular. De esta forma, el caudal a extraer por un pozo corresponde a:

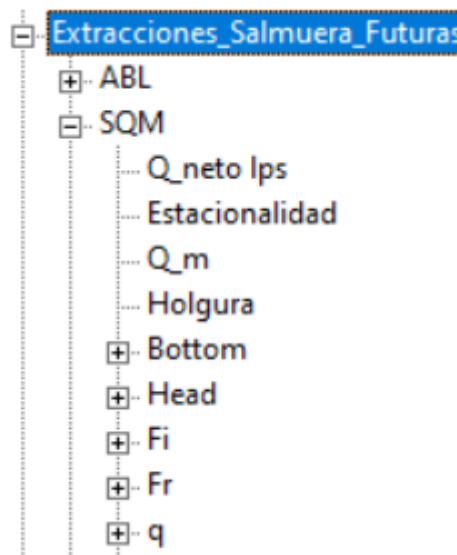
$$q_{e,p,m} = \underbrace{Q_{e,m}}_{T_{e,m}} \cdot \frac{F_{e,p,m}}{\underbrace{F_{e,m}}_{E_{e,p,m}}}$$

Esta estrategia asegura conservar los aspectos mencionados al comienzo del acápite, redistribuir los caudales de extracción en caso de que se desactiven algunos pozos y asegurar la extracción del caudal total Q_e . Notar que la sumatoria del factor T sobre todos los meses es igual al caudal promedio anual de la empresa ($\sum_m T_{e,m} = Q_e$) y que la sumatoria del factor E sobre todos los pozos es igual a 1 ($\sum_p E_{e,p,m} = 1$).

5.2.4 Parámetros de entrada para implementar la estrategia en WEAP

Considerando la estrategia desarrollada en el acápite anterior, los parámetros requeridos para definir las extracciones de salmuera en distintos escenarios son (en la Figura 4-1 se muestra la equivalencia de los Key Assumptions definidos en WEAP):

- Caudal neto promedio anual, Q_e , (Q_netos_ips en WEAP) en litros por segundo (l/s).
- Variación mensual, $est_{e,m}^{2018}$, (Estacionalidad en WEAP).
- Holgura, $holgura$, (holgura en WEAP) en metros.



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-1: Key Assumption de WEAP asociada a extracciones futuras de salmuera, tomando como ejemplo la rama de SQM.

El resto de los Key Assumptions mostrados en la Figura 4-1 corresponden a los cálculos presentados en el acápite anterior, realizados de forma interna por WEAP para determinar los caudales de extracción en cada uno de los pozos.

5.3 PRESENTACIÓN RESULTADOS MODELO ACOPLADO

5.3.1 Introducción

Se presenta a continuación una explicación de los tipos de resultados que evaluados en cada una de las corridas del modelo integrado. Estos resultados se transformaron en indicadores de desempeño.

5.3.2 Disponibilidad de recursos antes de extracciones

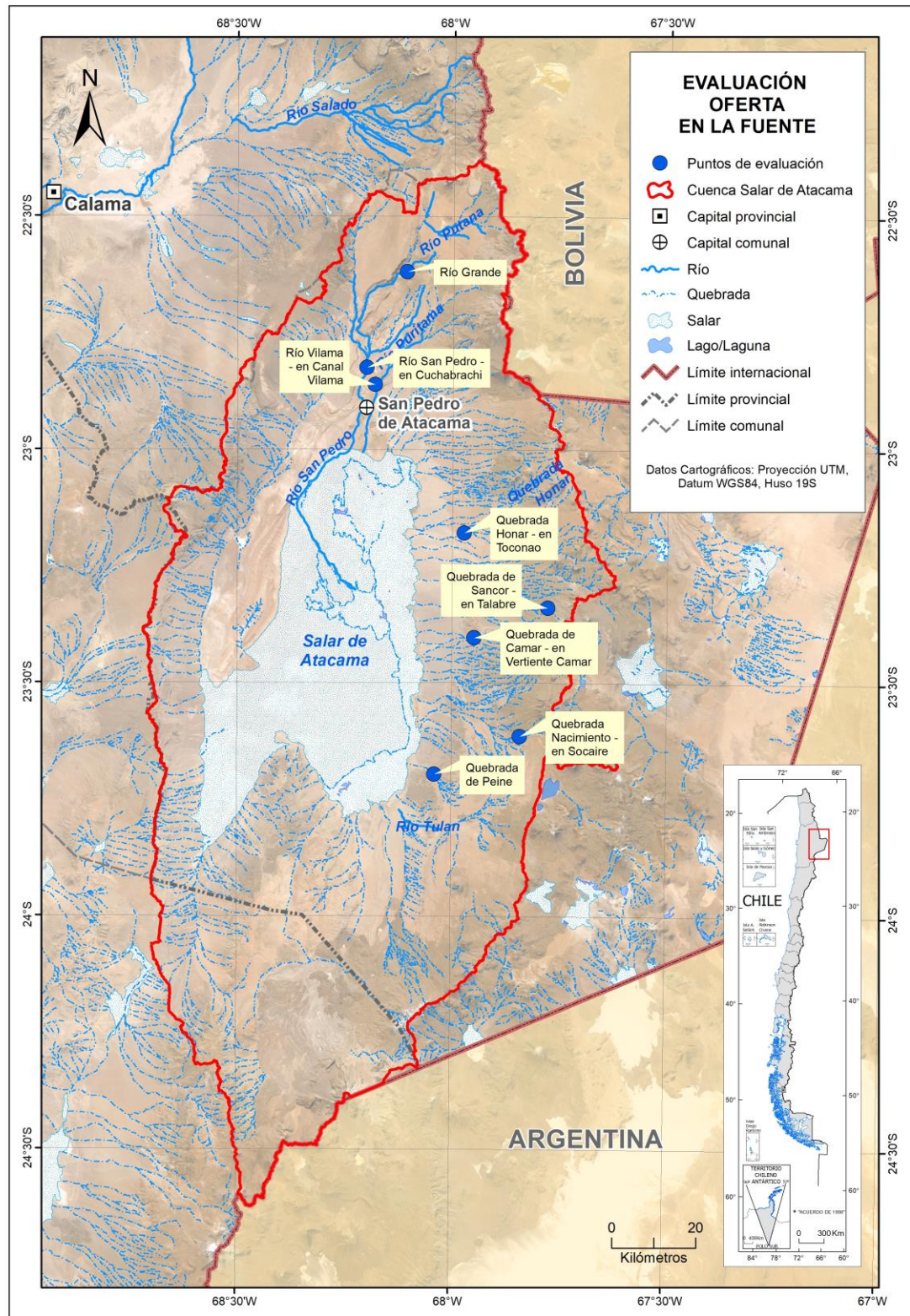
Se describen a continuación los resultados evaluados para describir la disponibilidad de recursos hídricos y salmuera a nivel superficial y subterránea.

5.3.2.1 Caudales superficiales

Para evaluar la disponibilidad del recurso hídrico a nivel superficial, se consideraron diferentes cursos de agua dentro de la cuenca (entre ríos y quebradas), evaluados en los diferentes escenarios descritos en el acápite anterior². Los cursos de agua seleccionados se muestran en la Figura 4-1 y son:

- Río Grande antes de afluentes
- Río San Pedro en Cuchabrachi
- Río Vilama en Canal Vilama
- Quebrada Honar en Toconao
- Quebrada de Sancor en Talabre
- Quebrada de Camar en Vertiente Camar
- Quebrada Nacimiento en Socaire
- Quebrada de Peine

² Esta disponibilidad no será evaluada bajo una situación natural sin intervención.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-2: Cursos de agua superficial seleccionados para analizar la disponibilidad de recursos.

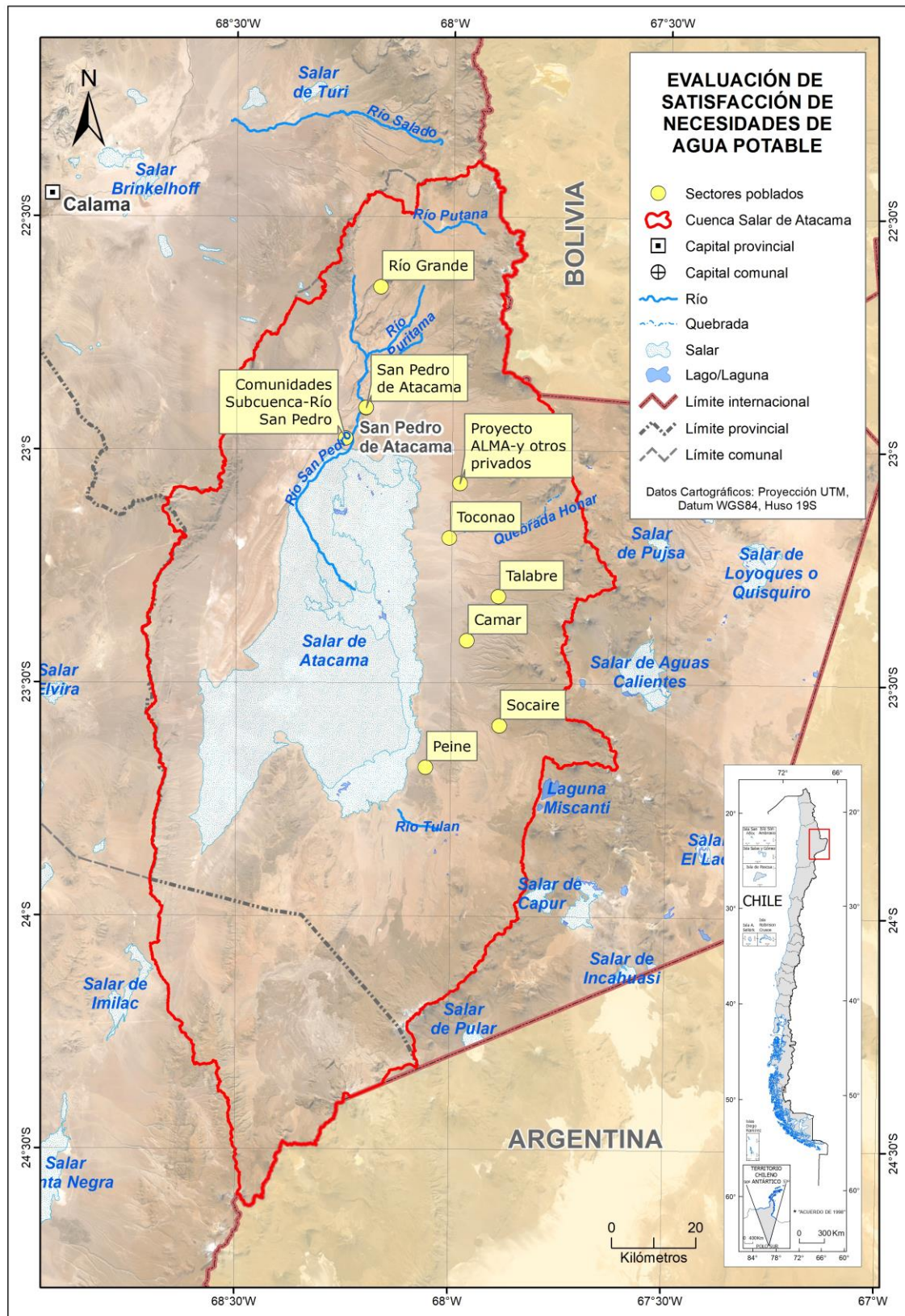
5.3.3 Satisfacción de necesidades

En cuanto a satisfacción de necesidades, se evaluaron los siguientes aspectos.

5.3.3.1 Agua Potable

Los sitios de demanda de agua potable se representaron como los poblados presentes en la cuenca. Estos sitios se evaluaron en función de la relación entre la demanda cubierta y la demanda hídrica. Los lugares o poblados analizados se presentan en la Figura 5-3 y corresponden a:

- Río Grande
- San Pedro de Atacama
- Comunidades subcuenca río San Pedro
- Proyecto ALMA
- Toconao
- Talabre
- Camar
- Socaire
- Peine



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-3: Poblados seleccionados para analizar la satisfacción de necesidades.

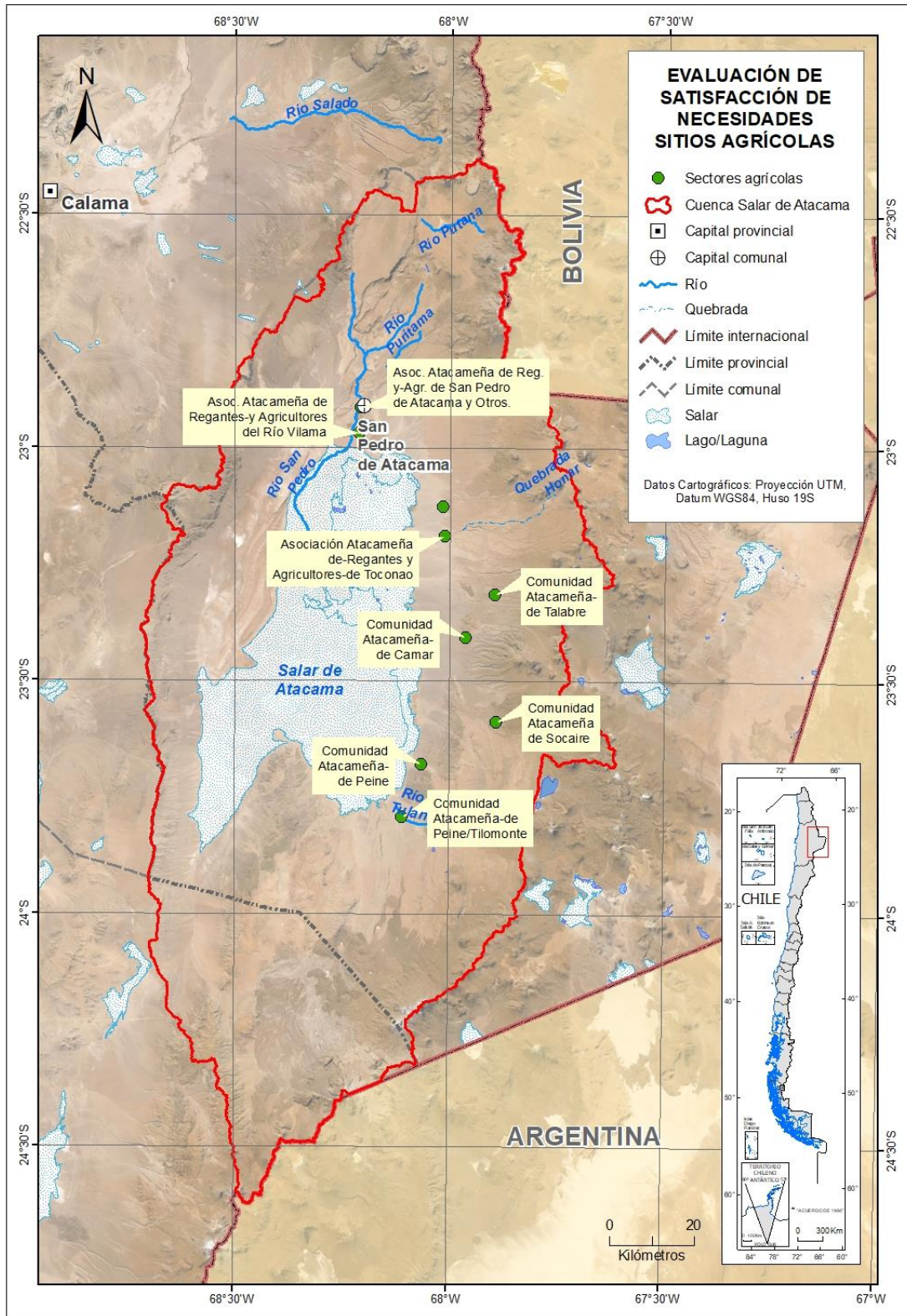
5.3.3.2 Consumo de agua para riego

Para evaluar la satisfacción necesidades para la agricultura, se obtuvieron los resultados de satisfacción de demanda y consumo para los escenarios futuros. Se evaluaron dos componentes:

- a) La satisfacción de los derechos de aguas de la Asociación de Regantes: relación entre el volumen de agua extraída por el canal y el volumen anual del derecho de agua, y
- b) La satisfacción de la demanda de agua (evapotranspiración) por este mismo cultivo: relación entre el volumen anual de evapotranspiración actual y el volumen de evapotranspiración potencial.

Los sitios agrícolas evaluados se presentan en la Figura 5-4 y corresponden a:

- Asociación Atacameña de Regantes y Agricultores de San Pedro de Atacama
- Asociación de Regantes y Agrícolas del río Vilama
- Asociación de Regantes y Agrícolas de Puques-Celeste
- Asociación de Regantes y Agrícolas de Toconao
- Comunidad Atacameña de Talabre
- Comunidad Atacameña Camar
- Comunidad Atacameña de Socaire
- Comunidad Atacameña de Peine-Tilomonte



Fuente: Elaboración propia

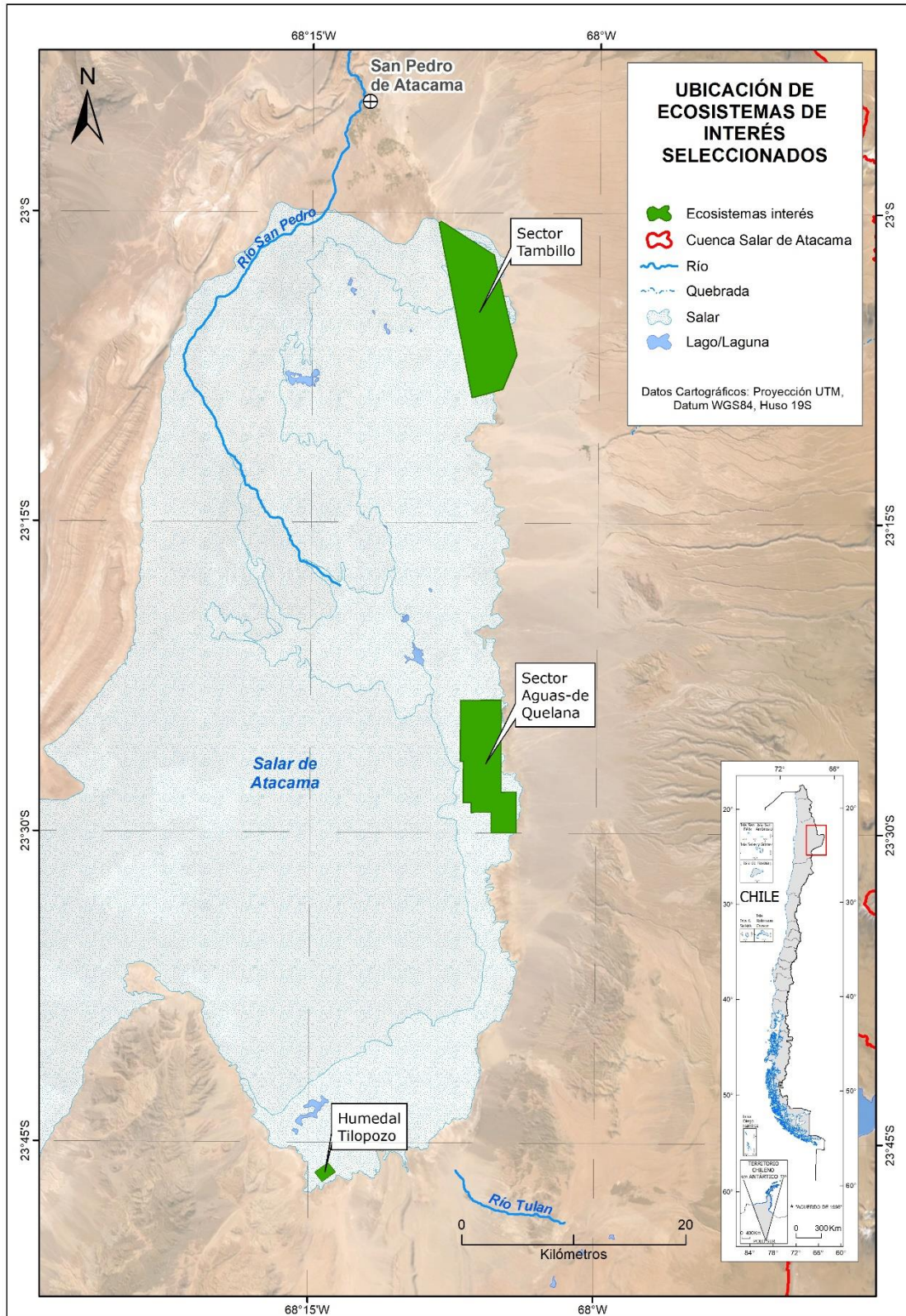
Figura 5-4: Sitios agrícolas seleccionados para analizar la satisfacción de necesidades.

5.3.3.3 Ecosistemas de interés y sistemas lagunares

Para evaluar los cambios en el estrés hídrico de estos sistemas se consideró la razón entre la cobertura de la evapotranspiración (relación entre evapotranspiración actual y potencial, a obtenerse desde los resultados de catchment WEAP) futura simulada y el promedio simulado en el período 1986 - 2018 en los sistemas presentados en la Figura 5-5 y Figura 5-6, correspondientes a:

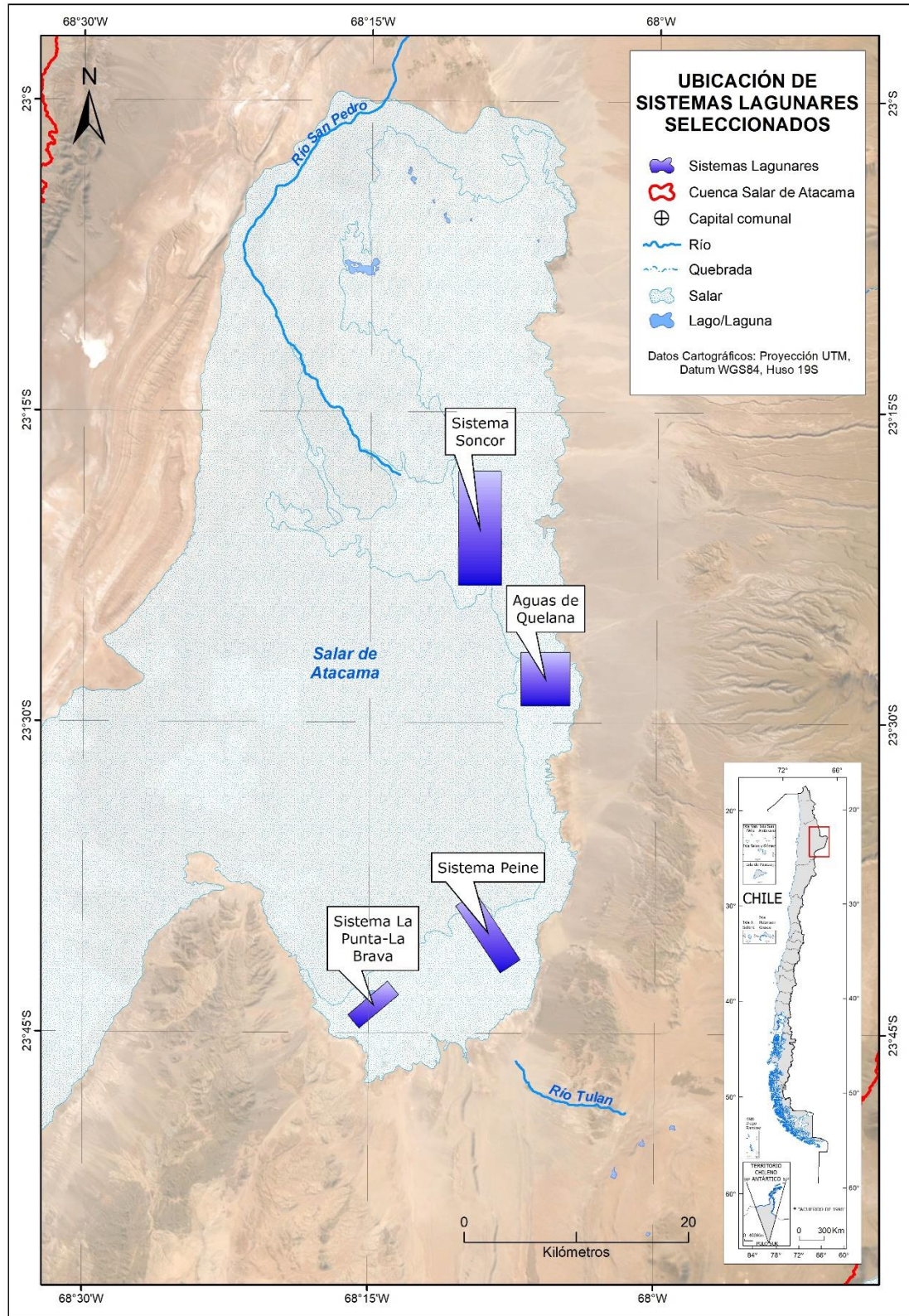
- a) Ecosistemas de interés (Figura 5-5):
 - i) Bosque de algarrobos en sector Tambillo
 - ii) Matorrales en sector Aguas de Quelana
 - iii) Humedal Tilopozo

- b) Sistemas lagunares (Figura 5-6):
 - i) Sistema Soncor
 - ii) Sistema Aguas de Quelana
 - iii) Sistema Lagunar Peine
 - iv) Sistema Lagunar La Punta La Brava



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

Figura 5-5: Evaluación de satisfacción de necesidades para los ecosistemas de interés.



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

Figura 5-6: Evaluación de satisfacción de necesidades para los sistemas lagunares.

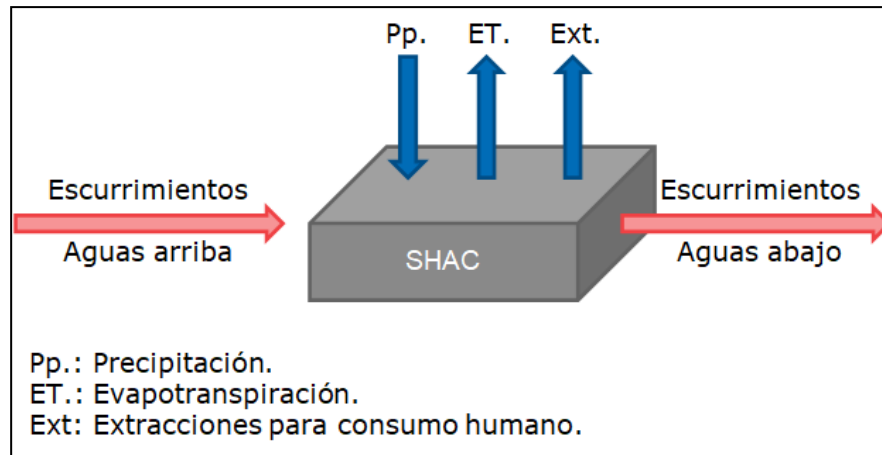
Este contraste permitió evaluar el grado de variación que podría presentar la satisfacción de evapotranspiración de estos ecosistemas y sistemas lagunares en los distintos escenarios.

Respecto a los sistemas lagunares, las coberturas de uso de suelo de los catchments WEAP fueron ajustados para aproximar el comportamiento de cuerpos de agua, sin embargo, estos sistemas se alimentan principalmente de aguas subterráneas, por lo que se explicitó la conexión a las salidas por drenes del modelo MODFLOW. Este paquete permitió representar la dinámica de la zona de mezcla en acuíferos con fluidos de distinta densidad, afloramientos en la zona marginal y la evaporación desde la napa (CORFO-AMPHOS21, 2021a). Esta conexión no satisfizo la totalidad la evaporación de los cuerpos de agua, pero permitió comparar cambios en la razón entre la evaporación potencial calculada por WEAP a partir del clima y la evaporación actual producto de los niveles del acuífero representado por el modelo MODFLOW.

5.3.4 Balances

5.3.4.1 Balances a escala de Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común (SHACs)

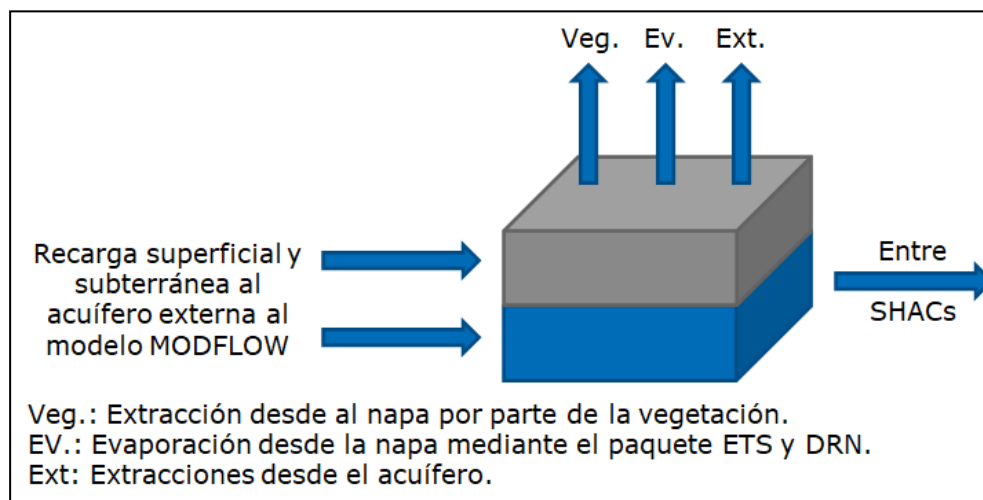
Se evaluaron dos balances a escala de Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común (SHACs): 1) un balance superficial a partir de los resultados del modelo WEAP, considerando las precipitaciones, evapotranspiración y extracciones para el consumo humano y 2) un balance subterráneo a partir de los resultados del modelo MODFLOW. De forma complementaria se realizó un análisis del volumen o stock acuífero. En el caso del balance superficial se consideró la suma de los aportes de los catchment WEAP que se encuentran dentro del SHAC a calcular. Esta estrategia permitió contrastar los valores de precipitación y evapotranspiración presentados en el informe técnico SDT N°339 y evaluar la disponibilidad de agua en la cuenca, además de un posterior análisis de caudales aportantes entre los distintos SHACs, como muestra la Figura 5-7.



Fuente: Elaboración propia

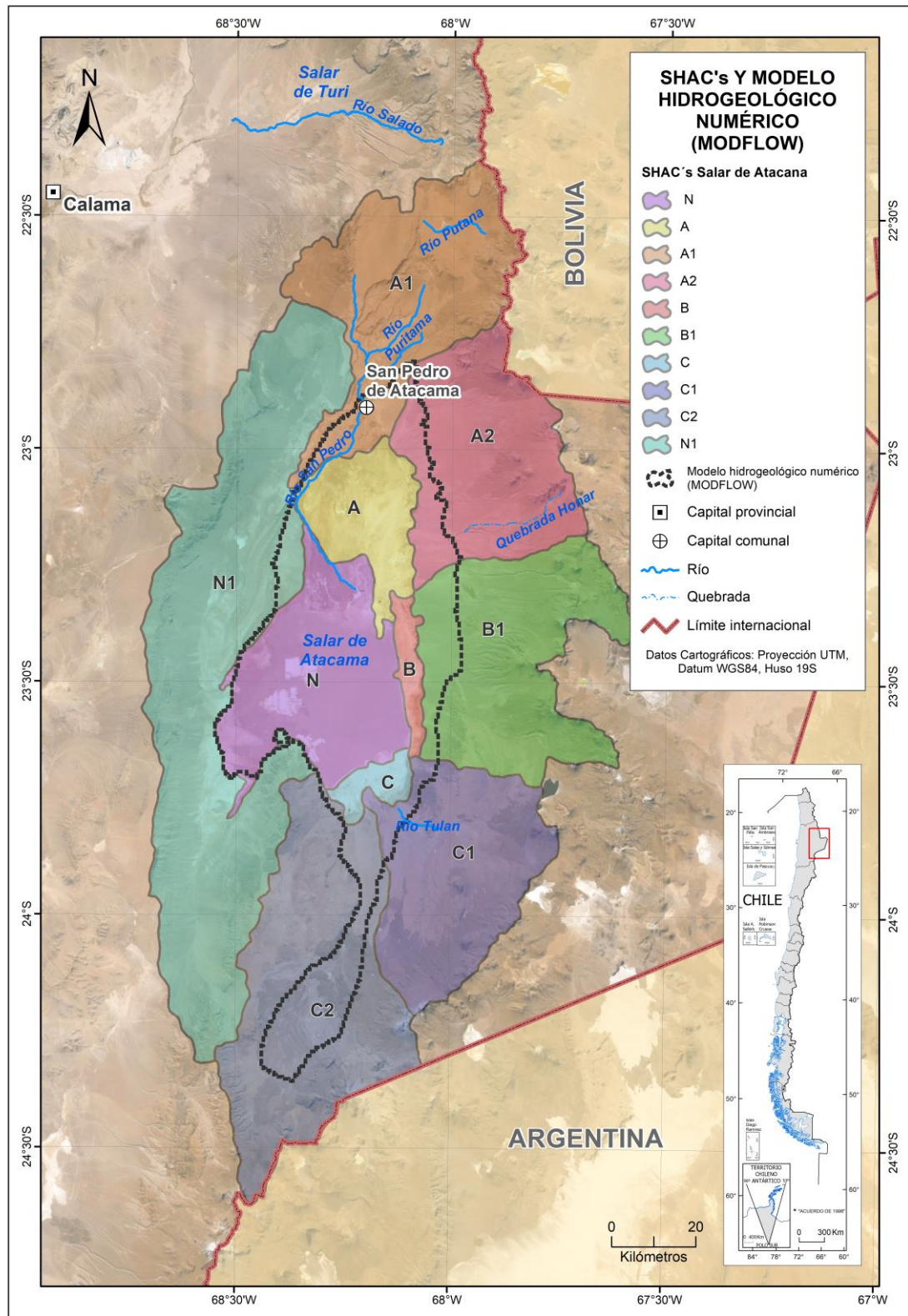
Figura 5-7: Esquema de entradas y salidas (flechas azules) a considerar para el balance superficial a escala de SHAC. Las flechas rojas corresponden a componentes que se podrían calcular a partir del balance propuesto.

Para el caso del balance subterráneo, si bien el modelo MODFLOW no abarca la totalidad de la extensión del acuífero del Salar de Atacama (Figura 5-9), sí abarca la extensión donde se ubican las extracciones desde el acuífero e incorpora explícitamente la recarga proveniente del resto de la cuenca. Por lo que el balance a escala de SHACs permite un entendimiento de cómo responde el acuífero a la variabilidad climática y a las extracciones subterráneas, en términos de la evaporación desde la napa, la interacción con la vegetación en la superficie y en el almacenamiento del acuífero. Para esto, se definió un archivo ZoneBudget para agrupar las celdas del modelo MODFLOW que aproximan los SHACs de la cuenca. La Figura 5-8 muestra esquemáticamente los componentes a considerados en el balance hídrico subterráneo.



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-8: Esquema de entradas y salidas a considerar para el balance subterráneo a escala de SHAC.



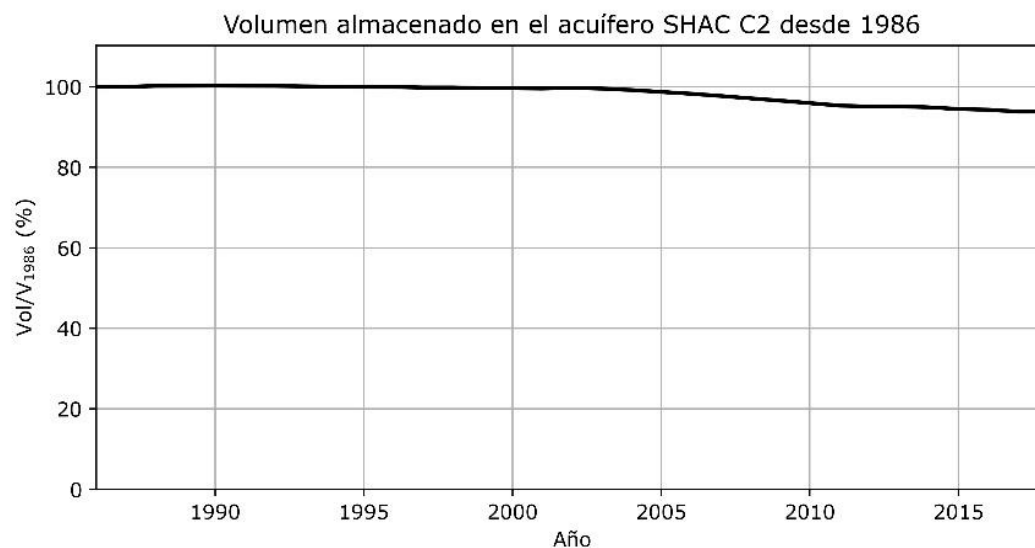
Fuente: Elaboración propia a partir de mapoteca DGA (2021).

Figura 5-9: Delimitación de SHACs y del modelo hidrogeológico numérico (MODFLOW).

Debido a que el modelo hidrogeológico numérico (MODFLOW) se calibró para representar niveles equivalentes de salmuera, lo que permitió representar de mejor manera los flujos en la zona de mezcla entre el agua fresca y la salmuera (Marazuela et al., 2018), el cálculo del volumen del acuífero no es directo. Por esto, se realizó el siguiente procedimiento como aproximación para evaluar la evolución del volumen almacenado en el acuífero:

1. Calcular un volumen inicial a partir de los niveles iniciales del modelo MODFLOW:
 - a. Corregir los niveles del modelo MODFLOW a niveles piezométricos con la estrategia descrita por CORFO-AMPHOS21 (2021a) y Marazuela et. al (2018).
 - b. Calcular el volumen almacenado a partir del espesor saturado de cada celda del modelo MODFLOW, considerando los niveles piezométricos corregidos, y la porosidad drenable para la capa 1 del modelo y el coeficiente de almacenamiento específico para las capas 2, 3 y 4.
 - c. Sumar el volumen calculado por celda
2. Incorporar aportes a partir de la variación en almacenamiento calculada en el balance del modelo MODFLOW

Como resultado se presenta la evolución del volumen almacenado, calculado a partir de esta aproximación, a escala de acuífero y de SHACs. Si bien el modelo MODFLOW no abarca la totalidad de la extensión del acuífero del Salar de Atacama, sí abarca la extensión donde se ubican las extracciones desde el acuífero e incorpora explícitamente la recarga proveniente del resto de la cuenca. Por lo que esta aproximación permite un entendimiento de cómo responde el acuífero a la variabilidad climática y a las extracciones subterráneas, en términos del almacenamiento del acuífero. A modo de ejemplo, se presenta en la Figura 5-10 la evolución temporal del volumen del acuífero SHAC C2, proporcional al volumen inicial calculado en 1986.

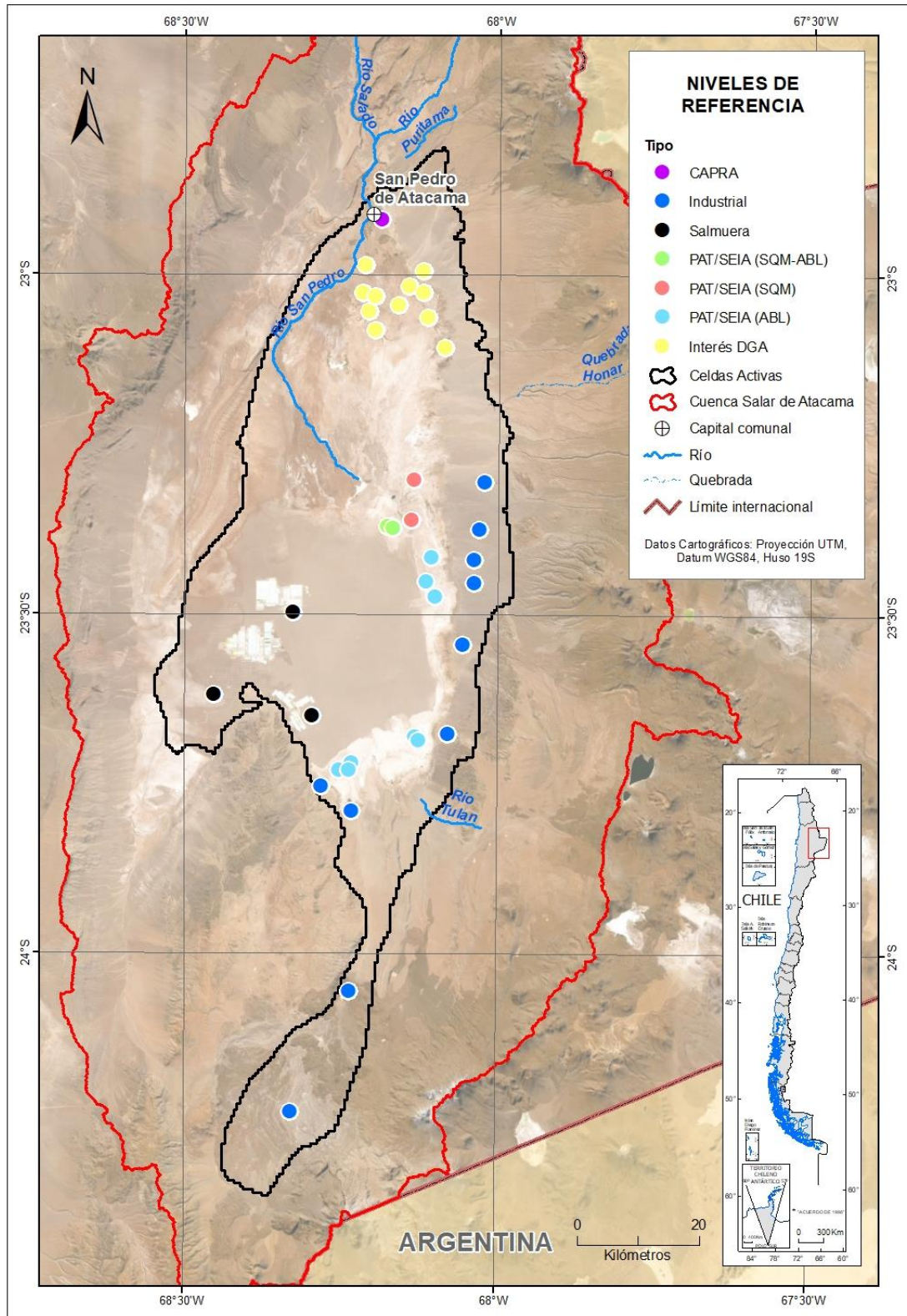


Fuente: Elaboración propia

Figura 5-10: Ejemplo de la evolución temporal del volumen del acuífero SHAC C2, proporcional al volumen inicial calculado en 1986.

5.3.4.2 Niveles freáticos

En la evaluación de los niveles freáticos en los distintos escenarios se consideraron cinco categorías de puntos: 1) punto de extracción de CAPRA, 2) Puntos de extracciones de agua fresca para minería, 3) Puntos representativos de zonas de extracciones de salmuera, 4) Ubicación de puntos de monitoreo PAT/SEIA de las empresas SQM y Albemarle y 5) Ubicación de puntos de interés propuestos por la DGA, provistos por correo electrónico. Los puntos considerados se presentan en la Figura 5-11. Adicionalmente, se consideró un breve análisis de las principales diferencias en la piezometría modelada a partir de los escenarios.



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-11: Ubicación de los puntos seleccionados para analizar la evolución de niveles en los distintos escenarios.

En la Tabla 5-4 y Tabla 5-5 se presentan los puntos de monitoreo PAT/SEIA de las empresas SQM y Albemarle y los puntos de interés propuestos por la DGA, respectivamente.

Tabla 5-4: Identificación de los indicadores de estado asociados al PAT/SEIA de cada operador.

Nombre Catastro	Operador (Nombre PAT/SEIA)
L1-4	SQM
L1-5	
L1-G4	
L7-4	
BA-05	ALB (PAT/SEIA Sector Acuífero)
BA-07	
BA-16	
BA-28	
BA-30	
L1-5	ALB (PAT/SEIA Norte)
L3-9	
L4-12	
L5-10	
L1-G4	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5-5: Ubicación de puntos de interés solicitados por la DGA.

ID	Referencia	Sitio	Norte* (m)	Este* (m)	Sensibilidad
PC1	OY-BAL 1	Oyape y Baltinache	7453196	581912	Alta
PC2	OY-BAL 2	Oyape y Baltinache	7453655	579610	Alta
PC3	CE	Cejar	7450657	580761	Alta
PC4	YG	Yona Grande	7447655	581789	Alta
PC5	LP-TU-TAM1	Los Pantanos, Tujlirea y Tambillo	7449624	590702	Alta
PC6	LP-TU-TAM2	Los Pantanos, Tujlirea y Tambillo	7444633	593350	Alta
PC7	RNLF-Sector 6	RNLF-Sector 6	7458050	580400	Media

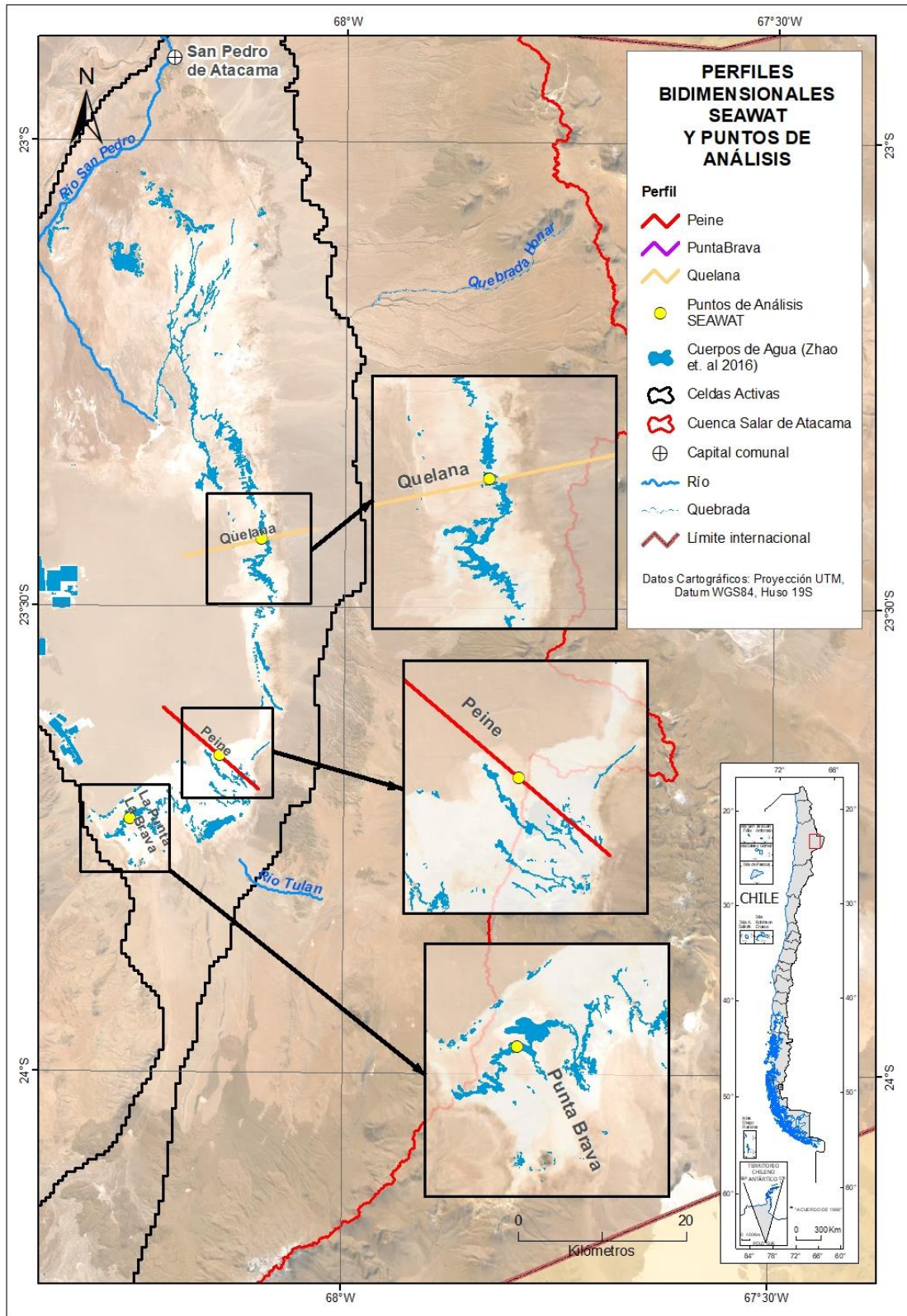
ID	Referencia	Sitio	Norte* (m)	Este* (m)	Sensibilidad
PC8	RNLF-Sector 7-1	RNLF-Sector 7	7453904	589992	Media
PC9	RNLF-Sector 7-2	RNLF-Sector 7	7449624	590702	Media
PC10	RNLF-Sector 7-3	RNLF-Sector 7	7444633	593350	Media
PC11	BAL	Baltinache	7454577	587620	Media
PC12	CE-YG	Cejar y Yona Grande	7451771	585908	Media
PC13	LP-TU-TAM3	Los Pantanos, Tujlirea y Tambillo	7453904	589992	Media
PC14	PSP	Pozo San Pedro 5	7457449	589792	Baja

(*) UTM WGS84

Fuente: Elaboración propia a partir de la información provista por la DGA.

5.3.5 Interfaz salina

Para evaluar el comportamiento de la interfaz salina bajo los distintos escenarios se utilizó el modelo SEAWAT para la modelación de flujo con densidad variable que consiste en perfiles bidimensionales ubicados en el sector Aguas de Quelana, Sistema Peine y Sistema La Punta La Brava (Figura 5-12). Dado que no hay claridad respecto de las implicancias ecológicas de los cambios en salinidad, el objetivo fue analizar cambios físicos producto de los escenarios. Los elementos analizados fueron: 1) Salinidad en los primeros 20 m de profundidad en zona representativa de las lagunas cercanas al perfil SEAWAT y 2) Desplazamiento a 10 m de profundidad de la interfaz salina, representada por la isoconcentración de 75% de concentración de salmuera, isoconcentración más cercana a los puntos donde se analizará la salinidad en los primeros 20 m de profundidad.



Fuente: Elaboración propia.

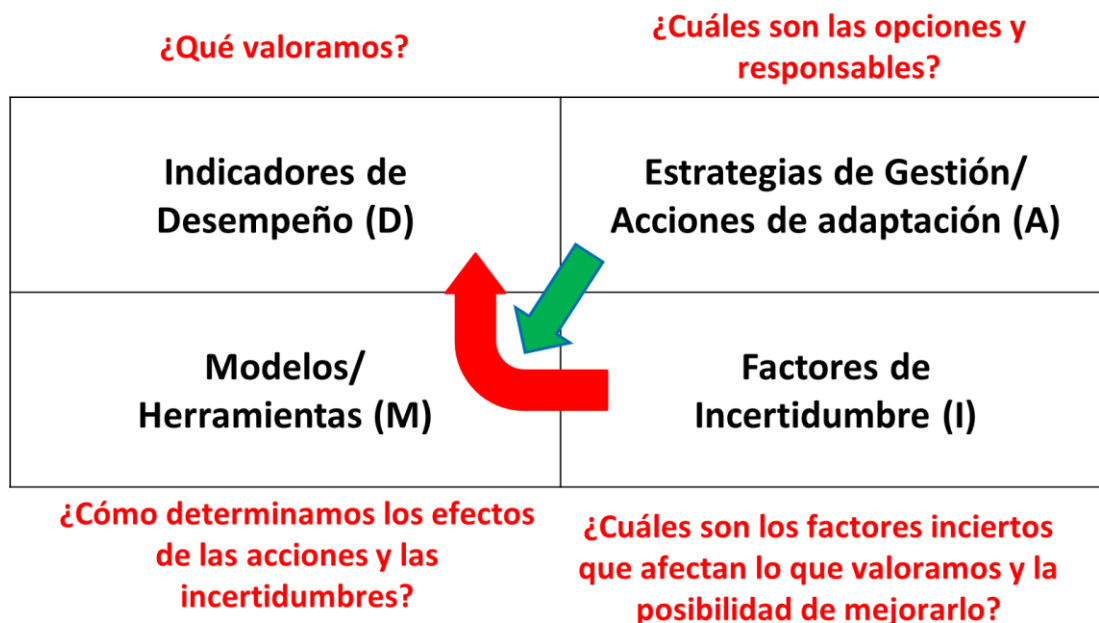
Figura 5-12: Ubicación de los perfiles bidimensionales SEAWAT para la modelación de flujo con densidad variable.

CAPÍTULO 6 METODOLOGÍA UTILIZADA EN CONSTRUCCIÓN PEGH

6.1 METODOLOGÍA RDM Y MATRICES DAMI

Una de las principales metodologías que se utiliza para alcanzar los diferentes objetivos dentro del desarrollo del Plan Estratégico de Gestión Hídrica de la cuenca del Salar de Atacama fue 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 (Figura 6-1).



Fuente: Elaboración propia

Figura 6-1: Matriz DAMI.

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.

6.1.1 Desempeños

Métricas y objetivos de desempeño. Estos indicadores nos ayudan a definir qué es lo que valoramos en torno a los recursos hídricos.

6.1.1.1 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.

e) 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 (pandemia) y de demanda de agua potable, especialmente asociado a la actividad turística dentro de la cuenca.

f) Riego

El objetivo y desempeño para la Seguridad Hídrica para Riego se describe como 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.

g) 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.

6.1.1.2 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.

6.1.1.3 Gobernanza y proceso de toma de decisiones

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.

6.1.2 Acciones

Políticas públicas, medidas o acciones consideradas para alcanzar las metas.

Tabla 6-1: Listado inicial de acciones de Seguridad Hídrica para Agua Potable.

Acciones 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.

Tabla 6-2: Listado inicial de acciones de Seguridad Hídrica para Riego.

Acciones Riego
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

Acciones Riego
Planificación para el desarrollo agro-cultural
Resoluciones sanitarias para cultivos y mataderos
Banco de semillas

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6-3: Listado inicial de acciones de Seguridad Hídrica para Protección de Ecosistemas.

Acciones Protección de Ecosistemas
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
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.

Tabla 6-4: Listado inicial de acciones de Monitoreo y Conocimiento de la cuenca.

Acciones de Monitoreo y Conocimiento
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.

Tabla 6-5: Listado inicial de acciones de Gobernanza y proceso de toma de decisiones.

Acciones de Gobernanza
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

Acciones de Gobernanza
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.

6.1.3 Modelos

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

Esta dimensión de la matriz no fue trabajada durante el proceso de participación ciudadana de manera directa, ya que esto se aprecia en las etapas de construcción del modelo dentro del estudio del plan. Aun así, se presentan talleres donde se trabajan con los diferentes actores con el propio modelo utilizado para el Plan Estratégico de Gestión Hídrica de la cuenca del Salar de Atacama.

6.1.4 Incertidumbres

Factores inciertos que pueden afectar la capacidad de alcanzar los desempeños esperados.

Las incertidumbres reconocidas por los actores convocados se asocian primero a aquellos elementos que afectan a la seguridad hídrica de la zona, luego aquellos elementos mencionados que refieren a conocimiento y monitoreo de la cuenca, y al final los elementos asociados a la gobernanza a nivel nacional y de la propia cuenca.

Las incertidumbres de la seguridad hídrica se visualizan como amenazas transversales a los objetivos planteados en esa dimensión: Riego, Agua Potable y Cuidado del Medio Ambiente. Entre estas, la más destacada por los actores fue la incertidumbre asociada a la extracción de agua fresca y salmuera por parte de las mineras y nuevos Derechos de Aprovechamiento de Agua otorgados y/o comprados por esa industria. Otras incertidumbres repetidas entre los actores son la incertidumbre en la demanda de agua debido al crecimiento de la actividad agrícola, en la disponibilidad de agua en la cuenca (principalmente acuíferos), en la oferta de agua futura debido al aumento de población y en el uso per cápita y en el impacto del turismo post-pandemia por el aumento de la población y el consumo de agua de los restaurantes. También, varios mostraron incertidumbre respecto al Cambio Climático por los escenarios de este, las precipitaciones, condiciones extremas, sequías y dinámica de sistemas sensibles. Además, se mencionaron incertidumbres asociadas a la disponibilidad de agua para el riego y saber utilizar las nuevas tecnologías para el uso eficiente de esta agua. Señalaron incertidumbre frente a la respuesta del medio biótico a los cambios en la disponibilidad de recursos hídricos y la competencia entre los actores por el agua de la cuenca.

Con respecto al conocimiento y monitoreo, la incertidumbre más nombrada está asociada a un conocimiento y monitoreo hidrológico e hidrogeológico de la cuenca (precipitaciones,

acumulación de nieve, aguas subterráneas transfronterizas). Se indicó una incertidumbre relacionada con los modelos hidrogeológicos dispersos, acotados y vinculantes para efectos del cumplimiento ambiental.

Las incertidumbres asociadas a la gobernanza están principalmente enfocadas en dos ejes, el primero en el marco legal dado la incertidumbre de diferentes actores frente a las leyes, normativas e institucionalidad ambiental, considerando la Nueva Constitución y la modificación al Código de Aguas. La segunda es respecto a los actores de la cuenca, incertidumbre asociada a la continuidad de ellos, del ingreso de nuevos actores, la confiabilidad de ellos, su voluntariedad, confiabilidad y los intereses de su comunidad. Por último, se mencionó una incertidumbre asociada a los convenios con las mineras, si estos eran beneficiosos o perjudiciales para ellos.

6.2 EVALUACIÓN DE LAS INICIATIVAS DEL PLAN

En este acápite, se presenta la metodología de evaluación de las iniciativas identificadas para el Plan Estratégico de Gestión Hídrica en la cuenca del Salar de Atacama. Esta evaluación consta de una componente, económica, social y ambiental.

6.2.1 Evaluación Económica

La evaluación económica de las iniciativas del plan tiene como objetivo estimar los costos asociados a cada uno de los componentes específicos de las iniciativas propuestas en la cartera. Es importante mencionar que se utiliza información referencial respecto a los costos, tomando en consideración la información pública respecto del gasto público y/o privado en estas materias.

Para el cálculo de aquellos costos que corresponden a años anteriores al de la evaluación, del 2020 hacia atrás, se valoriza el costo en UF de ese mismo año. Lo anterior, para poder considerar esos montos en el presente.

Los valores de la UF se obtienen desde la página del Banco Central de Chile. Todos estos valores se encuentran en la última hoja de la planilla de Excel, llamada "UF", donde se encuentran los valores de la UF entre los años 2005 y 2020.

Se usa una tasa de descuento de 6%, dado que la Tasa Social de Descuento vigente corresponde a 6% real anual.

Para la evaluación económica de las iniciativas se emplean referencias de programas, estudios y/o proyectos similares y atingentes. Las principales referencias son:

- Estudios básicos y programas que se encuentran en el Banco Integrado de Proyectos, donde se señala: el código ID, el nombre específico, el año, la duración, el monto en pesos chilenos y el monto en UF, según el año que corresponda.
- Mercado Público se utiliza para tener referencias en proyectos específicos o en ítems de costo dentro de proyectos más grandes. De ser necesario, se acompaña con el detalle a ocupar como referencia en la evaluación de la iniciativa. Se señala: el código de la licitación pública, el nombre específico, el año, la duración (en el caso que sea pertinente), el monto en pesos chilenos y el monto en UF, según el año que

corresponda. Además, en el caso de ser el costo de un ítem y no del proyecto completo, se agrega el costo unitario por ítem a evaluar.

- Para la compra de bienes como computadoras, escritorios, entre otros, se emplea una cotización en línea de estos, estableciendo rangos de los costos y utilizando el valor medio de ellos.
- Se realizaron cotizaciones en el caso de necesitar servicios externos, como laboratorios para calidad del agua, y/o para tener referencias de costos de mantención u operación, como lo es el caso de la tecnificación del riego.
- Para los sueldos de los profesionales a contratar, se obtienen las remuneraciones desde el portal de transparencia propio de la municipalidad u otra institución pertinente.

En los casos en que la información es limitada se hacen los siguientes supuestos:

Para el caso de los estudios y de los programas, se considera la contratación de un inspector fiscal (Profesional grado 8 MOP) 1/4 del tiempo por 3 meses para generar bases de los estudios y/o programas, licitación y adjudicación. Una vez que comienza el o los estudios/programas, se requiere del inspector fiscal 1/4 de tiempo por lo que duren estos estudios y/o programas. Lo anterior, para el seguimiento del desarrollo de estos estudios y/o programas.

En aquellos estudios, programas y/o planes que se realizan en una comuna o zona de mayor o menor superficie, se utiliza un orden de magnitud para una evaluación más certera del valor de estos estudios, programas y/o planes.

Además, en caso de obras hidráulicas o infraestructuras se utilizan supuestos referentes a la mantención como un porcentaje de la inversión. Porcentaje que es debidamente señalado en los supuestos de cada acción.

A continuación, se muestra un ejemplo de cómo es la evaluación económica de una acción en la Figura 6-2. Donde se indica una descripción concisa de la acción, luego el beneficio que esta genera, las referencias y supuestos utilizados, y el posible financiamiento de la acción.

Después se genera un flujo de caja considerando cada ítem para llevar a cabo la acción, diferenciándolos entre CAPEX y OPEX. Es importante señalar que los estudios, programas y planes son considerados dentro del OPEX.

La suma del CAPEX y OPEX se presenta en negrita en las filas 13 y 14 generalmente, correspondiendo estos valores al Valor Presente de la acción en su totalidad, el cual se obtiene a partir de la siguiente ecuación.

$$VP = \sum_{n=0}^{10} \frac{V_n}{(1+r)^n}$$

Donde, "VP" es el Valor Presente, "n" son los años considerados en la evaluación, "V_n" son los flujos de caja en cada año "n" y "r" representa la Tasa Social de Descuento, la cual corresponde a 6% real anual.

Dentro de la misma tabla, se observan los valores referenciales utilizados como la tasa de descuento, el salario del inspector u otro valor necesario para la evaluación económica.

Finalmente, aparece la información de cada referencia en una tabla, indicando su ID, nombre, año, duración y monto en pesos y UF.

GOB-1		Crear mesa de gobernanza hídrica											
Acción concreta	Desarrollar 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.												
Beneficios	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.												
Referencias y supuestos	Referencia 1: Banco Integrado de Proyectos (2018). Estudio básico: Análisis diseño de la gobernanza para el GIRH. ID 4000044-0. Monto: 3.681 UF. Duración: 15 meses. Supuesto 1: Se requiere de inspector fiscal (Profesional grado 8 MOP) 1/4 del tiempo por 8 meses para generar bases de los estudios, licitación, adjudicación y 24 meses de seguimiento de los estudios. Monto: 542 UF. Duración: 27 meses.												
Financiamiento	CORFO/DGA/Gobierno Regional												
Ítem	Año												
	TOTAL (VP)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Inspector técnico: Bases estudio, licitación y seguimiento	\$ 542	\$ 65	\$ 260	\$ 260	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	
Estudio legal para conformación de la mesa de gobernanza hídrica	\$ 5.399	\$ -	\$ 2.945	\$ 2.945	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	
CAPEX	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	
OPEX	\$ 5.942	\$ 65	\$ 3.205	\$ 3.205	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	
Tasa de descuento	6%												
Profesional grado 8	\$ 87												
ID	Fuente	Año	Duración (meses)	Monto (UF)	UF/mes								
4000044-0	BIP	2018	15	\$ 3.681	\$ 245								

Figura 6-2: Ejemplo de la evaluación económica propia de una iniciativa.
Fuente: Imagen capturada desde la planilla Excel de Evaluación Económica, elaboración propia

6.2.2 Evaluación Social y Ambiental

El análisis desarrollado dentro de la evaluación social de las iniciativas tiene como base los aportes entregados e identificados por parte de los diferentes actores en el contexto de las actividades PAC a lo largo del desarrollo de este estudio. Esto permite 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 6-6 presenta la justificación de cada una de estas puntuaciones.

Tabla 6-6: 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

El análisis ambiental 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 6-7 expone con mayor detalle esta clasificación.

Tabla 6-7: 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.

Puntuación del indicador ambiental	Clasificación
+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

la Tabla 6-8 presenta la asignación de los puntajes de tres expertos del equipo de trabajo, que han sido partícipes de las reuniones y actividades PAC, además de tener una experiencia y conocimiento acabado sobre análisis de impacto ambiental. Los valores de las celdas de las columnas que dicen "Promedio" se obtienen promediando la asignación de puntaje de los tres expertos equitativamente.

Tabla 6-8: Asignación de puntuación de los indicadores social y ambiental para las iniciativas por parte de los expertos.

Lista de iniciativas	Experto N°1	Experto N°2	Experto N°3	Promedio	Experto N°1	Experto N°2	Experto N°3	Promedio
	Evaluación Social				Evaluación Ambiental			
GOB-1	3	3	3	3,0	2	1	1	1,3
GOB-2	2	2	2	2,0	2	1	1	1,3
GOB-3	1	2	2	1,7	1	1	1	1,0
AP-1	3	3	3	3,0	0	0	0	0,0
AP-2	3	3	3	3,0	0	0	0	0,0
AP-3	2	2	1	1,7	0	0	0	0,0
AP-4	1	2	2	1,7	1	1	1	1,0
AP-5	2	2	3	2,3	2	2	2	2,0
AP-6	1	1	2	1,3	0	1	0	0,3
PE/MON-1	3	3	3	3,0	2	2	2	2,0
PE/MON-2	3	3	3	3,0	2	2	1	1,7
PE/MON-3	2	3	3	2,7	2	1	1	1,3
PE/MON-4	3	2	2	2,3	1	0	0	0,3
PE/MON-5	2	1	2	1,7	2	1	1	1,3
R-1	2	2	2	2,0	-1	-1	-1	-1,0
R-2	2	2	2	2,0	-1	0	0	-0,3
R-3	2	1	2	1,7	0	0	0	0,0
R-4	2	1	2	1,7	0	1	1	0,7

Fuente: Elaboración propia

A partir de los resultados expuestos en la Tabla 6-8, se generan los indicadores relativos, tanto social como ambiental, los cuales se obtienen haciendo un ranking de los indicadores de mayor a menor de las iniciativas (Tabla 6-9).

Tabla 6-9: Indicadores relativos social y ambiental para las iniciativas.

Lista de iniciativas	Indicador relativo Social	Indicador relativo Ambiental
AP-1	1°	13°
AP-2	1°	13°
AP-3	12°	13°
AP-4	12°	8°
AP-5	7°	1°
AP-6	18°	11°
R-1	9°	18°
R-2	9°	17°
R-3	12°	13°
R-4	12°	10°
PE/MON-1	1°	1°
PE/MON-2	1°	3°
PE/MON-3	6°	4°
PE/MON-4	7°	11°
PE/MON-5	12°	4°
GOB-1	1°	4°
GOB-2	9°	4°
GOB-3	12°	8°

Fuente: Elaboración propia

Es importante señalar que este resultado es parte importante para el ordenamiento temporal de las iniciativas.