



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

Plan Estratégico de Gestión Hídrica en la Cuenca de la Pampa del Tamarugal

INFORME FINAL

REALIZADO POR:

ICASS SpA

S.I.T. N°473

Santiago, abril 2021.

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

Ministro de Obras Públicas
Ingeniero Civil Sr. Alfredo Moreno Charme

Director General de Aguas
Ingeniero Comercial Sr. Óscar Cristi Marfil

Jefe División de Estudios y Planificación
Ingeniero Civil Sr. Mauricio Lorca

Inspector Fiscal
Geólogo Sr. Marcelo Aliaga Alvarado

Inspectora Fiscal Subrogante
Ingeniera Agrícola Srta. Pamela García Serrano

Asesor Modelación Integrada
Ingeniero Civil Sr. Pedro Sanzana Cuevas

Profesionales DGA
Ingeniera en Recursos Naturales Renovables María Victoria Aedo
Aedo

Ingeniero Civil Agrícola Abraham Arévalo Neira
Ingeniero Civil en Obras Civiles Pablo Costa Tapia
Geólogo Nicolás Lara Yañez
Cartógrafo Guillermo Tapia Molina

INGENIERÍA Y CONSULTORÍA EN AGUAS SPA

Bernardo Capino Díaz

Jefe de Proyecto

Ingeniero Civil

Profesionales:

Ingeniero Civil Adrián Lillo

Hidrogeólogo Kirk Heatwole

Ingeniero Civil Mauricio Zambrano

Hidrogeólogo Wolf von Igel

Antropóloga Social Kapris Tabilo

Especialista SIG Luis Acevedo

Economista Rodrigo Morera

Geóloga Begoña Urtubia

Ingeniera Civil Paulina Rodríguez

Equipo Complementario:

Hidrogeóloga Carolina Saavedra

Ingeniero Ambiental Felipe González

Geólogo José Bustamante

Ingeniero Civil Rodrigo Marinao

Economista Sebastián Barrios

Para citar bibliográficamente este estudio, se recomienda hacerlo de la siguiente forma:

Dirección General de Aguas (DGA), 2021. Plan Estratégico de Gestión Hídrica en las Cuencas de Lluta y Pampa del Tamarugal, SIT N°473, Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, División de Estudios y Planificación, Santiago, Chile. Realizado por: ICASS SpA.

Tabla de Contenido General

1.	INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	1
1.1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.2	OBJETIVOS.....	2
2.	CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA	4
2.1	DIMENSIÓN FÍSICA.....	6
2.1.1	Geomorfología	6
2.1.2	Geología	8
2.1.3	Suelo.....	15
2.1.4	Hidrología	15
2.1.5	Hidrogeología	27
2.1.6	División político-administrativa	41
2.1.7	Actividad Económica.....	43
2.2	CLIMA.....	47
2.2.1	Caracterización climática.....	47
2.2.2	Eventos extremos y variabilidad climática	50
2.2.3	Escenarios de cambio climático	54
2.3	DIMENSIÓN AMBIENTAL	62
2.3.1	Unidades ecosistémicas	62
2.3.2	Sitios o áreas protegidas.....	66
2.3.3	Glaciares.....	69
2.3.4	Aguas fósiles	71
2.4	INFRAESTRUCTURA.....	71
2.4.1	Obras hidráulicas	71
2.4.2	Redes de medición	78
2.5	NUEVAS FUENTES EXISTENTES	89
2.5.1	Recarga de Acuíferos	90
2.5.2	Desalinización.....	90
2.5.3	Uso de aguas servidas tratadas.....	90
2.5.4	Atrapanieblas	91
2.6	GOBERNANZA DEL AGUA A NIVEL CUENCA.....	91
2.6.1	Mapa de agentes.....	92
2.6.2	Síntesis de Reuniones PAC cuenca de la Pampa del Tamarugal	106
2.6.3	Brechas de coordinación.....	110
2.6.4	Brechas de Información	116
3.	DEMANDA FÍSICA Y LEGAL DIFERENTES USOS	119
3.1	USO HUMANO	121
3.1.1	Demografía	121
3.1.2	Agua potable urbana, histórica y proyectada	122
3.1.3	Agua potable rural, histórica y proyectada.....	129
3.1.4	Derechos de agua para uso humano	132
3.2	NECESIDADES MÍNIMAS AMBIENTALES	133
3.2.1	Consideración de sistemas protegidos (en estudio de demanda calidad).....	133
3.2.2	Derechos de agua para el medio ambiente: caudales ecológicos.....	133
3.3	DEMANDA AGRÍCOLA.....	134
3.3.1	Caracterización general de la demanda agrícola	134

3.3.2	Zonas de riego modeladas.....	136
3.3.3	Derechos de agua para la agricultura.....	136
3.4	DEMANDA MINERA	137
3.4.1	Demanda hídrica para uso minero	137
3.4.2	Derechos de aprovechamientos.....	140
3.5	DEMANDA INDUSTRIAL	143
3.5.1	Demanda hídrica para uso industrial.....	143
3.5.2	Derechos de aprovechamiento	143
3.6	OTRAS DEMANDAS	145
3.6.1	Demanda hídrica para uso pecuario	145
3.6.2	Demanda hídrica para uso forestal	147
3.6.3	Otras	150
3.7	SÍNTESIS DE DEMANDA.....	151
3.8	MONITOREO DE EXTRACCIONES EFECTIVAS.....	152
3.9	MERCADO DE AGUAS.....	155
3.9.1	Número de Transacciones	155
3.9.2	Valor del Agua	157
4.	OFERTA HÍDRICA.....	159
4.1	AGUA SUPERFICIAL.....	159
4.1.1	Fuentes.....	159
4.1.2	Oferta en la fuente	161
4.1.3	Oferta en la fuente proyectada.....	162
4.1.4	Calidad actual	163
4.1.5	Fuentes de contaminación	165
4.1.6	Oferta de Agua Superficial.....	169
4.1.7	Derechos concedidos	170
4.2	AGUA SUBTERRÁNEA (SHACS)	174
4.2.1	Sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común (SHAC).....	174
4.2.2	Stock, recarga y niveles	180
4.2.3	Estadística de parámetros de calidad	184
4.2.4	Fuentes de contaminación	190
4.2.5	Vulnerabilidad de acuíferos.....	190
4.2.6	Derechos concedidos	191
4.3	GLACIARES.....	195
4.4	RESULTADO OFERTA DE AGUA	195
5.	BALANCE DE AGUA.....	196
5.1	MODELO DE SIMULACIÓN.....	198
5.1.1	Situación actual	200
5.1.2	Situación proyectada	204
5.2	BRECHAS SOBRE EL RECURSO HÍDRICO.....	206
5.3	SUSTENTABILIDAD	206
5.3.1	Descensos Sustentables	207
5.3.2	Afectación al río	208
5.3.3	Satisfacción de la demanda	208
5.3.4	Pozos secos	208
5.3.5	Resumen.....	209
5.4	INDICADORES HÍDRICOS DE LA CUENCA.....	210
5.5	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.....	211

5.5.1	Definición de escenarios.....	211
5.5.2	Resultados escenarios de gestión	211
5.6	BRECHAS DE INFORMACIÓN.....	217
5.6.1	Actividad Económica	218
5.6.2	Glaciares.....	218
5.6.3	Mercado de Aguas.....	218
5.6.4	Brechas de la modelación.....	218
6.	ACCIONES.....	220
6.1	EJES Y OBJETIVOS PARA EL PEGH.....	220
6.2	CARTERA DE INICIATIVAS DE INVERSIÓN VIGENTES	221
6.2.1	Obras de Infraestructura	222
6.2.2	Medidas de Gestión	225
6.2.3	Otras medidas	234
6.2.4	Iniciativas interregionales.....	236
6.3	ACCIONES PRESENTADAS EN PAC	240
6.3.1	Relación acciones y objetivos del plan.....	241
6.4	RELACIÓN ENTRE BRECHAS DEL PLAN, EJES Y ACCIONES.....	243
6.5	ACCIONES ADICIONALES	243
6.5.1	Recomendaciones a partir de los resultados de la modelación	244
6.5.2	Recomendaciones de potenciales iniciativas para mediano/largo plazo .	244
7.	CARTERA DE INICIATIVAS PROPUESTAS	247
7.1	PRIORIZACIÓN DE ACCIONES	247
7.2	SÍNTESIS DE LAS INICIATIVAS PRIORIZADAS	257
7.3	FICHAS RESUMEN DE LAS INICIATIVAS PROPUESTAS.....	260
7.4	CRONOGRAMA DE LAS INICIATIVAS PROPUESTAS	262
7.5	VALORIZACIÓN DEL PLAN	263
8.	IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN	265
8.1	ESTRUCTURA DEL PLAN DE GESTIÓN	265
8.2	PLAZOS DE IMPLEMENTACIÓN.....	265
8.3	ESTRATEGIA DE IMPLEMENTACIÓN	265
8.3.1	Aspectos institucionales	265
8.3.2	Aspectos de cultura del agua	266
8.3.3	Aspectos de financiamiento	267
8.3.4	Aspectos normativos	267
8.3.5	Aspectos relacionados con el ciclo político	268
8.3.6	Proceso de implementación	268
8.4	GOBERNANZA DEL PLAN ESTRATÉGICO.....	269
8.5	ESTRATEGIA DE COMUNICACIÓN	272
8.5.1	Comunicación y difusión durante el desarrollo del estudio	273
8.3.2	Comunicación y difusión del PEGH en fases posteriores	274
8.6	ANÁLISIS DE EXTERNALIDADES.....	275
9.	MONITOREO Y EVALUACIÓN DEL PLAN.....	276
9.1	PLAN DE MONITOREO.....	276
9.2	MECANISMOS DE EVALUACIÓN, ACTUALIZACIÓN Y TOMA DE DECISIONES.....	279
10.	ASPECTOS NORMATIVOS	280

ANEXO A. ABREVIATURAS

ANEXO B. REFERENCIAS

ANEXO C. GLOSARIO

ANEXO D. FIGURAS

ANEXO E. ANTECEDENTES

ANEXO F. ASPECTOS METODOLÓGICOS

ANEXO G. SIG

ANEXO H. MODELACIÓN

ANEXO I. ACTIVIDADES PAC

ANEXO J. INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA DE LA CUENCA Y SU DIAGNÓSTICO

Índice de Figuras

FIGURA 2.1 CUENCA Y SUBCUENCAS DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL.....	5
FIGURA 2.2 GEOMORFOLOGÍA DE LA CUENCA DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL.....	7
FIGURA 2.3 LITOLOGÍA Y ESTRUCTURAS DE LA CUENCA DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL.	10
FIGURA 2.4 PERFIL ESQUEMÁTICO GEOLÓGICO-ESTRUCTURAL DE LA REGIÓN DE TARAPACÁ.	14
FIGURA 2.5 DELIMITACIÓN DE UNIDADES HIDROGRÁFICAS DE LA ZONA DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL.	17
FIGURA 2.6 PRECIPITACIÓN ANUAL EN LA CUENCA PAMPA DEL TAMARUGAL PARA EL PERIODO 1985-2019, MEDIANTE BASE DE DATOS CR2MET.....	19
FIGURA 2.7 DISTRIBUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (MM) EN LA CUENCA PAMPA DEL TAMARUGAL.....	20
FIGURA 2.8 DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE PRECIPITACIONES EN LA CUENCA PAMPA DEL TAMARUGAL.	22
FIGURA 2.9 CAUDALES MEDIOS MENSUALES EN ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS Y PRECIPITACIÓN (Pp) MEDIA MENSUAL EN ESTACIÓN QUEBRADA TARAPACÁ EN SIBAYA.	25
FIGURA 2.10 CAUDALES DIARIOS REGISTRADOS EN LAS ESTACIONES QUEBRADA TARAPACÁ EN SIBAYA Y QUEBRADA TARAPACÁ EN LAONZANA.....	26
FIGURA 2.11 CAUDALES MEDIOS ANUALES ESTIMADOS EN LAS ESTACIONES QUEBRADA TARAPACÁ EN SIBAYA Y QUEBRADA TARAPACÁ EN LAONZANA.	27
FIGURA 2.12 PROSPECCIONES GEOFÍSICAS POR GRAVIMETRÍA, TEM O NANO-TEM DE ESTUDIOS ANTERIORES.	28
FIGURA 2.13 ACUÍFEROS EN CUENCA PAMPA DEL TAMARUGAL.	31
FIGURA 2.14 MAPA DE UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS DE LA CUENCA DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL... ..	35
FIGURA 2.15 UBICACIÓN DE POZOS DE MONITOREO DE LA DGA Y VARIACIÓN DEL NIVEL ESTÁTICO. ...	37
FIGURA 2.16 EVOLUCIÓN TEMPORAL DEL NIVEL ESTÁTICO EN POZO JICA 3 (DESCENSO) Y EN POZO CHACARILLA (ASCENSO), PERIODO 1999-2012.....	38
FIGURA 2.17 VARIACIÓN DE NIVEL PIEZOMÉTRICO A LO LARGO DE LA COORDENADA UTM ESTE CON RESPECTO A LA UBICACIÓN DE LOS ANTICLINALES LA CALERA Y LONGACHO.	39
FIGURA 2.18 MAPA PIEZOMÉTRICO DE LA CUENCA DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL. (A) MAPA DE ISOPIEZAS (M S.N.M.). (B) MAPA DE ISOPROFUNDIDADES DEL AGUA SUBTERRÁNEA (M B.S.T.).....	40
FIGURA 2.19 PROVINCIAS Y COMUNAS DE LA REGIÓN DE TARAPACÁ.	42
FIGURA 2.20 ESTRUCTURA DEL PIB REGIÓN DE TARAPACÁ AÑO 2018.....	46
FIGURA 2.21 CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA DE KÖPPEN EN LA CUENCA DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL.....	48
FIGURA 2.22 SERIE DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 HORAS (1985-2019).	51
FIGURA 2.23 COMPARACIÓN DE VALORES TEÓRICOS A PARTIR DE LA DISTRIBUCIÓN LOG-NORMAL (LÍNEA VERDE), VALORES EMPÍRICOS (PUNTOS) E INTERVALOS DE CONFIANZA (LÍNEAS PUNTEADAS ROJAS), PARA LA PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HRS.....	52
FIGURA 2.24 SERIE DE CAUDALES MÁXIMOS ANUALES (1985-2019).....	53
FIGURA 2.25 COMPARACIÓN DE VALORES TEÓRICOS A PARTIR DE LA DISTRIBUCIÓN LOG-NORMAL (LÍNEA VERDE), VALORES EMPÍRICOS (PUNTOS) E INTERVALOS DE CONFIANZA (LÍNEAS PUNTEADAS ROJAS), PARA EL CAUDAL MÁXIMO ANUAL.....	54
FIGURA 2.26 PRECIPITACIÓN ANUAL HISTÓRICA Y PROYECCIONES DERIVADAS DEL ESTUDIO ABHN, PARA LA CUENCA DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL. EN LÍNEAS PUNTEADAS SE MARCA LA LÍNEA DE TENDENCIA DE CADA SERIE TEMPORAL.	55

FIGURA 2.27	BOXPLOTS PARA LAS PRECIPITACIONES MEDIAS ANUALES PROYECTADAS EN LA CUENCA DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL, DE ACUERDO A LOS GCMs CONSIDERADOS EN EL ESTUDIO ABHN. EN LÍNEA PUNTEADA SE REPRESENTA EL VALOR DEL PERIODO HISTÓRICO.....	56
FIGURA 2.28	DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL HISTÓRICA EN LA CUENCA DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL, Y LAS CORRESPONDIENTES VARIACIONES PORCENTUALES PROYECTADAS DE ACUERDO A LOS GCMs CONSIDERADOS EN EL ESTUDIO ABHN.	57
FIGURA 2.29	TEMPERATURA MEDIA ANUAL HISTÓRICA Y PROYECCIONES DERIVADAS DEL ESTUDIO ABHN, PARA LA CUENCA DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL. EN LÍNEAS PUNTEADAS SE MARCA LA LÍNEA DE TENDENCIA DE CADA SERIE TEMPORAL.	58
FIGURA 2.30	BOXPLOTS PARA LAS TEMPERATURAS MEDIAS ANUALES PROYECTADAS EN LA CUENCA DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL, DE ACUERDO A LOS GCMs CONSIDERADOS EN EL ESTUDIO ABHN. EN LÍNEA PUNTEADA SE REPRESENTA EL VALOR DEL PERIODO HISTÓRICO.....	58
FIGURA 2.31	DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA TEMPERATURA MEDIA ANUAL HISTÓRICA EN LA CUENCA DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL, Y LAS CORRESPONDIENTES VARIACIONES ABSOLUTAS PROYECTADAS DE ACUERDO A LOS GCMs CONSIDERADOS EN EL ESTUDIO ABHN.	59
FIGURA 2.32	ESCORRENTÍA ANUAL HISTÓRICA Y PROYECCIONES DERIVADAS DEL ESTUDIO ABHN, PARA LA CUENCA DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL. EN LÍNEAS PUNTEADAS SE MARCA LA LÍNEA DE TENDENCIA DE CADA SERIE TEMPORAL.	60
FIGURA 2.33	BOXPLOTS PARA LOS VALORES DE ESCORRENTÍA ANUAL PROYECTADOS EN LA CUENCA DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL, DE ACUERDO A LOS GCMs CONSIDERADOS EN EL ESTUDIO ABHN. EN LÍNEA PUNTEADA SE REPRESENTA EL VALOR DEL PERIODO HISTÓRICO.....	60
FIGURA 2.34	DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA ESCORRENTÍA MEDIA ANUAL HISTÓRICA EN LA CUENCA DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL, Y LAS CORRESPONDIENTES VARIACIONES ABSOLUTAS PROYECTADAS DE ACUERDO A LOS GCMs CONSIDERADOS EN EL ESTUDIO ABHN.	61
FIGURA 2.35	FORMACIONES VEGETACIONALES DE LUEBERT & PLISCOFF (2017).	63
FIGURA 2.36	HUMEDALES DE LA CUENCA PAMPA DEL TAMARUGAL.	65
FIGURA 2.37	SITIOS O ÁREAS PROTEGIDAS EN LA CUENCA PAMPA DEL TAMARUGAL.	68
FIGURA 2.38	UBICACIÓN Y TIPO DE GLACIARES EN LA CUENCA PAMPA DEL TAMARUGAL.	70
FIGURA 2.39	CANALES EN LA CUENCA DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL.....	74
FIGURA 2.40	DISTRIBUCIÓN DEL SISTEMA APR Y LOCALIDADES NO ABASTECIDAS.	77
FIGURA 2.41	ESTACIONES METEOROLÓGICAS VIGENTES EN LA CUENCA PAMPA DEL TAMARUGAL CON ANTECEDENTES DISPONIBLES.....	81
FIGURA 2.42	UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS VIGENTES DE LA DGA EN LA CUENCA DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL.	83
FIGURA 2.43	MAPA DE ESTACIONES DE MONITOREO DE NIVELES VIGENTES DE LA DGA EN LA ZONA DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL.	86
FIGURA 2.44	ESTACIONES DE CALIDAD DE AGUA DGA DE LA CUENCA PAMPA DEL TAMARUGAL.....	88
FIGURA 2.45	REPRESENTACIÓN GENERAL DE ACTORES/AGENTES VINCULADOS AL RECURSO HÍDRICO, PAC PAMPA DEL TAMARUGAL, 2021.	93
FIGURA 2.46	GRUPOS DE INTERÉS O STAKEHOLDERS PEGH CUENCA PAMPA DEL TAMARUGAL.	104
FIGURA 2.47	JURISDICCIÓN DE LAS OUA EN LA PAMPA DEL TAMARUGAL.	111
FIGURA 2.48	SOCIOGRAMA DE REDES DE ACTORES.....	115
FIGURA 3.1	PROYECCIÓN DEMANDA DE APU DE CONSUMO Y PRODUCCIÓN ANUAL (MM ³ /AÑO) – PERÍODO 2016- 2040 – CUENCA DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL.....	128

FIGURA 3.2 PROYECCIÓN DEMANDA HÍDRICA PARA AGUA POTABLE RURAL ANUAL (MM ³ /AÑO) – PERÍODO 2016-2040 – SUBCUENCAS DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL.	132
FIGURA 3.3 PROYECCIÓN DEMANDA HÍDRICA USO AGRÍCOLA FUTURA TOTAL (AÑO 2040) – CUENCA DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL.	136
FIGURA 3.4 PROYECCIÓN DEMANDA HÍDRICA MINERA ANUAL (CONSUNTIVA, MM ³ /AÑO) – PERÍODO 2016-2040 – CUENCA DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL – VALOR INFERIOR, CENTRAL Y SUPERIOR, N.C. 70%.	140
FIGURA 3.5 PROYECCIÓN DEMANDA HÍDRICA PARA USO PECUARIO ANUAL (MM ³ /AÑO) –PERÍODO 2016-2040 – SUBCUENCAS DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL	147
FIGURA 3.6 PROYECCIÓN DEMANDA HÍDRICA PARA USO FORESTAL ANUAL (MM ³ /AÑO) – PERÍODO 2016-2040 – SUBCUENCAS DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL.	150
FIGURA 3.7 DISTRIBUCIÓN DE LAS DEMANDAS CONSUNTIVAS (AÑO 2020) – CUENCA DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL.....	151
FIGURA 3.8 N° DE TRANSACCIONES DE DERECHOS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEOS INFORMADOS POR EL CBR A LA DGA, DESDE AÑO 2005-2020.....	156
FIGURA 3.9 CAUDALES MEDIOS TRANSADOS DE DERECHOS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEOS INFORMADOS POR EL CBR A LA DGA, DESDE AÑO 2005-2020.	157
FIGURA 3.10 PRECIOS MEDIOS DE LAS TRANSACCIONES DE DERECHOS DE AGUA SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEOS EN LA REGIÓN DE TARAPACÁ ENTRE 2005 Y 2020.	158
FIGURA 4.1 CONCENTRACIÓN EN EL TIEMPO DE BORO Y ARSÉNICO EN ESTACIÓN QUEBRADA TARAPACÁ EN LAONZANA Y COMPARACIÓN CON NORMAS DE CALIDAD NCH 409 Y NCH 1333.	164
FIGURA 4.2 CONCENTRACIÓN EN EL TIEMPO DE BORO Y ARSÉNICO EN ESTACIÓN RÍO COSCAYA EN SAITOCO Y COMPARACIÓN CON NORMAS DE CALIDAD NCH 409 Y NCH 1333.	165
FIGURA 4.3 INSTALACIONES MINERAS EN LA CUENCA PAMPA DEL TAMARUGAL.....	166
FIGURA 4.4 DEPÓSITOS DE RELAVES SERNAGEOMIN.	168
FIGURA 4.5 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LOS DAA SUPERFICIALES EN LA CUENCA DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL.....	173
FIGURA 4.6 SECTORES HIDROGEOLÓGICOS DE APROVECHAMIENTO COMÚN EN LA CUENCA DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL.	176
FIGURA 4.7 ZONAS DE PROHIBICIÓN Y ÁREAS DE RESTRICCIÓN DE LOS SHAC DE LA CUENCA DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL.	179
FIGURA 4.8 NIVELES OBSERVADOS EN POZOS DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL (UBICADOS DE NORTE A SUR).	182
FIGURA 4.9 NIVELES OBSERVADOS EN POZOS DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL (UBICADOS DE NORTE A SUR) (CONT.).	183
FIGURA 4.10 EVOLUCIÓN TEMPORAL DE PH EN ESTACIONES DE AGUAS SUBTERRÁNEA EN LA CUENCA PAMPA DEL TAMARUGAL.	188
FIGURA 4.11 EVOLUCIÓN TEMPORAL DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN ESTACIONES DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA CUENCA PAMPA DEL TAMARUGAL.	189
FIGURA 4.12 EVOLUCIÓN TEMPORAL DE CLORURO EN ESTACIONES DE AGUA SUBTERRÁNEAS DE LA CUENCA PAMPA DEL TAMARUGAL.....	190
FIGURA 4.13 MAPA DE VULNERABILIDAD DE ACUÍFEROS EN LA REGIÓN DE TARAPACÁ.	191
FIGURA 4.14 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LOS DAA SUBTERRÁNEOS EN LA CUENCA DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL.....	194

FIGURA 5.1 DOMINIOS MODELACIÓN WEAP Y MODFLOW EN LA CUENCA DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL.	197
FIGURA 5.2 CAUDALES DIARIOS SIMULADOS Y OBSERVADOS (1995 – 2019) EN ESTACIÓN QUEBRADA TARAPACÁ EN SIBAYA (ARRIBA) Y ESTACIÓN QUEBRADA TARAPACÁ EN LAONZANA (ABAJO).....	198
FIGURA 5.3 AJUSTE MODELO SUBTERRÁNEO ESTACIONARIO CNP, Y TRANSIENTE CAT.....	200
FIGURA 5.4 EVOLUCIÓN DEL BALANCE HÍDRICO SUBTERRÁNEO, CAT 1960-2019.....	201
FIGURA 5.5 HIDROGRAMAS SELECCIONADOS MODELO SUBTERRÁNEO, UBICADOS CERCANOS A HUARA, EL CARMELO, SALAR DE PINTADOS, Y SALAR DE BELLAVISTA RESPECTIVAMENTE.	203
FIGURA 5.6 EVOLUCIÓN DEL BALANCE HÍDRICO SUBTERRÁNEO, CAT 1960-2050.....	204
FIGURA 5.7 ISOVARIACIÓN DE LA SUPERFICIE FREÁTICA PERIODO 2019-2050, SITUACIÓN PROYECTADA BAU, EN NEGRO UBICACIÓN REFERENCIAL DE LAS BATERÍAS DE POZOS EL CARMELO, CANCHONES, Y SQM, RESPECTIVAMENTE DE NORTE A SUR.....	205
FIGURA 5.8 HISTOGRAMA DE DESCENSOS CALCULADO POR POZO ENTRE SITUACIÓN 1960 Y 2019...	209
FIGURA 5.9 BALANCE HÍDRICO SUBTERRÁNEO NETO, ESCENARIO GESTIÓN N°1.	212
FIGURA 5.10 BALANCE HÍDRICO SUBTERRÁNEO NETO, ESCENARIO GESTIÓN N°2.....	213
FIGURA 5.11 BALANCE HÍDRICO SUBTERRÁNEO NETO, ESCENARIO GESTIÓN N°3.....	214
FIGURA 5.12 EVOLUCIÓN DE NIVELES PARA LOS 4 ESCENARIOS (INCLUYE REGISTRO HISTÓRICO).....	214
FIGURA 5.13 VARIACIÓN DE LA SUPERFICIE FREÁTICA AL AÑO 2050 RESPECTO A AÑO 2019, EN NEGRO UBICACIÓN REFERENCIAL DE LAS BATERÍAS DE POZOS EL CARMELO, CANCHONES, Y SQM, RESPECTIVAMENTE DE NORTE A SUR.	215
FIGURA 5.14 COMPARACIÓN DE LA EVOLUCIÓN DE LA SUPERFICIE FREÁTICA ESCENARIO 2 RESPECTO A 2019, PARA HORIZONTES DE SIMULACIÓN 2050 Y 2550.	216
FIGURA 5.15 HIDROGRAMA REPRESENTATIVO COMPORTAMIENTO DEL ACUÍFERO AL MUY LARGO PLAZO, ESCENARIO 2.	216
FIGURA 6.1 CLASIFICACIÓN A CONSIDERAR PARA LAS INICIATIVAS HÍDRICAS LEVANTADAS.	222
FIGURA 6.2 MAPA MUNDIAL DE LA EVALUACIÓN DEL ODS 6.5.1.	226
FIGURA 7.1 ESQUEMA GENERAL PARA ELABORACIÓN DE PLAN DE ACCIÓN.....	251
FIGURA 7.2 DISTRIBUCIÓN DE VAC (\$ MILLONES DE PESOS) SEGÚN EJECUTOR: INICIATIVAS PRIORIZADAS.	264
FIGURA 8.1 ESQUEMA DE LA EJECUCIÓN DE INICIATIVAS DEL PEGH.	269
FIGURA 8.2 ESQUEMA DE GOBERNANZA PARA EL PEGH.	272
FIGURA 8.3 ESTRATEGIA COMUNICACIONAL PEGH.	273

Índice de Tablas

TABLA 2-1 SUBCUENCAS DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL, SEGÚN DELIMITACIÓN ICASS 2020.	6
TABLA 2-2 DISPONIBILIDAD DE INFORMACIÓN EN ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS DGA, PERIODO 1985-2019.	18
TABLA 2-3 PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL EN SUBCUENCAS DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL.	21
TABLA 2-4 PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL EN LA CUENCA PAMPA DEL TAMARUGAL PARA EL PERIODO 1985-2019.	21
TABLA 2-5 VALORES DE EVAPOTRANSPIRACIÓN PARA LOS TAMARUGOS ESTIMADOS POR DIVERSOS AUTORES.	23
TABLA 2-6 EVAPOTRANSPIRACIÓN MEDIA ANUAL EN SUBCUENCAS DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL.	24
TABLA 2-7 DISPONIBILIDAD DE INFORMACIÓN EN ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS DGA, PERIODO 1985-2019.	24
TABLA 2-8 CAUDAL MEDIO ANUAL EN LAS ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS DE LA CUENCA PAMPA DEL TAMARUGAL.	25
TABLA 2-9 RESUMEN DE VALORES DE T (M ² /DÍA) POR UNIDAD HIDROGEOLÓGICA, RECOPIADOS POR SERNAGEOMIN (2017).	36
TABLA 2-10 RESUMEN DE LOS DESCENSOS DEL NIVEL FREÁTICO EN M/AÑO SEGÚN SERNAGEOMIN (2017).	38
TABLA 2-11 PROVINCIAS Y COMUNAS DE LA REGIÓN DE TARAPACÁ.	41
TABLA 2-12 EMPRESAS DE MINERÍA NO METÁLICA CUENCA PAMPA DEL TAMARUGAL.	43
TABLA 2-13 PRODUCCIÓN DE MINERÍA NO METÁLICA (MILES DE TONELADAS).	43
TABLA 2-14 EMPRESAS DE MINERÍA METÁLICA.	44
TABLA 2-15 PRODUCCIÓN DE COBRE FINO POR YACIMIENTO (MILES DE TONELADAS MÉTRICAS).	44
TABLA 2-16 SUPERFICIE TOTAL SEMBRADA O PLANTADA POR GRUPO DE CULTIVOS Y POR COMUNA EN LA CUENCA DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL.	44
TABLA 2-17 VISITAS SNASPE I REGIÓN.	45
TABLA 2-18 ESTRUCTURA PRODUCTIVA REGIONAL DE TARAPACÁ AÑO 2018.	46
TABLA 2-19 REPORTES DE CRECIDAS EN LAS SUBCUENCAS APORTANTES A LA PAMPA DEL TAMARUGAL.	50
TABLA 2-20 RESULTADOS DE ANÁLISIS DE FRECUENCIA PARA PRECIPITACIÓN.	52
TABLA 2-21 RESULTADOS DE ANÁLISIS DE FRECUENCIA PARA CAUDAL.	53
TABLA 2-22 RESUMEN CUANTITATIVO DE LA SERIE HISTÓRICA (1985-2015) Y LAS SERIES PROYECTADAS, DE PRECIPITACIONES ANUALES EN LA CUENCA DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL.	56
TABLA 2-23 RESUMEN CUANTITATIVO DE LA SERIE HISTÓRICA (1985-2015) Y LAS SERIES PROYECTADAS, DE TEMPERATURAS MEDIAS ANUALES EN LA CUENCA DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL.	59
TABLA 2-24 RESUMEN CUANTITATIVO DE LA SERIE HISTÓRICA (1985-2015) Y LAS SERIES PROYECTADAS, DE VALORES DE ESCORRENTÍA MEDIA ANUAL EN LA CUENCA DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL.	61
TABLA 2-25 UBICACIÓN HUMEDALES EN LA CUENCA PAMPA DEL TAMARUGAL.	64
TABLA 2-26 CLASIFICACIÓN HUMEDALES EN LA CUENCA PAMPA DEL TAMARUGAL.	66
TABLA 2-27 SITIOS Y ÁREAS PROTEGIDAS DE LA CUENCA PAMPA DEL TAMARUGAL.	67
TABLA 2-28 DISTRIBUCIÓN GLACIARES ROCOSOS POR SUBCUENCA.	69

TABLA 2-29 ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LA RED DE CANALES.	72
TABLA 2-30 LONGITUD DE CANALES SEGÚN SU MATERIALIDAD.	72
TABLA 2-31 INFRAESTRUCTURA DE CANALES A NIVEL DE SUBCUENCAS DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL..	73
TABLA 2-32 COBERTURA Y DÉFICIT DEL SISTEMA DE APR A NIVEL DE SUBCUENCAS.	76
TABLA 2-33 RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE POR LOCALIDAD.	78
TABLA 2-34 CATASTRO DE INFRAESTRUCTURA SANITARIA PARA LA ETAPA DE PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE.	78
TABLA 2-35 NÚMERO Y DISTRIBUCIÓN POR SUBCUENCAS DE LAS ESTACIONES VIGENTES DE LA RED HIDROMÉTRICA DGA EN LA CUENCA DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL.	79
TABLA 2-36 ESTACIONES METEOROLÓGICAS DGA VIGENTES EN LA CUENCA DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL CON ANTECEDENTES DISPONIBLES. VER UBICACIÓN EN FIGURA 2.41 SEGÚN NÚMERO (#).	80
TABLA 2-37 ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS EN LA CUENCA DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL. VER UBICACIÓN EN FIGURA 2.42 SEGÚN NÚMERO (#).	82
TABLA 2-38 POZOS DE MONITOREO DEL ACUÍFERO DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL. VER UBICACIÓN EN FIGURA 2.43 SEGÚN NÚMERO (#).	84
TABLA 2-39 ESTACIONES DE CALIDAD DE AGUA DE LA DGA EN LA CUENCA DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL. VER UBICACIÓN EN FIGURA 2.44 SEGÚN NÚMERO (#).	87
TABLA 2-40 ACTORES RELEVANTES CONVOCADOS A PAC, CUENCA DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL.....	94
TABLA 2-41 RELACIONES INTERÉS/INFLUENCIA.	101
TABLA 2-42 PROBLEMAS MANIFESTADOS POR ACTORES CONVOCADOS A REUNIONES PAC, EN TORNO A LOS OBJETIVOS 1.1, 1.3, 1.4 Y 1.5 DEL PLAN DE ACCIÓN.	107
TABLA 2-43 PROBLEMAS MANIFESTADOS POR ACTORES CONVOCADOS A REUNIONES PAC, EN TORNO AL OBJETIVO 2.1 Y 2.2 DEL PLAN DE ACCIÓN.	108
TABLA 2-44 PROBLEMAS MANIFESTADOS POR ACTORES CONVOCADOS A REUNIONES PAC, EN TORNO AL OBJETIVO 3.1 DEL PLAN DE ACCIÓN.	109
TABLA 2-45 PROBLEMAS MANIFESTADOS POR ACTORES CONVOCADOS A REUNIONES PAC, EN TORNO AL OBJETIVO 4.1 Y 4.2 DEL PLAN DE ACCIÓN.	110
TABLA 2-46 INSTANCIAS DE COORDINACIÓN RELEVANTES EN REGIÓN DE TARAPACÁ.	113
TABLA 2-47 SÍNTESIS DE BRECHAS DE COORDINACIÓN.	116
TABLA 2-48 SÍNTESIS DE BRECHAS DE INFORMACIÓN SOBRE OUA.	117
TABLA 2-49 SÍNTESIS DE BRECHAS DE INFORMACIÓN DE LA CUENCA RECOGIDAS EN PAC.	118
TABLA 3-1 DEMANDA HÍDRICA CUENCA DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL.	120
TABLA 3-2 VARIACIÓN INTERCENSAL CENSOS 2002 - 2017.	121
TABLA 3-3 VARIACIÓN INTERCENSAL 2002 - 2017, POR COMUNAS EN LA REGIÓN DE TARAPACÁ.	121
TABLA 3-4 ACCESO A AGUA POTABLE REGIÓN DE TARAPACÁ.	122
TABLA 3-5 BATERÍA DE POZOS SISTEMA EL CARMELO.	123
TABLA 3-6 BATERÍA DE POZOS CANCHONES.	124
TABLA 3-7 BATERÍA DE POZOS CUMIÑALLA.	124
TABLA 3-8 SONDAJES DUPLIZA – HUARA.	125
TABLA 3-9 CAPTACIONES DE LA TIRANA.	125
TABLA 3-10 CAPTACIONES PICA Y MANTILLA.	126
TABLA 3-11 SONDAJES DOLORES – PISAGUA.	126
TABLA 3-12 DEMANDA DE AGUA POTABLE URBANA AÑO BASE PARA LA CUENCA DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL (2015).	126

TABLA 3-13 PROYECCIÓN A 15 AÑOS DE CAUDALES DE AGUA POTABLE EXTRAÍDOS DESDE LA PAMPA DEL TAMARUGAL PARA ABASTECER LAS LOCALIDADES DE IQUIQUE, ALTO HOSPICIO, HUARA, LA HUAYCA, LA TIRANA, PICA, MANTILLA, POZO ALMONTE Y PISAGUA.	127
TABLA 3-14 PROYECCIÓN DEMANDA DE APU DE CONSUMO - PRODUCCIÓN ANUAL (MM ³ /AÑO) – PERÍODO 2016- 2040 – CUENCA DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL.	128
TABLA 3-15 SISTEMAS DE AGUA POTABLE RURAL EN LA CUENCA DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL (INFORMACIÓN A DICIEMBRE DE 2019).	129
TABLA 3-16 ESTIMACIÓN DEMANDA DE AGUA POTABLE RURAL EN LA CUENCA DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL (AÑO BASE: 2015).....	130
TABLA 3-17 PROYECCIÓN DEMANDA HÍDRICA PARA AGUA POTABLE RURAL ANUAL (MM ³ /AÑO) – PERÍODO 2016-2040 – SUBCUENCAS DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL.	131
TABLA 3-18 DERECHOS DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS CONCEDIDOS A EMPRESA SANITARIA PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DE LAS LOCALIDADES CON AGUA POTABLE DE LA REGIÓN DE TARAPACÁ.....	132
TABLA 3-19 DERECHOS DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS OTORGADOS EN LA CUENCA DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL CON UN CAUDAL ECOLÓGICO ASOCIADO.	133
TABLA 3-20 ESTIMACIÓN DEMANDA HÍDRICA USO AGRÍCOLA ACTUAL TOTAL EN LA CUENCA DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL (AÑO BASE: 2015).	134
TABLA 3-21 ESTIMACIÓN DEMANDA DE RIEGO EN USO AGRÍCOLA ACTUAL TOTAL PARA LA CUENCA DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL (AÑO BASE: 2015).....	135
TABLA 3-22 PROYECCIÓN DEMANDA HÍDRICA USO AGRÍCOLA FUTURA TOTAL (AÑO 2040) – CUENCA DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL.	135
TABLA 3-23 CANALES QUEBRADA DE TARAPACÁ Y SUS DERECHOS.	137
TABLA 3-24 ESTIMACIÓN DEMANDA HÍDRICA USO MINERO ACTUAL PARA LA CUENCA DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL (AÑO BASE: 2015).....	138
TABLA 3-25 ESTIMACIÓN DEMANDA HÍDRICA USO MINERO ACTUAL SEGÚN DESGLOSE POR TIPO DE MINERÍA, PARA LA CUENCA DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL (AÑO BASE: 2015).	138
TABLA 3-26 PROYECCIÓN DEMANDA HÍDRICA MINERA ANUAL (CONSUNTIVA, MM ³ /AÑO) – PERÍODO 2016- 2040 – SUBCUENCAS DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL – VALOR INFERIOR, MEDIO Y SUPERIOR, N.C. 70%.....	139
TABLA 3-27 DERECHOS DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS CONCEDIDOS EN LA PAMPA DEL TAMARUGAL PARA USO MINERO.	141
TABLA 3-28 DERECHOS DE AGUA OTORGADOS A MINERAS, TANTO DE USO INFORMADO PARA MINERÍA COMO DE USO NO INFORMADO.	142
TABLA 3-29 DERECHOS Y EXTRACCIONES DE AGUA.....	142
TABLA 3-30 DERECHOS DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS CONCEDIDOS EN LA PAMPA DEL TAMARUGAL PARA USO INDUSTRIAL.	144
TABLA 3-31 ESTIMACIÓN DEMANDA HÍDRICA USO PECUARIO ACTUAL EN LA CUENCA DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL (AÑO BASE: 2015).....	145
TABLA 3-32 PROYECCIÓN DEMANDA HÍDRICA PARA USO PECUARIO ANUAL (MM ³ /AÑO) – PERÍODO 2016- 2040 – SUBCUENCAS DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL.	146
TABLA 3-33 ESTIMACIÓN DEMANDA HÍDRICA USO FORESTAL ACTUAL PARA LA CUENCA DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL (AÑO BASE: 2015).....	147

TABLA 3-34 ESTIMACIÓN DEMANDA HÍDRICA USO FORESTAL ACTUAL PARA LA CUENCA DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL (AÑO BASE: 2015).....	148
TABLA 3-35 PROYECCIÓN DEMANDA HÍDRICA PARA USO FORESTAL ANUAL (MM ³ /AÑO) – PERÍODO 2016-2040 – SUBCUENCAS DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL.	149
TABLA 3-36 RESUMEN DEMANDA HÍDRICA REAL EN LA CUENCA DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL.....	151
TABLA 3-37 RESUMEN DE DEMANDAS DE LA CUENCA DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL.....	152
TABLA 3-38 MONITOREO DE EXTRACCIONES EFECTIVAS SUBTERRÁNEAS DEL SHAC DE PAMPA DEL TAMARUGAL.....	153
TABLA 4-1 CAUDALES MEDIOS ANUALES ESTIMADOS EN PERÍODO HISTÓRICO (1985-2019).....	162
TABLA 4-2 CAUDALES MEDIOS ANUALES FUTUROS (2020 - 2050) Y VARIACIÓN RESPECTO AL PERIODO HISTÓRICO (1985 - 2019).	162
TABLA 4-3 CLASIFICACIÓN QUÍMICA AGUAS SUPERFICIALES PAMPA DEL TAMARUGAL.....	163
TABLA 4-4 RESUMEN DE LA OFERTA DE AGUA SUPERFICIAL PARA LA CUENCA PAMPA DEL TAMARUGAL.	169
TABLA 4-5 DAA SUPERFICIALES Y CAUDAL MEDIO ANUAL OTORGADOS EN LA CUENCA DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL.....	170
TABLA 4-6 DAA SUPERFICIALES OTORGADOS Y CAUDAL OTORGADO SEGÚN TIPO DE SOLICITUD EN LA CUENCA DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL.	170
TABLA 4-7 DAA SUPERFICIALES OTORGADOS SEGÚN TIPO Y EJERCICIO DEL DERECHO EN LA CUENCA DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL.	171
TABLA 4-8 TOTAL DE DAA SUPERFICIALES GEORREFERENCIADOS Y NO GEORREFERENCIADOS EN LA CUENCA DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL.	171
TABLA 4-9 SECTORES HIDROGEOLOGÍCOS DE APROVECHAMIENTO COMÚN EN LA CUENCA DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL.....	174
TABLA 4-10 ÁREAS DE RESTRICCIÓN Y ZONAS DE PROHIBICIÓN DE LOS SHAC DE LA CUENCA PAMPA DEL TAMARUGAL.....	178
TABLA 4-11 RESUMEN DE LA OFERTA DE AGUA SUBTERRÁNEA PARA LA CUENCA PAMPA DEL TAMARUGAL (AÑO 2019).....	184
TABLA 4-12 CLASIFICACIÓN QUÍMICA Y SALINIDAD DE LAS AGUAS POR SECTOR SEGÚN RESULTADOS DE SERNAGEOMIN (2017).	186
TABLA 4-13 DAA SUBTERRÁNEAS Y CAUDAL MEDIO ANUAL OTORGADOS EN LA CUENCA DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL.....	192
TABLA 4-14 DAA SUBTERRÁNEAS OTORGADOS Y CAUDAL OTORGADO SEGÚN TIPO DE SOLICITUD EN LA CUENCA DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL.	192
TABLA 4-15 DAA SUBTERRÁNEOS OTORGADOS SEGÚN TIPO Y EJERCICIO DEL DERECHO EN LA CUENCA DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL.	193
TABLA 4-16 TOTAL DE DAA SUBTERRÁNEOS GEORREFERENCIADOS Y NO GEORREFERENCIADOS EN LA CUENCA DE LA PAMPA DEL TAMARUGAL.	193
TABLA 4-17 RESUMEN OFERTA DE AGUA DE LA CUENCA PAMPA DEL TAMARUGAL.	195
TABLA 5-1 BALANCE HÍDRICO SUBTERRÁNEO CNP 1960, Y CAT AÑO 2019.....	201
TABLA 5-2 COMPARACIÓN BALANCE HÍDRICO SUBTERRÁNEO SITUACIÓN HISTÓRICA Y PROYECTADA. ..	205
TABLA 5-3 COMPARACIÓN BALANCE HÍDRICO RÉGIMEN TRANSIENTE, 1960 Y 2019.	206
TABLA 5-4 RESUMEN CRITERIOS DE SUSTENTABILIDAD.	210
TABLA 5-5 INDICADORES DEFINIDOS PARA LA EVALUACIÓN DE ESCENARIOS.....	210
TABLA 5-6 COMPARACIÓN BALANCE SUBTERRÁNEO PARA DIFERENTES AÑOS MODELADOS.....	217

TABLA 5-7 COMPARACIÓN DE VOLUMEN DESEMBALSADO HISTÓRICO VERSUS ESCENARIOS.	217
TABLA 6-1 EJES Y OBJETIVOS PROPUESTOS PARA PEGH DE LA CUENCA.	221
TABLA 6-2 INICIATIVAS EN CARTERA DE INVERSIONES PÚBLICAS MIDESO, CATEGORIZADAS COMO OBRAS MENORES DE INFRAESTRUCTURA DE RIEGO.	223
TABLA 6-3 INICIATIVAS EN CARTERA DE INVERSIONES PÚBLICAS MIDESO CATEGORIZADAS COMO OBRAS MENORES DE DEFENSA FLUVIAL.	224
TABLA 6-4 INICIATIVAS EN CARTERA DE INVERSIONES PÚBLICAS MIDESO, CATEGORIZADAS COMO FORTALECIMIENTO DE ORGANIZACIONES.	231
TABLA 6-5 INICIATIVAS INTERREGIONALES EN CARTERA DE INVERSIONES PÚBLICAS MIDESO.	237
TABLA 6-6 IDENTIFICACIÓN DE ACCIONES PARA PRESENTAR EN ACTIVIDADES PAC.	240
TABLA 6-7 RELACIÓN ENTRE ACCIONES IDENTIFICADAS, EJES Y OBJETIVOS DEL PEGH.	242
TABLA 6-8 RECOMENDACIONES PARA FUTURAS ACTUALIZACIONES DE LA MODELACIÓN.	244
TABLA 6-9 PRESUPUESTO Y PLAZOS ESTIMADOS PARA INICIATIVAS ADICIONALES NO INCLUIDAS EN LA CARTERA DEL PEGH.	246
TABLA 7-1 ELEMENTOS, CRITERIOS Y SUBCRITERIOS DE LA PRIORIZACIÓN.	248
TABLA 7-2 RESULTADOS DE EVALUACIÓN DE ACCIONES Y PRIORIZACIÓN.	249
TABLA 7-3 ACCIONES PRIORIZADAS EN LA CUENCA SEGÚN CRITERIO DE CORTE.	250
TABLA 7-4 RESULTADOS DEL CRUCE DEL ACCIONES (29) CON INICIATIVAS PREVIAS (113).	252
TABLA 7-5 INICIATIVAS PLAN CUENCA PAMPA DEL TAMARUGAL.	257
TABLA 7-6 INICIATIVAS DEL PLAN DE ACCIÓN CON COSTOS Y PLAZOS.	258
TABLA 7-7 FORMATO FICHA RESUMEN DE INICIATIVA.	261
TABLA 7-8 CRONOGRAMA DEL PLAN.	262
TABLA 7-9 DISTRIBUCIÓN DE COSTOS SEGÚN EJECUTOR: VAC Y CAE (\$ MILLONES DE PESOS) INICIATIVAS PRIORIZADAS.	263
TABLA 9-1 CANTIDAD DE INICIATIVAS DEL PEGH SEGÚN PLAZO DE IMPLEMENTACIÓN.	276
TABLA 9-2 PLAN DE MONITOREO DE PEGH.	278

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Introducción

La Dirección General de Aguas (DGA), en su rol de organismo encargado de promover la gestión y administración del recurso hídrico, ha licitado el estudio "Plan Estratégico de Gestión Hídrica en las Cuencas de Luta y Pampa del Tamarugal", con el código 1019-92-LQ19 de Mercado Público, adjudicando en febrero del 2020 su ejecución a la empresa consultora ICASS y con una duración de 14 meses.

Cabe señalar que la cuenca de Pampa del Tamarugal es la más importante de la región de Tarapacá, al ser la gran fuente de agua para una parte de la población de esta región, y al mismo tiempo aportar con un PIB considerable a la misma.

Este trabajo se enmarca dentro de la estrategia DGA que propone un nuevo enfoque de gestión estratégica para la cuenca, que proporcione conocimiento y diagnóstico para formular planes de acción, que cuenten con productos reales de acuerdo a las necesidades propias de la cuenca, para formular una hoja de ruta realizable y medible, desde la perspectiva DGA para hacer frente a los desafíos que enfrenta Chile para gestionar el agua. Junto a esto se propone entregar y transferir conocimiento sobre herramientas de cálculo de balance de agua para la cuenca, y un portafolio de acciones que considere los efectos del cambio climático. Por esta razón, los estudios DGA de oferta y demanda de agua y balance hídrico deberán tener proyecciones a 10 años, diagnosticar el estado de información, infraestructura e instituciones que tomen decisiones respecto al recurso hídrico, y analizar el impacto del cambio climático, para así proponer una cartera de acciones DGA y de terceros público-privados, en pro del desarrollo hídrico de las cuencas de Chile.

Por tanto, este plan estratégico de cuenca contempla integrar un portafolio de acciones a corto, mediano, y largo plazo, dirigido principalmente a la DGA, como también a otros organismos del Estado, y organismos privados como Organizaciones de Usuarios de Aguas, Empresas Privadas, siendo éstos algunos de los principales actores involucrados en la gestión eficiente del agua y la adaptación de las diversas actividades de desarrollo socioeconómico y medioambiental al cambio climático.

Una característica única del plan de cuenca es que se dispondrá de un modelo hidrológico operacional superficial-subterráneo actualizable en el tiempo, que apoyará el análisis de las estrategias de desarrollo, con el fin de tomar las decisiones en función de la mejor información disponible permanentemente.

Finalmente, se debe resaltar que este trabajo se alinea con los desafíos y ejes de trabajo de la actual Mesa Nacional del Agua, la cual tiene por objeto proponer un plan para hacer frente a la crisis hídrica que atraviesa el país. Dicho trabajo se pretende desarrollar a partir de una serie de ejes entre los cuales se cuentan, la Planificación estratégica de

cuencas, la gestión sustentable de acuíferos, la institucionalidad a nivel de cuencas, la investigación e información pública, entre otros.

El presente Plan Estratégico de Gestión Hídrica en la Cuenca de Pampa del Tamarugal considera las materias de caracterización, demanda hídrica, oferta hídrica, balance de agua y modelación de la cuenca, acciones, cartera de iniciativas e implementación del plan.

1.2 Objetivos

El objetivo general del presente estudio es proponer un plan estratégico indicativo para la cuenca de la Pampa del Tamarugal, que permita conocer la oferta y demanda actual de agua, establecer un balance hídrico y sus proyecciones a 30 años, diagnosticar el estado de información, infraestructura e instituciones que toman decisiones respecto al recurso hídrico, y proponer una cartera de acciones DGA y de terceros (público-privados), que permitan suplir la demanda de agua y adaptación al cambio climático, con un portafolio de acciones que aseguren su abastecimiento en cantidad y calidad.

Los objetivos específicos del Plan de la cuenca son los siguientes:

- Conocer el estado actual de la cuenca de la Pampa del Tamarugal en cuanto a oferta, demanda, balance de agua (en cuanto a derechos y demandas de agua) y sus respectivas herramientas de cálculo (modelos), control de extracciones, calidad físico-química de fuentes de aguas superficiales y subterráneas, gobernanza, y red hidrométrica superficial, subterránea, de calidad, de glaciología y nieves.
- Construir y/o actualizar los modelos de simulación hidrológicos, e integrarlos a nivel superficial-subterráneo.
- Definir acciones para restaurar condiciones de abastecimiento y calidad de las fuentes de agua potable rural y urbana, por tipo de usuario tanto para fuentes superficiales como subterráneas.
- Diagnosticar estado de la calidad de aguas de las fuentes superficiales y subterráneas. Definir acciones para proteger funciones ecosistémicas críticas relacionadas con los cuerpos de agua en el tiempo.
- Diagnosticar el estado de la infraestructura hidráulica actual y proponer acciones para mejorar el monitoreo de las aguas de la cuenca (superficial, subterráneo, de montaña y glaciares). Se deberá analizar el estado de funcionamiento, la antigüedad y confiabilidad de los sistemas en general.
- Identificar las brechas entre oferta y demanda de agua en distintos escenarios de cambio climático, sequía e inundaciones, estableciendo un portafolio de acciones (estrategias de gestión) para reducirlas. Se deberá establecer un caso base y distintos escenarios para la evaluación.
- Entregar estrategias para mejorar la toma de decisiones, mediante la utilización de modelos operativos de gestión, los cuales deberán tener escenarios de planificación a corto, mediano y largo plazo, y ser adaptativos en el tiempo.

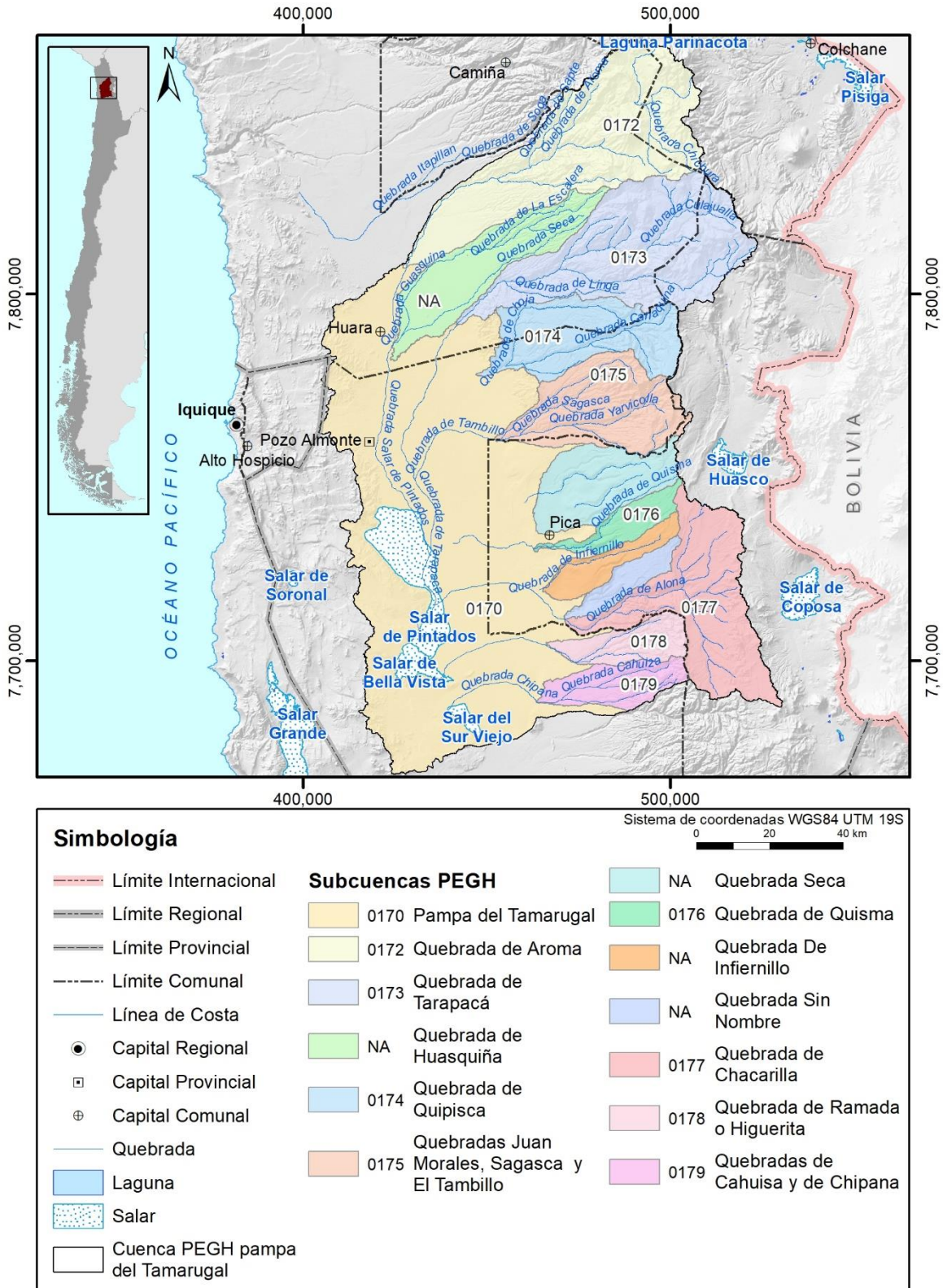
- Entregar estrategias para promover y revitalizar la alianza público-privada, y así incrementar cualitativamente la inversión requerida en infraestructura e investigación.

2. CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA

La cuenca de la Pampa del Tamarugal (Figura 2.1) se ubica en la región de Tarapacá. Abarca sólo la provincia del Tamarugal, y las comunas de Huara, Pozo Almonte y Pica.

Si bien existe una delimitación administrativa de la cuenca, definida en las cuencas Banco Nacional de Aguas (BNA), es necesario considerar que dicha delimitación no representa correctamente la realidad topográfica de la cuenca, motivo por el cual se propone una actualización de la delimitación, presentada en la Figura 2.1, con una extensión de 15.887 km². Esta delimitación se basa en la cuenca definida por el Departamento de Administración de Recursos Hídricos (DARH), de 2015, corregida según los últimos modelos de elevación digitales disponibles (Alos Palsar y STRM). La mayor diferencia se presenta en el borde norponiente, cuya dirección de drenaje superficial va hacia el norte. Junto con la nueva delimitación de la cuenca, se delimitaron las subcuencas, tomando en cuenta tanto la definición de BNA como de DARH, buscando definir las zonas aportantes a la Pampa y al sector acuífero. Para esto, se tomó como punto de cierre de las subcuencas el punto previo al desarrollo de los abanicos aluviales, a una cota en torno a los 1.500 m s.n.m. La cuenca y subcuencas BNA se incluyen de igual forma en el capítulo 1 del Anexo J.

La cuenca de la Pampa del Tamarugal se ha dividido en las subcuencas de Pampa del Tamarugal, Quebrada de Aroma, Quebrada de Huasquiña, Quebrada de Tarapacá, Quebrada de Quipisca, Quebrada Juan de Morales, Sagasca y Tambillo, Quebrada Seca, Quebrada de Quisma, Quebrada de Infiernillo, Quebrada Sin Nombre, Quebrada de Chacarilla, Quebrada de Ramada o Higuierita y Quebrada de Cahuisa y de Chipana (Tabla 2-1), en orden de norte a sur (exceptuando la subcuenca de la Pampa del Tamarugal). Las subcuencas drenan hacia la Pampa, por lo que se trata de una cuenca endorreica, es decir, sin salida.



Fuente: elaboración propia.

Figura 2.1 Cuenca y subcuencas de la Pampa del Tamarugal.

Tabla 2-1 Subcuencas de la Pampa del Tamarugal, según delimitación ICASS 2020.

Código Subcuenca BNA	Subcuenca	Área (km²)	Provincia
0170	Pampa del Tamarugal	6.291	Tamarugal
0172	Quebrada de Aroma	1.951	Tamarugal
NA (*)	Quebrada de Huasquiña	817	Tamarugal
0173	Quebrada de Tarapacá	1.710	Tamarugal
0174	Quebrada de Quipisca	885	Tamarugal
0175	Quebradas Juan de Morales, Sagasca y El Tambillo	919	Tamarugal
NA (*)	Quebrada Seca	648	Tamarugal
0176	Quebrada de Quisma	250	Tamarugal
NA (*)	Quebrada de Infiernillo	269	Tamarugal
NA (*)	Quebrada Sin Nombre	211	Tamarugal
0177	Quebrada de Chacarilla	1.233	Tamarugal
0178	Quebrada de Ramada o Higuera	328	Tamarugal
0179	Quebradas de Cahuisa y de Chipana	375	Tamarugal

(*) NA: No aplica. Subcuencas no delimitadas según base BNA, forman parte de la subcuenca Pampa del Tamarugal

Fuente: elaboración propia en base a Mapoteca DGA.

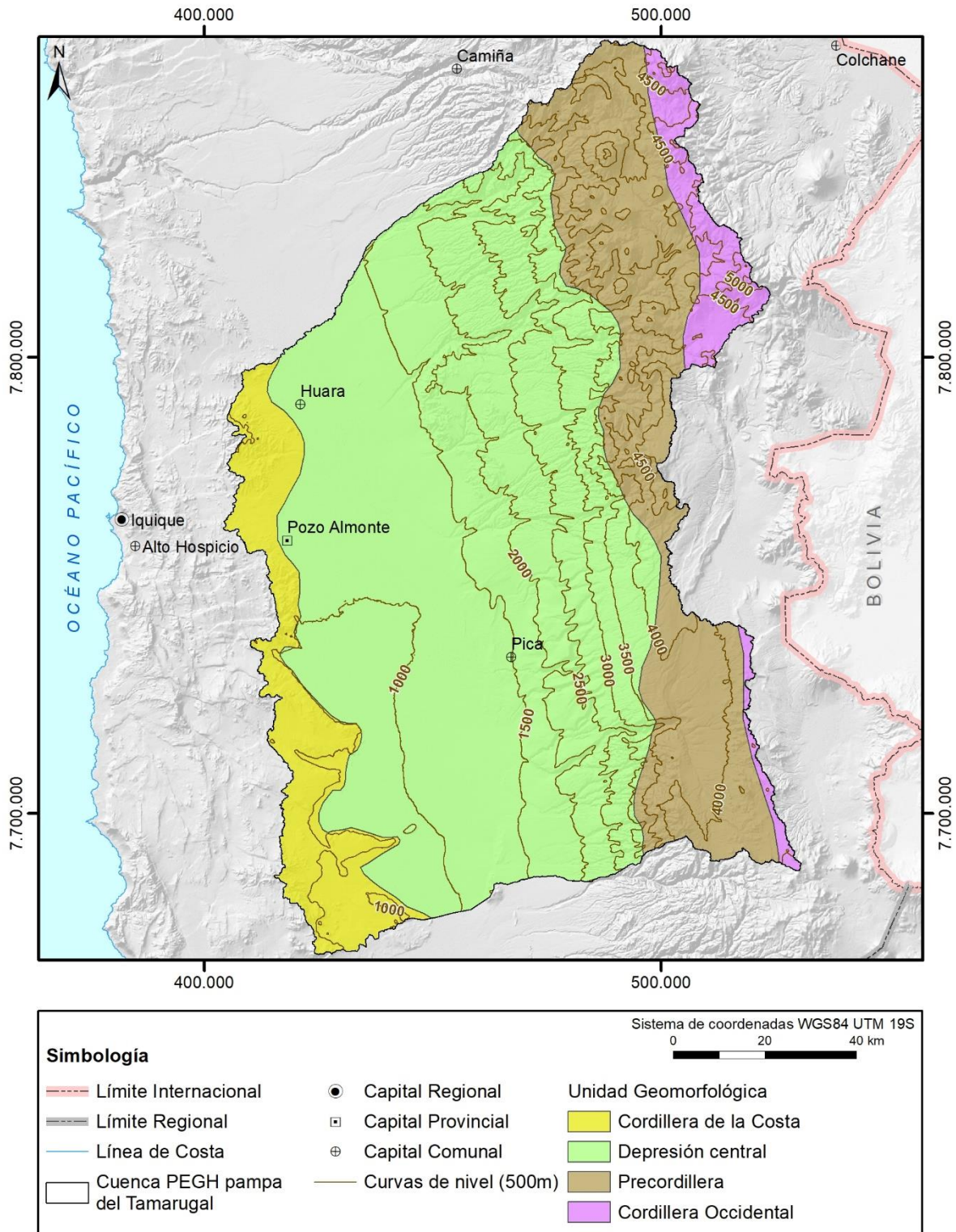
2.1 Dimensión física

La cuenca de la Pampa del Tamarugal es una cuenca endorreica que se desarrolla desde la Cordillera de Los Andes hasta la misma pampa que se ubica en la depresión intermedia. La cuenca no cuenta con cauces continuos y permanentes, sin embargo, drenan hacia ella una serie de quebradas que se activan en el periodo del invierno altiplánico.

En los siguientes apartados, se realizará una descripción de las características geográficas de la cuenca de la Pampa del Tamarugal, incluyendo geomorfología, geología, suelo, hidrología, hidrogeología, división político-administrativa y actividad económica.

2.1.1 Geomorfología

Geomorfológicamente, según la carta del SERNAGEOMIN (2017) la región de Tarapacá se enmarca en la "Región septentrional de las pampas desérticas y cordilleras prealtiplánicas". En el área de estudio, las unidades geomorfológicas reconocibles de oeste a este son: la Cordillera de la Costa, la Depresión Central, la Precordillera y la Cordillera Principal (Figura 2.2), las que a continuación se describen.



Fuente: modificado de SERNAGEOMIN (2017).

Figura 2.2 Geomorfología de la cuenca de la Pampa del Tamarugal.

La Cordillera de la Costa está incluida parcialmente en la Pampa del Tamarugal, la que se ubica en su borde occidental (Figura 2.2), y corresponde a una franja elongada NS, que se presenta como una cordillera de baja altura. Se consideran pertenecientes a la Cordillera de la Costa a aquellos sectores que sobresalen del nivel general de la pampa, alcanzando los cerros una altura relativa del orden de 400 a 600 m s.n.m. y con carácter de cerros isla, alcanzando algunos por sobre los 1.500 m s.n.m. Su presencia controla el sistema de drenaje de la Pampa del Tamarugal, impidiendo que los escurrimientos provenientes de la Cordillera de Los Andes lleguen al mar.

La Depresión Central conforma una depresión ubicada entre la Cordillera de la Costa por el oeste y la Precordillera por el este. Corresponde una cuenca tectónica rellena de sedimentos acarreados por cursos de agua que bajan desde el macizo andino encauzados por las quebradas. Su altitud llega a los 500 m s.n.m. en su límite occidental y a 1.500 m s.n.m. por el margen oriental. Su largo es de aproximadamente 160 km en sentido norte-sur y un ancho variable entre 50 y 80 km. Las quebradas situadas al este del límite oriental de la depresión central que descienden hacia ella, no la cruzan, sino que dan origen a grandes abanicos aluviales, entre las cotas 1.000 y 1.500 m s.n.m. Tal situación se observa en las quebradas Juan de Morales, Sagasca, Tambillos, Quisma y Chacarilla. No obstante, en otras quebradas ocurren escurrimientos esporádicos que fluyen con carácter endorreico hacia algunas cuencas salinas internas.

La Precordillera es considerada una divisoria de aguas entre un sistema de drenaje hacia el oeste y otro hacia el este. Sus alturas máximas varían entre los 5.000 y 6.000 m s.n.m., mientras que sus portezuelos superan los 4.000 m s.n.m.

La Cordillera Occidental, es la parte occidental de la Cordillera de Los Andes que corresponde a una sierra de grandes y variadas alturas, de disposición irregular y constituida fundamentalmente por edificios volcánicos. Inmerso en la Cordillera de Los Andes, se encuentra un relieve plano en altura denominado Altiplano, esta unidad posee alturas aproximadamente de 4.000 m s.n.m, y se sitúa fuera del límite oriental de la cuenca.

2.1.2 Geología

A continuación, se expone la litología, estructuras y evolución tectónica de la cuenca según la carta geológica de Chile, serie hidrogeología elaborado por SERNAGEOMIN (2017). Las unidades definidas informalmente se pueden observar en la Figura 2.3, la cual fue elaborada a partir de la recopilación de 11 cartas geológicas, las que se indican en la sección 3.1.1. del Anexo F.

Litología

En el estudio de SERNAGEOMIN (2017) se definen de manera informal una serie de unidades litológicas, agrupando las unidades formales según características de permeabilidad similares, con el fin de facilitar luego la definición de unidades hidrogeológicas. Es así que se definen dos grandes tipos de unidades: 1) rocas, y 2) depósitos no consolidados a semiconsolidados y tobas. A continuación, se presenta un

resumen de las unidades litológicas presentes en la cuenca, cuyas descripciones se pueden revisar de manera detallada en el capítulo 2 del Anexo J.

Rocas

Se denominan con el término de rocas a las unidades volcánicas y sedimentarias clásticas del Oligoceno al Holoceno y a las rocas de edad Paleozoico al Cretácico. Entre las cuales se cuentan las que siguen.

Rocas del Paleozoico-Cretácico indiferenciadas de la Cordillera de la Costa (PzKcc)

Unidad compuesta por rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas de edad mesozoica y paleozoica, las que afloran en la Cordillera de la Costa.

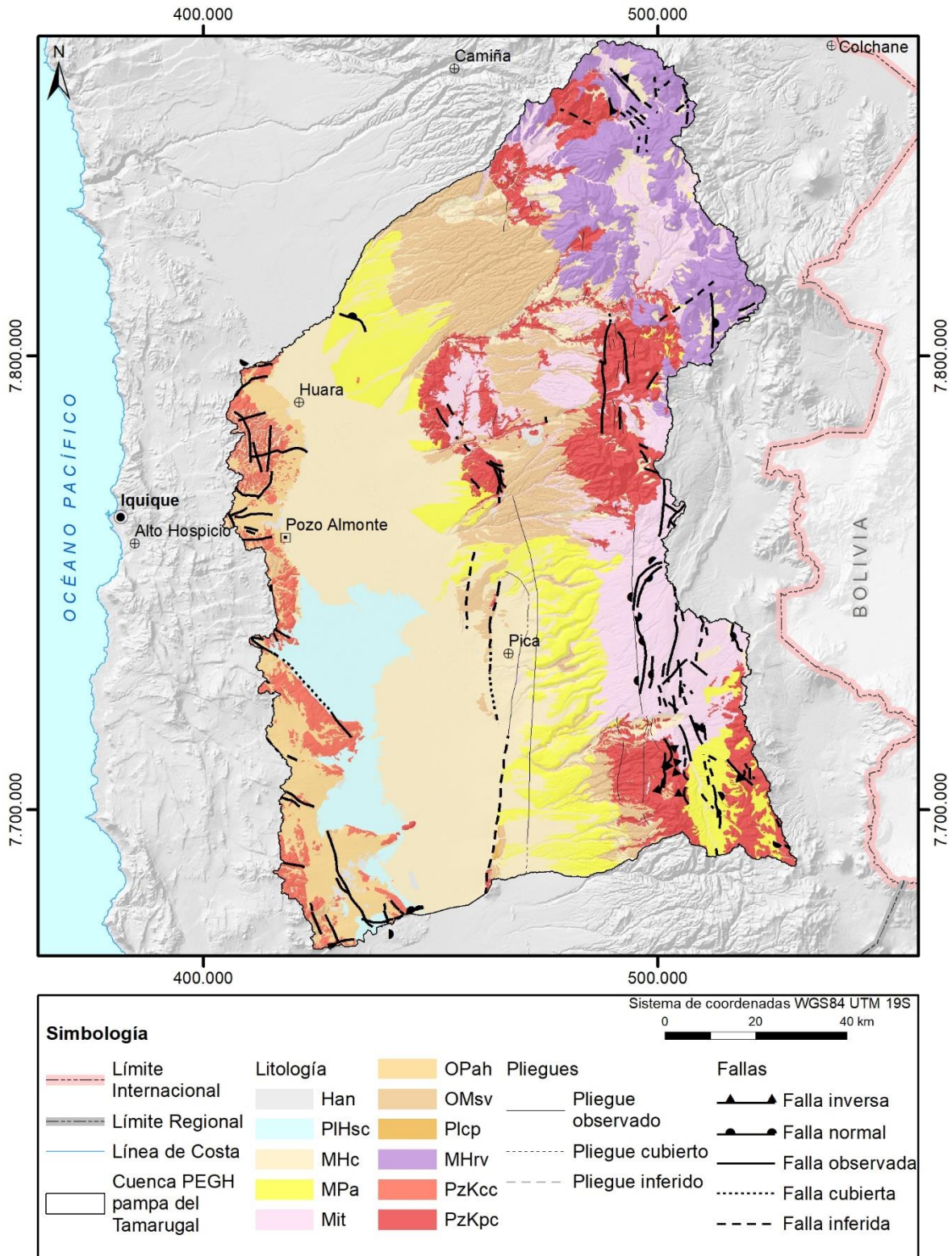
Está constituida por la Formación El Toco, la Formación Oficina Viz y el Grupo Huantajaya. Discordante sobre las unidades descritas se encuentra la Formación Punta Barranco, que corresponde a una secuencia volcánica y sedimentaria compuesta por andesitas, brechas volcánicas y depósitos de flujo de detritos, además de brechas, conglomerados, areniscas y limonitas de origen continental. Se encuentra intruída por los Pórfidos del Cretácico Inferior y monzonitas de biotita del Cretácico Superior.

Rocas del Paleozoico-Cretácico indiferenciadas de la Precordillera (PzKpc)

Unidad compuesta por rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas de edad mesozoica y paleozoica, las que afloran en la precordillera, además de afloramientos aislados en cerros isla en la depresión Central.

Entre las unidades geológicas de **edad paleozoica** que la componen se encuentran: el Complejo Metamórfico Sierra de Moreno, Complejo Metaturbidítico de Quebrada Aroma (Devónico Carbonífero), Formación Collahuasi (Carbonífero Superior-Triásico Inferior(?)), Formación Quipisca (Carbonífero Superior), Formación Juan de Morales (Pérmico Inferior) y Formación Sama (Triásico Superior).

Entre las unidades geológicas de **edad mesozoica** que la componen se encuentran: la Formación Longacho (Jurásico Inferior), Formación Duplijsa (Jurásico Medio a Jurásico Superior), Formación Copaquire (Jurásico Superior), Formación Majala (Jurásico Superior), Formación Chacarilla (Jurásico Superior-Cretácico Inferior) y Formación Cerro Empexa (Cretácico Superior).



Fuente: elaboración propia a partir de las cartas geológicas referidas en la sección 2.2 del Anexo F, el Mapa Geológico de Chile 1:1.000.000 y SERNAGEOMIN (2017).

Figura 2.3 Litología y estructuras de la cuenca de la Pampa del Tamarugal.

Rocas volcánicas (MHrv)

Corresponden a lavas de composición basáltica a riolítica, asociadas a volcanes de edad Mioceno al Reciente. Se desarrollan exclusivamente en la zona norte de la precordillera. Integran esta unidad la Formación Icanche y la Formación Puchuldiza. Además, comprende edificios volcánicos compuestos de lavas, tobas, y domos, de composición andesítica-basáltica correspondientes a unidad de Estratovolcanes del Mioceno Superior, y a los estratovolcanes constituidos de andesitas, andesitas basálticas del Grupo Volcánico Sotoca.

Rocas sedimentarias clásticas con precipitados carbonáticos (Plcp)

En esta unidad se agrupan rocas sedimentarias clásticas con intercalaciones de carbonatos de origen lacustre. La fracción detrítica se compone de limolitas, arcillolitas, areniscas y conglomerados, en tanto que la fracción carbonática está compuesta por margas, travertinos y calizas. La componen las rocas de la Formación Chipana (Mioceno Inferior-Mioceno Medio) que afloran al norte del cerro Challacollo.

Depósitos no consolidados a semiconsolidados y tobas

Para efectos de este trabajo y con el objetivo de facilitar la identificación de las unidades hidrogeológicas, se agrupan las unidades geológicas formadas entre el Mioceno y el Holoceno. Por una parte, se tendrán los depósitos no consolidados a consolidados, y por otra, las rocas sedimentarias de composición siliciclástico, químicas y las tobas.

Depósitos sedimentarios clásticos con intercalaciones volcánicas del Oligoceno al Mioceno (OMsv)

Corresponden a rocas sedimentarias clásticas constituidas principalmente de areniscas medias a gruesas, areniscas conglomerádicas y conglomerados, polimícticos y monomícticos, semi a bien consolidados, bien estratificados con diversas estructuras sedimentarias, con clastos compuestos por fragmentos monominerales y líticos de lavas intermedias, localmente lentes con acumulaciones de pómez, de edad Mioceno-Plioceno, con intercalaciones de tobas e ignimbritas. Se desarrollan, principalmente, entre la zona norte y centro de la depresión Central y la precordillera y en menor medida en la zona sur, donde constituyen la parte superior de las quebradas. Se observan afloramientos aislados en los extremos norte y sur de la precordillera. A esta unidad la conforman: Formación Mauque (Mioceno Superior), Formación Altos de Pica (Oligoceno Superior-Mioceno Inferior), Formación El Diablo (Mioceno Medio-Superior).

Gravas de alto hospicio (OPah)

Corresponden a secuencias de gravas matriz-soportadas, con matriz de arena gruesa y, en menor proporción, estratos de gravas clasto-soportados y de arenas gruesas, de origen aluvial, bien consolidadas, con intercalaciones de cenizas de caída y retrabajadas. Se distribuyen ampliamente sobre la Cordillera de la Costa, cubriendo principalmente a

la unidad litológica definida informalmente en este trabajo como Rocas del Paleozoico-Cretácico indiferenciadas de la Cordillera de la Costa (PzKcc).

Tobas soldadas (Mit)

En esta unidad se agrupan tobas de lapilli y cenizas, vítreas y líticas, de composición dacítica a riolítica, mediana a fuertemente soldadas, las que se intercalan localmente en conglomerados y brechas de las formaciones Altos de Pica y El Diablo (definida en SERNAGEOMIN (2017), como Roca Sedimentarias Clásticas con precipitados carbonáticos (Plcp)). Se extienden en la precordillera, en afloramientos de gran extensión en las zonas centro y norte, mientras que en la zona sur los afloramientos son más restringidos.

Entre las principales unidades asociadas a esta agrupación se encuentra la Ignimbrita Huasco (Mioceno Inferior alto), la Ignimbrita Tambillo (Mioceno Inferior) y otras ignimbritas que afloran en la precordillera de la zona norte del área de estudio como la Ignimbrita Bisluri (Plioceno); tobas vítreas soldadas de la Formación Utayane (Oligoceno Superior); tobas dacíticas a riolíticas con soldamiento variable de la Formación Oxaya (Oligoceno Superior-Mioceno Inferior); tobas de ceniza, pómez y líticas volcánicas de la Ignimbrita Putoyane (Mioceno Superior) y tobas vítreas, soldadas y líticas de la Ignimbrita Guailleane (Mioceno Medio), y la Ignimbrita Carcote (Mioceno Superior alto) que corresponde a la de más amplio desarrollo en la precordillera de la zona sur.

Depósitos aluviales del mioceno superior-plioceno (MPa)

Corresponden a depósitos de gravas, arenas gruesas y guijosas, mal seleccionadas, de origen aluvial, con intercalaciones de arenas eólicas bien seleccionadas con estratificación cruzada, además de intercalaciones de tobas de caída y tufitas. Se desarrollan en el borde occidental de la precordillera, encontrándose ampliamente en la zona centro y sur de la cuenca, y con menor desarrollo en la zona norte.

Depósitos sedimentarios clásticos no consolidados (MHc)

Depósitos de bloques, gravas, arenas, limos y arcillas, de pobre a buena selección. Se desarrollan ampliamente a lo largo de la depresión Central, en la Cordillera de la Costa y en la precordillera, donde rellenan valles y quebradas. Comprenden a diversas unidades geológicas no consolidadas de edad cuaternaria y neógena. Entre ellos se encuentran los Depósitos Aluviales Activos, los Depósitos Fluviales y Depósitos Eólicos del Holoceno; los Depósitos Aluviales Antiguos, los Depósitos de Deslizamiento y los Depósitos Glaciares del Pleistoceno – Holoceno y, los Depósitos Eólicos Antiguos (Mioceno Superior-Plioceno).

Depósitos salinos con intercalaciones clásticas (PIHsc)

Corresponden a depósitos sedimentarios evaporíticos y detríticos estratiformes compuestos de sulfatos (yeso, anhidrita), carbonatos, nitratos, haluros (halita), y

cantidades menores de limo, arcilla y arena fina. Estos depósitos conforman, principalmente, los salares de Pintados y Bellavista.

Depósitos antropogénicos (Ha)

Corresponden a depósitos o acumulaciones derivados de la actividad humana de edad máxima Holoceno Superior. En la cuenca corresponden principalmente a depósitos asociados a la explotación de yacimientos minerales, y en menor medida a suelos de uso agrícola, relleno sanitario, vertederos y residuos inorgánicos de obras civiles. En los depósitos asociados a la extracción minera destacan los grandes desmontes con material de rechazo de las ex-oficinas salitreras.

Estructuras

En el estudio de SERNAGEOMIN (2017) se revisa una serie de antecedentes a partir de los cuales se hace una recopilación de las estructuras más importantes, fallas, pliegues y flexuras. Las más importantes pueden observarse en la Figura 2.3.

Una serie de pliegues, flexuras monoclinales y fallas inversas afectaron a la Formación Altos de Pica, localmente a la Ignimbrita Huasco (Mioceno Inferior alto) y a la Formación El Diablo (Mioceno Medio), las que se encuentran selladas por los Depósitos aluviales del Mioceno Superior-Plioceno.

Se reconoce, por su importancia regional, a las flexuras Longacho, Chintaguay (y la asociada Falla Challacollo) y Altos de Pica, además de conjuntos de pliegues, fallas inversas y flexuras menores. Estas estructuras afectan, principalmente, a formaciones que pertenecen a la unidad litológica definida informalmente como Depósitos sedimentarios clásticos con intercalaciones volcánicas del Oligoceno al Mioceno (OMsv).

La flexura Chintaguay tiene orientación NNE-SSO y vergencia al oeste, se reconoce en la superficie por una serie de pequeños cerros elongados y alineados en sentido N-S conformados por la Formación Altos de Pica y que se extienden desde el sector de Pica, en el norte, hasta el cerro Challacollo por el sur. Alcanzaría un desplazamiento de unos 500 m en el Miembro Sagasca de la Formación Altos de Pica, mientras que al norte de la quebrada Chacarilla se detecta como una falla ciega. En el sector de Pica y la quebrada Quisma, la Flexura Chintaguay deforma el Miembro Sagasca de la Formación Altos de Pica y a la Ignimbrita Tambillo.

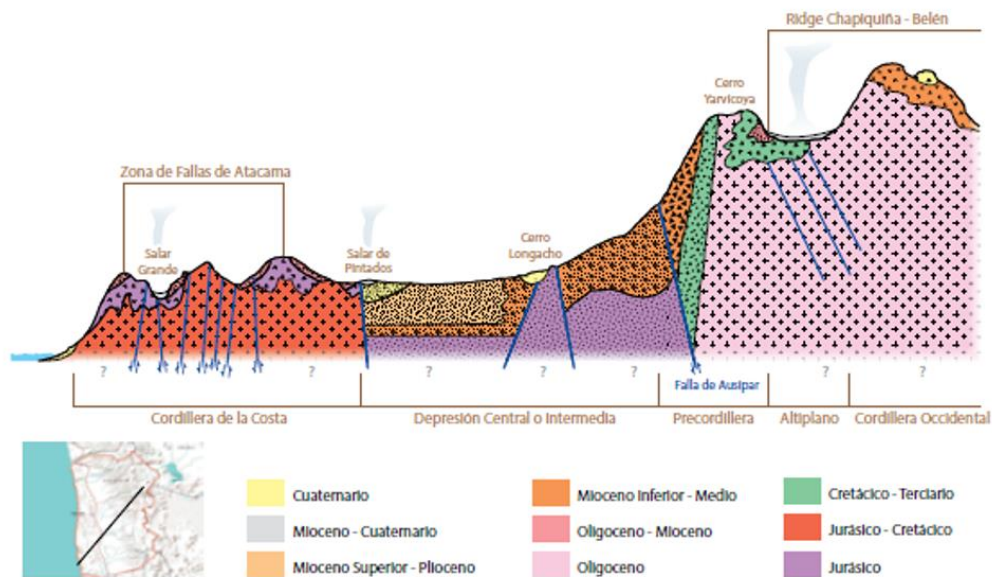
La flexura Longacho presenta una orientación NNE-SSO, excepto en sus extremos norte y sur, donde se dispone con orientaciones NO-SE, con vergencia al este. Se desarrolló sobre una falla ciega, que intercepta la superficie en la quebrada Tambillo, desplazando la Ignimbrita Tambillo por encima del Miembro Imagua de la Formación Altos de Pica. Los eventos tectónicos que generaron las flexuras y fallas inversas ocurrieron durante el Mioceno Inferior alto y Mioceno Medio, entre *ca.* 20 y 11 Ma, y finalizaron antes de los 8 Ma, la edad más antigua de los Depósitos aluviales del Mioceno Superior-Plioceno.

Se indica que las flexuras representarían una reactivación de las mismas estructuras responsables del relieve pre-neógeno y que no es accidental que se ubiquen por los bordes de altos topográficos preexistentes. Las flexuras sirvieron para la acomodación entre un altiplano engrosado y alzado y un ante arco rígido, que no se deformó de una manera significativa. Posterior a los 10 Ma, se formó una flexura monoclinnal de escala cortical, llamada localmente Flexura Altos de Pica.

El siguiente evento estructural presenta fallas normales y oblicuas, con componentes normal y dextral, que afectan a la Ignimbrita Huasco (perteneciente a la unidad litológica definida informalmente como Tobas soldadas (Mit)) y a Depósitos aluviales del Mioceno Superior-Plioceno (pertenecientes a la unidad litológica definidas informalmente como Depósitos sedimentarios clásticos no consolidados (MHc)), pero no a los depósitos cuaternarios. Durante el Mioceno Superior-Plioceno continúa la formación de la Flexura Altos de Pica, que genera las divisorias entre la Pampa del Tamarugal y el altiplano.

Las zonas de fracturas y las fallas geológicas situadas en el piedemonte de la cordillera y en la Depresión Central han sido descritas como posibles zonas de descargas de las aguas subterráneas profundas, lo cual forma parte de la caracterización hidrogeológica de la cuenca.

En el estudio de CIDERH (2013a) se presenta un perfil esquemático de la región de Tarapacá, en el cual se puede observar las relaciones entre unidades y estructuras, el que se muestra en la Figura 2.4.



Fuente: CIDERH (2013a).

Figura 2.4 Perfil esquemático geológico-estructural de la región de Tarapacá.

Evolución tectónica

Sobre la base de relaciones estructurales y estratigráficas, se identifican una serie de eventos de deformacionales en la región, que se conocen desde el Paleozoico hasta el presente y que se describen en detalle en la sección 2.2 del Anexo J.

2.1.3 Suelo

Según el estudio DGA (2004), la subcuenca de la Quebrada de Tarapacá posee tres unidades taxonómicas correspondientes a suelos del orden Histosoles, Molisoles y Entisoles.

El tipo de suelo Histosol se encuentra alrededor de las quebradas, oasis y zonas húmedas en general. Generalmente se dan en la alta cordillera, sobre los 3.000 metros de altitud. Corresponden a suelos derivados de tejidos vegetales, se encuentran en los bofedales cuyos suelos orgánicos o minerales, muy estratificados, poseen altos contenidos de materia orgánica y elevada salinidad.

Los suelos del tipo Molisol son suelos en los que se han producido la descomposición y acumulación de grandes cantidades de materia orgánica que da origen a humus rico en calcio. Esto implica que la descomposición se produce en el interior y no sobre el suelo. Por estas razones son características de zonas subhúmedas o semiáridas, con vegetación en pradera que asegura este aporte de materia orgánica en profundidad.

Los suelos Entisoles se caracterizan por su carencia de horizontes bien desarrollados, poco evolucionados por la aridez de la zona. Pueden ser suelos jóvenes que no han tenido tiempo de desarrollarse o bien viejos, en sentido geológico, pero que no han desarrollado horizontes por corresponder a materiales resistentes a la meteorización. Se presentan virtualmente en todos los climas sobre superficies fisiográficas recientes, ya se trate de empinadas pendientes sujetas a intensa erosión o sobre planos de sedimentación en donde se han depositado los materiales recién transportados. También pueden encontrarse sobre superficies fisiográficas antiguas, en donde por la intervención del hombre se ha destruido el perfil del suelo o bien cuando se trata de materiales resistentes que no han permitido su desarrollo. En el sector de la Pampa del Tamarugal este tipo de suelos derivan de sedimentos gruesos con alto contenido salino y pH elevado.

2.1.4 Hidrología

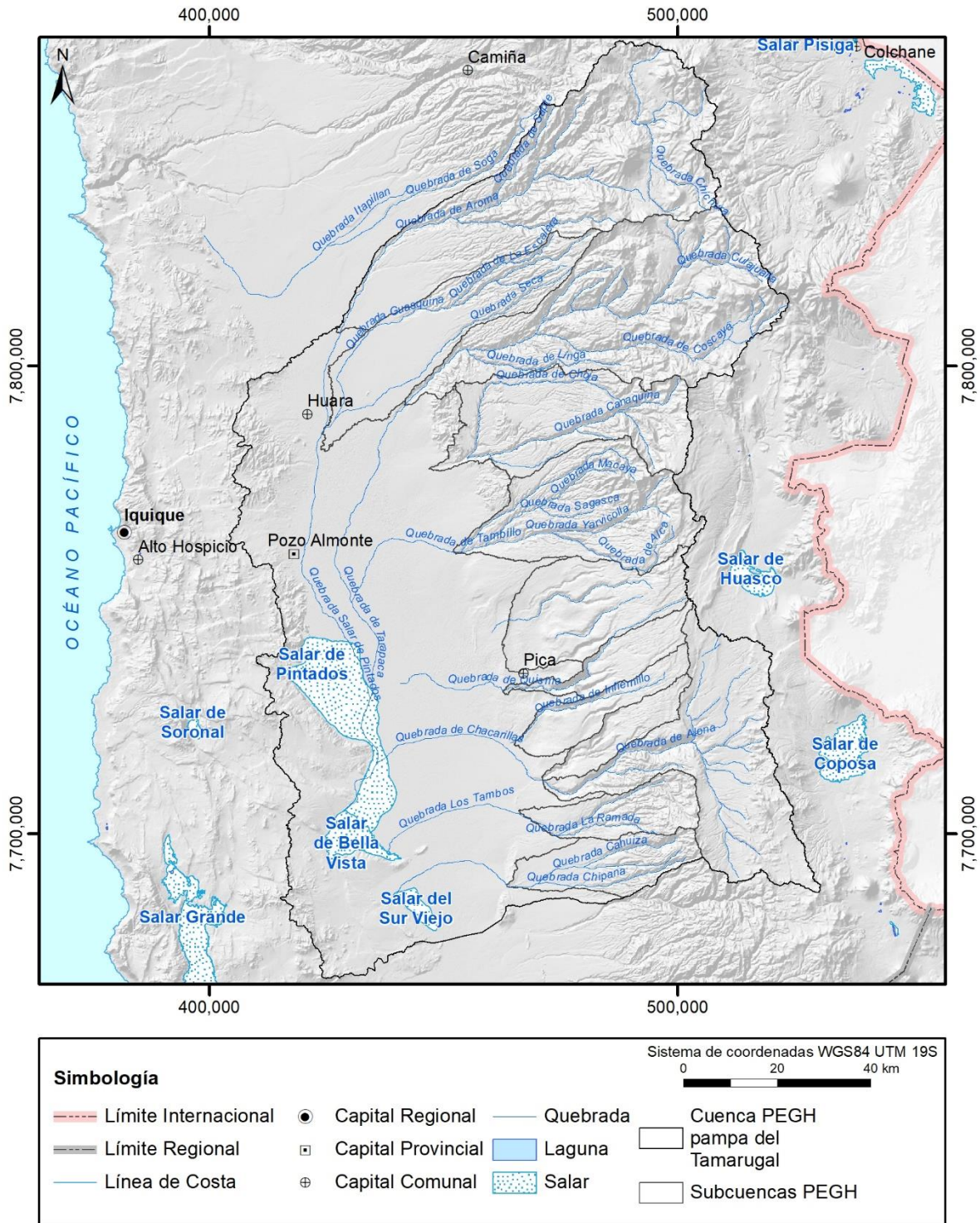
A continuación, se presentan los aspectos hidrológicos de la cuenca de la Pampa del Tamarugal, entre los que se cuentan las características hidrográficas y morfológicas, la hidrometeorología y la fluviometría.

Características hidrográficas y morfológicas

La cuenca Pampa del Tamarugal corresponde a una cuenca hidrográfica endorreica, en la cual confluyen hacia la depresión Intermedia una serie de quebradas con flujos

intermitentes y algunos permanentes provenientes de la precordillera y de cordillera. De acuerdo a la delimitación presentada la Figura 2.1 al comienzo de este capítulo, la cuenca está subdividida en trece subcuencas.

Aquellas quebradas que drenan sectores altos de la hoya de la Pampa del Tamarugal, poseen una red de drenaje bien definida que se extiende sobre la pampa. Estas subcuencas de norte a sur corresponden a las quebradas de Aroma, Tarapacá, Quipisca, Juan Morales, y Chacarilla. En todas ellas es posible identificar escurrimientos de agua permanentes en sus cursos superiores, aunque son de pequeña magnitud (5 a 15 l/s) (DGA, 2014a). Según CIDERH (2013a), la cuenca presenta escurrimientos permanentes en las quebradas de Aroma, Tarapacá y Chacarilla, y no permanente en las quebradas de Quisma, Quipisca, Parca, Juan Morales, Sagasca, Tambillo. Todos los escurrimientos se infiltran antes de desembocar en la depresión de la Pampa del Tamarugal salvo durante eventos hidrometeorológicos extremos de ocurrencia esporádica. Además de los escurrimientos, en la parte alta de las quebradas de Aroma, Tarapacá, Parca y Tasma-Tambillo, Chacarilla, Chipana y Ramada, existen numerosas vertientes siendo las más conocidas las vertientes termales de Chuzmisa y Mamiña y las vertientes de la subcuenca de Quisma que mantienen el oasis de Pica. En la Figura 2.5 se muestra la red de drenaje con las principales quebradas de la cuenca.



Fuente: elaboración propia.

Figura 2.5 Delimitación de unidades hidrográficas de la zona de la Pampa del Tamarugal.

Hidrometeorología

El estudio hidrometeorológico en la cuenca de la Pampa del Tamarugal, se realizó en base a la información de las estaciones meteorológicas y fluviométricas de la DGA, utilizando además para el análisis de la precipitación media anual de productos satelitales, series temporales de precipitación obtenidas desde el producto CR2MET (Boisier et al., 2018) , conjunto de datos climáticos que ya ha sido utilizado en la Actualización del Balance Hídrico Nacional (DGA, 2017a). La última versión disponible (versión 2) abarca el período 1979-2019 a escala diaria¹. El producto de precipitación de CR2MET v2 cubre todo el territorio nacional con una resolución espacial de 0,05° (~5 km).

En la Tabla 2-2 se presenta la disponibilidad de información de las estaciones desde el año 1985 al 2019, en esta tabla además de las nueve estaciones vigentes, se incorpora la estación Chiapa (suspendida el año 2017) y las estaciones Lagunillas y Coposa que se encuentran fuera del límite este de la cuenca, pero muy cercanos ésta.

Tabla 2-2 Disponibilidad de información en estaciones pluviométricas DGA, periodo 1985-2019.

No	Nombre Estación	1985 - 1989				1990 - 1999				2000 - 2009				2010 - 2019			
1	Quebrada Tarapacá en Sibaya																
2	Poroma	12	12	12	12	12	12	12	12	10	11	11	11	12	12	12	12
3	Mocha			12	12	12	11	12	10	0	3	11	8	12	12	12	12
4	Chuzmiza			1	12	7	10	11	10	12	12	12	9	10	9	11	12
5	Parca	12	12	12	12	12	12	11	7	12	12	12	12	11	11	12	12
6	Cerro Colorado							9	12	12	12	12	12	12	12	12	12
7	Mamiña	12	12	12	12	11	4	12	11	12	12	12	12	11	12	12	12
8	Huara en Fuerte Baquedano							5	6	9	4	8	10	9	10	12	12
9	Quebrada Caya																
10	Chiapa																
11	Lagunillas (Pampa Lirima)	12	12	12	12	12	12	12	9	12	3	0	11	12	12	12	12
12	Coposa	12	12	10	0	0	0	0	0	0	0	0	5	12	12	11	12

	De 10 a 12 meses
	De 6 a 9 meses
	De 1 a 5 meses

Fuente: elaboración propia, basado en información del SNIA, DGA.

Mayores antecedentes respecto al análisis de precipitaciones y su comparación a los productos satelitales existentes se presenta en la sección 5.2.1 del Anexo H La ubicación de las estaciones se puede visualizar en la Figura 2.41 en la sección Infraestructura.

Precipitación Media Anual y Media Mensual

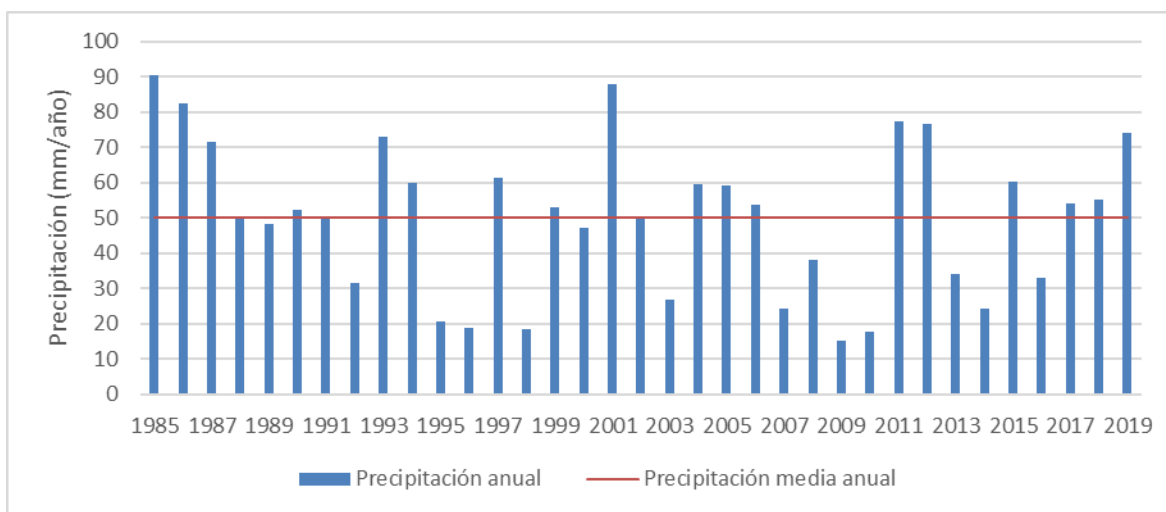
A partir de los datos mensuales extraídos de la plataforma CR2MET (sección 5.2.1 del Anexo H) y utilizando herramientas GIS para delimitar el área de interés, se han

¹ Datos Productos Grillados CR2MET v2 [en línea] <http://www.cr2.cl/datos-productos-grillados/> (visitado por última vez el 30/04/2021)

estimado los valores mensuales en la cuenca Pampa del Tamarugal. El análisis de estos resultados ha permitido definir valores medios mensuales y la variación interanual a nivel de la cuenca.

Precipitación Media Anual

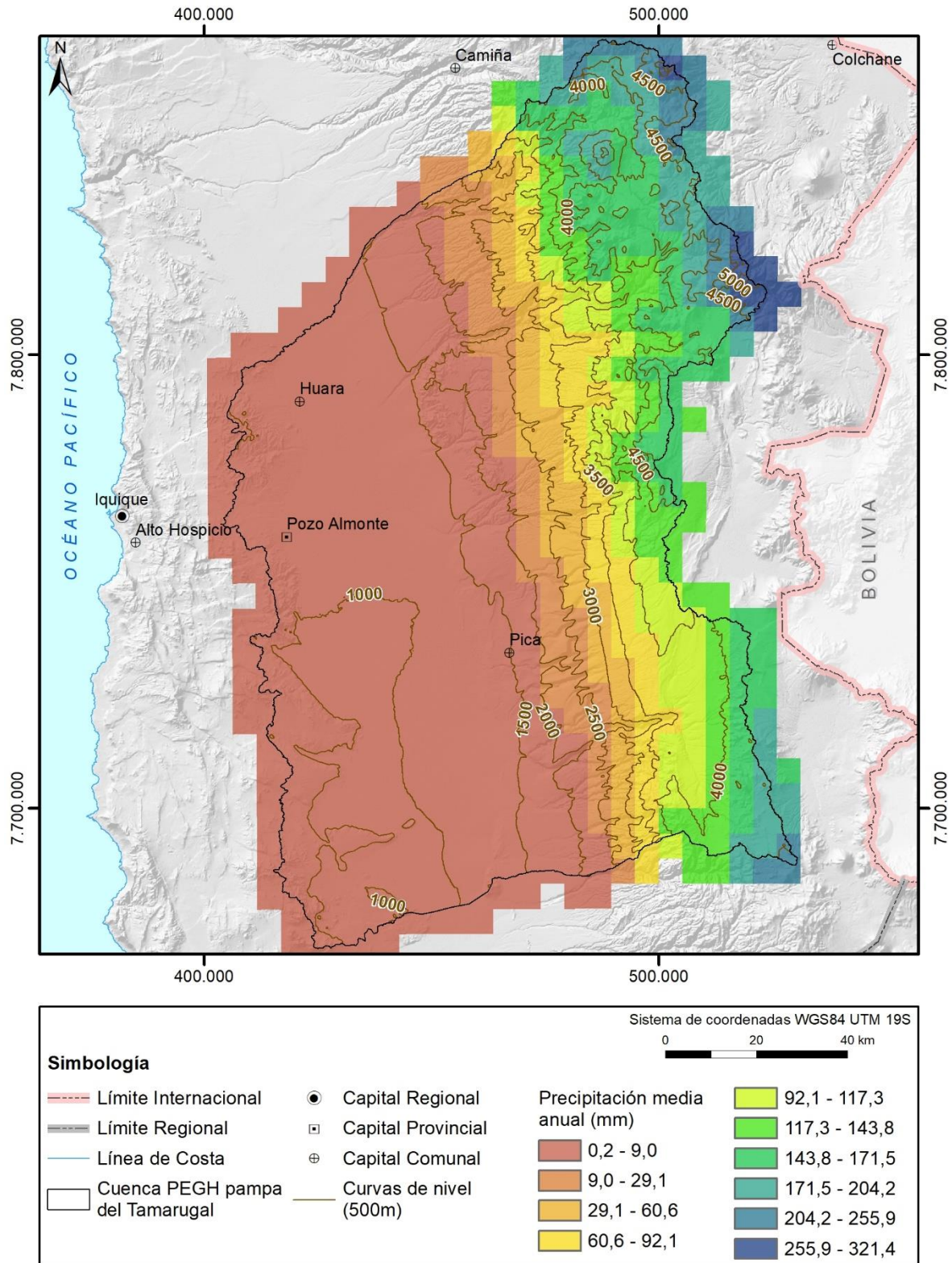
Para la cuenca Pampa del Tamarugal, se obtuvo un valor anual promedio de precipitación de 50 mm/año para el periodo comprendido entre los años 1985 y 2019. Esto es equivalente a 25.189 l/s para un área de 15.887 km². En la Figura 2.6 se presenta la evolución histórica de la precipitación anual, observándose una leve disminución, sin alcanzar durante los últimos años los altos valores de los años 1985, 1986 y 2001.



Fuente: elaboración propia.

Figura 2.6 Precipitación anual en la cuenca Pampa del Tamarugal para el periodo 1985-2019, mediante base de datos CR2MET.

Las precipitaciones en la cuenca varían entre valores cercanos a 0 mm en la parte baja de la cuenca, hasta valores cercanos a los 300 mm en las zonas de mayor altura. En la Figura 2.7 se presenta la distribución espacial de la precipitación media anual, obtenida mediante el procesamiento del producto CR2MET.



Fuente: elaboración propia en base a antecedentes CR2MET.

Figura 2.7 Distribución de la precipitación media anual (mm) en la Cuenca Pampa del Tamarugal.

A nivel de subcuencas, las precipitaciones medias anuales se distribuyen de acuerdo a lo presentado en la Tabla 2-3, con valores entre 1,4 mm en la subcuenca Pampa del Tamarugal, hasta valores de 130 mm en la subcuenca Quebrada de Tarapacá.

Tabla 2-3 Precipitación media anual en Subcuencas de la Pampa del Tamarugal.

Subcuenca	Área (km ²)	Pp media anual (mm)	Pp media anual (l/s)
Pampa del Tamarugal	6.291	1,4	283
Quebrada de Aroma	1.951	121,3	7.501
Quebrada de Huasquiña	817	22,4	580
Quebrada de Tarapacá	1.710	129,9	7.030
Quebrada de Quipisca	885	66,9	1.876
Quebradas Juan Morales, Sagasca y El Tambillo	919	71,6	2.086
Quebrada Seca	648	44,5	915
Quebrada de Quisma	250	54,4	431
Quebrada de Infiernillo	269	33,3	284
Quebrada Sin Nombre	211	38,2	256
Quebrada de Chacarilla	1.233	117,9	4.613
Quebrada de Ramada o Higuera	328	44,2	460
Quebradas de Cahuisa y de Chipana	375	30,6	363

Fuente: elaboración propia.

Con el objetivo de comparar estos resultados con aquellos obtenidos en estudios anteriores, se incluye en la sección 3.1.1 del Anexo J el resumen presentado del estudio de CIDERH (2013a), que corresponde a la estimación de precipitaciones anuales para 6 subcuencas de la cuenca Pampa del Tamarugal, realizadas por 3 autores (Aroma, Tarapacá, Quipisca, Juan Morales, Chacarilla y de Ramada) . Si bien las áreas consideradas por estos estudios no son iguales, el valor estimado en el presente estudio (23.566 l/s en un área de 7.026 km²,) se encuentra dentro del rango estimado por los estudios previos (21.812 l/s a 29.460 l/s), para áreas de 6.305 a 7.267 km².

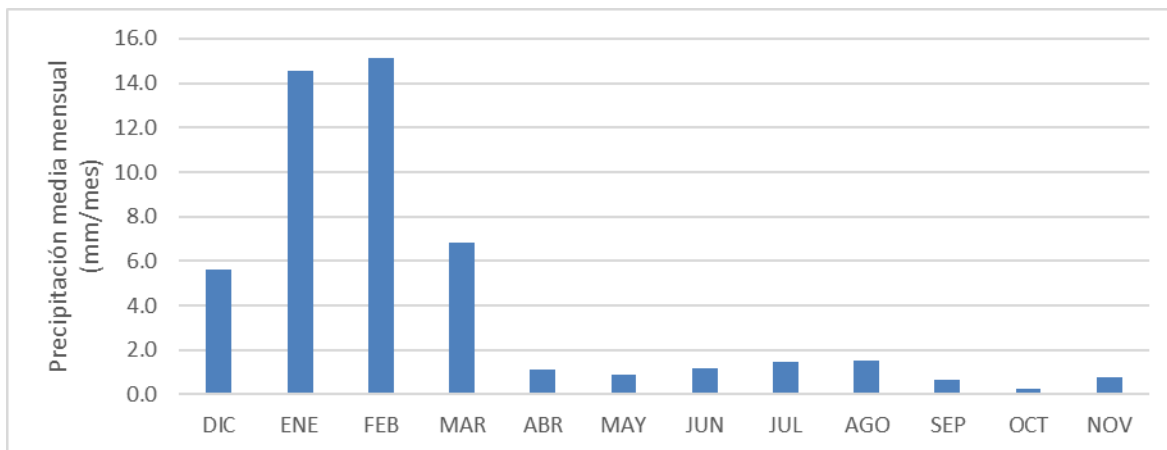
Precipitación Media Mensual

Del análisis de datos mensuales del CR2MET del periodo 1985-2019 (sección 3.1.1 del Anexo J), se obtuvo para la cuenca completa la precipitación media mensual (Tabla 2-4). Con este análisis se destaca una marcada influencia del Invierno Altiplánico, con lluvias principalmente entre los meses de diciembre a marzo y con el peak en los meses de enero y febrero cercano a 15 mm (Figura 2.8).

Tabla 2-4 Precipitación media mensual en la cuenca Pampa del Tamarugal para el periodo 1985-2019.

MES	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV
Pp media (mm)	5,6	14,6	15,2	6,8	1,1	0,9	1,2	1,5	1,5	0,7	0,3	0,8

Fuente: elaboración propia, basado en datos CR2MET.



Fuente: elaboración propia.

Figura 2.8 Distribución mensual de precipitaciones en la cuenca Pampa del Tamarugal.

Evaporación y Evapotranspiración

A continuación, se presenta la información referente a la evaporación y evapotranspiración de la cuenca de la Pampa del Tamarugal.

Evaporación

La medición de la tasa de evaporación permite estimar y/o corroborar la recarga de los acuíferos donde la evaporación es el principal componente de la descarga. En la cuenca Pampa del Tamarugal, los salares de Pintados, Bellavista y Sur Viejo son las principales zonas donde ocurre la evaporación en el acuífero por las profundidades someras del agua subterránea. La tasa máxima de evaporación representativa para la Pampa del Tamarugal está medida en la estación meteorológica UNAP en Canchones por medio un tanque evaporímetro, en el cual se calculó un valor promedio de 4,46 mm/día en la zona de Canchones, con una evaporación total de 162 l/s. El valor medio a anual de la evaporación calculado en la estación Cerro Colorado es cerca de 2.500 mm/año (CIDERH, 2013a). Por otra parte el estudio del SERNAGEOMIN (2017), se estima la evaporación utilizando la información de SQM (2008) mediante mediciones puntuales de evaporación con la técnica del domo de evaporación, en dos zonas definidas como Pampa del Tamarugal y Salar de Llamara. Mayores antecedentes respecto a valores presentados en estudios previos se presentan en la sección 3.1.2 del Anexo J.

El desarrollo del modelo hidrogeológico, presentado en el capítulo 5, y desarrollado en extenso en el capítulo 6 del Anexo H, permitió realizar una estimación actualizada de la componente de evaporación. Para esto, se consideraron los valores obtenidos de distintos estudios (ver capítulo 6 del Anexo H), a partir de los cuales se construyó una curva que representa la variación de la evaporación en profundidad, la cual fue incorporada en el modelo (ver sección 6.5.4 del Anexo H). El modelo entrega una evaporación variable en el tiempo, desde 458 l/s en el periodo previo al año 1960, alcanzando valores de 224 l/s en el año 2019. Esta disminución se asocia a el descenso

de los niveles observados en los pozos de la Pampa (ver sección 6.6 del Anexo H), producto del aumento de las extracciones subterráneas.

Evapotranspiración

En cuanto a la estimación de la evapotranspiración, la vegetación en la cuenca es escasa, sin embargo, alberga un bosque endémico nativo y forestal de Tamarugos en el sector de la Pampa del Tamarugal. Las tasas de evapotranspiración estimadas varían de acuerdo con el autor y a los años en los cuales han sido estimadas o han sido proyectadas (Tabla 2-5). Mayores antecedentes de estudios previos se incluyen en la sección 3.1.3 del Anexo J.

Tabla 2-5 Valores de evapotranspiración para los Tamarugos estimados por diversos autores.

Autor	Evapotranspiración (l/s)	Año de estimación o proyección
Rojas (2005)	210	1960
	690	1980 – 1985
	904	1985 – 1993
DICTUC (2007)	224	2006
	440	2020
DGA (1995)	1.190	1995
	1.523	2015
SERNAGEOMIN (2017)	750	2014

Fuente: elaboración propia, basado en CIDERH (2013a) y SERNAGEOMIN (2017).

Utilizando el modelo hidrogeológico, presentado en el capítulo 5, y desarrollado en extenso en el capítulo 6 del Anexo H, se ha estimado la evapotranspiración asociada a los tamarugos de entre 173 y 219 l/s. Para esto se considera la curva que representa la variación de la evapotranspiración en profundidad asociada a los tamarugos, procedimiento explicado en detalle en la sección 6.5.5 del Anexo H.

Por otra parte, el modelo hidrológico desarrollado como parte de este proyecto, presentado en extenso en el capítulo 5 del Anexo H, ha permitido realizar una estimación de la evapotranspiración en las quebradas o subcuencas aportantes a la Pampa del Tamarugal. Los valores obtenidos se presentan en la Tabla 2-6, resultados muestran que la evapotranspiración representa entre un 90% y un 96% de la precipitación en cada subcuenca, con un valor medio de 93%. Si bien estos valores no consideran las áreas cultivadas en la cuenca, vale la pena destacar que en dicho caso las variaciones son menores al considerar los valores a escala de subcuenca.

Tabla 2-6 Evapotranspiración media anual en Subcuencas de la Pampa del Tamarugal.

Subcuenca	ET media anual (mm)	ET media anual (% Pp)
Quebrada de Aroma	109,4	90%
Quebrada de Huasquiña	21,3	95%
Quebrada de Tarapacá	119,7	92%
Quebrada de Quipisca	62,2	93%
Quebradas Juan Morales, Sagasca y El Tambillo	68,8	96%
Quebrada Seca	42,4	95%
Quebrada de Quisma	51,6	95%
Quebrada de Infiernillo	31,9	96%
Quebrada Sin Nombre	36,6	96%
Quebrada de Chacarilla	111,7	95%
Quebrada de Ramada o Higuera	41,8	95%
Quebradas de Cahuisa y de Chipana	29,1	95%

Fuente: elaboración propia.

En la sección 3.1.3 del Anexo J se detallan valores de evapotranspiración en las subcuencas obtenidos en estudios previos (DGA, 1987a; DICTUC (SQM, 2008); CIDERH, 2013a), los que si bien varían entre una estimación y otra, entregan valores que representan entre el 91 y 99% de la precipitación media anual, rango en el que se encuentran los resultados obtenidos.

Fluviometría

Se estimó el caudal promedio anual para las tres estaciones fluviométricas vigentes en la cuenca considerando aquellos años con registro completo dentro del periodo 1985 a 2019. En la Tabla 2-7 se presenta la disponibilidad de información para las tres estaciones. La ubicación de las estaciones se puede visualizar en la Figura 2.42 en la sección Infraestructura.

Tabla 2-7 Disponibilidad de información en estaciones fluviométricas DGA, periodo 1985-2019.

No	Nombre Estación	1985 - 1989	1990 - 1999	2000 - 2019	2010 - 2019
1	Quebrada Tarapacá en Sibaya				
2	Quebrada Tarapacá en Laonsana				
3	Río Coscaya en Saitoco				

■ De 10 a 12 meses
■ De 6 a 9 meses
■ De 1 a 5 meses

Fuente: elaboración propia, basado en información del SNIA, DGA.

En la Tabla 2-8 se observa que los caudales varían entre 114 y 297 l/s, siendo la estación Quebrada de Tarapacá en Laonzana más cercana a la salida de la subcuenca Quebrada de Tarapacá, la que registra el mayor caudal que varía entre 0,09 y 0,47 m³/s y un caudal medio anual de 0,30 m³/s. Debido a que los datos en ambas estaciones se

encuentran incompletos, estos valores medios reflejan un orden de magnitud más que un valor real del caudal medio.

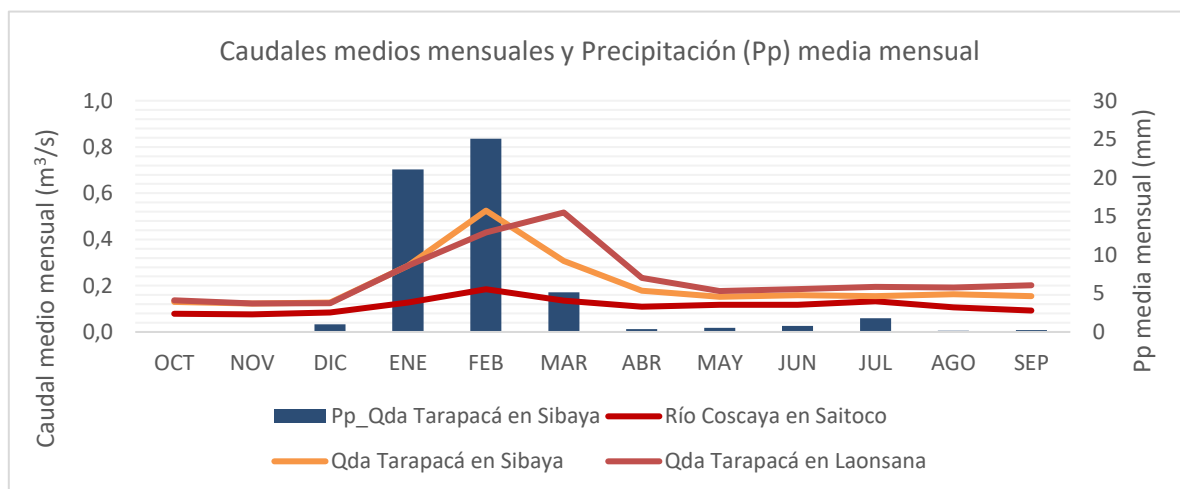
Tabla 2-8 Caudal medio anual en las estaciones fluviométricas de la cuenca Pampa del Tamarugal.

Estación	Altitud (m s.n.m.)	Años información	Q medio anual (m ³ /s)	Q medio anual (l/s)
Río Coscaya en Saitoco	3.981 (*)	23	0,11	114
Qda. Tarapacá en Sibaya	2.830	17	0,21	205
Qda. Tarapacá en Laonzana	1.847	6	0,30	297

(*) Altitud tomada de Google Earth

Fuente: elaboración propia.

En la Figura 2.9 se presentan los caudales medios mensuales en las estaciones fluviométricas y se correlacionan con los datos pluviométricos de la estación Quebrada de Tarapacá en Sibaya (estación mixta). En cuanto a los caudales medios mensuales, se puede observar la marcada influencia estacional, encontrándose los mayores valores en los meses estivales de diciembre a marzo, con peaks en el mes de febrero para las estaciones Río Coscaya en Saitoco y Quebrada Tarapacá en Sibaya y en el mes de marzo para la estación Quebrada Tarapacá en Laonzana, lo que se correlaciona con las lluvias del Invierno Altiplánico. Además, se observa un ligero incremento en el mes de julio. Los caudales muestran el mismo comportamiento que las precipitaciones medidas en la estación Quebrada de Tarapacá en Sibaya, a excepción del medido en la estación situada a menor cota (Quebrada Tarapacá en Laonzana) que muestra un retardo del máximo caudal en un mes en relación al máximo de precipitación. Todas estas estaciones se sitúan dentro de la subcuenca de Tarapacá.



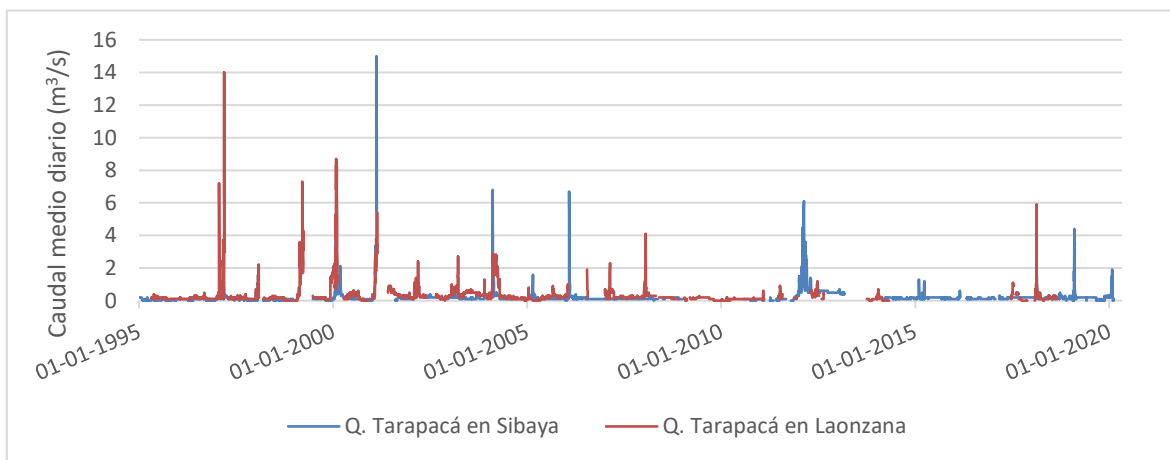
Fuente: elaboración propia.

Figura 2.9 Caudales medios mensuales en estaciones fluviométricas y Precipitación (Pp) media mensual en estación Quebrada Tarapacá en Sibaya.

Un análisis más detallado se ha realizado sobre las series de datos de las estaciones Quebrada Tarapacá en Sibaya y Quebrada Tarapacá en Laonzana, que representan áreas

aportantes de 619 km² y 1.381 km², respectivamente (ver ubicación en la Figura 2.42 en la sección Infraestructura). Las series históricas se presentan en la Figura 2.10, donde se observan valores diarios que podrían superar los 10 m³/s y que existen múltiples periodos sin información.

En relación a los datos observados, es necesario tomar en cuenta que de acuerdo al estudio del CIDERH (2014), la red de monitoreo actual en la Región de Tarapacá no está registrando bien los eventos hidrometeorológicos extremos, dado que, según lo indicado por DGA (2011a), las estaciones están diseñadas para la generación de una estadística normal, es decir, para cubrir un alto porcentaje de los eventos que se producen en el cauce. Los caudales extremos registrados podrían estar entonces fuera de la curva de descarga calibrada en la estación. El estudio del CIDERH (2014) señala además que si bien las estaciones han sido diseñadas para controlar y registrar caudales hasta periodos de retorno de 70 años (DGA, 2011a), esto no se refleja en los eventos registrados. Adicionalmente, se señala que un grupo de estaciones en la región, entre las que se encuentran Quebrada Tarapacá en Sibaya y Quebrada Tarapacá en Laonzana, han sido destruidas o dañadas por eventos de crecida, lo que explicaría los periodos sin registro.

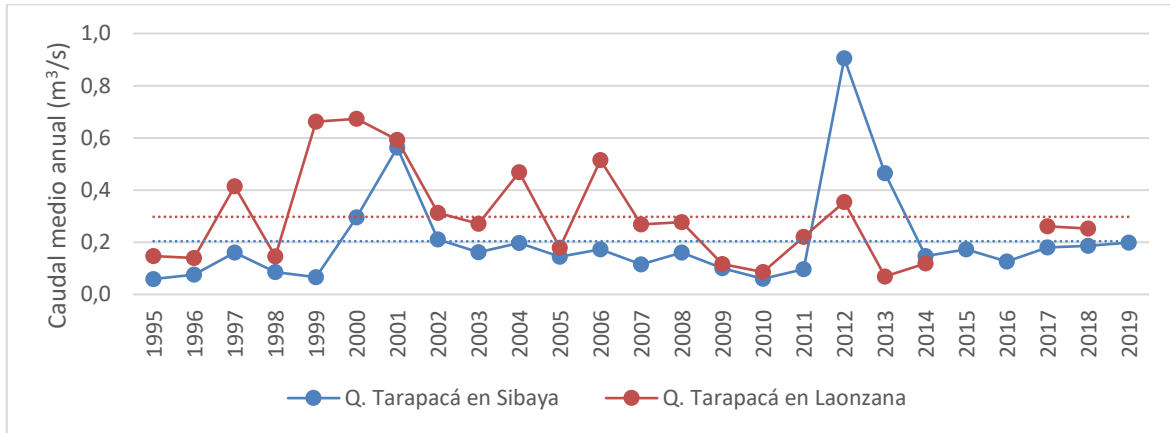


Fuente: elaboración propia, según registro estaciones DGA.

Figura 2.10 Caudales diarios registrados en las estaciones Quebrada Tarapacá en Sibaya y Quebrada Tarapacá en Laonzana.

El registro permite estimar los caudales medios anuales (Figura 2.11), serie que entrega un valor promedio de 0,2 m³/s en la estación Quebrada Tarapacá en Sibaya y 0,3 m³/s en la estación Quebrada Tarapacá en Laonzana.

Finalmente, si bien las otras subcuencas de la Pampa no cuentan con control fluviométrico, diversos autores han estimado el caudal medio anual superficial para aquellas subcuencas que presentarían escorrentía (DGA, 1987a, 1995, 2018a; SQM, 2008). La suma de los caudales varía entre los 842 l/s y 990 l/s, según lo detallado en la sección 3.1.4 del Anexo J.



Fuente: elaboración propia, según registro estaciones DGA.

Figura 2.11 Caudales medios anuales estimados en las estaciones Quebrada Tarapacá en Sibaya y Quebrada Tarapacá en Laonzana.

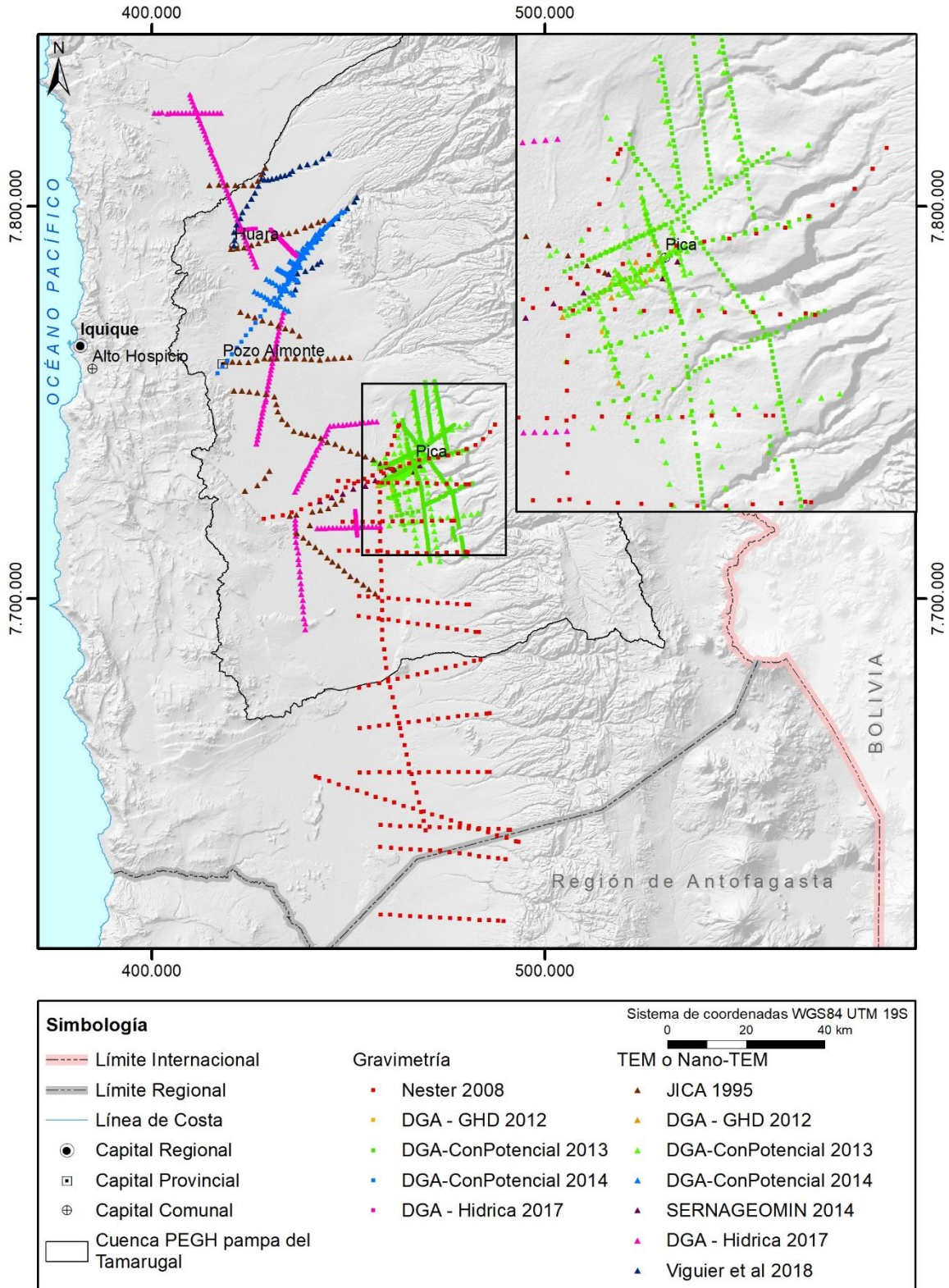
2.1.5 Hidrogeología

Los recursos de agua subterránea de la cuenca de la Pampa del Tamarugal, han sido objeto de estudio por varios autores debido a la importancia para el desarrollo socio-económico de la Región. De acuerdo a la división de los Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común (SHAC) de la DGA, estos recursos están distribuidos en dos acuíferos principales: Acuífero de la Pampa del Tamarugal (dividido en dos sectores acuíferos, Sector Pampa del Tamarugal y Sector de Pica) y el Acuífero del Salar de Sur Viejo, en la parte sur de la cuenca (Figura 2.13).

Los estudios previos respecto a la hidrogeología del sector, donde se discute la temporalidad y método de recarga, el origen y edad de las aguas subterráneas y los límites del acuífero, se detallan en la sección 4.1 del Anexo J.

Información geofísica

Los estudios de prospección geofísica desarrollados en la zona de la Pampa del Tamarugal que han permitido determinar la geometría del acuífero y profundidad del basamento impermeable para las estimaciones de volúmenes almacenados en el acuífero, se indican en detalle en el Anexo J, sección 4.2. La Figura 2.12 resume la ubicación de los estudios geofísicos realizados en la zona hasta la fecha.



Fuente: elaboración propia a partir de datos de antecedentes consultados.

Figura 2.12 Prospecciones geofísicas por gravimetría, TEM o Nano-TEM de estudios anteriores.

Acuíferos

A continuación, se presentan los acuíferos específicos del sector de Pica y el sector Sur Viejo.

Acuífero de Pica

El acuífero de Pica situado en la subcuenca de Quisma ha sido interés de numerosos estudios por la existencia del oasis de Pica y las vertientes que afloran en el sector.

La recarga de este acuífero se produciría por la precipitación en los Altos de Pica sobre los 3.000 m s.n.m., en rocas fracturadas y diaclasadas verticalmente. El agua se mueve lentamente por la Formación Altos de Pica hasta descargar cerca de Pica a través de fallas subverticales NS o continuar y recargar el acuífero de la Pampa del Tamarugal. La recarga total considera que un 20% de las precipitaciones se infiltra en un área de 400 km² sobre los 4.000 m de altitud y 600 km² entre los 3.000 y 4.000 m con precipitaciones de 200 y 100 mm respectivamente (CORFO-ICA, 1965). JICA (DGA, 1995) menciona además que la recarga subterránea resulta del excedente del balance de la cuenca del Salar del Huasco. La DGA-CCHEN (DGA-CCHEN, 1998) de acuerdo a resultados de análisis de isótopos de ¹⁸O y ²H, estima una recarga de 250 l/s producida en las zonas ubicadas a altitudes mayores de 3.500 m s.n.m, en un área de 223 km² y 175 mm de precipitación.

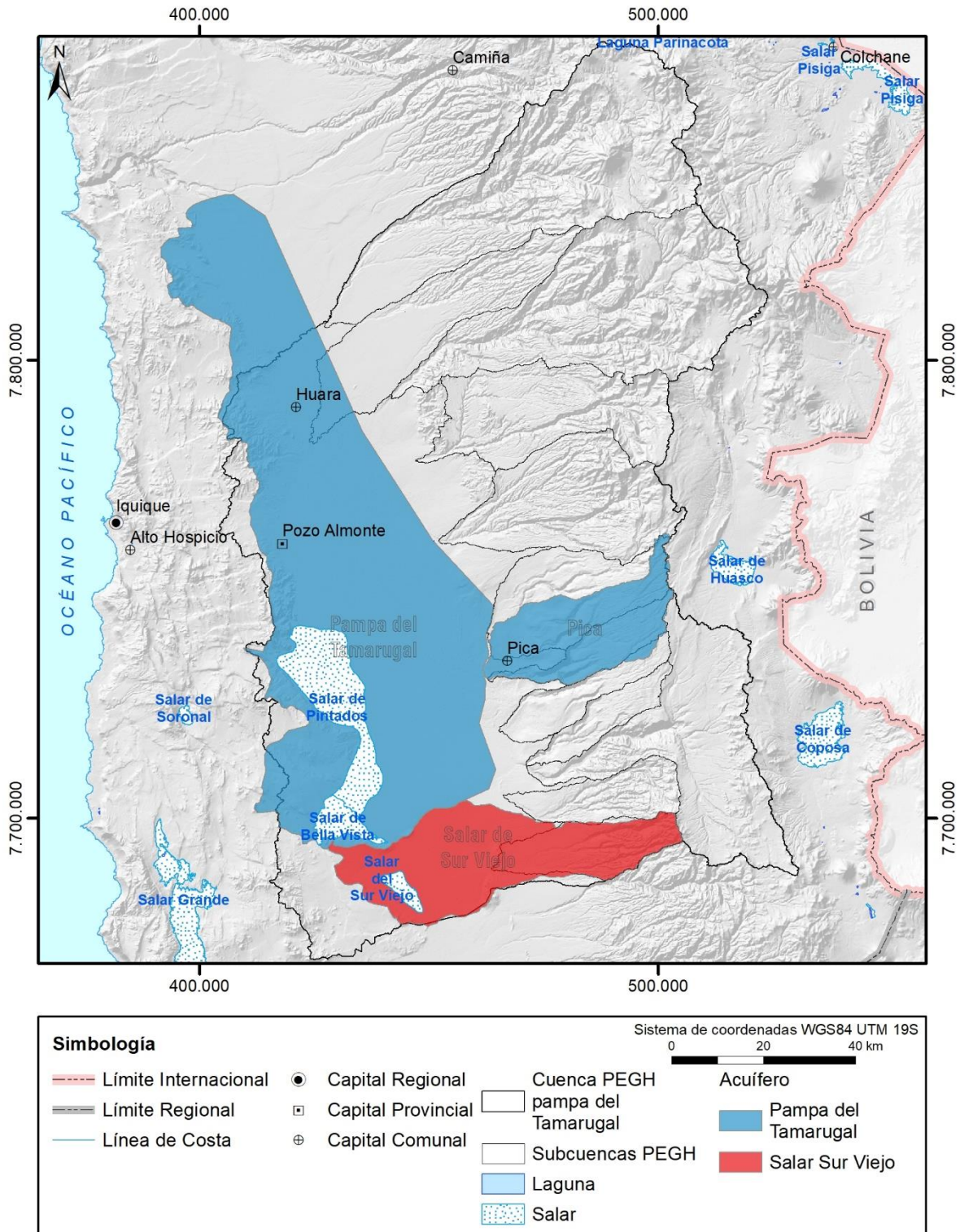
Estudios posteriores desarrollados por la (DGA, 2012a, 2012b) indican que en el sector de Pica existe un acuífero freático dentro del Miembro 5 (M1c) de la Formación Altos de Pica, con espesor entre 100 y 150 m y posiblemente múltiples capas confinadas más profundas. La gravimetría desarrollada en el área muestra un espesor de relleno de 200-300 m en la cuenca, siendo la Formación Longacho el basamento impermeable. La profundidad del agua subterránea estaría entre 15 y 30 m bajo el nivel de terreno y la dirección de flujo al oeste con un gradiente hidráulico promedio de 0,04. El acuífero tiene baja permeabilidad con valores de transmisividad <2 m²/día, incrementándose considerablemente estos valores en las zonas de fracturas (150 a 200 m²/día). El rendimiento del acuífero es menor a 5 l/s, a excepción del sondaje surgente de Chintaguay con más de 40 l/s. La recarga se produciría a altitudes sobre los 3.000 m s.n.m. dentro de la red de fracturas del Miembro 4 (M3t) de la Formación Altos de Pica, mientras que la descarga a la superficie ocurriría de forma natural por medio de vertientes y socavones y de forma artificial por extracciones en los pozos.

El estudio reciente de Scheihing (Scheihing et al., 2017) presenta datos geofísicos, hidroquímicos y métodos estadísticos con los cuales concluye que no existiría conexión entre el acuífero de Pica y el Salar del Huasco.

Acuífero Salar de Sur Viejo

El acuífero del Salar Sur Viejo tendría un espesor saturado medio no inferior a 50 m y se extendería en una superficie aproximada de al menos 100 km² (SQM, 1998) y de 370 km² (DGA, 2000). La transmisividad media fue estimada en 500 m²/día, el coeficiente

de almacenamiento entre el 4 y 8% y una permeabilidad media de 10 m/día. Niveles estáticos entre 17 y 32 m de profundidad, con escurrimiento natural de este a oeste y volumen almacenado al menos de 300 millones de m³ (SQM, 1998). La recarga alcanza los 16 l/s, proveniente de las aguas de la quebrada de Chipana y otra parte importante correspondiente a aguas fósiles (SQM, 1994). La recarga subterránea sería desde el noreste, identificándose dos secciones de las que se obtiene un caudal de 98,8 l/s, siendo la recarga total del acuífero de 115 l/s (DGA, 2000). La descarga subterránea se daría en el extremo sur y borde occidental del salar y por la explotación de pozos (DGA, 2000). Este acuífero se encontraría aislado, desconectado hidráulicamente del acuífero del Salar de Llamara ubicado más al sur, no descartándose que exista conexión con el Salar de Bellavista, sin embargo, este último se encuentra a una cota piezométrica 30 m superior.



Fuente: elaboración propia, base DGA.

Figura 2.13 Acuíferos en cuenca Pampa del Tamarugal.

Unidades Hidrogeológicas

Las unidades hidrogeológicas han sido caracterizadas según la definición realizada por SERNAGEOMIN (2017). En éste se describen 10 unidades, de las cuales 9 se encuentran dentro del área de la cuenca de la Pampa del Tamarugal definida por la DGA (Figura 2.14) y una fuera de la cuenca (UH C4).

Unidades Hidrogeológicas de Alto Potencial Relativo en Depósitos no Consolidados y Rocas

- **Unidad Hidrogeológica A1:** está compuesta por arenas y gravas con baja consolidación que conforman depósitos activos y recientes, se asocia con la unidad litológica de Sedimentos clásticos (MHc). Incluye depósitos de piedemonte, coluviales, aluviales, de remociones en masa, glaciales y eólicos. Se distribuye por toda la superficie del área que abarca la cuenca de la Pampa del Tamarugal, a excepción de los altos topográficos. Su mayor espesor se encuentra en el borde sur del Salar de Pintados y va disminuyendo hacia el norte, este y sur. En esta unidad los niveles varían entre 0,13 y 100,37 metros bajo la superficie del terreno (m b.s.t.), con un promedio de 28,92 m b.s.t. Esta unidad forma acuíferos en medio intergranular, libres a semiconfinados, posee el mayor potencial hidrogeológico relativo debido a la distribución areal y espesor. Es la unidad que concentra la mayor cantidad de pozos y norias perforadas, 302 en total.
- **Unidad Hidrogeológica A2:** la componen principalmente las areniscas, conglomerados, conglomerados arenosos y areniscas conglomerádicas con guijarros, de origen aluvial y eólico, semi a bien consolidados, estratificados, con intercalaciones de tobas e ignimbritas soldadas. Corresponde a la unidad litológica de Depósitos sedimentarios clásticos con intercalaciones volcánicas del Oligoceno al Mioceno (OMsv). Se ubica entre la zona central de la depresión Central y la precordillera, en la sección superior de las quebradas y además en escasos afloramientos aislados en los extremos norte y sur de la precordillera. Su mayor espesor se encuentra en la sección media del salar de Pintados (DGA, 1995) y en subsuperficie abarcaría la mayor parte de la zona centro-oriente de la depresión Central. Los niveles de agua varían entre los 9,52 y 43,14 m b.s.t., con un promedio de 25,23 m b.s.t. Esta unidad cuenta con una importante permeabilidad primaria que le permite el almacenamiento y transmisión de agua, sin embargo, las estructuras geológicas presentes en esta unidad, tales como el Anticlinal La Calera, flexuras Longacho y Chintaguay, le confieren una elevada permeabilidad secundaria. Forma acuíferos libres y principalmente semiconfinados a confinados. Se considera como una unidad de potencial relativo elevado, por su extensión areal y espesor.
- **Unidad Hidrogeológica A3:** compuesta por depósitos sedimentarios evaporíticos y detríticos pertenecientes a la unidad litológica Depósitos salinos con intercalaciones clásticas (PIHsc), reconociéndose en superficie por la

presencia de costras salinas. Se ubica principalmente al oeste de la Depresión Central, en los alrededores de las localidades de La Huayca y Cumiñalla. Los niveles de agua subterránea varían entre 1,4 y 38,61 m b.s.t., con un promedio en los 11 m b.s.t. Esta unidad forma acuíferos en medio intergranular, libres a semiconfinados, dependiendo de la proporción de sedimentos finos y la continuidad lateral de éstos, lo que le confiere transmisividades bajas puntuales.

Unidades Hidrogeológicas de Moderado Potencial Relativo en Depósitos no Consolidados

- **Unidad Hidrogeológica B1:** unidad compuesta por depósitos de gravas y arenas medianamente consolidadas con intercalaciones de tobas y tufitas, que se asocia con la unidad litológica definida como Depósitos aluviales del Mioceno Superior-Plioceno (MPa). Se ubica en la zona de transición entre la precordillera y la depresión Central y algunos afloramientos aislados en la precordillera del sector norte de la cuenca de la Pampa del Tamarugal. Puede formar acuíferos en medio intergranular, libres, semiconfinados y/o confinados dependiendo de la presencia y la profundidad de las intercalaciones volcánicas que actuarían como confinantes

Unidades Hidrogeológicas de Bajo Potencial Relativo en Rocas y Depósitos no Consolidados

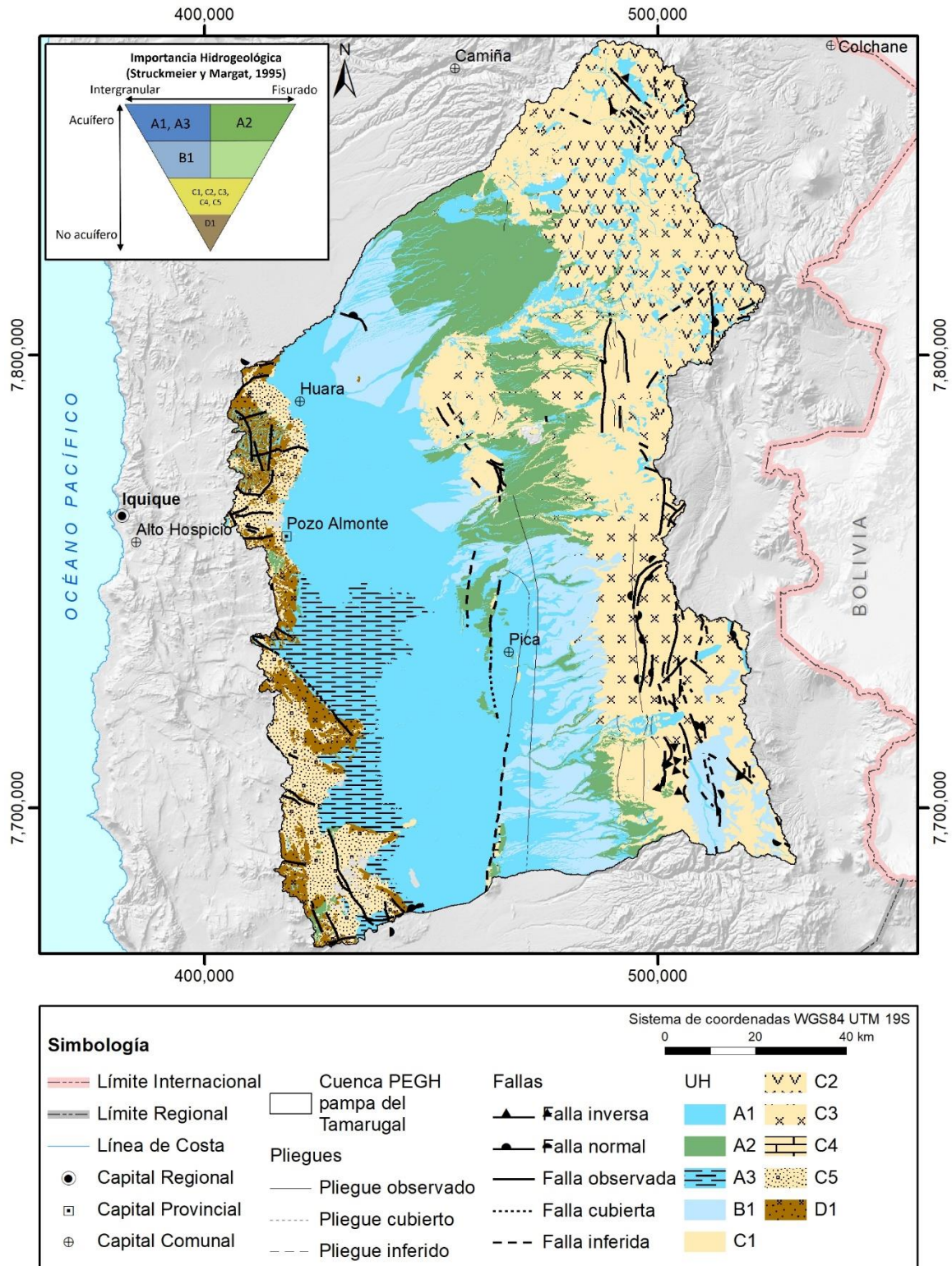
- **Unidad Hidrogeológica C1:** se compone por rocas pre-cenozoicas ubicadas en la precordillera, de tipo esquistos, migmatitas, filitas, granitos, dioritas, rocas volcánicas de las formaciones Collahuasi y Cerro Empexa, secuencias marinas de las formaciones Longacho y Duplijsa y rocas sedimentarias de las formaciones Copaquire, Majala y Chacarilla, denominadas como la unidad litológica Rocas del Paleozoico-Cretácico (PzKpc). Esta unidad es considerada como parte del basamento impermeable de la cuenca y constituyen principalmente acuícludos y posiblemente acuífugos, por lo que tienen un potencial relativo bajo. Debido a una larga historia de deformación evidenciada en las estructuras de orientación norte-sur en la precordillera y su disposición geomorfológica que la posiciona en una zona de recarga importante para la cuenca, puede albergar en sus fracturas a acuitardos que se conectan en la componente norte-sur, cuyas aguas no estarían conectadas con el sector bajo de la Pampa del Tamarugal.
- **Unidad Hidrogeológica C2:** constituida por los complejos volcánicos del Mioceno al Reciente y sus productos volcánicos, asociada a la unidad litológica Rocas volcánicas (MHrv). Su extensión se limita principalmente a la zona norte de la precordillera, alrededor de edificios volcánicos con distintos grados de erosión. Esta unidad tiene bajo potencial relativo a pesar de que se sitúa en una zona de recarga importante para la cuenca. Se le asocia una baja permeabilidad primaria, en general estas rocas son consideradas como impermeables, pudiendo albergar agua en sus fracturas siendo el movimiento de esta dependiente de la

interconexión que tengan las estructuras que afectan la unidad. Esta unidad puede formar acuífugos y acuícludos en roca fracturada.

- **Unidad Hidrogeológica C3:** unidad conformada por tobas que afloran principalmente en el sector oriental del área, asociadas a la unidad litológica Tobas soldadas (Mit), reconocidas en el sector de Pica, Canchones y al sur de Cumiñalla. Desde el punto de vista del recurso hidrogeológico, esta unidad tiene un bajo potencial relativo, pero se sitúa en una zona de recarga importante para las cuencas del margen oriental. Se le asocia una permeabilidad primaria baja. En la zona de Pica, esta unidad separaría un acuífero somero de un profundo, ambos alojados en rocas sedimentarias clásticas de la unidad **A2**. Ambos acuíferos estarían conectados mediante fracturas que afectan la unidad **C3** originadas por las flexuras del sector. Por tener baja permeabilidad primaria, puede comportarse como acuitardo y/o como acuícludo en roca fracturada, o como acuífugo cuando la roca no presenta fracturamiento.
- **Unidad Hidrogeológica C4:** esta unidad se ubica al sur del salar de Llamara, en las cercanías del Cerro Challacollo y al sur de la precordillera. Está comprendida por rocas sedimentarias detríticas con intercalaciones de carbonatos de origen lacustre, asociada a la unidad litológica Rocas sedimentarias clásticas con precipitados carbonáticos (Plcp)
- **Unidad Hidrogeológica C5:** está compuesta por gravas y arenas medianamente consolidadas con intercalaciones de tobas y tufitas, asociada a la unidad litológica Gravas de Alto Hospicio (OPah). Se ubica principalmente en el sector oeste del área, al norte del salar de Sur Viejo. Se le asocia una permeabilidad primaria alta. Su ubicación ocasiona una baja a nula recarga proveniente de las precipitaciones lo que disminuye su potencial hidrogeológico a bajo. En caso de existir agua en esta unidad, se podrían formar acuitardos en medio intergranular, libres, confinados y semiconfinados.

Unidades Hidrogeológicas de Nulo Potencial Relativo en Rocas (acuífugos y acuícludos)

- **Unidad Hidrogeológica D1:** se asocia a la unidad litológica Rocas del Paleozoico-Cretácico indiferenciadas de la Cordillera de la Costa (PzKcc). La conforman rocas metamórficas, intrusivas, hipabisales, volcánicas, sedimentarias marinas y continentales. Presenta una permeabilidad primaria baja y tiene un nulo potencial relativo desde el punto de vista hidrogeológico, ya que por su posición no recibe recarga alguna. En esta unidad se pueden encontrar acuífugos (rocas metamórficas ígneas intrusivas y volcánicas) y acuícludos (zonas afectadas por estructuras). Esta unidad es considerada como el basamento impermeable de la cuenca de la Pampa del Tamarugal y su presencia en superficie es el límite oeste de la cuenca.



Fuente: elaboración propia, modificado de SERNAGEOMIN (2017).

Figura 2.14 Mapa de Unidades Hidrogeológicas de la cuenca de la Pampa del Tamarugal.

Parámetros hidráulicos

Pruebas de bombeo y ensayos hidráulicos realizados en pozos existentes en la cuenca de la Pampa del Tamarugal, han permitido conocer en parte el funcionamiento del acuífero y la estimación de sus parámetros hidráulicos. Cabe destacar que la mayoría de estas pruebas se han realizado en la unidad hidrogeológica A1, lo que coincide con que es en esta unidad donde se concentra la mayor cantidad de pozos.

UChile (DGA, 1988), estima valores de transmisividad en pozos de la DGA entre 50 y 1.310 m²/día y valores de coeficiente de almacenamiento entre 1 y 20%, mientras que SQM (SQM, 1994), adopta un valor del 10% para este último sólo por considerar al acuífero del tipo libre.

De acuerdo con las estimaciones realizadas por SERNAGEOMIN (2017) de los parámetros de transmisividad (T) (m²/día) y coeficiente de almacenamiento (S) (%) recopilados y reinterpretados (sección 4.3 del Anexo J), la transmisividad varía ampliamente, definiéndose 4 zonas con valores entre 20 y 4.300 m²/día (sección 4.5 de Anexo J) y un coeficiente de almacenamiento conservador de 10%. La transmisividad fue obtenida de la información de 78 datos, de los cuales 67 se encuentran asignados a las unidades hidrogeológicas de la cuenca, y de la reinterpretación de pruebas de bombeo, mientras que el coeficiente de almacenamiento fue obtenido de los trabajos anteriores de JICA (DGA, 1995) y Geohidrología (DGA, 2013a). JICA (DGA, 1995) utilizó valores de coeficiente de almacenamiento entre 30 y 35% para las unidades hidrogeológicas compuestas por depósitos sedimentarios de grano medio a grueso, mientras que Geohidrología (DGA, 2012c; DGA, 2013a) considera un valor de S conservador, correspondiente a un 10% del volumen total de los rellenos saturados (tabla con datos de pruebas de bombeo hecha por JICA y recopiladas por SERNAGEOMIN en la sección 4.3 del Anexo J).

En la Tabla 2-9 se resumen los valores de T para los 67 datos de la cuenca, los cuales se agrupan por unidad hidrogeológica y se presentan valores mínimos, máximos y un promedio.

Tabla 2-9 Resumen de valores de T (m²/día) por unidad hidrogeológica, recopilados por SERNAGEOMIN (2017).

Unidad Hidrogeológica	N° datos	Transmisividad (m ² /d)		
		Min	Max	Promedio
A1	47	8	4.280	1.109,7
A2	1		381	
A3	18	20	2.090	805,9
B1	1		1.590	

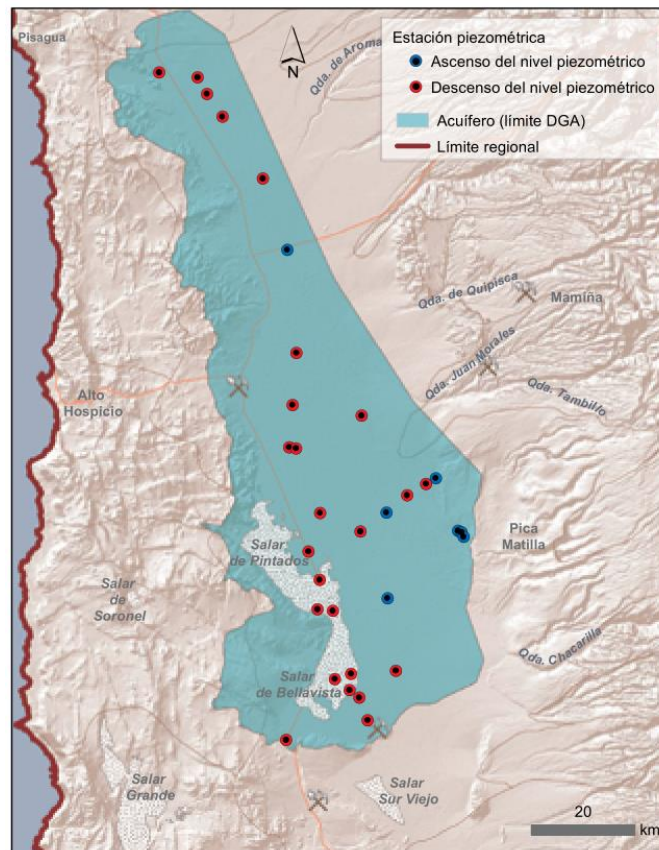
Fuente: elaboración propia.

Niveles freáticos y Piezometría

Evolución temporal niveles

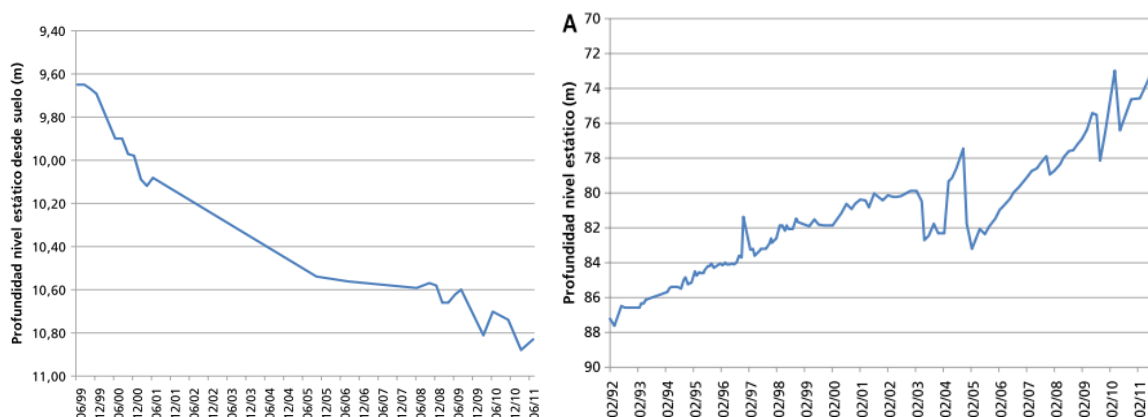
La evolución de los niveles freáticos de los acuíferos de la Pampa del Tamarugal, ha sido analizada previamente por diversos autores, entre los cuales se destaca el análisis de CIDERH (2013a) y SERNAGEOMIN (2017). La información detallada de ambos estudios se presenta en la sección 4.4 del Anexo J.

Según el estudio de CIDERH (2013a), en los 37 pozos de monitoreo de la DGA vigentes en el acuífero de la Pampa del Tamarugal la mayoría de los pozos muestran un descenso de nivel estático del acuífero con descensos comprendidos entre -0,46 m desde el año 2000 y -4,71 m desde el año 1988. No obstante, en 7 pozos se puede observar un ascenso en el nivel de 0,05 m desde el año 2000 y de 12,62 m desde el año 1992. La mayoría de estos pozos están situados en el sector sur y central, en el sector oriental de la Pampa del Tamarugal (CIDERH, 2013a) (Figura 2.15 y Figura 2.16).



Fuente: CIDERH (2013a).

Figura 2.15 Ubicación de pozos de monitoreo de la DGA y variación del nivel estático.



Fuente: CIDERH (2013a).

Figura 2.16 Evolución temporal del nivel estático en pozo JICA 3 (descenso) y en pozo Chacarilla (ascenso), periodo 1999-2012.

En el estudio de SERNAGEOMIN (2017), se realizó un análisis de los niveles de agua subterránea en la cuenca de la Pampa del Tamarugal con un catastro actualizado a diciembre de 2016², el cual se enfocó en 123 pozos que contaban con más de 25 registros de nivel. De estos, 91 mostraron una tendencia al descenso en sus niveles estáticos en el tiempo, mientras que 32 pozos mostraron un ascenso en sus niveles. Los descensos y ascensos se analizaron dependiendo de la profundidad de los pozos y los resultados se resumen en la Tabla 2-10. El listado de pozos con sus respectivos valores de descensos y ascensos se presentan en la sección 4.6 del Anexo J.

Tabla 2-10 Resumen de los descensos del nivel freático en m/año según SERNAGEOMIN (2017).

Profundidad Pozos (m)	Cantidad Pozos	Descenso / ascenso	Tasa (m/año)	Ubicación Pozos
<35	22	Descenso	0,0003 – 0,476	Cercanos a Salares Pintados y Llamara
35 - 80	5	Descenso	0,006 – 0,51	5 a 15 km de los límites de los salares
80 – 150	8	Descenso	0,063 – 2,7	
150 – 225	9	Descenso	0,018 – 0,31	
>225	3	Descenso	0,15 – 0,17	
<35	17	Ascenso	0,00004 – 0,18	Salar de Llamara*
35 - 80	2	Ascenso	0,016 – 0,026	Cerca de localidad Esmeralda
80 – 150	1	Ascenso	0,038	A 13 km de Cumíñalla
150 – 225	1	Ascenso	0,045	A 7 km de Huara
>225	1	Ascenso	0,735	

* Fuera del área del presente estudio, ascenso de niveles por reinyección de agua en faenas SQM.

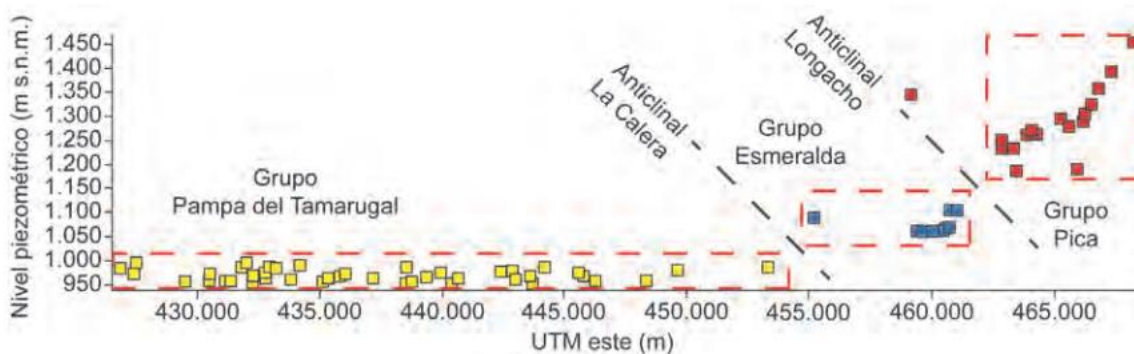
Fuente: elaboración propia.

² Información Oficial Hidrometeorológica y de Calidad de Aguas en Línea [en línea] <https://snia.mop.gob.cl/BNAConsultas/reportes> (visitado por última vez el 26/05/2021)

Los pozos ubicados en la quebrada de Chacarilla y en el abanico que desagua dicha quebrada, muestran una tendencia al ascenso en sus niveles, independiente de la profundidad de las captaciones, por lo que concluyen que esta quebrada aportaría una cantidad importante de agua subterránea al sistema (SERNAGEOMIN, 2017).

Piezometría

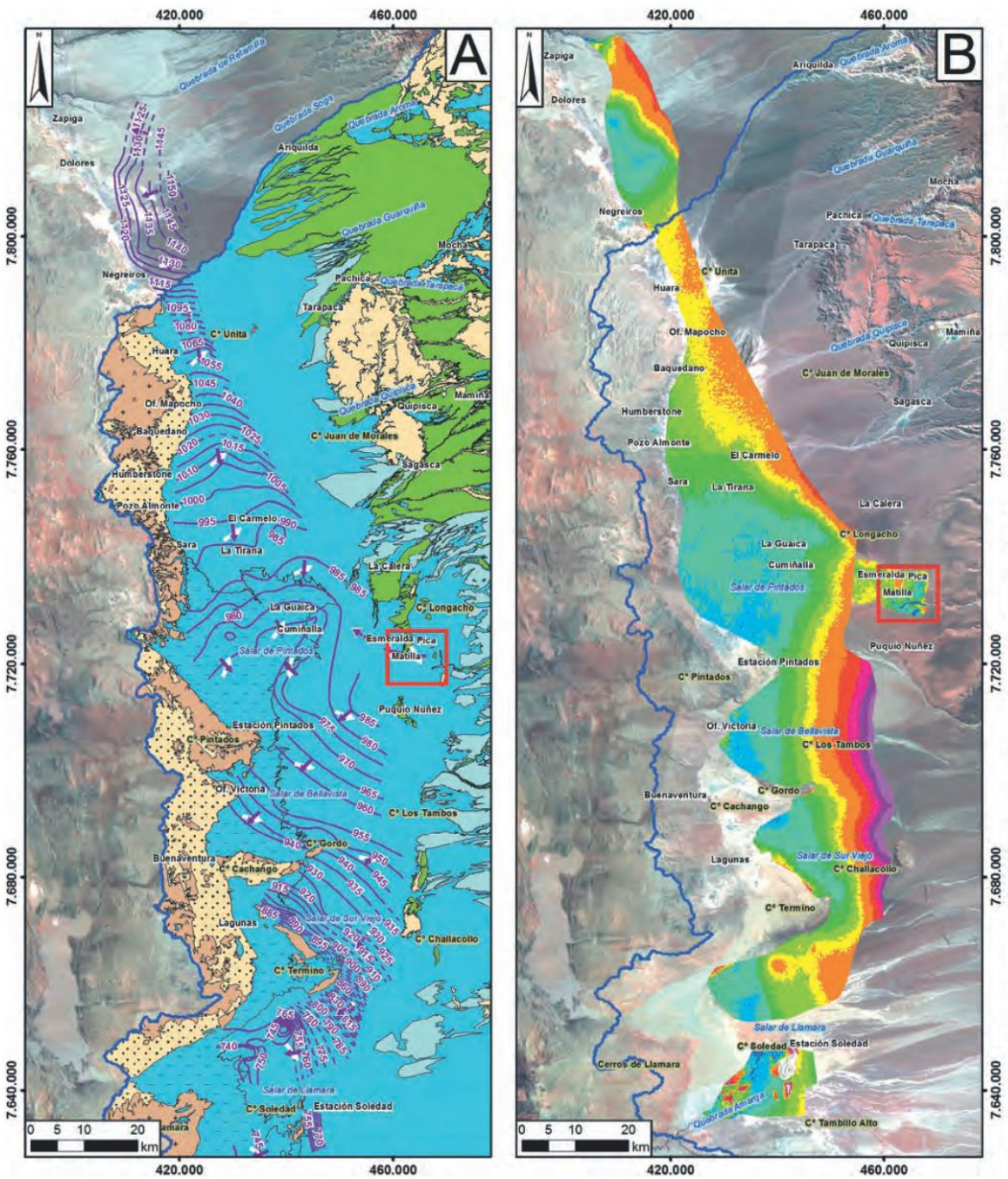
La piezometría más actualizada es la elaborada por SERNAGEOMIN (2017), ésta involucra los niveles históricos recopilados entre 1968 y 2016 y considera que los niveles medidos en terreno reflejan el nivel de un acuífero intergranular, libre y somero, alojado en las unidades hidrogeológicas A1, A2 y A3. Además, SERNAGEOMIN (2014a) reconoce 3 zonas cuyos gradientes hidráulicos (Figura 2.17) y direcciones de flujo difieren entre sí, asociando dichas diferencias con la disposición que presentan las estructuras mayores del área de estudio, como las flexuras Chintaguay y Longacho y el Anticlinal La Calera, las que causan un notorio escalonamiento de los niveles piezométricos de este a oeste, dirección que es coincidente con el flujo de agua subterránea en esta zona (información en detalle en la sección 4.4 de Anexo J).



Fuente: SERNAGEOMIN (2017); modificado de SERNAGEOMIN (2014a).

Figura 2.17 Variación de nivel piezométrico a lo largo de la coordenada UTM Este con respecto a la ubicación de los anticlinales La Calera y Longacho.

El mapa de isopiezas, que representa el nivel piezométrico del acuífero intergranular, libre y somero de la cuenca de la Pampa del Tamarugal representado por las unidades hidrogeológicas A1, A2 y A3 que elaboró el SERNAGEOMIN (2017) se presenta en la Figura 2.18. Este mapa muestra el comportamiento del acuífero para diciembre del 2016. Entre las localidades de Huara y Baquedano, el flujo subterráneo tiende a ser cada vez más norte-sur. Desde el extremo norte del Salar de Pintados hasta su límite sur, la dirección de flujo se caracteriza por tener un bajo gradiente general y puntualmente se pueden observar 3 importantes conos de depresión condicionados por las extracciones de agua subterránea de las empresas. La profundización de los niveles hacia el centro del salar sería representativa de una salida por evaporación. En el sector del salar de Bellavista el gradiente aumenta concordante con la altitud del basamento alzado. Desde las cercanías de Matilla hacia el salar de Bellavista, las líneas de flujo muestran un sentido NE-SW. En el sector del salar de Pintados, los niveles disminuyen hacia el centro del salar, indicando salida por evaporación.



Fuente: SERNAGEOMIN (2017).

Figura 2.18 Mapa piezométrico de la cuenca de la Pampa del Tamarugal. (A) Mapa de isopiezas (m s.n.m.). (B) Mapa de isopropfundidades del agua subterránea (m b.s.t.).

En la sección 4.6 del Anexo J se indica la piezometría en detalle para el sector de Pica.

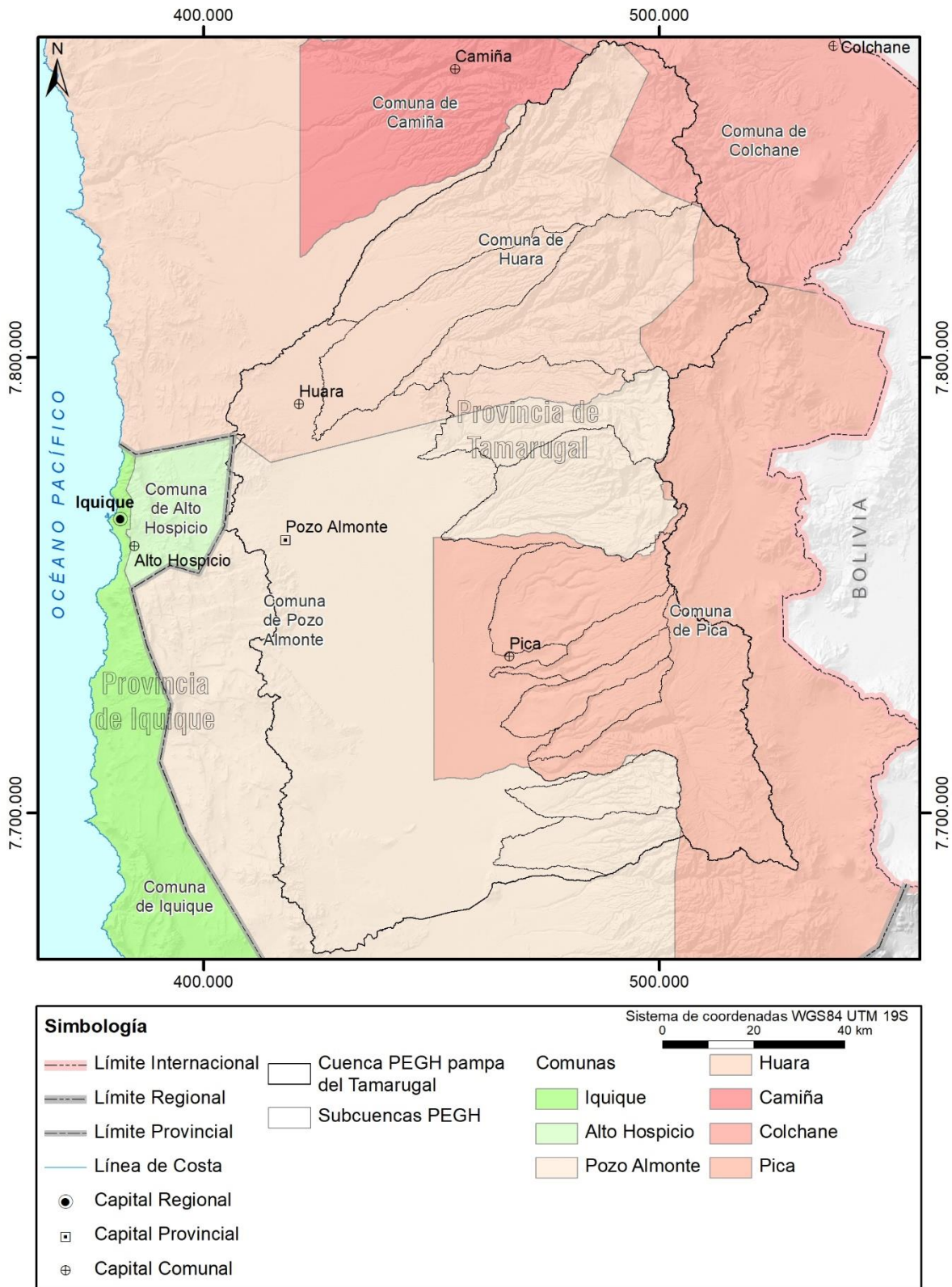
2.1.6 División político-administrativa

La cuenca de la Pampa del Tamarugal queda ubicada dentro de la región de Tarapacá, cuya capital es la ciudad de Iquique. Administrativamente, ésta se divide en dos provincias: Iquique y El Tamarugal, cuyas capitales son Iquique y Pozo Almonte, respectivamente. La provincia de Iquique se divide en las comunas de Iquique y Alto Hospicio de capitales homónimas. Por otro lado, la provincia de El Tamarugal se divide en 5 comunas: Camiña, Colchane, Huara, Pica y Pozo Almonte. A continuación, se presenta la Tabla 2-11 y la Figura 2.19 con dicha información.

Tabla 2-11 Provincias y comunas de la región de Tarapacá.

Región	Provincia	Comuna
I - Región de Tarapacá Área: 42.288 km ² 100% de la cuenca Capital Iquique	Iquique Área: 2.860 km ² 0% de la cuenca Capital: Iquique	Alto Hospicio Área: 571 km ² 0% de la cuenca Capital: Alto Hospicio
		Iquique Área: 2.289 km ² 0% de la cuenca Capital: Iquique
	Tamarugal Área: 39.428 km ² 100% de la cuenca Capital: Pozo Almonte	Camiña Área: 2.200 km ² 0% de la cuenca Capital: Camiña
		Colchane Área: 4.008 km ² 2% de la cuenca Capital: Colchane
		Huara Área: 10.472 km ² 29% de la cuenca Capital: Huara
		Pica Área: 8.982 km ² 26% de la cuenca Capital: Pica
		Pozo Almonte Área: 13.766 km ² 43% de la cuenca Capital: Pozo Almonte

Fuente: elaboración propia.



Fuente: elaboración propia.

Figura 2.19 Provincias y comunas de la región de Tarapacá.

Se observa que la cuenca estudiada se ubica administrativamente en la provincia del Tamarugal, y abarca gran parte de las comunas Pozo Almonte, Pica, Huara, y en menor medida Colchane y Camiña.

2.1.7 Actividad Económica

Las actividades económicas más importantes de la cuenca de la Pampa del Tamarugal corresponden a la minería, servicios, agricultura, turismo y en menor medida a la industria. El detalle de las actividades económicas principales que se dan en la cuenca se presenta a continuación y se detallan en el capítulo 6 del Anexo J.

Minería

Desde el punto de vista productivo, la Región de Tarapacá fue y nuevamente se ha convertido en una región eminentemente minera. Lo mismo ha pasado con la cuenca de la Pampa del Tamarugal, en la cual se emplazan principalmente mineras de índole no metálica, pero también la gran y mediana minería metálica.

Minería No Metálica

Respecto de la minería no metálica, los principales recursos que se explotan son el yodo, el salitre y diatomita. Las empresas que se encuentran operando en la región se indican en la Tabla 2-12.

Tabla 2-12 Empresas de Minería No Metálica cuenca Pampa del Tamarugal.

Empresa	Estado
Cosayach	Operativa
ACF Minera	Operativa
SQM	Operativa
Bullmine	Proyecto
Eloisa	Proyecto
Ymeris Chile (Josefina)	Operativa

Fuente: SERNAGEOMIN (2019).

En la Tabla 2-13, se presenta un resumen de la Producción de Rocas y Minerales Industriales.

Tabla 2-13 Producción de Minería no Metálica (Miles de Toneladas).

Recurso	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Diatomita	14,9	20,3	16,8	17,4	20,9	23,4	21,4	22,5	22,5	21,6
Nitratos	65,4	76,5	78,7	15,3	31,3	30,2	27,5	33,7	58,2	52,9
Yodo	11,3	10,5	11,0	11,3	11,9	11,6	13,5	13,5	11,8	13,3

Fuente: SERNAGEOMIN (2019).

Minería Metálica

Respecto de la minería metálica, los principales recursos que se explotan son el cobre y en menor importancia el molibdeno. Las empresas que se encuentran operando en la región se indican en la Tabla 2-14.

Tabla 2-14 Empresas de Minería Metálica.

Cerro Colorado	En producción desde el año 1994, ubicada a unos 50 km al este de la ciudad de Pozo Almonte y a una altura de 2.600 m s.n.m.
Haldeman Mining Company	Puesta en marcha en el año 2004, ubicada en la quebrada de Sagasca, a 60 km al interior de Iquique. No se encuentra en funcionamiento.

Fuente: DIRPLAN (2012).

La estadística de producción de estos yacimientos, expresada en miles de toneladas métricas de cobre fino, muestra que la producción total de Cu de la región el año 2019 disminuyó un 33,2% respecto del 2009 (Tabla 2-15).

Tabla 2-15 Producción de Cobre Fino por yacimiento (Miles de Toneladas métricas).

Yacimiento	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Cerro Colorado	93,7	89,0	94,3	73,1	73,6	79,6	74,4	74,0	66,2	66,2	71,7
Haldeman	13,7	19,0	s/i								
Total	107,4	108,0	94,3	73,1	73,6	79,6	74,4	74,0	66,2	66,2	71,7

Fuente: extraído de COCHILCO (2020).

Agropecuario (agrícola, pecuario)

La escasez de agua y la salinidad de los suelos limitan enormemente la agricultura, pero existen oasis donde la fertilidad es muy elevada. En ellos, mediante regadío, se obtienen rendimientos muy altos, pues las horas de insolación al año son muchas. Además, al estar la región situada en una zona tropical, no está sometida a la estacionalidad de las temperaturas. La distribución de la superficie total sembrada o plantada por grupo de cultivo y por comuna se muestra en la Tabla 2-16, cuya superficie está dentro de la cuenca de la Pampa del Tamarugal.

Tabla 2-16 Superficie Total Sembrada o Plantada por Grupo de Cultivos y por comuna en la cuenca de la Pampa del Tamarugal.

Cultivo	Superficie por Comuna (ha)			
	Huara	Pozo Almonte	Pica	Región
Cereales	18,82	1,53	600	1.378,74
Leguminosas y tubérculos	0,39	0,65	0	93,59
Industriales	0	0	0,06	0,06
Hortalizas	177,45	88,97	9,97	582,84
Flores	0,46	2,59	0,25	3,30
Plantas forrajeras	73,58	50,59	1,50	154,21
Frutales	27,30	13,60	326,74	393,11
Viveros	0	0	0,09	0,09
Semilleros	0,31	0,03	0	13,89
Forestales	1,00	451,11	373	825,15
Total	299,31	609,07	1.311,61	3.444,98

Fuente: Teknoriego (CNR, 2017).

Turismo

Si bien la Región de Tarapacá tiene una posición geográfica estratégica frente al Cono Central de Sudamérica, lo cual implica contar con un potencial turístico de más de 80 millones de personas. La región ha tenido una variabilidad importante en el aspecto turístico, para lo cual se muestran algunas cifras publicadas en los Anuarios de Turismo 2008-2016 del Sernatur, cuyo número de visitantes al Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas (SNASPE) se muestra en la Tabla 2-17, las cuales se encuentran en su mayoría en la provincia del Tamarugal.

Tabla 2-17 Visitas SNASPE I Región.

Año	Total	Chilenos	Extranjeros
2008	12.799	10.143	2.656
2009	12.213	9.625	2.588
2010	17.161	14.086	3.075
2011	9.875	8.281	1.594
2012	2.271	1.648	623
2013	3.228	2.679	549
2015	10.638	9.275	1.363
2016	10.861	9.593	1.268

Fuente: SERNATUR (2020).

Servicios

Varios servicios públicos y privados se encuentran en la capital provincial de Pozo Almonte, dados principalmente por los servicios públicos de la gobernación provincial, municipalidad, juzgados, y privados como bancos y oficinas de empresas contratistas mineras.

Manufactura

Algunas industrias productoras de algas y emprendimientos pequeños se ubican en el sector de la Huayca y Pica.

Economía Regional

El PIB de la Región de Tarapacá para el año 2018 fue de M\$4.194.506 pesos chilenos, valor que experimentó un aumento de un 38% con respecto al año 2010 (M\$3.046.656 pesos chilenos).

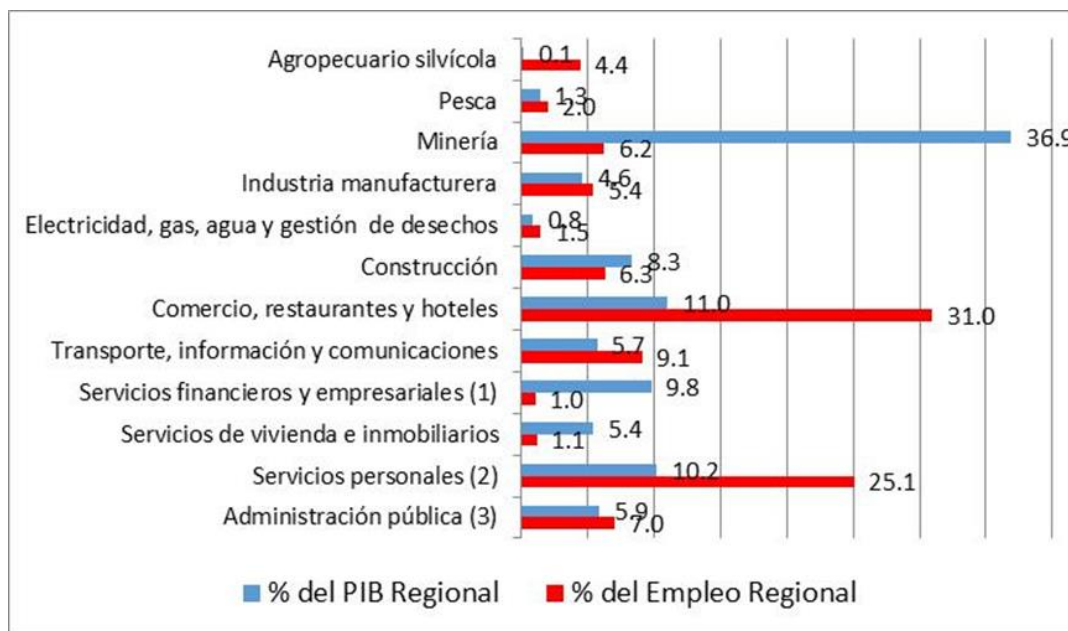
En la Tabla 2-18 y Figura 2.20 se presentan los valores de producción bruta de cada sector, calculados en el DPM. Los resultados muestran que el sector de Minería abarca casi un 37% del PIB de la Región (M\$1.548.535). El sector de turismo definido como el sector de comercio, restaurantes y hoteles, representa un 11,0% (M\$460.620). Y los servicios personales, que incluyen a la educación, salud y otros servicios representan un 10,2% (M\$426.133). El resto de los sectores: Agropecuario-Silvícola, Pesca, Industria Manufacturera, Electricidad; Gas y Agua, Construcción, Transporte y Comunicaciones, Transporte y Comunicaciones, no superan el 10,0% y en conjunto suman un 41,9% del

PIB de la Región. En particular, el sector Agropecuario-Silvícola tiene el porcentaje más bajo de la participación del PIB, con un 0,14% (M\$5.746).

Tabla 2-18 Estructura productiva regional de Tarapacá año 2018.

Ficha Regional Tarapacá Año 2018	PIB (Millones de pesos)
Agropecuario silvícola	5.746
Pesca	56.560
Minería	1.548.535
Industria manufacturera	192.075
Electricidad, gas, agua y gestión de desechos	35.274
Construcción	348.952
Comercio, restaurantes y hoteles	460.620
Transporte, información y telecomunicaciones	238.463
Servicios financieros y empresariales	410.843
Servicios de vivienda e inmobiliarios	225.830
Servicios personales	426.133
Administración pública	245.475
PIB Regional	4.194.506

Fuente: Banco Central (2020).



Fuente: Banco Central (2020).

Figura 2.20 Estructura del PIB Región de Tarapacá año 2018.

2.2 Clima

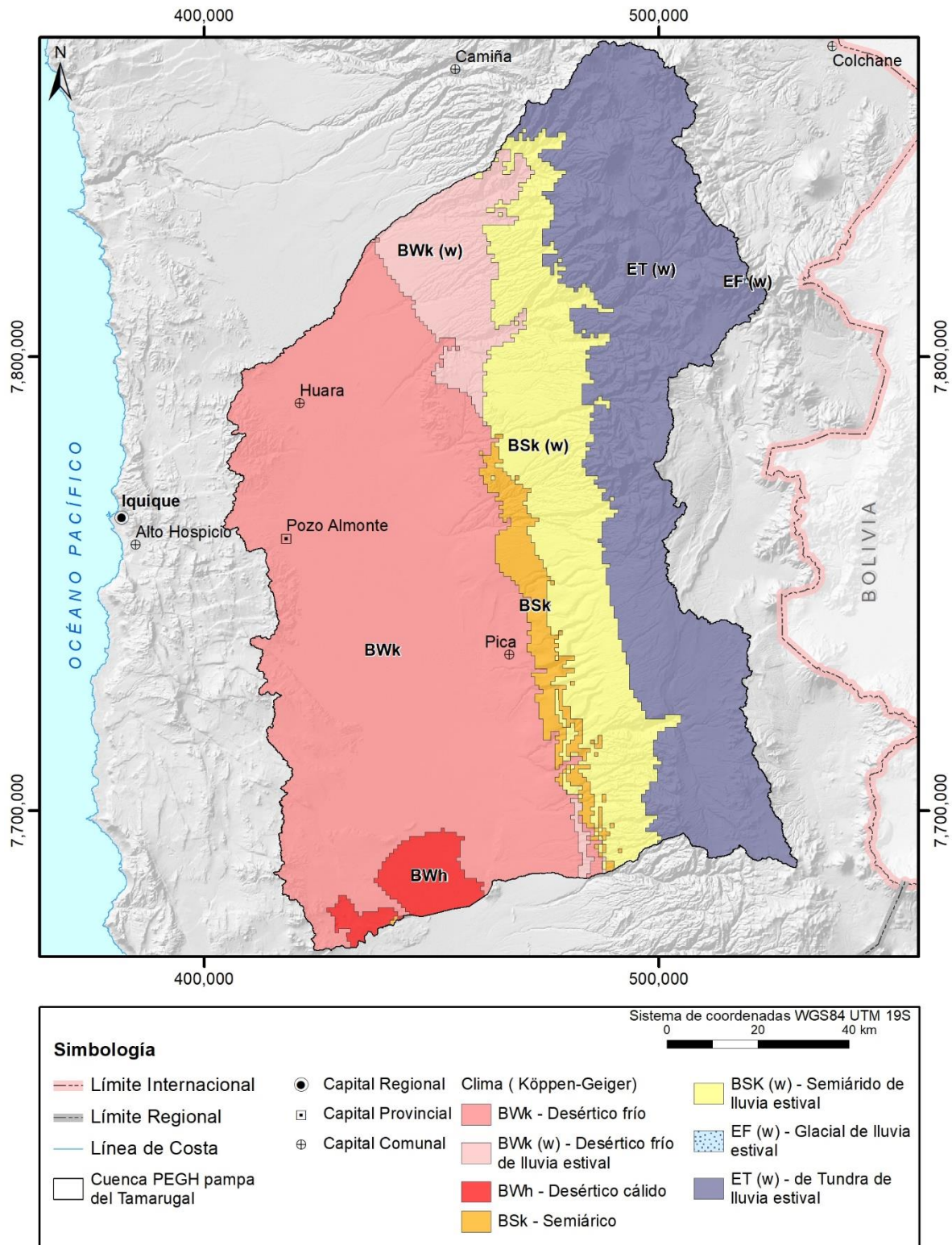
A continuación, se presentarán los aspectos climáticos de la cuenca de la Pampa del Tamarugal, entre los que se cuentan la caracterización climática, eventos extremos, variabilidad climática y cambio climático.

2.2.1 Caracterización climática

Según la carta hidrogeológica de la Pampa del Tamarugal (SERNAGEOMIN, 2017), la zona de estudio posee un clima desértico normal, con cielos despejados durante todo el año, gran aridez, humedad atmosférica baja y una oscilación térmica diaria que llega hasta los 25 °C, debido a la presencia de una masa de aire muy estable y seca.

A su vez, la Pampa del Tamarugal forma parte del desierto de Atacama, considerado como hiper-árido debido a la ausencia de precipitaciones y su elevada evapotranspiración. Sin embargo, en sectores de altura geográfica sobre los 2.000 m s.n.m., ocurre el llamado Invierno Altiplánico, que consiste en lluvias estivales debido a la presencia de masas de aire amazónicas húmedas que llegan hasta a la cordillera Oriental constituyendo la principal fuente de humedad y precipitaciones.

Desde el oeste al este de la Pampa se presentan variaciones climáticas dispuestas en franjas longitudinales (Figura 2.21) que a continuación se describen por categorías, según la clasificación climática de Köppen.



Fuente: elaboración propia a partir de los datos de Sarricolea et al. (2017).

Figura 2.21 Clasificación climática de Köppen en la cuenca de la Pampa del Tamarugal.

El **clima desértico frío** se presenta en la gran mayoría de la extensión de la Pampa del Tamarugal, caracterizado por una baja humedad relativa, cielos permanentemente despejados, grandes cambios de temperatura entre el día y la noche y la ausencia de precipitaciones. A pesar de su cercanía con la fuente de vapor de agua que representa el océano Pacífico, existen dos factores que condicionan la aridez, por una parte, está la influencia del anticiclón del Pacífico sur que bloquea el paso de sistemas frontales, y por otro, el efecto barrera de la Cordillera de Los Andes que impide la entrada de las masas de aire húmedas que provienen del sector tropical continental. Así mismo, la alta radiación solar y la emisión nocturna de radiación infrarroja desde la superficie, explican el fuerte contraste térmico entre el día y la noche, con temperaturas que varían desde los 25°C en el día a los -15°C durante la noche. Cuando se tienen fuertes precipitaciones en época de verano, este clima toma el nombre de clima **desértico frío de lluvia estival**, el cual se presenta a una altura entre los 1500 a 2600 m s.n.m.

El **clima desértico cálido** se presenta al sur de la cuenca en el sector del salar del Sur Viejo, caracterizándose por la nubosidad que se intensifica en invierno y la alta humedad que aporta el mar. De esta manera, la alta humedad por la proximidad del mar y el efecto moderador de la corriente de Humboldt, producen bajas amplitudes térmicas tanto diarias como anuales, manteniéndose durante el año temperaturas entre 20 y 25°C.

El **clima semiárido** se presenta entre los 1.800 y 2.200 m s.n.m. El régimen de precipitaciones es mezclado, observándose precipitaciones estivales y de origen ciclónico, aunque escasas en ambos casos. Las de origen ciclónico se presentan con intervalos de varios años, cuando suceden inviernos pluviométricamente rigurosos en la zona central del país. En estos casos, suelen ser mayores a las del verano. Debido a la altura, las temperaturas son relativamente frías, con un promedio no superior a los 10°C, en el que las oscilaciones térmicas anuales se atenúan, pero las diarias aumentan. Entre los 2.200 y 3.000 m s.n.m. se tienen mayores precipitaciones durante el verano, considerándose un clima **semiárido de lluvia estival**.

Por su parte, a partir de los 3.000 m s.n.m. se presenta el **clima frío de tundra por altura de lluvia estival**. La elevada altitud hace que las temperaturas sean muy frías, las temperaturas medias no sobrepasan los 5°C y que se produzca una gran amplitud térmica entre el día y la noche. La principal característica es el aumento de las precipitaciones, las más importantes ocurren en las tardes de verano y son los llamados inviernos altiplánicos de origen convectivo, provenientes de nubosidad producida por el ascenso de masas de aire cargadas de humedad por la ladera oriental de Los Andes, que tiene origen en la cuenca amazónica y en el Atlántico. En algunos sectores se registran hasta los 400 mm de precipitación en el año, alguna de ella en forma de nieve.

A partir de los 5.700 m s.n.m., las temperaturas hacen que las nieves sean perpetuas, caracterizando las cumbres más elevadas de la región, con una humedad relativa en general baja, tipo de clima que se denomina **glacial de lluvia estival**.

2.2.2 Eventos extremos y variabilidad climática

A continuación, se presenta la información respecto a los eventos extremos y la variabilidad climática, caracterizando los eventos extremos, y con un análisis de frecuencias para estimar la precipitación máxima en 24 horas y el caudal máximo anual.

Caracterización de eventos extremos

La Pampa del Tamarugal cuenta con una serie de quebradas aportantes, en algunas de ellas se han presentado crecidas importantes. En este sentido, las quebradas que mayor captación de precipitación, propensas a tener aluviones, corresponden a la quebrada Aroma, Tarapacá y Chacarillas.

De acuerdo a algunos autores, las crecidas en estas subcuencas determinan grandes magnitudes de recarga hacia el acuífero de la Pampa del Tamarugal (DGA, 2014a). En la Tabla 2-19 se indican algunos eventos reportados en los medios de difusión.

Tabla 2-19 Reportes de crecidas en las subcuencas aportantes a la Pampa del Tamarugal.

Fecha	Fecha	Registro o referencia
Quebrada Chacarilla	Enero de 2000	Houston, (2001)
Quebrada de Tarapacá	Marzo de 2012	14 pueblos aislados por aluviones en Camiña y Quebrada de Tarapacá (Edición Cero, 2012)
	Febrero 2019	Huara en alerta producto de la crecida de la Quebrada de Tarapacá (Radio Cooperativa, 2019)

Fuente: elaboración propia.

La ocurrencia de estos eventos extremos puede o no tener relación con la cantidad de lluvia del Invierno Altiplánico, pues si se revisa la Figura 2.6, que muestra la precipitación anual en la cuenca de la Pampa del Tamarugal en el periodo 1985-2019, se observa que los años 2012 y 2019, donde se reportaron crecidas importantes (ver Tabla 2-19), efectivamente fueron muy lluviosos con valores por sobre el promedio. Sin embargo, para el evento del año 2000 (ver Tabla 2-19), se tiene que la precipitación media anual está por debajo del promedio histórico, lo que lleva considerar que el evento de crecida fue desencadenado por lluvias cortas de alta intensidad.

Tomando en cuenta la alta variabilidad de las precipitaciones en la cuenca de la Pampa del Tamarugal, y que la generación de escorrentía y eventos extremos se asocia a algunas de las quebradas afluentes, se ha optado por centrar el análisis de eventos extremos en la subcuenca de la Quebrada de Tarapacá, zona en la que se cuenta con mayor información meteorológica y fluviométrica.

Análisis de frecuencia: precipitación máxima en 24 horas

En la Figura 2.22 se muestra la serie de precipitaciones máximas en 24 horas en **la subcuenca de la Quebrada de Tarapacá**. Los valores son **representativos a nivel de dicha subcuenca**, y han sido determinados a partir del producto de precipitación

CR2MET v2. Cada valor representa el valor máximo anual de precipitación diaria multiplicado por un factor de 1,06, dado que la precipitación medida en un día corresponde a un 78% - 100% del valor de precipitación máxima en 24 horas (Stöwhas, 2017).

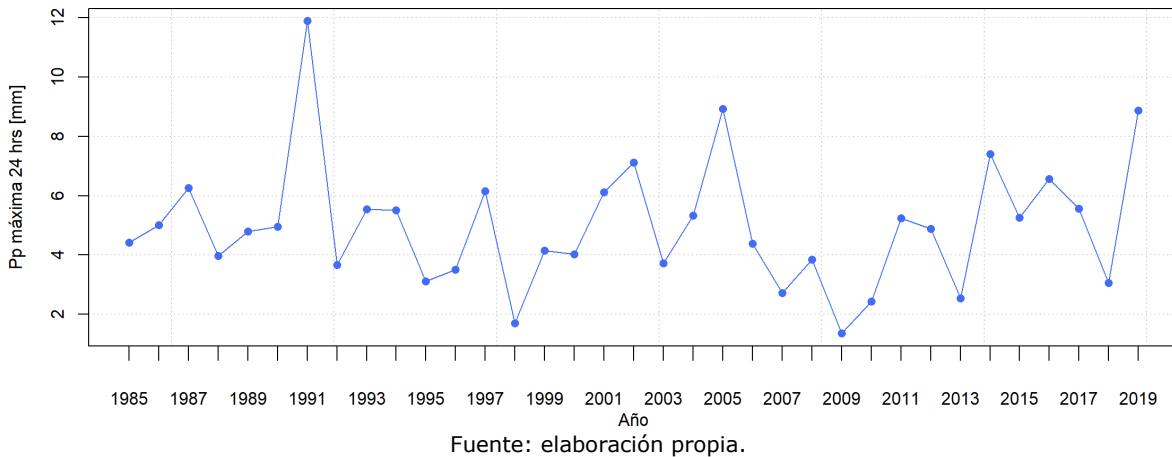


Figura 2.22 Serie de precipitaciones máximas en 24 horas (1985-2019).

Se realizó un análisis de frecuencia para la precipitación máxima en 24 horas, considerando las distribuciones Log-Normal, Pearson, Log-Pearson y Gumbel. Para evaluar el desempeño de las distribuciones, se realizó el test chi-cuadrado (χ^2) con un 5% de nivel de significancia, donde la hipótesis nula corresponde a una igualdad entre valores empíricos y los valores teóricos según cada distribución. En la Tabla 2-20 se muestran los resultados de este análisis.

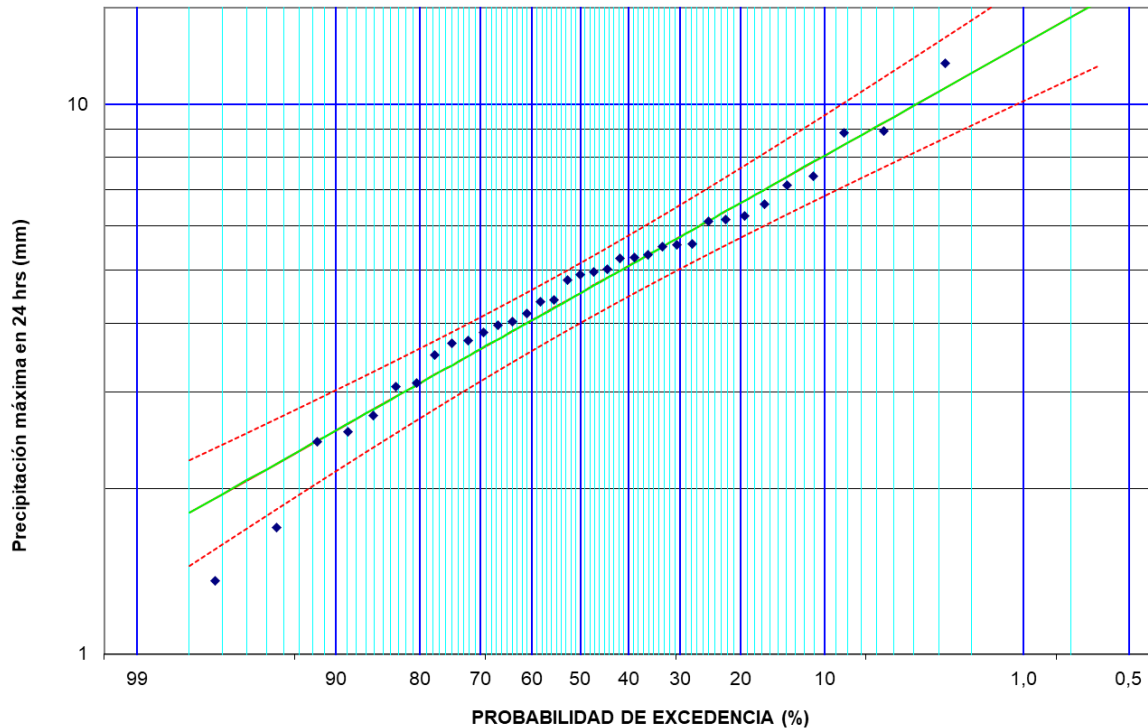
De acuerdo a lo mostrado en la Tabla 2-20, ninguna de las distribuciones consideradas es rechazada por el test χ^2 , estando los estadísticos por debajo del límite, para un nivel de significancia del 5%. Las estimaciones teóricas son similares para cada periodo de retorno, según las distintas distribuciones analizadas, siendo los valores más conservadores los calculados con la distribución Log-Normal. Esta distribución se ha por tanto seleccionado para caracterizar las precipitaciones máximas en 24 horas, lo que entrega un valor de 12,9 mm para un periodo de retorno de 100 años. Es importante reiterar que estos valores son representativos a nivel de la subcuenca de la Quebrada de Tarapacá, mas no para un punto específico, como suele hacerse cuando se utilizan directamente datos de estaciones.

Tabla 2-20 Resultados de análisis de frecuencia para precipitación.

Período de Retorno (años)	Precipitación Máxima Anual en 24 Horas (mm)			
	Log-Normal	Pearson	Log-Pearson	Gumbel
2	4,5	4,6	4,7	4,6
5	6,6	6,6	6,7	6,8
10	8,1	7,8	7,8	8,2
20	9,5	9,0	8,8	9,6
25	10,0	9,4	9,1	10,0
50	11,4	10,5	10,0	11,3
100	12,9	11,6	10,8	12,7
200	14,4	12,6	11,6	14,0
300	15,3	13,2	12,0	14,8
chi2(calculado)	2,95	2,65	3,07	4,06
chi2(0,05)	5,99	3,84	3,84	5,99
Hipótesis nula	No se rechaza	No se rechaza	No se rechaza	No se rechaza
Razón ($chi2_{5\%}/chi2_{calc}$)	2,03	1,45	1,25	1,48

Fuente: elaboración propia.

En la Figura 2.23 se comparan los valores teóricos según la distribución Log-Normal y los valores empíricos, junto a los intervalos de confianza estimados con un nivel de significancia del 5%.

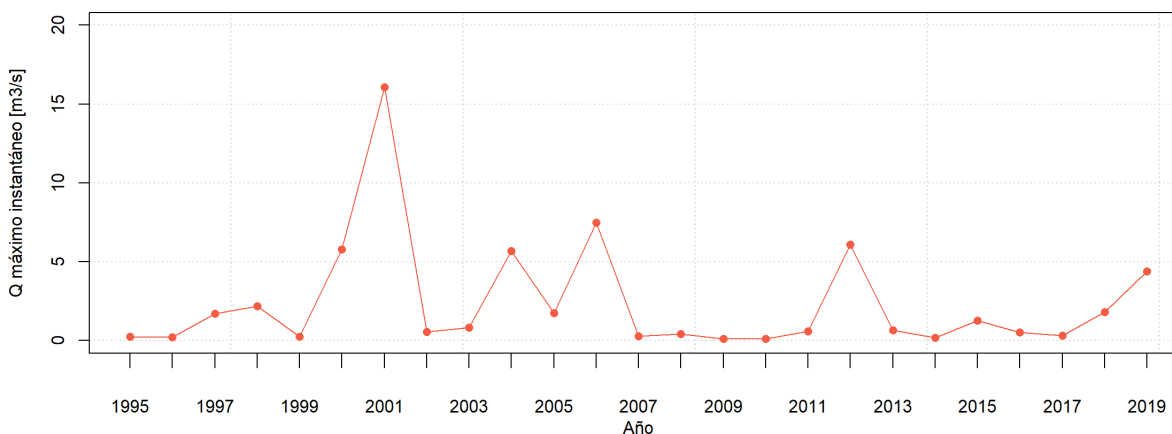


Fuente: elaboración propia.

Figura 2.23 Comparación de valores teóricos a partir de la distribución Log-Normal (línea verde), valores empíricos (puntos) e intervalos de confianza (líneas puntadas rojas), para la precipitación máxima en 24 hrs.

Análisis de frecuencia: caudal máximo anual

En la Figura 2.24 se muestra la serie de caudales máximos anuales en la estación Quebrada Tarapacá en Sibaya (código BNA 01730007). Los valores son representativos solo al nivel de esta subcuenca, siendo esta estación la que cuenta con mayor información fluviométrica disponible.



Fuente: elaboración propia.

Figura 2.24 Serie de caudales máximos anuales (1985-2019).

Se realizó un análisis de frecuencia para el caudal máximo anual, considerando las distribuciones Log-Normal, Pearson, Log-Pearson y Gumbel. Al igual que con la precipitación, para evaluar el desempeño de las distribuciones, se realizó el test chi-cuadrado (χ^2) con un 5% de nivel de significancia, donde la hipótesis nula corresponde a una igualdad entre valores empíricos y los valores teóricos según cada distribución. En la Tabla 2-21 se muestran los resultados de este análisis.

Tabla 2-21 Resultados de análisis de frecuencia para caudal.

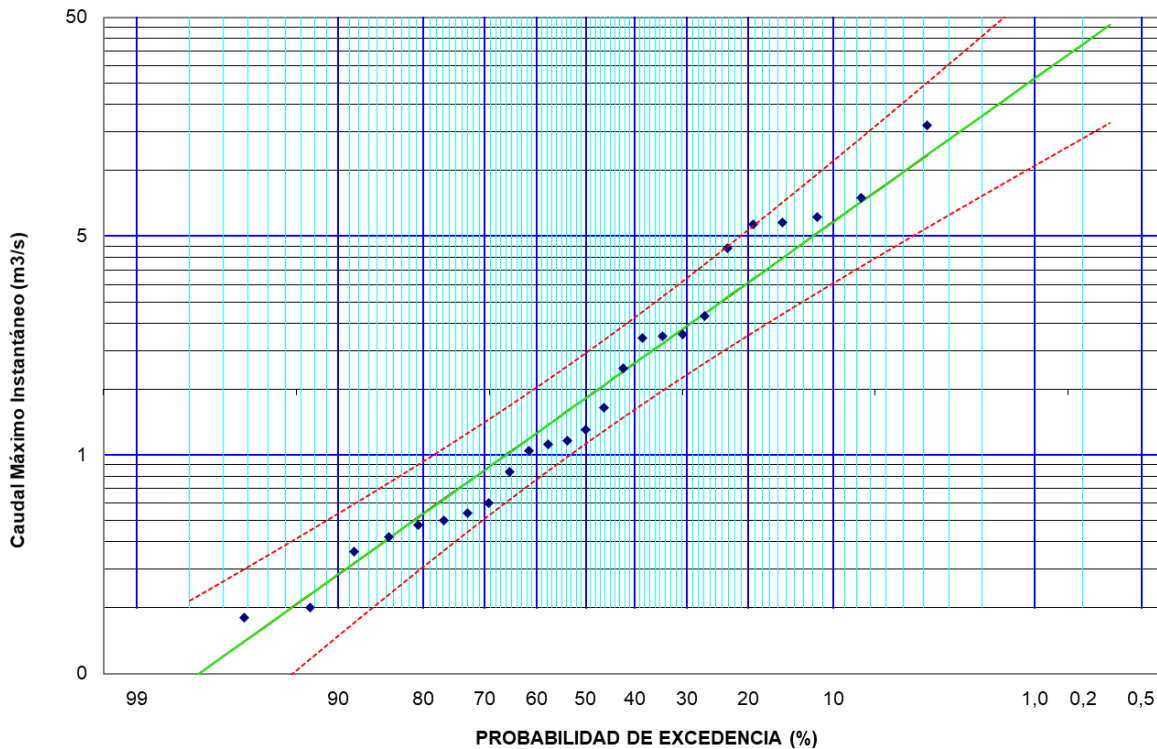
Período de Retorno (años)	Caudal máximo anual (m^3/s)			
	Log-Normal	Pearson	Log-Pearson	Gumbel
2	0,91	1,11	0,85	1,83
5	3,07	4,15	3,00	5,58
10	5,81	6,73	6,03	8,07
20	9,83	9,48	10,96	10,46
25	11,46	10,40	13,09	11,21
50	17,76	13,35	21,96	13,54
<u>100</u>	<u>26,35</u>	16,42	35,38	15,86
200	37,80	19,60	55,27	18,16
300	46,10	21,51	70,92	19,51
chi2(calculado)	1,47	1,18	3,94	2,77
chi2(0,05)	5,99	3,84	3,84	5,99
Hipótesis nula	No se rechaza	No se rechaza	Se rechaza	No se rechaza
Razón ($\chi^2_{5\%}/\chi^2_{calc}$)	4,08	3,25	0,98	2,16

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo a lo mostrado en la Tabla 2-21, solo las distribuciones Log-Normal, Pearson y Gumbel no son rechazadas por el test χ^2 , estando sus respectivos estadísticos por

debajo de los respectivos límites, para un nivel de significancia del 5%. Bajo un criterio conservador, se ha elegido a la distribución Log-Normal para caracterizar a los caudales máximos anuales, siendo 26,35 m³/s para un periodo de retorno de 100 años.

En la Figura 2.25 se comparan los valores teóricos según la distribución Log-Normal y los valores empíricos, junto a los intervalos de confianza estimados con un nivel de significancia del 5%.



Fuente: elaboración propia.

Figura 2.25 Comparación de valores teóricos a partir de la distribución Log-Normal (línea verde), valores empíricos (puntos) e intervalos de confianza (líneas puntadas rojas), para el caudal máximo anual.

2.2.3 Escenarios de cambio climático

Las proyecciones climáticas de largo plazo para un período futuro normalmente se obtienen a partir de Modelos de Circulación Global (Global Circulation Model, GCMs) o bien a partir de Modelos Regionales de Clima (Regional Climate Models, RCMs), los cuales utilizan un forzamiento radiativo asociado a alguna trayectoria de concentraciones de gases de efecto invernadero adoptada por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés). El forzamiento radiativo determina la magnitud del cambio para las variables atmosféricas de interés, las cuales normalmente son temperatura del aire y precipitaciones (DGA, 2017a). La reciente Actualización de Balance Hídrico Nacional (DGA, 2017a) utilizó trayectorias RCP 8.5 (Representative Concentration Pathway o Trayectorias de Concentración Representativas), lo que indica

que cada año la radiación incidente aumenta en $8,5 \text{ W m}^{-2}$ hasta el año 2100, respecto de la era preindustrial. Los escenarios RCP 8.5 corresponden a los escenarios más desfavorables disponibles, pero que resultan ser lo más consistente con los actuales niveles de emisiones en el planeta (DGA, 2017a).

Para caracterizar los efectos del cambio climático en la cuenca se consideró el análisis de precipitación anual, temperatura media del aire anual y escorrentía anual, a partir de los datos del estudio de Actualización del Balance hídrico Nacional (ABHN) (DGA, 2017a, 2018a), tanto en el periodo histórico definido en dicho estudio (1985-2015) y su periodo futuro (2030-2060). Para tener en cuenta en el análisis, las proyecciones del estudio ABHN se basan en el uso de modelos CSSM4, CSIRO, IPSL y MIROC. Mayores antecedentes sobre esta temática, y mayor detalle sobre los modelos de circulación general adoptados y su aplicación a la modelación en el proyecto se incluyen en la sección 7.1 del Anexo H.

Precipitación anual

En la Figura 2.26 se presenta la variación de la precipitación anual histórica, así como la proyección para los 4 GCM y su promedio, y en la Figura 2.27 un gráfico boxplot de los resultados en la cuenca. Las proyecciones muestran que existe una alta incertidumbre con respecto a la tendencia de las precipitaciones en la cuenca, con resultados que muestran un aumento, disminución o un valor que se mantiene a nivel medio anual (ver Tabla 2-22).

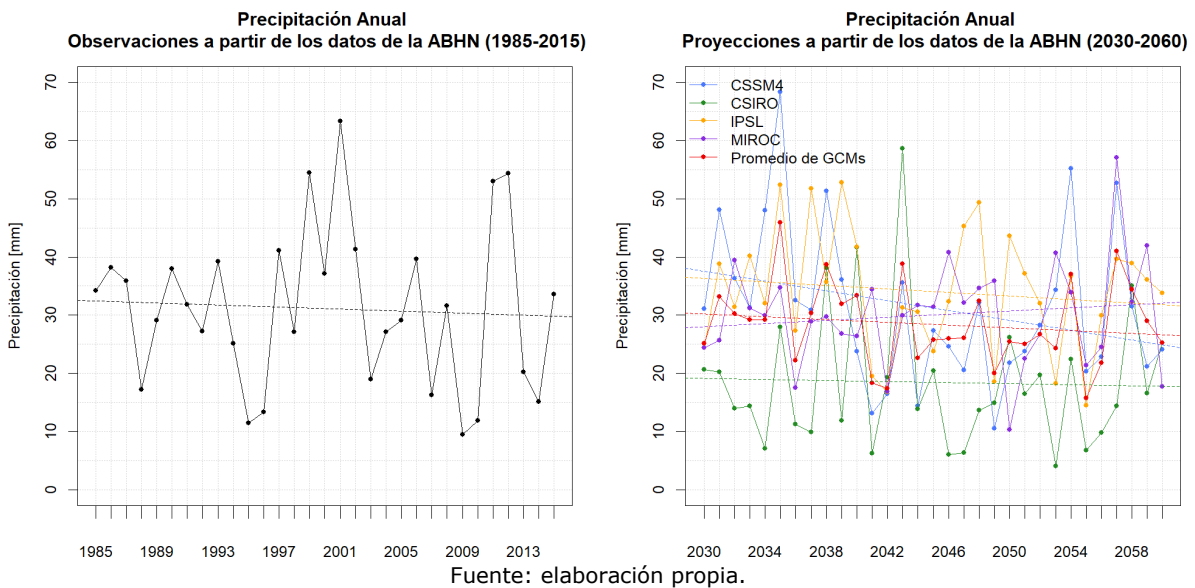


Figura 2.26 Precipitación anual histórica y proyecciones derivadas del estudio ABHN, para la cuenca de la Pampa del Tamarugal. En líneas punteadas se marca la línea de tendencia de cada serie temporal.

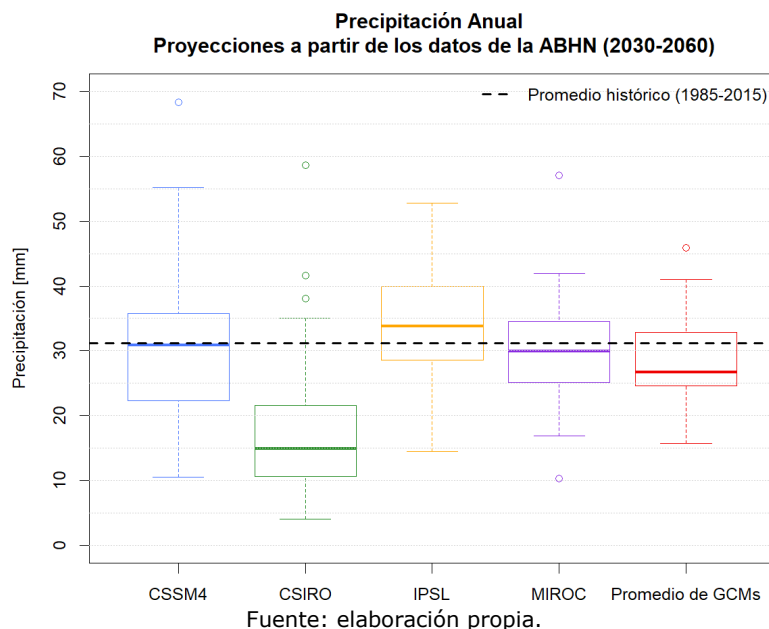


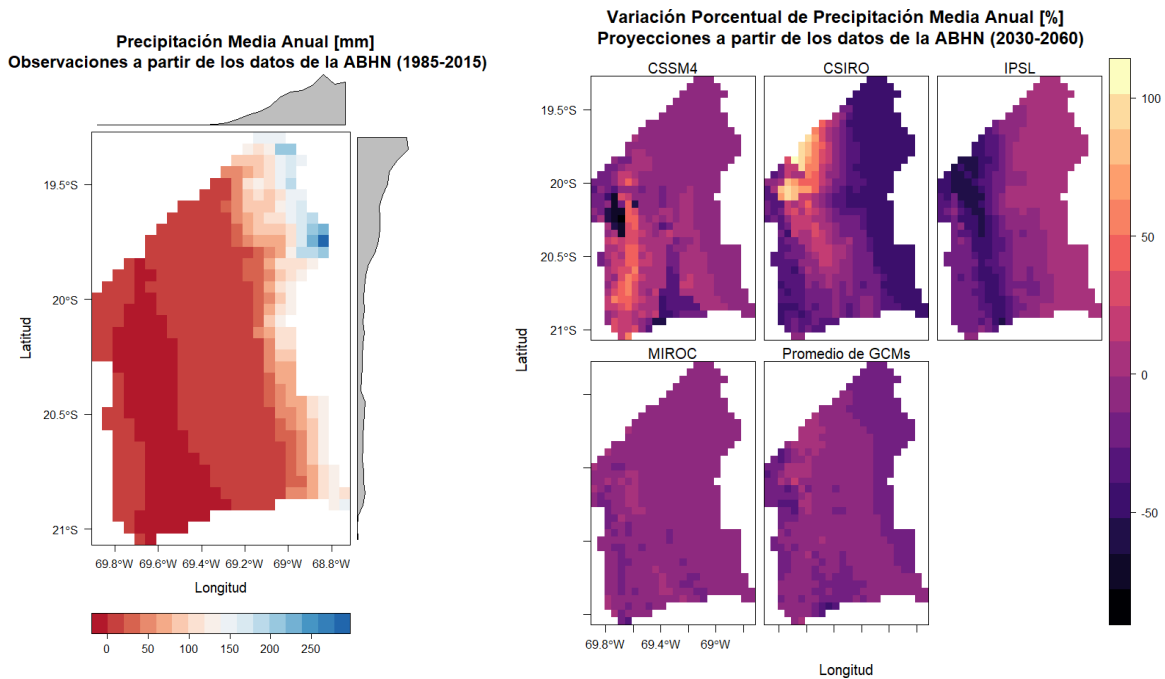
Figura 2.27 Boxplots para las precipitaciones medias anuales proyectadas en la cuenca de la Pampa del Tamarugal, de acuerdo a los GCMs considerados en el estudio ABHN. En línea punteada se representa el valor del periodo histórico.

Tabla 2-22 Resumen cuantitativo de la serie histórica (1985-2015) y las series proyectadas, de precipitaciones anuales en la cuenca de la Pampa del Tamarugal.

Estadístico \ Producto	Histórico	CCSM4	CSIRO	IPSL	MIROC	GCMs promedio
Promedio (mm)	31,15	31,24	18,49	34,08	30,05	28,46
Desviación Estándar (mm)	13,78	13,47	12,01	10,55	9,01	7,13
Coficiente de Variación (-)	0,44	0,43	0,65	0,31	0,30	0,25
Pendiente de la línea de tendencia (mm/década)	-0,87	-4,19	-0,44	-1,52	1,36	-1,20

Fuente: elaboración propia.

En la Figura 2.28 se muestra la distribución espacial de las precipitaciones medias anuales en la cuenca, las cuales muestran un aumento con la altura, y la variación porcentual futura según cada GCM. Las proyecciones entregan resultados distintos según la zona de la cuenca analizada, con precipitaciones que en general disminuyen con la altura (exceptuando el GCM IPSL), y aumentan en algunos casos en las zonas de menor altura.



Fuente: elaboración propia.

Figura 2.28 Distribución espacial de la precipitación media anual histórica en la cuenca de la Pampa del Tamarugal, y las correspondientes variaciones porcentuales proyectadas de acuerdo a los GCMs considerados en el estudio ABHN.

Temperatura media anual

En la Figura 2.29 se presenta la variación de temperatura anual histórica, así como la proyección para los 4 GCM y su promedio, y en la Figura 2.30 un gráfico boxplot de los resultados en la cuenca. La tendencia para todos los escenarios muestra una pendiente positiva, continuando con la variación de la tendencia histórica observada. La mayor alza la entrega CSIRO, mientras que el menor valor lo entrega CSM4 (ver Tabla 2-23).

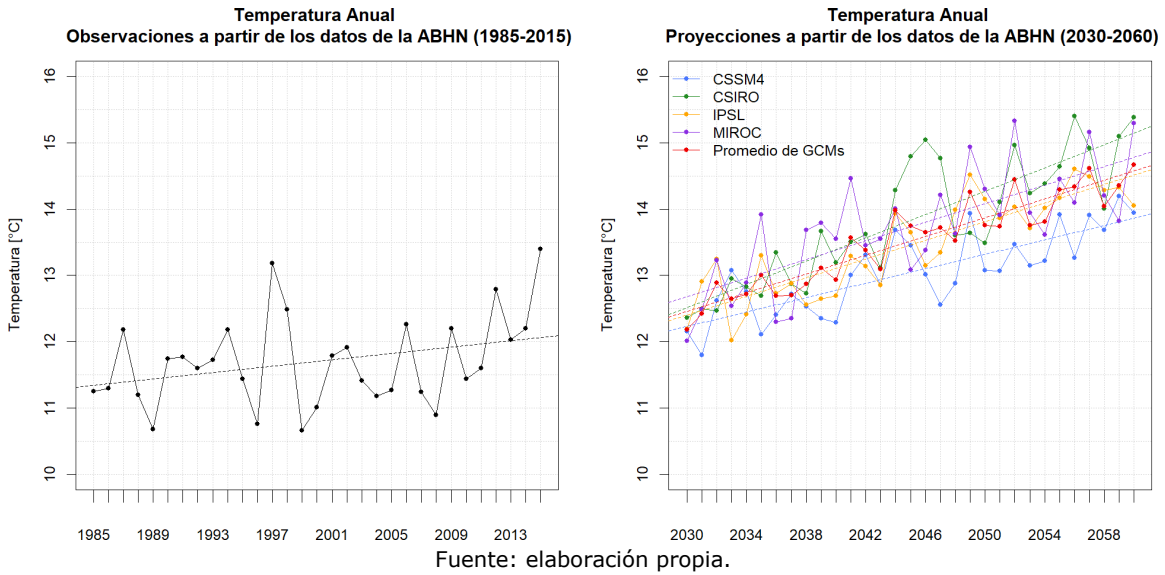


Figura 2.29 Temperatura media anual histórica y proyecciones derivadas del estudio ABHN, para la cuenca de la Pampa del Tamarugal. En líneas punteadas se marca la línea de tendencia de cada serie temporal.

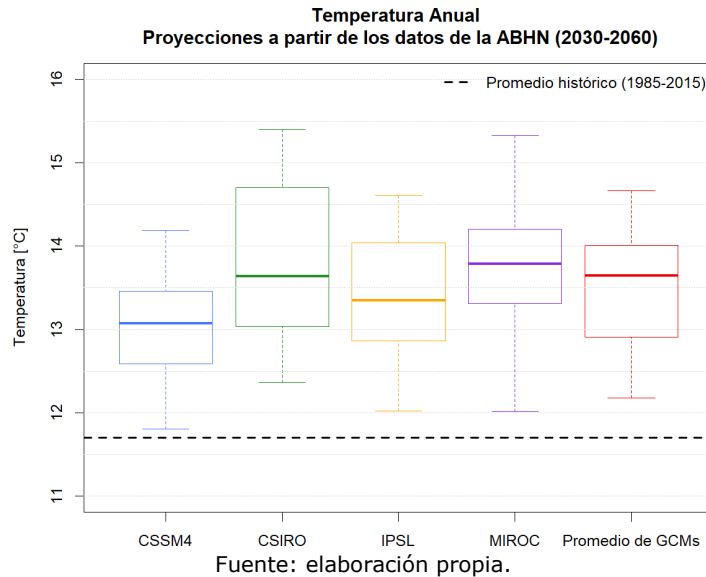


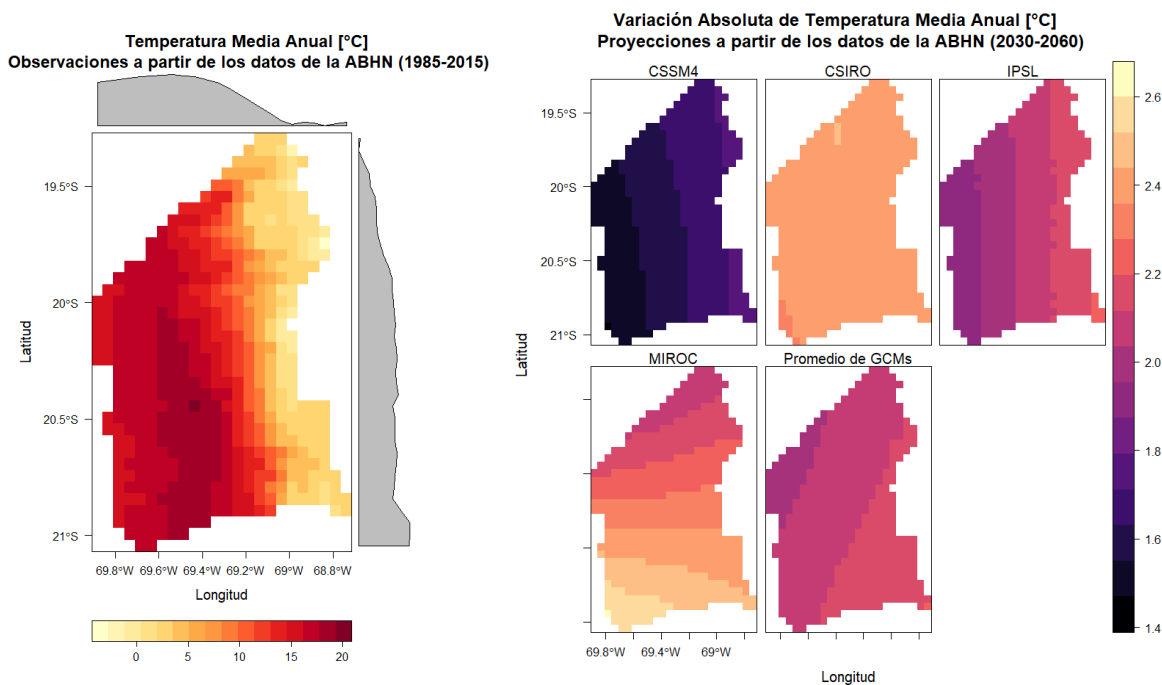
Figura 2.30 Boxplots para las temperaturas medias anuales proyectadas en la cuenca de la Pampa del Tamarugal, de acuerdo a los GCMs considerados en el estudio ABHN. En línea punteada se representa el valor del periodo histórico.

Tabla 2-23 Resumen cuantitativo de la serie histórica (1985-2015) y las series proyectadas, de temperaturas medias anuales en la cuenca de la Pampa del Tamarugal.

Estadístico \ Producto	Histórico	CCSM4	CSIRO	IPSL	MIROC	GCMs promedio
Promedio (°C)	11,70	13,04	13,83	13,46	13,73	13,51
Desviación Estándar (°C)	0,68	0,62	0,94	0,74	0,86	0,69
Coefficiente de Variación (-)	0,06	0,05	0,07	0,05	0,06	0,05
Pendiente de la línea de tendencia (°C/década)	0,24	0,54	0,88	0,70	0,70	0,71

Fuente: elaboración propia.

En la Figura 2.31 se presenta la variación espacial de las temperaturas, mostrando el escenario histórico una disminución de las temperaturas con la altura. Las proyecciones de los GCM muestran para todos los casos un aumento de temperatura para todo el territorio.



Fuente: elaboración propia.

Figura 2.31 Distribución espacial de la temperatura media anual histórica en la cuenca de la Pampa del Tamarugal, y las correspondientes variaciones absolutas proyectadas de acuerdo a los GCMs considerados en el estudio ABHN.

Escorrentía media anual

En la Figura 2.32 se presenta la variación de escorrentía anual histórica, así como la proyección para los 4 GCM y su promedio, y en la Figura 2.33 un gráfico boxplot de los resultados en la cuenca. Si bien a nivel histórico se observa una leve tendencia al alza,

la tendencia para todos los GCM muestra una pendiente negativa, siendo el escenario CSIRO el más desfavorable (ver Tabla 2-24).

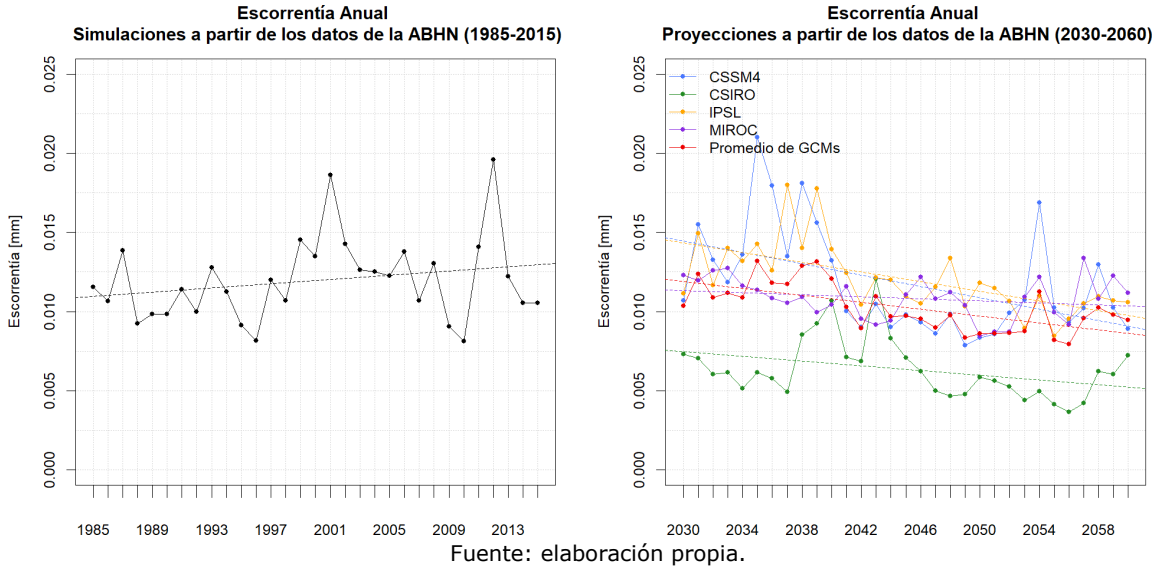


Figura 2.32 Escorrentía anual histórica y proyecciones derivadas del estudio ABHN, para la cuenca de la Pampa del Tamarugal. En líneas punteadas se marca la línea de tendencia de cada serie temporal.

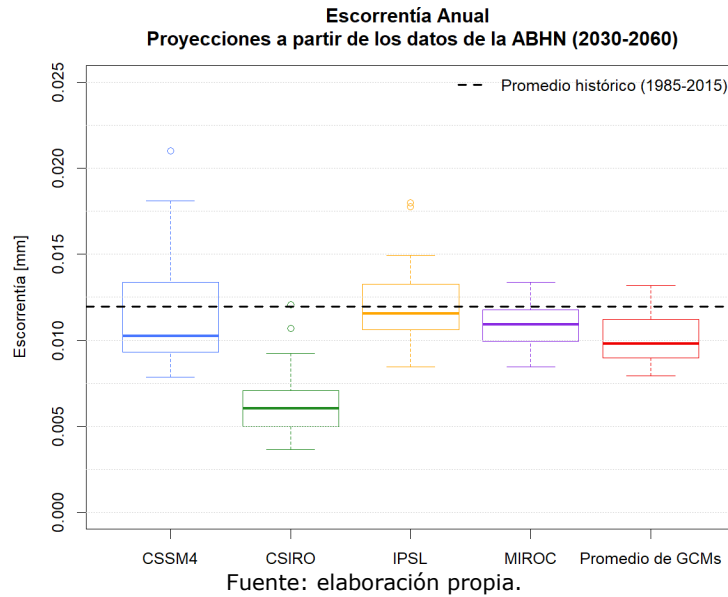


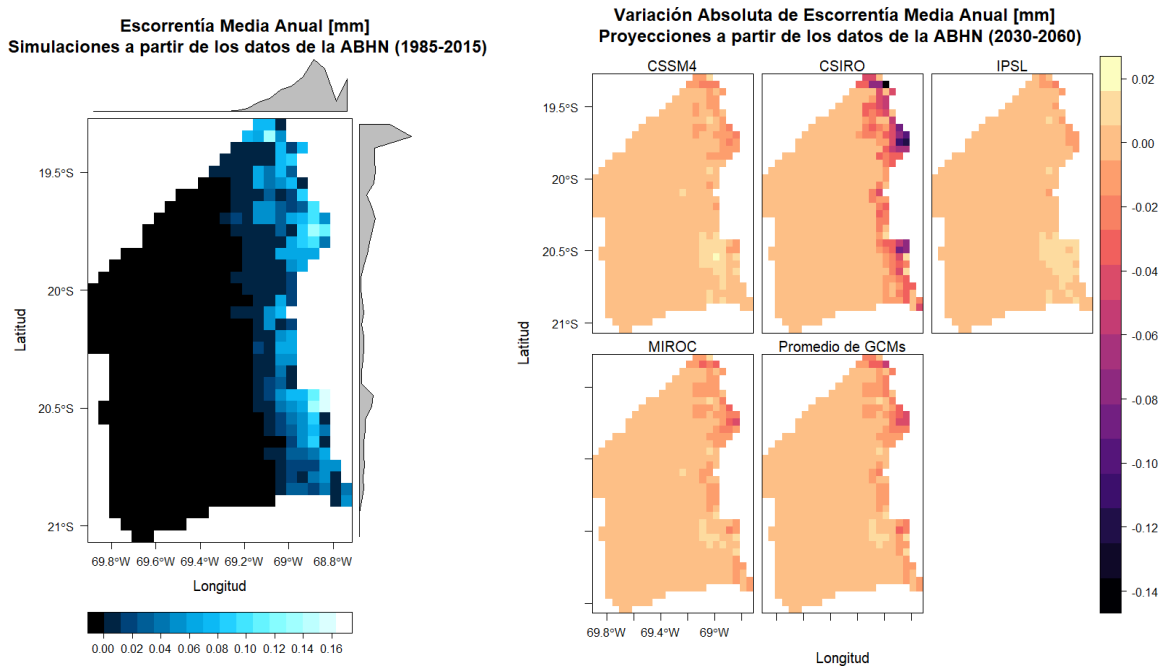
Figura 2.33 Boxplots para los valores de escorrentía anual proyectados en la cuenca de la Pampa del Tamarugal, de acuerdo a los GCMs considerados en el estudio ABHN. En línea punteada se representa el valor del periodo histórico.

Tabla 2-24 Resumen cuantitativo de la serie histórica (1985-2015) y las series proyectadas, de valores de escorrentía media anual en la cuenca de la Pampa del Tamarugal.

Estadístico \ Producto	Histórico	CCSM4	CSIRO	IPSL	MIROC	GCMs promedio
Promedio (mm)	0,012	0,012	0,006	0,012	0,011	0,010
Desviación Estándar (mm)	0,003	0,003	0,002	0,002	0,001	0,002
Coefficiente de Variación (-)	0,220	0,286	0,299	0,183	0,118	0,148
Pendiente de la línea de tendencia (mm/década)	0,0007	-0,0018	-0,0007	-0,0015	-0,0003	-0,0011

Fuente: elaboración propia.

En la Figura 2.34 se presenta la variación espacial de la escorrentía y las diferencias proyectadas por los GCM. Se observa que la variación es negativa para toda la cuenca, con especial fuerza en las zonas más elevadas.



Fuente: elaboración propia.

Figura 2.34 Distribución espacial de la escorrentía media anual histórica en la cuenca de la Pampa del Tamarugal, y las correspondientes variaciones absolutas proyectadas de acuerdo a los GCMs considerados en el estudio ABHN.

2.3 Dimensión ambiental

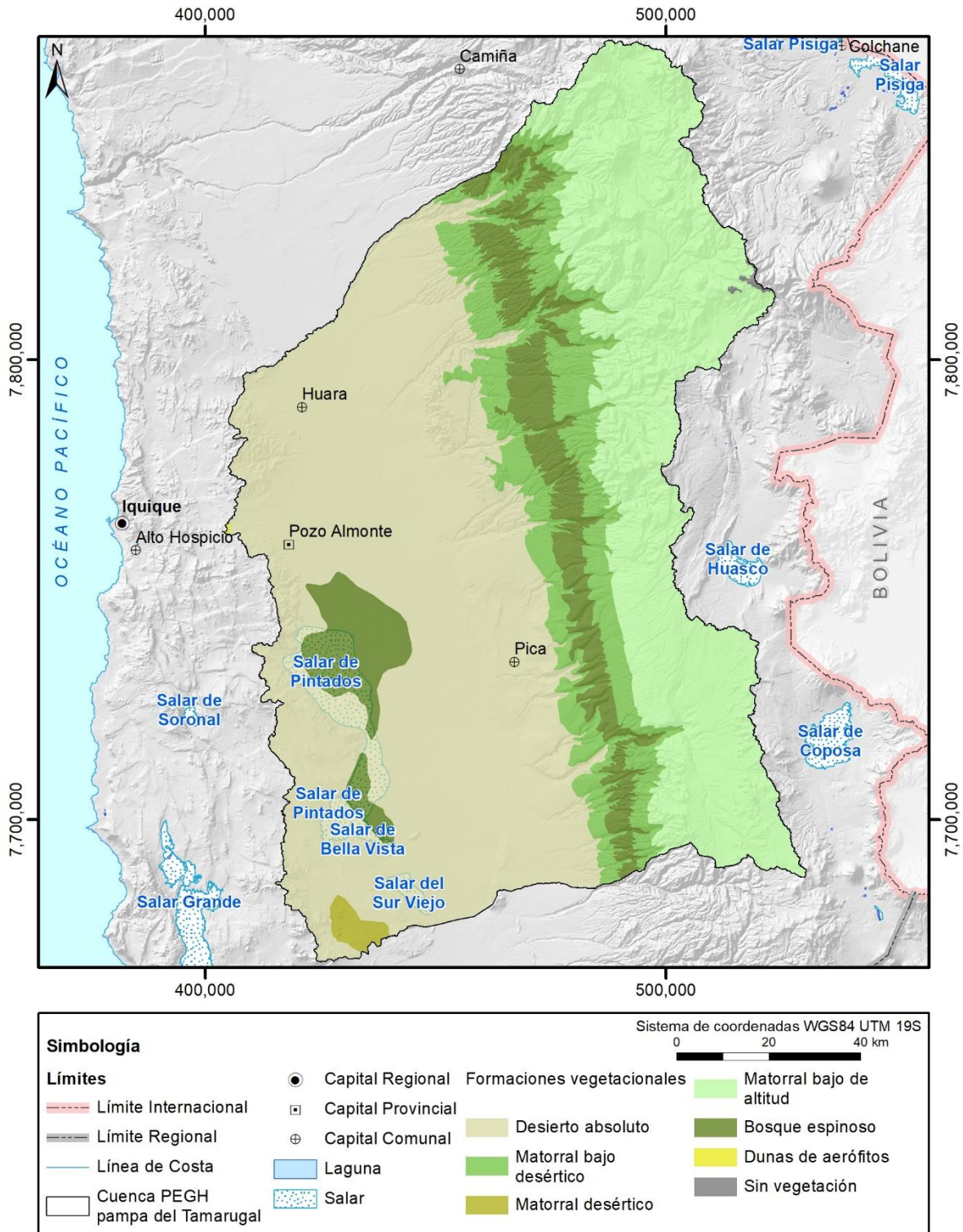
En la Pampa del Tamarugal se encuentran zonas con condiciones de mayor aporte hídrico que permite el desarrollo de dos ecosistemas característicos de las zonas desérticas, la vegetación de oasis y la vegetación de quebradas. La vegetación de oasis se desarrolla por la presencia de fuentes de agua subterránea, que aportan condiciones hídricas suficientes para el desarrollo de bosques de especies del género *Prosopis* (*Prosopis Tamarugo*). En las zonas de quebradas, especialmente en aquellas que poseen cursos de aguas permanentes, se desarrolla una vegetación boscosa y de matorral (CONAMA, 2008).

Según la Estrategia Regional de Biodiversidad (ERB) la Pampa del Tamarugal es clasificada como Ecosistemas de Desierto y Quebradas (Depresión Intermedia), la que se caracteriza por la presencia de especies amenazadas, endemismos, áreas prístinas (sin intervenir) y áreas con funciones ecológicas clave para comunidades.

Según el ministerio de Medio Ambiente (MMA, 2018), la Pampa del Tamarugal está en proceso de degradación por una mayor extracción de aguas subterráneas para consumo humano y para la industria.

2.3.1 Unidades ecosistémicas

Según Luebert y Pliscoff (2017) la Pampa del Tamarugal cuenta con 7 formaciones vegetacionales, cuya distribución se muestra en la Figura 2.35, siendo el desierto absoluto con la mayor área en la cuenca. Destaca la formación Bosque Espinoso, que da origen al piso vegetacional de Bosque espinoso tropical interior de *Prosopis tamarugo*/*Tessaria absinthioides* (Chilquilla), siendo el *Prosopis tamarugo* o Tamarugo de gran importancia por estar relacionado con el desarrollo de la economía en la cuenca durante la fiebre del salitre.



Fuente: Ministerio de bienes nacionales – MMA (2020a).

Figura 2.35 Formaciones Vegetacionales de Luebert & Pliscoff (2017).

Además, según el Diagnóstico del estado y tendencia de la biodiversidad en las regiones de Chile para los humedales se identifican las siguientes amenazas:

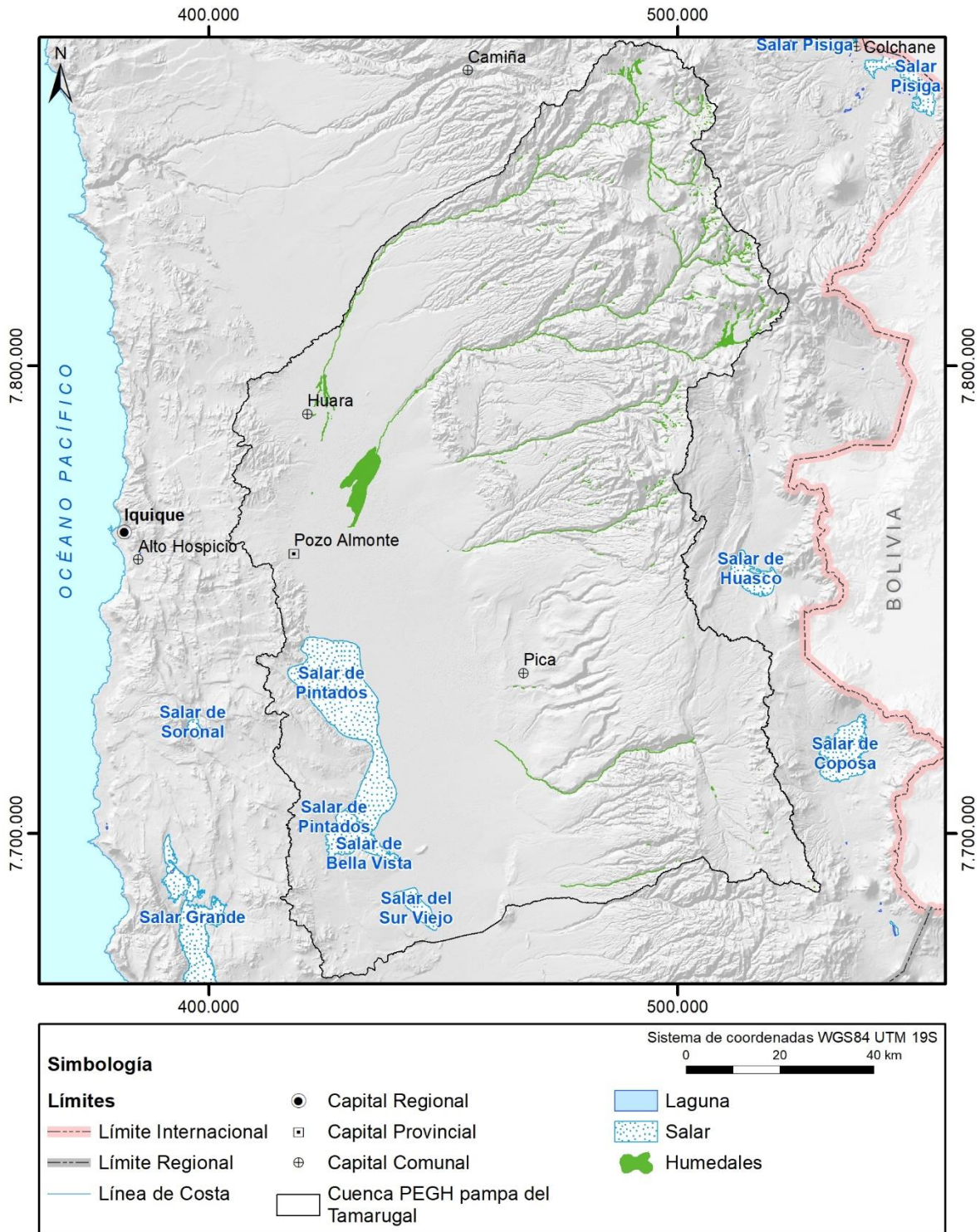
- Disminución de las fuentes de agua superficial por intervención de humedales y alteración de flujos hídricos que sustentan los humedales
- Disminución de la diversidad biológica en los humedales por modificación o fragmentación de los hábitats naturales
- Disminución del número y extensión de los humedales por cambios del uso del suelo
- Pérdida de valor de los beneficios derivados de bienes y servicios ambientales por alteración de la calidad ambiental de los humedales
- Conflictos sociales debido a la desinformación y desconocimiento de las características estructurales y funcionales de los humedales

La ubicación de humedales presentes en la cuenca se presenta en la Figura 2.36, los que se concentran principalmente en Pampa del Tamarugal y en las Quebradas de Tarapacá y Aroma, según se observa en la distribución de áreas presentada en la Tabla 2-25. En la Tabla 2-26 se presenta la clasificación de estos humedales según el Inventario Nacional de Humedales 2020 del Ministerio de Medio Ambiente (MMA, 2020b).

Tabla 2-25 Ubicación humedales en la Cuenca Pampa del Tamarugal.

Ubicación	Ha	km ²	%
Pampa del Tamarugal	5.775,6	57,76	65,53
Quebrada de Aroma	904,2	9,04	10,26
Quebrada de Chacarilla	81,1	0,81	0,92
Quebrada de Quipisca	172,8	1,73	1,96
Quebrada de Quisma	3,3	0,03	0,04
Quebrada de Ramada	0,7	0,01	0,01
Quebrada de Tarapacá	1.700,1	17,00	19,29
Quebradas de Cahuisa y de Chipana	30,2	0,30	0,34
Quebradas Juan Morales, Sagasca y El Tambillo	139,8	1,40	1,59
Total general	8.813,7	88,14	100,0

Fuente: elaboración propia con datos de MMA (2020b).



Fuente: elaboración propia con datos del MMA (2020a).

Figura 2.36 Humedales de la Cuenca Pampa del Tamarugal.

Tabla 2-26 Clasificación humedales en la Cuenca Pampa del Tamarugal.

Clasificación de humedales	Ha	km ²	%
ANDINOS	2.318,1	23,2	26,3
IRREGULARES	6.297,9	63,0	71,5
LAGUNA	23,9	0,2	0,3
RIO	24,3	0,2	0,3
SIN CLASIFICAR	143,3	1,4	1,6
TRANQUE	6,3	0,1	0,1
Total general	8.813,7	88,1	100,0

Fuente: elaboración propia con datos de MMA (2020b).

En lo que respecta a vertebrados e invertebrados, según datos del MMA actualizado al 2018 (MMA, 2018) existen en la región de Tarapacá aproximadamente 112 y 6 especies, respectivamente. Adicionalmente para las Áreas protegidas de mayor superficie en la cuenca de la Pampa del Tamarugal, CONAF destaca la presencia en la Reserva Nacional Pampa del Tamarugal de 18 tipos de aves, entre ellas el comesebo del tamarugo, aguiluchos, lechuzas, pequén, el jote cabeza roja, el zorro culpeo y zorro chilla, así como también para el Parque Nacional Volcán Isluga se destaca una de las concentraciones más impresionantes de biodiversidad asociada al ecosistema alto andino, entre ellas, especies de la fauna tales como la tagua andina, suri, vicuñas y tres especies de flamencos que se encuentran en categoría de conservación.

2.3.2 Sitios o áreas protegidas

Existen variados instrumentos para gestión de territorio con la finalidad de proteger y preservar áreas de interés tanto nacional como internacional, en el marco de tratados firmados por Chile.

En la cuenca de la Pampa de Tamarugal hay áreas que, sin tener el carácter de categoría de protección, se denominan Sitio Prioritario (Ley 19.300 art. 11, letra d) para la Conservación de la Biodiversidad. Estos sitios prioritarios nacieron de un trabajo realizado en cada una de las regiones de Chile, al amparo de los Comités Regionales de Biodiversidad, coordinados por la entonces Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), entre los años 2001 y 2002.

Rivera (2018) describe la historia del bosque endémico de tamarugos en la Pampa del Tamarugal, desde tiempos inmemorables hasta el presente, en el que se indica que la Conaf "ha destacado que en pleno desierto de Atacama se encuentra la plantación endémica más extensa de país, y considerado el patrimonio forestal más grande del norte de Chile, con dos millones de especies". Así mismo Carevic et al. (2012) describe el estado actual del tamarugo y algarrobo. La Pampa del Tamarugal posee una historia de explotación, ya que ésta, a principios del siglo XIX era mucho más extensa, pero fue víctima de una tala indiscriminada durante la fiebre del salitre, miles de Tamarugos fueron talados y utilizados como combustible en la producción del mineral (CONAF, 2013). En 1920 se realizaron plantaciones artificiales de este árbol y en la década del

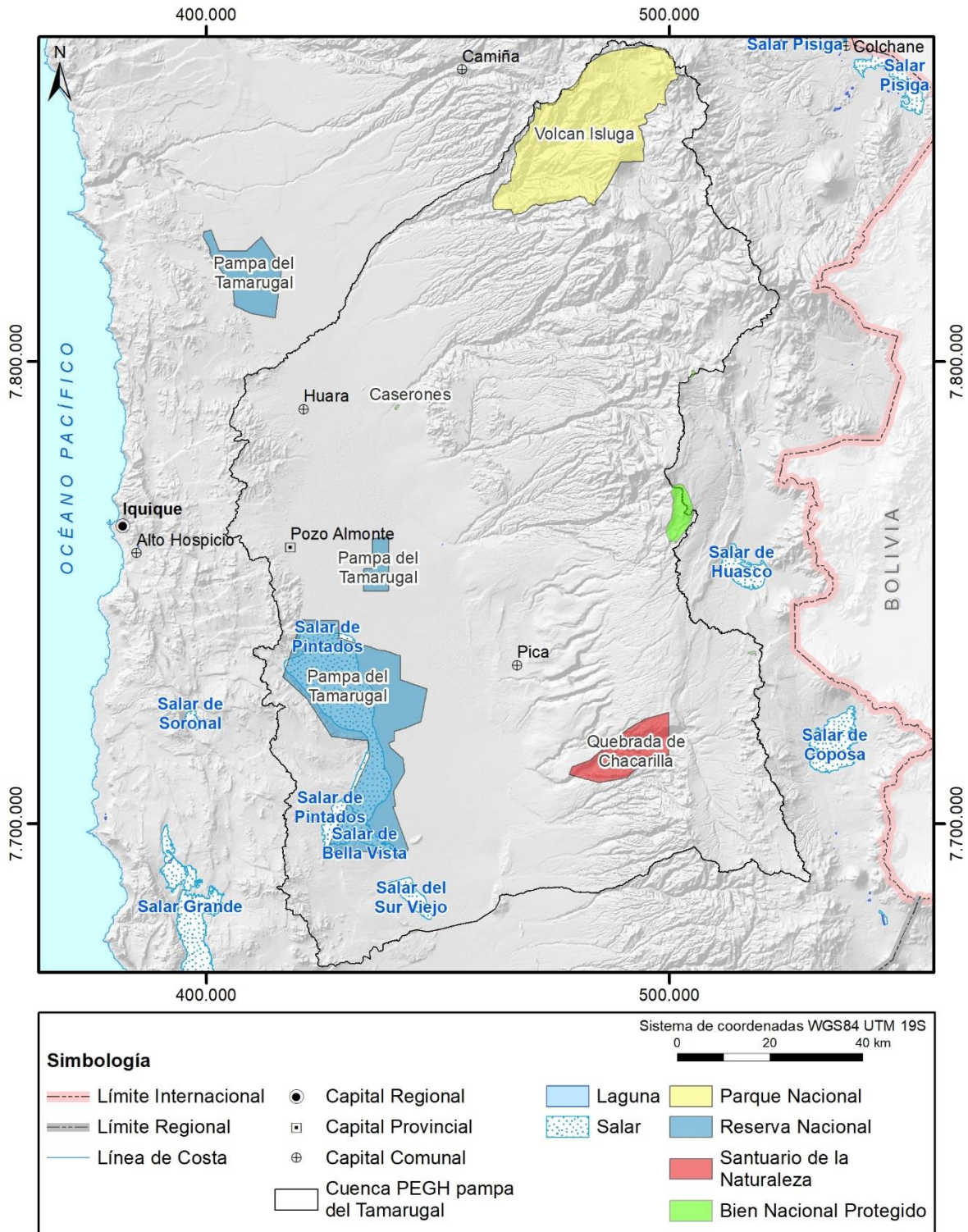
60, Corfo puso en marcha un programa de desarrollo forestal y ganadero donde se plantaron 22.000 ha de *Prosopis tamarugos* y Algarrobos (CONAF, 2013).

La Tabla 2-27 presenta el resumen de todas las áreas representadas en el Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE), además de otros instrumentos de conservación dentro de la cuenca de la Pampa del Tamarugal y la Figura 2.37 muestra su ubicación en la cuenca.

Tabla 2-27 Sitios y Áreas Protegidas de la Cuenca Pampa del Tamarugal.

Sitio	Superficie (km ²)	Categoría	Año de creación	Código
Volcán Isluga	1740	Parque Nacional	06-02-1967	WDPA-028
Pampa del Tamarugal	1270	Reserva Nacional	11-04-1988	WDPA-068
Quebrada de Chacarilla	160	Santuario de la Naturaleza	28-09-2004	WDPA-118
Caserones	0,6	Bien Nacional Protegido	04-02-2009	BNP-005
Cailla, Japocalla	2,6	Acuíferos protegidos	28-11-1996	RES N° 909/28-11-1996
Macata, Aroma, Ichibure, Mamuta	19	Acuíferos protegidos	28-11-1996	RES N° 909/28-11-1996
Cultane, Orcoguanu, Crusalaja, Condor Chojota	2,7	Acuíferos protegidos	28-11-1996	RES N° 909/28-11-1996
Guanacucho, Millune, Chanchahuano, Jornuni, Chaihuire, Aguas Calientes, Chancacollo, Penjamo, Hueilla Rinconada, Tucuruma, Andres Jiguata	34	Acuíferos protegidos	28-11-1996	RES N° 909/28-11-1996
Chilpalla, Tangane	0,6	Acuíferos protegidos	28-11-1996	RES N° 909/28-11-1996

Fuente: elaboración propia con datos de MMA, (2020b).



Fuente: elaboración propia con datos de MMA, (2020b).

Figura 2.37 Sitios o Áreas Protegidas en la Cuenca Pampa del Tamarugal.

2.3.3 Glaciares

Según la definición de DGA (2009a), un glaciar corresponde a toda superficie de hielo y nieve permanente generada sobre el suelo, que sea visible por periodos de al menos 2 años y de un área igual o superior a 0,01 km², o cualquier superficie rocosa con evidencia superficial de flujo viscoso, producto de un alto contenido de hielo actual o pasado en el subsuelo.

De acuerdo al inventario de glaciares de la DGA³, en la cuenca de la Pampa del Tamarugal existen 27 glaciares, todos ellos correspondientes a glaciares rocosos los cuales cubren un área total de 1,3 km² (Figura 2.38) y se encuentran distribuidos principalmente en el límite norte y oriental de la cuenca, en las subcuencas de la Quebrada de Aroma y Quebrada de Tarapacá (Tabla 2-28 y Figura 2.38).

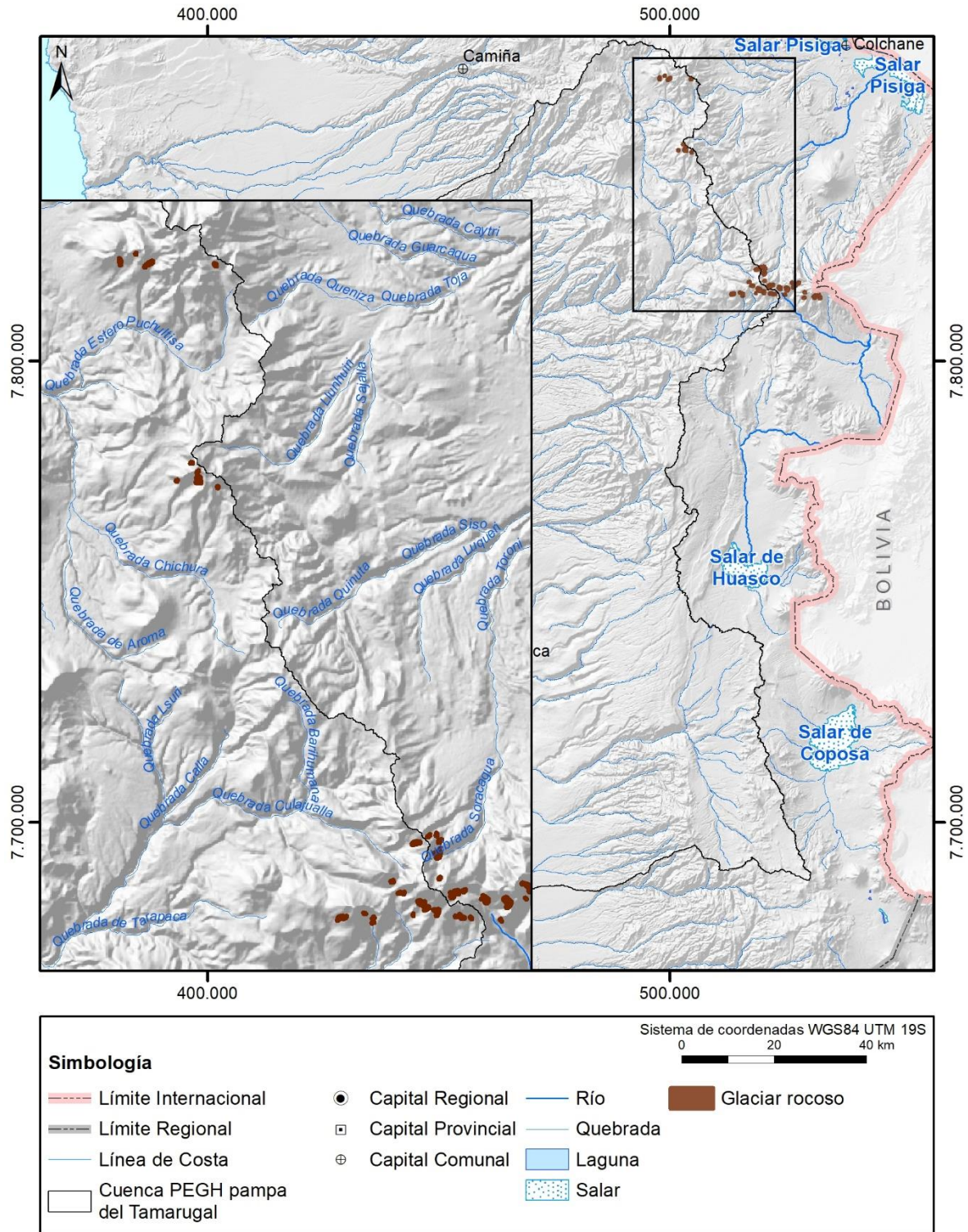
La definición de glaciar rocoso de acuerdo a la caracterización glaciológica nacional, corresponde a un cuerpo de hielo y roca, que evidencia flujo, a tasas muy inferiores en comparación con glaciares descubiertos, debido a que la proporción de hielo versus el volumen total, puede ser inferior al 50%. Poseen una geometría en forma de lengua o lóbulo, cuya estructura interna está constituida por una mezcla de hielo estimada entre un 40% y 60% (DGA, 2009a; Azócar & Brenning, 2008; Segovia & Videla, 2017).

Tabla 2-28 Distribución glaciares rocosos por subcuenca.

Subcuenca	Cantidad	Área (km ²)
Quebrada de Aroma	9	0,48
Quebrada de Tarapacá	18	0,83
Total	27	1,31

Fuente: elaboración propia.

³ Observatorio Georreferenciado DGA [en línea] <https://snia.mop.gob.cl/observatorio/> (visitado por última vez el 25/05/2021)



Fuente: elaboración propia, base web DGA

Figura 2.38 Ubicación y tipo de glaciares en la cuenca Pampa del Tamarugal.

2.3.4 Aguas fósiles

Respecto a la existencia de aguas fósiles alojadas en el acuífero de la Pampa del Tamarugal, Magaritz et al. (1990) desarrollaron la hipótesis mediante técnicas isotópicas e hidroquímicas que las aguas de Pica y Canchones son pre-Holocenas (>10.000 años), mientras que las aguas subterráneas en la parte central de la cuenca son más jóvenes y recargadas durante el Holoceno (<6.000 años). Adicionalmente, SQM (SQM, 1994) postuló que una gran parte del volumen de agua almacenada corresponde a aguas fósiles ingresadas en la época de los rellenos de la cuenca.

2.4 Infraestructura

La infraestructura hidráulica de la cuenca de la Pampa del Tamarugal se encuentra asociada principalmente a obras hidráulicas de aguas superficiales para riego, y obras hidráulicas de aguas subterráneas como sistemas de impulsión para las empresas sanitarias y mineras. Las primeras se ubican principalmente en las quebradas que alimentan la recarga de la Pampa del Tamarugal, y las segundas se ubican propiamente en la Pampa.

2.4.1 Obras hidráulicas

A continuación, se presentan las obras hidráulicas ubicadas dentro de la cuenca de la Pampa del Tamarugal, entre las que se cuentan principalmente canales de regadío e infraestructura de agua potable urbana y rural.

Embalses

Actualmente, la cuenca no cuenta con embalses materializados. Sin embargo, se han realizado estudios de prefactibilidad, como el diseño del embalse Pintanane en la Quebrada de Aroma.

Red de Canales

La infraestructura de obras hidráulicas de riego de la cuenca de la Pampa del Tamarugal se encuentra conformada principalmente por bocatomas, estanques y canales. En el caso de las bocatomas, corresponden principalmente a obras temporales que no poseen obras de protección, por lo que ante un evento de crecida se destruyen.

Existen 77 km de canales en la Provincia del Tamarugal, correspondientes a 55 canales pertenecientes a las comunas de Huara (48) y Pozo Almonte (7). En el Estudio de la DOH (2013), se han identificado a cada uno de los canales con el nombre de la comunidad y sector al que pertenece, fuente de abastecimiento, ribera, sección (m) y longitud del canal (m). No se registra información precisa de los canales de la comuna de Pica, sin embargo, en CNR (2017) se mencionan un total de 22 canales y una longitud aproximada de 22.504 m (13.000 m de canales mejorados y 9.504 m por mejorar).

Específicamente en la comuna de Huara se identifican 48 canales, de ellos 23 no presentan su longitud, registrando 67.426 m de longitud de canales para esta comuna (sin considerar los 23 canales que no se conoce su longitud). En Pozo Almonte se presentan 7 canales con una longitud total de 10.174 m.

En la Tabla 2-29 se muestra el detalle del estado de conservación de los canales catastrados, donde se aprecia que un 1% de la longitud de los canales se encuentra en buen estado, un 62% de la longitud se considera en estado regular y el 37% de la longitud de los canales se encuentran en mal estado de conservación, lo que se traduce en ineficiencia de aprovechamiento del recurso para riego. Sin embargo, existe una gran incertidumbre asociada al estado actual de los canales, producto de que el detalle del catastro data del 2013, y desde ese año a la fecha pueden haber cambiado las condiciones. Es más, en el Diagnóstico del Plan de Riego de la Región de Tarapacá (CNR, 2017) se mencionan algunos mejoramientos, pero no se entregan detalles.

Tabla 2-29 Estado de conservación de la Red de Canales.

Comuna	Estado						Total (m)
	Bueno		Regular		Malo		
	Long. (m)	%	Long. (m)	%	Long. (m)	%	
Huara	835	1	44.032	65	22.560	33	67.426
Pozo Almonte	0	0	3.873	38	6.302	62	10.174
Total	835	1	47.905	62	28.862	37	77.600

Fuente: Diagnóstico de Obras Hidráulicas (DOH, 2013).

Por otro lado, respecto al tipo de conducción (revestimiento), del total de la red de canales levantada, un 69% se encuentra revestido con hormigón armado (53,7 km), un 29,6% (23,0 km) se encuentra en tierra o sin revestimiento y un 1,1% (0,8 km) tiene otro tipo de conducción. La Tabla 2-30 muestra el detalle de esta información a nivel comunal.

Tabla 2-30 Longitud de canales según su materialidad.

Comuna	Longitud (m)			
	Hormigón Armado	Tierra	Otro	Total
Huara	49.560	17.066	800	67.426
Pozo Almonte	4.169	5.938	67	10.174
Total	53.729	23.004	867	77.600

Fuente: Diagnóstico de Obras Hidráulicas (DOH, 2013).

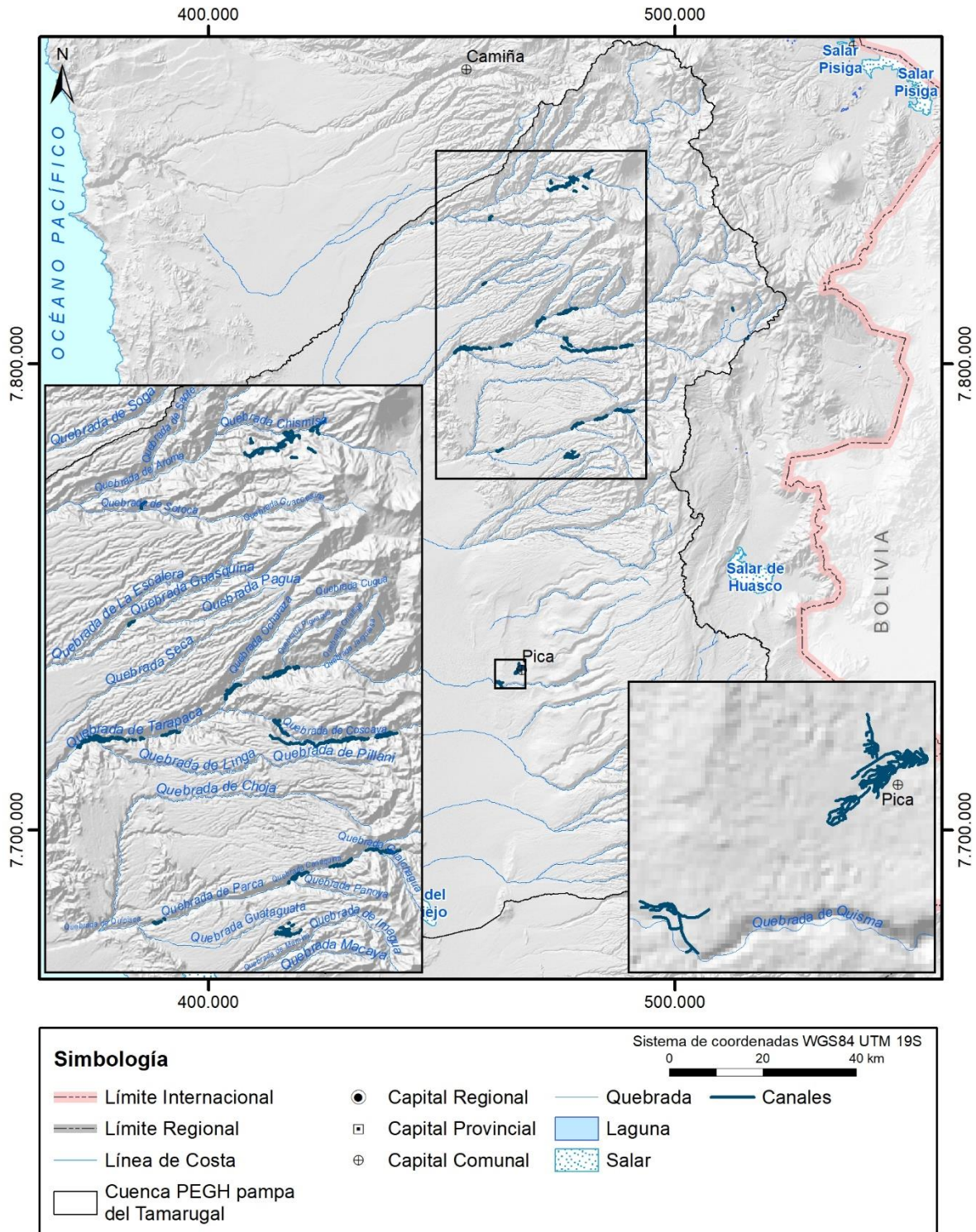
En base al catastro de canales mencionado, la Tabla 2-31 presenta una síntesis de la situación a nivel de subcuenca. En la Figura 2.39 muestra la distribución de la red de canales en la cuenca.

Tabla 2-31 Infraestructura de canales a nivel de subcuencas de la Pampa del Tamarugal.

Subcuenca	N° Comunidades	Longitud (m)
Quebrada de Aroma	2	12.561
Quebrada de Tarapacá	23	54.861
Quebrada de Quipisca	7	10.175
Total	32	77.597

*23 comunidades sin longitud catastrada.

Fuente: Diagnóstico de Obras Hidráulicas (DOH, 2013).



Fuente: elaboración propia a partir de los datos de la mapoteca DGA.

Figura 2.39 Canales en la cuenca de la Pampa del Tamarugal.

Tecnificación de riego

De acuerdo a los antecedentes consultados, la cuenca cuenta con una fuerte tecnificación de riego en la zona de Pica, en la que la mayoría de los nuevos predios cuentan con sistema riego de goteo. Sin embargo, existen algunos predios que cuentan con pequeños tranques y sistemas de riego por aspersión.

Infraestructura de defensas fluviales y de protección de riberas

Los eventos hidrometeorológicos extremos que originan crecidas de los cauces durante el invierno Altiplánico son una característica propia de las condiciones geográficas y climáticas de la cuenca. No existen en la cuenca obras de regulación y control de crecidas, pero existen proyectos en las quebradas Tarapacá y Aroma.

Infraestructura de Agua Potable y Alcantarillado

Para el sector urbano los servicios sanitarios de producción y distribución de agua potable, así como los de recolección y disposición de aguas servidas, se encuentran concesionados a la empresa Aguas del Altiplano S.A., la que atiende a las localidades de Pica, Matilla, Pozo Almonte, Huara, La Tirana y La Huayca.

La cobertura de servicios sanitarios entregados por la empresa alcanza un 100% en el caso de producción y distribución de agua potable, y un 97,4% para la recolección y disposición de aguas servidas. Sin embargo, recientemente la localidad de Huara cuenta con alcantarillado.

En cuanto a los sistemas de Agua Potable Rural (APR), existe una cobertura en localidades concentradas (más de 500 hab. y un mínimo de 15 viviendas conectadas por kilómetro de red) y semiconcentradas (entre 80 y 500 hab. y con un mínimo de 8 viviendas conectadas por kilómetro de red), debido a que en general las localidades están atendidas ya sea por un sistema construido por el MOP o por sistemas rudimentarios aportados por las municipalidades. Sin embargo, en algunas localidades semiconcentradas y dispersas, esto es aún un tema pendiente, sí se considera que existen 47 localidades que presentan déficit sanitario y que además se requiere reemplazar o mejorar sistemas rudimentarios con los que cuentan algunas de ellas.

Por otra parte, el saneamiento rural (alcantarillado) es una problemática importante a resolver en la Región, ya que la mayoría de los sistemas de APR existentes no están acompañados de sistemas de saneamiento de aguas servidas, salvo la localidad de Mamiña. La Tabla 2-32 presenta una síntesis de los sistemas de Agua Potable Rural (APR) y de los sistemas de evacuación y disposición de aguas servidas a nivel de cuencas en la Región.

Se contabilizan un total de 21 sistemas de APR operativos (Figura 2.40), de los cuales sólo 1 posee sistema de alcantarillado (Mamiña), 3 se encuentran con diseño de alcantarillado y 1 con estudio de prefactibilidad de un sistema de disposición de residuos.

El resto de las localidades utiliza fosas sépticas o pozos negros como sistema de evacuación.

El déficit de APR en la Región es amplio con un total de 47 localidades que actualmente se abastecen de pozos, norias o vertientes sin un sistema de agua potable rural. A pesar de ello, en 16 localidades existen proyectos o estudios de diseño de prefactibilidad.

Tabla 2-32 Cobertura y déficit del sistema de APR a nivel de Subcuencas.

Subcuenca	Con Cobertura Sanitaria			Con Déficit Sanitario		
	Poblado	Abast. de Agua	Disp. Aguas Servidas	Poblado	Abast. de Agua	Disp. Aguas Servidas
Quebrada de Aroma	Chiapa	APR	Fosa o Pozo negro	Sotoca	Pozo, noria o vertiente	Fosa o Pozo negro
	Jaiña	APR	Fosa o Pozo negro	Sipiza	Pozo, noria o vertiente	Fosa o Pozo negro
Quebrada Soga	No registra			Soga	Pozo, noria o vertiente	Fosa o Pozo negro
				Bajo Soga	Pozo, noria o vertiente	Fosa o Pozo negro
Quebrada de Tarapacá	Huaviña	APR	Fosa o Pozo negro	Mocha	Diseño prefactibilidad APR	Fosa o Pozo negro
	Laonzana	APR	Fosa o Pozo negro			
	Limaxiña	APR	Fosa o Pozo negro	Achacagua	Diseño prefactibilidad APR	Fosa o Pozo negro
	Pachica	APR	Fosa o Pozo negro			
	Sibaya	APR	Fosa o Pozo negro	Chusmiza	Pozo, noria o vertiente	Fosa o Pozo negro
	Tarapacá	APR	Fosa o Pozo negro	Coscaya	Pozo, noria o vertiente	Fosa o Pozo negro
	Huarasiña	APR	Fosa o Pozo negro	Poroma	Pozo, noria o vertiente	Fosa o Pozo negro
Quebrada Quipisca	No Registra			Parca	Diseño prefactibilidad APR	Fosa o Pozo negro
				Quipisca	Pozo, noria o vertiente	Fosa o Pozo negro
				Huacaso	Pozo, noria o vertiente	Fosa o Pozo negro
				Noaza	Pozo, noria o vertiente	Fosa o Pozo negro
Quebrada Juan de Morales	Mamiña	APR	Alcantarillado	Macaya	Diseño prefactibilidad APR	Fosa o Pozo negro
Quebrada Quisma	No Registra			Valle Quisma	Pozo, noria o vertiente	Fosa o Pozo negro
Pampa del Tamarugal	La Tirana (periferia)	APR	Fosa o Pozo negro	Huasquiña	Pozo, noria o vertiente	Fosa o Pozo negro
				Pintados	Diseño prefactibilidad APR	Fosa o Pozo negro
				Canchones	Pozo, noria o vertiente	Fosa o Pozo negro
				Of. Victoria	Pozo, noria o vertiente	Fosa o Pozo negro

Fuente: Sistema APR-MOP (DOH, 2020).

Tabla 2-33 Red de distribución de agua potable por localidad.

Localidad	Longitud Red (km)
Pozo Almonte	25,5
Huara	4,5
La Huayca	5,9
La Tirana	13,5
Matilla	6,4
Pica	13,2

Fuente: Geohidrología (DGA, 2012c)

Además, en el estudio Actualización Planes de Desarrollo, de la empresa Aguas del Altiplano (SISS, 2018), que tiene como objetivo definir la infraestructura necesaria para satisfacer y garantizar los servicios sanitarios dentro del área de concesión hasta el año 2023, se presenta un catastro y diagnóstico de la infraestructura sanitaria hasta el año 2008. El sistema de producción de agua potable, se abastece exclusivamente de aguas subterráneas. La infraestructura sanitaria en operación al año 2008 para abastecer de agua potable a distintas localidades de la región durante la etapa de producción (Sistemas de Iquique, Alto Hospicio-Iquique, Huara, Huayca, La Tirana, Pica-Matilla, Pisagua), se describen en la Tabla 2-34.

Tabla 2-34 Catastro de infraestructura sanitaria para la etapa de producción de agua potable.

Descripción	Cantidad
Sondajes	37
Estanque Copa	2
Estanque Planta Elevadora Agua potable (PEAP)	4
Estanques	17
PEAP	7
Dren	1
Socavón	1

Fuente: Geohidrología (DGA, 2012c).

2.4.2 Redes de medición

La DGA posee una red hidrométrica a lo largo de la cuenca la cual permite conocer datos hídricos en tiempo real y establecer patrones de comportamiento histórico de las condiciones hidrológicas a lo largo del país. La red hidrométrica se divide según el tipo de información que recopila, existen 8 tipos de estaciones; meteorológicas, fluviométricas, niveles de pozos, sedimentométricas, calidad de agua, nivel de lagos y embalses, glaciológicas y ruta de nieve.

De acuerdo a la Mapoteca DGA (abril 2020), en la cuenca de la Pampa del Tamarugal hay un total de 81 estaciones, de las cuales 10 son meteorológicas, 3 fluviométricas, 55 de niveles de pozos, 1 sedimentométricas, 12 de calidad de agua, y ninguna de nivel de lagos y embalses, glaciológicas o de ruta de nieve. En la Tabla 2-35 se presenta el número de estaciones por tipo y por su distribución a lo largo de las subcuencas.

Tabla 2-35 Número y distribución por subcuencas de las estaciones vigentes de la red hidrométrica DGA en la cuenca de la Pampa del Tamarugal.

Red de medición	Número de estaciones									
	Total	Quebrada de Aroma	Quebrada de Tarapacá	Quebrada Quipisca	Quebradas Juan Morales, Sagasca y El Tambillo	Quebrada Quisma	Quebrada Chacarilla	Quebrada Ramada	Quebradas Cahuisa y Chipana	Pampa del Tamarugal
Meteorológica	10	1	4	2	1	-	1	-	-	1
Fluviométrica	3	-	3	-	-	-	-	-	-	-
Niveles de pozo	55	-	1	-	-	-	-	-	-	54
Sedimentométrica	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-
Calidad de agua	12	1	5	-	-	-	-	-	-	6
Lagos y embalses	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Glaciológica	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ruta de nieve	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	81	2	14	2	1	-	1	-	-	61

Fuente: elaboración propia a partir de datos Mapoteca DGA (abril 2020).

Estaciones meteorológicas

La cuenca de la Pampa del Tamarugal cuenta con una red de monitoreo hidrometeorológica que posee la DGA y algunas compañías mineras, cuyo levantamiento de información se ha extractado de los estudios del CIDERH (2013a) y Con Potencial (DGA, 2018b), la cual está compuesta por 21 estaciones meteorológicas vigentes, de las cuales 10 son de la DGA.

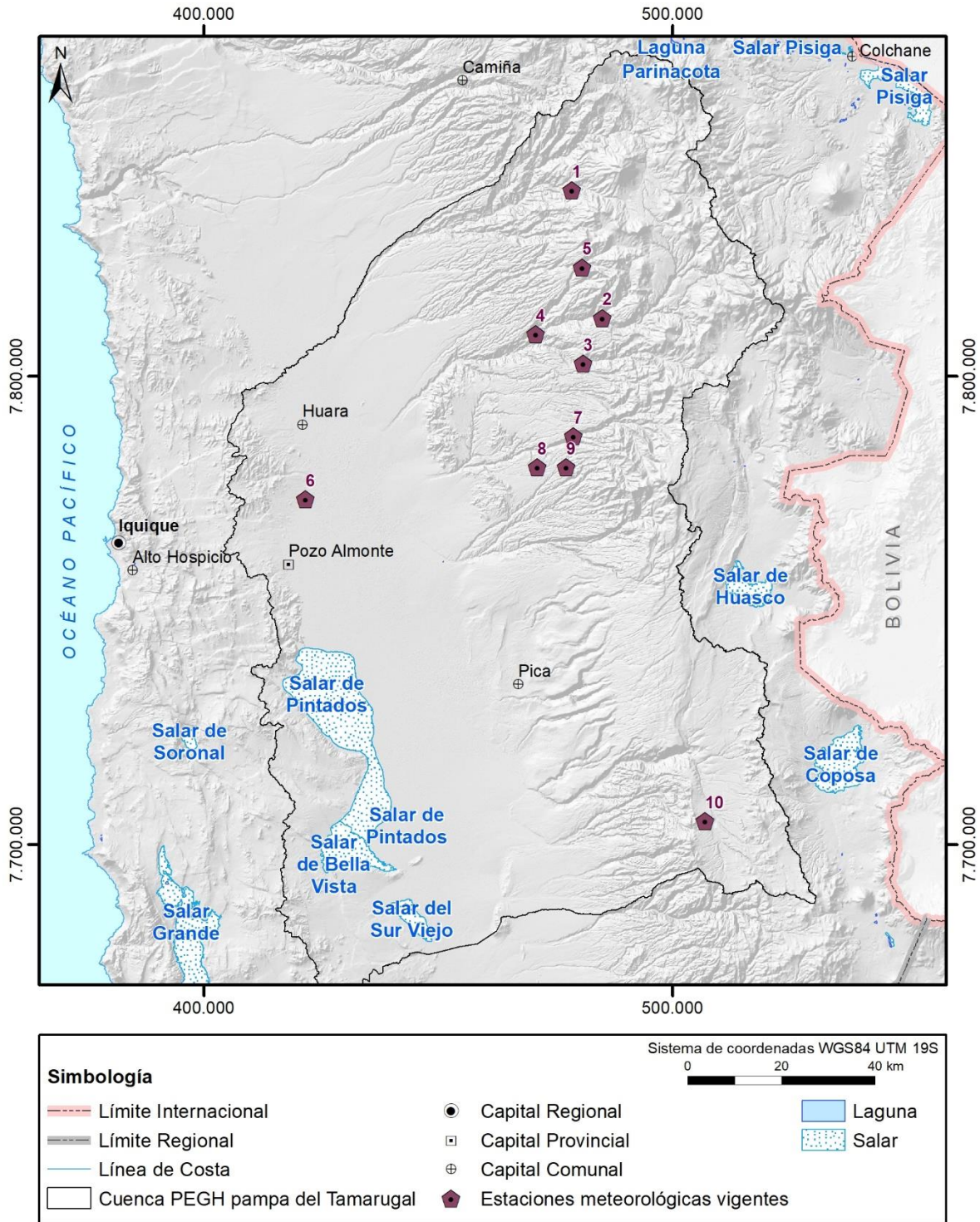
En la Tabla 2-36 se presenta un resumen de las estaciones las estaciones hidrometeorológicas de la cuenca de la Pampa del Tamarugal vigentes y pertenecientes a la DGA (ver ubicación en Figura 2.41), que cuentan con antecedentes disponibles. La mayoría se encuentra sobre los 2.000 m s.n.m. Con respecto a la cobertura espacial, existen múltiples subcuencas en la que no se cuenta con información y en las cuales existe precipitación, como en las Quebrada de Soga en el norte, y las subcuencas de las quebradas de Quisma, Ramada, y Cahuisa y Chipana el sur. La estación meteorológica que presenta el mayor registro de información corresponde a la estación Poroma (ubicada en la Quebrada de Tarapacá), cuyo registro data desde el año 1968. Las estaciones de la DGA sólo registran precipitaciones, a excepción de la estación Cerro Colorado operada por la Compañía Minera Cerro Colorado (CMCC) que registra evaporación y dirección y velocidad del viento. En la sección 3.1 del Anexo J se incluyen mayores antecedentes sobre el tipo de estación, su registro y tipo transmisión de datos.

Tabla 2-36 Estaciones meteorológicas DGA vigentes en la cuenca de la Pampa del Tamarugal con antecedentes disponibles. Ver ubicación en Figura 2.41 según número (#).

#	Estación Meteorológica	Código BNA	Coordenadas UTM		Altitud (m s.n.m.)	Registro	Años
			Norte	Este			
1	Chiapa	01720006-2	7.839.717	478.480	3.155	2012 - V	8
2	Quebrada Tarapacá en Sibaya	01730007-5	7.812.505	484.996	2.830	2005 - V	15
3	Poroma	01730017-2	7.803.235	480.805	2.880	1968 - V	52
4	Mocha	01730019-9	7.809.016	470.807	2.150	1988 - V	32
5	Chusmiza	01730020-2	7.823.293	480.633	3.400	1989 - V	31
6	Huara en Fte, Baquedano	01700010-1	7.773.836	421.635	1.000	1991 - V	29
7	Parca	01740001-0	7.787.266	478.835	2.650	1977 - V	43
8	Cerro Colorado	01740002-9	7.784.789	479.082	2.630	1991 - V	29
9	Mamiña	01750003-1	7.780.672	477.286	2.730	1986 - V	34
10	Quebrada Caya	01770002-2	7.705.149	506.853	3.890	2018 - V	12

V: Vigente

Fuente: elaboración propia.



Fuente: elaboración propia, base mapoteca DGA.

Figura 2.41 Estaciones meteorológicas vigentes en la cuenca Pampa del Tamarugal con antecedentes disponibles.

En materia de densidad de estaciones meteorológicas, la OMM (1994) recomienda una estación por cada 2.500 km² en zonas montañosas y cada 5.750 km², para llanuras

interiores y zonas escarpadas u ondulantes. Recordando que el área de la cuenca es de 15.887 km² se tiene una densidad de estaciones a nivel de cuenca (considerando las 10 estaciones meteorológicas DGA vigentes) de una estación por cada 1.588 km², lo que resulta adecuado. Sin embargo, la distribución de las estaciones no es homogénea en el territorio, y en particular en toda la mitad sur existe solo una estación (Quebrada Caya). Al analizar el número de estaciones según unidades de relieve, considerando para ello las unidades geomorfológicas presentadas en la Figura 2.2 (Cordillera de la Costa, Depresión Central, Precordillera y Cordillera Occidental), se obtiene:

- Cordillera de la Costa (1.549 km²): 0 estaciones
- Depresión Central (10.244 km²): 7 estaciones
- Precordillera (3.390 km²): 3 estaciones
- Cordillera Occidental (704 km²): 0 estaciones.

Con esto, la densidad de estaciones en la Depresión Central sería de una estación cada 1.463 km², y en la Precordillera de una estación cada 1.130 km², ambas dentro del rango adecuado. Por otra parte, al no existir estaciones en las unidades de la Cordillera de la Costa y Cordillera Occidental, no se cumpliría con la densidad recomendada.

Estaciones fluviométricas

Tal como se comentó anteriormente, la red fluviométrica es escasa, debido principalmente a la poca presencia de cursos de agua superficial permanentes. Las 5 estaciones fluviométricas vigentes, de las cuales 3 son de la DGA y 2 de la CMCC, permiten una cobertura relativamente adecuada para análisis regional, no obstante, no hay información para todas las subcuencas y no es apta para estudios de detalle. Las subcuencas con drenajes permanentes en que no existen estaciones actualmente vigentes son las quebradas de Aroma y Soga. En aquellas quebradas que se ubican al sur de la subcuenca de la quebrada de Tarapacá tampoco existen estaciones de medición de caudal, sin embargo, estos cauces tienen características más intermitentes.

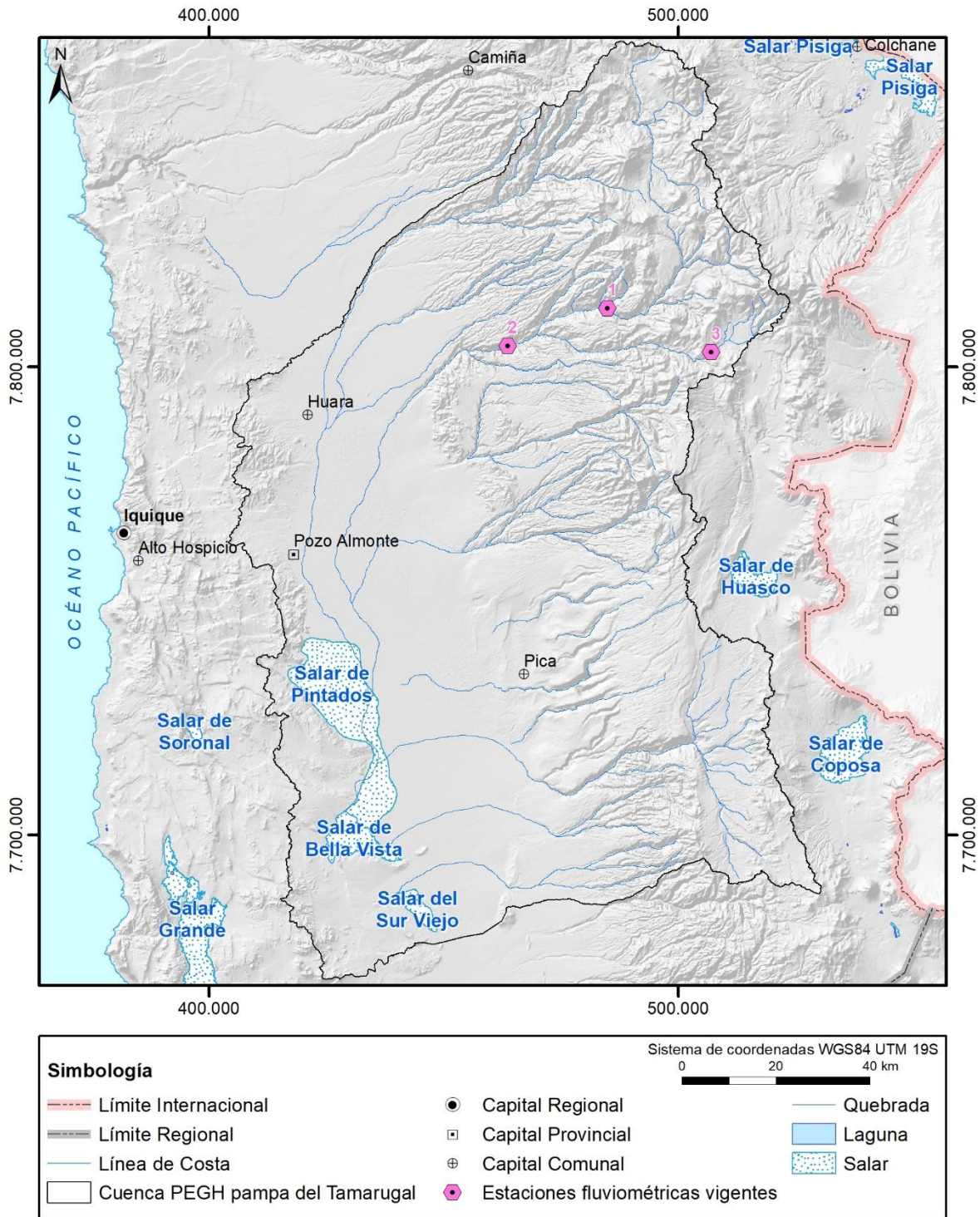
En la Tabla 2-37 y Figura 2.42 se indican las características y ubicación de las estaciones fluviométricas vigentes pertenecientes a la DGA. En la sección 3.1.4 del Anexo J se incluyen mayores antecedentes sobre la instrumentación y el registro/transmisión de datos de cada estación.

Tabla 2-37 Estaciones fluviométricas en la cuenca de la Pampa del Tamarugal. Ver ubicación en Figura 2.42 según número (#).

#	Código BNA	Nombre	Coordenadas UTM		Altitud	Registro
			Norte	Este	m s.n.m.	
1	01730007-5	Quebrada Tarapacá en Sibaya	7.812.491	484.985	2.830	1994 - V
2	01730012-1	Quebrada Tarapacá en Laonzana	7.804.715	463.963	1.847	1995 - V
3	01730003-2	Río Coscaya en Saitoco	7.803.521	507.358	3.545	1985 - V

V: Vigente

Fuente: elaboración propia, basado en información de Mapoteca DGA.



Fuente: elaboración propia.

Figura 2.42 Ubicación de las estaciones fluviométricas vigentes de la DGA en la cuenca de la Pampa del Tamarugal.

En cuanto a la calidad referida a la densidad de estaciones fluviométricas, la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 1994) recomienda como mínimo una

estación por cada 1.000 km² para zonas montañosas, y una estación por cada 1.875 km² para llanuras interiores y zonas escarpadas u ondulantes. Esto implicaría para la cuenca de la Pampa del Tamarugal, contar con entre 8 a 9 estaciones, por lo que, desde el punto de vista de densidad de estaciones, las actuales 3 estaciones vigentes de la cuenca no son suficientes.

Niveles de pozos

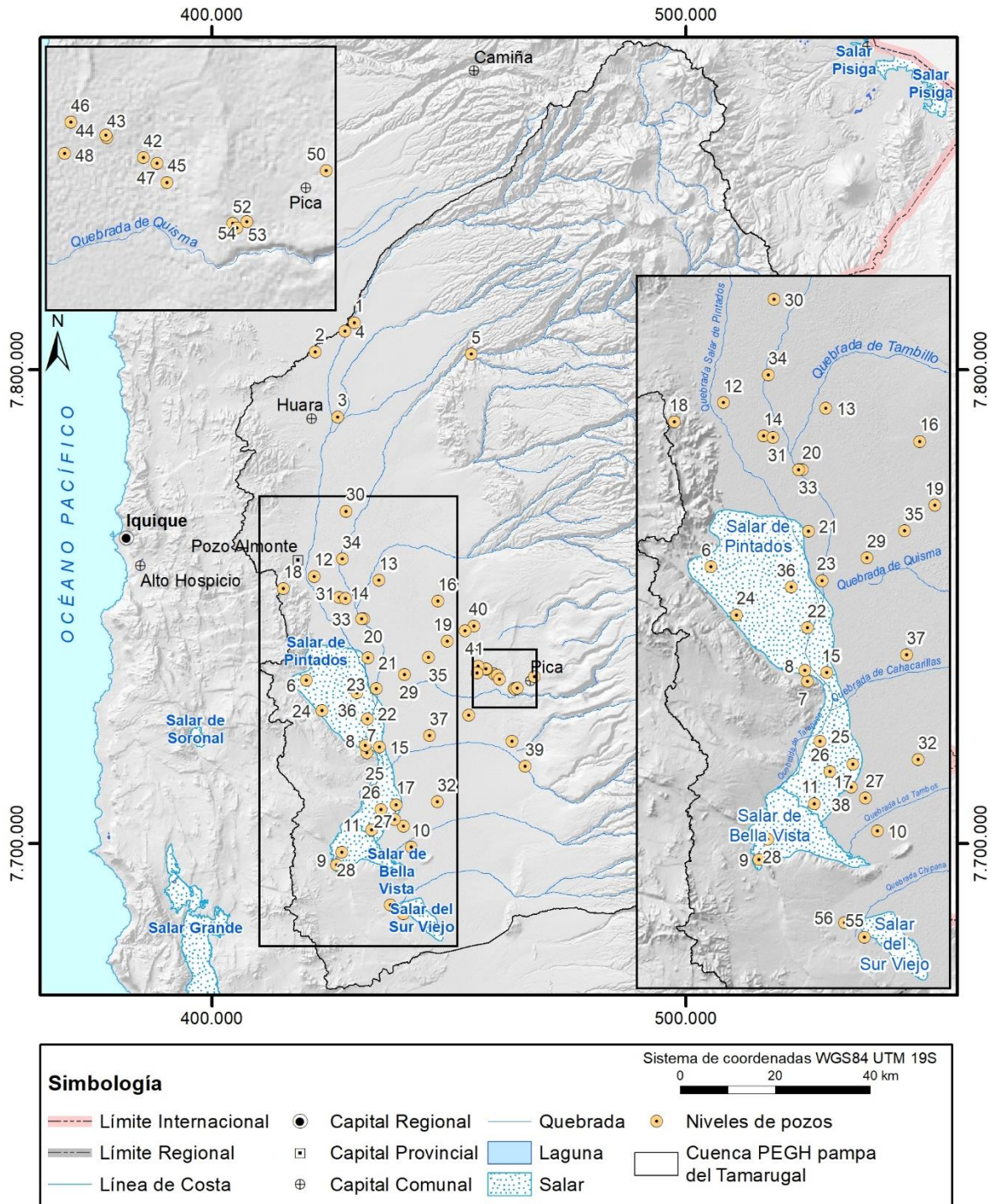
El acuífero de la Pampa del Tamarugal cuenta con 69 de pozos de monitoreo vigentes, que se comenzaron a construir desde la gran campaña de perforación de Corfo en los años 60, y cuyos últimos pozos se construyeron durante los últimos estudios de la DGA (DGA, 2013b, 2017b, 2018b). De éstos sólo 37 pertenecen a la DGA, y el resto pertenecen a las empresas Aguas del Altiplano, SQM, HMC y CMCC. Estos pozos cuentan sólo con registro de medición de nivel estático del acuífero. En la Tabla 2-38 y Figura 2.43 se muestran descripción y ubicación de 56 pozos vigentes que están informados a la DGA.

Tabla 2-38 Pozos de Monitoreo del acuífero de la Pampa del Tamarugal. Ver ubicación en Figura 2.43 según número (#).

#	Código BNA	Nombre	UTM WGS84		Comuna
			Este	Norte	
1	01700013-6	Salar Zapiga	429987	7.809.986	Huara
2	01700100-0	JICA - 4	421746	7.803.809	Huara
3	01700106-K	JICA - C	426484	7.790.032	Huara
4	01720005-4	Pozo Quebrada De Aroma	427972	7.808.184	Huara
5	01700091-8	Pozo en Pachica	454643	7.803.303	Huara
6	01700015-2	Salar Pintados	419861	7.734.439	Pozo Almonte
7	01700018-7	Estación Exp.Pintados	432668	7.719.124	Pozo Almonte
8	01700019-5	Salar Pintados	432323	7.720.573	Pozo Almonte
9	01700024-1	Salar Bellavista	426237	7.695.372	Pozo Almonte
10	01700026-8	Salar Bellavista	441996	7.699.157	Pozo Almonte
11	01700027-6	Salar Bellavista	433599	7.702.833	Pozo Almonte
12	01700028-4	Planta Sara 3a	421499	7.756.336	Pozo Almonte
13	01700030-6	El Carmelo 2	435154	7.755.554	Pozo Almonte
14	01700032-2	Salar Pintados (Sara Tirana)	426837	7.751.866	Pozo Almonte
15	01700034-9	Salar Pintados 2	435285	7.720.323	Pozo Almonte
16	01700039-K	Antonio Mendieta	447621	7.751.147	Pozo Almonte
17	01700043-8	Salar Bellavista	438775	7.708.114	Pozo Almonte
18	01700048-9	Salar Pintados	414985	7.753.784	Pozo Almonte
19	01700053-5	Esmeralda 6	449653	7.742.622	Pozo Almonte
20	01700061-6	La Tirana 104 - A	431977	7.747.405	Pozo Almonte
21	01700063-2	Planta Ap. Hispania	432834	7.739.173	Pozo Almonte
22	01700069-1	Salar Pintados	432708	7.726.291	Pozo Almonte
23	01700070-5	Bosque Junoy	434643	7.732.596	Pozo Almonte
24	01700072-1	Salar Pintados	423221	7.727.998	Pozo Almonte
25	01700073-K	Salar Bellavista	434378	7.711.137	Pozo Almonte
26	01700074-8	Salar Bellavista	435.659	7.707.124	Pozo Almonte
27	01700076-4	Salar Bellavista	440.401	7.703.580	Pozo Almonte
28	01700077-2	Salar Bellavista	427.404	7.698.042	Pozo Almonte
29	01700080-2	Luis Quispe	440.612	7.735.598	Pozo Almonte
30	01700092-6	Pozo JICA D	428.241	7.770.096	Pozo Almonte

#	Código BNA	Nombre	UTM WGS84		Comuna
			Este	Norte	
31	01700093-4	Pozo JICA E	428.123	7.751.674	Pozo Almonte
32	01700094-2	Pozo JICA F	447.453	7.708.713	Pozo Almonte
33	01700097-7	Guillermo Araya	431.532	7.747.405	Pozo Almonte
34	01700101-9	JICA - 5	427.469	7.760.043	Pozo Almonte
35	01700102-7	JICA - 6	445.634	7.739.234	Pozo Almonte
36	01700103-5	JICA - 7	430.540	7.731.736	Pozo Almonte
37	01700104-3	JICA - 8	445.893	7.722.690	Pozo Almonte
38	01700105-1	JICA - 9	438.501	7.705.021	Pozo Almonte
39	01700023-3	Chacarilla	465.954	7.716.211	Pica
40	01700051-9	La Calera 3	455.170	7.745.879	Pica
41	01700052-7	La Calera 2	453.300	7.744.808	Pica
42	01700054-3	Esmeralda 11	459.515	7.735.751	Pica
43	01700055-1	Esmeralda 14	457.806	7.736.665	Pica
44	01700056-K	Esmeralda 15	457.748	7.736.788	Pica
45	01700057-8	Esmeralda 28	460.133	7.735.492	Pica
46	01700058-6	Esmeralda 31	456.124	7.737.399	Pica
47	01700059-4	Esmeralda 34	460.597	7.734.577	Pica
48	01700064-0	Essat Canchones	455.837	7.735.953	Pica
49	01700089-6	Pintado Pica 3	454.065	7.727.034	Pica
50	01700050-0	Concova	468.017	7.735.136	Pica
51	01700068-3	Puquio Nuñez	463.282	7.721.559	Pica
52	01700083-7	Granja Maria Jose	463.676	7.732.672	Pica
53	01700084-5	Enrique Aguayo	463.868	7.732.475	Pica
54	01700085-3	Antonio Napoli Di Capua	464.324	7.732.751	Pica
55	01700044-6	Salar Sur Viejo	440.303	7.685.003	Pozo Almonte
56	01700098-5	Salar Sur Viejo	437.606	7.686.957	Pozo Almonte

Fuente: elaboración propia a partir de Mapoteca DGA.



Fuente: elaboración propia a partir de Mapoteca DGA.

Figura 2.43 Mapa de estaciones de monitoreo de niveles vigentes de la DGA en la Zona de la Pampa del Tamarugal.

La guía de la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 1994) indica que para la construcción de una adecuada red de observación de aguas subterráneas, se deben considerar diversos parámetros y no solo la medición de niveles. Observando la

distribución de los pozos, es posible notar que estos están concentrados en el sector sur poniente, y la falta de puntos de observación hacia el sector norte y oriente.

Estaciones de calidad de agua

Como monitoreo de calidad de agua, la cuenca de la Pampa del Tamarugal cuenta con 56 estaciones de calidad de agua vigentes, cuya naturaleza de las estaciones es superficial y subterránea, y que pertenecen a la DGA, CMCC, SQM y HMC. La descripción de las 23 estaciones DGA, tanto vigentes como suspendidas, se presenta en la Tabla 2-39 y se muestran en la Figura 2.44.

Tabla 2-39 Estaciones de calidad de agua de la DGA en la cuenca de la Pampa del Tamarugal. Ver ubicación en Figura 2.44 según número (#).

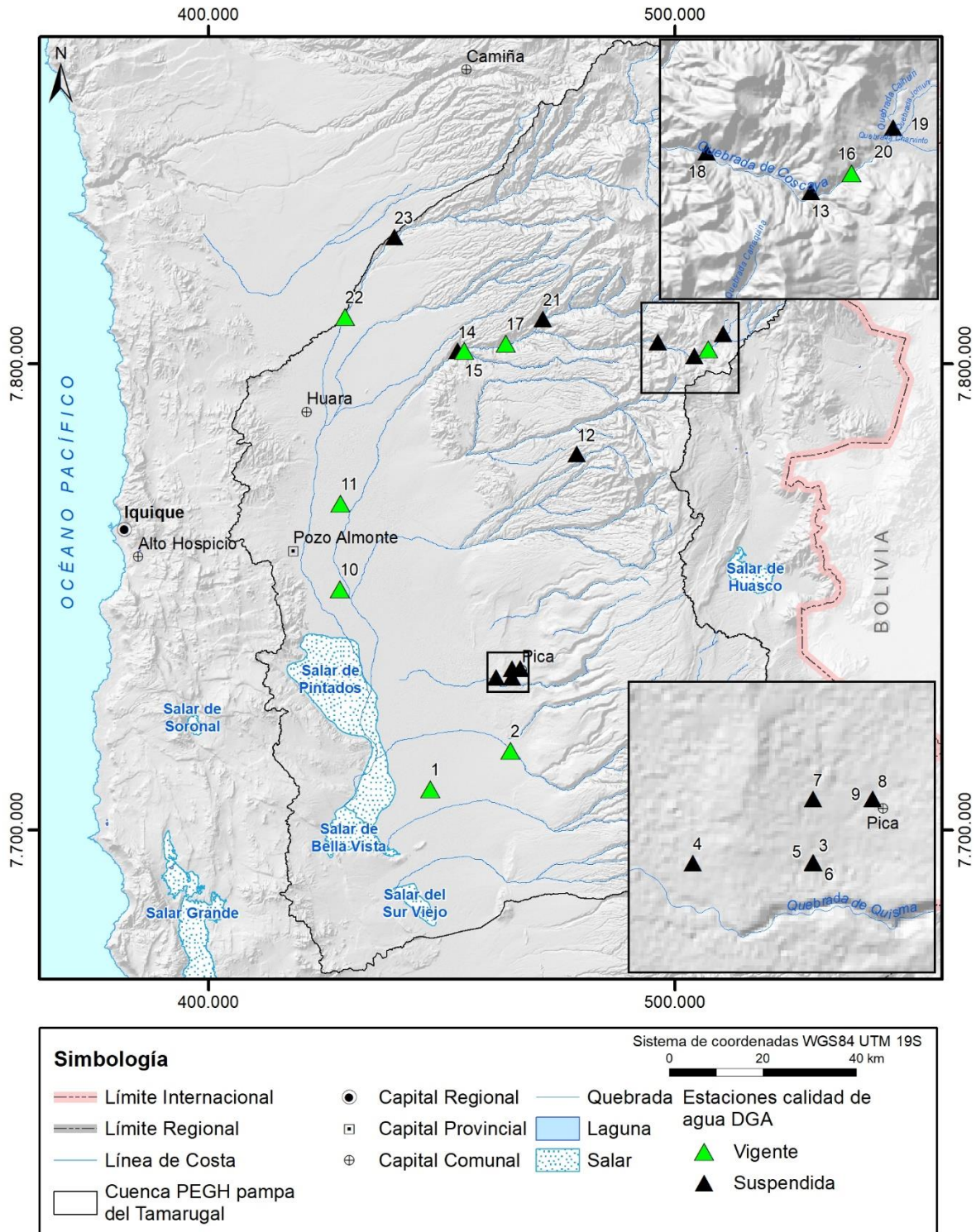
#	Código BNA	Nombre	Coordenadas UTM		Altitud (m s.n.m.)	Registro	Naturaleza
			Norte	Este			
1	01700094-2	Pozo JICA-F	7.708.713	447.453	1.451	2000 - V	Subterránea
2	01700096-9	Pozo Quebrada Chacarilla	7.716.976	464.655		2000 - V	Subterránea
3	01700001-2	Vertiente Animas	7.732.748	465.057	1.330	1970 - 2021 (S)	Superficial
4	01700007-1	Vertiente Puquio Comiña	7.733.115	461.765	1.250	1970 - 1978 (S)	Superficial
5	01700005-5	Vertiente El Carmen	7.733.123	465.241	1.300	1970 - 1978 (S)	Superficial
6	01700006-3	Vertiente Jesús María	7.733.123	465.241	1.300	1970 - 1978 (S)	Superficial
7	01700004-7	Vertiente Miraflores	7.734.967	465.237	1.350	1970 - 1978 (S)	Superficial
8	01700002-0	Vertiente Resbaladero	7.734.971	466.975	1.360	1970 - 1977 (S)	Superficial
9	01700003-9	Vertiente Concova	7.734.971	466.975	1.400	1970 - 1977 (S)	Superficial
10	01700093-4	Pozo JICA-E	7.751.674	428.123		2000 - V	Subterránea
11	01700092-6	Pozo JICA-D	7.770.096	428.241		2000 - V	Subterránea
12	01750001-5	Vertiente El Tambo de Mamiña	7.781.100	479.086	2.830	1980 - 2003 (S)	Superficial
13	01730001-6	Río Coscaya en Pampa Lirima	7.801.793	504.090	3.540	1975 - 2021 (S)	Superficial
14	01730005-9	Quebrada Tarapacá en Pachica	7.803.246	453.583		1970 - V(S)*	Superficial
15	01700091-8	Pozo en Pachica	7.803.303	454.643		2000 - V	Subterránea
16	01730003-2	Río Coscaya en Saitoco	7.803.184	507.126		1985 - V	Superficial
17	01730012-1	Quebrada Tarapacá en Laonzana	7.804.434	463.740	1.847	1900 - V	Superficial / Sedimentográfica
18	01730010-5	Río Coscaya en Mosquito de Oro	7.805.089	496.509	3.690	1975 - 1983 (S)	Superficial
19	01730013-K	Vertiente Chaiviri N°1	7.806.931	510.471	4.010	1976 - 1978 (S)	Superficial
20	01730014-8	Vertiente Chaiviri N°2	7.806.931	510.471	4.010	1975-1978 (S)	Superficial
21	01730006-7	Quebrada Tarapacá en Mocha	7.810.109	471.807		1970 - V(S)*	Superficial
22	01720005-4	Pozo Quebrada Aroma	7.808.184	427.972		2000 - V	Subterránea
23	01720003-8	Río Aroma en Ariqueña	7.827.390	439.821		(S)	Superficial

V: Vigente

S: Suspendida

V(S)*: Vigente según datos de SINIA, suspendida según Mapa Hidroquímico de Chile

Fuente: elaboración propia con base en los datos del SINIA DGA.



Fuente: elaboración propia con base en los datos de mapa hidroquímico de Chile.

Figura 2.44 Estaciones de calidad de agua DGA de la Cuenca Pampa del Tamarugal.

Para el diagnóstico de la actual red de medición de calidad superficial, la guía de la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 1994) indica que los criterios dependen considerablemente de los objetivos que se tengan. Sin embargo, entrega algunos criterios generales para ríos, que se listan a continuación:

1. Inmediatamente aguas abajo de una frontera internacional
2. Derivación para el abastecimiento público de una ciudad importante
3. Zona importante de pesca, recreación y diversión
4. Derivación para el riego agrícola a gran escala
5. Límite de influencia de las mareas sobre el río principal
6. Derivación para gran abastecimiento industrial
7. Aguas abajo de descargas de efluentes industriales y afluente importante que influyen el río principal
8. Estación básica de línea, agua en estado natural

Las estaciones de monitoreo de las quebradas en la Pampa del Tamarugal cumplen con el criterio 8.

Para el diagnóstico de la actual red de calidad subterránea, se consultó el estudio de la DGA (2017c), que define algunos criterios. Por ejemplo, recomienda un punto cada 150 km² para acuíferos con sobreexplotación, y uno cada 200 km² en caso de no estar sobreexplotado. Según este estudio, el acuífero de la Pampa del Tamarugal tiene 4 pozos de monitoreo de calidad, y lo que se recomienda para este acuífero es 32 pozos, por lo que tendría un déficit teórico de 28 puntos de monitoreo de calidad de aguas subterráneas.

Por otro lado, el estudio "Criterios para la implementación de redes de monitoreo de aguas subterráneas" (DGA, 2019a) sugiere una densidad de pozos de monitoreo óptima para un acuífero sin intrusión salina y sobreexplotado, como es el caso de la Pampa del Tamarugal, menor a 25 km² por pozo. Bajo este criterio, el acuífero (SHAC) de la Pampa del Tamarugal, de 4.845 km² queda con un déficit de 190 puntos de monitoreo, el de Pica, cuya área es de 671 km², con un déficit de 27 puntos y el de salar Sur Viejo, de área 1093 km², un déficit de 44 puntos de monitoreo.

Red glaciológica y de nieves

La cuenca de la Pampa del Tamarugal no cuenta con ninguna estación de medición glaciológica o de nieves.

2.5 Nuevas fuentes existentes

A continuación, se presenta la información respecto a nuevas fuentes de agua existentes, iniciativas o proyectos que busquen aumentar la oferta hídrica, entre las que se cuenta la recarga artificial de acuíferos, desalinización de agua, uso de aguas servidas tratadas y el uso de atrapanieblas.

2.5.1 Recarga de Acuíferos

En la cuenca no existen obras ni iniciativas de recarga artificial de acuíferos, sin embargo, esta metodología se ha evaluado en la cuenca en al menos dos estudios.

La recarga gestionada o artificial de agua a los sistemas acuíferos, es una interesante forma de almacenar el recurso, sobre el cual se han desarrollado algunos estudios en la cuenca de la Pampa del Tamarugal. Ejemplo de esto son los estudios y experiencias que se han realizado principalmente en la zona central de Chile. Sin embargo, la recarga se debe analizar caso a caso (Cabrera, 2014), evaluando las condiciones hidrogeológicas, disponibilidad de aguas para recarga, aspectos legales y factibilidad técnica y económica.

Al analizar lo favorable de la cuenca de la Pampa del Tamarugal para la recarga artificial, Cabrera (2014) señala que la "Se prestaría para proyectos de recarga artificial por su gran extensión y napas relativamente planas, de modo que una recarga allí sería muy efectiva localmente. Sin embargo, las aguas que podrían usarse para recarga (aguas lluvias y aluviones del invierno boliviano) son parte de la recarga natural, y traer recursos desde fuentes externas sería de muy alto costo".

La CNR también ha llevado a cabo estudios, como el "Estudio diagnóstico de zonas potenciales de recarga de acuíferos en las regiones de Arica y Parinacota a la región del Maule" (CNR, 2013), encargado por la Comisión Nacional de Riego a GCF Ingenieros Ltda. y cuyo resumen, incorporado en el trabajo de Cabrera (2014), se presenta en el párrafo anterior.

En cuanto a la DGA, en su estudio DGA (2014b), se establece una evaluación nacional, a nivel de cuenca, jerarquizando cada una de éstas en función de un índice normalizado según una evaluación multicriterio. Según este ranking, la cuenca de la Pampa del Tamarugal queda en el segundo lugar, con 5.012 km² favorables para implementar una recarga natural, con un índice de 0,78, siendo 1 lo más favorable y 0, desfavorable.

2.5.2 Desalinización

No existen plantas desalinizadoras en la zona de estudio. Sin embargo, podrían constituir una alternativa en el futuro con un valor de energía menor.

2.5.3 Uso de aguas servidas tratadas

En la cuenca no existe tratamiento de aguas servidas, y menos el uso de ellas. Sin embargo, el reúso de las aguas servidas podría ser una nueva fuente asociada a cada una de las localidades de mayor población (Huara, Pozo Almonte y Pica), ya que el caudal que se podría obtener de éstas sería del orden de 10-20 l/s.

El tratamiento de las aguas servidas dependerá del uso que se le quiera dar, es decir, si se quiere usar para riego sólo será necesario un tratamiento secundario. Y si se quiere para bebida u otro, será necesario un tratamiento terciario. Si bien los costos de

inversión inicial y de operación aún son elevados, con el tiempo los costos energéticos han ido disminuyendo

2.5.4 Atrapanieblas

Los atrapanieblas son un sistema de captación de las gotas microscópicas de agua presentes en la niebla, producto de la evaporación del agua de mar. Los atrapanieblas son aparatos que están compuestos por una malla rashell que se suspende verticalmente entre dos postes e intercepta las gotas a medida que el viento empuja la neblina a través de ella. El agua se condensa y escurre por la malla hasta una tubería cortada en media caña que permite almacenarla y distribuirla para diferentes usos.

Durante las últimas décadas, varios investigadores chilenos de varias universidades han aplicado varios proyectos pilotos en diversos sectores costeros del norte de Chile. Sin embargo, los atrapanieblas no logran alcanzar a ser una Nueva gran fuente de agua, ya que los volúmenes que se obtienen son del orden de litros al día, el que con suerte permite el abastecimiento de unas cuantas personas. Además, los sistemas (mallas, cañerías) tienen una vida útil corta (2 años) producto que se queman con los rayos UV. Es más una aplicación reciente en el sector de Pampa Dos Cruces (Azapa) instaló cuatro atrapanieblas de 48 m² en total obteniendo un caudal de 2000 l/día (0,02 l/s). Por lo tanto, constituye una tecnología que aún está en desarrollo para obtener grandes volúmenes.

2.6 Gobernanza del agua a nivel cuenca

La gobernanza del agua a nivel de cuenca da cuenta de las formas en la que los actores de la cuenca de Pampa del Tamarugal se vinculan, pensando en la gestión de un Plan que permita el manejo del recurso hídrico en este territorio. Dentro de las actividades realizadas para caracterizar la gobernanza del agua en la cuenca se encuentran:

- el mapa de actores/agentes relevantes en materia hídrica de la cuenca,
- una síntesis de las problemáticas levantadas en las reuniones de participación ciudadana,
- aspectos relativos a las brechas de coordinación e información existentes,
- una revisión de las instancias actuales de relación entre actores y de algunas experiencias internacionales de gobernanza de agua, lo que se incluye en la sección 7.3 del Anexo J.

Esto permitirá tener una idea panorámica del contexto en el que los distintos actores/agentes de esta cuenca se vinculan, estableciendo los ejes respecto a los que se debe prestar mayor atención a la hora de implementar este PEGH.

2.6.1 Mapa de agentes

Se convocaron agentes y/o actores relevantes en la temática hídrica en la Cuenca de Pampa del Tamarugal. La definición de "actor relevante" y la metodología de detección de éstos se detallan en la sección 3.3.5 del Anexo F, en tanto, en los capítulos 3 y 4 del Anexo I se entrega el detalle de los actores de la cuenca, más las minutas de las reuniones y talleres realizadas en el marco de las actividades de Participación Ciudadana (PAC).

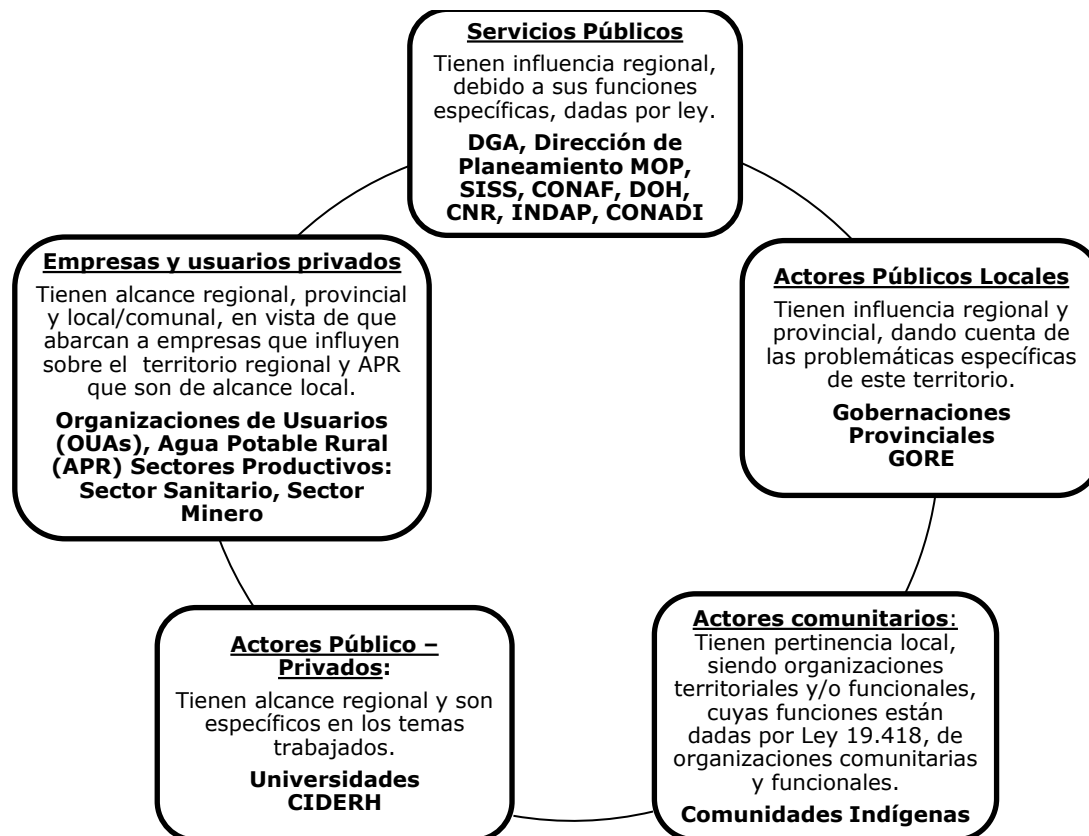
Agentes del territorio

A partir del proceso desarrollado en la etapa de diagnóstico, se realizó un análisis que permitió acotar la nómina de actores específicos a convocar, los que se detallan en la sección 3.3 del Anexo I. A partir de ese punto se determinó un listado de actores en la cuenca de Pampa del Tamarugal, todos ellos vinculados al recurso hídrico. Cabe mencionar que este listado está en concordancia con las bases de licitación de esta iniciativa.

El listado acotado de actores de esta cuenca se divide en cinco grupos, cuyo detalle (definición y tipos) se encuentra en la sección 3.2 del Anexo I de este informe. Respecto a los tipos de actores es necesario aclarar que su definición está anclada en el territorio. Esto quiere decir que el tipo de actor señalado en el informe está determinado por su presencia y acción territorial, lo que es algo consustancial a la propia determinación de estos actores. Desde esta perspectiva, al expresar el tipo de actor, se está haciendo referencia de forma directa a su territorio de acción.

De este modo, la relación de estos actores con el territorio se produce a partir de su propia naturaleza y tipología, expresada sintéticamente en el siguiente esquema de la Figura 2.45.

Las relaciones, intereses e influencia de estos actores en las decisiones respecto al recurso hídrico se presentan en la presente sección (2.6.1) específicamente en el punto **Relaciones Interés/Influencia**, donde se entrega un mapeo específico por actor. Sin embargo, es importante mencionar en este punto que las funciones de los distintos actores están definidas desde sus misiones específicas, dadas por Ley. Asimismo, la columna "Presencia en temas hídricos" de la Tabla 2-40, da cuenta de la función que el actor específico presenta en esta cuenca en particular.



Fuente: elaboración propia.

Figura 2.45 Representación general de actores/agentes vinculados al recurso hídrico, PAC Pampa del Tamarugal, 2021.

Mapa de actores convocados

A partir de la información levantada en el diagnóstico de la cuenca y de los criterios definidos en la metodología (sección 3.3 del Anexo F), la Tabla 2-40 específica la situación de cada agente/actor efectivamente convocado a las actividades participativas programadas y realizadas; además se presenta el grado de influencia/interés de esos actores. Para la asignación del grado de influencia/interés, se debe considerar que el grado de influencia del actor se relaciona a la toma de decisiones sobre la gestión de recursos hídricos en el territorio; mientras que el grado de interés, se relaciona con el nivel de interés respecto a la temática, en términos de necesidad y/o beneficios, respecto de las determinaciones de inversión, en proyectos, estudios o programas, etc. (CNR, 2017).

Tabla 2-40 Actores relevantes convocados a PAC, Cuenca de la Pampa del Tamarugal.

Actor	Descripción	Presencia en temas hídricos	Grado de influencia	Grado de interés	Relación con otros actores
Secretaría Regional Ministerio de Obras Públicas (SEREMI MOP). Región de Tarapacá	La SEREMI es la entidad representante del MOP en la región y cumple el rol de poner en marcha las políticas públicas que les son propias, como el supervigilar e informar acerca de las obras de infraestructura pública, así como de las inversiones correspondientes.	Realiza obras de infraestructura de riego, construcción de embalses, mejoramiento de tranques, canales; en resumen, todo lo que se relaciona con infraestructura hídrica	Alto	Alto	Fuerte relación con servicios públicos de su dependencia: entre los que se cuentan DGA y DOH. Se vincula en el territorio con los Comités de APR y con OUA.
Dirección General de Aguas (DGA), Ministerio de Obras Públicas (MOP). Región de Tarapacá	La Dirección General de Aguas es el organismo del Estado que se encarga de promover la gestión y administración del recurso hídrico, así como también proporcionar y difundir la información generada por su red hidrométrica y la contenida en el catastro público de aguas.	Tiene relación con el otorgamiento de DAA; supervigilancia de OUA; generación de información del recurso hídrico por medio de la red hidrométrica, declaraciones de escasez hídrica y con fiscalizaciones sobre extracciones. También coordinan los programas de investigación que lleven a cabo organismos públicos y privados con fondos estatales.	Alto	Alto	Los vínculos de la DGA en la cuenca se identifican con APR y con las OUA del territorio. Se relacionan, además, con entidades privadas, como Aguas del Altiplano y Mineras de la zona.
Gobierno Regional de Tarapacá	Su misión es apoyar el ejercicio del gobierno en los distintos territorios que son de su jurisdicción.	Ejercen la supervigilancia de los servicios públicos creados por ley para el cumplimiento de los lineamientos del GORE respecto a temas relacionados a la gestión hídrica, con el objetivo de reducir los niveles de vulnerabilidad ante emergencias hídricas y el abastecimiento de agua.	Alto	Medio	Se relaciona de manera directa con otros actores públicos como DOH, DGA, SEREMI Agricultura, SEREMI Minería.
Gobernación Provincial de Pampa del Tamarugal Región de Tarapacá	Su misión es apoyar el ejercicio del gobierno en los distintos territorios que son de su jurisdicción, especialmente en las provincias de la región.	Apoyan la labor del Gobierno regional desde una perspectiva territorial	Alto	Medio	Se relaciona de manera directa con otros actores públicos como DOH, DGA, SEREMI Agricultura, SEREMI Minería y con organizaciones locales para el desarrollo de su acción

Actor	Descripción	Presencia en temas hídricos	Grado de influencia	Grado de interés	Relación con otros actores
Corporación Nacional Forestal. CONAF. Ministerio de Agricultura. Región de Tarapacá	Entidad de derecho privado dependiente del Ministerio de Agricultura, cuya principal tarea es administrar la política forestal de Chile y fomentar el desarrollo del sector.	Apoya el uso sustentable del recurso hídrico, implementa nuevas tecnologías de plantación y riego en todo el país.	Alto	Alto	Se relaciona con organismos públicos como organismos MOP como DOH, DGA; también se relaciona con APR además de otras organizaciones privadas estratégicas.
Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), Ministerio de Obras Públicas (MOP). Región de Tarapacá	Provee los servicios de infraestructura hidráulica que permitan el óptimo aprovechamiento del agua y la protección del territorio y de las personas.	Realiza obras de infraestructura de riego, construcción de embalses, mejoramiento de tranques, canales; en resumen, todo lo que se relaciona con infraestructura hídrica. Entre sus objetivos se observa la necesidad de proveer de infraestructura de regadío que permita disponer del recurso hídrico, para incorporar nuevas áreas al riego y/o aumentar la seguridad de riego, proveer de infraestructura de red primaria para la evacuación y drenaje de aguas lluvias; proveer de infraestructura para proteger las riberas de cauces naturales, para contrarrestar los efectos de los procesos aluvionales, y proveer de infraestructura para el abastecimiento de agua potable a las localidades rurales.	Alto	Alto	La Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) trabaja en conjunto con todas las reparticiones públicas. Entre éstos: con la Dirección General de Aguas (DGA) del Ministerio de Obras Públicas (MOP) generaron un procedimiento para la evaluación y otorgamiento de permisos para la ejecución de obras de regularización o defensa de cauces naturales. Otro vínculo de la DOH es de coordinación con los comités de APR y algunas OUA de la cuenca.
Comisión Nacional de Riego (CNR). Ministerio de Agricultura (MINAGRI). Región de Tarapacá	La Comisión Nacional de Riego es un organismo público, creado en 1975, con el objetivo de asegurar el incremento y mejoramiento de la superficie regada del país. En 1985 se incorporó sus funciones el fomento de obras privadas de construcción y reparación de obras de riego y drenaje.	A través de la Ley de Fomento a la Inversión Privada en Obras de Riego y Drenaje (Ley N° 18.450), bonifica la construcción de proyectos de obras de riego y/o drenaje, a través de la cual la mayoría de OUA mejoran su infraestructura. Además, desde su nivel central, la CNR genera diversos estudios y programas de fortalecimiento de OUA, entre otros.	Alto	Alto	A través de programas y proyectos trabaja con otras entidades públicas tales como DOH, DGA y GORE; además, en su rol de ejecutor de iniciativas centralizadas, se vinculan directamente con los usuarios de agua relacionados al sector agropecuario.

Actor	Descripción	Presencia en temas hídricos	Grado de influencia	Grado de interés	Relación con otros actores
<p>Instituto Nacional de Desarrollo Agropecuario (INDAP), Ministerio de Agricultura (MINAGRI). Región de Tarapacá</p>	<p>Es un servicio descentralizado que Apoya a pequeños productores agrícolas mediante acciones orientadas a la generación y fortalecimiento del capital humano, financiero y productivo, que favorezcan a superar la pobreza y el desarrollo de la agricultura. Sus beneficiarios pueden ser: Pequeño/a productor/a: Pequeño(a) Productor(a) Agrícola Campesino/a: Campesino(a)</p>	<p>Este organismo cuenta con recursos para implementar obras de acumulación de agua, distribución y riego en predios, además de asesorías para la confección de los proyectos, para fomentar y apoyar a la Agricultura Familiar Campesina. Asimismo, implementa varios programas, como el de riego asociativo (PRA), el intra predial (PRI), obras menores de riego (PROM), bono legal de aguas (BLA), entre otros, en el marco de su acción.</p>	<p>Alto</p>	<p>Alto</p>	<p>Se relaciona directamente con Agricultores y organismos públicos como GORE, SEREMI Agricultura, DOH, CONADI, entre otros; sobre programas de iniciativas y financiamiento para infraestructuras hidráulicas y capacitaciones.</p>
<p>Corporación Nacional de Desarrollo Indígena (CONADI) Región de Tarapacá</p>	<p>La misión de esta institución es promover, coordinar y ejecutar la acción del Estado en favor del desarrollo integral de las personas y comunidades indígenas, en temas económicos, sociales y culturales, así como impulsar su participación en la vida nacional, a través de la coordinación intersectorial, el financiamiento de iniciativas de inversión y la prestación de servicios a usuarios y usuarias</p>	<p>Al tener entre sus programas de Tierras y Aguas, tiene directa relación con la temática hídrica, no tan sólo desde una perspectiva económica, sino que cultural, que considera la cosmovisión de los distintos pueblos indígenas frente a este tema.</p>	<p>Alta</p>	<p>Alto</p>	<p>Se vincula con las Comunidades y Asociaciones Indígenas de la región, así como con los demás servicios públicos. Con algunos de ellos ha establecido convenios de trabajo, como con INDAP, PRODEMU.</p>
<p>Empresas mineras</p>	<p>Son empresas privadas que utilizan el recurso hídrico con fines industriales.</p>	<p>Son poseedores de derechos de agua, para generar valor económico a través de estos.</p>	<p>Alto</p>	<p>Alto</p>	<p>Se relaciona con organismos como: DGA, SEREMI Minería, SEREMI Medio Ambiente, SEREMI Minagri, SAG, SEA, SEREMI MOP y alianzas estratégicas con privados de la zona.</p>
<p>Empresas Sanitarias</p>	<p>Son empresas cuyo fin es proveer a la ciudadanía de agua potable</p>	<p>Proporciona el recurso hídrico al entorno urbano según su territorio operacional, con los requisitos de distribución de agua potable y tratamiento de aguas servidas establecidos por la normativa vigente.</p>	<p>Alto</p>	<p>Alto</p>	<p>Se relaciona con instituciones públicas, como SISS, DOH, DGA, así como con Comités de APR y otros organismos de su interés.</p>

Actor	Descripción	Presencia en temas hídricos	Grado de influencia	Grado de interés	Relación con otros actores
Organizaciones Usuarias de Agua OUA	Son entidades privadas, reguladas por el Código de Aguas, responsables de la captación, conducción y distribución de las aguas a las que tienen derecho sus titulares.	Canalizan la participación de sus miembros en la gestión multisectorial y uso sostenible de los recursos hídricos.	Alto	Alto	Se relacionan con SSPP de la zona través de sus representantes territoriales, con Comités de APR, con los Municipios a través de los departamentos municipales productivos y medioambientales.
Comités o Cooperativas de Agua Potable Rural (APR)	Los comités se APR son "organizaciones comunitarias de base funcional" regidas por la Ley de Juntas de Vecinos, bajo el Decreto N° 58, de 1997, y la ley N° 19.418, sobre Juntas de Vecinos y demás organizaciones comunitarias del Ministerio del Interior.	Abastecer de agua potable a las localidades rurales, contribuyendo al desarrollo económico y a la integración social del país.	Alta	Alta	Poseen una estrecha relación con DOH. Además, algunos sistemas mantienen relaciones con Aguas del Altiplano, DOH y SISS en el abastecimiento de agua.
Juntas de vecinos	Son organizaciones comunitarias que se definen territorialmente a partir de la ley N°19.418. Su labor se centra en propiciar el desarrollo general de la comunidad que reside en ese territorio y defender sus intereses en todo tipo de temática.	Son las encargadas de velar por la calidad de vida de los habitantes de su jurisdicción, en la que se incorpora, también, la temática hídrica. Mencionar que, en el caso de las comunas de Huara, Pica y Pozo Almonte, las personas que componen estas Juntas son en mayoría parte de algún pueblo indígena, con vínculos con el recurso a través de su labor agrícola y/o la posesión de derechos de agua.	Medio	Medio	Tienen relación con las Comunidades Indígenas, con el Consejo Nacional Indígena, el Municipio de Huara, Pica y pozo Almonte y la Gobernación de Pampa del Tamarugal. Asimismo, se relacionan con diversos servicios públicos que operan en la zona.

Actor	Descripción	Presencia en temas hídricos	Grado de influencia	Grado de interés	Relación con otros actores
Comunidades Indígenas	<p>Las comunidades Indígenas se conformaron a partir de la Ley 19.253, y son definidas como toda agrupación de personas pertenecientes a una misma etnia indígena y que se encuentren en una o más de las siguientes situaciones: provengan de un mismo tronco familiar, reconozcan una jefatura tradicional, posean o hayan poseído tierras indígenas en común, entre otros.</p> <p>El Estado reconoce el derecho de los indígenas a mantener y desarrollar sus propias manifestaciones culturales, en todo lo que no se oponga a la moral, a las buenas costumbres y al orden público. El Estado tiene el deber de promover las culturas indígenas, las que forman parte del patrimonio de la Nación chilena.</p>	<p>El derecho a las tierras y aguas indígenas es parte de la Ley Indígena y de tratados internacionales validados por Chile, como el Convenio 169 de la OIT.</p> <p>Los temas hídricos, por tanto, son parte relevante de la propia identidad cultural de estos pueblos por los que tienen alta injerencia en los mismos.</p>	Mediana	Alta	<p>Su vínculo con los Servicios Públicos del Estado se produce desde la Corporación Nacional Indígena, desde la cual se generan convenios con los demás servicios. Asimismo, se establecen vínculos entre los distintos servicios públicos con las comunidades indígenas de forma directa, como los que establece INDAP a través de sus distintos programas y otros fondos públicos.</p>
Universidades	<p>Las Universidades son instituciones de estudios superiores que pueden operar bajo financiamiento público o privado.</p>	<p>Proporcionan información científica que permite tomar decisiones acordes a la realidad objetiva de cada cuenca. Por su naturaleza, cuentan con la posibilidad de generar redes de colaboración y gestión amplias, que incluyen postular a proyectos de instituciones nacionales como CORFO, que permiten la innovación y desarrollo de tecnologías.</p>	Medio	Medio	<p>Universidad Arturo Prat y Universidad de Tarapacá, sede Iquique. Se relacionan con distintos servicios públicos y con agentes privados, nacionales e internacionales.</p> <p>Desde esta perspectiva, como se señaló, CORFO es un buen agente colaborador de estas instancias.</p>

Actor	Descripción	Presencia en temas hídricos	Grado de influencia	Grado de interés	Relación con otros actores
<p>Centro de Investigación y Desarrollo en Recursos Hídricos (CIDERH⁴)</p>	<p>Este Centro⁵ es parte de una política pública impulsada por la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (CONICYT) que, a través de la creación de centros de investigación regionales, busca promover e instalar capacidades de investigación y formación de masa crítica a nivel regional en disciplinas o materias específicas, para que se conviertan en referentes nacionales en el área temática de su competencia.</p>	<p>Su presencia es significativa, en vista de que se creó con este fin. Tiene dos líneas de trabajo "Gestión Integrada de Recursos Hídricos" e "Innovación Tecnológica de Sistemas Acuosos".</p>	<p>Alta</p>	<p>Alto</p>	<p>Se vinculan con el Gobierno Regional de Tarapacá, y desde ese nodo se conecta con todas las demás reparticiones públicas. A partir de este vínculo, se creó el Observatorio del Agua (ODEA), que es una plataforma de información para todo público, implementada por el CIDERH, para mejorar la gestión de la información de los recursos hídricos de la región. Cuenta con tres unidades:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Centro de Documentación (CDOC-Tarapacá) - Sistema de Información Geográfica web (SIG web) - Base de Datos Hidrometeorológica

Fuente: elaboración propia.

⁴ Centro de Investigación y Desarrollo en Recursos Hídricos UNAP [en línea] https://www.unap.cl/prontus_unap/site/edic/base/port/inst_ciderh_mk.html (visitado por última vez el 25/05/2021)

⁵ Se les intentó contactar, sin éxito; sin embargo, se agregan a esta tabla considerando su relevancia para esta Cuenca.

Relaciones Interés/Influencia

Dentro de las herramientas que permiten establecer la posición de diversos actores frente a un tema específico, encontramos aquella que lo hace a partir de parámetros de influencia/interés de esos actores. La metodología con respecto al desarrollo de esta herramienta se presenta en Anexo F, sección 3.3.6.

Los actores que se mencionan en la Tabla 2-41 están presentes más allá del hecho de si participaron o no en alguna actividad PAC, lo que, si bien es una variable de importancia, lo es también **la relevancia específica de estos actores en el territorio**. En ese sentido, a algunos de ellos, que no participaron de las instancias de PAC, no es posible catalogarlos como actores de mediana o nula relevancia, en vista de que, por ley, estos actores, como los Gobiernos Provinciales, tienen importancia en la gestión del territorio y todo lo que este implica, como la gestión del recurso hídrico.

Contextualizando aún más, es necesario establecer que nos encontramos en medio de una pandemia, situación que ha impuesto condiciones que han hecho modificar las prioridades de muchos actores que se vinculan con el recurso hídrico, los que han debido responder a esta emergencia acorde a sus mandatos legales o administrativos, como GORE y Gobernaciones. Esto en ningún caso significa que por no asistir a las reuniones estos actores no tengan relevancia o interés.

Tabla 2-41 Relaciones Interés/Influencia.

		INFLUENCIA			
		Sin Influencia	Poca Influencia	Mediana Influencia	Poder formal/Mucha influencia
Disposición	Alta Disposición				DGA SISS CONAF DOH CNR INDAP CONADI SEREMI MOP Organizaciones de usuarios (OUAs ⁶) y APR Empresa Sanitaria Empresas Mineras
	Mediana Disposición			Comunidades Indígenas Juntas de vecinos Instituciones Académicas-Universidades CIDERH	Gobernaciones Provinciales GORE
	Escasa Disposición				
	Nula disposición				
	Oposición				

Fuente: elaboración propia a partir de Matriz CNR (2017).

Respecto a un análisis detallado en este mapeo de actores y sus vínculos de interés e influencia, es posible analizar vínculos y actores a partir de una mirada de índole 'administrativa', dada por la configuración de "grupos de interés" a partir de los tipos de actores establecidos para esta cuenca, lo que probablemente sería una perspectiva más adecuada para poder **comprender** la forma en que estos distintos tipos de actores mueven en esta cuenca específica. Esto permite que, por ejemplo, se pueda establecer un vínculo con cierto grupo de actores de interés de forma estratégica y proactiva, lo

⁶ Incluye a las Juntas de Vigilancia, Comunidades de agua y Asociaciones de Canalistas.

que permitirá la gobernanza de este Plan. De este modo, sería posible establecer lo siguiente:

Primer nivel: Alta disposición e influencia

El grupo de organismos públicos de la tabla precedente, que tienen alta disposición e influencia en la temática hídrica: DGA, SISS, CONAF, DOH, CNR, INDAP, CONADI, SEREMI MOP, podrían constituir un grupo de interés sólido, ya que tanto sus funciones, establecidas por Ley, son similares y tienden hacia la generación de sinergias entre el mundo político, técnico y comunitario de la cuenca, por lo que éstos podrían constituir una instancia embrionaria. En ese sentido, este 'grupo de interés' se relaciona con todos los tipos de actores de la cuenca, sin generar distancia o conflictos expresivos que no puedan ser abordados, pensando en la futura gobernanza de la Cuenca para la implementación del Plan.

Si bien son diferentes tipos de organizaciones, las Organizaciones de usuarios de agua (OUA)⁷ y APR, aparecen con alta disposición y alta influencia, por lo que podrían conformar otro grupo de interés en vista de que al menos las OUA, son propietarias de derechos en la Cuenca, y los APR tienen control del recurso potable de sus distintas localidades. Esta podría conformar una instancia embrionaria, **si se lograra nivelar las capacidades de gestión de estas organizaciones**. Además, mantienen vínculos con el grupo de interés de organismos públicos mencionados en el párrafo anterior.

Las empresas privadas de la Cuenca, conformadas por la Sanitaria Aguas del Altiplano y las mineras asentadas en la cuenca, también aparecen con alta influencia y disposición, ya que poseen poder al ser dueñas de derechos de agua de la cuenca. Estos actores son 'grupos de interés', cada uno por su cuenta, sin conformar 'sociedad' respecto a la gestión del recurso hídrico. Estos actores no mantienen vínculos de confianza y colaboración con los demás actores, especialmente con el grupo de interés de OUA y APR de la cuenca, con quienes establecen relaciones más bien conflictivas, lo que aparece como una brecha para este PEGH.

Segundo nivel: Mediana disposición y mucha influencia

Como señalamos, la influencia está dada por el poder formal que los actores tienen para incidir en diversos temas, entre los que se cuentan los temas hídricos. Los Gobiernos Provinciales y el Gobierno Regional, en sus distintos niveles territoriales de influencia, pueden configurar otro 'grupo de interés' específico, que puede plantear una posible 'instancia embrionaria' de gestión de recursos hídricos junto al primer grupo de Servicios Públicos mencionados. La mediana disposición de estos actores ante el proceso de PAC de este PEGH se debe, muy probablemente, al contexto de pandemia, más que a desinterés por la temática. Este grupo de interés puede ejercer una fuerte gestión si se

⁷ Incluye a las Juntas de Vigilancia, Comunidades de agua y Asociaciones de Canalistas.

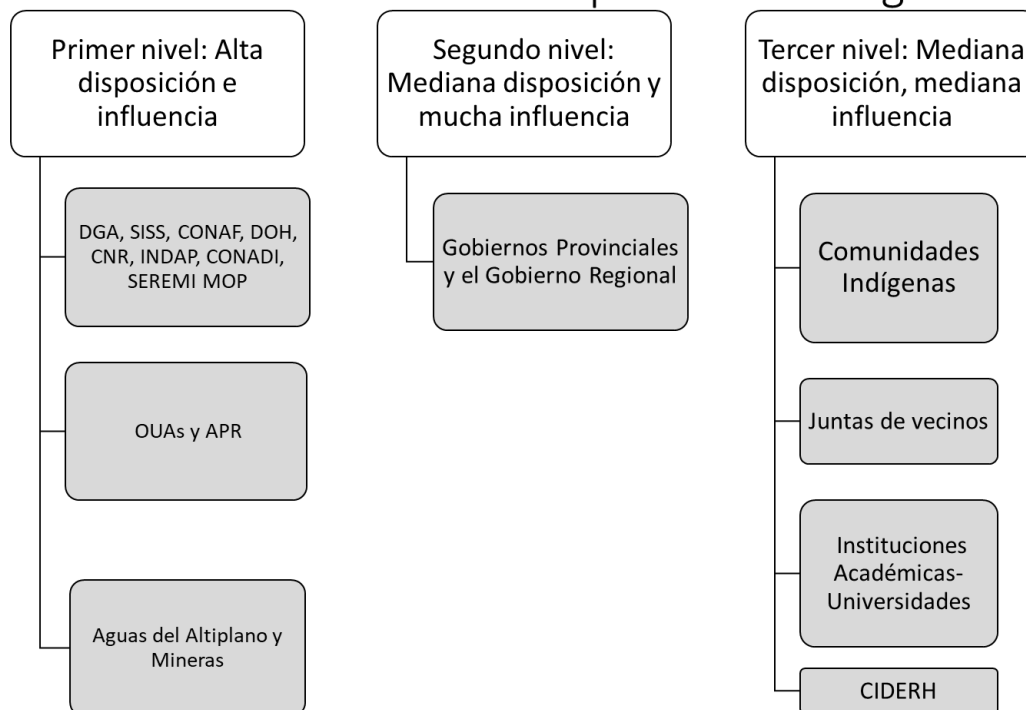
incorpora al grupo de interés de servicios públicos, mencionados en el primer nivel de análisis.

Tercer nivel: Mediana disposición, mediana influencia

En este nivel se encuentran las Comunidades Indígenas, Juntas de vecinos, Instituciones Académicas- Universidades, CIDERH. De estos actores, que podrían conformar un grupo de interés mixto, entre actores comunitarios y académicos, hay demasiada heterogeneidad como para poder pensarlos aún como un grupo que pudiera ejercer mayor influencia en la gestión de la cuenca, lo que se observa como una brecha de coordinación, que implica una mayor capacitación organizacional para estos grupos. Es evidente que la falta de derechos de agua, que están principalmente en manos de privados, hace perder la posibilidad de influir en la gestión de los recursos. Inclusive, la influencia que pueden tener las instituciones académicas es muy relativa, ya que si bien éstas se relacionan con todos los actores del territorio, no logran generar transformaciones estructurales en términos del uso y gestión del recurso hídrico en la cuenca, que pueda ser más horizontal y beneficie a todos los actores de la misma, más allá de generar nueva información respecto a estos temas.

De este modo, la conformación de los actores como 'grupos de interés' o stakeholders, de esta cuenca, pensados como agentes que permiten la buena administración de este recurso, quedaría según lo indicado en la Figura 2.46.

Grupos de Interés o Stakeholders PEGH Cuenca de Pampa del Tamarugal



Fuente: elaboración propia.

Figura 2.46 Grupos de interés o Stakeholders PEGH cuenca Pampa del Tamarugal.

Según lo que es posible extraer de esta matriz, casi todos los actores de la cuenca de Pampa del Tamarugal se ubican en los espacios de media y alta disposición para trabajar los temas hídricos. Ahora bien, un tema relevante, desde las Comunidades indígenas, las Juntas de Vecinos y algunas comunidades de agua, es la falta de accesibilidad tecnológica al proceso de PAC, en vista de que éste se implementó en un 100% de forma telemática, y en un contexto de cuarentenas sucesivas, que impidió implementar ideas como reunir a las comunidades en algún lugar común en Pozo Almonte o Pica, o en las oficinas de MOP en la ciudad de Iquique, espacios que contaban con los medios para poder reunir a los actores al menos de forma telemática, en un intento de trabajar en un formato mixto, lo que lamentablemente no ocurrió. Esto es relevante en esta cuenca por cuanto en la reunión de presentación del estudio los distintos Servicios Públicos de la región señalaron que establecer un proceso participativo online era prácticamente inviable, lo que lamentablemente tuvo que implementarse de todas maneras en vista del riesgo que significaba reunir a las personas en un mismo espacio en el contexto de pandemia en el que nos encontramos.

Ahora bien, los Gobiernos Regionales y Gobernaciones Provinciales, los que cuentan con mucha influencia a partir de su poder formal en los distintos territorios en los que operan, tuvieron dificultades para reunirse debido a la situación que impuso la pandemia por

COVID19. En ese contexto, estas organizaciones debieron ajustar sus prioridades en función de esta situación de emergencia, lo que hizo que no pudieran ser parte activa del proceso, pero que sin duda poseen una gran relevancia en temas hídricos dada por sus propias atribuciones.

Los actores clave en la gobernanza de la cuenca son sin duda los organismos públicos vinculados directamente a la gestión del recurso hídrico y las OUA y APR del territorio, las que, a pesar de presentar diversos grados de organización y desarrollo, son entidades de relevancia que se enlazan con la acción de las instituciones públicas. De este modo, la tabla previa establece que no es posible una buena gestión del recurso sin el fomento de las relaciones entre organismos públicos y OUA y APR en esta cuenca.

Esto es especialmente relevante si se considera que existe una gran desconfianza en la acción del Estado en la cuenca, situación mencionada en las brechas de información observadas. Esta deriva de una serie de proyectos que no han entregado las soluciones esperadas por la población, a lo que se suma el desinterés de los servicios públicos, acorde a lo levantado en el proceso de PAC, por trabajar bajo acuerdos internacionales firmados por el Estado, referente a considerar a los pueblos indígenas en los procesos que involucren su desarrollo a través de consultas indígenas, lo que no ha sucedido.

Es necesario considerar que en esta cuenca reside población indígena, la que espera ser considerada en iniciativas que los incluye; sin embargo, el Estado no ha promovido adecuadamente el vínculo con estos pueblos. Son los municipios y la CONADI, los entes locales y públicos, respectivamente, que han logrado mayor cercanía con esta realidad sociocultural, por lo que debiesen ser actores relevantes en una futura implementación del PEGH de esta cuenca.

Los municipios, si bien fueron contactados para obtener información de contacto de actores clave, no estaban considerados en las bases de licitación como actores a contactar, sin embargo, es necesario que sean considerados en la implementación de este PEGH.

Debemos mencionar que las Instituciones Académicas presentan una vinculación con los temas hídricos desde la investigación e innovación tecnológica, como lo es la Universidad Arturo Prat y el CIDERH, quienes han avanzado en medios para mejorar la producción agrícola de la zona, sin poder ejercer un poder formal, en vista de que sus objetivos son distintos a los de los actores con poder en temas hídricos. No obstante, el papel de este tipo de instituciones es central a la hora de trabajar instancias de innovación tecnológica tanto para el riego como para entregar soluciones a la escasez hídrica de la zona, por lo que es necesario que el PEGH logre vincularse con estas instancias de forma cercana y colaborativa.

Como se mencionará en el punto 6.2.2 de este informe, gran parte de los actores considerados en este proceso optaron por no ser parte de éste (especialmente los de las comunas de Huara y Pozo Almonte) en vista de que consideraban que no se encontraban las condiciones necesarias como para participar. Entre las razones esgrimidas se encuentran:

- No había programado un proceso de Consulta Indígena
- No habían programadas reuniones presenciales en vista del contexto de pandemia, las que tampoco eran aconsejables.
- No tenían suficiente conectividad como para participar de reuniones en línea (por Zoom)

Esto se compensó con una estrategia metodológica que se explicita en la sección 3.3 del Anexo F, pero que de todas maneras genera la necesidad de una buena difusión de este PEGH en la cuenca de Pampa del Tamarugal.

La información lograda en este proceso de PAC estuvo, por lo tanto, limitada a los actores que tenían buena conectividad y/o consideraron que este era un proceso relevante y del que querían hacerse parte. Es el caso de las comunidades de agua de Pica y de Pozo Almonte, que son las que participaron del proceso.

2.6.2 Síntesis de Reuniones PAC cuenca de la Pampa del Tamarugal

En este punto se describirán algunos de los problemas que los diversos actores identificaron en el proceso de PAC. La estructura que se sigue es la misma que la de otros PEGH, vinculando los problemas manifestados por los distintos actores con objetivos que serán parte del Plan de Gestión de la Cuenca, los que serán expresados en una serie de tablas que permitan visibilizar el origen de cada uno de los objetivos que se proponen.

El detalle de las actividades de PAC, en que se expresa la metodología de este trabajo, se entrega en anexo F, sección 3.3, en tanto, los problemas manifestados por los diversos actores se exponen en el capítulo 4 del Anexo I.

Los ejes de trabajo en el Plan Estratégico de Gestión Hídrica, respecto a los que se organizarán los problemas expresados en el proceso PAC, son los siguientes:

- EJE 1 USO ESTRATÉGICO DEL RECURSO HÍDRICO: BRECHAS ENTRE OFERTA Y DEMANDA, RIESGOS HÍDRICOS
- EJE 2 INFORMACIÓN Y MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO
- EJE 3 GESTIÓN Y GOBERNANZA DEL AGUA
- EJE 4 CONSERVACIÓN Y PROTECCIÓN DEL RECURSO Y DEL ECOSISTEMA HÍDRICO

EJE 1. USO ESTRATÉGICO DEL RECURSO HÍDRICO: BRECHAS ENTRE OFERTA Y DEMANDA, RIESGOS HÍDRICOS

En la Tabla 2-42 se presentan los problemas manifestados asociados al Eje 1. Uso estratégico del recurso hídrico.

Tabla 2-42 Problemas manifestados por actores convocados a reuniones PAC, en torno a los objetivos 1.1, 1.3, 1.4 y 1.5 del Plan de Acción.

Objetivo 1.1		
Reducir las brechas entre oferta y demanda de agua considerando cambio climático, sequía e inundaciones.		
Nº Problema	Problemas	Actores que manifestaron el problema
1	Disminución de nivel de agua en acuíferos por su uso intensivo y creciente en uso sanitario	OUA APR
2	Existe poca información pública respecto a las brechas entre oferta y demanda, para todos los actores de la cuenca.	OUA APR
Objetivo 1.3		
Restaurar condiciones de abastecimiento y calidad de las fuentes de agua potable rural, tanto para fuentes superficiales como subterráneas.		
Nº Problema	Problemas	Actores que lo manifestaron
3	Escasa cantidad de agua disponible para APR en toda la cuenca, lo que preocupa para el futuro abastecimiento	SISS Sanitaria Mineras OUA
4	Preocupación por pocas fuentes de abastecimiento de agua potable	Mineras
5	Poca cobertura de alcantarillado y sistemas de tratamiento de aguas servidas	APR DOH
Objetivo 1.4.		
Conservar y/o mejorar el estado de la infraestructura hidráulica actual		
Nº Problema	Problemas	Actores que lo manifestaron
6	Infraestructura de riego deficitaria o en mal estado en todos los sectores de la cuenca	DOH OUA
Objetivo 1.5.		
Gestión de riesgos hidrometeorológicos		
Nº Problema	Problemas	Actores que lo manifestaron
7	No hay suficientes lluvias en la cuenca que permitan cubrir las necesidades de este recurso para la agricultura y uso humano	OUA INDAP DOH

Fuente: elaboración propia.

Es posible observar que la disminución del recurso hídrico es un tema preocupante ante eventos como las sequías y el mal manejo del recurso en época de crecidas. Esta situación se complejiza debido a la mala calidad de la infraestructura de canales y riberas.

EJE 2. INFORMACIÓN Y MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO

En la Tabla 2-43 se presentan los problemas manifestados asociados al Eje 2. Información y monitoreo del recurso hídrico.

Tabla 2-43 Problemas manifestados por actores convocados a reuniones PAC, en torno al objetivo 2.1 y 2.2 del Plan de Acción.

Objetivo 2.1.		
Mejorar el monitoreo de las aguas de la cuenca (superficial, subterráneo, de montaña y glaciares).		
Nº Problema	Problemas	Actores que lo manifestaron
8	Falta de fiscalización en las extracciones de agua en la cuenca	APR OUA Comunidades Indígenas
9	No hay una visión común en términos de la regularización de derechos de agua	OUA APR
10	Faltan Juntas de Vigilancia que permitan una mejor gestión del recurso hídrico, especialmente en aguas superficiales	OUA APR
Objetivo 2.2.		
Gestión de Información		
Nº Problema	Problemas	Actores que lo manifestaron
11	Actores de la cuenca presentan distintas capacidades de gestión, información y capacidades técnicas respecto al manejo del recurso hídrico, la que requiere ser abordada a partir de procesos continuos de capacitación.	OUA APR DOH
12	No hay buena aceptación de algunas medidas de gestión del recurso hídrico, como el uso y reutilización de las aguas servidas	APR OUA INDAP SISS Comunidades Indígenas
13	Hace falta más información respecto a la forma en que opera el recurso hídrico en la cuenca de forma integrada.	DGA OUA APR Comunidades Indígenas
14	Hay desconfianza de las comunidades hacia las instituciones públicas y/o técnicas que entregan información que no coincide con las creencias que se tienen.	INDAP DOH Comunidades Indígenas OUA APR Juntas de Vecinos

Fuente: elaboración propia.

Uno de los problemas más recurrente es la necesidad de mejorar la información que las comunidades reciben por parte de instancias técnicas, especialmente debido a la diferencia de capacidades de estas organizaciones; otra temática relevante es el mejoramiento de los sistemas de fiscalización del recurso hídrico. Sin embargo, las capacidades que deben instalarse en la comunidad para manejar y gestionar el recurso hídrico es el centro de este eje.

Cabe mencionar que la desconfianza en la información que se entrega por parte de las autoridades hacia las distintas organizaciones de la cuenca es un tema que se ha desarrollado durante bastante tiempo, producto de una serie de situaciones en que los

habitantes de la zona, en la figura de sus organizaciones, se han sentido defraudados por parte de la institucionalidad pública y por los distintos estudios que ésta ha encargado en relación a temas hídricos, que no les han entregado las soluciones que esperaban.

Un aspecto no menor en este tema es la sensación de falta de interés desde el Estado de Chile, a través de sus servicios públicos, por considerar y respetar los acuerdos internacionales firmados por nuestro país, al implementar proyectos en un territorio indígena sin desarrollar procesos de consulta indígena, y que esta consulta sea vinculante. Gran parte de la desconfianza deriva de esta situación.

Es evidente que el presente PEGH no podrá hacerse cargo de esta desconfianza de forma total, pero las acciones a desarrollar deberán ser trabajadas desde una perspectiva de proceso, es decir, paso a paso.

Asimismo, algunas de las alternativas de solución no siempre son vistas como efectivas por los actores de la cuenca, como el uso de las aguas servidas o el reúso del recurso, probablemente por un tema más bien sociocultural, que debe ser abordado.

EJE 3. GESTIÓN Y GOBERNANZA DEL AGUA

En la Tabla 2-44 se presentan los problemas manifestados asociados al Eje 3. Gestión y gobernanza del agua.

Tabla 2-44 Problemas manifestados por actores convocados a reuniones PAC, en torno al objetivo 3.1 del Plan de Acción.

Objetivo 3.1. Promover y revitalizar la alianza público - privada en materia hídrica.		
Nº Problema	Problemas	Actores que lo manifestaron
15	No hay coordinación entre los distintos actores del territorio que trabajan el tema hídrico (tanto públicos como privados)	OJA APR MINERAS Y SANITARIA

Fuente: elaboración propia.

La necesidad de generar una buena coordinación entre los diversos actores y sectores a los que representan permitirá una buena gestión de un Plan Hídrico con posibilidad de generar gobernanza en la cuenca. Para esto se requiere una acción coordinada e integral de los actores y sus diversos intereses en la cuenca.

EJE 4. CONSERVACIÓN Y PROTECCIÓN DEL RECURSO Y DEL ECOSISTEMA HÍDRICO

En la Tabla 2-45 se presentan los problemas manifestados asociados al Eje 4. Conservación y protección del recurso y del ecosistema hídrico.

Tabla 2-45 Problemas manifestados por actores convocados a reuniones PAC, en torno al objetivo 4.1 y 4.2 del Plan de Acción.

Objetivo 4.1. Conservar y/o mejorar el estado de la calidad de aguas de las fuentes superficiales y subterráneas.		
Nº Problema	Problemas	Actores que lo manifestaron
16	Hay mal manejo del recurso por parte de Minerías y Sanitaria, lo que empeora la calidad del agua de la Cuenca	OUA Comunidades Indígenas APR
Objetivo 4.2. Proteger funciones ecosistémicas críticas relacionadas con los cuerpos de agua en el tiempo.		
Nº Problema	Problemas	Actores que lo manifestaron
17	Hay que cuidar la calidad del recurso por parte de las Minerías, que lo contaminan	OUA APR Comunidades Indígenas Juntas de vecinos
18	No existen criterios medioambientales en la gestión del recurso hídrico, especialmente por parte de Minerías y Sanitaria	OUA APR Comunidades Indígenas Juntas de vecinos

Fuente: elaboración propia.

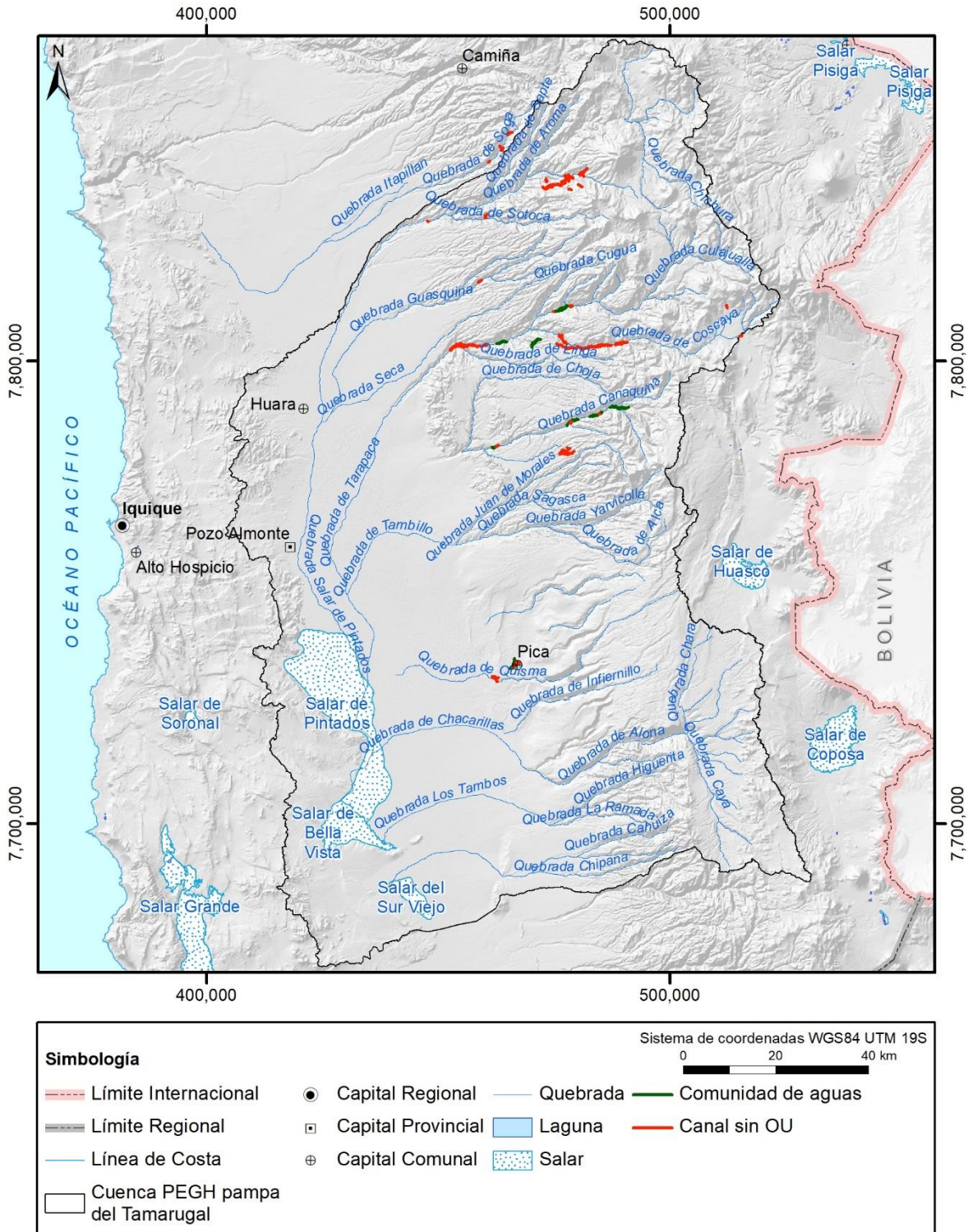
Se observa la necesidad de cuidar y proteger el recurso hídrico bajo criterios ambientales, y no económicos.

2.6.3 Brechas de coordinación

En este punto se levanta una breve caracterización de las OUA de la cuenca, que permitan pensar en la posibilidad de gobernanza de la misma. Se da cuenta, asimismo, de la regulación de la cuenca, enfocada en las relaciones entre actores relevantes y las instancias embrionarias de coordinación en la cuenca de Pampa del Tamarugal en temas hídricos, así como una síntesis de las experiencias internacionales. Hacia el final del acápite se sintetizan las brechas de coordinación más relevantes observadas.

Organizaciones de usuarios de agua y otros actores relevantes

Como ya se planteó, en cuanto a las OUA presentes en la cuenca, la información más reciente disponible corresponde a la entregada por el estudio SIT N°422 "Diagnóstico nacional de Organizaciones de usuarios de agua" (DGA, 2018c) y el estudio "Programa de diagnóstico territorial y apoyo a la Constitución de la comunidad de aguas Subterráneas del sector hidrogeológico Pampa del Tamarugal" elaborado por UdeC (DGA, 2016). El primero de los informes no identifica Juntas de Vigilancia ni Asociaciones de Canalistas en esta cuenca, pero sí un total de 43 comunidades de aguas superficiales. En la Figura 2.47 se presenta la Jurisdicción de las OUA en la Pampa del Tamarugal.



Fuente: elaboración propia a partir de las coberturas del estudio DGA (2018c).

Figura 2.47 Jurisdicción de las OUA en la Pampa del Tamarugal.

Cabe señalar que por su parte el informe de UdeC (DGA, 2016) tuvo por objetivo avanzar en la constitución legal de la comunidad de aguas subterránea del sector hidrogeológico

de aprovechamiento común Pampa del Tamarugal. Sin embargo, el trabajo tuvo un término anticipado del contrato, debido a las dificultades externas que hicieron inviable la ejecución de todas las acciones en los plazos establecidos en dicho contrato. De dicho informe es posible extraer algunas conclusiones relevantes para el presente estudio:

- En esta zona, existe una concentración de DAA en el sector sanitario, los cuales son administrados por Aguas del Altiplano, alcanzando más del 50% de las acciones de la comunidad en vías de constitución, generando un desbalance de poder que les permite tomar la mayoría de las decisiones en la organización, lo que se hace extensivo a la hora de su constitución legal.
- Las empresas mineras poseen más de un 17% de las acciones, lo que ha generado un escenario de desinterés por parte de otros sectores, y por ende, el principal obstáculo para la participación de los accionistas minoritarios, quienes, según la legislación vigente en la materia, no tendrían acceso a instancias de poder para la toma de decisiones en la organización.
- Existiría un número importante de personas utilizando aguas subterráneas sin contar con DAA y otros extrayendo más agua que la que poseen como DAA, generando un ánimo contrario a la constitución de la comunidad, toda vez que ello conlleva la implementación de un sistema de control de extracciones.
- También existen comunidades indígenas con DAA inscritos sin interés en constituir la comunidad, argumentando razones culturales, también contribuyendo al ambiente de tensión y contrario a la constitución de la comunidad. En este caso, se argumenta el hecho de no haber realizado consulta indígena según lo establecido en el convenio 169 de la OIT.
- En resumen, existe una consensuada apreciación entre los pequeños usuarios del acuífero de que las empresas mineras tienen, en general, demasiado poder, de tal suerte que pueden incluso influenciar a las autoridades y en los procesos legislativos, lo cual favorecería sistemáticamente los intereses de las mismas, perjudicando a los agricultores, ganaderos y grupos indígenas, y en general a quienes desarrollan actividades tradicionales orientadas a la subsistencia, impactando en la valoración que realizan de la futura CASUB, por ser ésta una iniciativa pública.

Instancias embrionarias de gobernanza

Dado el carácter de Plan de gestión de recursos hídricos del presente estudio, resulta relevante identificar los avances en materias de gobernanza de agua que pueden manifestarse a través de instancias formales o semiformales para desempeñar un rol importante en materia de gestión de recursos hídricos tanto de carácter vinculante como indicativo. Estas instancias se han denominado "instancias embrionarias" de gestión.

En el caso de la cuenca de la Pampa del Tamarugal, se identifica sólo una instancia embrionaria que corresponde a la "Mesa para la Gestión del recurso hídrico de Tarapacá".

Dicha Mesa, se establece desde 2017 por las problemáticas en torno al recurso hídrico y con el apoyo del Consejo Nacional de Innovación para el Desarrollo (CNID), y teniendo

al Intendente regional como encargado de impulsar la instancia, a través de la División de Planificación del GORE. La secretaría técnica sería la encargada de convocar y coordinar, con reuniones trimestrales. Entre los principales desafíos identificados está la definición de objetivos y los pasos a seguir para construir un plan de acción (DGA, 2018c).

Por otro lado, si bien no son instancias de gobernanza propiamente tal, el estudio de Teknoriego (CNR, 2017), identifica una serie de “instancias de coordinación” relevantes de la región de Tarapacá, las cuales se presentan en Tabla 2-46. Señalamos que no son instancias de gobernanza propiamente tal en vista de que, si entendemos la gobernanza del agua como el proceso a través del cual se deben adoptar las decisiones sobre la protección y gestión de un bien que tiene valor ambiental, social y económico, (Comité Científico COP25 Chile, 2019), estas instancias son más bien de coordinación y, además, respecto a temas específicos, movilizándolo la entrega de información entre los diversos actores, pero no adoptando una mirada integral respecto al recurso hídrico.

Tabla 2-46 Instancias de coordinación relevantes en región de Tarapacá.

Listado	Categorización	Caracterización	
		ROL / regional - local	Enfoque hacia el sistema*
Comité Asesor Regional (CAR)	Público / privada	Mesa de trabajo regional	Coordinación directa
Comisión Regional de Riego (CRR)	Público	Mesa de trabajo regional	Coordinación directa
Comisión Regional de igualdad de Oportunidades (CRIO)	Público	Mesa de trabajo regional	Retroalimentación informativa
Mesa del agua	Público	Mesa de trabajo regional	Retroalimentación informativa
Consejo Área de Desarrollo Indígena ADI	Público / privada	Mesa de trabajo regional	Coordinación directa
Consejo municipal Colchane, Camiña, Huara, Pica, Pozo Almonte	Público / privada	Coordinación y gestión local	Retroalimentación informativa
Comisión fomento productivo del CORE	Público / privada	Coordinación y gestión local	Coordinación directa
Agenda de innovación	Público	Coordinación y gestión local	Retroalimentación informativa

Fuente: Teknoriego (CNR, 2017).

*: Enfoque hacia el sistema, acorde a CNR 2017, refiere a cuál es la mirada de cada una de las instancias hacia el sistema de riego de la región. La coordinación directa es cuando la instancia se coordina de forma directa con los actores relevantes en el territorio, sin intermediarios. Retroalimentación informativa refiere a que se comparte información entre los actores, sin establecer otros vínculos.

Estado actual de coordinación entre los actores

Se entrega una aproximación de la situación actual de coordinación entre los distintos actores que se vinculan con el recurso hídrico, pensando en la gobernanza de la cuenca para el Plan Estratégico de Gestión.

Sociograma de redes de actores relevantes

El sociograma es una forma de poder visualizar las relaciones entre distintos actores y poder representar la estructura a través de lo que se puede llamar una radiografía grupal

a través de la observación y contextualización de las distintas relaciones entre sujetos que conforman un grupo.

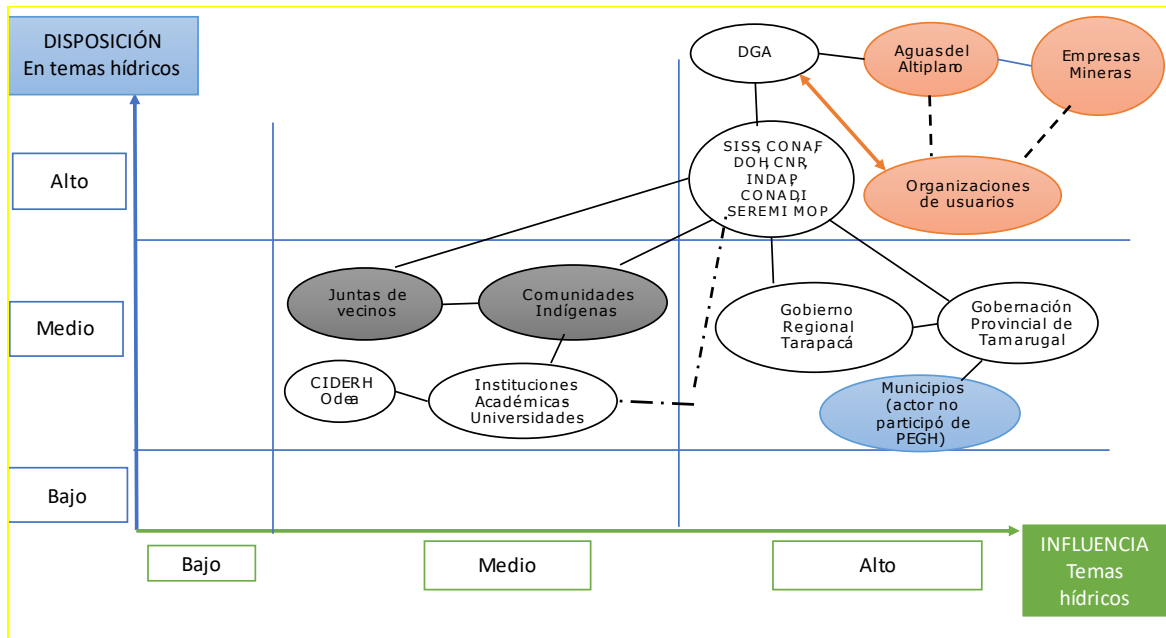
Si bien es cierto, la situación de pandemia generó una modificación de la metodología PAC, expresada en el Anexo F, sección 3.3, que impidió una relación directa con los actores relevantes de la Cuenca, de igual forma se propone un esquema que resume los vínculos de forma general en este territorio.

El sociograma presentado en la Figura 2.48 muestra que DGA debe ser la instancia que aglutine los esfuerzos por generar gobernanza en la cuenca de Pampa del Tamarugal. De este modo, es posible afrontar los conflictos que se observan, principalmente desde los actores comunitarios (en negrilla) con los actores privados (en amarillo), en vista de que los primeros consideran que los segundos son responsables de la escasez y mala calidad del recurso con el que cuentan hoy.

No es menor la desconfianza de la comunidad hacia los servicios públicos, como se ha mencionado, la que queda explícita en la negativa a participar de este proceso en vista de que no consideraba una Consulta Indígena, se realizaba en medio de una pandemia y que no se consideraban las condiciones de conectividad de los actores comunitarios.

Por otra parte, el papel de los municipios es central, a pesar de que no estaban considerados en las bases de esta licitación, por lo que se los releva en este mapeo, mas no en la tabla de actores convocados.

El sociograma que se presenta da cuenta del proceso de PAC, el que consideraba desde un inicio grupos de actores concretos y poco tiempo de trabajo con éstos. La gráfica representa lo que se expresó en el territorio en el proceso de levantamiento de información para la PAC. Es necesario considerar que, si bien las OUA de la cuenca de Pampa del Tamarugal tienen distintos niveles de organización y de gestión, en la perspectiva analítica general, estas mantienen, en general, el mismo tipo de relación con los demás actores representados en la gráfica, de ahí que el mapeo de algún modo 'homologa' organizaciones que son heterogéneas en la realidad, pero que en suma actúan de la misma forma frente a actores distintos a ellos. Una forma posible de entregar mayor especificidad sería elaborar mapas con los distintos tipos de actor y posteriormente sumar estos 'mini mapeos' en uno integrado, lo que en esta oportunidad no fue posible de realizar en vista de las dificultades, ya mencionadas, de realizar el PAC como se tenía planificado.



Actores

- Empresas y usuarios privados
- Actores comunitarios
- Actores públicos locales
- Actores Públicos
- Actores público- privados

Relaciones

- conflictiva
- colaborativa directa
- Distante, pero se activa en base a proyectos
- Mixta, colaboradora y de conflicto

Fuente: elaboración propia, a partir de formato de Mapeo de actores clave ⁸.

Figura 2.48 Sociograma de redes de actores.

⁸ Mapeo de actores clave de San Ildefonso https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Mapeo-de-actores-clave-de-san-Ildefonso_fig1_321638281 (visitado por última vez el 30/12/2021)

Síntesis de brechas de coordinación

En la Tabla 2-47 se entrega una pequeña síntesis de las principales brechas de coordinación observadas en la Cuenca, a partir de lo señalado anteriormente y lo observado en el proceso de PAC (detallado en el capítulo 4 del Anexo I).

Tabla 2-47 Síntesis de brechas de coordinación.

Brecha	Detalle de brecha
Brechas de coordinación en capacidades técnicas y organizacionales	<p>Hay diferencias en las capacidades técnicas y organizacionales entre OUA, es necesario nivelar las capacidades de estas agrupaciones para mejorar la gestión del recurso. Esto se vincula con la experiencia Californiana, respecto de la gestión del agua en esta zona, vinculado con una Gestión Integrada de los recursos hídricos.</p> <p>Hay diferencias en las capacidades técnicas y organizacionales entre los distintos APR, sin elementos que permitan una buena gestión en la mayoría de éstas, que requiere la mirada que California ha establecido para nivelar estas capacidades, ya que se habla de entornos hídricos resilientes y sustentables, que permitan hacer frente a las presiones climáticas, económicas y sociales en el futuro.</p>
Brechas de coordinación en participación local y regional	No existen instancias de participación y coordinación entre miembros de las OUAs y/o entre las organizaciones de usuarios, de forma macro-organizacional. En ese sentido, Australia, España, México, California, y en países del Asia Pacífico se puede hablar de temas como seguridad hídrica, en un marco similar al chileno (Sección 7.3 de Anexo J)
Brechas de coordinación en capacidades de gestión	APR y OUA ven complejizadas sus relaciones y coordinaciones con los distintos organismos públicos y privados con los que deben vincularse en vista de distintas capacidades de gestión. Esto se vincula también con una necesaria acción por parte del Estado de vincularse con las APR y OUA del territorio desde la perspectiva española, de vinculación de arriba hacia abajo y de abajo hacia arriba (top down/top y bottom/up).
Brechas de coordinación en acción de SSPP a nivel local y regional	Los distintos servicios públicos trabajan con las comunidades de forma fragmentada, sin una coordinación que permita una acción eficiente y con proyección, por lo que la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos toma fuerza en este contexto, de aridez e inseguridad hídrica, como postulan las experiencias californianas, mexicanas y de Asia Pacífico.

Fuente: elaboración propia.

2.6.4 Brechas de Información

En este ítem, se detallan las brechas de información existentes, que impiden desarrollar un diagnóstico completo de algunos aspectos de la situación hídrica de la cuenca de Pampa del Tamarugal.

Estado de información sobre OUA

Respecto al estado de la información vinculada con las OUA, y basándose principalmente en talleres y entrevistas bilaterales con actores relevantes (detallados en el capítulo 4 del Anexo I), se detectaron las brechas de información que se indican en Tabla 2-48.

Tabla 2-48 Síntesis de brechas de información sobre OUA.

Brecha	Tipo	Detalle de brecha
Brechas de información en detalle de información de las comunidades de agua	Información pública: OUA	No se cuenta con información detallada de las comunidades de agua de esta Cuenca, lo que no logró ser revertido en este proceso en vista de las complejidades que tuvo el trabajo telemático con las comunidades. Se requiere generar instancias de levantamiento de información de las comunidades de agua más pequeñas de la cuenca, que no son parte de ninguna organización mayor y que por lo mismo, se encuentran desligadas de este proceso y se desconoce sus características.
Brechas de información respecto a seguimiento de la acción y capacidades de OUA de la cuenca de Pampa del Tamarugal	RRHH	No hay seguimiento de las actividades, ni de las efectivas capacidades de gestión de todas las OUA de la cuenca. Se requiere un diagnóstico más preciso, al menos por tipo y sector, de todas las OUA de la Cuenca formalizadas o no.
Brecha de información respecto a los Derechos de agua de la cuenca	Información pública: DDAA	No se cuenta con información sistematizada de los DDAA de la cuenca, y que esta información esté disponible de forma rápida y confiable para los usuarios.

Fuente: elaboración propia.

Síntesis de brechas de información de la cuenca recogidas en PAC

En Tabla 2-49 se presenta una síntesis de las brechas de información a nivel de cuenca recogidas en el proceso de PAC.

Tabla 2-49 Síntesis de brechas de información de la cuenca recogidas en PAC.

Brecha	Tipo	Detalle de brecha
Brecha de información respecto a calidad de agua	Información pública: calidad de agua	Existe una brecha de información respecto a la calidad de las aguas y respecto al cumplimiento de la norma de calidad de agua para consumo humano y para la producción agrícola
Brecha de información respecto a DAA	Información pública: DDAA	La información pública disponible sobre las transacciones de DAA es insuficiente y los registros para esto tienen diversos objetivos y formas de registrar dicha información. No hay información de todos los usuarios de recurso hídrico de la cuenca en vista de que no han registrado sus DDAA.
Brecha de información respecto a capacidades de las OUA de la Cuenca	RRHH	Hay brecha de capacidades entre las distintas OUA respecto al manejo de información por parte de las OUA, así como su tipo y sus fuentes. En ese sentido, sería positivo aplicar la estrategia española de entrega de información: estrategia top-down en donde el sector público provee información a la ciudadanía por intermedio de boletines, informes, etc., principalmente a través de internet y una estrategia bottom-up en donde la ciudadanía, dentro de procedimientos establecidos por ley, solicita información a las autoridades correspondientes. La situación de pandemia impactó, además, en la actitud de los actores comunitarios frente al proceso, el que consideraron poco pertinente, lo que generó una brecha de información en relación a la situación actual de las OUA de Pampa del Tamarugal.
Brecha de información respecto a recursos hídricos de la cuenca y su calidad, en sistema integrado	Información pública: recursos hídricos	Se requiere un sistema de información en referencia a los recursos hídricos de la cuenca, el que esté integrado y validado, que pueda ser comprendido y operado por todos los actores de la Cuenca. La situación de pandemia influyó en la falta de información de primera mano de los propios actores, en vista de la dificultad de contacto con varios de éstos, debido a números de teléfonos corporativos no operativos a causa de su trabajo fuera de oficina o que algunos de éstos estaban desactualizados.
Brecha de información de necesidad de contrastar información dispersa, que genera desconfianza.	Información pública: registro OUA	Se requiere contrastar diagnóstico OUA (DGA, 2018) con el estado actual del Registro Público de Organizaciones de Usuarios del CPA. Se requiere los registros de usuarios y, especialmente, los caudales administrados por cada OUA. Otra situación influyente en las brechas de información es la desconfianza que muchos actores presentan ante la acción de DGA y demás servicios públicos, que suponemos se debe a la falta de información adecuada a estas OUA.

Fuente: elaboración propia.

3. DEMANDA FÍSICA Y LEGAL DIFERENTES USOS

En el presente capítulo se cuantifica la demanda de agua por los diferentes sectores productivos y otros usos del recurso, tanto actual como su proyección futura, para uso humano, necesidades mínimas ambientales, demandas agrícola, minera, industrial u otras. El levantamiento de la demanda física o real (efectiva) así como la demanda legal (derechos de aprovechamiento de aguas) se presenta por cada uno de los usos de los sectores productivos.

Para ello se recopilaron y analizaron diversos antecedentes, tales como las actualizaciones de los Planes de Desarrollo de la empresa sanitaria Aguas del Altiplano para nueve localidades distintas que se ven abastecidas a partir de extracciones en la pampa, entre ellas Iquique, Alto Hospicio, Huara, La Huayca, La Tirana, Pica, Matilla, Pozo Almonte y Pisagua (SISS, 2018a, 2018b, 2018c, 2018d, 2018e, 2018f, 2018g, 2018h, 2018i) para uso de agua potable; la página web de la DOH para el agua potable rural; la demanda agrícola. Para la demanda minera, se consultó y actualizaron los datos encontrados en "Derechos, extracciones y tasas unitarias de consumo de agua del sector Minero, Regiones Centro Norte de Chile", elaborado por Proust Consultores (DGA, 2008). Para las proyecciones de demanda futura, se consultó el estudio de la DGA "Estimación de la demanda actual, proyecciones futuras y caracterización de la calidad de los recursos hídricos en Chile" elaborado el 2017 por la unión temporal de proveedores Hídrica Consultores y Aquaterra Ingenieros (DGA, 2017d). Los derechos de agua para cada uno de estos usos se extrajeron a partir del catastro público de aguas de la DGA, consultado el mes de septiembre de 2020.

El estudio DGA (2017d) estimó en todo el territorio nacional, y en particular para la cuenca de la Pampa del Tamarugal, la demanda hídrica para distintos usos, cuyos valores se presentan en la Tabla 3-1. De ésta se infiere que las demandas por agua potable urbana representan el 50,9% del total del consumo del recurso hídrico, en segundo lugar, la minería con un 28,1%, y en tercer lugar la agricultura con un 17,9%, lo que el resto de actividades juegan un rol menor.

Tabla 3-1 Demanda hídrica cuenca de la Pampa del Tamarugal.

Código subcuenca	Nombre Subcuenca	Demanda hídrica consuntiva 2015 (Mm ³ /año)							
		APU	APR	AGR	PEC	MIN	IND	ELE	TOTAL
0170	Pampa del Tamarugal	34.252	33	7.801	25	17.073	0	0	59.184
0171	Quebrada de Soga	0	1	254	1	0	0	0	256
0172	Quebrada de Aroma	0	17	387	5	0	0	0	409
0173	Quebrada de Tarapacá	0	67	1.272	4	0	0	0	1.343
0174	Quebrada de Quipisca	0	1	752	1	1.586	0	0	2.340
0175	Quebradas Juan Morales, Sagasca y El Tambillo	0	59	647	1	207	0	0	914
0176	Quebrada Quisma	0	0	346	1	0	0	0	347
0177	Quebrada de Chacarilla	0	0	468	1	0	0	0	469
0178	Quebrada de Ramada	0	0	40	0	0	0	0	40
0179	Quebradas Cahuisa y de Chipana	0	0	68	0	0	0	0	68
TOTAL CUENCA									
017	Pampa del Tamarugal	34.252	178	12.035	39	18.866	0	0	65.369

APU: Agua potable urbana, APR: Agua potable rural, AGR: Agrícola, PEC: Pecuaria, MIN: Minera, IND: Industrial, ELE: Eléctrica

Fuente: elaboración propia a partir de datos de Hídrica Consultores & Aquaterra Ingenieros (DGA, 2017d).

En los siguientes apartados se hace un análisis de la demanda hídrica por tipo de uso, cuyo detalle se presenta en el capítulo 8 del Anexo J.

3.1 Uso humano

En el siguiente apartado se presenta la información referente a la demanda hídrica para uso humano, tanto el agua potable urbana como rural.

3.1.1 Demografía

A partir de la información secundaria disponible, se da cuenta del perfil sociodemográfico de la región, provincias y comunas de la cuenca de la Pampa del Tamarugal.

La región de Tarapacá tiene una población que alcanza los 330.558 habitantes con una densidad de 7,83 personas por km² (INE, 2019). Según se muestra en la Tabla 3-2, se observa un aumento de la población de la región entre los años 2002 y 2017, del orden de las 91.608 personas. Del mismo modo, se observa más cantidad de población urbana que rural.

Tabla 3-2 Variación Intercensal Censos 2002 - 2017.

	Censo 2002	Censo 2017	Variación (%)
Población total	238.950	330.558	+38%
Población urbana	226.462	310.065	+37%
Población rural	12.488	20.493	+64%

Fuente: Reporte Estadístico Distrito 2 (INE, 2009) y Reportes Estadísticos Regionales (INE, 2019).

Según se puede observar en la Tabla 3-3, la mayoría de las comunas aumentó su población, a excepción de la comuna de Camiña, y de la capital regional, Iquique, que se dividió en ese período, al conformarse la comuna de Alto Hospicio.

Tabla 3-3 Variación intercensal 2002 - 2017, por comunas en la región de Tarapacá.

Comunas/Censo	Censo 2002	Censo 2017	Variación (%)
Pozo Almonte	10.830	15.711	+45%
Huara	2.599	2.730	+5%
Pica	6.178	9.296	+50%
Camiña	1.275	1.250	-2%
Colchane	1.649	1.728	+5%
Alto Hospicio (*)	-	108.375	-
Iquique	216.419	191.468	-12%
Total	238.950	330.558	+30%

(*) Se creó como comuna el 12 de abril del año 2004

Fuente: elaboración propia a partir de reporte Estadístico Distrito 2 (INE, 2009) y Reportes Estadísticos Regionales (INE, 2019).

En relación con la población según pertenencia a algún pueblo indígena, la región de Tarapacá concentra un 3,61% de la población del país que se considera perteneciente a un pueblo indígena u originario, muestreando una situación muy similar a la de Arica y Parinacota, la que presenta un 3,66% según INE (2017). Entre las personas que declaran

pertenecer a un grupo indígena, un 15,3% del total de la población (Observatorio social, 2015), la adscripción al pueblo aymara es mayoritaria, alcanzando un 69,3% del total.

Según se muestra en la Tabla 3-4, la mayoría de las viviendas de esta región tienen acceso al agua potable urbana, es decir, un 98,97% acceden a ella a través de la red pública. Sin embargo, a nivel rural el acceso al agua potable rural es de un 42,5%.

Tabla 3-4 Acceso a agua potable Región de Tarapacá.

Acceso a agua potable	Urbano	Rural
Red pública, llave dentro de la vivienda	64.042	1.607
Red pública, llave dentro del sitio	377	575
Red pública, por acarreo	14	84
No red pública, llave dentro de la vivienda	100	765
No red pública, llave dentro del sitio	0	195
No red pública, por acarreo	175	555
Total regional	64.708	3.781

Fuente: SUBDERE (2018).

3.1.2 Agua potable urbana, histórica y proyectada

A continuación, se presenta la información referente a los sistemas de agua potable urbana, tanto histórica como proyectada en la cuenca de la Pampa del Tamarugal.

Histórica

Son varias las localidades de la región de Tarapacá que se abastecen de agua a partir de los recursos hídricos de la cuenca de la Pampa del Tamarugal. A continuación, se describe la demanda hídrica por sistema de Agua Potable Urbana, cuyos caudales corresponden a valores característicos de explotación, máximos y de derechos de aprovechamiento por cada pozo del sistema, pero que no comprende la demanda real estimada de cada sistema, la cual se puede observar en la Tabla 3-12 y en el punto 3.8 del Monitoreo de Extracciones Efectivas (MEE).

Iquique

A partir de la información recopilada de la Actualización de Planes de Desarrollo de Iquique, de Aguas del Altiplano (SISS, 2018a), la ciudad costera de Iquique y el sector de Alto Hospicio se abastecen de agua potable a partir de captaciones que se encuentran en la Pampa del Tamarugal y están constituidas por baterías de pozos de gran profundidad: los sistemas de aducción El Carmelo, Canchones y Cumiñalla. Luego, las aguas son porteadas hacia la costa por intermedio de dos grandes tuberías de hierro dúctil.

Sistema de Producción El Carmelo: construido entre 1997 y 1998, se ubica en el acuífero de la Pampa del Tamarugal y consta de 14 pozos con una profundidad promedio

cercana a los 200 m cada uno. En la Tabla 3-5 se presentan las características principales de cada pozo. El caudal de explotación corresponde al caudal que puede explotar el pozo de acuerdo al Derecho. En caso del Sondaje Carmelo 17A, el Plan de Desarrollo de Aguas del Altiplano indica que actualmente se explota un caudal de 0 l/s y recién el año 2031 será necesario comenzar a explotar un caudal de 30 l/s. El caudal máximo corresponde al caudal máximo bombeado durante la prueba de bombeo.

Tabla 3-5 Batería de pozos sistema El Carmelo.

Nombre captación	Q derechos (l/s)	Q derechos donados/ recibidos (l/s)	Q explotación (l/s)	Q máximo (l/s)	Prof. (m)	D (pulg)
El Carmelo N°1	75	45*	120	125,86	200	12
El Carmelo N°2	76	44**	120	120	200	12
El Carmelo N°4	120	20***	100	188,68	200	16
El Carmelo N°8	115	7****	108	186,33	200	14
El Carmelo N°9	110	-	110	228,21	200	14
El Carmelo N°11	105	10*****	95	222,93	200	14
El Carmelo N°12	110	10* ⁶	100	178,5	200	14
El Carmelo N°17	105	-	105	211,15	200	14
El Carmelo A	30				200	14
El Carmelo B	30				200	6
El Carmelo 4A	0	40* ⁷	40	43,62	200	14
El Carmelo 17A	105	5* ⁸	0; 30 (2031)	105	200	14
El Carmelo Loteo B	-				200	14
El Carmelo Loteo B1	-				200	14

(*) Derechos en traslado: 7 l/s recibidos desde pozo Carmelo 8; 9 l/s desde pozo Carmelo A; 29 l/s desde pozo Carmelo B

(**) Derechos en traslado: 5 l/s recibidos desde pozo Carmelo 11; 10 l/s desde pozo Carmelo 12; 29 l/s desde pozo Canchones D

(***) Derechos en traslado: 20 l/s donados a pozo El Carmelo 4A

(****) Derechos en traslado: 7 l/s donados a pozo El Carmelo 1

(*****) Derechos en traslado: 5 l/s donados a pozo El Carmelo 2; 5 l/s donados al pozo El Carmelo 17A

(*⁶) Derechos en traslado: 10 l/s donados a pozo El Carmelo 2

(*⁷) Derechos en traslado: 20 l/s recibidos desde pozo Carmelo 4; 20 L/s desde pozo Carmelo A

(*⁸) Derechos en traslado: 5 l/s recibidos desde pozo Carmelo 11

Fuente: extraído de Actualización Planes de Desarrollo Iquique (SISS, 2018a).

Sistema de Producción Canchones-Cumiñalla: ubicado también en el acuífero de la Pampa del Tamarugal, está constituido por 18 pozos, con una profundidad promedio cercana a los 110 m cada uno. En la Tabla 3-6 y Tabla 3-7, se indican las características principales de estos sondajes. El caudal de explotación corresponde al caudal que puede explotar el pozo de acuerdo al Derecho. El caudal máximo corresponde al caudal máximo bombeado durante la prueba de bombeo.

Tabla 3-6 Batería de pozos Canchones.

Nombre captación	Q derechos (l/s)	Q derechos donados/ recibidos (l/s)	Q explotación (l/s)	Q máximo (l/s)	Prof. (m)	D (pulg)
Sondaje N°1	80	-	52	52	110	10
Sondaje N°2	30	-	0	0	110	16
Sondaje N°3	80	30*	50	63,45	110	16
Sondaje N°4	76	10**	66	86,83	100	12
Sondaje N°5	80	-	80	89,02	120	12
Sondaje N°6	80	-	80	150,97	120	16
Sondaje N°7	80	36***	44	82,47	120	12
Sondaje D	80	31****	0	0	110	16
Sondaje E	80	30*****	50	50	100	16
Sondaje F	85	-	0	0	100	16
Sondaje G	78	-	0	0	95	16
Sondaje H	0	46*6	46	93,58	100	16
Sondaje I	90	60*7	0	0	100	16

(*) Derechos en traslado: 30 l/s donados a pozo Cumiñalla 494

(**) Derechos en traslado: 10 l/s hacia pozo Canchones H

(***) Derechos en traslado: 36 l/s hacia pozo Canchones H

(****) Derechos en traslado: 29 l/s hacia pozo Carmelo 2; 2 l/s a pozo Dolores 1

(*****) Derechos en traslado: 30 l/s hacia pozo La Tirana 1

(*6) Derechos en traslado: 36 l/s desde pozo Canchones 7 y 10 l/s desde pozo Canchones 4

(*7) Derechos en traslado: 60 l/s hacia pozo Cumiñalla 493

Fuente: extraído de Actualización Planes de Desarrollo Iquique (SISS, 2018a).

Tabla 3-7 Batería de pozos Cumiñalla.

Nombre captación	Q derechos (l/s)	Q derechos donados/ recibidos (l/s)	Q explotación (l/s)	Q máximo (l/s)	Prof. (m)	D (pulg)
Sondaje A	85	60*	0 95** (2026)	0	110	16
Sondaje 493 Diesel	0	60***	0 27 (2023)	0	110	16
Sondaje 494	90	30****	120	220,39	110	16
Sondaje 495	0	60*****	60	100,83	110	16
Sondaje 491	80	-	0	0	110	16

(*) Derechos en traslado: 60 l/s donados a pozo Cumiñalla 495

(**) Se regularizarán los derechos correspondientes a 70 l/s

(***) Derechos en traslado: 60 l/s recibidos desde pozo Canchones I

(****) Derechos en traslado: 30 l/s recibidos desde pozo Canchones 3 o 1521

(*****) Derechos en traslado: 60 l/s recibidos desde pozo Canchones A o 656

Fuente: extraído de Actualización Planes de Desarrollo Iquique (SISS, 2018a).

Huara

Huara se abastece desde aguas subterráneas del sector quebrada de Dupliza, ubicada aproximadamente a 18 km de la ruta 5 hacia el Oriente, a altura de Pozo Almonte, es decir en la cuenca de la Pampa del Tamarugal. Las aguas son extraídas desde un pozo de propiedad del Ejército de Chile, el cual abastece a la Guarnición Militar de Baquedano junto con la localidad de Huara. En la Tabla 3-8 se presentan las características principales de cada sondaje.

Tabla 3-8 Sondajes Dupliza – Huara.

Nombre captación	Q derechos (l/s)	Q explotación (l/s)	Q máximo (l/s)	Profundidad (m)	Diámetro (pulg)
Dupliza N° 3	13*	13	13	110	16
Dupliza N° 4	0*	13	13	110	16

(*) Los derechos son de propiedad del ejército de Chile y son usados por la empresa en marco de convenio conjunto, que establece que la sanitaria puede hacer uso de 10 l/s disponibles en una fuente y un máximo de 13 l/s en total.

Fuente: extraído de Actualización Planes de Desarrollo Huara (SISS, 2018c).

La Tirana

Desde el año 2001 el sistema de alimentación se independizó de la aducción Chintaguay, pasando a depender de sondajes propios de La Tirana, ubicados en la Pampa del Tamarugal, en el sector oriente de la localidad. Durante el año 2002, la empresa construyó un segundo sondaje en el mismo recinto, uniéndose ambos en una sola impulsión, de tal forma de tener respaldo en el sistema de abastecimiento. En la Tabla 3-9 se presentan las características principales de cada captación.

Tabla 3-9 Captaciones de La Tirana.

Nombre captación	Q derechos (l/s)	Q explotación (l/s)	Q máximo (l/s)	Profundidad (m)	Diámetro (pulg)
La Tirana N° 1	25	55*	55	110	16
La Tirana N° 2	25 30 (2030)**	25; 27,5 (2030)	25	113,7	16

(*) Derechos en traslado: 30 l/s recibidos desde pozo Canchones E

(**) Se regularizarán derechos correspondientes

Fuente: extraído de Actualización Planes de Desarrollo La Tirana (SISS, 2018e).

Pica y Matilla

El abastecimiento de agua potable de las localidades de Pica y Matilla se obtiene de las captaciones subterráneas localizadas en Chintaguay en la Quebrada de Quisma, las que corresponden a un pozo surgente y un dren cuyas aguas son captadas mediante un sistema de cámaras. Para el abastecimiento de Matilla se utilizan los excedentes del Pozo Surgente Chintaguay, las aguas del Dren Chintaguay (que se desarrolla a lo largo de la Quebrada de Quisma) y las aguas captadas en el Socavón Santa Rosita. En la Tabla 3-10 se presentan las características principales de las captaciones.

Tabla 3-10 Captaciones Pica y Mantilla.

Nombre captación	Q derechos (l/s)	Q explotación (l/s)	Q máximo (l/s)	Largo (m)	Profundidad (m)	Diámetro (pulg)
Pozo surgente Chintaguay (Pica y Mantilla)	44	30	30		35	12
Dren Chintaguay (Mantilla)	31	23,78	23,78	6.000		
Socavón Santa Rosita (Mantilla)	24	7	7	3.000		

(*) Derechos históricos en trámite en Juzgado Pozo Almonte. Fuentes abastecen Pica y Matilla.

Fuente: extraído de Actualización Planes de Desarrollo Pica y Actualización Planes de Desarrollo Mantilla (SISS, 2018g, 2018f).

Pisagua

La producción de agua de este sistema se realiza desde los sondeos N°1 y N°2, ubicados en el sector de Dolores, ubicados a un costado de la antigua estación de Ferrocarril de la localidad de Dolores, ubicada a 40 km al norte de Huara por la ruta 5 Norte y a 14 km al sur de la Quebrada Tiliviche. En la Tabla 3-11 se presentan las características principales de cada sondeo.

Tabla 3-11 Sondajes Dolores – Pisagua.

Nombre captación	Q derechos (l/s)	Q explotación (l/s)	Q máximo (l/s)	Profundidad (m)	Diámetro (pulg)
Dolores N° 1	7,0	5,5 6 (2031)	6	49,2	16
Dolores N° 2		5 6 (2027)	6	46,1	16

(*) La empresa cuenta con 7 l/s derechos entre los sondeos Dolores 1 y Dolores 2, los cuales se pueden sacar indistintamente entre ambos o por un solo sondeo.

Fuente: extraído de Actualización Planes de Desarrollo Pisagua (SISS, 2018h).

Por otro lado, según el estudio de Hídrica Consultores & Aquaterra Ingenieros (DGA, 2017d), las localidades que se abastecen a partir de agua potable urbana desde la cuenca de la Pampa del Tamarugal, tendrían una demanda de acuerdo a lo indicado en la Tabla 3-12, los cuales se presentan a nivel de consumo y producción, en términos de caudal medio anual (en m³/s y l/s) y volumen anual demandado (miles de m³ al año, Mm³/año).

Tabla 3-12 Demanda de agua potable urbana año base para la cuenca de la Pampa del Tamarugal (2015).

Código Subcuenca	Localidades	Demanda hídrica consumo agua potable actual (2015)			Demanda hídrica producción agua potable actual (2015)		
		Mm ³ /año	m ³ /s	l/s	Mm ³ /año	m ³ /s	l/s
0170	Pampa del Tamarugal	1.408	0,04	44,6	2.193	0,07	69,5
	Iquique y Alto Hospicio	20.291	0,643	643,4	32.059	1,016	1.016,6

Fuente: elaboración propia a partir de datos de Hídrica Consultores & Aquaterra Ingenieros (DGA, 2017d).

Proyectada

Las Actualizaciones de los Planes de Desarrollo de las distintas localidades de la región de Tarapacá (SISS, 2018a, 2018b, 2018c, 2018d, 2018e, 2018f, 2018g, 2018h, 2018i), hacen una proyección de la demanda futura a 15 años en cuanto a población, cobertura, población abastecida, clientes, consumos de agua potable, así como también las necesidades de producción media, máxima diaria y máxima horaria a ser satisfecha por la infraestructura de la empresa en el periodo de previsión. Dado que todas estas localidades son abastecidas a partir del agua subterránea de la Pampa del Tamarugal, se presenta la Tabla 3-13, donde se sintetizan y resumen dicha demanda proyectada.

Tabla 3-13 Proyección a 15 años de caudales de agua potable extraídos desde la Pampa del Tamarugal para abastecer las localidades de Iquique, Alto Hospicio, Huara, La Huayca, La Tirana, Pica, Mantilla, Pozo Almonte y Pisagua.

Año	Población abastecida (hab)	Índice Habit. (hab/viv)	Clientes (hab)	Dotaciones de consumo		Volumen demanda anual (Mm ³ /año)	Qm consumo (l/s)	Qmax consumo (l/s)	
				Población (l/hab/día)	Clientes (m ³ /cliente/mes)				
0	2017	320.469	2,23	96.646	308,5	19,1	21,812	76,8	93,1
1	2018	331.187	2,26	66.363	307,7	19,2	22,192	78,2	94,8
2	2019	339.563	2,26	67.620	308,0	19,2	22,580	79,6	96,4
3	2020	349.738	2,28	68.903	307,7	19,3	22,975	81,0	98,1
4	2021	359.619	2,30	70.210	308,0	19,4	23,377	82,4	99,9
5	2022	369.300	2,31	71.546	308,3	19,5	23,787	83,8	101,6
6	2023	375.135	2,34	72.905	309,2	19,6	24,205	85,3	103,4
7	2024	380.459	2,34	74.292	310,0	19,7	24,630	86,8	105,3
8	2025	385.285	2,33	75.705	311,5	19,8	25,064	88,3	107,1
9	2026	390.257	2,32	77.148	312,7	19,9	25,506	89,9	109,0
10	2027	395.373	2,32	78.618	314,0	46,5	25,956	91,4	116,4
11	2028	400.631	2,32	80.116	315,4	20,2	26,414	93,1	113,0
12	2029	406.034	2,33	81.644	316,8	20,3	26,882	94,7	115,0
13	2030	411.580	2,32	83.203	318,5	20,5	27,358	96,4	117,1
14	2031	417.271	2,32	84.792	320,2	20,7	27,843	98,1	119,2
15	2032	424.331	2,33	86.411	322,0	20,8	28,338	99,9	121,3

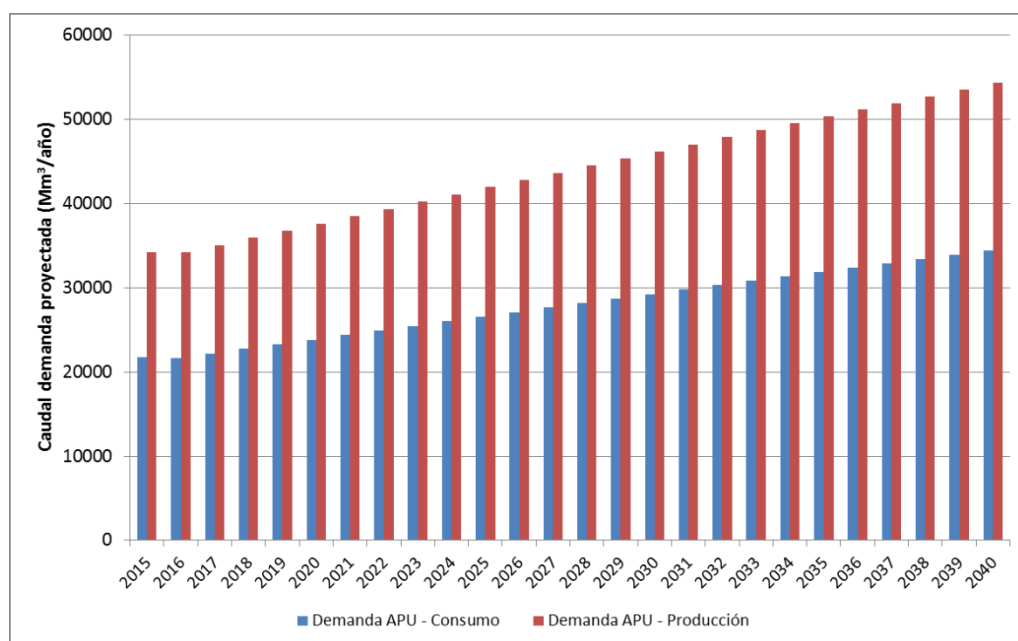
Fuente: elaboración propia a partir de las tablas de proyección de cada localidad (SISS, 2018a, 2018b, 2018c, 2018d, 2018e, 2018f, 2018g, 2018h, 2018i).

Por su parte, la proyección del estudio de DGA (2017d) de demanda hídrica para agua potable anual hasta el año 2040 en esta cuenca se muestra en la Tabla 3-14 y en la Figura 3.1.

Tabla 3-14 Proyección demanda de APU de Consumo - Producción anual (Mm³/año) – Período 2016- 2040 – Cuenca de la Pampa del Tamarugal.

Año	Proyección (Mm ³ /año)		Año	Proyección (Mm ³ /año)	
	Consumo	Producción		Consumo	Producción
2015	21.698,4	34.252	2028	28.180,9	44.485
2016	21.636,3	34.154	2029	28.716,5	45.330
2017	22.189,1	35.027	2030	29.249,6	46.172
2018	22.738,8	35.894	2031	29.779,5	47.008
2019	23.284,4	36.756	2032	30.306,4	47.840
2020	23.825,3	37.609	2033	30.829,9	48.667
2021	24.374,3	38.476	2034	31.349,9	49.487
2022	24.922,5	39.341	2035	31.866,2	50.302
2023	25.469,5	40.205	2036	32.378,7	51.111
2024	26.015,6	41.067	2037	32.887,1	51.914
2025	26.559,9	41.926	2038	33.391,4	52.710
2026	27.102,4	42.782	2039	33.891,3	53.499
2027	27.642,8	43.636	2040	34.386,8	54.281

Fuente: elaboración propia a partir de datos de Hídrica Consultores & Aquaterra Ingenieros (DGA, 2017d).



Fuente: elaboración propia a partir de datos de Hídrica Consultores & Aquaterra Ingenieros (DGA, 2017d).

Figura 3.1 Proyección demanda de APU de Consumo y Producción anual (Mm³/año) – Período 2016- 2040 – Cuenca de la Pampa del Tamarugal.

Se observa que la estimación de la demanda proyectada del estudio DGA (2017d) es similar a lo estimado en las Actualizaciones de los Planes de Desarrollo de las distintas localidades de la región de Tarapacá (SISS, 2018a, 2018b, 2018c, 2018d, 2018e, 2018f, 2018g, 2018h, 2018i), ya que el estudio DGA (2017d) se basó igualmente en los Planes de Desarrollo de Aguas del Altiplano, pero de años anteriores.

3.1.3 Agua potable rural, histórica y proyectada

A continuación, se presenta la información referente al agua potable rural, tanto histórica como proyectada en la cuenca de la Pampa del Tamarugal.

Histórica

La región cuenta con una infraestructura de obras hidráulicas que ha permitido el aprovechamiento hídrico para abastecer a la población rural. El Programa de Agua Potable Rural (APR) de la DOH cuenta con 21 sistemas a lo largo de toda la región de Tarapacá. Dentro de la cuenca de la Pampa del Tamarugal se encuentran 10 sistemas de Agua Potable Rural (APR), los que se indican en la Tabla 3-15, todos ellos se encuentran activos a la fecha y son administrados por sistemas de comité.

Tabla 3-15 Sistemas de Agua Potable Rural en la cuenca de la Pampa del Tamarugal (información a diciembre de 2019).

Código SIAPR	Comuna	Nombre oficial sistema	Año puesta en marcha	Nº Arranques	Tipo	Beneficiarios Estimados (*)	Subcuenca
01020401	Huara	Comité de Agua Potable de Chiapa	2004	92	Concentrado	285	Q. Tarapacá
01020402	Huara	Comité de Agua Potable Rural Huaviña	2006	30	Concentrado	93	Q. Tarapacá
01020403	Huara	Comité de Agua Potable Rural Jaiña	2004	98	Concentrado	304	Q. Aroma
01020103	Pozo Almonte	Comité de Agua Potable Rural La Tirana	2012	731	Semiconcentrado	2266	Pampa del Tamarugal
01020404	Huara	Comité de Agua Potable Rural de Laonzana	2006	77	Concentrado	239	Q. Tarapacá
01020405	Huara	Comité de Agua Potable Rural de Limaxiña	2006	68	Concentrado	211	Q. Tarapacá
01020102	Pozo Almonte	Comité de Agua Potable Rural de Mamiña	1982	232	Concentrado	719	Q. Juan de Morales
01020406	Huara	Comité de Agua Potable Rural Del Pueblo de Pachica	2002	90	Concentrado	279	Q. Tarapacá
01020407	Huara	Comité de Agua Potable de Sibaya	2006	124	Concentrado	384	Q. Tarapacá
01020408	Huara	Comité de Agua Potable de Tarapacá	1984	263	Concentrado	815	Q. Tarapacá

(*) Se estima considerando 3,10 beneficiarios por arranque.

Fuente: elaboración propia a partir del Listado de Cooperativas y Comités de Agua Potable Rural existentes⁹.

⁹ Listado de Cooperativas y Comités de Agua Potable Rural existentes, DOH [en línea] <http://transparencia.doh.gov.cl/otrosantecedentes/otrosantecedentes.html> (visitado por última vez el 30/04/2021)

En el estudio DGA (2017d), se hace una estimación de la demanda de APR por subcuenca, la que se presenta en la Tabla 3-16, en términos de caudal medio anual (en m³/s y l/s) y volumen anual demandado (miles de m³ al año, Mm³/año). Las subcuencas de los sistemas APR presentados en la Tabla 3-15 no coinciden con los de la Tabla 3-16, ya que provienen de fuentes distintas. Adicionalmente la Tabla 3-15 presenta un Listado de Cooperativas y Comités de Agua Potable Rural existentes, y la Tabla 3-16 hace una estimación de la demanda hídrica de los sistemas APR de la cuenca de la Pampa del Tamarugal, pero a una escala nacional.

Tabla 3-16 Estimación demanda de agua potable rural en la cuenca de la Pampa del Tamarugal (año base: 2015).

Código subcuenca	Nombre Subcuenca	Demanda hídrica APR (2015)		
		Mm ³ /año	m ³ /s	l/s
0170	Pampa del Tamarugal	33,3	0,001	1,06
0171	Quebrada de Soga	0,6	0,000	0,02
0172	Quebrada de Aroma	17,3	0,001	0,55
0173	Quebrada de Tarapacá	66,5	0,002	2,11
0174	Quebrada de Quipisca	0,5	0,000	0,02
0175	Quebradas Juan Morales, Sagasca y El Tambillo	59,3	0,002	1,88
TOTAL CUENCA				
017	Pampa del Tamarugal	177,5	0,006	5,63

Fuente: elaboración propia a partir de datos de Hídrica Consultores & Aquaterra Ingenieros (DGA, 2017d).

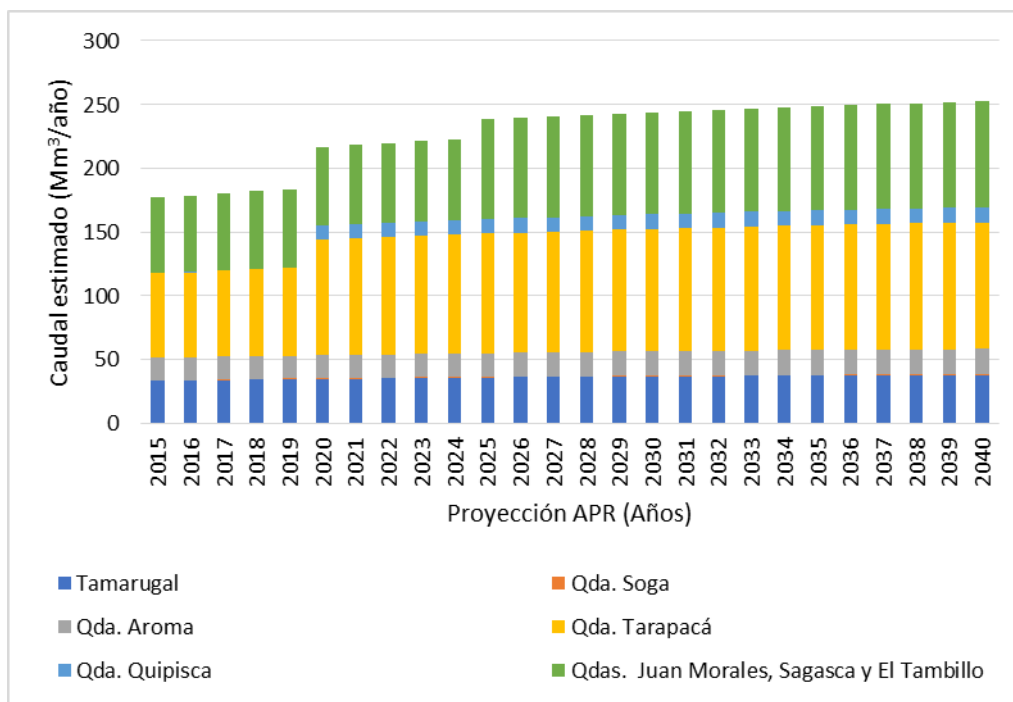
Proyectada

La estimación de demanda hídrica por agua potable rural futura, hasta el año 2040 se indica en la Tabla 3-17 y en la Figura 3.2.

Tabla 3-17 Proyección demanda hídrica para agua potable rural anual (Mm³/año) – Período 2016-2040 – Subcuencas de la Pampa del Tamarugal.

Año	Subcuenca						Total Cuenca Mm ³ /año
	Pampa del Tamarugal (0170)	Quebrada de Soga (0171)	Quebrada de Aroma (0172)	Quebrada de Tarapacá (0173)	Quebrada de Quipisca (0174)	Quebradas Juan Morales, Sagasca y El Tambillo (0175)	
2015	33,3	0,6	17,3	66,5	0,5	59,3	177,5
2016	33,6	0,0	17,5	67,1	0,5	59,8	179,1
2017	33,9	0,6	17,6	67,7	0,5	60,4	180,7
2018	34,2	0,6	17,8	68,2	0,5	60,8	182,1
2019	34,4	0,6	17,9	68,8	0,5	61,3	183,5
2020	34,7	0,6	18,1	90,8	10,9	61,7	216,8
2021	34,9	0,6	18,2	91,5	11,0	62,2	218,3
2022	35,1	0,6	18,3	92,1	11,0	62,6	219,7
2023	35,4	0,6	18,4	92,6	11,1	63,0	221,1
2024	35,6	0,6	18,5	93,2	11,2	63,3	222,4
2025	35,8	0,6	18,6	93,7	11,2	78,2	238,1
2026	36,0	0,6	18,7	94,2	11,3	78,6	239,4
2027	36,1	0,6	18,8	94,7	11,3	79,0	240,6
2028	36,3	0,6	18,9	95,2	11,4	79,4	241,8
2029	36,5	0,6	19,0	95,6	11,5	79,7	242,9
2030	36,6	0,6	19,1	96,0	11,5	80,1	244,0
2031	36,8	0,6	19,2	96,4	11,5	80,4	245,0
2032	36,9	0,6	19,2	96,8	11,6	80,7	246,0
2033	37,1	0,6	19,3	97,2	11,6	81,0	246,9
2034	37,2	0,6	19,4	97,5	11,7	81,3	247,8
2035	37,3	0,6	19,4	97,9	11,7	81,6	248,6
2036	37,5	0,6	19,5	98,2	11,8	81,9	249,4
2037	37,6	0,6	19,6	98,5	11,8	82,1	250,2
2038	37,7	0,6	19,6	98,8	11,8	82,4	250,9
2039	37,8	0,6	19,7	99,0	11,9	82,6	251,6
2040	37,9	0,6	19,7	99,3	11,9	82,8	252,3

Fuente: elaboración propia a partir de datos de Hídrica Consultores & Aquaterra Ingenieros (DGA, 2017d).



Fuente: elaboración propia a partir de datos de Hídrica Consultores & Aquaterra Ingenieros (DGA, 2017d).

Figura 3.2 Proyección demanda hídrica para agua potable rural anual (Mm³/año) – Período 2016-2040 – Subcuencas de la Pampa del Tamarugal.

3.1.4 Derechos de agua para uso humano

Aguas del Altiplano es la empresa que abastece de agua potable a las localidades de la región de Tarapacá, cuyos derechos de aprovechamiento de agua de la concesión son los que se muestran en la Tabla 3-18.

Tabla 3-18 Derechos de aprovechamiento de aguas concedidos a empresa sanitaria para abastecimiento de agua potable de las localidades con agua potable de la región de Tarapacá.

Expediente	Nº Solicitudes	Caudal otorgado (l/s)
VPC-0103-1584	15	650
ND-0103-209	10	331
ND-0103-494	1	2
ND-0103-495	4	245
TOTAL	30	1228

Fuente: elaboración propia a partir del catastro de derechos de agua, consultado en abril del año 2020.

El Ejército de Chile cuenta con dos derechos de 40 l/s cada uno, de los cuales dona 13 l/s para el abastecimiento de la localidad de Huara (expediente NR-0103-501).

Además, en el CPA figuran otros derechos otorgados para uso de bebida, doméstico y saneamiento, a beneficio de seis personas naturales: la Fundación Rosario Montenegro de Junoy, la embotelladora Arica SAIC, Agua mineral Chusmiza SAIC, Conoco Chile S.A, Ilustre Municipalidad de Pica, y la Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi con un total de 46,54 l/s.

3.2 Necesidades mínimas ambientales

Según el estudio DGA (2017d), en la cuenca de la Pampa del Tamarugal no existe demanda actual de agua relacionada con la protección ambiental. No se tiene información de demanda para protección ambiental futura, la que está directamente relacionada con planificaciones a futuro relacionados con creación o declaraciones de nuevos SNASPE, Ramsar y/o Sitios Prioritarios de Conservación para la Biodiversidad.

3.2.1 Consideración de sistemas protegidos (en estudio de demanda calidad)

En la cuenca de la Pampa de Tamarugal hay áreas que, sin tener el carácter de categoría de protección, se denominan Sitio Prioritario (Ley 19.300 art. 11, letra d) para la Conservación de la Biodiversidad. En la Tabla 2-27 se presenta el resumen de todas las áreas representadas en el SNASPE, además de otros instrumentos de conservación dentro de la cuenca de la Pampa del Tamarugal.

3.2.2 Derechos de agua para el medio ambiente: caudales ecológicos

El establecimiento de caudal ecológico mínimo es una forma de velar por la preservación de la naturaleza y la protección del medio ambiente.

Dentro de los derechos de aprovechamiento de agua que están asociado a caudal ecológico en la cuenca de la Pampa del Tamarugal, son los que se indican en la Tabla 3-19.

Tabla 3-19 Derechos de aprovechamiento de aguas otorgados en la cuenca de la Pampa del Tamarugal con un caudal ecológico asociado.

Código de Expediente	Nombre Solicitante	Tipo Derecho	Naturaleza del Agua	Clas. Fuente	Sub Cuenca	Fuente	Ejercicio del Derecho	Q anual prom (l/s)	Q eco (l/s)
ND-0103-79	COMINOR INGENIERIA Y PROYECTOS S.A.	Consuntivo	Superficial y Corriente	Quebrada	Quebradas Juan Morales, Sagasca y El Tambillo	Quebrada sin Nombre	Permanente y Continuo	3,8	3
Total caudal ecológico cuenca de la Pampa del Tamarugal									3

Fuente: catastro derechos de agua, consultado en abril del año 2020.

3.3 Demanda agrícola

A continuación, se presenta la información referente a la demanda hídrica para la actividad agrícola, tanto histórica como proyectada, y un análisis de la demanda agrícola a partir del modelo elaborado en este estudio, en la cuenca de la Pampa del Tamarugal.

3.3.1 Caracterización general de la demanda agrícola

En este punto se presentan la demanda hídrica y en particular de riego, en la actualidad y proyectada a futuro.

Demanda hídrica actual

Para la cuenca de la Pampa del Tamarugal, el estudio DGA (2017d) estimó la demanda hídrica del sector agrícola, representada tanto para la superficie en riego como en seco. Esta demanda corresponde únicamente a los requerimientos evapotranspirativos de los cultivos.

La estimación de la demanda hídrica agrícola actual (con año base en 2015) para la cuenca y sus respectivas subcuencas arroja los resultados que se entregan en la Tabla 3-20, para la totalidad de la superficie agrícola. Los valores se indican en términos de volumen anual demandado ($Mm^3/año$) y caudal medio anual (m^3/s y l/s).

Tabla 3-20 Estimación demanda hídrica Uso agrícola actual total en la cuenca de la Pampa del Tamarugal (año base: 2015).

Código subcuenca	Nombre Subcuenca	Demanda hídrica agrícola actual (2015)		
		$Mm^3/año$	m^3/s	l/s
0170	Pampa del Tamarugal	48.944,54	1,552	1.552,02
0171	Quebrada de Soga	9.539,74	0,303	302,50
0172	Quebrada de Aroma	514.903,59	16,327	16.327,49
0173	Quebrada de Tarapacá	285.231,96	9,045	9.044,65
0174	Quebrada de Quipisca	6.156,09	0,195	195,21
0175	Quebradas Juan Morales, Sagasca y El Tambillo	2.211,68	0,070	70,13
0176	Quebrada Quisma	840,62	0,027	26,66
0177	Quebrada de Chacarilla	643,41	0,020	20,40
0178	Quebrada de Ramada	28,14	0,001	0,89
0179	Quebradas Cahuisa y de Chipana	46,88	0,001	1,49
TOTAL CUENCA				
017	Pampa del Tamarugal	868.546,65	27,541	27.541,43

Fuente: elaboración propia a partir de datos de DGA-Hídrica Consultores & Aquaterra Ingenieros (DGA, 2017d).

Demanda de riego actual

La demanda de riego del sector agrícola corresponde a los requerimientos evapotranspirativos de los cultivos bajo riego, incluyendo el aporte de precipitación y las eficiencias de los sistemas de riego. Los resultados de la estimación se presentan en la Tabla 3-21. Los valores se indican en términos de volumen anual demandado ($Mm^3/año$) y caudal medio anual (m^3/s y l/s).

Tabla 3-21 Estimación demanda de riego en uso agrícola actual total para la cuenca de la Pampa del Tamarugal (año base: 2015).

Código subcuenca	Nombre Subcuenca	Demanda riego actual (2015)		
		Mm ³ /año	m ³ /s	l/s
0170	Pampa del Tamarugal	7.800,94	0,247	247,37
0171	Quebrada de Soga	253,68	0,008	8,04
0172	Quebrada de Aroma	387,47	0,012	12,29
0173	Quebrada de Tarapacá	1.272,46	0,040	40,35
0174	Quebrada de Quipisca	752,32	0,024	23,86
0175	Quebradas Juan Morales, Sagasca y El Tambillo	646,85	0,021	20,51
0176	Quebrada Quisma	345,62	0,011	10,96
0177	Quebrada de Chacarilla	467,53	0,015	14,83
0178	Quebrada de Ramada	39,75	0,001	1,26
0179	Quebradas Cahuisa y de Chipana	68,02	0,002	2,16
TOTAL CUENCA				
017	Pampa del Tamarugal	12.034,64	0,382	381,62

Fuente: elaboración propia a partir de datos de Hídrica Consultores & Aquaterra Ingenieros (DGA, 2017d).

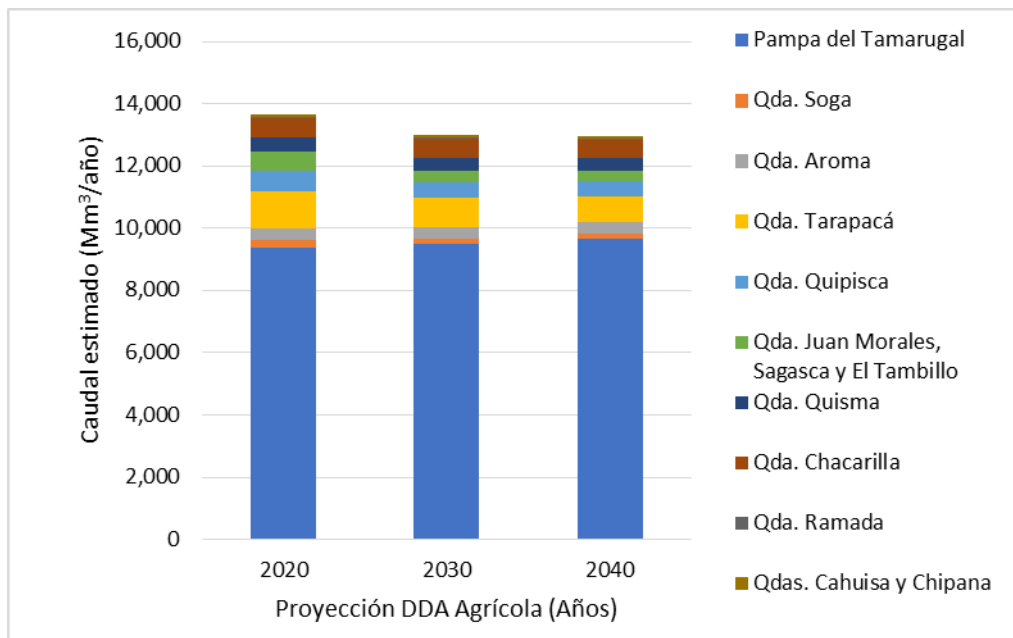
Demanda proyectada

La estimación a futuro, hasta el año 2040 de las demandas hídricas para uso agrícola en la cuenca de la Pampa del Tamarugal y sus respectivas subcuencas se entrega en la Tabla 3-22 y en la Figura 3.3.

Tabla 3-22 Proyección demanda hídrica Uso Agrícola futura total (año 2040) – Cuenca de la Pampa del Tamarugal.

Código	Nombre	Año		
		2020	2030	2040
0170	Pampa del Tamarugal	9.381,6	9.485,1	9652,9
0171	Quebrada de Soga	237,2	196,8	161,6
0172	Quebrada de Aroma	391,5	362,0	369,8
0173	Quebrada de Tarapacá	1.180,8	940,8	838,2
0174	Quebrada de Quipisca	669,9	499,2	477,9
0175	Quebradas Juan Morales, Sagasca y El Tambillo	612,7	377,0	350,1
0176	Quebrada Quisma	451,9	417,1	387,2
0177	Quebrada de Chacarilla	624,4	602,8	584,3
0178	Quebrada de Ramada	44,9	50,1	54,4
0179	Quebradas Cahuisa y de Chipana	76,8	85,9	93,3
TOTAL CUENCA				
017 Pampa del Tamarugal	Mm ³ /año	13.671,7	13.016,9	12.969,6
	m ³ /s	0,434	0,413	0,411
	l/s	434	413	411

Fuente: elaboración propia a partir de datos de Hídrica Consultores & Aquaterra Ingenieros (DGA, 2017d).



Fuente: elaboración propia a partir de datos de Hídrica Consultores & Aquaterra Ingenieros (DGA, 2017d).

Figura 3.3 Proyección demanda hídrica Uso Agrícola futura total (año 2040) – Cuenca de la Pampa del Tamarugal.

3.3.2 Zonas de riego modeladas

Las zonas de riego modeladas corresponden a aquellas identificadas en la Quebrada de Tarapacá: Huaviña, Mocha, Laonzana y Tarapacá. Mayores antecedentes respecto a la implementación de las zonas de riego se incluyen en la sección 5.3.1.4 del Anexo H.

3.3.3 Derechos de agua para la agricultura

Los antecedentes presentados en el “Diagnóstico para desarrollar plan de riego en Región de Tarapacá” (CNR, 2017), permiten estimar los derechos de agua para agricultura, en particular aquellos asociados Comunidades de Agua de la Quebrada de Tarapacá. Según lo presentado en la Tabla 3-23 estos derechos suman en total 932 l/s y se han agrupado en cuatro sectores de la cuenca: Huaviña, Mocha, Laonzana y Tarapacá.

Tabla 3-23 Canales Quebrada de Tarapacá y sus derechos.

Nº	Canal	Sector	Usuarios	Acciones	Caudal (l/s)
1	Tarapacá	Tarapacá	32	-	40,46
2	Caigua Quillahuasa	Tarapacá	57	-	48,47
3	Mages	Tarapacá	69	-	71,96
4	Tablisca	Huaviña	8	94,5	30
5	Del Pueblo de Mocha	Mocha	127	756,9	70
6	Amaymaya	Mocha	89	621,3	70
7	Pijillache	Mocha	19	127,5	40
8	Chituiza	Huaviña	18	228	40
9	La Banda	Huaviña	19	235,5	30
10	Particular dos o La Poroma	Huaviña	2	24	30
11	Particular uno o Camasa	Huaviña	5	45	30
12	Icata Sur	Huaviña	5	45	-
13	Cotocollo	Huaviña	4	46	30
14	Purjara	Laonzana	12	114	30
15	Grande	Huaviña	112	1.634	80
16	Del pueblo de Huaviña	Huaviña	41	573	70
17	Pinapina	Huaviña	2	31,5	30
18	Pampa	Laonzana	243	2.506,4	60
19	Jamaisa	Laonzana	11	1.008	4
20	Del pueblo de Laonzana	Laonzana	52	1.008	22
21	Pahuiña	Laonzana	7	1.008	3
22	Puchurca	Laonzana	52	1.008	32
23	La Isla	Tarapacá	9	849	11
24	La Poroma	Tarapacá	4	159	11
25	Ancoaque	Tarapacá	115	2230,5	40
26	Caijilligua o Chijlligua	Tarapacá	15	693	6
27	Sausipta	Tarapacá	6	303	2
28	Pachica	Tarapacá	62		0,5
Total			1.197	15.349,1	932,39

Fuente: modificado de (CNR, 2017).

3.4 Demanda minera

El agua se usa en la mayoría de los procesos mineros, desde consumos mínimos para abastecimiento humano del personal hasta para el abastecimiento de los procesos extracciones del mineral.

3.4.1 Demanda hídrica para uso minero

En la cuenca de la Pampa del Tamarugal, el estudio DGA (2017d) estimó la demanda hídrica ejercida por las principales faenas mineras identificadas (toda ella de tipo consuntiva), pertenecientes a la minería del cobre y al resto de la minería no metálica, representada por las producciones de yodo y nitrato.

La estimación de la demanda minera actual (con año base en 2015) para las subcuencas de la región, arroja los resultados que se entregan en la Tabla 3-24. Los valores se indican en términos de caudal medio anual (en m³/s y l/s) y volumen anual demandado (Mm³/año).

Tabla 3-24 Estimación demanda hídrica uso minero actual para la cuenca de la Pampa del Tamarugal (año base: 2015).

Código subcuenca	Nombre Subcuenca	Demanda hídrica minera actual (2015)		
		Mm ³ /año	m ³ /s	l/s
0170	Pampa del Tamarugal	17.072,9	0,541	541,4
0174	Quebrada de Quipisca	1.585,6	0,050	50,3
0175	Quebradas Juan Morales, Sagasca y El Tambillo	206,7	0,007	6,5
TOTAL CUENCA				
017	Pampa del Tamarugal	18.865,2	0,598	598,2

Fuente: elaboración propia a partir de datos de Hídrica Consultores & Aquaterra Ingenieros (DGA, 2017d).

Efectuando un desglose por tipo de minería – minería del cobre y no metálica–, las demandas hídricas anuales por subcuenca son las que se muestran en la Tabla 3-25.

Tabla 3-25 Estimación demanda hídrica uso minero actual según desglose por tipo de minería, para la cuenca de la Pampa del Tamarugal (año base: 2015).

Código subcuenca	Nombre Subcuenca	Minería del cobre Mm ³ /año	Minería no metálica Mm ³ /año
0170	Pampa del Tamarugal	0	17.072,9
0174	Quebrada de Quipisca	1.585,6	0
0175	Quebradas Juan Morales, Sagasca y El Tambillo	206,7	0
TOTAL CUENCA			
017	Pampa del Tamarugal	1.792,3	17.072,9

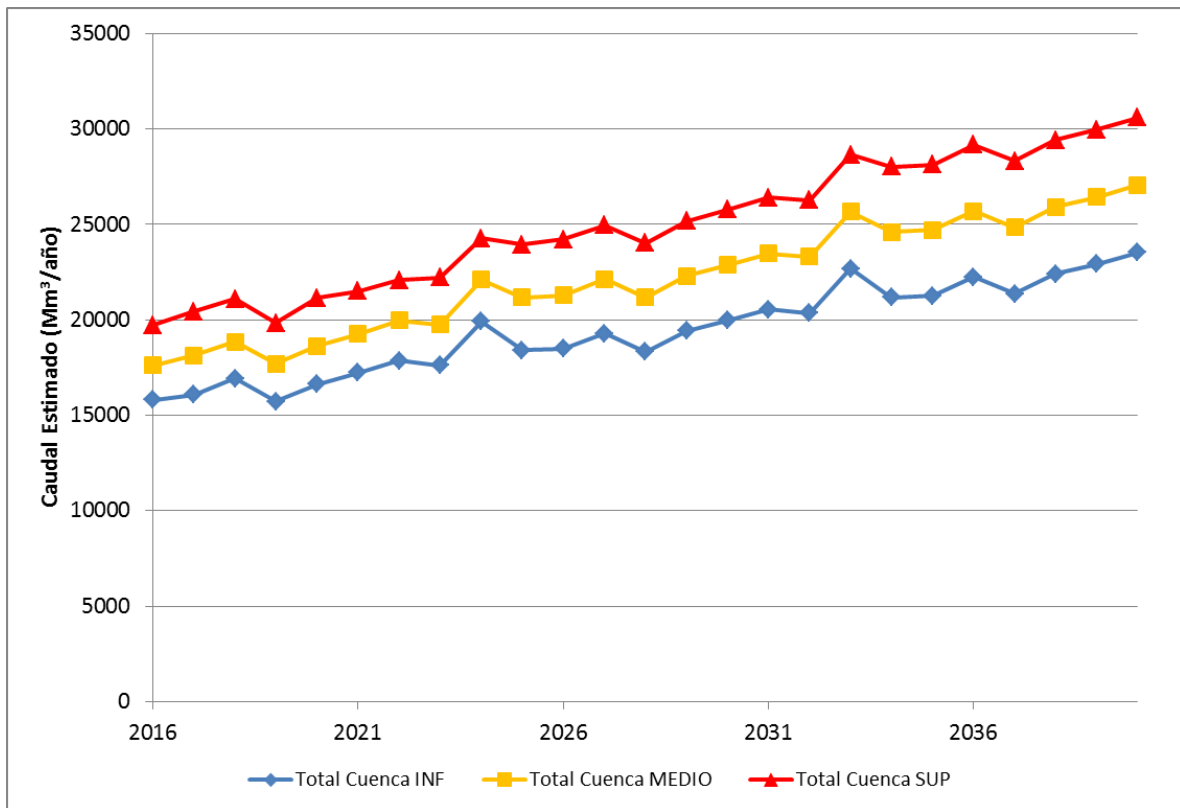
Fuente: elaboración propia a partir de datos de Hídrica Consultores & Aquaterra Ingenieros (DGA, 2017d).

La estimación de demanda hídrica futura (período 2016 a 2040) para uso minero en la cuenca de la Pampa del Tamarugal se muestra en la Tabla 3-26 y en la Figura 3.4.

Tabla 3-26 Proyección demanda hídrica minera anual (consuntiva, Mm³/año) – Período 2016- 2040 – Subcuencas de la Pampa del Tamarugal – Valor Inferior, Medio y Superior, N.C. 70%.

Año	Pampa del Tamarugal (0170) (Mm ³ /año)			Quebrada de Quipisca (0174) (Mm ³ /año)			Quebradas J. Morales, Sagasca y El Tambillo (0175) (Mm ³ /año)			Cuenca Pampa del Tamarugal (017) (Mm ³ /año)		
	INF	MEDIO	SUP	INF	MEDIO	SUP	INF	MEDIO	SUP	INF	MEDIO	SUP
2016	14.213,7	15.866,8	17.806,1	1.398,3	1.543,8	1.689,3	182,3	201,3	220,2	15.794,3	17.611,8	19.715,6
2017	14.400,5	16.308,3	18.427,0	1.480,4	1.624,4	1.768,4	193,0	211,8	230,6	16.073,8	18.144,5	20.426,0
2018	15.436,7	17.191,2	19.266,5	1.331,2	1.473,3	1.615,4	173,6	192,1	210,6	16.941,4	18.856,6	21.092,5
2019	14.559,7	16.363,4	18.357,4	1.031,6	1.171,4	1.311,2	134,5	152,7	170,9	15.725,8	17.687,5	19.839,5
2020	15.624,0	17.476,0	19.821,2	889,4	1.026,5	1.163,5	116,0	133,8	151,7	16.629,4	18.636,2	21.136,3
2021	16.162,9	18.062,2	20.138,7	934,1	1.068,0	1.201,8	121,8	139,2	156,7	17.218,9	19.269,5	21.497,2
2022	16.791,4	18.737,3	20.715,9	950,8	1.081,1	1.211,4	124,0	141,0	157,9	17.866,2	19.959,3	22.085,2
2023	16.618,7	18.610,4	20.927,1	888,7	1.015,1	1.141,4	115,9	132,3	148,8	17.623,3	19.757,8	22.217,3
2024	18.935,7	20.972,6	23.009,5	875,7	997,7	1.119,8	114,2	130,1	146,0	19.925,5	22.100,4	24.275,3
2025	17.371,2	20.002,9	22.634,5	916,5	1.033,9	1.151,4	119,5	134,8	150,1	18.407,3	21.171,6	23.936,0
2026	17.574,4	20.240,9	23.042,1	802,5	914,9	1.027,3	104,6	119,3	133,9	18.481,6	21.275,1	24.203,3
2027	18.626,2	21.327,3	24.028,5	595,5	702,6	809,6	77,6	91,6	105,6	19.299,3	22.121,5	24.943,7
2028	17.763,8	20.499,5	23.235,2	494,2	595,6	697,0	64,4	77,7	90,9	18.322,5	21.172,8	24.023,1
2029	18.842,1	21.612,1	24.382,1	508,7	604,1	699,5	66,3	78,8	91,2	19.417,0	22.294,9	25.172,7
2030	19.394,2	22.198,4	25.002,5	503,2	592,2	681,3	65,6	77,2	88,8	19.962,9	22.867,8	25.772,7
2031	20.035,2	22.873,4	25.711,6	450,9	533,3	615,8	58,8	69,5	80,3	20.544,9	23.476,2	26.407,6
2032	19.874,5	22.746,5	25.618,6	425,2	500,7	576,2	55,4	65,3	75,1	20.355,1	23.312,5	26.269,9
2033	22.202,9	25.108,7	28.014,4	424,2	492,5	560,8	55,3	64,2	73,1	22.682,4	25.665,4	28.648,3
2034	20.781,9	24.139,0	27.496,0	344,8	405,5	466,3	45,0	52,9	60,8	21.171,7	24.597,4	28.023,1
2035	20.990,7	24.377,0	27.763,4	229,8	282,7	335,6	30,0	36,9	43,8	21.250,5	24.696,6	28.142,8
2036	22.047,8	25.463,4	28.879,1	169,0	213,8	258,6	22,0	27,9	33,7	22.238,8	25.705,1	29.171,4
2037	21.190,7	24.635,6	28.080,6	152,7	189,1	225,5	19,9	24,7	29,4	21.363,3	24.849,4	28.335,4
2038	22.274,0	25.748,2	29.222,3	124,6	152,3	180,0	16,3	19,9	23,5	22.414,9	25.920,4	29.425,8
2039	22.831,1	26.334,5	29.837,8	81,8	100,5	119,3	10,7	13,1	15,6	22.923,6	26.448,1	29.972,6
2040	23.477,0	27.009,5	30.542,0	43,1	52,6	62,1	5,6	6,9	8,1	23.525,7	27.068,9	30.612,2

Fuente: elaboración propia a partir de datos de Hídrica Consultores & Aquaterra Ingenieros (DGA, 2017d).



Fuente: elaboración propia a partir de datos de Hídrica Consultores & Aquaterra Ingenieros (DGA, 2017d).

Figura 3.4 Proyección demanda hídrica minera anual (consuntiva, Mm³/año) – Período 2016- 2040 – Cuenca de la Pampa del Tamarugal – Valor Inferior, Central y Superior, N.C. 70%.

3.4.2 Derechos de aprovechamientos

Según el CPA, informa que se han otorgado derechos de aprovechamiento de agua para uso minero de acuerdo a lo indicado en la Tabla 3-27. Sin embargo, existe una gran cantidad de derechos otorgados a empresas mineras cuyo uso no es informado y se muestran en la Tabla 3-28. Por otro lado, en la Tabla 3-29 se indican los derechos y extracciones informadas por las empresas mineras de la I región en el estudio "Derechos, extracciones y tasa unitarias de consumo de agua del sector minero, Regiones Centro – Norte de Chile" (DGA, 2008).

Tabla 3-27 Derechos de aprovechamiento de aguas concedidos en la Pampa del Tamarugal para uso minero.

Código de Expediente	Comuna	Nombre Solicitante	Tipo Derecho	Naturaleza del Agua	Fuente	SubSubCuenca	Fuente	Ejercicio del Derecho	Q Anual Prom (l/s)
ND-0103-800227	P. Almonte	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA COSAYACH YODO	Consuntivo	Subterránea	Acuífero		Sin estudiar	Perm. y cont.	10
ND-0103-800226	P. Almonte	INMOBILIARIA Y CONSTRUCTORA NACIONAL S.A.	Consuntivo	Subterránea	Acuífero		Sin estudiar	Perm. y cont.	0
ND-0103-800143	P. Almonte	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA COSAYACH YODO	Consuntivo	Subterránea	Acuífero		Pampa del Tamarugal	Perm. y cont.	0
ND-0103-800144	P. Almonte	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA COSAYACH YODO	Consuntivo	Subterránea	Acuífero		Pampa del Tamarugal	Perm. y cont.	0
VPC-0104-50	Huara	SOC. CONTRACTUAL MINERA COMPAÑIA MINERA NEGREIROS	Consuntivo	Subterránea	Acuífero	Pampa del Tamarugal	Acuífero	Perm. y cont.	1,9
ND-0103-800210	P. Almonte	LUIS GALAN MATURANA	Consuntivo	Subterránea	Acuífero			Perm. y cont.	0
ND-0103-740	P. Almonte	SOCIEDAD QUIMICA Y MINERA DE CHILE S.A.	Consuntivo	Subterránea	Acuífero	Pampa del Tamarugal		Perm. y cont.	10
ND-0103-1229	P. Almonte	DSM MINERA SCM	Consuntivo	Subterránea	Acuífero	Pampa del Tamarugal	Lo Ovalle	Perm. y Cont. y Provisionales	30
ND-0103-1229	P. Almonte	DSM MINERA SCM	Consuntivo	Subterránea	Acuífero	Pampa del Tamarugal	Lo Ovalle	Perm. y Cont. y Provisionales	8
ND-0103-640	P. Almonte	SOCIEDAD QUIMICA Y MINERA DE CHILE S.A.	Consuntivo	Subterránea	Acuífero	Pampa del Tamarugal		Perm. y cont.	20
ND-0103-79	P. Almonte	COMINOR INGENIERIA Y PROYECTOS S.A.	Consuntivo	Superficial y Corriente	Quebrada	Quebradas J. Morales, Sagasca y El Tambillo	Quebrada s/nombre	Perm. y cont.	3,8
ND-0103-782	P. Almonte	SOCIEDAD QUIMICA Y MINERA DE CHILE S.A.	Consuntivo	Subterránea	Acuífero			Perm. y cont.	14
ND-0103-511	P. Almonte	ACF MINERA S.A.	Consuntivo	Subterránea	Acuífero	Pampa del Tamarugal	Lo Ovalle	Perm. y cont.	0,3
VPC-0103-733	P. Almonte	SOCIEDAD MINERA LA CASCADA LTDA.	No Consuntivo	Subterránea	Acuífero	Pampa del Tamarugal		Perm. y cont.	65
VT-0103-1	Pica	COMPAÑIA MINERA TECK QUEBRADA BLANCA S.A.	Consuntivo	Superficial y Corriente	Vertiente	Pampa del Tamarugal	Vt. s/nombre	Perm. y cont.	60
ND-0103-80	P. Almonte	SOCIEDAD QUIMICA Y MINERA DE CHILE S.A.	Consuntivo	Subterránea	Acuífero			Perm. y cont.	4,76
ND-0103-2179	Huara	LUIS PAPIC DOMINGUEZ	Consuntivo	Subterránea	Acuífero			Perm. y cont.	6
ND-0103-61	P. Almonte	PLANTA TARAPACA S.A.	Consuntivo	Subterránea	Acuífero			Perm. y cont.	0

Fuente: Catastro público de aguas consultado en abril del año 2020.

Tabla 3-28 Derechos de agua otorgados a mineras, tanto de uso informado para minería como de uso no informado.

Empresa Minera	Derechos consuntivos superficiales			Derechos consuntivos subterráneos			Total derecho consuntivo (l/s)	Derechos no consuntivos (l/s)
	Permanentes (l/s)	Eventuales (l/s)	Total (l/s)	Permanentes (l/s)	Provisionales (l/s)	Total (l/s)		
Cía. Minera Doña Inés de Collahuasi	4,315	0,9417	5,2567	32	0	32	37,2567	0
Cía. Minera Quebrada Blanca	60	0	60	0	0	0	60	0
SQM	0	0	0	631	0	631	631	0
ACF Minera	0	0	0	104,1833	0	0	104,1833	0
DMS Minera SCM				38		38	38	0
Minera Nueva Victoria	0	0	0	0	3	3	3	0
Compañía minera Negreiros	0	0	0	26,4433	0	26,4433	26,4433	0
Minera Placermetal de Copaquire	500	0	500	0	0	0	500	0
Minera Cerro de Challacollo	0	0	0	1,8	0	1,8	1,8	0
Minera Cosayach Yodo	0	0	0	79,06	0	79,06	79,06	0
Minera La Cascada	5	0	5	65	0	65	70	0

Fuente: Catastro público de aguas, consultado en abril del año 2020.

Tabla 3-29 Derechos y extracciones de agua.

Empresa Minera	Derechos consuntivos superficiales			Derechos consuntivos subterráneos			Total derecho consuntivo (l/s)	Derechos no consuntivos (l/s)	Total derecho consuntivo informado (l/s)	Extracción informada (l/s)
	Permanentes (l/s)	Eventuales (l/s)	Total (l/s)	Permanentes (l/s)	Provisionales (l/s)	Total (l/s)				
Cía. Minera Doña Inés de Collahuasi	9	1	10	1.028	0	1.028	1.038	20	1.398	950
Cía. Minera Cerro Colorado	0	0	0	300	0	300	300	0	300	111
Cía. Minera Quebrada Blanca	0	0	0	436	0	436	436	0	436	129
SQM	60	0	60	797	38	895	895	0	895	208

Fuente: DGA, 2008 Derechos, extracciones y tasa unitarias informadas.

3.5 Demanda industrial

El agua se usa en la mayoría de los procesos industriales, desde consumos mínimos para abastecimiento humano del personal hasta para el abastecimiento de los procesos de fabricación.

3.5.1 Demanda hídrica para uso industrial

Según el estudio de DGA (2017d), en la cuenca de la Pampa del Tamarugal al año 2015 no existe demanda hídrica para uso industrial actual ni futura. Sin embargo, dentro de la cuenca se tienen derechos de aprovechamiento que indican un uso industrial del agua y que se presentan a continuación.

3.5.2 Derechos de aprovechamiento

El catastro de derechos de aprovechamiento de agua otorgados en la cuenca de la Pampa del Tamarugal, el cual fue consultado en el mes de abril del 2020, indica que existen 7 derechos clasificados con uso industrial y se muestra en la Tabla 3-30. Entre ellos se cuenta con tres compañías mineras, una embotelladora y una persona natural.

Tabla 3-30 Derechos de aprovechamiento de aguas concedidos en la Pampa del Tamarugal para uso industrial.

Código de Expediente	Comuna	Nombre Solicitante	Tipo Derecho	Naturaleza del Agua	Fuente	SubSubCuenca	Fuente	Ejercicio del Derecho	Q Anual Prom (l/s)
ND-0103-2999	Pozo Almonte	SOCIEDAD QUIMICA Y MINERA DE CHILE S.A. SQM S.A. Y OTROS	Consuntivo	Subterránea	Acuífero			Permanente y Continuo	2,5
ND-0103-2999	Pozo Almonte	SOCIEDAD QUIMICA Y MINERA DE CHILE S.A. SQM S.A. Y OTROS	Consuntivo	Subterránea	Acuífero			Permanente y Continuo	10,2
ND-0103-2999	Pozo Almonte	SOCIEDAD QUIMICA Y MINERA DE CHILE S.A. SQM S.A. Y OTROS	Consuntivo	Subterránea	Acuífero			Permanente y Continuo	9,2
UA-0103-71	Pozo Almonte	EMBOTELLADORA ARICA S.A.I. Y C.	No Consuntivo	Superficial y Corriente	Vertiente			Permanente y Continuo	0,12
UA-0103-2	Pozo Almonte	SOCIEDAD MINERA LA CASCADA LTDA.	No Consuntivo	Superficial y Corriente	Vertiente	Quebradas Juan Morales, Sagasca y El Tambillo	Vertiente sin Nombre	Permanente y Continuo	5
UA-0103-59	Pica	SOC. CONTRACTUAL MINERA PLACERMETAL DE COPAQUIRE	Consuntivo	Superficial	Rio/Estero	Pampa del Tamarugal	Vertiente sin Nombre	Permanente y Continuo	500
UA-0103-106	Huara	JORGE OSTOIC OSTOIC	No Consuntivo	Superficial y Corriente	Vertiente	Pampa del Tamarugal	Vertiente sin Nombre	Permanente y Continuo	10

Fuente: Catastro público de aguas, consultado en abril del año 2020.

3.6 Otras demandas

A continuación, se presenta la información referida a las demandas hídricas para otros tipos de uso, no considerados en las categorías anteriores.

3.6.1 Demanda hídrica para uso pecuario

El estudio DGA (2017d) estimó la demanda hídrica (consuntiva) del sector pecuario para la cuenca, representada por las producciones bovina, ovina, caprina, avícola y porcina, entre otras. La estimación de la demanda pecuaria actual (con año base en 2015) para la cuenca de la Pampa del Tamarugal y sus respectivas subcuencas arroja los resultados que se entregan en la Tabla 3-31. Los valores se indican en términos de volumen anual demandado ($Mm^3/año$) y caudal medio anual (m^3/s y l/s).

Tabla 3-31 Estimación demanda hídrica uso pecuario actual en la cuenca de la Pampa del Tamarugal (año base: 2015).

Código subcuenca	Nombre Subcuenca	Demanda hídrica pecuaria actual (2015)		
		$Mm^3/año$	m^3/s	l/s
0170	Pampa del Tamarugal	24,91	0,001	0,79
0171	Quebrada de Soga	0,57	0,000	0,02
0172	Quebrada de Aroma	5,25	0,000	0,17
0173	Quebrada de Tarapacá	4,04	0,000	0,13
0174	Quebrada de Quipisca	1,44	0,000	0,05
0175	Quebradas Juan Morales, Sagasca y El Tambillo	1,35	0,000	0,04
0176	Quebrada Quisma	0,91	0,000	0,03
0177	Quebrada de Chacarilla	0,83	0,000	0,03
0178	Quebrada de Ramada	0,07	0,000	0,00
0179	Quebradas Cahuisa y de Chipana	0,11	0,000	0,00
TOTAL CUENCA				
017	Pampa del Tamarugal	39,48	0,001	1,25

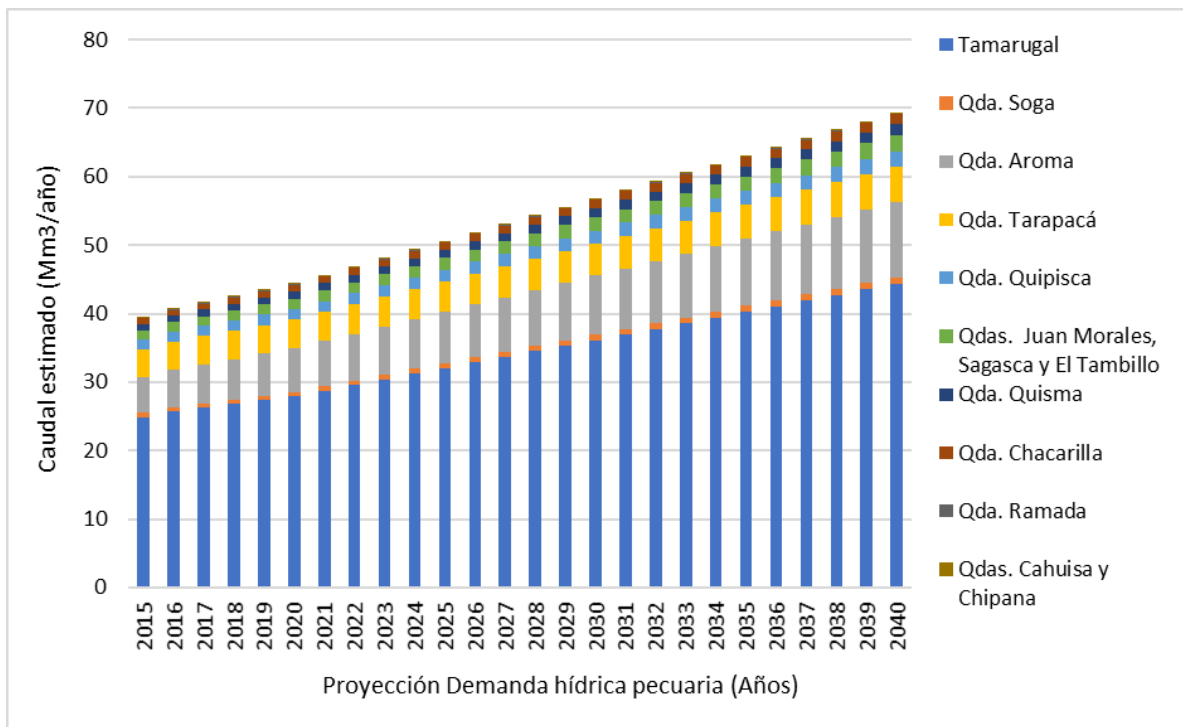
Fuente: elaboración propia a partir de datos de Hídrica Consultores & Aquaterra Ingenieros (DGA, 2017d).

La estimación de demanda hídrica futura (período 2016 a 2040) para uso pecuario en la cuenca de la Pampa del Tamarugal se muestra en la Tabla 3-32 y en la Figura 3.5.

Tabla 3-32 Proyección demanda hídrica para uso pecuario anual (Mm³/año) – Período 2016-2040 – Subcuencas de la Pampa del Tamarugal.

Año	Subcuenca										Total Cuenca Mm ³ /año
	Pampa del Tamarugal (0170)	Quebrada de Soga (0171)	Quebrada de Aroma (0172)	Quebrada de Tarapacá (0173)	Quebrada de Quipisca (0174)	Quebradas Juan Morales, Sagasca y El Tambillo (0175)	Quebrada de Quisma (0176)	Quebrada de Chacarilla (0177)	Quebrada de Ramada (0178)	Quebradas de Cahuisa y de Chipana (0179)	
2015	24,91	0,57	5,25	4,04	1,44	1,35	0,91	0,83	0,07	0,11	39,48
2016	25,71	0,58	5,48	4,10	1,49	1,39	0,94	0,86	0,08	0,11	40,73
2017	26,26	0,60	5,70	4,13	1,50	1,42	0,97	0,88	0,08	0,11	41,64
2018	26,82	0,61	5,92	4,15	1,52	1,44	0,99	0,91	0,08	0,12	42,55
2019	27,38	0,62	6,14	4,18	1,54	1,47	1,02	0,93	0,08	0,12	43,46
2020	27,94	0,64	6,35	4,20	1,55	1,49	1,05	0,96	0,08	0,12	44,37
2021	28,75	0,65	6,58	4,25	1,58	1,54	1,07	0,98	0,08	0,12	45,62
2022	29,57	0,67	6,81	4,30	1,62	1,58	1,10	1,01	0,08	0,12	46,86
2023	30,39	0,68	7,04	4,35	1,65	1,62	1,13	1,03	0,08	0,12	48,11
2024	31,21	0,70	7,27	4,40	1,68	1,67	1,16	1,06	0,08	0,12	49,35
2025	32,03	0,71	7,50	4,45	1,72	1,71	1,18	1,08	0,08	0,13	50,59
2026	32,85	0,73	7,72	4,50	1,75	1,76	1,21	1,11	0,08	0,13	51,84
2027	33,67	0,74	7,95	4,55	1,78	1,80	1,24	1,13	0,09	0,13	53,08
2028	34,49	0,75	8,18	4,60	1,82	1,85	1,27	1,16	0,09	0,13	54,33
2029	35,31	0,77	8,41	4,65	1,85	1,89	1,29	1,18	0,09	0,13	55,57
2030	36,12	0,78	8,64	4,70	1,88	1,93	1,32	1,21	0,09	0,13	56,81
2031	36,95	0,80	8,87	4,75	1,92	1,98	1,35	1,23	0,09	0,14	58,07
2032	37,78	0,81	9,10	4,80	1,95	2,02	1,38	1,26	0,09	0,14	59,32
2033	38,60	0,83	9,33	4,85	1,98	2,07	1,40	1,28	0,09	0,14	60,58
2034	39,43	0,84	9,56	4,90	2,02	2,11	1,43	1,31	0,09	0,14	61,83
2035	40,25	0,86	9,79	4,95	2,05	2,15	1,46	1,33	0,09	0,14	63,09
2036	41,08	0,87	10,02	5,00	2,08	2,20	1,49	1,36	0,10	0,14	64,34
2037	41,91	0,89	10,25	5,05	2,12	2,24	1,51	1,38	0,10	0,15	65,6
2038	42,73	0,91	10,48	5,10	2,15	2,29	1,54	1,41	0,10	0,15	66,85
2039	43,56	0,92	10,72	5,15	2,18	2,33	1,57	1,43	0,10	0,15	68,11
2040	44,38	0,94	10,95	5,20	2,22	2,38	1,60	1,46	0,10	0,15	69,36

Fuente: elaboración propia a partir de datos de Hídrica Consultores & Aquaterra Ingenieros (DGA, 2017d).



Fuente: elaboración propia a partir de datos de Hídrica Consultores & Aquaterra Ingenieros (DGA, 2017d)

Figura 3.5 Proyección demanda hídrica para uso pecuario anual (Mm³/año) – Período 2016-2040 – Subcuencas de la Pampa del Tamarugal

3.6.2 Demanda hídrica para uso forestal

La demanda actual (con año base en 2015) para el uso productivo forestal para la cuenca de la Pampa del Tamarugal y sus respectivas subcuencas se presenta en la Tabla 3-33, en términos de caudales medios anuales (m³/s y l/s) y volumen anual demandado (miles de m³ al año, Mm³/año).

Tabla 3-33 Estimación demanda hídrica uso forestal actual para la cuenca de la Pampa del Tamarugal (año base: 2015).

Código subcuenca	Nombre Subcuenca	Demanda hídrica forestal actual (2015)		
		Mm³/año	m³/s	l/s
0170	Pampa del Tamarugal	1.620	0,051	51
0172	Quebrada de Aroma	130	0,004	4
0173	Quebrada de Tarapacá	112	0,004	4
TOTAL CUENCA				
017	Pampa del Tamarugal	1.862	0,059	59

Fuente: elaboración propia a partir de datos de Hídrica Consultores & Aquaterra Ingenieros (DGA, 2017d).

Efectuando el desglose según el enfoque metodológico, se tiene el uso productivo correspondiente a plantaciones forestales y por otro lado el uso no productivo correspondiente a bosque nativo y otras coberturas vegetales. En la Tabla 3-34, se

presentan los valores de demanda hídrica para el uso productivo y no productivo por subcuenca, en términos de volumen anual demandado (miles de m³ al año, Mm³/año).

Tabla 3-34 Estimación demanda hídrica uso forestal actual para la cuenca de la Pampa del Tamarugal (año base: 2015).

Código subcuenca	Nombre Subcuenca	Demanda hídrica forestal actual para uso productivo (2015)			Demanda hídrica forestal actual para uso NO productivo (2015)		
		Mm ³ /año	m ³ /s	l/s	Mm ³ /año	m ³ /s	l/s
0170	Pampa del Tamarugal	674	0,021	21	946	0,030	30
0172	Quebrada de Aroma	130	0,004	4	0	0,000	0
0173	Quebrada de Tarapacá	112	0,004	4	0	0,000	0
TOTAL CUENCA							
017	Pampa del Tamarugal	916	0,029	29	946	0,030	30

Fuente: elaboración propia a partir de datos de Hídrica Consultores & Aquaterra Ingenieros (DGA, 2017d).

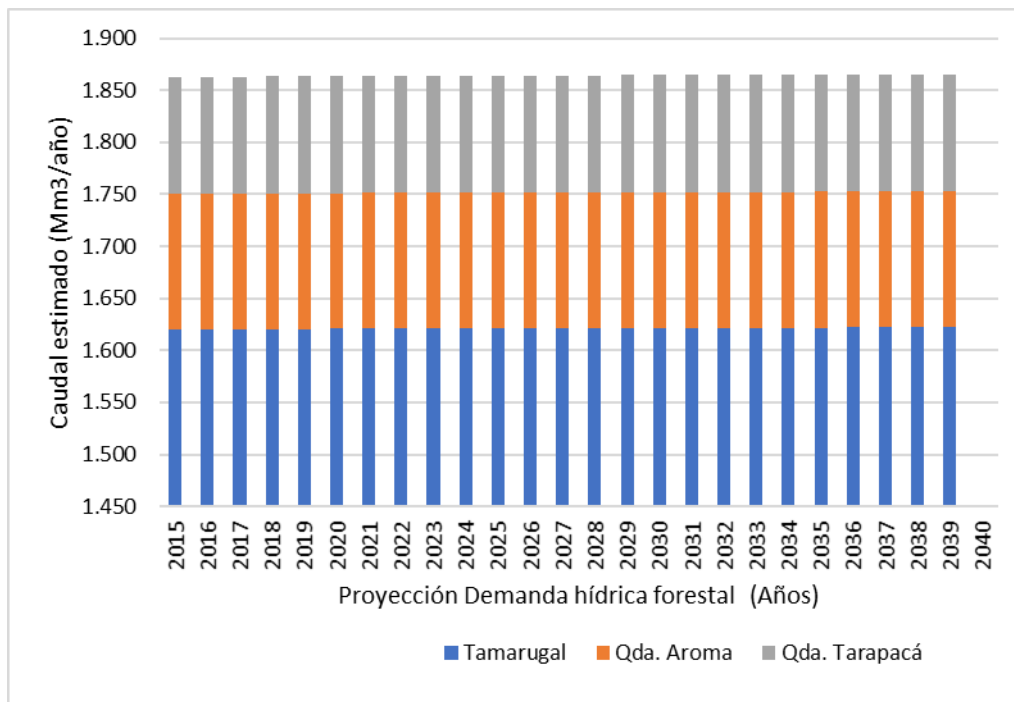
La estimación de demanda hídrica futura (período 2016 a 2040) para uso forestal en la cuenca de la Pampa del Tamarugal se muestra en la Tabla 3-35 y en la Figura 3.6.

Tabla 3-35 Proyección demanda hídrica para uso forestal anual (Mm³/año) – Período 2016-2040 – Subcuencas de la Pampa del Tamarugal.

Año	Subcuenca			Total Cuenca Mm ³ /año
	Pampa del Tamarugal (0170)	Quebrada de Aroma (0172)	Quebrada de Tarapacá (0173)	
2015	1.620,10	130,4	112,3	1.862,80
2016	1.620,30	130,4	112,3	1.863,00
2017	1.620,40	130,4	112,3	1.863,10
2018	1.620,50	130,4	112,3	1.863,30
2019	1.620,60	130,4	112,4	1.863,40
2020	1.620,70	130,4	112,4	1.863,50
2021	1.620,80	130,5	112,4	1.863,60
2022	1.620,90	130,5	112,4	1.863,80
2023	1.621,00	130,5	112,4	1.863,90
2024	1.621,10	130,5	112,4	1.864,00
2025	1.621,20	130,5	112,4	1.864,10
2026	1.621,20	130,5	112,4	1.864,20
2027	1.621,30	130,5	112,4	1.864,30
2028	1.621,40	130,5	112,5	1.864,40
2029	1.621,50	130,6	112,5	1.864,50
2030	1.621,50	130,6	112,5	1.864,60
2031	1.621,60	130,6	112,5	1.864,70
2032	1.621,70	130,6	112,5	1.864,80
2033	1.621,80	130,6	112,5	1.864,90
2034	1.621,80	130,6	112,5	1.865,00
2035	1.621,90	130,6	112,5	1.865,10
2036	1.622,00	130,6	112,5	1.865,20
2037	1.622,00	130,7	112,6	1.865,30
2038	1.622,10	130,7	112,6	1.865,40
2039	1.622,20	130,7	112,6	1.865,40
2040	*	*	*	1.865,50

* Según la fuente, no se presenta el dato por subcuenca para el año 2040, sólo el dato total de cuenca.

Fuente: elaboración propia a partir de datos de Hídrica Consultores & Aquaterra Ingenieros (DGA, 2017d).



Fuente: elaboración propia a partir de datos de DGA-Hídrica Consultores & Aquaterra Ingenieros (DGA, 2017d).

Figura 3.6 Proyección demanda hídrica para uso forestal anual (Mm³/año) – Período 2016-2040 – Subcuencas de la Pampa del Tamarugal.

3.6.3 Otras

Demanda hídrica para uso de generación eléctrica

Según el estudio DGA (2017d), en la cuenca no existe demanda actual ni futura de agua relacionada con la generación de energía eléctrica.

Demanda hídrica para uso acuícola

Según el estudio DGA (2017d), en la cuenca no existe demanda actual de agua relacionada con la producción acuícola.

Demanda hídrica para uso turístico

Según el estudio de DGA (2017d), en la cuenca no existe demanda actual de agua relacionada al uso turístico. Además, no hay información de admisibilidad de ZOIT en la región de Tarapacá, por lo que tampoco existiría una demanda futura.

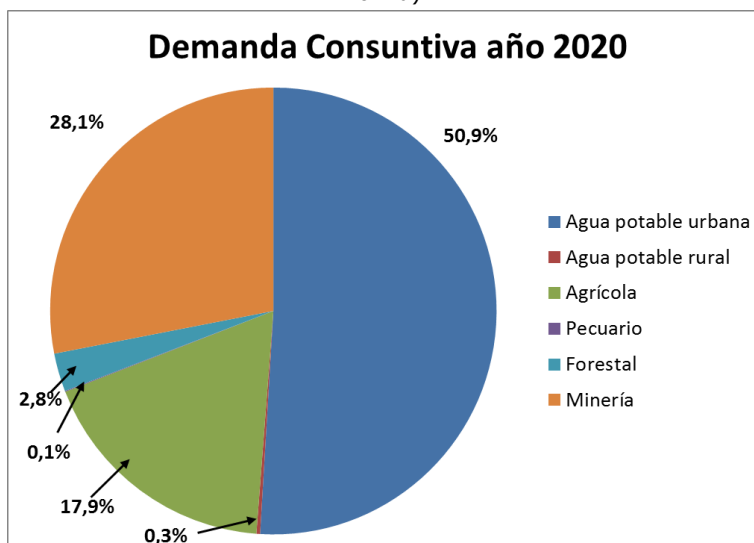
3.7 Síntesis de demanda

En la Tabla 3-36 se presenta una síntesis de la demanda hídrica de la cuenca de la Pampa del Tamarugal, tanto por subcuenca como por tipos de uso, mientras que en la Figura 3.7 se grafica el porcentaje de dichos sectores sobre el total del consumo de agua en la cuenca.

Tabla 3-36 Resumen demanda hídrica real en la cuenca de la Pampa del Tamarugal.

Código sub-cuenca	Nombre Subcuenca	Demanda hídrica consuntiva 2015 (l/s)						
		Agua Potable Urbana	Agua Potable Rural	Agricultura	Ganadería	Forestal	Minería	TOTAL
170	Pampa del Tamarugal	1.086,1	1,1	247,4	0,79	51	541,38	1.927,7
171	Quebrada de Soga	0	0,02	8,04	0,02	0	0	8,08
172	Quebrada de Aroma	0	0,6	12,3	0,17	4	0	17,01
173	Quebrada de Tarapacá	0	2,1	40,4	0,13	4	0	46,59
174	Quebrada de Quipisca	0	0,02	23,9	0,05	0	50,28	74,21
175	Quebradas Juan Morales, Sagasca y El Tambillo	0	1,9	20,5	0,04	0	6,56	28,99
176	Quebrada Quisma	0	0	11,0	0,03	0	0	10,99
177	Quebrada de Chacarilla	0	0	14,8	0,03	0	0	14,86
178	Quebrada de Ramada	0	0	1,3	0	0	0	1,26
179	Quebradas Cahuisa y de Chipana	0	0	2,2	0	0	0	2,16
TOTAL CUENCA								
17	Pampa del Tamarugal	1.086,1	5,64	381,63	1,26	59	598,22	2.131,85
	% Distribución	50,9%	0,3%	17,9%	0,1%	2,8%	28,1%	

Fuente: elaboración propia a partir de datos de DGA-Hídrica Consultores & Aquaterra Ingenieros (DGA, 2017d).



Fuente: elaboración propia a partir de datos de DGA-Hídrica Consultores & Aquaterra Ingenieros (DGA, 2017d).

Figura 3.7 Distribución de las demandas consuntivas (año 2020) – Cuenca de la Pampa del Tamarugal.

En la Tabla 3-37 se presenta un resumen de los valores de demandas consuntivas y no consuntivas por sector económico tanto para el presente como para los años 2030 y 2040.

Tabla 3-37 Resumen de demandas de la cuenca de la Pampa del Tamarugal.

Sector	Año 2020		Año 2030		Año 2040	
	(Mm ³ /año)	(m ³ /s)	(Mm ³ /año)	(m ³ /s)	(Mm ³ /año)	(m ³ /s)
Agua potable urbana	34.252,0	1,086	46.171,9	1,464	54.281,3	1,721
Agua potable rural	177,5	0,006	244,0	0,008	252,3	0,008
Agrícola	13.671,7	0,434	13.016,9	0,413	12.969,6	0,411
Pecuario	39,5	0,001	56,8	0,002	69,4	0,002
Forestal	1.862,0	0,059	1.864,6	0,059	1.865,5	0,059
Minería	18.865,2	0,598	22.867,8	0,725	27.068,9	0,858

Fuente: elaboración propia a partir de datos de DGA-Hídrica Consultores & Aquaterra Ingenieros (DGA, 2017d).

3.8 Monitoreo de extracciones efectivas

En la cuenca de la Pampa del Tamarugal existe información del Monitoreo de Extracciones Efectivas (MEE) reciente, cuyos datos levantados desde la web de la DGA se muestran en la Tabla 3-38, y la que ha sido subida por los titulares de los derechos de aprovechamiento de aguas. Sin embargo, la Tabla 3-38 presenta el MEE de sólo 29 obras o usuarios de 40 que se encuentran ya definidas en la plataforma, los cuales todas son empresas mineras. De la información de las 29 obras, todas presentan un volumen usado menor al derecho de aprovechamiento, el que en su mayoría está cercano al 100% del uso, lo que muestra que el factor de uso minero es de un 100%.

Por otra parte, a pesar de los esfuerzos de reducir la incertidumbre respecto a las extracciones efectivas, existen importantes vacíos de información respecto a la explotación de agua subterránea en el acuífero.

Tabla 3-38 Monitoreo de extracciones efectivas subterráneas del SHAC de Pampa del Tamarugal.

Código Obra	Coordenadas UTM		Nombre del Titular	Fecha registro Obra	Derecho de Aprovechamiento			Monitoreo de Extracciones Efectivas				
	Norte	Este			Registro	Caudal mensual (l/s)	Volumen anual (m ³ /año)	Fecha Inicio	Fecha Fin	Caudal medio (l/s)	Vol. medio (m ³ /año)	% Vol. Usado
OB-0103-101	7786770	423272	Sociedad Química y Minera de Chile S.A.	29/10/2019	Sin registro	16,0	504576	-	-	-	-	-
OB-0103-41	7705115	448361	Sociedad Química y Minera de Chile S.A.	03/10/2019	Sin registro	14,0	441504	31-07-19	30-04-21	13,8	432719	98%
OB-0103-42	7684885	443927	Sociedad Química y Minera de Chile S.A.	03/10/2019	Sin registro	26,0	819936	31-01-19	30-04-21	25,9	806448	98%
OB-0103-43	7685157	446790	Sociedad Química y Minera de Chile S.A.	03/10/2019	Sin registro	20,0	630720	31-01-19	30-04-21	18,6	601949	95%
OB-0103-44	7711974	431189	Sociedad Química y Minera de Chile S.A.	03/10/2019	Sin registro	40,0	1261440	31-01-19	30-04-21	15,1	468655	37%
OB-0103-45	7712068	432313	Sociedad Química y Minera de Chile S.A.	03/10/2019	Sin registro	25,0	788400	31-01-19	30-04-21	19,6	616438	78%
OB-0103-46	7710001	431340	Sociedad Química y Minera de Chile S.A.	03/10/2019	Sin registro	20,0	630720	31-01-19	30-04-21	19,8	621527	99%
OB-0103-47	7710172	430486	Sociedad Química y Minera de Chile S.A.	03/10/2019	Sin registro	20,0	630720	31-01-19	30-04-21	19,8	619885	98%
OB-0103-48	7685338	443238	Sociedad Química y Minera de Chile S.A.	03/10/2019	Sin registro	48,0	1513728	31-01-19	30-04-21	46,1	1490702	98%
OB-0103-53	7710071	429550	Sociedad Química y Minera de Chile S.A.	10/10/2019	Sin registro	30,0	946080	31-01-19	30-04-21	25,2	780042	82%
OB-0103-55	7689291	439176	SQM Potasio S.A	10/10/2019	Sin registro	12,5	394200	31-01-19	30-04-21	10,8	335954	85%
OB-0103-56	7688547	435862	SQM Potasio S.A	10/10/2019	Sin registro	4,0	126144	31-01-19	30-04-21	3,97	124035	98%
OB-0103-57	7687071	434856	SQM Potasio S.A	10/10/2019	Sin registro	7,0	220752	31-01-19	30-04-21	5,6	176638	80%
OB-0103-58	7692116	445510	SQM Potasio S.A	10/10/2019	Sin registro	30,0	946080	31-01-19	30-04-21	29,9	928342	98%
OB-0103-59	7690250	445134	SQM Potasio S.A	10/10/2019	Sin registro	11,0	346896	31-01-19	30-04-21	10,92	341281	98%
OB-0103-73	7805387	411005	Sociedad Química y Minera de Chile S.A.	29/10/2019	Sin registro	7,0	220752	-	-	-	-	-
OB-0103-87	7806946	411899	Sociedad Química y Minera de Chile S.A.	29/10/2019	Sin registro	3,0	94608	-	-	-	-	-
OB-0103-88	7807815	410539	Sociedad Química y Minera de Chile S.A.	29/10/2019	Sin registro	3,0	94608	-	-	-	-	-
OB-0103-90	7808264	411193	Sociedad Química y Minera de Chile S.A.	29/10/2019	Sin registro	6,0	189216	-	-	-	-	-
OB-0103-92	7809541	410605	Sociedad Química y Minera de Chile S.A.	29/10/2019	Sin registro	8,0	252288	-	-	-	-	-

Código Obra	Coordenadas UTM		Nombre del Titular	Fecha registro Obra	Derecho de Aprovechamiento			Monitoreo de Extracciones Efectivas				
	Norte	Este			Registro	Caudal mensual (l/s)	Volumen anual (m ³ /año)	Fecha Inicio	Fecha Fin	Caudal medio (l/s)	Vol. medio (m ³ /año)	% Vol. Usado
OB-0103-98	7819477	405157	Sociedad Química y Minera de Chile S.A.	29/10/2019	Sin registro	6,0	189216	-	-	-	-	-
OB-0104-1	7806469	410777	Cosayach Caliche S.A.	02/08/2019	POZO ALMONTE /124/231/2015, POZO ALMONTE /112/152/2020, POZO ALMONTE /111/151/2020	22,11	697260,96	31-01-19	30-04-21	17,8	504649	72%
OB-0104-115	7688843	435598	ACF MINERA S.A.	09/06/2020	Sin registro	0,3	9461	-	-	-	-	-
OB-0104-116	7689544	438895	ACF MINERA S.A.	09/06/2020	Sin registro	5,5	173448	31-01-19	30-04-21	3,12	88235	51%
OB-0104-117	7689333	439571	ACF MINERA S.A.	09/06/2020	Sin registro	0,3	9460,8	31-01-19	30-04-21	0,25	8226	87%
OB-0104-119	7688795	438469	ACF MINERA S.A.	09/06/2020	Sin registro	5,5	173448	31-01-19	30-04-21	4,9	151394	87%
OB-0104-120	7698050	443755	ACF MINERA S.A.	09/06/2020	Sin registro	4,8	151373	30-09-20	30-09-20	5,5	-	-
OB-0104-121	7698724	444295	ACF MINERA S.A.	09/06/2020	Sin registro	10,0	315360	31-01-19	30-04-21	0,01	52	0.02%
OB-0104-122	7699326	445285	ACF MINERA S.A.	09/06/2020	Sin registro	30,0	946080	31-01-19	30-04-21	27,3	849033	90%
OB-0104-123	7700168	445468	ACF MINERA S.A.	09/06/2020	Sin registro	30,0	946080	-	-	-	-	-
OB-0104-26	7758325	418928	Cosayach Caliche S.A.	30/09/2019	POZO ALMONTE /110/149/2019, POZO ALMONTE /118/158/2020	10,0	315360	31-03-21	30-04-21	7,5	-	-
OB-0104-3	7803749	417419	Cosayach Caliche S.A.	27/08/2019	POZO ALMONTE /127/192/2014, POZO ALMONTE /113/153/2020	9,0	283824	30-06-2019	30-04-21	7,0	217624	77%
OB-0104-4	7803564	417606	Cosayach Caliche S.A.	05/09/2019	POZO ALMONTE /126/187/2014 POZO ALMONTE /114/154/2020	7,9	249134	30-06-2019	30-04-21	7,4	229769	92%
OB-0104-54	7687357	445711	Sociedad Química y Minera de Chile S.A.	10/10/2019	Sin registro	13,0	409968	31-01-2019	30-04-21	12,4	400925	98%
OB-0104-60	7706575	446816	Sociedad Química y Minera de Chile S.A.	10/10/2019	Sin registro	45,0	1419120	31-01-2019	30-04-21	42,6	1323902	93%
OB-0104-61	7705142	446296	Sociedad Química y Minera de Chile S.A.	10/10/2019	Sin registro	27,3	860933	31-01-2019	30-04-21	27,1	842606	98%
OB-0104-62	7705760	447626	Sociedad Química y Minera de Chile S.A.	10/10/2019	Sin registro	40,8	1286669	31-01-2019	30-04-21	36,6	1118952,66 7	87%
OB-0104-63	7710075	429565	Sociedad Química y Minera de Chile S.A.	10/10/2019	Sin registro	30,0	946080	31-01-2019	30-04-21	26,3	840382	89%

Fuente: Monitoreo de Extracciones efectivas DGA.

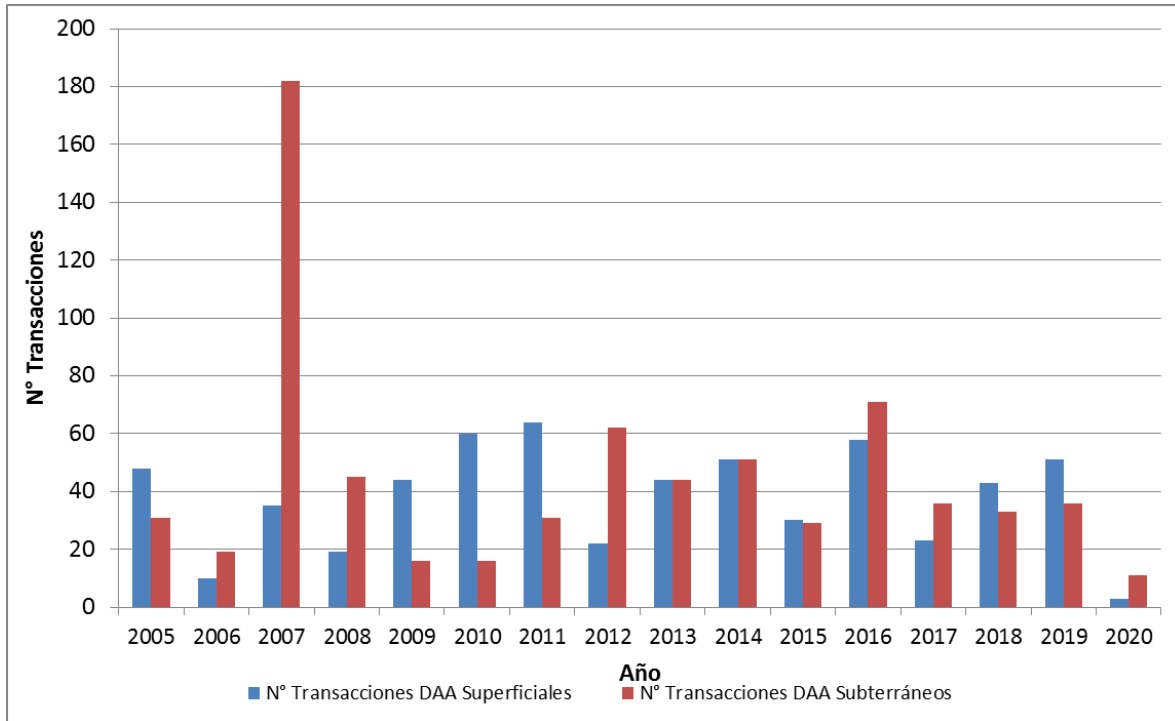
3.9 Mercado de aguas

Respecto a la información descrita del Mercado del Agua en los estudios de la región, sólo se puede mencionar los de CNR (2017) y DGA (2012c), en el que ambos describen que en la región no existe un mercado público establecido de transacción de derechos de aprovechamiento de aguas. Las transacciones de compraventa de derechos de agua se realizan de manera privada, en el que la información pública no es del todo precisa, pero que si queda registrada en el Conservador de Bienes Raíces, y que a la fecha ningún estudio lo ha levantado.

La única información de transacciones registradas en la región, es la que se cuenta al día de hoy en la web de la DGA en el ítem de Mercado del Agua, específicamente en "Inscripciones de Derechos de Aprovechamiento de Aguas en Conservadores de Bienes Raíces", en el que se puede obtener el número de transacciones de compraventa de derechos de aprovechamiento de aguas (DAA) desde el año 2005, así como el caudal y su precio de transacción. Sin embargo, pareciera que la información no está del todo precisa, ya que faltan datos, algunos son anómalos, o las unidades no están claras.

3.9.1 Número de Transacciones

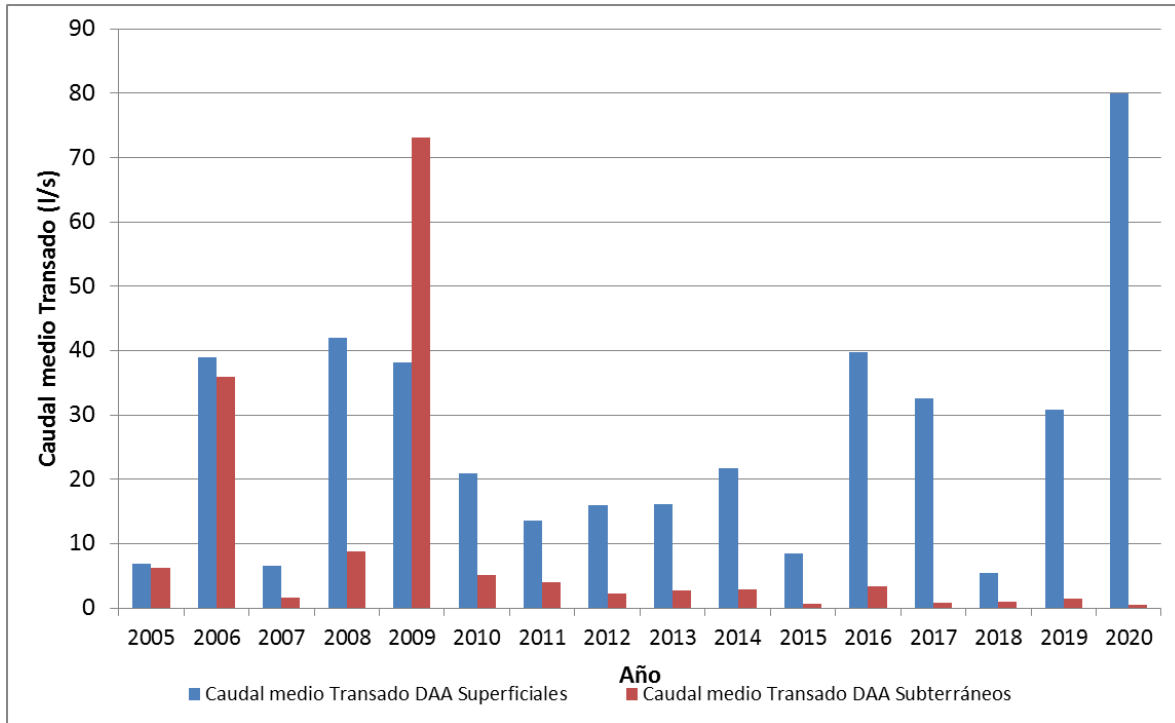
Según se puede observar en la Figura 3.8, el número de transacciones varían anualmente entre 20 y 40, en el que algunos años se registran menores valores, pero que incluso se llegó a registrar un peak de 182 transacciones de agua subterránea el año 2007, producto de la entrada en vigencia de la ley 20.017 que vino a regular el uso del derecho.



Fuente: elaboración propia a partir de DGA (web).

Figura 3.8 N° de Transacciones de derechos superficiales y subterráneos informados por el CBR a la DGA, desde año 2005-2020.

Al observar los caudales medios transados, en la Figura 3.9, se puede ver que el orden de magnitud de los caudales es bastante menor, lo que refleja la escasez del recurso hídrico. Así mismo, se da cuenta de que los caudales superficiales transferidos son en general bastante mayores a los subterráneos, a excepción del año 2009 en el que el caudal medio subterráneo transferido supera casi al doble al superficial.



Fuente: elaboración propia a partir de DGA (web).

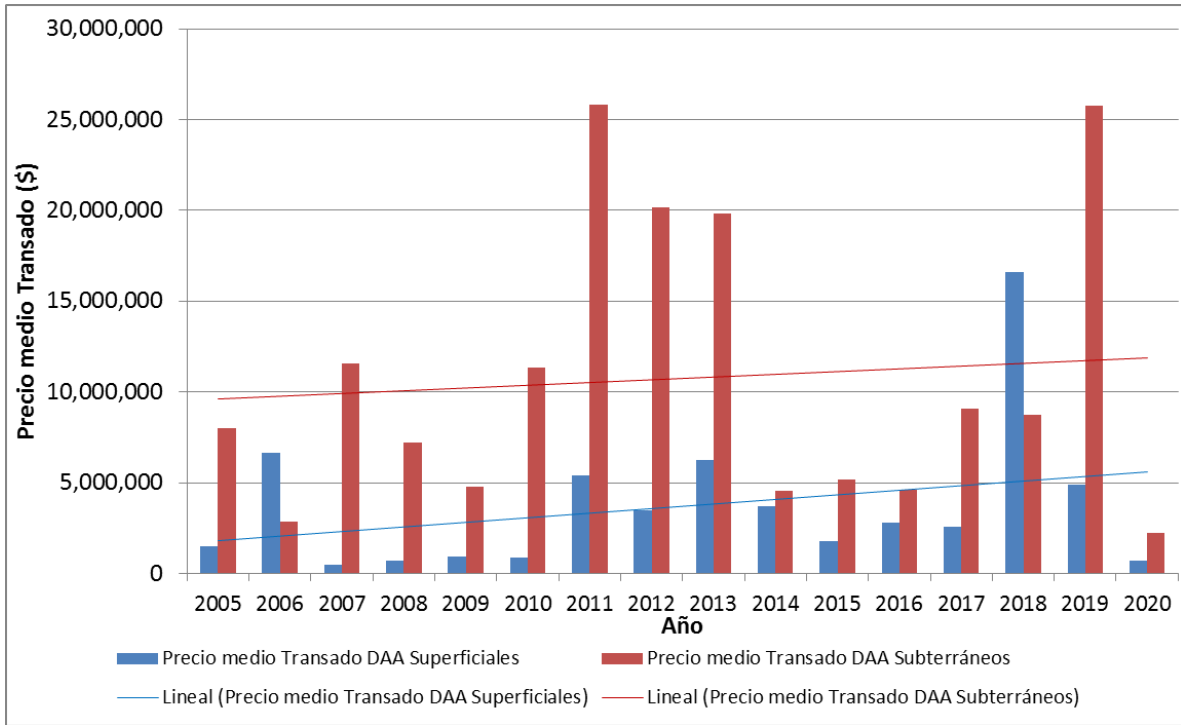
Figura 3.9 Caudales medios transados de derechos superficiales y subterráneos informados por el CBR a la DGA, desde año 2005-2020.

3.9.2 Valor del Agua

Según se puede observar en la Figura 3.10, los precios medios netos transados entre el 2005 y 2020 han tenido tendencias ascendentes, tanto de los DAA superficiales como subterráneos. Es más, se destaca el fuerte aumento que registraron los precios de los derechos subterráneos a contar del año 2011, en que se registró un aumento de más del doble con respecto al año anterior. Este se debió a quince transacciones de DAA subterráneos por parte de una minera no metálica que terminó pagando un gran valor por 28 l/s adquiridos.

En el caso de las transacciones de los DAA superficiales, los precios son relativamente homogéneos en el periodo, a excepción del año 2018, en que el precio también se ve alterado por una transacción elevada por un proyecto minero por 15 l/s.

Como se ha comentado, el aumento en los precios del agua subterránea y superficial ha sido observado tanto en transacciones donde el comprador es la minería como en grandes proyectos agrícolas, lo que indica que el aumento en el precio es un signo de la escasez relativa que es transversal a todas las actividades económicas y de la mayor demanda de agua producto del crecimiento económico de la región en los últimos años.



Fuente: elaboración propia a partir de DGA (web).

Figura 3.10 Precios medios de las transacciones de derechos de agua superficiales y subterráneos en la región de Tarapacá entre 2005 y 2020.

4. OFERTA HÍDRICA

En el siguiente capítulo, se presenta la oferta hídrica de la cuenca de la Pampa del Tamarugal, tanto de los recursos hídricos disponibles a nivel superficial, como los de tipo subterráneo.

4.1 Agua superficial

A continuación, se identifica, caracteriza, cuantifica y proyecta la oferta hídrica de tipo superficial en la cuenca de la Pampa del Tamarugal. Se indican las fuentes de agua superficial, la oferta de cada una de ellas, la oferta proyectada, la calidad del agua actualmente, se identifican posibles fuentes de contaminación, se indica la oferta total de agua superficial y se presentan los derechos de agua superficial concedidos.

4.1.1 Fuentes

En el siguiente apartado, se identifican las distintas fuentes de agua superficial de la cuenca de la Pampa del Tamarugal.

Identificación

La cuenca de la Pampa del Tamarugal es una cuenca endorreica que comprende una serie de quebradas que fluyen de este a oeste, cuyas cabeceras se encuentran cercanas a la cota 5.500 m s.n.m. y definen subcuencas. De acuerdo a lo presentado en la sección 2.1.2.1, se han definido 13 subcuencas. Algunas de ellas, como Juan de Morales, Sagasca, Tambillos, Quisma y Chacarilla dan origen a grandes abanicos aluviales debido a que se pierden como rasgo erosivo. No obstante, en otras quebradas ocurren escurrimientos esporádicos que fluyen hacia la subcuenca de la Pampa del Tamarugal, donde, dada la naturaleza endorreica de la cuenca, se forman salares. Existen numerosas vertientes en las partes altas de las quebradas de Aroma, Tarapacá, Parca y Tasca-Tambillo, Chacarilla y en la parte más alta de Chipana y Ramada. Las más conocidas son dos vertientes termales (Chusmiza y Mamiña) y las vertientes de la subcuenca de Quisma, que mantienen el oasis de Pica. En el Capítulo 2 se presentan las subcuencas antes mencionadas (Figura 2.1) y las áreas de cada una de ellas (Tabla 2-1)

Subcuenca Pampa del Tamarugal

La subcuenca de la Pampa del Tamarugal se extiende por toda la cuenca de norte a sur, por el sector oeste de la misma. La Cordillera de la Costa define la divisoria de aguas por el oeste, y recibe los aportes intermitentes de las quebradas que conforman las otras subcuencas por el este. En esta subcuenca se ubican los salares de Pintados, de Bellavista y de Sur Viejo. Tiene un área total de 9.656 km².

Subcuenca quebrada de Aroma

Comprende la quebrada de Aroma y sus afluentes. Tiene un área de 1.710 km². En el límite con la zona altiplánica, al este de la subcuenca, destaca el sector geotérmico de Puchuldiza.

Subcuenca quebrada de Huasquiña

La subcuenca de la quebrada de Huasquiña se ubica al sur de la quebrada de Aroma, y comprende una serie de quebradas entre ésta y la quebrada de Aroma. Tiene un área de 817 km² y no presenta flujos de tipo permanentes.

Subcuenca quebrada de Tarapacá

La subcuenca de la quebrada de Tarapacá se ubica al sur de las quebradas de Aroma y Huasquiña, y comprende la quebrada de Tarapacá y sus afluentes, en los sectores de pampa Lirima, Coscaya, y la quebrada de Tarapacá. Tiene un área de 1.951 km².

Subcuenca quebrada Quipisca

La subcuenca de la quebrada de Quipisca se ubica al sur de la quebrada de Tarapacá y comprende la quebrada de Quipisca, la quebrada de Choja y sus afluentes. Tiene un área de 885 km².

Subcuenca quebradas Juan de Morales, Sagasca, y El Tambillo

La subcuenca de las quebradas Juan de Morales, Sagasca, y El Tambillo se ubican al sur de la quebrada de Quipisca y de Choja y comprende las quebradas Juan de Morales, Sagasca, y El Tambillo, además de sus afluentes. Tiene un área de 919 km².

Subcuenca Quebrada Seca

La subcuenca de la quebrada Seca se ubica al sur de la quebrada de Juan de Morales, Sagasca, y El Tambillo y comprende la quebrada Seca y sus afluentes. Tiene un área de 250 km².

Subcuenca quebrada de Quisma

La subcuenca de la quebrada de Quisma se ubica al sur de la quebrada Seca y comprende la quebrada de Quisma y sus afluentes. Tiene un área de 250 km².

La subcuenca de la quebrada de Quisma genera gran interés debido a la existencia del oasis de Pica y de recursos subterráneos que generan y mantienen esta condición natural del oasis. El régimen hidrológico de las quebradas de Quisma y Seca no presentan escurrimientos permanentes sino esporádicos que fluyen desde los Altos de Pica en dirección este-oeste, dependiendo de las precipitaciones del invierno altiplánico. Los escurrimientos en la cuenca se dan en la cabecera de la cuenca y se infiltran o evaporan

antes de llegar a la Pampa del Tamarugal, con excepción de eventos meteorológicos extremos.

Subcuenca Quebrada de Infiernillo

La subcuenca de la quebrada de Infiernillo se ubica al sur de la quebrada Quisma, tiene un área de tan solo 269 km² y está formada por una serie de quebradas ubicadas a media altura en la cuenca. Esta subcuenca no presenta escurrimiento permanente.

Subcuenca Quebrada Sin Nombre

La subcuenca quebrada Sin Nombre se ha definido como el área entre la Quebrada de Infiernillo y la quebrada de Chacarilla. Tiene un área de 211 km² y no presenta escurrimiento permanente.

Subcuenca quebrada de Chacarilla

La subcuenca de la quebrada de Chacarilla se ubica al sur de la quebrada Sin Nombre y comprende la quebrada de Chacarilla, la quebrada de Caya y sus afluentes. Tiene un área de 1.233 km².

Subcuenca quebrada de Ramada

La subcuenca de la quebrada de Ramada se ubica al sur de la quebrada de Chacarilla y comprende la quebrada de Ramada y sus afluentes. Tiene un área de 328 km².

Subcuenca Quebradas Cahuisa y de Chipana

La subcuenca de las quebradas de Cahuisa y de Chipana se ubican al sur de la subcuenca quebrada de Ramada y es la más septentrional de la cuenca de la Pampa del Tamarugal. Comprende las quebradas de Cahuisa y de Chipana y sus afluentes. Tiene un área de 375 km².

Decretos de reserva

No se han dictado decretos de reserva de agua en la cuenca de la Pampa del Tamarugal.

4.1.2 Oferta en la fuente

La oferta en la fuente ha sido estimada a partir de los resultados de la modelación numérica presentados en la sección 5.4 del Anexo H. El caudal superficial medio anual generado por las quebradas corresponde a 898 l/s, para el periodo histórico 1985 – 2019 (Tabla 4-1). Se destaca que estos valores representan un promedio histórico en cuencas que durante ciertos meses pueden encontrarse secas y solo responder a la ocurrencia de eventos extremos.

Tabla 4-1 Caudales medios anuales estimados en período histórico (1985-2019).

Quebrada	Caudal
	l/s
Quebrada de Aroma	356
Quebrada de Huasquiña	15
Quebrada de Tarapacá	247
Quebrada de Quipisca	31
Quebradas Juan de Morales, Sagasca y El Tambillo	36
Quebrada Seca	26
Quebrada de Quisma	11
Quebrada de Infiernillo	8
Quebrada Sin Nombre	6
Quebrada de Chacarilla	138
Quebrada de Ramada o Higuera	14
Quebradas de Cahuisa y de Chipana	10

Fuente: elaboración propia.

4.1.3 Oferta en la fuente proyectada

La oferta en la fuente ha sido estimada a partir de los resultados de la modelación numérica, bajo condiciones de cambio climático, presentados en la sección 7.1.6 del Anexo H. El caudal superficial medio anual generado por las quebradas corresponde a 727 l/s para el escenario futuro en el periodo 2020-2050 (Tabla 4-2). Se destaca que estos valores representan un promedio histórico en cuencas que durante ciertos meses pueden encontrarse secas y solo responder a la ocurrencia de eventos extremos.

Tabla 4-2 Caudales medios anuales futuros (2020 - 2050) y variación respecto al periodo histórico (1985 - 2019).

Quebrada	Caudal	
	l/s	Δ (%)
Quebrada de Aroma	276	-23%
Quebrada de Huasquiña	13	-19%
Quebrada de Tarapacá	200	-19%
Quebrada de Quipisca	27	-15%
Quebradas Juan de Morales, Sagasca y El Tambillo	30	-17%
Quebrada Seca	21	-18%
Quebrada de Quisma	10	-15%
Quebrada de Infiernillo	5	-33%
Quebrada Sin Nombre	5	-24%
Quebrada de Chacarilla	121	-12%
Quebrada de Ramada o Higuera	11	-17%
Quebradas de Cahuisa y de Chipana	8	-15%

Fuente: elaboración propia.

4.1.4 Calidad actual

Las fuentes de información de calidad de aguas superficiales corresponden a las estaciones de monitoreo de calidad de aguas de la DGA y trabajos anteriores que han descrito las características hidroquímicas de la cuenca (CIDERH, 2013a; DGA, 2019b; SERNAGEOMIN, 2014b).

En la cuenca, existen 17 estaciones de calidad de aguas superficiales, de las cuales 10 corresponden a vertientes. La ubicación de las estaciones de calidad de agua superficial se presenta en la Figura 2.44, mientras que los parámetros analizados por cada estación y la vigencia de estas se presentan en el capítulo 5 del Anexo J.

Descripción hidroquímica

En la cuenca, las aguas superficiales presentan variaciones en su composición de aniones (cloruradas- sulfatadas y bicarbonatadas), mientras que en cuanto a cationes se mantienen dentro del tipo sódico-potásico. Las aguas superficiales de origen meteórico localizadas en la zona precordillerana preferentemente están compuestas por aguas frescas a salobres de composición bicarbonatadas, cloruradas y sulfatadas. La salinidad aumenta por procesos de evaporación y disolución de sales en la pampa, pudiendo encontrar aguas superficiales salobres preferentemente de composición clorurada a sulfatada (CIDERH, 2013a).

Según los registros de los análisis químicos de las aguas superficiales de las estaciones DGA Quebrada Tarapacá en Laonzana y Río Coscaya en Saitoco, las aguas serían del tipo sulfatadas cloruradas sódico cálcicas en la quebrada Tarapacá y sulfatadas sódico-cálcicas en el río Coscaya. Esta clasificación se realizó con los valores promedios de los análisis químicos realizados entre los años 1994 y 2006, ya que en dicho periodo se analizaron los cationes y aniones mayoritarios que permiten realizar este tipo de clasificación. Las aguas de la estación Quebrada Tarapacá en Pachica, serían del tipo sulfatadas sódicas, según el Mapa Hidroquímico de Chile (DGA, 2019b).

Los tipos de agua según los análisis hidroquímicos del estudio del SERNAGEOMIN (2017), indican que la mayor parte de las aguas superficiales de la cuenca son del tipo cloruradas sódicas, a excepción de las quebradas Tarapacá y Pica.

Tabla 4-3 Clasificación química aguas superficiales Pampa del Tamarugal.

Nombre Sector	Clasificación química	Salinidad
Soga	clorurada sódica	dulce mineralizada a salobre
Aroma	clorurada sódica	salobre
Tarapacá	sulfatada sódica ± cálcica	dulce moderadamente mineralizada a salobre
Pica	mixta/sulfatada cálcica/sódica	dulce moderadamente mineralizada a salobre
Chacarilla	clorurada sódica	salobre a salada
Bellavista	clorurada sódica	dulce mineralizada a salmuera

Fuente: elaboración propia en base a (SERNAGEOMIN, 2017).

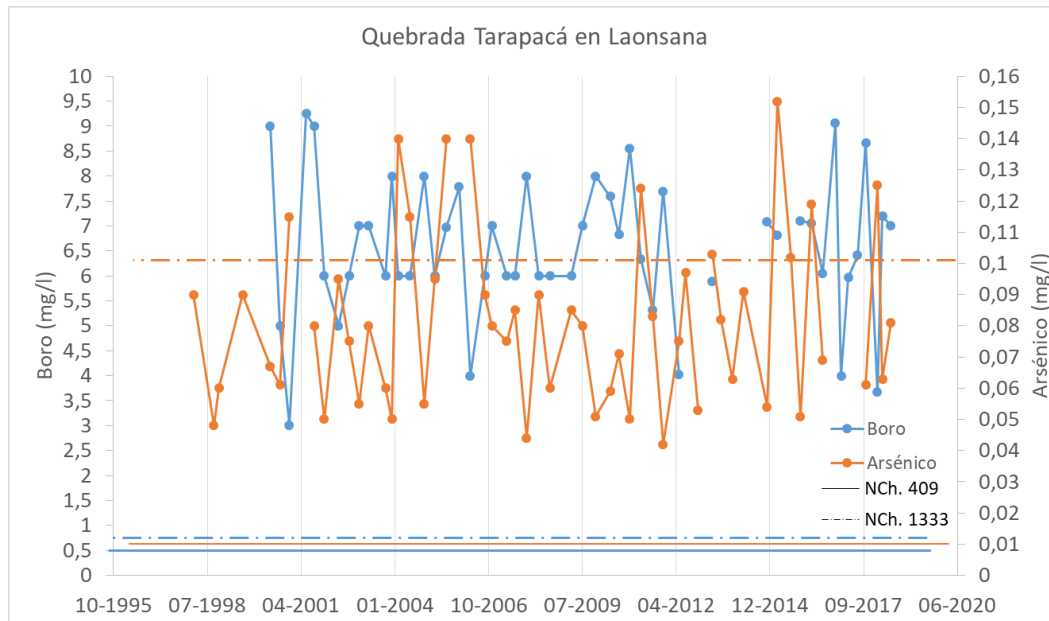
Calidad de aguas superficiales

Para la calidad química se consideran como referencia comparativa los parámetros y criterios de calidad establecidos en las normas chilenas para agua potable (NCh 409/1) y para riego (NCh 1333).

En la Pampa del Tamarugal la calidad de las aguas superficiales se ve mermada especialmente por elementos como el boro y el arsénico, como en el caso de los registros de las mediciones realizadas en las estaciones de calidad de aguas de la DGA Quebrada Tarapacá en Laonzana (Figura 4.1) y Río Coscaya en Saitoco (Figura 4.2), los cuales se encuentran en concentraciones superiores a las permitidas según las normas de calidad. Además, el pH excede el rango permitido para ambas normas en las dos estaciones antes mencionadas, con valores medidos de pH superiores a 9.

El boro no cuenta con un límite establecido en la norma de agua potable, debido a esto se utilizó lo recomendado por la OMS (2006) de 0,5 mg/l, mientras que para la norma de riego se utilizó su límite de 0,75 mg/l.

Según el Mapa Hidroquímico de Chile (DGA, 2019b), la concentración de boro en la estación Quebrada de Tarapacá en Pachica supera casi en 10 veces la concentración permitida en según la NCh 1.333.



Fuente: elaboración propia en base a estadística DGA (1994-2018).

Figura 4.1 Concentración en el tiempo de boro y arsénico en estación Quebrada Tarapacá en Laonzana y comparación con normas de calidad NCh 409 y NCh 1333.

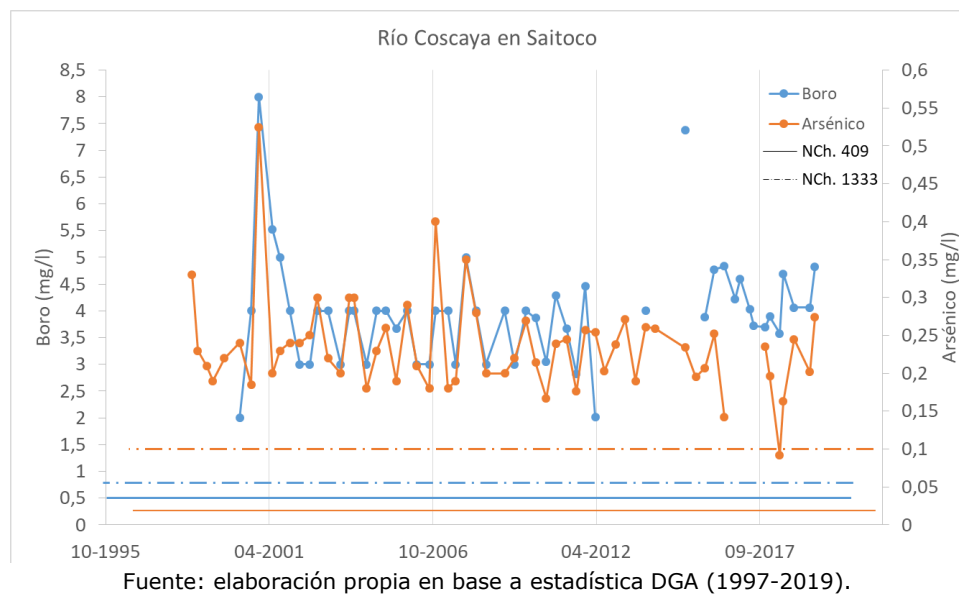


Figura 4.2 Concentración en el tiempo de boro y arsénico en estación Río Coscaya en Saitoco y comparación con normas de calidad NCh 409 y NCh 1333.

De las 16 estaciones de calidad de aguas superficiales de la Pampa del Tamarugal, sólo dos cumplen con niveles promedio inferiores a la norma de agua potable en As (0,01 mg/l), las que corresponden a Vertiente Miraflores y Vertiente el Carmen. La estación Río Aroma destaca con concentraciones de As >2 mg/l (DGA, 2012c).

La evolución temporal de parámetros como el pH, conductividad eléctrica y cloruro para las estaciones DGA, se puede visualizar en la sección 5.6 del Anexo J.

Debido a la alta concentración de elementos nocivos para la salud, como el arsénico, boro y pH, que superan las normas NCh 409 y NCh 1333, las aguas superficiales de la cuenca no se consideran aptas para consumo humano sin un tratamiento previo.

4.1.5 Fuentes de contaminación

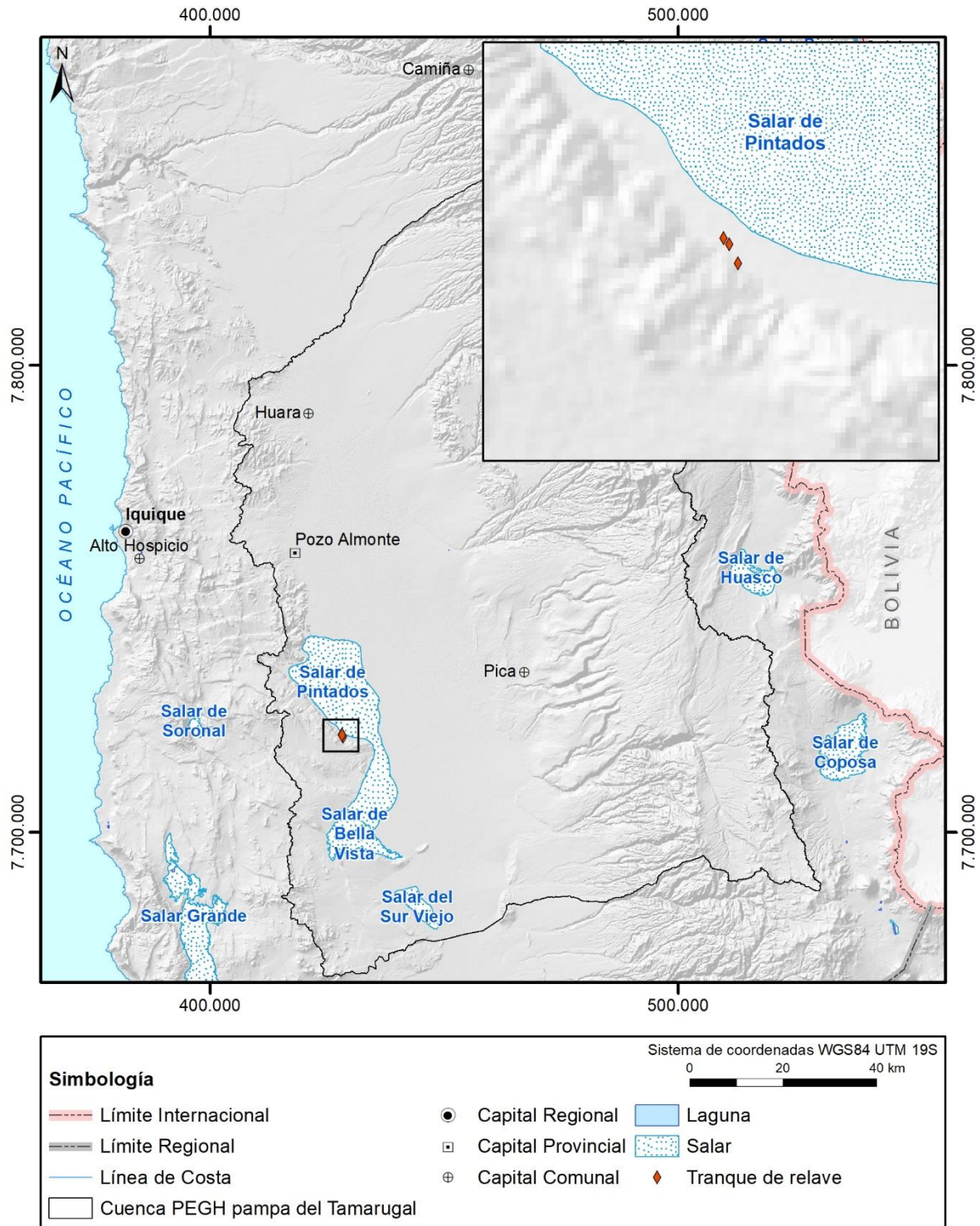
En este apartado se indican las posibles fuentes de contaminación de instalaciones mineras y de pasivos ambientales mineros.

Instalaciones mineras

Tras revisar el catastro de fuentes controladas publicado por la Superintendencia de Servicios Sanitarios respecto al cumplimiento del DS.90 y del DS.46, éste no refleja establecimientos industriales que viertan sus riles en la cuenca. Por otra parte, tras revisar el registro de instalaciones mineras del SERNAGEOMIN (2019), se puede observar que existe una gran cantidad de éstas, cuya ubicación se presenta en la Figura 4.3. Las instalaciones mineras activas se concentran principalmente en la Quebrada Quipisca y en el eje norte-sur poniente de la Pampa del Tamarugal.

Pasivos Ambientales Mineros

Desde el año 2015 el SERNAGEOMIN recopila y actualiza la información del Catastro Nacional del Depósitos de Relaves clasificando los depósitos en cuatro categorías: Activo, Inactivo, Abandonado y en Construcción. Según el Catastro Nacional del Depósitos de Relaves consultado el 22-07-2020, la cuenca cuenta con un tranque de relaves de cobre en la comuna de Pozo Almonte, que se encuentra en estado "Abandonado", los que según la clasificación del SERNAGEOMIN corresponden a aquellos que han completado su vida útil, pero no han tenido un plan de cierre de acuerdo con la ley y regulación, de los cuales a su vez no se tiene conocimiento respecto de su titular. La Figura 4.4 presenta la ubicación de la Faena "La Diamantina" obtenida del catastro antes mencionado.



Fuente: elaboración propia con datos del SERNAGEOMIN.

Figura 4.4 Depósitos de Relaves SERNAGEOMIN.

4.1.6 Oferta de Agua Superficial

La oferta de agua superficial consiste en la precipitación que cae en la cuenca menos las pérdidas que se pudiesen producir por evaporación, evapotranspiración o recarga al acuífero.

La oferta de agua superficial ha sido estimada únicamente para las quebradas aportantes a la pampa, considerando los resultados obtenidos en la modelación numérica presentada en la sección 5.4 del Anexo H. Se han considerado como pérdidas la evapotranspiración que ocurre de manera natural en las quebradas y la estimación de la infiltración al acuífero (detallada en la sección 4.2.2).

Precipitaciones

Según la información de las estaciones meteorológicas de la DGA, la precipitación media anual en la cuenca aumenta gradualmente de 0 a 1 mm/año a una altitud de 1.000 m s.n.m. (estación Huara en Fuerte Baquedano), hasta aproximadamente los 30 mm/año en las estaciones situadas a 2.500 m s.n.m.

Tal como se presentó en la sección 2.1.4, se realizó el análisis de los datos mensuales de precipitación disponibles en CR2MET v2 para el periodo 1985-2019. Con esta metodología, y considerando el área de las quebradas aportantes a la pampa, se obtuvo un valor promedio anual de precipitación de 87 mm/año, que equivale a 26.395 l/s de precipitación, considerando un área para las quebradas de 9.596 km².

Evapotranspiración

Corresponde a la principal pérdida natural en la cuenca que impide que el agua que cae como precipitación, pase a formar parte de la escorrentía o llegue a recargar el sistema acuífero.

La evapotranspiración en las quebradas aportantes fue estimada a partir de la modelación hidrológica presentada en la sección 5.4 del Anexo H y corresponde a 79 mm/año, que equivalen a 24.492 l/s para el área de las quebradas de 9.342 km².

Resultado Oferta de Agua Superficial

Finalmente, la oferta estimada de agua superficial de la cuenca Pampa del Tamarugal sería de 897 l/s, tal como se desglosa en la Tabla 4-4.

Tabla 4-4 Resumen de la oferta de agua superficial para la cuenca Pampa del Tamarugal.

Cuenca	Precipitación (l/s)	Evapotranspiración (l/s)	Recarga al acuífero (l/s)	Oferta (l/s)
Pampa del Tamarugal	26.395	24.492	1.006 (*)	897

(*) Considera los 796 l/s de recarga hacia el acuífero de la Pampa del Tamarugal y lo restante correspondiente al 50% de la recarga desde la Quebrada de Aroma y de la Quebrada de Cahuisa y Chipana hacia otros sectores.

Fuente: elaboración propia.

4.1.7 Derechos concedidos

A continuación, se presenta el análisis de los derechos de aprovechamiento de aguas (DAA) superficiales otorgados en la cuenca de la Pampa del Tamarugal. Los resultados son presentados en función de las siguientes variables:

- DAA otorgados según tipo de solicitud
- DAA otorgados según tipo de Derecho y ejercicio del Derecho

Para el análisis se utilizó la base de datos "Planilla Nacional de Derechos de Aprovechamiento de Aguas" consultada en abril del año 2020.

Cabe mencionar que los resultados que se presentan a continuación consideran la equivalencia genérica 1 acción=1 l/s indicada en el estudio de la DGA "Diagnóstico Nacional de Organizaciones de Usuarios" S.I.T. N.º 422, agosto 2018 (DGA, 2018c). En la Tabla 4-5 se muestra el total de DAA superficiales otorgados en la cuenca de la Pampa del Tamarugal.

Tabla 4-5 DAA superficiales y caudal medio anual otorgados en la cuenca de la Pampa del Tamarugal.

Cuenca	Naturaleza del Agua	Cantidad	Caudal Total (l/s)
Pampa del Tamarugal	Superficial	522	10.404,56

Fuente: elaboración propia.

DAA otorgados según tipo de solicitud

En la Tabla 4-6 se observa la distribución de los DAA superficiales de acuerdo al tipo de solicitud, el cual incluye las categorías Nuevos Derechos (ND), Solicitudes de Regularización (NR), Derechos de Usuarios Antiguos (UA) y Traslado del Ejercicio de los Derechos (VT).

Tabla 4-6 DAA superficiales otorgados y caudal otorgado según tipo de solicitud en la cuenca de la Pampa del Tamarugal.

Tipo de Solicitud	Cantidad		Caudal (l/s)	
	Absoluto	Porcentual	Absoluto	Porcentual
ND	10	1,92%	16,83	0,16%
NR	128	24,52%	1.441,47	13,85%
UA	383	73,37%	8.886,26	85,41%
VT	1	0,19%	60,00	0,58%
Total	522	100,00%	10.404,56	100,00%

*ND: Nuevos Derechos; NR: Solicitudes de Regularización; UA: Derechos de Usuarios Antiguos; VT: Traslado del Ejercicio de los Derechos.

Fuente: elaboración propia.

Según la Tabla 4-6, la mayor parte del caudal otorgado en la cuenca de la Pampa del Tamarugal está asociada a solicitudes de tipo UA (85 %), que corresponden a usuarios antiguos, seguido por solicitudes de tipo NR (14 %), que corresponden a solicitudes de regularización. Esto da cuenta del uso ancestral e histórico de agua en las quebradas de la cuenca, que es donde existe el recurso superficial. Por otra parte, los nuevos derechos

(ND) y los derechos asociados a traslado de ejercicio (VT) son bastante menores. Lo primero responde nuevamente a que el mayor uso de agua superficial en la cuenca es de carácter histórico, mientras el traslado es muy bajo debido a que la mayoría de los derechos son de pequeños usuarios cuyo DAA está al lado de su tierra de cultivo, en zonas que no han cambiado con los años, motivo por el cual no necesitan trasladarlos.

DAA otorgados según tipo de Derecho y ejercicio del Derecho

En la Tabla 4-7 se observa la distribución de los DAA superficiales otorgados según el tipo de DAA y el ejercicio del DAA.

Tabla 4-7 DAA superficiales otorgados según tipo y ejercicio del derecho en la cuenca de la Pampa del Tamarugal.

Tipo de DAA y Ejercicio del DAA	Cantidad		Caudal (l/s)	
	Absoluto	Porcentual	Absoluto	Porcentual
Consuntivo	518	99,23%	10.389,12	99,85%
Eventual y Continuo	2	0,38%	4,94	0,05%
Eventual y Alternado	2	0,38%	6,50	0,06%
Permanente y Continuo	59	11,30%	911,79	8,76%
Permanente y Discontinuo	2	0,38%	26,10	0,25%
Permanente y Alternado	453	86,78%	9.439,79	90,73%
No Consuntivo	4	0,77%	15,44	0,15%
Permanente y Continuo	4	0,77%	15,44	0,15%
Total	522	100,00%	10.404,56	100,00%

Fuente: elaboración propia.

Según la Tabla 4-7, la mayor parte de los DAA superficiales en la cuenca de la Pampa del Tamarugal son de tipo consuntivo y de ejercicio permanente y alternado (91 % del caudal otorgado). Esto se explica en que la mayor parte de los derechos superficiales otorgados corresponden a usuarios de riego, quienes obtienen el agua a través de la red de canales existente durante algunas horas en el día o algunos días a la semana, de acuerdo a lo definido en cada título de dominio, y por ende corresponden a un uso alternado. En segundo lugar, están los derechos permanentes y continuos (11%), mientras que todas las otras categorías representan valores menores al 1%.

Georreferenciación de los DAA

De la base de datos, en la cuenca Pampa del Tamarugal se dispone del 24 % de la información necesaria para la georreferenciación (coordenadas UTM, Datum y Huso) como se observa en la Tabla 4-8.

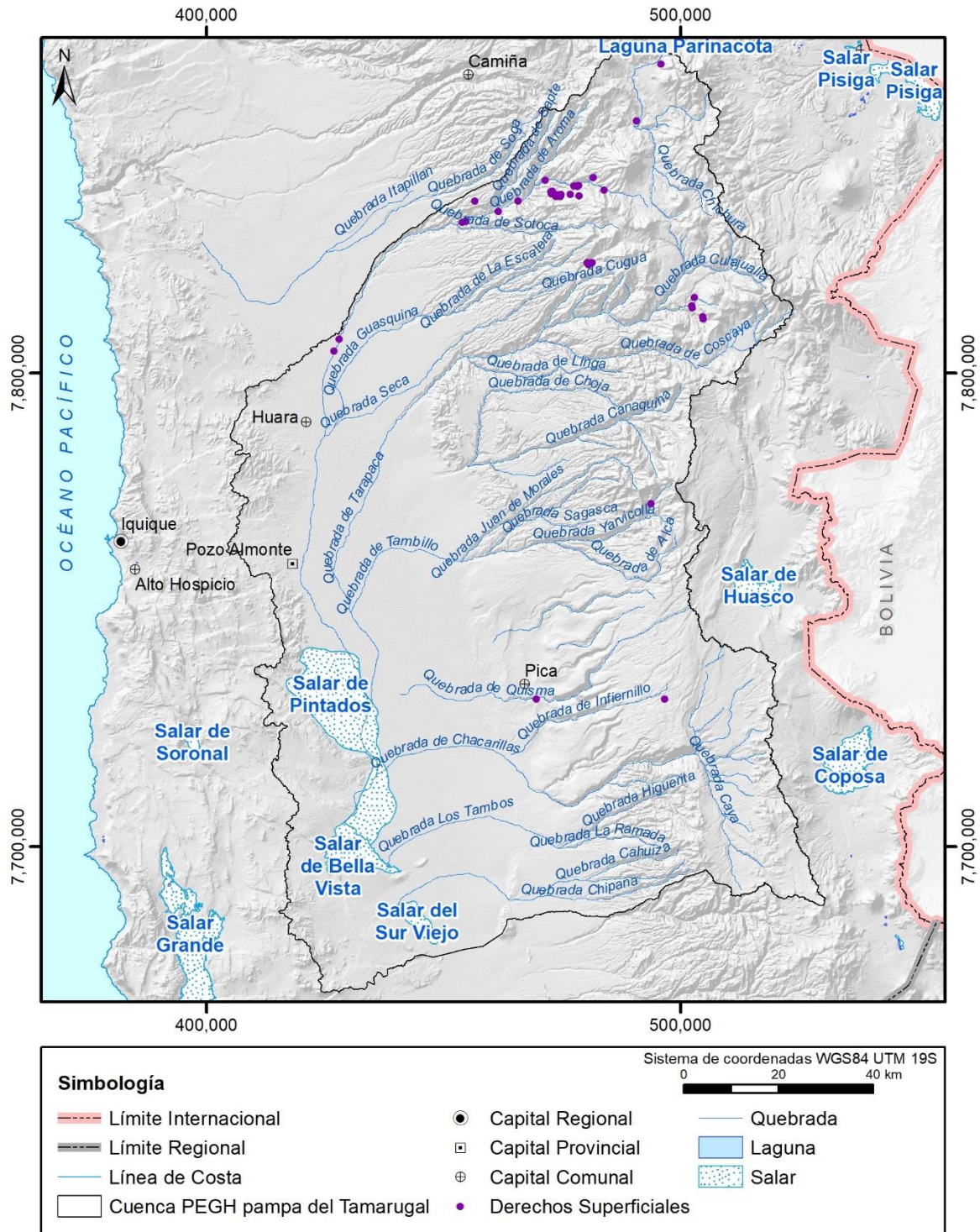
Tabla 4-8 Total de DAA superficiales georreferenciados y no georreferenciados en la cuenca de la Pampa del Tamarugal.

Naturaleza del Agua	DAA Georreferenciado		DAA no Georreferenciado	
	Absoluto	Porcentual	Absoluto	Porcentual
Superficial	124	24%	398	76%

Fuente: elaboración propia.

Tres cuartas partes de los derechos superficiales de la cuenca no cuentan con la información necesaria para su georreferenciación, lo que induce a una incertidumbre

considerable y la necesidad de generar supuestos. En el apartado 5.1 del Anexo H se hace un análisis en detalle de los derechos y extracciones reales. En la Figura 4.5 se muestra la ubicación geográfica de los puntos de captación asociados a cada DAA superficial en la cuenca de la Pampa del Tamarugal.



Fuente: elaboración propia a partir del catastro público de aguas consultado en abril del 2020.

Figura 4.5 Ubicación geográfica de los DAA superficiales en la cuenca de la Pampa del Tamarugal.

4.2 Agua subterránea (SHACs)

A continuación, se identifica, caracteriza, cuantifica y proyecta la oferta hídrica de tipo subterránea en la cuenca de la Pampa del Tamarugal. Se indican los sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común (SHAC), el stock, referido a recarga y niveles, la oferta de cada uno de ellos, la oferta proyectada, la calidad del agua actual, la identificación de posibles fuentes de contaminación, la oferta total de agua subterránea y la presentación de los derechos de agua subterránea concedidos.

4.2.1 Sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común (SHAC)

En los siguientes puntos se identifican las fuentes de aguas subterráneas, se indican los criterios de definición, y se describen los SHAC ubicados en la cuenca de la Pampa del Tamarugal.

Identificación

En el ámbito de la administración de los recursos hídricos se han definido sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común (SHAC). En la cuenca de la Pampa del Tamarugal, de acuerdo a la delimitación actualizada presentada en el Capítulo 2, se definen 3 SHAC, que corresponden a los SHAC de Pampa del Tamarugal, Salar de Sur Viejo y Pica. En la Tabla 4-9 se presentan los sectores de aprovechamiento común, su superficie y estado de explotación, y su distribución geográfica se presenta en la Figura 4.6. Además de los tres sectores mencionados, se incluye, tanto en la Tabla 4-9 como en la Figura 4.6, el SHAC La Noria. Este último se encuentra fuera de la cuenca delimitada en el presente estudio, pero dentro de la cuenca de la Pampa del Tamarugal según la definición BNA.

Tabla 4-9 Sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común en la cuenca de la Pampa del Tamarugal.

Región	Subcuencas	SHAC	Área (km ²)	Situación de explotación de aguas subterráneas según DGA
Tarapacá	Pampa del Tamarugal	Pampa del Tamarugal	4.845	Área de restricción
Tarapacá	Pampa del Tamarugal y Quebradas de Cahuisa y de Chipana	Salar de Sur Viejo	1.093	Área de restricción
Tarapacá	Pampa del Tamarugal y Quebrada de Quisma	Pica	671	Zona de Prohibición
Tarapacá	Pampa del Tamarugal y Pampas El Carmen y De La unión*	La Noria	137	Zona de Prohibición

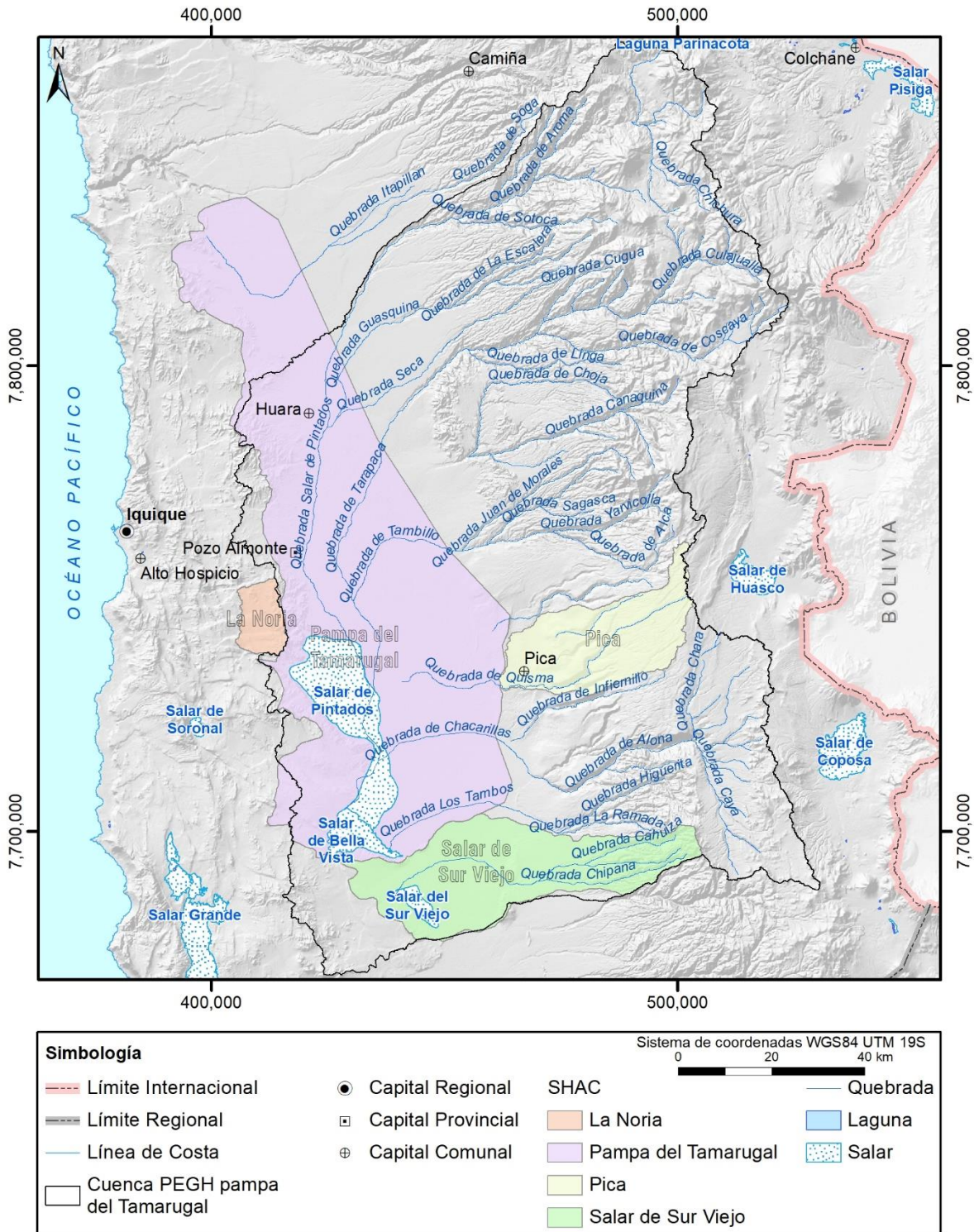
*Ubicado fuera de la cuenca de la Pampa del Tamarugal, de acuerdo a la delimitación del presente estudio, pero dentro de la cuenca BNA Pampa del Tamarugal.

Fuente: elaboración propia.

Criterios de definición

Se define un Sector Hidrogeológico de Aprovechamiento Común (SHAC) como “el acuífero o parte de un acuífero cuyas características hidrológicas espaciales y temporales permiten una delimitación para efectos de su evaluación hidrogeológica o gestión en forma independiente” (DGA, 2014c).

La definición de los SHAC por parte de la DGA, ha sido realizada con el objetivo de lograr un aprovechamiento sustentable de los recursos hídricos, utilizando además como marco legal lo establecido en el Código de Aguas y en el Reglamento de Aguas Subterráneas, debiendo gestionar las solicitudes de derechos de aprovechamiento de aguas, ya sea para constituir las como derechos definitivos o provisionales, o denegarlas en mérito de los antecedentes administrativos, técnicos y legales correspondientes.



Fuente: elaboración propia a partir de datos DGA.

Figura 4.6 Sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común en la cuenca de la Pampa del Tamarugal.

Descripción SHAC

Se describen a continuación los 3 SHAC ubicados dentro de la cuenca de la Pampa del Tamarugal delimitada en este estudio. Dichos SHAC se consideran dentro del estudio de Oferta Hídrica:

Pampa del Tamarugal

Este es el SHAC de mayores dimensiones de la cuenca, alcanzando una superficie de 4.845 km², situado en la Pampa del Tamarugal y cuyo límite occidental lo define la Cordillera de la Costa. Dentro de este sector se encuentran los salares de Pintados y Bellavista.

Pica

Este SHAC cubre un área de 671 km² y se sitúa en el entorno de la comuna de Pica. Corresponde al acuífero de Pica delimitado hacia el este por la Precordillera y por el límite oriental del SHAC Pampa del Tamarugal por el oeste.

Salar de Sur Viejo

Corresponde al SHAC situado más al sur en la cuenca, con un área de 1.093 km². Se ubica al sur del SHAC Pampa del Tamarugal y su límite sur coincide con el límite de la cuenca.

Restricciones

En la cuenca de la Pampa del Tamarugal todos los SHACs presentan restricciones para nuevas solicitudes de uso de aguas subterráneas, ya sea como área de restricción o zonas de prohibición (Tabla 4-10).

Con respecto al estado de explotación, la DGA puede declarar área de restricción de aguas subterráneas en SHACs donde exista un grave riesgo de descenso en los niveles de agua, con ello un perjuicio a los derechos de terceros o cuando informes técnicos emitidos por la misma DGA demuestren que está en peligro la sustentabilidad del acuífero. Una vez emitida la declaración, la DGA sólo podrá emitir derechos provisionales. En la cuenca, los SHACs Pampa del Tamarugal y Salar del Sur Viejo tienen esta condición.

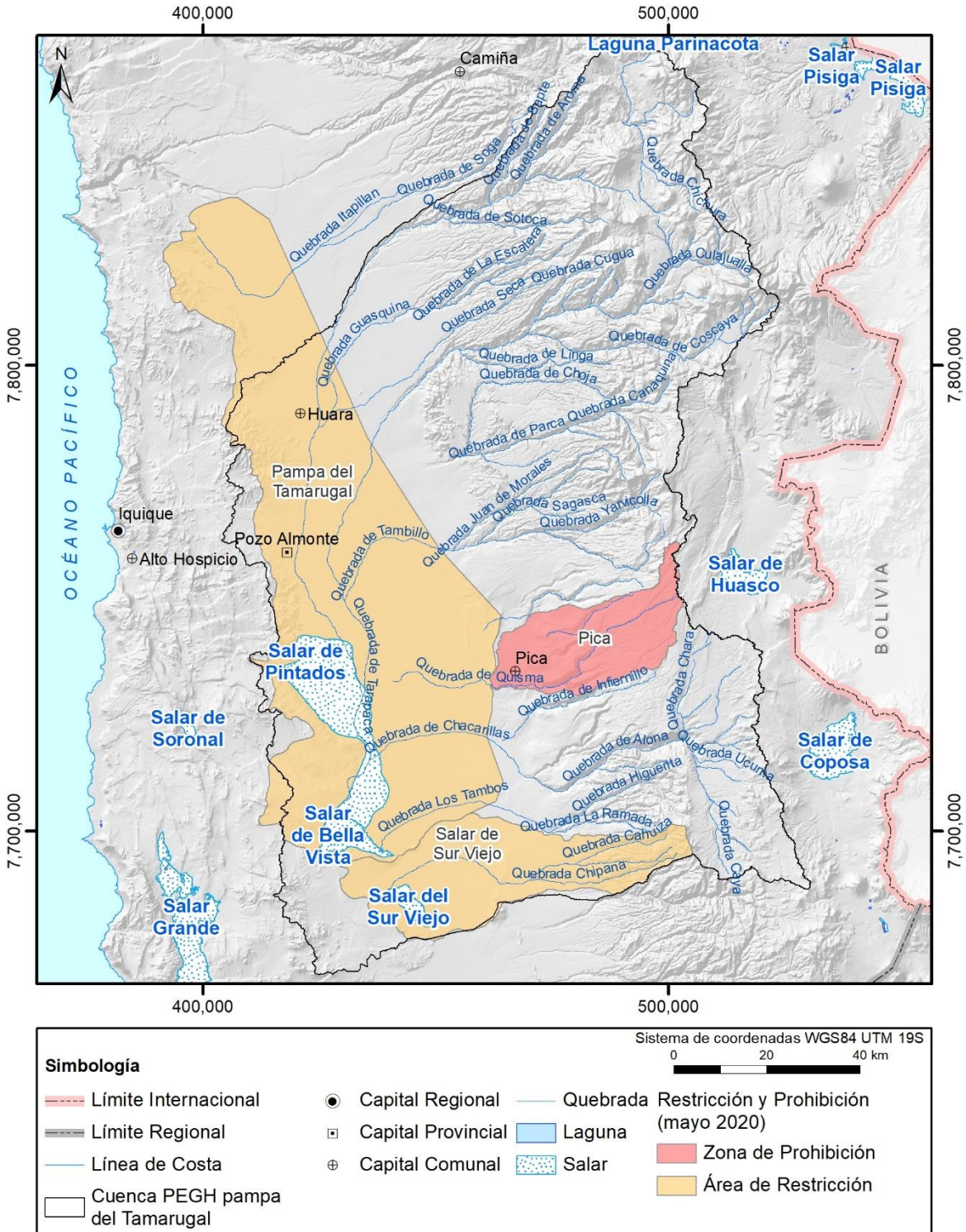
Si la disponibilidad del recurso hídrico se encuentra totalmente comprometida, la DGA puede emitir una declaración de Zona de prohibición para proteger el acuífero, con lo cual no se pueden otorgar derechos. El SHAC de Pica se encuentra en este estado, lo cual fue resuelto posterior a la evaluación del otorgamiento de derechos de aprovechamientos provisionales para el sector, mediante el Informe Técnico DARH N°199, en el que se concluye que en el sector acuífero de Pica los derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas otorgados superan con creces a la oferta total

de recursos hídricos subterráneos, por lo que no es posible otorgar en él derechos de carácter provisionales.

Tabla 4-10 Áreas de Restricción y Zonas de Prohibición de los SHAC de la Cuenca Pampa del Tamarugal.

SHAC		Subcuencas	Situación de explotación de aguas subterráneas según DGA	Fecha resolución	Referencia
Nombre	Área (km ²)				
Pampa del Tamarugal	4.845	Pampa del Tamarugal	Área de restricción	30 de diciembre de 2009	Informe Técnico SDT N°311
Salar de Sur Viejo	1.093	Pampa del Tamarugal y Quebradas de Cahuisa y de Chipana	Área de restricción	08 de marzo de 2004	Informe Técnico N°22
Pica	671	Pampa del Tamarugal y Quebrada de Quisma	Zona de Prohibición	3 de octubre 2018	Informe Técnico DARH N°198 y 199

Fuente: elaboración propia a partir de datos de Mapoteca DGA.



Fuente: elaboración propia a partir de Mapoteca DGA.

Figura 4.7 Zonas de prohibición y áreas de restricción de los SHAC de la cuenca de la Pampa del Tamarugal.

4.2.2 Stock, recarga y niveles

La oferta de agua subterránea está dada por la recarga al acuífero menos las salidas naturales, correspondientes a la evaporación desde los salares y a la evapotranspiración desde las áreas de tamarugos. La recarga se produce por la infiltración de las precipitaciones en las zonas más elevadas, por la infiltración de las quebradas que presentan escurrimiento y, en menor proporción por el agua que se infiltra del retorno del regadío en los campos de cultivo que se da en algunas subcuencas. Algunos autores también consideran una recarga por las precipitaciones que ocurren en el altiplano las que se infiltran y mueven como un flujo subterráneo lento hacia los acuíferos de la pampa. Por otra parte, la DGA considera como oferta para este tipo de acuíferos, el 5% del volumen embalsado para 50 años. Esta estimación también se realiza y se presenta como parte de la oferta subterránea de la cuenca.

En los salares y bosques de tamarugos de la zona de la depresión central ocurre evaporación y evapotranspiración del agua subterránea respectivamente. La evapotranspiración en particular se da básicamente de ese modo, porque en esa zona la precipitación es prácticamente nula. Por este motivo, estas variables se descontaron de la oferta subterránea.

Stock

El modelo numérico desarrollado permitió estimar un volumen inicial embalsado para el acuífero de la Pampa del Tamarugal, obteniendo un valor de 227.263 millones de m³, y un volumen desembalsado para el periodo 1960 a 2019 de 1.278 millones de m³. Sin embargo, existe un alto grado de incertidumbre en la estimación del almacenamiento inicial a través del modelo desarrollado, dado que el modelo monocapa considera espesores saturados que superan el kilómetro en algunos sectores, mientras que las observaciones y las extracciones utilizadas para la calibración de los coeficientes de almacenamiento se concentran casi en totalidad dentro de los primeros 200 metros del acuífero. Debido a esto, y más allá de la existencia de flujos verticales no representados en el modelo monocapa, los valores de almacenamiento ajustados se pueden considerar representativos mayormente de los niveles superiores del acuífero, y no necesariamente de la situación del acuífero a gran profundidad, entregando un resultado global de almacenamiento que no se ajusta necesariamente a la realidad.

Recarga

A continuación, se describe la recarga por volumen embalsado y por quebradas, así como la evaporación y evapotranspiración.

Recarga por volumen embalsado

La DGA, de acuerdo con los criterios contenidos en el "Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos" del año 2008, permite explotar el 5% del volumen embalsado en 50 años en acuíferos de estas características.

Debido a la incertidumbre en la estimación del volumen almacenado a través del modelo numérico desarrollado en el presente estudio, se ha optado por estimar esta recarga en base al estudio DGA (2011b), que ha actualizado la estimación de la oferta del acuífero de la Pampa del Tamarugal modificando el área del acuífero y por ende el volumen embalsado, y además aumentando el periodo de años de 20 a 50 años. Con estas modificaciones, DGA (2011b) obtiene un valor de oferta por este concepto de **874 l/s**. Este valor es sólo del acuífero Pampa del Tamarugal, no considerándose en este cálculo el volumen embalsado del acuífero Pica y del acuífero Salar de Sur Viejo.

Recarga por quebradas

La recarga por las diferentes quebradas de la cuenca ha sido estimada a nivel de subcuencas a través de la modelación hidrológica presentada en la sección 5.4 del Anexo H. Cabe destacar que esta recarga corresponde únicamente al SHAC de Pampa del Tamarugal, que fue el único modelado. Los resultados de la recarga presentados en la sección 5.4.2 del Anexo H indican que la recarga generada por las quebradas que llegan hacia el acuífero corresponde a 796 l/s. Cabe destacar que el flujo de las Quebradas de Cahuisa y Chipana no aportan al acuífero de la Pampa del Tamarugal, mientras que en el caso de la Quebrada de Aroma se consideró un 50% del valor generado. Lo anterior se sustenta en el hecho de que, de acuerdo a las piezometrías desarrolladas por trabajos anteriores existe una divisoria hidrogeológica en la Quebrada de Aroma, donde una porción alimenta a Pampa del Tamarugal y otra al sector de Zapiga (DGA, 2017b). Por otra parte, es posible asociar la recarga desde la Quebrada de Cahuisa y Chipana al SHAC de Salar de Sur Viejo, por un monto de 12 l/s.

Evaporación y Evapotranspiración

En la cuenca Pampa del Tamarugal, los salares de Pintados, Bellavista y Salar de Sur Viejo son las principales zonas donde ocurre la evaporación en el acuífero por las profundidades someras del agua subterránea. En la sección 6.5.4 del Anexo H se detalla el comportamiento adoptado para la evaporación desde los salares.

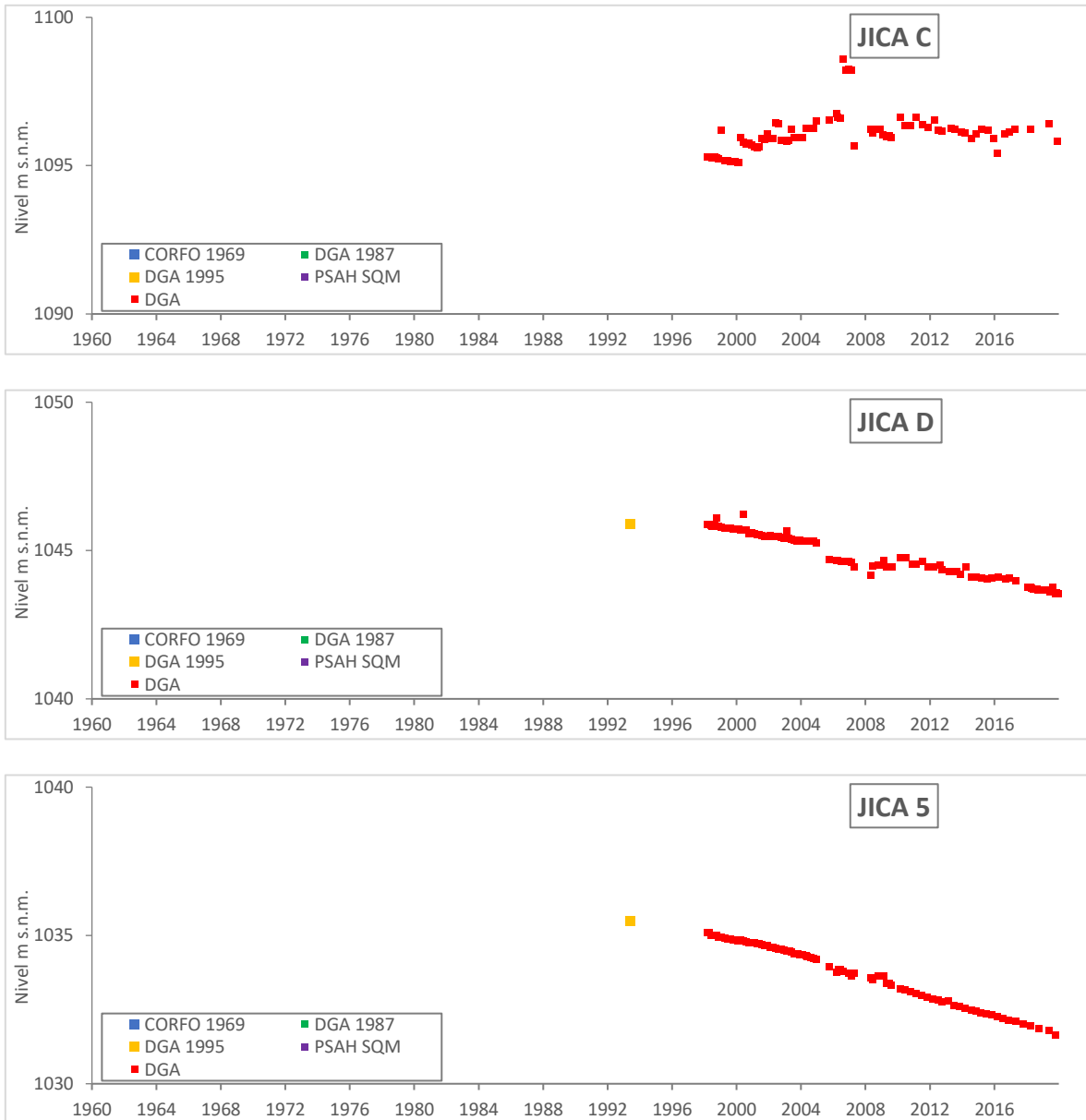
El valor varía en el escenario histórico 1960 – 2019 entre 463 l/s y 226 l/s. Esta disminución queda explicada por el aumento de la demanda antrópica, su influencia sobre los niveles y por ende su influencia sobre la evaporación de los salares en la cuenca.

En cuanto a la estimación de la evapotranspiración desde el bosque de Tamarugos, en la sección 6.5.6 del Anexo H se presenta la metodología adoptada. El valor varía en el escenario histórico 1960 – 2019 ente 219 l/s y 173 l/s. Nuevamente, la disminución queda explicada por el aumento de la demanda en la cuenca.

Niveles

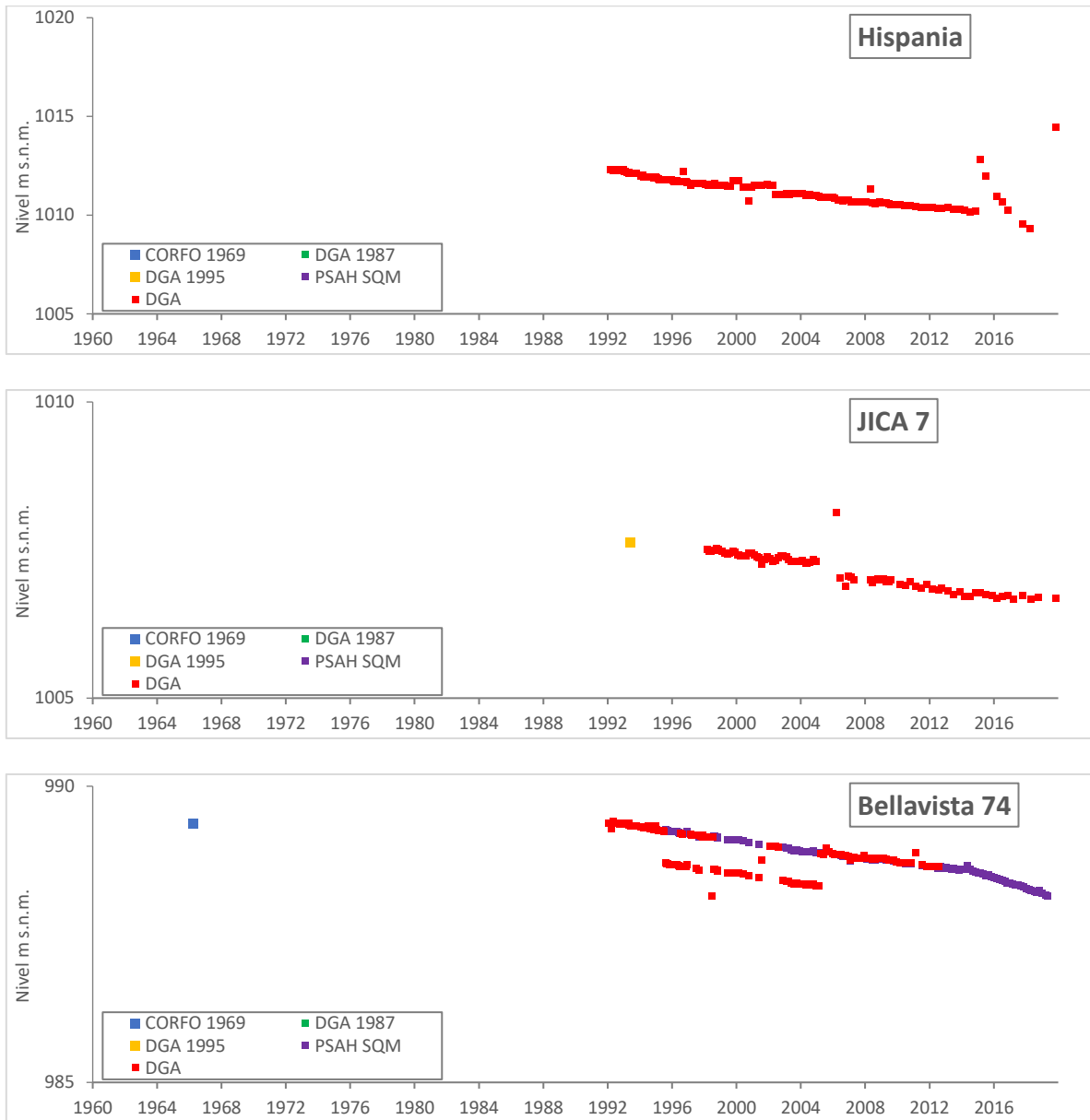
En la Figura 4.8 y en la Figura 4.9 se presentan antecedentes de niveles recopilados desde distintas fuentes (CORFO, 1969; DGA, 1995), Plan de Seguimiento Ambiental

(PSAH) de SQM. Mayores antecedentes respecto a la recopilación de niveles se presentan en la sección 6.6 del Anexo H.



Fuente: elaboración propia.

Figura 4.8 Niveles observados en Pozos de la Pampa del Tamarugal (ubicados de norte a sur).



Fuente: elaboración propia.

Figura 4.9 Niveles observados en Pozos de la Pampa del Tamarugal (ubicados de norte a sur) (cont.).

Resultado Oferta de Agua Subterránea

De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente estudio, la oferta de agua subterránea estimada en la cuenca Pampa del Tamarugal sería de 397 l/s, (que corresponde a la diferencia entre la infiltración desde las quebradas y las pérdidas por evapotranspiración desde tamarugos y evaporación desde el salar, tal como se muestra en la primera fila de la Tabla 4-11. Si a esto se le suma la oferta por el volumen embalsado, estimada por DGA (2011b), de 874 l/s, se obtiene una oferta subterránea total de 1.271 l/s, según se observa en la segunda fila de la Tabla 4-11.

Tabla 4-11 Resumen de la oferta de agua subterránea para la cuenca Pampa del Tamarugal (año 2019).

Cuenca	Infiltración Quebradas (l/s)	Evapotranspiración desde Tamarugos (l/s)	Evaporación desde salares (l/s)	Oferta Subterránea Estimada (l/s)
Pampa del Tamarugal	(+) 796	(-) 173	(-) 226	(+) 397
Cuenca	Oferta Subterránea Estimada (l/s)	Oferta Volumen Embalsado (l/s)	Oferta Total Subterránea (l/s)	
Pampa del Tamarugal	(+) 397	(+) 874	(+) 1.271	

Nota: Los valores (+) representan un aporte a la oferta, mientras que los valores con (-) son una disminución de ella.

Fuente: elaboración propia.

4.2.3 Estadística de parámetros de calidad

La calidad de las aguas en la cuenca es variable según el tipo de fuente, ubicación y profundidad de captación. La principal fuente de agua corresponde a las aguas subterráneas por lo que la información de calidad de agua en los pozos supera en gran medida a la información disponible de las aguas superficiales.

Las fuentes de información de calidad de aguas subterráneas analizadas se pueden agrupar en estaciones de monitoreo de calidad de aguas de la DGA, las cuales corresponden a seis estaciones vigentes y trabajos anteriores que han descrito las características hidroquímicas de la cuenca. La ubicación de las estaciones de calidad se muestra en la Figura 2.44, así mismo los parámetros analizados por cada estación y la vigencia de éstas se presentan en el capítulo 5 del Anexo J.

Descripción hidroquímica

Las aguas subterráneas del acuífero de la Pampa del Tamarugal, de acuerdo a los cationes mayoritarios presentes, son principalmente sódicas y en menor medida cálcicas, mientras que, según los aniones, son principalmente sulfatadas a mixtas y cloruradas (SERNAGEOMIN, 2017). Mayores antecedentes se presentan en el capítulo 5 del Anexo J.

En el sector de la depresión Central, el acuífero somero tendría aguas dulces mineralizadas a dulces moderadamente mineralizadas, en las unidades hidrogeológicas A1, A3 y posiblemente A2, y el acuífero profundo contenido en la unidad hidrogeológica A2 sería de aguas salobres. En el sector de Pica, las aguas del acuífero somero en la unidad hidrogeológica A1, son sulfatadas sódicas y salobres, mientras que en el acuífero profundo son mixtas y bicarbonatadas sódicas, dulces a moderadamente mineralizadas, en la unidad A2 (SERNAGEOMIN, 2017). En el sector de Sur Viejo, las aguas serían cloruradas sódicas y saladas. Las aguas más dulces y menos mineralizadas se encontrarían en la quebrada de Tarapacá, sector Colonia, Pica y Puquío Núñez, mientras que las aguas más saladas a salmueras se presentarían en la quebrada Chacarilla y Bellavista.

La composición química de las aguas en la unidad hidrogeológica A1, es variable según el sector, desde cloruradas sódicas y/o cálcicas a sulfatadas/mixtas sódicas. Las aguas de la unidad A2, son del tipo mixtas sódicas y en menor proporción sulfatadas sódicas. Esta unidad presenta una leve porosidad primaria y una alta porosidad secundaria asociada a las estructuras geológicas (anticlinal La Calera y flexuras Chintaguay y Longacho) a lo que se le asigna parte de esta variabilidad química. Las aguas de la unidad hidrogeológica A3, muestran una notoria diferencia en la química de las aguas subterráneas tanto de norte a sur (entre los salares de Pintados y Bellavista) como de este a oeste. Hacia el norte y este del Salar de Pintados las aguas son principalmente sulfatadas y en menor medida mixtas según los aniones y varían entre mixtas y sódicas para los cationes. Además, varían entre aguas dulces mineralizadas y salobres. Hacia el suroeste del salar, aumenta la proporción de cloruro y sodio. Al este del salar de Bellavista, las aguas varían entre mixta y clorurada para los aniones con una gran dispersión de los cationes entre cálcica y sódica. Hacia el oeste de este salar, todas las aguas son cloruradas sódicas, desde saladas hasta salmueras.

En la Tabla 4-12 se presenta un resumen de la clasificación química de las aguas en la cuenca y su grado de salinidad, de acuerdo a los análisis presentados por SERNAGEOMIN (2017). En la sección 5.2 del Anexo J se puede visualizar la ubicación de cada sector.

Tabla 4-12 Clasificación química y salinidad de las aguas por sector según resultados de SERNAGEOMIN (2017).

Nombre Sector	N° Sector	Tipo de fuente	Unidad Hidrogeológica	Clasificación química	Salinidad
Soga	0	Subterránea y superficial	Sin información	Clorurada sódica	Dulce mineralizada a salobre
Aroma	1	Subterránea y superficial	A1	Clorurada sódica	salobre
Tarapacá	2	Subterránea, superficial y vertientes	A1 y C1	Sulfatada sódica ± cálcica	Dulce moderadamente mineralizada a salobre
Pintados	3	Subterránea	A1	Sulfatada / clorurada cálcica/sódica	Dulce mineralizada a salobre
La Calera	4	Subterránea	A1 y A2	Sulfatada / mixta sódica	salobre
Colonia	5	Subterránea	A1	Mixta / clorurada sódica	Dulce moderadamente mineralizada a salobre
Esmeralda	6	Subterránea	A1	Mixta / sulfatada sódica	Dulce mineralizada
Pica	7	Subterránea y vertientes	A1 y A2	Mixta / sulfatada cálcica / sódica	Dulce moderadamente mineralizada a salobre
Mantilla	8	Subterránea	A1	Mixta / sulfatada sódica	Dulce mineralizada a salobre
Puquio Núñez	9	Subterránea	A1 y A2	Mixta / clorurada sódica	Dulce moderadamente mineralizada a salobre
Chacarilla	10	Subterránea y superficial	A1	Clorurada sódica	Salobre a salada
Bellavista	11	Subterránea y superficial	A3	Clorurada sódica	Dulce mineralizada a salmuera

Fuente: elaboración propia basada en SERNAGEOMIN (2017).

Calidad de aguas subterráneas

La calidad de las aguas subterráneas ha sido analizada con la información de las 6 estaciones de monitoreo de calidad de agua subterráneas de la DGA. Estas estaciones cuentan con un registro de buena continuidad para el periodo comprendido entre los años 1990 y 2019 y son las siguientes: Pozo Quebrada de Aroma, Pozos JICA D, F y E, Pozo Quebrada de Chacarilla, y Pozo en Pachica. La ubicación de estas se puede observar en el capítulo 2.4.2 de Estaciones de Calidad de Aguas.

Para la calidad química se consideran como referencia comparativa los parámetros y criterios de calidad establecidos en las normas chilenas para agua potable (NCh 409/1) y para riego (NCh 1333).

Para la Pampa del Tamarugal la calidad de las aguas es muy variable, con iones metálicos de origen natural por la presencia de la franja metalogénica. Elementos como el Cl, B y As se relacionan con aguas de elevada salinidad (DGA, 2004). Las aguas subterráneas en general, superan las normas de calidad en elementos como el cloruro, boro, arsénico, pH y ocasionalmente en sulfato.

El cloruro es el elemento que se encuentra más excedido en al menos 5 de las 6 estaciones, con valores que alcanzan los 1.500-1.600 mg/l, lo que significa que llega a superar hasta 6-7 veces los límites permitidos por las normas de calidad, como en la estación Pozo Quebrada de Aroma. Sólo en la estación Pozo Quebrada de Chacarilla los valores de este elemento son inferiores a 200 mg/l, bajo el límite de la NCh 1333 y bajo el límite de la NCh 409 (400 mg/l).

La estación Pozo en Pachica, supera ampliamente en sulfato la norma de agua potable (500 mg/l) y riego (250 mg/l), con valores predominantes entre 1.500 y 2.000 mg/l. El resto de los pozos se encuentran generalmente bajo los 500 mg/l.

La estación Pozo Jica E es la única que históricamente cumple con el contenido de arsénico de la NCh 1333 (0,1 mg/l), mientras que todas superan la NCh 409 (0,01 mg/l). Las mayores concentraciones de arsénico se detectan en las aguas subterráneas de las estaciones Pozo Quebrada de Chacarilla y Quebrada de Aroma. Todas las estaciones exceden en concentración de boro. El Boro no cuenta con un límite establecido en la norma de agua potable, debido a esto se utilizó lo recomendado por la OMS (2006) de 0,5 mg/l, mientras que para la norma de riego se utilizó su límite de 0,75 mg/l.

En cuanto al pH, sólo las aguas de las estaciones Pozo en Pachica y Pozo JICA F, se encuentran dentro de los rangos permitidos por las normas (6,5-8,6 NCh 409 y 5,5-9 NCh 1333). Las aguas tienen pH más alcalinos, superiores a 9, en las otras estaciones.

Debido a la alta concentración de elementos nocivos para la salud, como el arsénico, boro, litio y cloruro, que superan las normas NCh 409 y NCh 1333, las aguas subterráneas de la cuenca no se consideran aptas para consumo humano ni para riego sin un tratamiento previo.

Evolución temporal de parámetros

El análisis de evolución temporal de algunos parámetros fisicoquímicos realizado para las 6 estaciones de monitoreo de agua subterráneas de la DGA, indicó en términos generales que la calidad química de las aguas de la cuenca se ha mantenido más bien estable en el tiempo, a excepción de las aguas subterráneas del Pozo Quebrada de Aroma y Pozo en Pachica, las cuales muestran una tendencia al aumento.

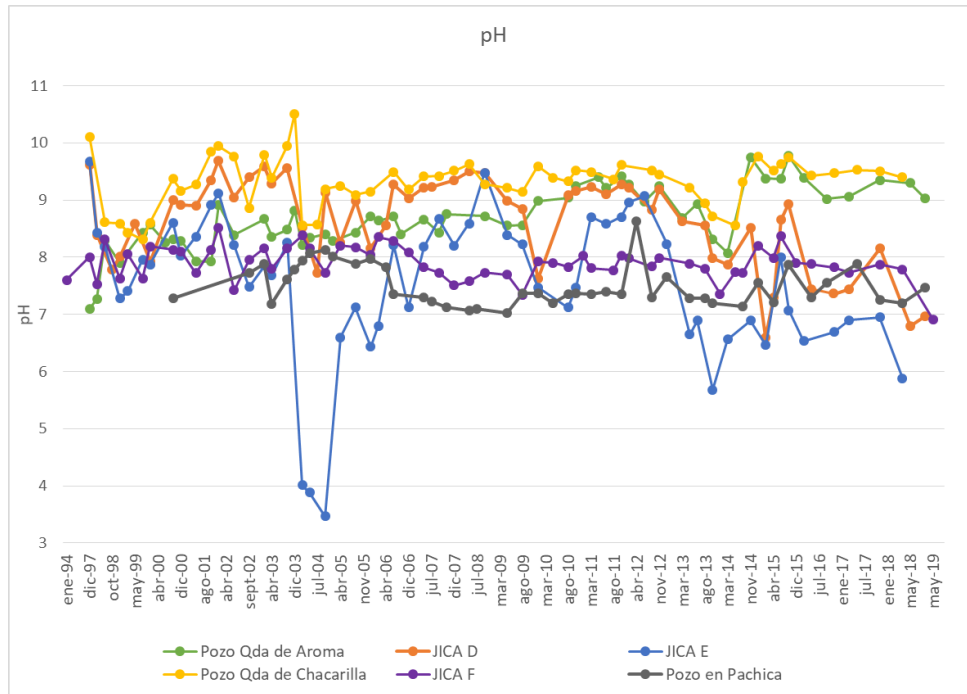
A continuación, se presentan los resultados de la evolución temporal para los parámetros de pH, conductividad eléctrica y cloruro. Los datos fueron obtenidos de los registros de la página web de la DGA, los cuales fueron posteriormente analizados según su tendencia, extrayéndose aquellos valores que se consideraron como "outliers", o fuera del rango de variación de cada parámetro.

pH

El pH en las aguas de la cuenca es principalmente neutro a alcalino, concentrándose la mayor cantidad de mediciones entre 6 y 10. Valores inferiores de pH se han medido en el pozo JICA E, con tres mediciones entre 3,5 y 4 realizadas en el año 2004 que no

corresponden a outliers. Este punto también es uno de los que presenta la mayor variabilidad en los valores, entre 3,5 y 9,7 unidades de pH, con un promedio de 7,5. El Pozo Quebrada de Chacarilla muestra los valores de pH más alcalino, con un mínimo de 8,3, un máximo de 10,5 y un promedio de 9,3 (Figura 4.10)

A pesar de la variabilidad entre las mediciones de la mayoría de los puntos de monitoreo, sólo el pozo Quebrada de Aroma muestra una clara tendencia al aumento de pH, mientras que el pozo JICA D es el único que muestra tendencia a la disminución de este parámetro.



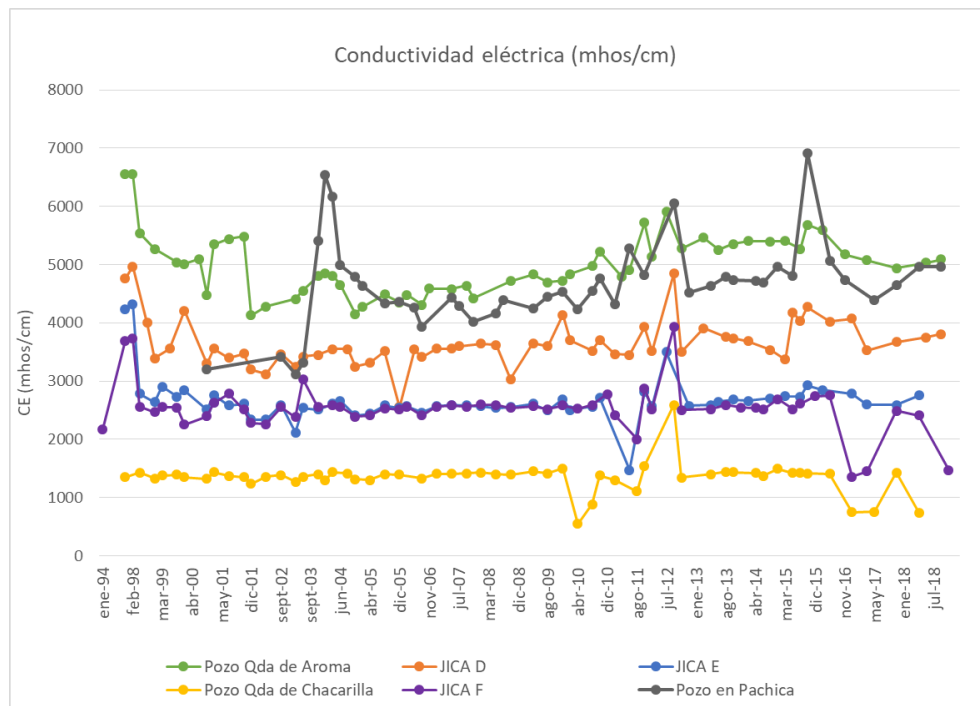
Fuente: elaboración propia.

Figura 4.10 Evolución temporal de pH en estaciones de aguas subterránea en la cuenca Pampa del Tamarugal.

Conductividad Eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica en la cuenca varía entre 550 y 7.000 mhos/cm y sigue un patrón característico y bien definido en cada estación. El pozo Quebrada de Aroma es el punto de monitoreo que presenta los valores más elevados de conductividad en un rango entre 4.130 y 6.550 mhos/cm, mientras que la estación Pozo Quebrada de Chacarilla es aquella que muestra los menores valores, en torno a los 1.200-1.500 mhos/cm (Figura 4.11).

Los pozos muestran una tendencia más bien estable en el tiempo, con peaks de valores coincidentes entre ellos que podrían atribuirse más bien a un tema instrumental, a excepción de las estaciones Pozo Quebrada de Aroma y Pozo en Pachica que muestran tendencia al ascenso.



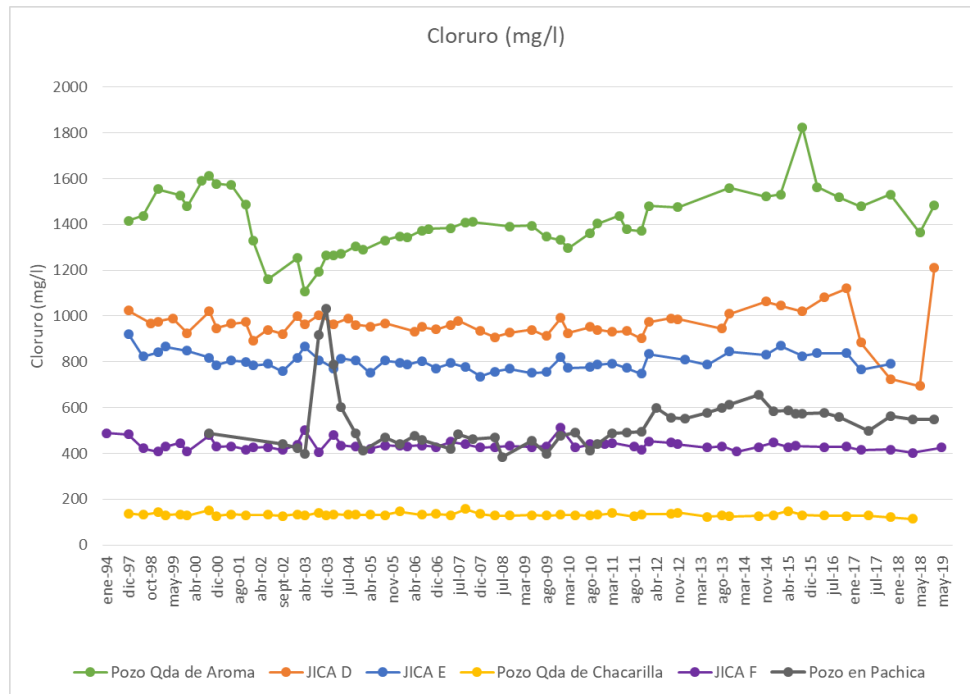
Fuente: elaboración propia.

Figura 4.11 Evolución temporal de conductividad eléctrica en estaciones de aguas subterráneas de la cuenca Pampa del Tamarugal.

Cloruros

La concentración de cloruro en las aguas de la cuenca presenta una gran variabilidad entre las estaciones de la cuenca, encontrándose aguas con valores promedios cercanos a 100-200 mg/l y puntos de monitoreo que superan los 1.400 mg/l. Los menores valores se presentan en el agua subterránea del Pozo Quebrada de Chacarilla siendo en primera instancia la única que cumpliría con las Normas Chilenas de Agua Potable y de Riego. Los máximos valores lo alcanzan las estaciones Pozo JICA D y Pozo Quebrada de Aroma (Figura 4.12).

Los elevados valores de este parámetro son concordantes con las condiciones climáticas, geomorfológicas y geológicas de la región. La evolución de este parámetro en general se ha mantenido bastante estable en el tiempo, a excepción de las estaciones Quebrada de Aroma y Pozo en Pachica, con tendencia al aumento.



Fuente: elaboración propia.

Figura 4.12 Evolución temporal de cloruro en estaciones de agua subterráneas de la cuenca Pampa del Tamarugal.

Parámetros tales como el sulfato, boro y arsénico, que superan también las normas de calidad, han mostrado en general una tendencia estable en el tiempo. En el caso del boro, este elemento ha mostrado una tendencia al descenso en la estación Pozo Quebrada de Aroma, la cual a su vez es la que ha superado en mayor proporción las normas de calidad, con concentraciones medias entre 40 y 20 mg/l de boro.

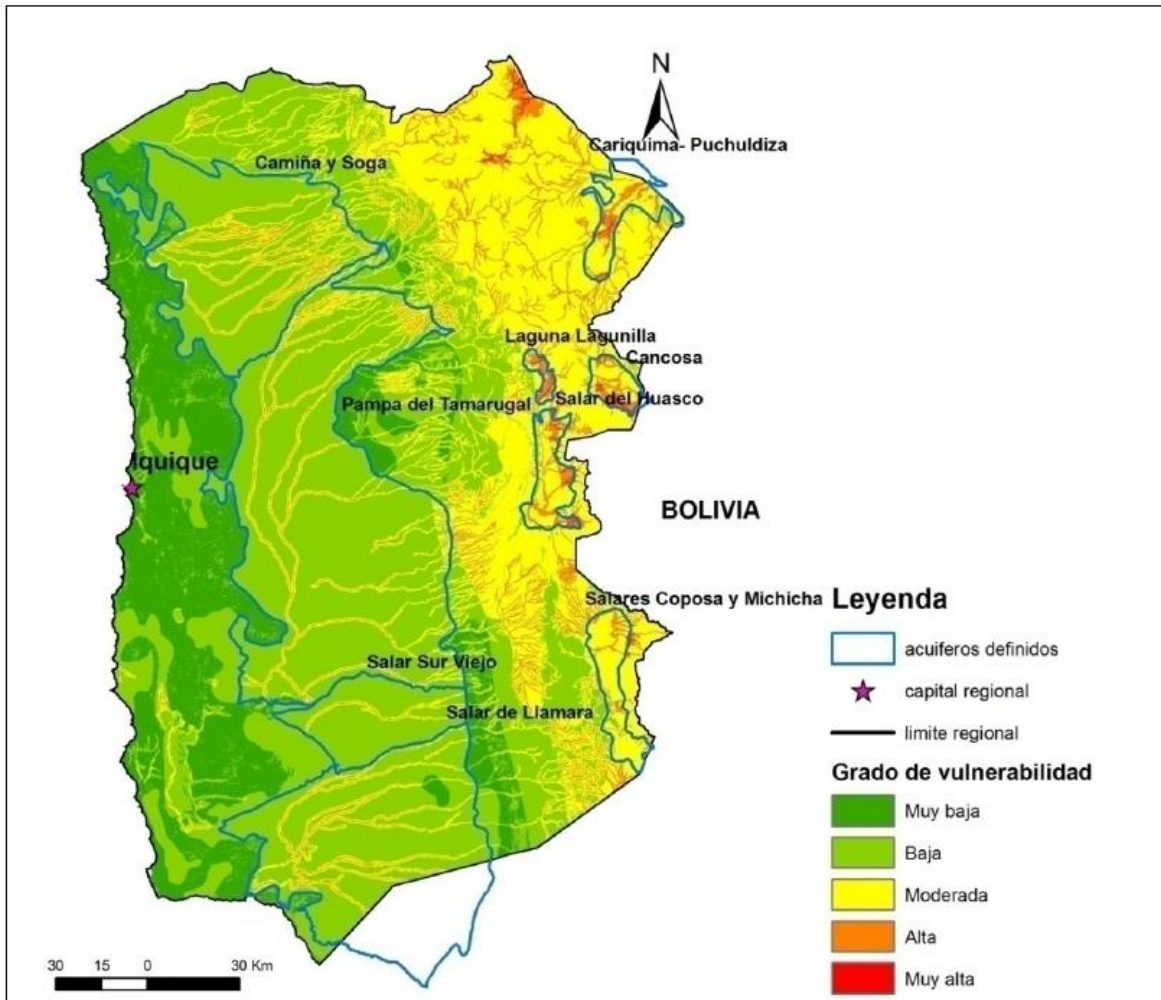
El descenso sostenido de los niveles en gran parte del acuífero, permiten prever como proyección futura que, al continuar con el actual ritmo de explotación de las aguas subterráneas, la calidad de las aguas podría verse agravada en el tiempo.

4.2.4 Fuentes de contaminación

Las fuentes de contaminación de agua subterránea se consideran las mismas que las de agua superficial, que pueden consultarse en el punto 4.1.5.

4.2.5 Vulnerabilidad de acuíferos

Geohidrología (DGA, 2012c) realizó una estimación preliminar de la vulnerabilidad de acuíferos para la región de Tarapacá. En esta evaluación se consideraron factores intrínsecos del sector de estudio y no consideró la probabilidad de ocurrencia de eventos de contaminación, ni la acción de los contaminantes.



Fuente: Geohidrología (2012).

Figura 4.13 Mapa de vulnerabilidad de acuíferos en la Región de Tarapacá.

Del mapa preliminar de vulnerabilidad regional elaborado (Figura 4.13), es posible observar que, en los acuíferos de la depresión central, la vulnerabilidad es, en general, baja, pero alta a moderada en los drenajes. Este resultado es de carácter preliminar, y debe ser considerado con especial cuidado dado que no se incluyó la profundidad del nivel freático como un factor en el análisis, lo cual cobra relevancia localmente, por ejemplo, en la Pampa del Tamarugal donde el nivel freático está somero.

4.2.6 Derechos concedidos

A continuación, se presenta el análisis de los derechos de aprovechamiento de aguas (DAA) subterráneas otorgados en la cuenca de la Pampa del Tamarugal. Los resultados son presentados en función de las siguientes variables:

- DAA otorgados según tipo de solicitud

- DAA otorgados según tipo de Derecho y ejercicio del Derecho

Para el análisis se utilizó la base de datos "Planilla Nacional de Derechos de Aprovechamiento de Aguas" consultada en abril del año 2020. En la Tabla 4-13 se muestra el total de DAA subterráneas otorgados en la cuenca de la Pampa del Tamarugal.

Tabla 4-13 DAA subterráneas y caudal medio anual otorgados en la cuenca de la Pampa del Tamarugal.

Cuenca	Naturaleza del Agua	Cantidad	Caudal Total (l/s)
Pampa del Tamarugal	Subterránea	964	4.454,93

Fuente: elaboración propia.

DAA otorgados según tipo de solicitud

En la Tabla 4-14 se observa la distribución de los DAA subterráneas de acuerdo al tipo de solicitud, el cual incluye las categorías Nuevos Derechos (ND), Solicitudes de Regularización (NR) y Solicitudes de Cambio de Punto de Captación (VPC).

Tabla 4-14 DAA subterráneas otorgados y caudal otorgado según tipo de solicitud en la cuenca de la Pampa del Tamarugal.

Tipo de Solicitud*	Cantidad		Caudal (l/s)	
	Absoluto	Porcentual	Absoluto	Porcentual
ND	819	84,96%	2.965,52	66,57%
NR	68	7,05%	292,61	6,57%
UA	40	4,15%	277,14	6,22%
VPC	37	3,84%	919,66	20,64%
Total	964	100,00%	4.454,9302	73,14%

*ND: Nuevos Derechos; NR: Solicitudes de Regularización; VPC: Solicitudes de Cambio de Punto de Captación.

Fuente: elaboración propia.

Según la Tabla 4-14, la mayor parte del caudal otorgado en la cuenca de la Pampa del Tamarugal está asociada a solicitudes de tipo ND (67 %), seguido por solicitudes de tipo VPC (21 %).

DAA otorgados según tipo de Derecho y ejercicio del Derecho

En la Tabla 4-15 se observa la distribución de los DAA subterráneos otorgados según tipo de DAA y ejercicio del DAA. Cabe destacar que existen tres DAA cuya tipología no está especificada en la base de datos analizada, por lo cual, el total de DAA en la Tabla 4-15 no coincide con el total de DAA subterráneos de la Tabla 4-13.

Tabla 4-15 DAA subterráneos otorgados según tipo y ejercicio del derecho en la cuenca de la Pampa del Tamarugal.

Tipo de DAA y Ejercicio del DAA	Cantidad		Caudal (l/s)	
	Absoluto	Porcentual	Absoluto	Porcentual
Consuntivo	960	99,90%	4.386,7875	98,54%
Eventual y Continuo	2	0,21%	4,36	0,10%
Eventual y Discontinuo	2	0,21%	0,94	0,02%
Permanente y Continuo	857	89,18%	4.211,05	94,59%
Permanente y Continuo y Provisionales	2	0,21%	38,00	0,85%
Permanente y Discontinuo	86	8,95%	74,94	1,68%
Permanente y Alternado	11	1,14%	57,50	1,29%
No Consuntivo	1	0,10%	65	1,46%
Permanente y Continuo	1	0,10%	65,00	1,46%
Total	961	100,00%	4.451,79	100,00%

Fuente: elaboración propia.

Según la Tabla 4-15, la mayor parte de los DAA subterráneos en la cuenca de la Pampa del Tamarugal son de tipo consuntivo y de ejercicio permanente y continuo (95 % del caudal otorgado).

Georreferenciación de los DAA

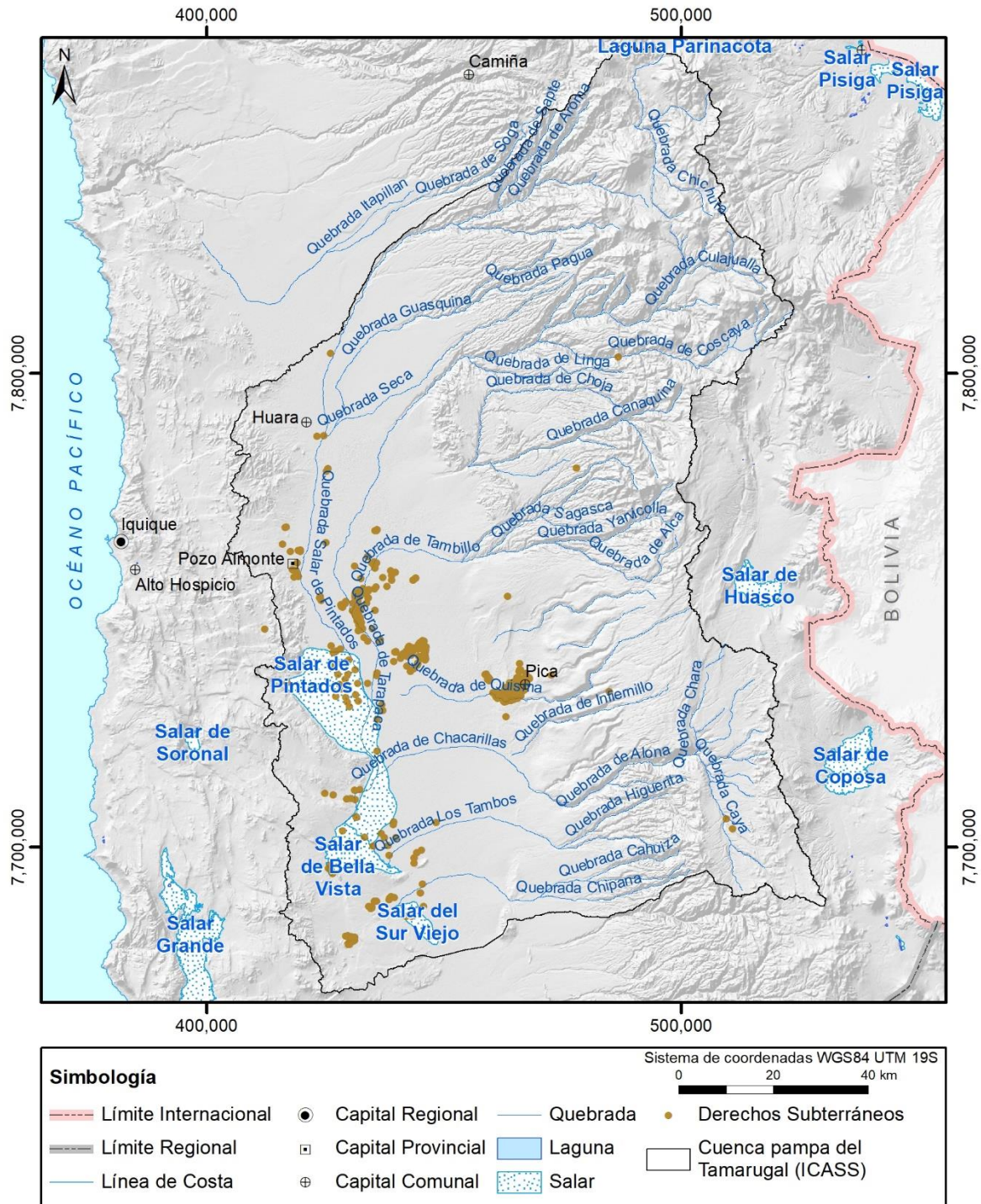
De la base de datos, en la cuenca Pampa del Tamarugal se dispone del 100 % de la información necesaria para la georreferenciación (coordenadas UTM, Datum y Huso) como se observa en la Tabla 4-16.

Tabla 4-16 Total de DAA subterráneos georreferenciados y no georreferenciados en la cuenca de la Pampa del Tamarugal.

Cuenca	Naturaleza del Agua	DAA Georreferenciado		DAA no Georreferenciado	
		Absoluto	Porcentual	Absoluto	Porcentual
Pampa del Tamarugal	Subterránea	888	92%	76	8%

Fuente: elaboración propia.

En la Figura 4.14 se muestra la ubicación geográfica de los puntos de captación asociados a cada DAA subterráneo en la cuenca de la Pampa del Tamarugal.



Fuente: elaboración propia a partir del catastro público de aguas consultado en abril del 2020.

Figura 4.14 Ubicación geográfica de los DAA subterráneos en la cuenca de la Pampa del Tamarugal.

4.3 Glaciares

En la sección 2.3.3 se presentan y describen los glaciares identificados en la cuenca, de acuerdo al inventario de glaciares de la DGA¹⁰, indicando que en la cuenca de la Pampa del Tamarugal, específicamente en las quebradas de Aroma y Tarapacá, existen 27 glaciares de tipo rocoso, que cubren un área total de 1,3 km². Tomando en cuenta la escasa información existente para los glaciares de la cuenca, y el bajo aporte que generarían a nivel de cuenca, no se ha considerado su aporte sobre la oferta.

4.4 Resultado Oferta de Agua

Finalmente, considerando la oferta de agua superficial y subterránea, se obtiene para la cuenca Pampa del Tamarugal, una oferta de agua de 2.168 l/s (Tabla 4-17). De este total, 897 l/s corresponden a la oferta superficial y 1.271 l/s corresponden a la oferta subterránea.

Cabe destacar que, en el caso de la oferta subterránea, el valor corresponde a la suma entre la oferta por recarga menos pérdidas naturales, de 397 l/s, más la oferta por volumen embalsado, de 847 l/s, de acuerdo a la estimación de DGA (2011b).

Debido a la incertidumbre asociada al valor de la oferta por volumen embalsado, se estima un segundo valor de oferta total de agua, más conservador, que considera únicamente la oferta superficial (897 l/s), más la oferta subterránea asociada al valor de recarga menos pérdidas naturales (397 l/s), obteniéndose un valor total de oferta de 1.294 l/s.

Tabla 4-17 Resumen oferta de agua de la cuenca Pampa del Tamarugal.

Cuenca	Oferta Superficial (l/s)	Oferta Subterránea Total (*) (l/s)	Oferta Total (**) (l/s)
Pampa del Tamarugal	897	1.271	2.168

(*) Considera una oferta de 397 l/s asociados a la diferencia entre la recarga y las pérdidas por evapotranspiración y evaporación, más 847 l/s asociados a la oferta por volumen embalsado, de acuerdo a DGA (2011b).

(**) El valor disminuye a 1.294 l/s en el caso de no considerar la oferta por volumen embalsado.

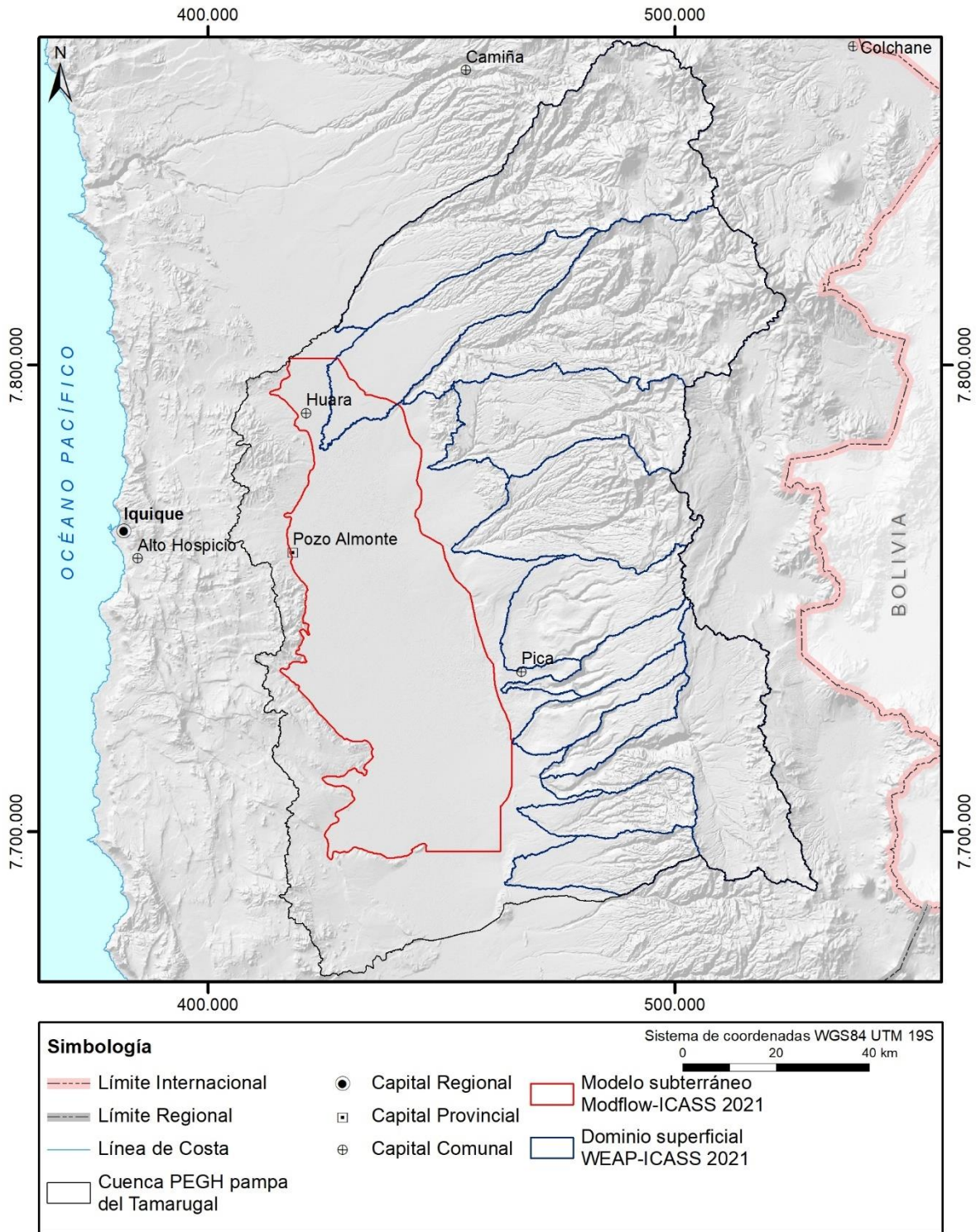
Fuente: elaboración propia.

¹⁰ Observatorio Georreferenciado DGA [en línea] <https://snia.mop.gob.cl/observatorio/> (visitado por última vez el 25/05/2021)

5. BALANCE DE AGUA

En los siguientes puntos, se presenta la información referente a los aspectos del balance de agua de la cuenca de la Pampa del Tamarugal. Para ello, se hace referencia al modelo elaborado en este estudio, a las brechas sobre el uso hídrico, a la sustentabilidad, a los indicadores hídricos de la cuenca y se realiza un análisis de sensibilidad. Cabe indicar que se desarrollaron 2 modelos de simulación en la cuenca, el primero corresponde a un modelo WEAP superficial, y fue desarrollado únicamente para las quebradas aportantes hacia el acuífero con el objetivo principal de determinar la recarga hacia éste, mientras que el segundo corresponde a un modelo de flujo de agua subterránea desarrollado en MODFLOW para el acuífero de la Pampa del Tamarugal (Figura 5.1). Mayores detalles sobre la estrategia de modelación se incluyen en el Capítulo 4 del Anexo H. A modo de síntesis, se indican las principales características de la modelación:

- Modelación Superficial
 - Nombre: Modelo WEAP quebradas de la Cuenca de la Pampa del Tamarugal
 - Área de modelación: 9.600 km².
 - Escala temporal de modelación: Diaria.
 - Periodo de simulación: 1979 -2019. Este periodo incluye un periodo de calentamiento (1979 – 1984) y un periodo de ejecución (1985 – 2019). El periodo de calentamiento no se considera como parte de los resultados del modelo, sino que se incluye para permitir un ajuste inicial del modelo, independizando los resultados de las condiciones iniciales y llevando los almacenamientos hacia una condición natural.
 - Motor de modelación superficial: WEAP (Yates et al., 2005).
- Modelación Subterránea:
 - Nombre: Modelo MODFLOW acuífero de la Cuenca de la Pampa del Tamarugal.
 - Área de modelación: 3.300 km².
 - Escala temporal de modelación: Anual.
 - Periodo de Simulación: 1960 - 2019
 - Motor de modelación subterránea: MODFLOW-2005 (Niswonger et al., 2011).



Fuente: elaboración propia.

Figura 5.1 Dominios modelación WEAP y MODFLOW en la cuenca de la Pampa del Tamarugal.

5.1 Modelo de simulación

El modelo numérico WEAP de agua superficial se implementó para el periodo 1979 – 2019, incluyendo un periodo de calentamiento entre 1979 a 1984 y un periodo de ejecución de 1985 a 2019. El periodo de calentamiento no se considera como parte de los resultados del modelo, sino que se incluye para permitir un ajuste inicial del modelo, independizando los resultados de las condiciones iniciales y llevando los almacenamientos hacia una condición natural.

En primera instancia se desarrolló y calibró un modelo para la subcuenca de la Quebrada de Tarapacá, única subcuenca que cuenta con control fluviométrico en la cuenca de la Pampa del Tamarugal. Se presentan en la Figura 5.2 los caudales diarios, para las estaciones de calibración, obteniéndose índices de KGE' entre 0,41 y 0,6, y buenos ajustes del caudal medio anual. Si bien es posible notar que algunos eventos quedan subestimados por el caudal simulado, en general se obtiene una buena simulación de los caudales base y de otros eventos de menor magnitud, y en general una buena representación de los caudales de probabilidad de excedencia mayor a 20%.

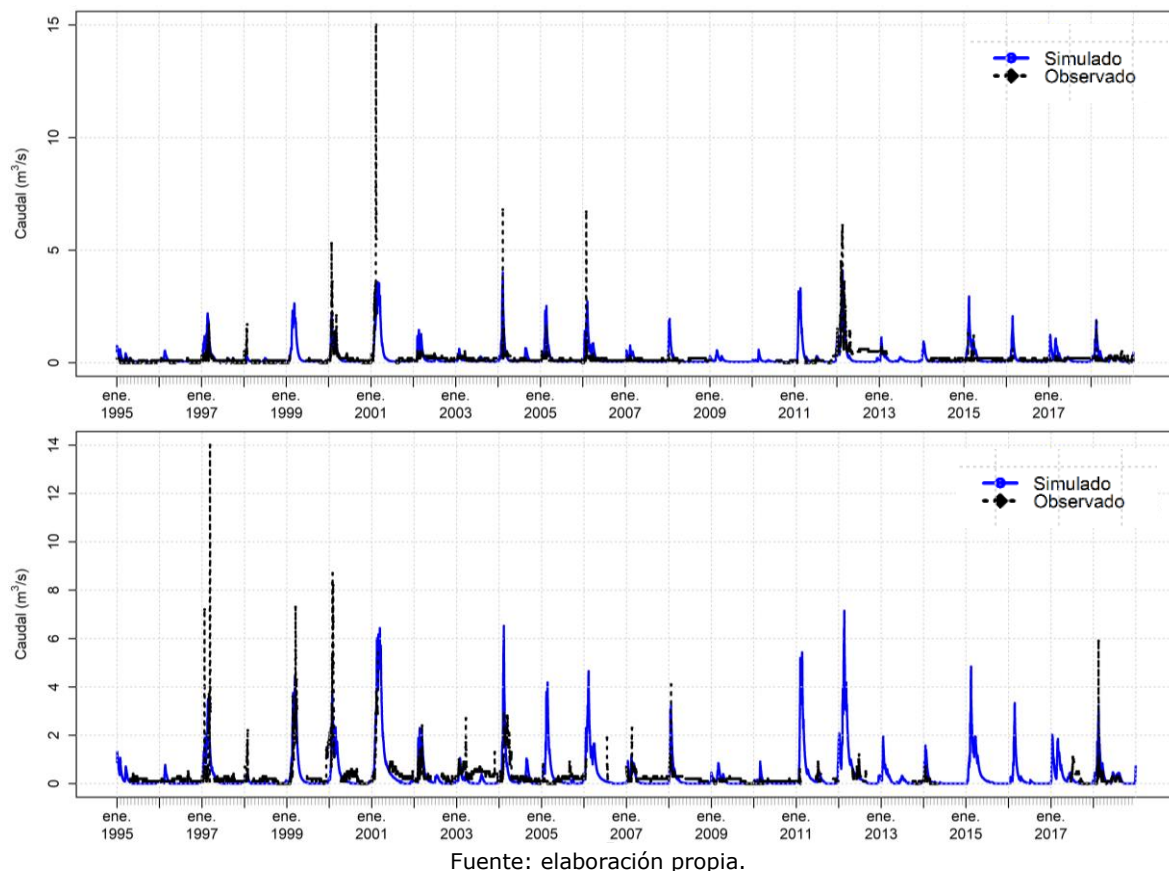


Figura 5.2 Caudales diarios simulados y observados (1995 – 2019) en estación Quebrada Tarapacá en Sibaya (arriba) y estación Quebrada Tarapacá en Laonzana (abajo).

Las diferencias observadas pueden estar dadas tanto por limitaciones en la modelación, como por problemas de los datos fluviométricos observados (grandes eventos generan problemas de medición o daño en las estaciones) o las precipitaciones (eventos locales no identificados en el producto CR2MET v2).

En el Anexo H, en la sección 5.3.1, se detalla la construcción del modelo, en la sección 5.3.2, el proceso y resultados de la calibración en las estaciones Quebrada de Tarapacá en Sibaya y Quebrada de Tarapacá en Laonzana, y en la sección 5.3.3 se entregan los resultados para la recarga, que corresponde en promedio a 285 l/s.

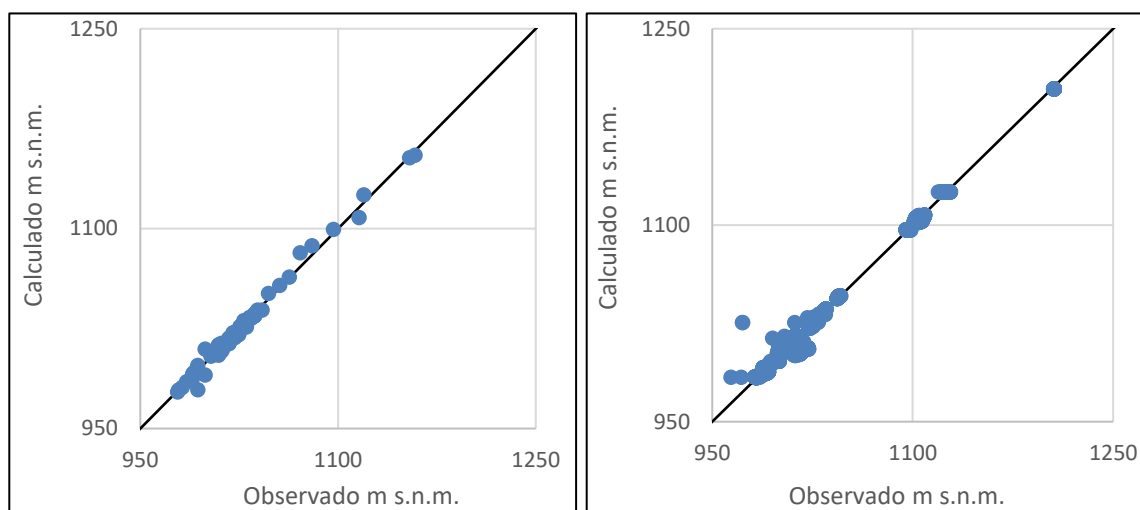
Posteriormente, y transfiriendo los parámetros obtenidos hacia las otras subcuencas, se generó un modelo que considera las 11 subcuencas aportantes hacia el acuífero. En el Anexo H, en la sección 5.4.1, se detalla la construcción del modelo, y en la sección 5.4.2, se presentan los valores de recarga, que corresponden en promedio a 796 l/s para el periodo 1985 a 2019.

El modelo numérico de agua subterránea código Modflow-2005 se basa en el modelo desarrollado por Hídrica (DGA, 2017b), y posteriormente actualizado por Con Potencial (DGA, 2018b). El dominio de modelación se extiende por 111 km desde la localidad de Rosita por el norte hasta Cerro Gordo por el sur, y 40 km entre la Cordillera de la Costa, hasta la base de las quebradas que escurren hacia la pampa. Consiste en un modelo monocapa discretizado en celdas cuadradas de 200 m de ancho, que considera como única recarga el flujo subterráneo calculado por WEAP desde las quebradas aportantes al este, la cual se ingresa como recarga constante en el perímetro del modelo. Considera como descarga natural la evaporación desde los salares de Pintados y Bellavista, la evapotranspiración desde los bosques de tamarugos y algarrobos, y la descarga hacia el salar de Sur Viejo hacia el sur. Ambas fueron implementadas mediante el módulo ETS, que permite una variación no lineal de la evaporación en profundidad. Por otro lado, el modelo considera las extracciones efectivas de los pozos existentes listados en el CPA, las cuales fueron estimadas mediante la clasificación por uso e identificación de baterías de pozos asociadas a usuarios específicos. Para las baterías de pozos identificadas se recopiló información histórica referencial, extracciones totales por batería, o caudal individual por pozo. Además, fueron descartadas todos aquellos derechos de agua afectos a pago de patente por no uso.

El modelo subterráneo fue calibrado en régimen estacionario al año 1960, Condición Natural Permanente (**CNP**), que representa la situación cuasi natural del acuífero posterior a las extracciones de las oficinas salitreras y previo al inicio de las grandes extracciones para agua potable. Además, el modelo se calibró para régimen transiente, Condición Actual Transiente (**CAT**), de periodos de estrés anuales, entre los años 1960 y 2019. Para los niveles observados se recopiló estadística histórica, series oficiales DGA de la red piezométrica, y seguimiento ambiental informado por privados al SMA. Por último, se ajustaron diecisiete zonas de conductividad hidráulicas, con valores entre 0,002 y 15,7 m/d, y 4 zonas de almacenamiento con rendimiento específico entre 9 y 21%. En las secciones 6.1 a 6.9 del Anexo H se encuentra los detalles referentes a la construcción del modelo numérico subterráneo.

5.1.1 Situación actual

Respecto al modelo subterráneo en régimen estacionario para el año 1960, CNP, se logró un buen ajuste de los niveles observados, lo que se refleja en el panel izquierdo de la Figura 5.3, donde la mayor parte de los puntos quedan sobre la línea 1:1. Se obtuvo un error medio (EM) de 0,36 m, un error medio absoluto normalizado (nEMA) de 1,4% y error cuadrático medio normalizado (nRMS) de 2,1%. El balance subterráneo muestra que para CNP, la recarga desde las quebradas aportantes alcanza los 795,7 l/s, y la mayor salida del sistema acuífero corresponde a la evaporación desde los salares de Pintados y Bellavista, seguida por la evapotranspiración desde las zonas de tamarugos (Tabla 5-1). Para el modelo subterráneo en régimen transiente periodo 1960-2019, CAT, también se logró un buen ajuste de los niveles observados (Figura 5.3, panel derecho), con un EM de 0,11 m, nEMA de 0,8% y nRMS de 1,4% (Figura 5.3).



Fuente: elaboración propia.

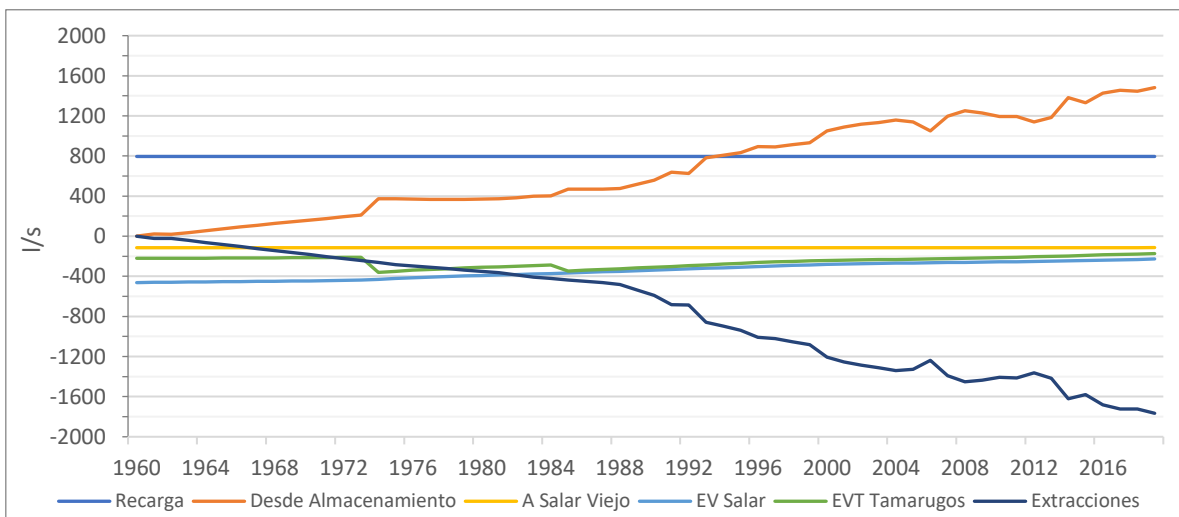
Figura 5.3 Ajuste modelo subterráneo estacionario CNP, y transiente CAT.

Respecto a la evolución del balance subterráneo, se puede observar como en el periodo 1960-2019 (Figura 5.4) las extracciones han aumentado sostenidamente en el tiempo, con un promedio cercano a los 1.700 l/s los últimos años. Así, las extracciones han inducido un aumento sostenido del aporte desde el volumen almacenado, con un desembalse total estimado en 1.278 millones de m³, equivalentes a 675 l/s promedio para el periodo 1960-2019. Así también, las extracciones han producido la disminución sostenida de la evaporación y evapotranspiración desde salares y bosques de tamarugos respectivamente.

Tabla 5-1 Balance hídrico subterráneo CNP 1960, y CAT año 2019.

Entradas (l/s)	CNP, 1960	CAT, 2019
Quebradas Aroma+Huasquiña	217,4	217,4
Quebrada Tarapacá	285,3	285,3
Quebrada Quipisca	69,2	69,2
Quebrada Juan de Morales	35,4	35,4
Quebradas Quisma + Seca	40,8	40,8
Quebradas Chacarilla+Infiernillo+Sin Nombre	129,9	129,9
Quebrada Ramada	17,7	17,7
Almacenamiento	-	1.486,9
Total	795,7	2.282,6
Salidas (l/s)		
Extracciones	0	1.765,6
Flujo subterráneo saliente a Salar Viejo	114,6	112,9
EV Salares	463,0	226,3
EVT Tamarugos	218,5	173,0
Almacenamiento	-	4,8
Total	796,1	2.282,6
Balance		
Error de balance (l/s)	-0,43	0,00
Error de balance (%)	-0,05	0,00

Fuente: elaboración propia.



Fuente: elaboración propia.

Figura 5.4 Evolución del balance hídrico subterráneo, CAT 1960-2019.

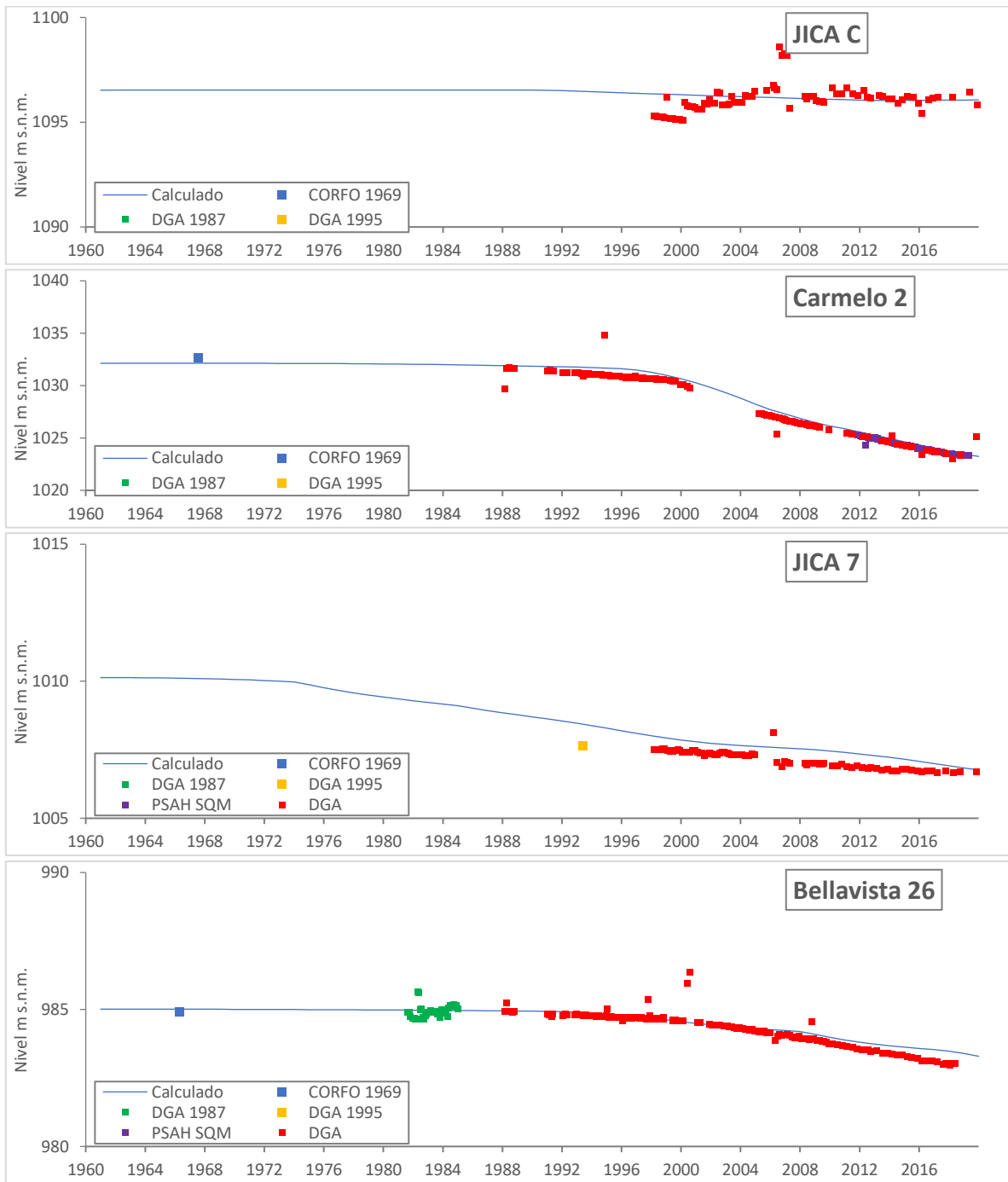
Finalmente, en la Figura 5.5 se muestran una selección de hidrogramas representativos de la pampa de norte a sur. En éstos se puede apreciar el buen ajuste de las tendencias observadas en los pozos, principalmente el sostenido abatimiento de los niveles, con leves diferencias atribuibles a posibles errores durante el levantamiento del nivel observado en terreno, o a variaciones puntuales de la intensidad de bombeo en el entorno próximo del pozo que se escapan del alcance de este estudio.

En particular, para la zona norte, específicamente en el pozo JICA C, se aprecia un descenso casi imperceptible del nivel del acuífero, y una alta variabilidad posiblemente

producto de la existencia de bombeo en el entorno próximo. Mientras se avanza hacia el sur, los descensos aumentan a medida que más cerca se esté de la planta de agua potable El Carmelo, donde el pozo El Carmelo 2 muestra un abatimiento total cercano a los diez metros. El modelo logra representar correctamente el quiebre en la pendiente de descenso en torno al año 1998, que coincide con el inicio de operación de la planta El Carmelo.

Ya en la zona forestada con tamarugos, en el pozo JICA 7, se observan descensos cercanos a cinco metros, donde el modelo tiende a sobreestimar levemente los valores observados, pero representa igualmente la tendencia observada. Finalmente, en el Salar de Bellavista, pozo Bellavista 74, se observan descensos de entre uno y dos metros, en sincronía con el inicio de las extracciones por parte de SQM en el sector. En este pozo, al igual que en el pozo El Carmelo 2, se logran representar tanto las tendencias como los valores observados de 1969.

En la sección 6.10 del Anexo H se describe en mayor detalle el ajuste de ambos regímenes, el balance subterráneo e hidrogramas de un conjunto mayor de pozos.



Fuente: elaboración propia.

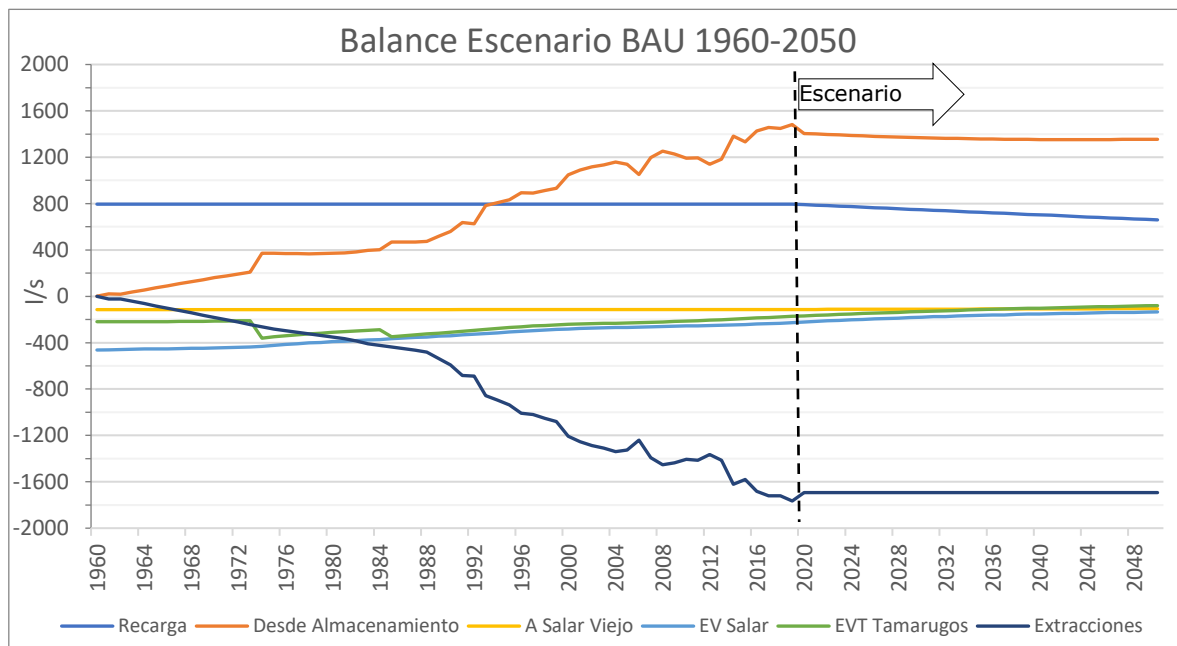
Figura 5.5 Hidrogramas seleccionados modelo subterráneo, ubicados cercanos a Huara, El Carmelo, Salar de Pintados, y Salar de Bellavista respectivamente.

5.1.2 Situación proyectada

Se proyecta la situación del sistema para el periodo 2020-2050, bajo un escenario de cambio climático RCP 8.5, y un escenario de gestión "business as usual" (BAU): se mantiene el nivel de extracciones de los últimos años, promedio 1.696 l/s, y disminuye la condición de recarga debido al cambio climático, de 796 l/s a 660 l/s. Todo el resto de las condiciones de borde se mantienen constantes. La estimación de la nueva recarga se realiza utilizando el modelo WEAP, y proyectando las condiciones climáticas de precipitaciones y temperaturas, de acuerdo a lo detallado en la sección 7.1 del Anexo H.

Como se puede apreciar en la Figura 5.6 y Tabla 5-2, para la situación proyectada, el caudal aportado desde el volumen almacenado se estabilizaría en 1.350 l/s, equivalentes a un volumen desembalsado de 1.337 millones de m³ para el periodo 2020-2050. Por otro lado, la evaporación y evapotranspiración desde salares y tamarugos disminuirá a valores equivalentes al 30% de la evaporación estimada para la condición natural, y al 50% respecto a la situación estimada para el año 2019.

Al comparar la situación de la superficie freática simulada al 2050 con la situación año 2019, los descensos serían superiores a 5 metros focalizados en el entorno de las plantas de agua potable El Carmelo y Canchones, y batería de pozos SQM (Figura 5.7). Así mismo, el descenso de los niveles mantendría la tendencia observada los últimos años, Figura 5.12 más adelante.



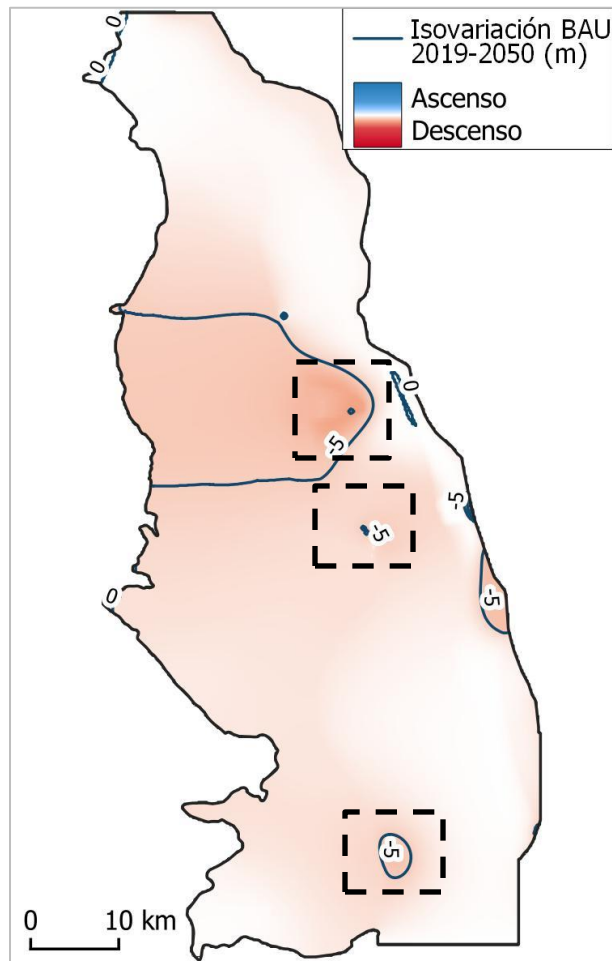
Fuente: elaboración propia.

Figura 5.6 Evolución del balance hídrico subterráneo, CAT 1960-2050.

Tabla 5-2 Comparación balance hídrico subterráneo situación histórica y proyectada.

Entradas (l/s)	Histórico 1960	Histórico 2019	BAU (2050)
Recarga Quebradas	795,7	795,7	658,9
Almacenamiento	1,6	1.486,9	1.355,3
Total	797,3	2.282,6	2.014,2
Salidas (l/s)			
Extracciones	0,2	1.765,6	1.694,1
Descarga Sur Viejo	114,6	112,9	106,2
EV Salares	463,0	226,9	134,3
EVT Tamarugos	219,4	172,5	80,2
Almacenamiento	0,3	4,7	0,0
Total	797,5	2.282,6	2.014,8

Fuente: elaboración propia.



Fuente: elaboración propia.

Figura 5.7 Isovariación de la superficie freática periodo 2019-2050, situación proyectada BAU, en negro ubicación referencial de las baterías de pozos El Carmelo, Canchones, y SQM, respectivamente de norte a sur.

5.2 Brechas sobre el Recurso Hídrico

A continuación se indican las brechas del balance de agua, en el que se compara la dinámica de flujos para el año 2019 con el año 1960 (Tabla 5-3), y en el que se puede apreciar el evidente desbalance en el acuífero en la actualidad: las extracciones superan el doble de la recarga desde las quebradas, lo que fuerza al acuífero a entregar parte del volumen almacenado a una tasa cercana a los 1,5 m³/s.

Tabla 5-3 Comparación balance hídrico régimen transiente, 1960 y 2019.

Entradas (l/s)	CAT, 1960	CAT, 2019
Quebradas Aroma+Huasquiña	217,4	217,4
Quebrada Tarapacá	285,3	285,3
Quebrada Quipisca	69,2	69,2
Quebrada Morales	35,4	35,4
Quebrada Quisma + Seca	40,8	40,8
Quebradas Chacarilla+Infiernillo+Sin Nombre	129,9	129,9
Quebrada Ramada	17,7	17,7
Almacenamiento	1,6	1.486,9
Total	797,3	2.282,6
Salidas (l/s)		
Extracciones	0,2	1.765,6
Flujo subterráneo saliente a Salar Viejo	114,6	112,9
EV Salares	462,9	226,3
EVT Tamarugos	219,3	173,0
Almacenamiento	0,3	4,8
Total	797,5	2.282,6
Balance		
Error de balance (l/s)	-0,43	0,00
Error de balance (%)	-0,05	0,00

Fuente: elaboración propia.

5.3 Sustentabilidad

A la fecha de realización de este estudio no existe un manual que defina por completo los criterios de sustentabilidad, aunque si existe el "Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos" del Departamento de Administración de Recursos Hídricos (DARH) que ha sido utilizado para estudiar cuencas específico por dicho departamento. Sin embargo, los criterios utilizados en el presente estudio fueron establecidos por la Dirección General de Aguas para los PEGH y que se basa en la Resolución DGA-MOP N°425 de 2007 y en el Decreto MOP-DGA N°203 de 2014.

Además, vale la pena destacar que en este estudio se estima la diferencia entre oferta y extracciones reales (o una estimación de ellas), por lo que no es posible comparar

directamente los resultados con la disponibilidad establecida por el DARH. Los resultados para cada criterio se presentan a continuación.

5.3.1 Descensos Sustentables

El primer criterio de sustentabilidad examina el cambio de volumen almacenado en el SHAC en el largo plazo. Se considera que el volumen de afección no debe afectar más allá de un 5% del volumen total del acuífero al final del periodo de análisis. Por consiguiente, este criterio requiere la definición de un volumen inicial (V_0), y el cálculo del volumen des/embalsado en el periodo.

Como fue descrito en el acápite anterior, el volumen desembalsado en el periodo 1960-2019 corresponde a 1.278 millones m^3 .

Al calcular el volumen inicial para el año 1960 a partir de los niveles y almacenamientos calculados en el modelo, se obtienen un volumen de 227.263 millones m^3 , por lo tanto, la variación de volumen para el periodo 1960-2019 correspondería al 0,56%.

Ahora bien, esta variación de volumen resulta cuestionable. Primero, la estimación del basamento utilizada, desarrollada por (DGA, 2017b), considera espesores saturados que superan el kilómetro en algunos sectores. Segundo, el acuífero abarca una superficie superior a los 3.300 km^2 , que si se compara con el volumen desembalsado, 1,27 km^3 , y almacenamiento promedio de 15%, el desembalse equivale a una lámina de 2,6 m de espesor. Y tercero, los valores de almacenamiento calibrados en el modelo monocapa buscan representar la respuesta del sistema -descensos observados-, frente al estrés impuesto -extracciones principalmente-. Ahora bien, tanto las observaciones como las extracciones se concentran casi en totalidad dentro de los primeros 200 metros del acuífero. Por lo que, más allá de la existencia de flujos verticales no representados en el modelo monocapa, los valores de almacenamiento ajustados se pueden considerar representativos mayormente de los niveles superiores del acuífero, y no necesariamente de la situación del acuífero a gran profundidad. Por ende, el modelo representa a un acuífero de gran extensión y profundidad, donde los mayores descensos se encuentran acotados al entorno de las mayores extracciones, y con valores de almacenamiento que no necesariamente caracterizan la totalidad del sistema.

Si se compara el volumen desembalsado con otras estimaciones de volumen almacenado que consideran la heterogeneidad del acuífero en profundidad, pero consideran el sector de Zapiga más al norte, se obtienen valores de 4,75% y 4,64%, (DGA, 2011b, 1995) respectivamente.

Desde un punto de vista netamente numérico, si se cumpliría este criterio. Pero considerando la incerteza respecto al volumen, se puede considerar no concluyente.

Otra forma de abordar la evaluación de este criterio a futuro, sería considerar un "volumen muerto" y un "volumen útil" análogo a la situación de los embalses. De esta forma la evaluación del criterio se realizaría contra un volumen inicial de acuífero factible

de extraer, que excluye aquellos sectores donde sería necesario el desarrollo de obras a profundidades kilométricas.

5.3.2 Afectación al río

Este criterio no aplica debido a que no existen cursos de agua permanente sobre el sector modelado de la Pampa del Tamarugal.

5.3.3 Satisfacción de la demanda

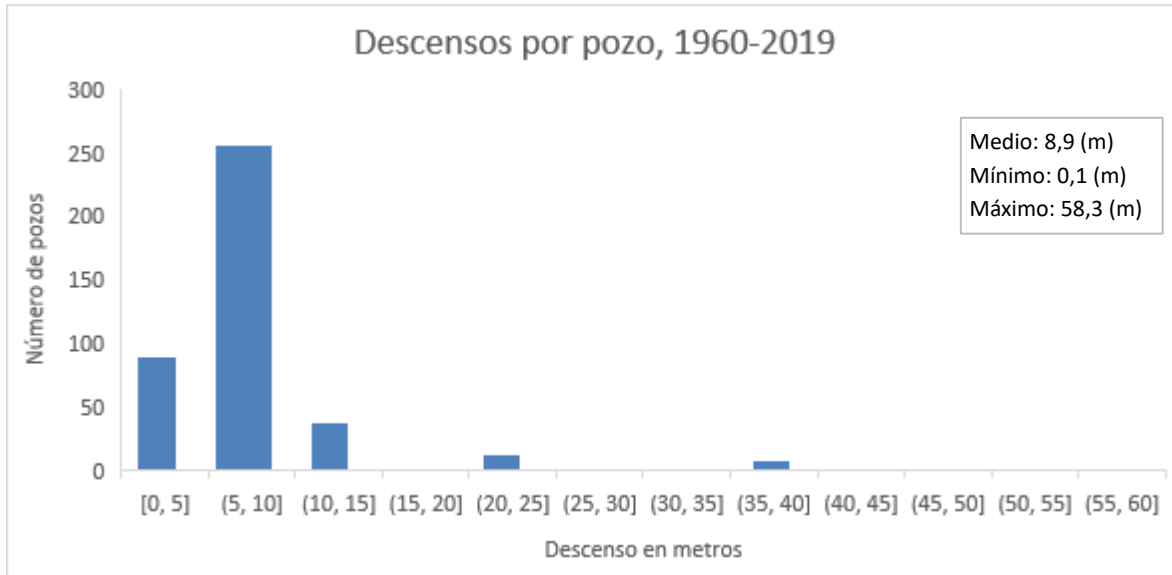
Para dar cumplimiento al criterio de satisfacción de la demanda en cada SHAC, el modelo debe permitir una extracción mínima del 95% del caudal ingresado como demanda.

El modelo considera pozos completamente penetrantes, y no presenta secado de celdas en ninguno de los pozos durante la ejecución. Así, el modelo extrae el 100% de la demanda impuesta, cumpliendo el criterio.

5.3.4 Pozos secos

Dado que no se dispone de información completa y sistematizada de la profundidad de los pozos de bombeo en el acuífero, no es posible hacer un análisis directo sobre pozos desconectados o colgados. Sin embargo, de manera estimativa de este fenómeno, se realizó un análisis del descenso individual de cada pozo en el acuífero. Así, se observa en los pozos de bombeo un descenso medio de 8,9 metros para el período 1960-2019, tal como se observa en la Figura 5.8. Además, la gran mayoría de los pozos presentan descensos menores a 10 metros, que conservadoramente se puede considerar como una variación de nivel que no afecta en gran medida a los pozos. Por otro lado, los mayores descensos están asociados a las plantas de agua potable, pozos evidentemente más resilientes a cambios de nivel.

Así, se considera que se cumple este criterio.



Fuente: elaboración propia.

Figura 5.8 Histograma de descensos calculado por pozo entre situación 1960 y 2019.

5.3.5 Resumen

En la Tabla 5-4 se presenta un resumen de los resultados obtenidos para los 4 criterios de sustentabilidad evaluados. Se destaca que dos de estos criterios no estarían siendo cumplidos, de acuerdo a los resultados de la modelación, los cuales corresponden a la afectación al río, que supera el 20% del caudal anual de 85% de probabilidad de excedencia, medido en el punto de salida del SHAC, y el criterio de pozos secos, que entrega un valor superior al 5%. Todos estos resultados son estimados a partir de las demandas efectivas, y no de los derechos otorgados, motivo por el cual no deben compararse directamente con los criterios definidos por del DARH.

Tabla 5-4 Resumen criterios de sustentabilidad.

Criterio	Valor Límite	Estado	Observaciones
Descensos sustentables	0,56% < 5%	Cumple - No concluyente	Corresponde a la diferencia de volumen estimada entre los años 1960 y 2019. Los resultados se consideran no concluyentes debido a que existe una incerteza con respecto al volumen almacenado y la definición del basamento, junto a las limitaciones de un modelo monocapa.
Afectación al río	–	No aplica	No existen cauces superficiales permanentes sobre el acuífero.
Satisfacción de la demanda	100% > 95%	Cumple	El modelo considera pozos completamente penetrantes, y no presenta secado de celdas en ninguno de los pozos durante de ejecución
Pozos secos	–	No aplica	No se dispone de información completa y sistematizada de la profundidad de los pozos de bombeo en el acuífero. Sin embargo, la gran mayoría de los pozos presentan descensos menores a 10 metros, que conservadoramente se puede considerar como una variación de nivel que no afecta en gran medida a los pozos

Fuente: elaboración propia.

5.4 Indicadores hídricos de la cuenca

Para poder comparar los resultados obtenidos del escenario BAU con aquellos asociados a los escenarios de gestión para la cuenca, se ha propuesto evaluar los indicadores hídricos presentados en Tabla 5-5. Estos indicadores se asocian directamente a los resultados de la modelación.

Tabla 5-5 Indicadores definidos para la evaluación de escenarios.

Indicador	Detalle
Desembalse millones m ³	Se evaluará cómo el volumen desembalsado desde el acuífero
Extracciones	Se evaluarán las extracciones el caudal superficial a la salida de la cuenca.
EV Salares	Se evaluarán los cambios en la evaporación desde los salares.
EVT Tamarugos	Se evaluarán los cambios en la evapotranspiración desde los tamarugos.

Fuente: elaboración propia.

5.5 Análisis de sensibilidad

A continuación, se presentan los tres escenarios de gestión simulados y sus principales resultados, para mayor detalle revisar la sección 7 del Anexo H. Cabe destacar que todos los escenarios de gestión se desarrollan para el escenario climático futuro, que corresponde al escenario de emisiones RCP 8.5, y que proyecta una disminución en la recarga desde las quebradas, de 796 l/s a 660 l/s, producto de la disminución de las precipitaciones y del aumento de las temperaturas.

5.5.1 Definición de escenarios

Escenario Gestión 1: Según lo informado por Aguas del Altiplano, la empresa evalúa el incremento de las extracciones en la planta de agua potable El Carmelo. Acorde al EIA del proyecto (en preparación) la empresa proyecta incrementar sus extracciones al 100% de sus derechos en el sector El Carmelo (807 l/s). Así, el objetivo de este escenario es evaluar la respuesta del sistema acuífero para el periodo 2020-2050 bajo este mayor estrés hídrico.

Escenario Gestión 2: Este escenario se desarrolla con el objetivo de evaluar la posible recuperación del acuífero, considerando un eventual cese de las extracciones de los mayores usuarios de agua subterránea (uso minero y plantas de agua potable Canchones y El Carmelo, por un total de 1.400 l/s). Así las extracciones disminuyen a 295 l/s. Este escenario se simula al muy largo plazo, hasta el año 2550.

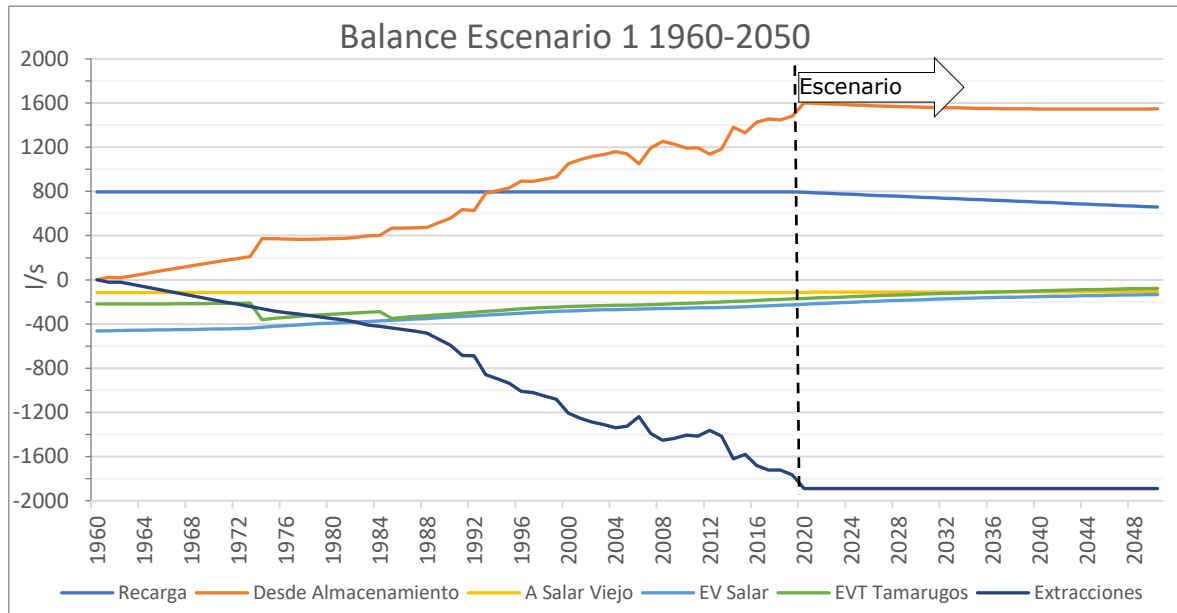
Escenario Gestión 3: Según lo informado por DGA, es posible que a futuro sean solicitados derechos de extracción de agua subterránea en las diversas quebradas aportantes al acuífero de la Pampa, lo que podría impactar directamente sobre la recarga que ingresa al acuífero de la pampa. Así, el objetivo de este escenario es evaluar el impacto que tendría esta disminución del flujo que ingresa producto de la recarga desde las quebradas para el periodo 2020-2050. Debido a la incertidumbre respecto al volumen de derechos a solicitar sobre las quebradas, se definió un caudal correspondiente al 15% de la recarga calculada en cada quebrada aportante.

5.5.2 Resultados escenarios de gestión

Para el Escenario 1, se observa que el aumento en 195 l/s de las extracciones en la planta El Carmelo produciría una disminución de la evaporación desde el salar y de la evapotranspiración desde los tamarugos, y un aumento del caudal aportado desde el volumen almacenado, estabilizándose en 1.550 l/s, equivalentes a un volumen desembalsado de 1.526 millones de m³ (Figura 5.9).

En relación a la superficie piezométrica, el abatimiento del acuífero continuará siguiendo la tendencia de la última década, y al comparar la situación simulada al 2050 con la situación al año 2019, los descensos serían superiores a 5 metros en el entorno de la planta de agua potable Canchones y batería de pozos SQM en salar de Bellavista; y superiores a 15 metros en el sector de la planta de agua potable El Carmelo (Figura 5.13 panel superior derecho).

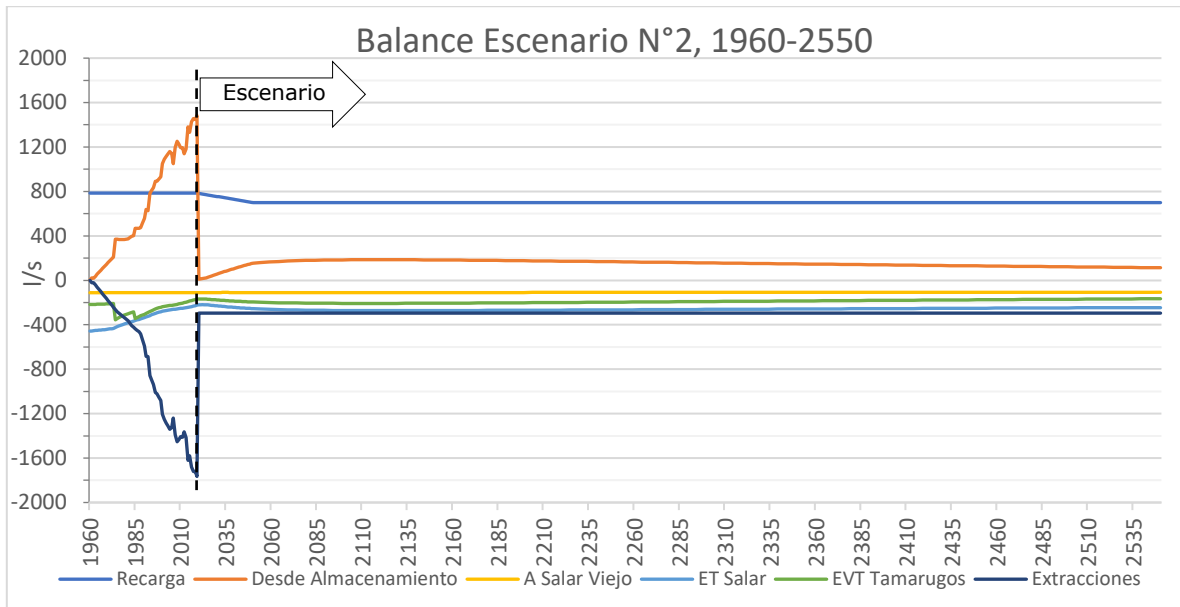
Al comparar los resultados de este escenario con respecto al escenario BAU, que considera valores de extracción constantes desde el año 2019, se observa un descenso adicional de promedio 5 metros al año 2050 (Figura 5.13 panel superior derecho), efecto exclusivo por tanto del aumento de las extracciones.



Fuente: elaboración propia.

Figura 5.9 Balance hídrico subterráneo neto, escenario gestión N°1.

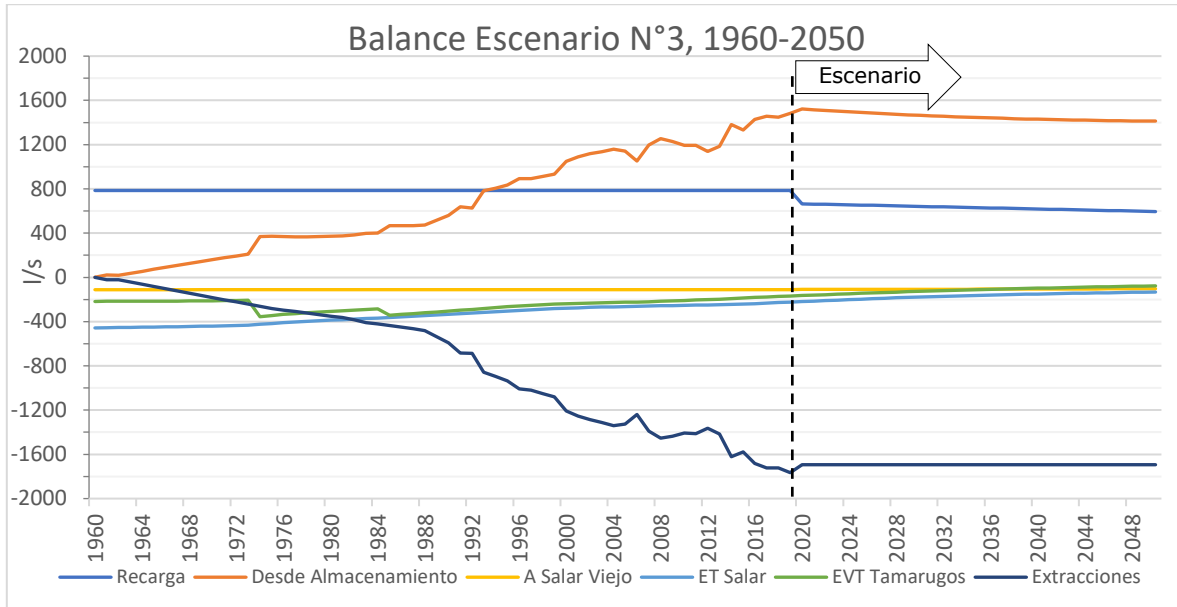
Para el Escenario 2, el cese de las mayores extracciones en el acuífero, generaría una súbita disminución del caudal aportado desde el volumen almacenado durante los primeros años, para estabilizarse en torno a los 150 l/s en el largo plazo (Figura 5.10). Respecto a la evolución de la superficie freática, se produciría al largo plazo (año 2050), una recuperación en los sectores cercanos a las extracciones cesadas, alcanzando niveles comparables a la situación al año 2010, tal como se observa para los pozos El Carmelo 2 y Jica 7 en la Figura 5.12. En los sectores más alejados, se observa una estabilización de los niveles comparable al año 2019, según lo presentado en la Figura 5.13 (panel inferior izquierdo). Pese a lo anterior, el sistema no se encontraría en una situación de equilibrio, ya que se tiene el aporte neto desde el almacenamiento antes mencionado, en torno a 150 l/s. Ahora bien, a muy largo plazo (año 2550), se proyecta un abatimiento general de todo el sector próximo a las quebradas aportantes, de entre 5 y 30 metros, según se muestra en la Figura 5.14. Esto estaría fuertemente influenciado por los menores valores de recarga que deberían llevar al sistema hacia un nuevo punto de equilibrio, muy probablemente distinto al equilibrio histórico. Este comportamiento dual, de recuperación durante los primeros años posterior al cese de las mayores extracciones, y luego un descenso paulatino de los niveles producto de la disminución de la recarga se refleja en el pozo El Carmelo 2, de acuerdo a lo presentado en la Figura 5.15.



Fuente: elaboración propia.

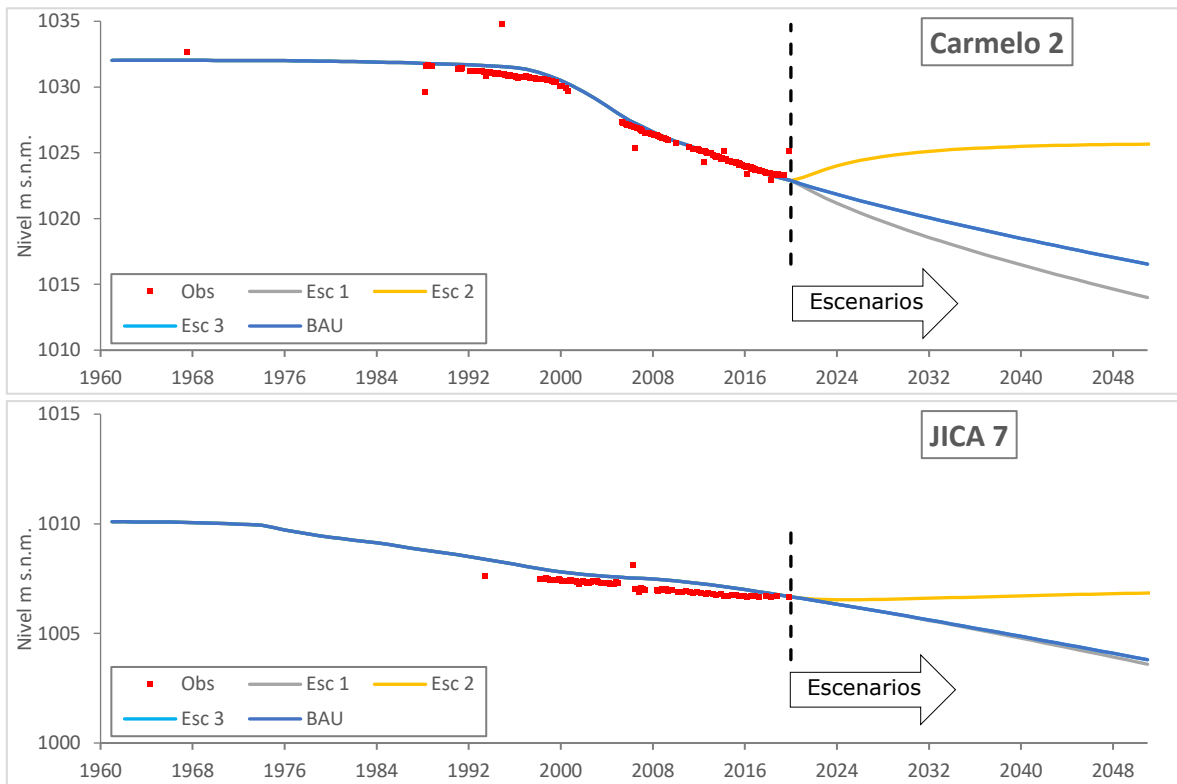
Figura 5.10 Balance hídrico subterráneo neto, escenario gestión N°2.

Para el Escenario 3, una disminución adicional de la recarga producto de nuevos derechos potenciales en las quebradas generaría un aumento del caudal aportado desde el volumen almacenado, caudal que se estabilizaría en torno a los 1.450 l/s, equivalentes a un volumen desembalsado de 1.387 millones de m³. Con respecto al comportamiento de la superficie freática, y en comparación al escenario BAU, la disminución de la recarga debido a extracciones subterráneas en quebradas aportantes produciría descensos cercanos a 5 metros en las proximidades de las quebradas, como se ve en la Figura 5.13 (panel inferior derecho), sin observarse una mayor influencia hacia los sectores más centrales. Esto se refleja en que los niveles en los pozos El Carmelo 2 y Jica 7 tengan prácticamente el mismo comportamiento para los escenarios 3 y BAU (ambas líneas se traslapan en la Figura 5.12). Cabe destacar que este escenario representa una simplificación del fenómeno, dado que se iguala el valor de la extracción con la disminución de la recarga.



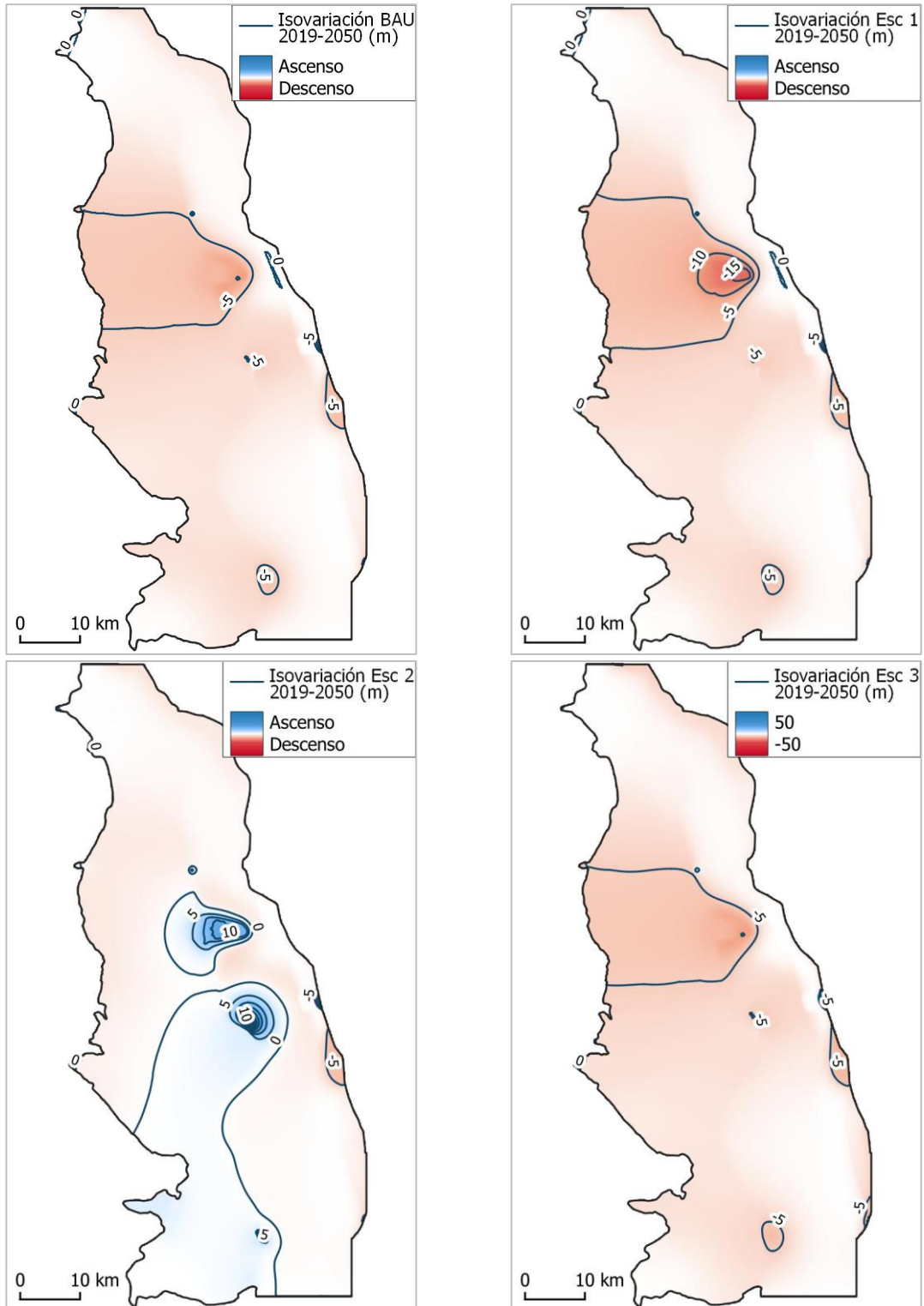
Fuente: elaboración propia.

Figura 5.11 Balance hídrico subterráneo neto, escenario gestión N°3.



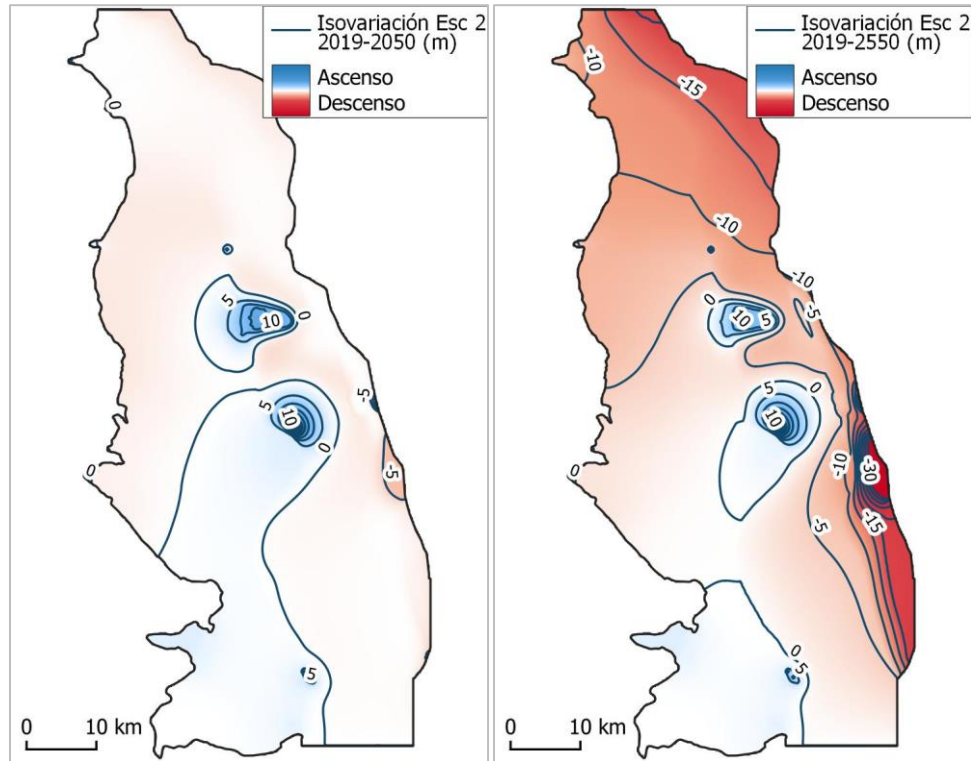
Fuente: elaboración propia.

Figura 5.12 Evolución de niveles para los 4 escenarios (incluye registro histórico).



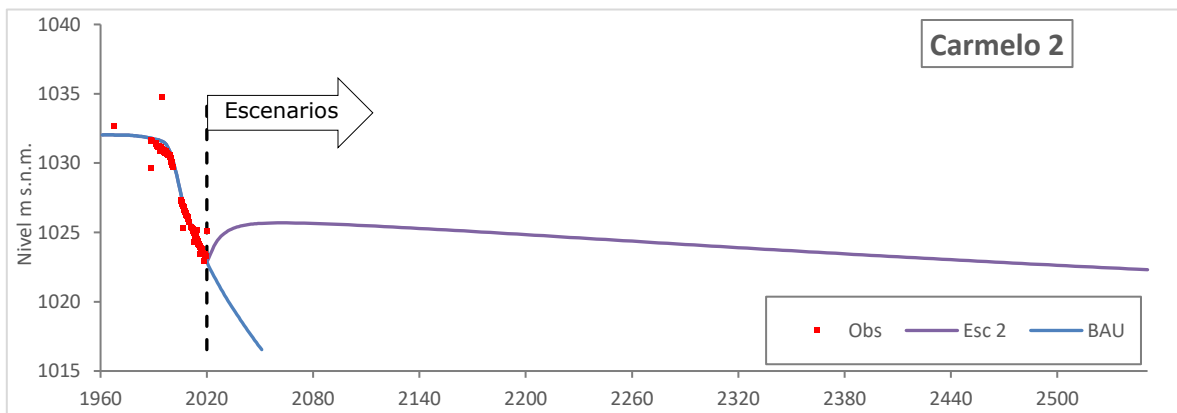
Fuente: elaboración propia.

Figura 5.13 Variación de la superficie freática al año 2050 respecto a año 2019, en negro ubicación referencial de las baterías de pozos El Carmelo, Canchones, y SQM, respectivamente de norte a sur.



Fuente: elaboración propia.

Figura 5.14 Comparación de la evolución de la superficie freática escenario 2 respecto a 2019, para horizontes de simulación 2050 y 2550.



Fuente: elaboración propia.

Figura 5.15 Hidrograma representativo comportamiento del acuífero al muy largo plazo, escenario 2.

A partir de los resultados obtenidos para los 3 escenarios de gestión, se puede destacar que al largo plazo año 2050, salvo que las extracciones disminuyan considerablemente (Escenario 2), todos los escenarios indican que el abatimiento del acuífero continuará, con una tasa de descenso similar a la observada durante la última década (ver niveles de pozos El Carmelo 2 y Jica 7 en Figura 5.12). Ahora bien, estos descensos son mayores en torno a las baterías de pozos más importantes en la zona: Carmelo, Canchones, SQM,

con descensos entre 5 y 15 metros respecto a la situación año 2019 dependiendo del nivel de extracciones considerado. El comportamiento descrito es esperable, ya que las extracciones proyectadas representan entre 2,4 y 2,9 veces la recarga estimada al sistema, e imposibilitan al acuífero alcanzar una situación de equilibrio (aporte del almacenamiento igual a cero) (Tabla 5-6).

Tabla 5-6 Comparación balance subterráneo para diferentes años modelados

Entradas (l/s)	Histórico 1960	Histórico 2019	BAU (2050)	Esc. 1 (2050)	Esc. 2 (2050)	Esc. 3 (2050)	Esc. 2 (2550)
Recarga Quebradas	795,7	795,7	658,9	658,9	658,9	560,1	658,9
Almacenamiento	1,6	1.486,9	1.355,3	1.547,2	303,6	1.454,1	149,1
Total	797,3	2.282,6	2.014,2	2.206,1	962,5	2.014,6	808,0
Salidas (l/s)							
Extracciones	0,2	1.765,6	1.694,1	1.889,4	295,1	1.694,1	295,1
Descarga Sur Viejo	114,6	112,9	106,2	106,2	112,2	105,9	106,8
EV Salares	462,9	226,3	134,3	134,0	259,1	134,2	243,2
EVT Tamarugos	219,3	173,0	80,2	76,9	201,0	80,2	163,4
Almacenamiento	0,3	4,7	0,0	0,0	95,5	0,0	0,0
Total	797,5	2.282,6	2.014,8	2.206,5	962,9	2.014,4	808,5

Fuente: elaboración propia.

Finalmente, para todos los escenarios, excepto el 2, los volúmenes desembalsados pronosticados para los próximos 30 años son superiores entre un 4 y 19% superiores respecto al volumen desembalsado en los 60 años del periodo histórico 1960-2019 (Tabla 5-7), lo que permite prever una explotación no necesariamente sustentable en el tiempo, y que debe por tanto llamar la atención frente a la importancia de este recurso para la cuenca y la Región.

Tabla 5-7 Comparación de volumen desembalsado histórico versus escenarios.

Escenario	Histórico 1960-2019	BAU 2020-2050	Escenario 1 2020-2050	Escenario 2 2020-2050	Escenario 3 2020-2050
Desembalse (millones m ³)	1.278	1.337	1.526	107	1.387

Fuente: elaboración propia.

5.6 Brechas de Información

En este ítem, se detallan las brechas de información existentes, que impiden desarrollar un diagnóstico completo de algunos aspectos de la situación hídrica de la cuenca de Pampa del Tamarugal.

5.6.1 Actividad Económica

Pese que se han indicado las actividades económicas más importantes en la cuenca, existe una brecha de información de los índices económicos de la cuenca, ya que los datos informados se encuentran a escala regional y condicionan su representatividad.

5.6.2 Glaciares

No se cuenta con información del mapeo y monitoreo de los glaciares de la cuenca, que permita realizar una estimación del aporte real a la oferta hídrica de la cuenca.

5.6.3 Mercado de Aguas

No se cuenta con información local del mercado de aguas en la cuenca de la Pampa del Tamarugal, no pudiendo determinar el valor real del agua en la zona de estudio.

5.6.4 Brechas de la modelación

Se requieren datos de temperatura y precipitación que permitan mejorar la representatividad de ambas variables en la cuenca.

Se requieren datos de aforos que permitan mejorar el conocimiento del comportamiento de las quebradas y la recarga. Estos datos se requieren al menos para las quebradas de Aroma, Tarapacá y Chacarillas, las 3 principales zonas de recarga hacia el acuífero.

Se requieren mediciones de evapotranspiración, en las quebradas, salar y en la zona de los Tamarugos.

En la zona se han desarrollado un sin número de campañas de perforación de pozos desde inicios del siglo pasado, ejemplo (CORFO, 1969). Sin embargo, esta información de niveles y estratigrafía no está disponible o se encuentra excesivamente dispersa. Una recopilación y sistematización de la información permitiría robustecer el conocimiento del sistema.

La red de monitoreo de niveles de la DGA en la zona es poco clara respecto a la ubicación en planta (coordenadas X e Y) y a la elevación (coordenada Z) de algunos pozos, comprobándose errores kilométricos en algunos casos. Esto puede dificultar el análisis del comportamiento del acuífero y requiere de una comprobación de la información oficial a partir de otras fuentes bibliográficas que no se encuentran necesariamente sistematizadas. La revisión crítica de estos antecedentes facilitaría el análisis futuro del sistema.

La estadística de niveles de red DGA no indica si estos corresponden a niveles estáticos o dinámicos, además de presentar valores 0 sin definir el significado de este valor. Además de no presentar la profundidad ni habilitación de los pozos en cuestión.

El catastro público de aguas (CPA) lista los derechos de agua otorgados actualmente en la zona. Sin embargo, no registra cómo han evolucionado en el tiempo la compra/venta

de derechos y cambios de punto de captación. Luego, cualquier estimación de extracciones efectivas queda limitada a la información actual, y no considera la disminución, aumento o traslado de los derechos de agua en el pasado. Además, el CPA presenta numerosos pozos sin coordenadas, o con coordenadas, pero sin información de datum correspondiente.

En las zonas de salares, resulta de suma importancia la correcta determinación de la topografía y la profundidad del nivel freático, ya que esto determina la tasa de evaporación. Ahora bien, no existe a la fecha un levantamiento topográfico de detalle de la superficie de los salares.

Los modelos climáticos presentados por la actualización del Balance Hídrico Nacional (DGA, 2018a) muestran una alta dispersión en la zona de estudio, en particular en lo referido a la variación de las precipitaciones para las cuales no existe una tendencia definida. Debido a esto se estima necesario, tomando en cuenta la gran importancia de la recarga generada en las quebradas y la alta incertidumbre en su estimación, incluir en futuras actualizaciones de la modelación, modelos climáticos con distintas sensibilidades climáticas, que permitan dar cuenta de la incertidumbre asociada al cambio climático y sus efectos sobre la estimación de la recarga.

La modelación WEAP fue calibrada únicamente en 1 de las 11 quebradas aportantes definidas hacia el acuífero de la Pampa, debido a que solo la Quebrada de Tarapacá cuenca con datos fluviométricos. E incluso en este caso, la falta de antecedentes continuos en el tiempo, permitió únicamente una calibración parcial y cualitativa. Mayores antecedentes son requeridos para disminuir la incertidumbre de los resultados.

La representación esquemática de acuífero en los modelos WEAP considera únicamente un estanque que permite recarga, pero no representa una verdadera relación río-acuífero, por lo que no permite afloramientos de agua hacia el río, lo cual se observa, por ejemplo, en los afloramientos disponibles para la Quebrada de Aroma. Se requiere por tanto mejorar la representación del acuífero.

El modelo Modflow actualizado conserva la geometría de basamento estimada por modelos anteriores, con espesores acuíferos superiores a un kilómetro en algunos sectores. A pesar de la aceptable calibración obtenida, los parámetros hidráulicos ajustados para estos grandes espesores dificultan la estimación de otras variables, como lo es el volumen almacenado total.

Por otro lado, este modelo y modelos anteriores, consideran entre sus descargas la evapotranspiración desde tamarugos, con una variación no lineal de la tasa de evaporación en profundidad (paquete ETS). Sin embargo, esta variación en profundidad se estima solo desde curvas de vitalidad de los tamarugos y no desde mediciones en terreno. El desarrollo de estas mediciones permitiría definir mejor la variación en profundidad de la evaporación.

6. ACCIONES

En este capítulo se presentan tanto los ejes y objetivos del plan, así como un levantamiento de acciones e iniciativas a considerar en el PEGH para la cuenca. Dichas acciones provienen tanto del levantamiento de antecedentes, así como de brechas/problemáticas identificadas en capítulos anteriores.

Así mismo se incluye un análisis de las relaciones entre los ejes y objetivos propuestos en función de las brechas identificadas tanto en las etapas de descripción, caracterización y modelación de la cuenca, así como desde las actividades de PAC desarrolladas a lo largo del PEGH.

También se levanta la cartera de iniciativas vigente incorporando una ficha resumen con las principales características de cada una de éstas. Las iniciativas son categorizadas según 4 tipologías: Obras de infraestructura (OI), Medida de gestión hídrica (MG), Nuevas fuentes de agua (NF) y Otras medidas (OM).

Finalmente, a partir de la información ya levantada en estudios previos relevantes (que se menciona en la sección 6.1) sumada al trabajo de descripción y diagnóstico de la cuenca desarrollada en esta consultoría, se presenta el listado de acciones que fueron discutidas en las actividades de PAC.

6.1 Ejes y Objetivos para el PEGH

Los ejes y objetivos para la definición de acciones en el marco del PEGH de Pampa del Tamarugal fueron propuestos a partir de los objetivos de la licitación y de la revisión de los principales antecedentes, entre los cuales destacan:

- Planes previos de la DGA y CNR:
 - Estudio Diagnóstico para desarrollar plan de riego en región de Tarapacá (CNR, 2017)
 - Diagnóstico Plan Maestro de Recursos Hídricos, Región de Tarapacá / SIT-290, (DGA, 2012c)
 - Plan Maestro de Recursos Hídricos, Región de Tarapacá / SIT-333, (DGA, 2013a)
- Banco integrado de proyectos del Ministerio de Desarrollo Social
- Información recogida en las actividades de PAC, tanto reuniones como talleres.

La Tabla 6-1 presenta los ejes y objetivos planteados para el plan. Cabe señalar que este conjunto de ejes y objetivos se basa tanto en los lineamientos planteados para la cuenca en otros estudios relevantes, los lineamientos DGA vigentes, así como los lineamientos planteados por la Mesa Nacional del agua.

Tabla 6-1 Ejes y Objetivos propuestos para PEGH de la cuenca.

Eje	Nombre del eje	Objetivo	Objetivos para definición de Acciones del Plan
1	Uso estratégico del recurso hídrico: brechas entre oferta y demanda, riesgos hídricos	1.1	Reducir las brechas entre oferta y demanda de agua considerando cambio climático, sequía e inundaciones.
		1.2	Restaurar condiciones de abastecimiento y calidad de las fuentes de agua potable urbana, tanto para fuentes superficiales como subterráneas.
		1.3	Restaurar condiciones de abastecimiento y calidad de las fuentes de agua potable rural, tanto para fuentes superficiales como subterráneas.
		1.4	Conservar y/o mejorar el estado de la infraestructura hidráulica actual.
		1.5	Gestión de riesgos
2	Información y monitoreo del recurso hídrico	2.1	Mejorar el monitoreo de las aguas de la cuenca (superficial, subterráneo, de montaña y glaciares).
		2.2	Gestión de información
3	Gestión y gobernanza del agua	3.1	Promover y revitalizar la alianza público - privada en materia hídrica.
4	Conservación y protección del recurso y del ecosistema hídrico	4.1	Conservar y/o mejorar el estado de la calidad de aguas de las fuentes superficiales y subterráneas.
		4.2	Proteger funciones ecosistémicas críticas relacionadas con los cuerpos de agua en el tiempo.

Fuente: elaboración propia.

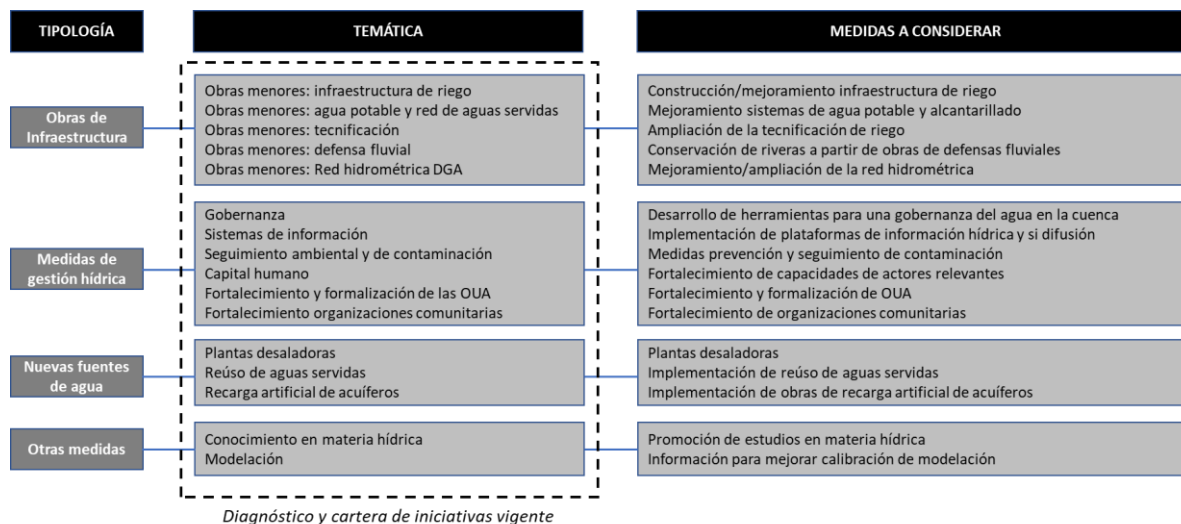
6.2 Cartera de iniciativas de inversión vigentes

Para el análisis de objetivos, ejes e iniciativas, se levantó un total de 7 iniciativas de inversión vigentes para la cuenca, las que se suman a otras 42 iniciativas de carácter interregional de las cuales no se dispone un detalle claro y cuantificado sobre su inversión en la cuenca, ya que involucran varias regiones y en algunos casos son de alcance nacional. Esta información fue extraída desde el Banco Integrado de Proyectos del Ministerio de Desarrollo Social y Familia.

Por lo tanto, en estas secciones serán presentadas las iniciativas de inversión relacionadas directamente con la cuenca, según 4 tipologías (OI, MG, NF, OM) e incorporando una breve descripción de contexto en la cuenca. En una sección aparte serán listadas las iniciativas de inversión del tipo "interregional".

Así mismo, se incluye un breve diagnóstico de cada una de las tipologías identificadas desde este levantamiento de iniciativas de inversión y algunas recomendaciones de acciones que son posteriormente levantadas para el plan de acción de la cuenca o quedan reflejadas como brechas para abordar en una etapa futura.

En la Figura 6.1 se presenta un esquema referencial de ejemplo que incluye las tipologías indicadas, así como algunos ejemplos de temáticas, para de este modo clasificar la cartera de iniciativas vigentes de la cuenca.



Fuente: elaboración propia.

Figura 6.1 Clasificación a considerar para las Iniciativas Hídricas levantadas.

Tomando esta clasificación como referencia, se desarrolla a continuación una descripción de los tipos de iniciativas de la Figura 6.1, incluyendo las iniciativas vigentes, un diagnóstico y recomendaciones.

6.2.1 Obras de Infraestructura

A continuación, se presentan diagnósticos, medidas propuestas o vigentes, referentes a obras de infraestructura, entre las que se cuentan obras menores, tanto para riego como para agua potable y red de aguas servidas, tecnificación, defensa fluvial, mejoramiento de la red hidrométrica DGA, entre otras.

Obras menores: infraestructura de riego

A continuación, se presentan diagnósticos, medidas propuestas o vigentes, referentes a obras de infraestructura, específicamente obras menores de infraestructura de riego.

Diagnóstico

- Estado deficiente de la infraestructura de riego, tanto de canales, acequias y bocatomas, debido a la antigüedad o por daños producidos por eventos extremos, crecidas o terremotos.
- Carencia de recursos directos de parte del Estado para invertir en el mejoramiento de obras de riego, presupuesto limitado solo a obras fiscales.
- Ineficiencia en el aprovechamiento del recurso para riego.

Iniciativas vigentes

La Tabla 6-2 presenta las iniciativas de la cartera de iniciativas de inversión vigente para obras menores de infraestructura de riego.

Tabla 6-2 Iniciativas en cartera de inversiones públicas MIDESO, categorizadas como obras menores de infraestructura de riego.

Tipografía cartera vigente	Código BIP	Descripción	Tipología	Subsector	Institución financiera	Costo total (M\$)
Obras menores, canalizaciones	30228872-0	Conservación obras de riego fiscales región de Tarapacá. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Riego	DOH	115.557.963
Obras menores, canalizaciones y riego	40025988-0	Conservación obras de riegos fiscales región de Tarapacá 2020 – 2023 Recup. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Riego	DOH	6.807.992

Fuente: elaboración propia.

Obras menores: agua potable y red de aguas servidas

A continuación, se presentan diagnósticos, medidas propuestas o vigentes, referentes a obras de infraestructura, específicamente obras menores de agua potable y red de aguas servidas.

Diagnóstico

- Inexistencia de Alcantarillado en localidades ubicadas en diversas cuencas.
- Falta cobertura de agua potable en zonas rurales.
- Los sistemas de Agua Potable Rural no tienen una buena operación y no cumplen con los parámetros normados por NCh 409.
- Escasa cobertura de alcantarillado.
- Ineficiencia en sistema de distribución de agua potable (genera grandes pérdidas)

Iniciativas vigentes

La cartera de inversión vigente de MIDESO no incluye iniciativas de Obras menores: agua potable y red de aguas servidas.

Obras menores: tecnificación

A continuación, se presentan diagnósticos, medidas propuestas o vigentes, referentes a obras de infraestructura, específicamente obras menores de tecnificación.

Diagnóstico

- Insuficiente incorporación de tecnologías en el riego. (No existen aforadores)
- Baja cobertura en sistemas de riego más eficientes.
- Baja cobertura en sistemas de riego tecnificado.

- Elevados costos de energía para operar los sistemas (combustible para elevación y distribución). Limitan la superficie cultivada al gasto que deben pagar en energía, sea esta combustible o luz eléctrica.

Iniciativas vigentes

La cartera de inversión vigente de MIDESO no incluye iniciativas de Obras menores: tecnificación.

Obras menores: defensa fluvial

A continuación, se presentan diagnósticos, medidas propuestas o vigentes, referentes a obras de infraestructura, específicamente obras menores de defensa fluvial.

Diagnóstico

- Ausencia de gestión preventiva de riesgos ante eventos extremos. El territorio y la infraestructura de riego se vuelven vulnerables y para ello no existe un plan de mitigación y planificación para enfrentar la emergencia y reconstrucción. Se reacciona de acuerdo al daño.
- Ineficiencia del sistema de alerta y registro de eventos hidrológicos extremos (EHE).
- En las PACs se informó de la preocupación por eventos de crecidas que arrasan con las riberas utilizadas para agricultura.

Iniciativas vigentes

La Tabla 6-3 presenta las iniciativas de la cartera de iniciativas de inversión vigente para obras menores de defensa fluvial:

Tabla 6-3 Iniciativas en cartera de inversiones públicas MIDESO categorizadas como obras menores de defensa fluvial.

Tipografía cartera vigente	Código BIP	Descripción	Tipología	Subsector	Institución financiera	Costo total (M\$)
Control aluvional y de crecidas	30481726-0	Conservación riberas de cauces naturales región de Tarapacá. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Defensas fluviales	DOH	17.605.516
Control aluvional y de crecidas	40025942-0	Conservación de riberas región de Tarapacá 2020 - 2023. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Defensas fluviales	DOH	8.322.896

Fuente: elaboración propia.

Obras menores: Red hidrométrica DGA

A continuación, se presentan diagnósticos, medidas propuestas o vigentes, referentes a obras de infraestructura, específicamente obras menores de red hidrométrica DGA.

Diagnóstico

- Existe un déficit de recursos humanos técnicos y económicos para mantener y operar la red hidrométrica existente, lo que se traduce en una disminución paulatina de los puntos de monitoreo y el estado de las estaciones.
- La red hidrométrica presenta falencias en su cobertura, sistema y métodos de medición. Falta incorporar necesidades y requerimientos dependiendo de la realidad territorial.
- Se han incluido estaciones operadas por privados a la red, sin embargo, no se ha formalizado la relación DGA-mineras para traspaso de información.

Iniciativas vigentes

La cartera de inversión vigente de MIDESO no incluye explícitamente Obras menores: Red hidrométrica DGA para esta cuenca.

6.2.2 Medidas de Gestión

A continuación, se presentan diagnósticos y medidas propuestas o acciones tomadas referentes a gestión, entre las cuales están incluidas de gobernanza, sistemas de información, seguimiento ambiental y de contaminación, capital humano, fortalecimiento y formalización de las OUA y fortalecimiento de organizaciones comunitarias.

Gobernanza

Este punto refiere a las instancias y/o herramientas que son necesarias para dar cuenta de la gestión y coordinación entre los actores de interés para lograr la gobernanza de la Cuenca del Pampa del Tamarugal.

Diagnóstico

Para el logro de una buena gestión, es necesario promover la participación y colaboración de todos los agentes en la cuenca, lo que representa un desafío, en vista de que existen conflictos históricos entre los distintos actores, esto en el marco que, acorde al estudio DGA (2016) referente a la constitución de comunidades de aguas subterráneas, para todos los actores de esta cuenca el agua es un recurso de alto valor. Por tanto, los temas de gobernanza tienen que ver con un interés por proteger y gestionar de la mejor forma este recurso.

En este contexto, se hace relevante mencionar y trabajar bajo la mirada de una Gestión Integrada del Recurso Hídrico, GIRH, desde los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). En este sentido el ODS 6 recoge acciones propuestas por varios países para dar

una idea de cómo avanzarán en la implementación de la GIRH para 2030. Esta Gestión Integrada es una construcción social, técnica y política que busca generar un contexto que permita la gobernanza del recurso. Esto es producto de diversas situaciones, como los comportamientos de los ecosistemas, mutaciones del tipo y cantidad de las precipitaciones, entre otras situaciones.

En particular el ODS 6.5.1 plantea como meta “para 2030, poner en práctica la GIRH a todos los niveles, incluso mediante la cooperación transfronteriza, según proceda” y la medición de este indicador, pretende medir el Grado de implementación (0-100%) de la gestión integrada de los recursos hídricos.

Ahora bien, al evaluar para Chile el avance de este ODS 6.5.1, se verifica un retraso con respecto a los compromisos adquiridos en el marco de la gestión integrada de este recurso, tal como muestra la Figura 6.2, que señala un nivel de cumplimiento “bajo” de estos requerimientos.

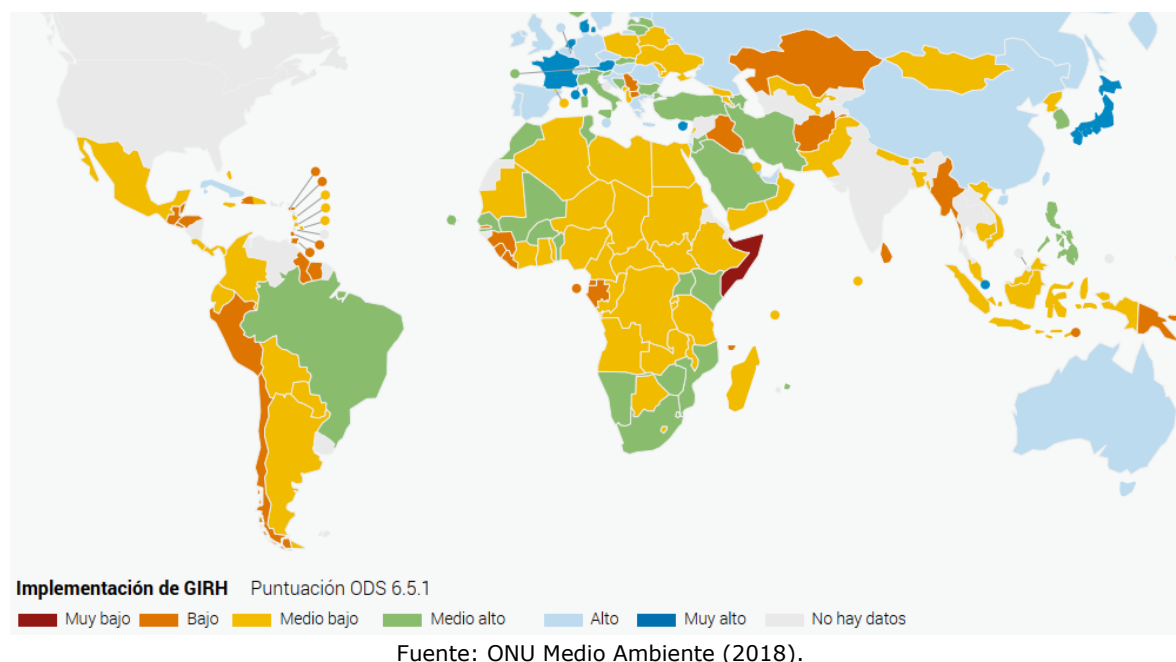


Figura 6.2 Mapa mundial de la Evaluación del ODS 6.5.1¹¹.

Pensando en la gobernanza de la Cuenca de Pampa del Tamarugal, esta mirada integral no es parte del contexto actual. Es necesario mencionar que en el proceso de PAC se evidenciaron diversas situaciones que hay que considerar en términos de gobernanza, las que fueron descritas en el capítulo 2.6:

¹¹ ONU Medio Ambiente (2018). Progreso sobre gestión integrada de recursos hídricos. Referencia global para el indicador ODS 6 6.5.1: Grado de aplicación de la ordenación integrada de los recursos hídricos (0-100)., [en línea] https://www.unwater.org/app/uploads/2019/02/ES-Guide-ES_Final-webPDF.pdf (visitado por última vez el 27/05/2021)

- El conflicto que se produjo a partir de la conformación de la Comunidad de Aguas Subterráneas de la Pampa del Tamarugal, que dejó confianzas fragmentadas entre los actores del territorio.
- La desconfianza que los diversos actores, especialmente las comunidades indígenas, presentan frente a la acción estatal, que en este caso es representada por la DGA regional.
- La demanda de las comunidades por realizar una Consulta Indígena en la elaboración de este PEGH, que escapaba a las atribuciones de este proyecto.
- La situación de pandemia y falta de conectividad de las comunidades, las que en general están conformadas por personas adultas mayores, lo que complejizó la implementación del PAC en la zona.
- La demanda de que este proceso fuera realizado de forma presencial, lo que en este contexto era muy complejo.

Esto, sumado a una disparidad de capacidades técnicas y organizacionales de las distintas instancias y actores en la cuenca, dificultaron realizar el proceso de PAC, por lo que en la implementación del PEGH será necesario reestablecer las confianzas fragmentadas, informar este plan de forma presencial en todas las comunidades y realizar una nivelación de las distintas capacidades de las organizaciones y actores de la Cuenca.

Un tema relevante en este tema es el rol de las mujeres observada especialmente en las APR de la cuenca, las que desarrollan una fuerte labor de trabajo comunitario en función del recurso hídrico para la producción agrícola y de consumo humano. Este es un aspecto que debe ser relevado en la implementación de un PEGH en la Cuenca de Pampa del Tamarugal.

Por otra parte, las instancias de participación en la cuenca de Pampa del Tamarugal no se realizan en las escalas recomendadas para una gestión hídrica adecuada (cuenca/subcuenca hidrográfica), lo que puede complicar la implementación de cualquier plan que implique a todos los actores de ésta. Esto no quiere decir que este PAC haya sido trabajado en escalas no recomendables, esta afirmación quiere decir que la gestión del recurso debiese ser parte de una Gestión Integrada, que considere a futuro un trabajo por subcuencas, en vista de la especificidad que cada localidad manifiesta frente al manejo y gestión del recurso hídrico. Por otra parte, no existen instancias de participación y coordinación entre miembros de las OUAs y/o entre las organizaciones de usuarios, de forma macro-organizacional. Esto puede deberse a los conflictos y desconfianzas ya mencionadas.

Ahora bien, las relaciones entre los actores para la gobernanza se ven afectadas por una idea mantenida por los actores comunitarios frente a Mineras y Sanitaria, ya que responsabilizan a los dos últimos de la sistemática baja del recurso, a pesar de que los datos objetivos muestren lo contrario.

Esto se entronca con una situación que no es menor, mencionada en el proceso de PAC: la desconfianza que muchos actores presentan ante la acción de DGA, y de los organismos que trabajan en la zona, la que suponemos se debe a la falta de información

adecuada. Si se quiere que los actores comunitarios de la zona participen adecuada y activamente en la implementación del PEGH se requiere confrontar estas brechas de información ante todos los tipos de actores comunitarios y mejorar la coordinación entre los servicios del Estado y todos los demás actores de la cuenca.

Los problemas evidenciados en la PAC debiesen ser trabajados como parte de las brechas que se relacionan con la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH), ya que esta mirada, que se sustenta además en las experiencias internacionales, como la californiana, permitirá la gobernanza de la cuenca para una implementación eficiente de este Plan Estratégico.

Ahora bien ¿de qué modo la perspectiva de la Gestión Integrada del Recurso Hídrico (GIRH) puede hacerse cargo de estas dificultades? Si consideramos los 4 ejes en los que se trabaja esta perspectiva sería posible ir generando un proceso paulatino que vaya abordando estas situaciones, a saber:

1. Primer eje: El agua dulce es un recurso finito y vulnerable, indispensable para sustentar la vida, el desarrollo y el medio ambiente

Si se escucha a las comunidades indígenas, APR y OUA de la cuenca se podrá relevar la perspectiva que éstas tienen respecto al recurso hídrico. Acorde a la cosmovisión indígena el agua es un ser sagrado, que se vincula a Pachamama (la madre tierra), que es fundamental para la sobrevivencia de su pueblo. Desde esta perspectiva, este primer punto de la GIRH es consistente con la cosmovisión de los habitantes mayoritarios de la cuenca de Pampa del Tamarugal, con lo que considerar su perspectiva local colaboraría en una mejor gobernanza para la cuenca.

2. Segundo eje: El desarrollo y la gestión del agua deben basarse en un enfoque participativo, en todos los niveles.

Si se considera que la mayor solicitud de las organizaciones que trabajaron en el marco de la PAC era realizar una consulta indígena en el marco de elaboración de este PEGH, es posible afirmar que, de darse esta condición, se propiciaría la participación de todos los actores para el desarrollo y gestión del recurso hídrico. Este eje es relevado no tan solo por los actores comunitarios y locales, sino que también los actores privados, tanto empresas como APR.

3. Tercer eje: Las mujeres desempeñan un papel central en la provisión, gestión y salvaguardia del agua.

Un punto relevante en el proceso de PAC fue la participación de mujeres que lideraban las distintas organizaciones participantes del proceso PAC, especialmente las APR de la cuenca, las que desarrollan una fuerte labor de trabajo comunitario en función del recurso hídrico para la producción agrícola y de consumo humano. Este es un aspecto que debe ser relevado en la implementación de un PEGH en la Cuenca de Pampa del Tamarugal.

En ese sentido, la realidad local es coincidente con este eje de GIRH, por lo que creemos que esta realidad e interés debiese abordarse desde la vinculación de estas Lideresas con actores públicos, como universidades y servicios públicos, para generar procesos de capacitación, pasando por giras tecnológicas a otras regiones que cuenten con avances de gestión del recurso hídrico, e insertando la perspectiva de género en los ejes productivos de los servicios públicos que trabajan vinculados a este recurso, tanto en riego como en producción agrícola eficiente, entre otros, que es lo que por ejemplo INDAP regional realiza a través de un programa de mujeres rurales. Esto debiese ser parte integral de cualquier proceso de planificación del recurso.

Como se observa, tanto este eje de GIRH como la realidad de la cuenca, consideran que el rol de las mujeres puede ser valioso para el desarrollo de este tema, y para, paulatinamente, abordar los distintos escenarios de conflicto que han sido mencionados.

4. Cuarto eje: El agua tiene un valor económico en todos sus usos y debe ser reconocida como un bien económico (un bien económico no necesariamente es un bien de mercado)

Entre los elementos que fueron rescatados por la PAC fue el valor que tiene el agua en la cuenca, tanto simbólico como económico. Los actores participantes de este proceso están muy conscientes del valor económico del recurso hídrico.

De este modo, es posible afirmar que la perspectiva GIRH es la más indicada para abordar las brechas y problemas detectados en la PAC, así como las desconfianzas y conflictos existentes.

Por otro lado, también se han detectado las siguientes brechas

- Se requiere una estrategia de **Desarrollo a nivel cuenca**, o algún marco general, que aglutine todos los objetivos de cada institución pública en un gran marco general, con lineamientos comunes y perspectiva integral y territorial, para trabajar en el desarrollo de las potencialidades y dar respuesta a las problemáticas de la cuenca y de los diversos actores que la componen.
- Complementariamente al punto anterior se necesita contar con una estrategia de **Desarrollo local** que entregue los lineamientos identitarios y territoriales necesarios para abordar las temáticas rurales, sus potencialidades, problemas y deficiencias propias que posee la ruralidad de Tarapacá, tales como sus condiciones geográficas y territoriales propias de la zona, caracterizada por su alta dispersión (desarrollo económico y fomento productivo, recursos hídricos y medio ambiente, ERNC, servicios básicos, educación, salud, migración, inmigración, aislamiento, desarrollo a escala territorial y rural), que entregue perspectiva de mediano y largo plazo para la institucionalidad pública y sus lineamientos de intervención en la zona rural, que permita realizar la integración correspondiente de la ruralidad al desarrollo regional, considerando que los recursos naturales que dan soporte a las áreas estratégicas regionales se encuentran principalmente en estos territorios (Turismo, Recursos Hídricos, ERNC, patrimonio, centros de producción agrícola, minería).

- Políticas públicas no logran ser consistentes con la condición de escasez dado políticas centralizadas, falta de política de Estado y fomentos definidos centralmente.
- Esfuerzos de coordinación entre los distintos actores no han prosperado, en parte porque las políticas públicas no se construyen en diálogo con otras, en parte por definiciones generadas a nivel central, y por la redefinición de acciones realizadas en cada periodo gubernamental.
- Deficiente coordinación de servicios públicos para dar a conocer alcances de su Intervención en el territorio.
- Numerosos diagnósticos y estudios que no se concretan en acciones, genera un desgaste en los actores participantes. (Públicos, locales y privados)
- La baja incidencia del nivel local en las acciones de rehabilitación del territorio, lo cual también repercute en la sustentabilidad del mismo.
- Las actividades de participación ciudadana y técnica tienden a ser sólo informativas y no participativas y generadoras de retroalimentación y diálogo como su nombre lo indica.
- Asimetría de información entre los diversos actores.
- Falta de planes de mejoramiento para optimizar procesos
- Falta de presupuesto para la ejecución de las funciones de la DGA regional
- Escasez de seguimiento a procesos de regularizaciones de derechos de agua
- No existe un Plan que recabe todas las investigaciones en realización y coordine la interacción de sus realizadores.
- Falta incorporar aspectos de la dimensión antropológica en la gestión del recurso hídrico, especialmente referidas a la significación cultural del recurso hídrico.
- El despoblamiento de las localidades, junto con la pérdida de superficie cultivada y la subdivisión de predios en parcelas de agrado, han llevado a una pérdida de la identidad agrícola (en particular el oasis de Pica).

Iniciativas vigentes

La cartera de inversión vigente de MIDESO incluye 3 iniciativas asociadas a gobernanza, específicamente a "fortalecimiento de organizaciones", lo cual se presenta en la Tabla 6-4.

Tabla 6-4 Iniciativas en cartera de inversiones públicas MIDESO, categorizadas como fortalecimiento de organizaciones.

Tipología cartera vigente	Código BIP	Descripción	Tipología	Subsector	Institución financiera	Costo total (M\$)
Fortalecimiento de Organizaciones	30452978-0	Difusión ley fomento al riego, pequeña agricultura y pueblos originarios año y etapa a financiar: 2021-ejecución	Programa	Agricultura	Gobierno regional - región de Tarapacá	2.257.250
Fortalecimiento de Organizaciones	40014053-0	Transferencia para la formación de la CAS del acuífero, comuna de Pica año y etapa a financiar: 2021-ejecución	Programa	Riego	CNR	181.687
Fortalecimiento de Organizaciones	40027411-0	Capacitación digitalización de infraestructura de riego y zonas agrícolas de Huara y Camiña año y etapa a financiar: 2021-ejecución	Programa	Agricultura	Gobierno regional - región de Tarapacá	167.999

Fuente: elaboración propia.

Sistemas de información

A continuación, se presentan diagnósticos, medidas propuestas o vigentes, referentes a medidas de gestión, en particular a sistemas de información.

Diagnóstico

- No hay un seguimiento real y actual de la situación hídrica en la Región, que se alimente de la información de sus propias redes de medición, de las bases de datos de derechos de agua y de la información ambiental. Esto en parte es producido por la carencia de una base de datos regional actualizada que integre las diversas fuentes de información, manejada y operada por la Dirección Regional.
- Falta de sistematización de información ambiental.

Iniciativas vigentes

La cartera de inversión vigente de MIDESO no incluye explícitamente iniciativas acerca de sistemas de información.

Medidas para Seguimiento ambiental y de contaminación

A continuación, se presentan diagnósticos, medidas propuestas o vigentes, referentes a medidas de gestión, en particular al seguimiento ambiental y de contaminación.

Diagnóstico

- Faltan medidas de prevención y control de riesgo de contaminación de pasivos ambientales.
- Falta análisis de medidas implementadas para revertir impactos ambientales sobre objetos de protección declarados por la actividad minera.
- Falta asumir la responsabilidad de cuantificar y descontaminar el agua que se utiliza.
- No se realiza un seguimiento de cómo el uso de recursos hídricos subterráneos afecta y afectará las fuentes naturales y sistemas ambientales asociados. Esto se debe a la falta de análisis que se realiza a la información disponible, debido a que esta no es analizada en forma independiente y conjunta con otras fuentes de información.
- No hay seguimiento de la sostenibilidad de las fuentes críticas utilizadas por las actividades productivas de la Región.
- Falta implementación de Control de Extracciones establecido en RES N° 395/2011 por falta de recursos.
- Inexistencia de normas secundarias de calidad.

Iniciativas vigentes

La cartera de inversión vigente de MIDESO no incluye explícitamente iniciativas acerca de Seguimiento ambiental y de contaminación.

Capital humano

A continuación, se presentan diagnósticos, medidas propuestas o vigentes, referentes a medidas de gestión, en particular al capital humano.

Diagnóstico

- Existe la necesidad de fortalecimiento de capacidades de usuarios de agua en la cuenca, tanto APR como OUA.
- Escasa capacitación a los celadores en temas de repartición de agua y uso de la infraestructura, problemática planteada en el estudio de la CNR (2013) donde se propone un programa de apoyo a las comunidades de aguas que espera contar con comunidades de aguas educadas, funcionales, informadas, fortalecidas, empoderadas del riego y su gestión, generando comunicación fluida al interior y exterior de las comunidades de aguas. También se espera que cuenten con capacidad de Gestionar sus proyectos ante la ley 18.450, INDAP, CONADI, proyectos ante estamentos públicos y privados. Así mismo, esta escasa

capacitación también vincula con problemas de eficiencia en el riego de parte los celadores quienes sin capacitación formal han ido asumiendo este rol en el tiempo, donde también se hace necesaria una renovación en estos cargos.

- Las capacitaciones técnicas son nulas o muy escasas y puntuales. En particular, no existen programas de capacitación y asistencia técnica para mejorar el uso y conservación de la infraestructura que se implementa vía proyectos del estado. En tecnificación de riego, las capacitaciones son escasas y puntuales, solo reciben la charla técnica que entrega el proveedor. No hay un acompañamiento de al menos una temporada para familiarizar al agricultor con la nueva tecnología.
- Falta capacitación educativa a la población para un mejor uso de los recursos. problema que ve reflejado en la baja eficiencia de los sistemas de riego o la baja renovación de cargos asociados al manejo de recursos hídricos.

Iniciativas vigentes

La cartera de inversión vigente de MIDESO no incluye explícitamente iniciativas para fortalecimiento de capital humano.

Fortalecimiento y formalización de las OUA

A continuación, se presentan diagnósticos, medidas propuestas o vigentes, referentes a medidas de gestión, en particular al fortalecimiento y formalización de las OUA.

Diagnóstico

- Insuficiente autorregulación que las propias OUAs pueden hacer al respecto. Se enfrentan a una serie de dificultades dadas por desconocer con claridad la disponibilidad hídrica real que pueden administrar.
- Poco interés y motivación, bajo nivel de compromiso y participación organizacional.
- Bajo nivel de gestión y administración por parte de las OUA
- Persisten temas legales que afectan las OUA identificadas en Programa de fortalecimiento y que aún no son resueltos.
- Dificultad legal, técnica y administrativa para acceder a proyectos de la Ley 18.450, INDAP.
- Conflicto de interés con los agricultores que por años se han dedicado a la actividad agrícola.
- No se realizan actividades para el fomento o profesionalización de OUAs.
- No existen juntas de vigilancia para las fuentes de recursos superficiales utilizados para riego, que genere las instancias de negociación necesarias para la resolución de conflictos, así como las comunidades de agua subterránea en acuíferos declarados áreas de restricción.
- La Gestión de recursos para arreglar sus obras, depende del proyecto, concurso y consultor y no las necesidades de las OUA.

- Nunca recibieron capacitación ni les han explicado cómo funcionaban las comunidades de aguas. Carecen de conocimientos y alcances de las comunidades de aguas.
- No existen juntas de vigilancia para fuentes superficiales y comunidades de agua subterránea en acuíferos con área de restricción.

Fortalecimiento organizaciones comunitarias

A continuación, se presentan diagnósticos, medidas propuestas o vigentes, referentes a medidas de gestión, en particular al fortalecimiento de organizaciones comunitarias.

Diagnóstico

- Bajo nivel de gestión y administración por parte de las Organizaciones Indígenas en relación al manejo y uso del recurso hídrico. Esto representa un problema porque implica: pérdidas del recurso, por desconocimiento de su manejo, o manejo poco eficiente, dificultades de gestión del recurso implica que se pierden oportunidades de financiamiento para mejorar su eficiencia productiva, y en suma, es un problema porque representa pérdida de un recurso escaso y que es necesario manejar de forma eficiente.
- No hay una estructura de coordinación a nivel de organizaciones indígenas que oriente su trabajo en el Fomento Productivo.
- Carecen de conocimientos y alcances de las organizaciones indígenas para participar de proyectos de fomento al riego que dispone la CNR e INDAP.
- Poco interés y motivación, bajo nivel de compromiso y participación organizacional.
- No se consideran las necesidades de las organizaciones indígenas para la gestión de proyectos, sino que esta depende de concurso y consultor

Iniciativas vigentes

La Tabla 6-5 presenta las iniciativas de la cartera de iniciativas de inversión vigente para actividades de Fortalecimiento de OUAs y APRs.

6.2.3 Otras medidas

A continuación, se presentan otros diagnósticos y medidas, en caso que existan, que no caen dentro de las temáticas anteriores.

Conocimiento en materia hídrica

A continuación, se presentan diagnósticos, medidas propuestas o vigentes, referentes a otras medidas no abordadas en las categorías anteriores, específicamente conocimiento en materia hídrica.

Diagnóstico

- Existen vacíos de conocimiento en temas hidrológicos, hidrogeológicos y ambientales.
- No se conoce con el detalle adecuado el funcionamiento de los acuíferos que alimentan vegas y bofedales.
- Desconocimiento de la demanda ambiental.
- Existe una preocupación por parte de las comunidades por el desconocimiento acerca de varias temáticas, entre ellas: la calidad del agua, tanto potable como para riego y cumplimiento de normas chilenas; las pérdidas existentes; cantidad de agua disponible y usuarios reales que riegan.
- Falta información sobre el requerimiento hídrico de las vegas y bofedales a disposición de los distintos actores sociales de la Región.
- La región carece de información actualizada de la superficie cultivada, cultivos, niveles de producción, no existen microdatos relacionados con el agro, que permita retroalimentar las estrategias abordadas en cuanto a sus resultados de las distintas intervenciones públicas de las instituciones ligadas al agro (Comisión Regional de Riego CRR) e ir evaluando en primera instancia los efectos de las estrategias y prioridades dadas a los territorios, es decir le da soporte al sistema retroalimentándolo con datos oportunos que permita ir evaluando directrices, prioridades, recursos y acciones.

Información para mejorar calibración de modelación

El estudio de Con Potencial (DGA, 2018b) indica que existen una serie de factores que hacen que el modelo tenga limitaciones con respecto a la calibración y, en consecuencia, con elementos más finos de predicción, esto es, piezometría a escala local, mas no el balance hídrico de largo plazo del sistema. En este contexto, Con Potencial propone las siguientes recomendaciones para que futuras modelaciones subsanen esta situación:

- Mejorar la estimación de los mecanismos de recarga y la cuantificación de ésta. Modelos anteriores utilizan como recarga directamente el caudal medio anual traspuesto desde una cuenca a otra, sin tomar en cuenta cuánto de ese caudal infiltra. Esto corresponde a un escenario optimista en cuanto a la recarga, produciendo expectativas sobreestimadas de la cantidad de recurso hídrico disponible en el largo plazo.
- Mejorar la red de medición en las zonas de estrés producto del bombeo e identificar si los niveles medidos corresponden a niveles dinámicos o estáticos.
- Confeccionar el modelo en un software que permita utilizar malla no estructurada, para el refinamiento de ésta, ya sea en las zonas de estrés o en las zonas cercanas a condiciones de borde.
- Proponer una estratificación en sentido vertical e identificar de manera precisa el fondo impermeable, estratos confinantes, lentes de arcilla y otros elementos que hagan que el valor de la conductividad hidráulica obtenida corresponda al producto de una conductividad hidráulica por un factor de corrección a causa de la ausencia de esta información.

- Identificar el nivel de agua salobre, ya que, si bien existe un gran volumen de almacenamiento del recurso hídrico, este posee un volumen muerto de agua, no apta para el consumo humano y que hace que las proyecciones de durabilidad del recurso sean mayores a las reales.
- Obtener un valor certero para la evapotranspiración del tamarugo, delimitar zonas de tamarugo en buen y mal estado y otras mejoras, necesarias para tener mayor precisión de la evapotranspiración en función de la profundidad, y en la profundidad de extinción de ésta.

Finalmente hay que destacar que las iniciativas vigentes han resultado en un número bajo, y que éstas se concentran en tres tipos: conservación de obras de riego (2), conservación de riberas de cauces (2) y fortalecimiento de organizaciones (3).

6.2.4 Iniciativas interregionales

Adicionalmente existe una serie de iniciativas de inversión de carácter interregional, las cuales en algunos casos involucran acciones en la cuenca como parte de la Región. En el caso de las iniciativas DGA la mayor parte son iniciativas de "Conservación" de la infraestructura existente donde una forma conservadora de estimar la inversión regional podría ser a través de una división por las 16 regiones del país. En la Tabla 6-5 se presenta el listado de iniciativas interregionales ya comentada. Cabe señalar que el costo indicado es el costo total informado en el Banco integrado de Proyectos de MIDESO.

Tabla 6-5 Iniciativas interregionales en cartera de inversiones públicas MIDESO.

Código BIP	Descripción	Tipología	Subsector	Institución financiera	Costo total (M\$)
30089740-0	Conservación y mantención red hidrométrica nacional. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Recursos hídricos	DGA	2.470.743
30089747-0	Conservación de la red de transmisión de datos en tiempo real. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Recursos hídricos	DGA	193.452
30089748-0	Conservación de la red de obtención de datos a través de terceros. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Recursos hídricos	DGA	78.850
30130205-0	Conservación de la red sedimentométrica nacional. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Recursos hídricos	DGA	36.202
30130213-0	Conservación red de medición de parámetros glaciológicos. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Recursos hídricos	DGA	4.727.413
30130218-0	Conservación de la red hidrometeorológica. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Recursos hídricos	DGA	1.017.283
30130229-0	Conservación red de lagos nacional. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Recursos hídricos	DGA	264.527
30130257-0	Conservación de la red de aguas subterráneas. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Recursos hídricos	DGA	390.124
30130267-0	Conservación de la red de agua e hidrogeología nacional. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Recursos hídricos	DGA	602.794
30135814-0	Conservación inventario D° de agua Afecto pago de patente por no uso. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Recursos hídricos	DGA	994.220
30294322-0	Conservación de la red de protección de recursos hídricos nacional. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Recursos hídricos	DGA	399.588
30297833-0	Conservación de riberas de cauces naturales. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Defensas fluviales, marítimas y cauces naturales	DOH	10.659.814
30409172-0	Análisis para el desarrollo de un plan nacional de recursos hídricos. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Estudio básico	Recursos hídricos	DGA	1.480.807
30469884-0	Diagnóstico para el desarrollo de un plan de quebradas. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Estudio básico	Defensas fluviales, marítimas y cauces naturales	DOH	1.772.856
30484687-0	Transferencia para mejorar la gestión de las OUA beneficiadas del plan de pequeños embalses. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Programa	Riego	CNR	416.873
30484775-0	Conservación inventario público de extracciones efectivas aguas subterráneas y superficiales. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Recursos hídricos	DGA	293.785

Código BIP	Descripción	Tipología	Subsector	Institución financiera	Costo total (M\$)
40010793-0	Conservación infraestructura riego y drenaje Ley 18.450 (2019 – 2021). Año y etapa a financiar: 2021 – ejecución	Proyecto	Riego	DOH	402.013
40012044-0	Análisis implementación planes estratégicos de cuenca para la GRH nacional. Año y etapa a financiar: 2021 – ejecución	Estudio básico	Recursos hídricos	DGA	2.176.973
40012994-0	Diagnóstico para la implementación red nacional de alerta. Año y etapa a financiar: 2021 – ejecución	Estudio básico	Recursos hídricos	DGA	108.634
40020601-0	Conservación estaciones fluviométricas y reparaciones mayores. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Recursos hídricos	DGA	742.296
40020961-0	Análisis de inversión en infraestructura y gestión hídrica. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Estudio básico	Recursos hídricos	DOH	405.291
40024843-0	Capacitación para profesionales de la zona norte en gestión del recurso hídrico. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Programa	Riego	CNR	245.000
40025960-0	Conservación de riberas interregional 2020 – 2023 recup. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Defensas fluviales, marítimas y cauces naturales	DOH	6.973.332
40026219-0	Conservación de recolección y tratamiento de aguase servidas 2021 – 2022. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Evacuación disposición final aguas servidas	APR	5.500.000
40026226-0	Conservación fondos concursables para sistema de APR nivel nacional. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Agua potable	APR	20.449.998
40026229-0	Conservación - instalación de telemetría en sistema APR nivel nacional 2021 – 2022. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Agua potable	APR	20.449.998
40026319-0	Conservación infraestructura de riego interregional – 2020 2023. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Riego	DOH	20.185.478
40027052-0	Conservación y mantención red hidrométrica nacional plan de recuperación. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Recursos hídricos	DGA	536.813
40027054-0	Conservación red de medición de parámetros glaciológicos plan de recuperación. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Recursos hídricos	DGA	692.271
40027055-0	Conservación de la red hidrometeorológica plan de recuperación. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Recursos hídricos	DGA	378.938
40027056-0	Conservación red de lagos plan de recuperación. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Recursos hídricos	DGA	384.573
40027057-0	Conservación de la red de aguas subterráneas plan de recuperación. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Recursos hídricos	DGA	359.215
40027058-0	Conservación de la red de agua e hidrogeología plan recuperación. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Recursos hídricos	DGA	439.233

Código BIP	Descripción	Tipología	Subsector	Institución financiera	Costo total (M\$)
40027062-0	Conservación inventario D° de agua afecto pago de patente por no uso plan recuperación. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Recursos hídricos	DGA	316.974
40027964-0	Análisis para la formulación nacional planes estratégicos gestión hídrica. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Estudio básico	Recursos hídricos	DGA	6.375.463
40028923-0	Conservación estaciones fluviométricas y reparaciones mayores plan de recuperación. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Recursos hídricos	DGA	2.227.914
40029577-0	Transferencia tecnológica en programación y control de riego tecnificado. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Programa	Riego	CNR	220.000
40030052-0	Diagnóstico reúso aguas servidas tratadas riego rural. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Estudio básico	Riego	CNR	250.000
40030367-0	Conservación global sistemas agua potable rural. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Agua potable	APR	9.000.000
40031463-0	Conservación e instalación de telemetría en los sistemas APR año 2021 - 2022. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Agua potable	APR	6.500.000
40031470-0	Conservación sistemas APR, nivel nacional. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Proyecto	Agua potable	APR	7.357.113
40031625-0	Análisis de proyectos de riego con cambio climático. Año y etapa a financiar: 2021 - ejecución	Estudio básico	Riego	CNR	110.000

Fuente: página web de BIP-Mideso.

6.3 Acciones presentadas en PAC

Tal como fue mencionado anteriormente, el análisis de las acciones para la cuenca se basó en iniciativas estratégicas planteadas por estudios previos en la misma cuenca, en concordancia con las problemáticas y brechas existentes, las que fueron planteadas a los actores de la cuenca en los talleres PAC para su discusión. Es por ello que se identificaron 26 acciones, las cuales se presentan en la Tabla 6-6.

Tabla 6-6 Identificación de acciones para presentar en actividades PAC.

Id	Tipo	Id2	Id Acc	Acciones propuestas en PAC
1	Obras de Infraestructura	1.1	1	Mejoramiento, ampliación y modernización red de monitoreo DGA
		1.2	2	Construcción de obras de regulación
		1.3	3	Mejoramiento de sistemas y cobertura (APR, alcantarillado y sistemas tratamiento)
		1.4	4	Mejoramiento protección de riberas y cauces
2	Medidas de gestión hídrica	2.1	5	Alinear organismos en una visión común en materia de regularización de derechos
		2.2	6	Ampliar implementación de control de extracciones
		2.3	7	Campaña educativa de uso y cuidado responsable del agua
		2.4	8	Estudio de la constitución y operación de organizaciones de usuarios ancestrales de aguas
		2.5	9	Fortalecimiento de OUAs y APRs
		2.6	10	Implementación de un programa piloto de sistema de monitoreo para regantes
		2.7	11	Implementación y/o promoción de instancias participativas de cuenca
		2.8	12	Impulsar creación de nuevas juntas de vigilancia (fuentes superficiales) y comunidad de aguas en acuífero de la Pampa T.
		2.9	13	Mejorar sistema de información de recursos hídricos
		2.10	14	Plan de reducción de pérdidas (DGA-SISS-Aguas Altiplano)
		2.11	15	Plataforma ciudadana de información de aguas
3	Nuevas fuentes de agua	3.1	16	Propuesta de iniciativas de plantas desaladoras
		3.2	17	Propuesta de proyectos piloto de recarga artificial
4	Otras medidas	4.1	18	Caracterización de la calidad química de aguas (superficiales y subterráneos)
		4.2	19	Diagnóstico de la calidad de información hidrometeorológica de privados
		4.3	20	Formalizar relación DGA Minerías para traspaso de información meteorológica y fluviométrica
		4.4	21	Fortalecimiento y promoción de actividades productivas tradicionales
		4.5	22	Incentivar y facilitar la aplicación de la Ley de Fomento al Riego (Mejoramiento de sistemas de riego en los ámbitos de infraestructura, eficiencia, ambiental y monitoreo)
		4.6	23	Integración de información hidrometeorológica de otras fuentes a red DGA
		4.7	24	Mejorar información ambiental y de contaminación de recursos hídricos
		4.8	25	Mejorar información de sistemas de vegas y bofedales
		4.9	26	Mejorar información recursos hídricos en áreas deficitarias

Fuente: elaboración propia.

6.3.1 Relación acciones y objetivos del plan

Como ya fue mencionado, las acciones levantadas para la discusión en el proceso de PAC, fueron seleccionadas a partir del análisis de antecedentes.

La relación entre las acciones ya identificadas, se presentan en la Tabla 6-6 y los objetivos del plan, se presentan en la Tabla 6-7.

6.4 Relación entre brechas del plan, ejes y acciones

En el capítulo 2.6.3 fueron presentadas tanto las “brechas de coordinación desde la PAC”, así como las “brechas de coordinación identificadas desde la experiencia internacional”. Ambos conjuntos de brechas se relacionan directamente con los ejes del plan “Información y monitoreo del recurso hídrico” y “Gestión y gobernanza del agua”. En el caso de las brechas desde la PAC, principalmente centradas en la necesidad de instancias de coordinación territorial, y en el caso de las brechas desde la experiencia internacional, centradas en los Principios de gobernanza de la OCDE los cuales cruzan aspectos de información y gobernanza del agua.

Luego, en el capítulo 2.6.4 fueron presentadas las “brechas de información levantadas desde el proceso de PAC”, las cuales también están vinculadas con los ejes “Información y monitoreo del recurso hídrico” y “Gestión y gobernanza del agua”, al plantear brechas y necesidades sobre información de estado de la calidad de agua en la cuenca, información sobre derechos de agua, información sobre usuarios de agua, necesidad de fortalecimiento de capacidades de usuarios de agua en la cuenca, y necesidades de difusión de información, entre otras.

Sin embargo, las acciones identificadas en la Tabla 6-6 abordaron de manera general los aspectos de información y gobernanza. En el caso de la “gestión de información” son de gran importancia para aterrizar las acciones levantadas, y en cuanto a la “gobernanza”, ésta resulta clave para una futura implementación y seguimiento del plan.

Por otro lado, las brechas identificadas desde la modelación se presentan en la sección 5.2, las cuales dan cuenta de brechas de información tales como: insuficiente información base para la modelación, insuficiente distribución de estaciones en la cuenca, insuficiente data de caudales y de mediciones en pozos, insuficiente información meteorológica, incerteza en las demandas de agua en la cuenca, y limitaciones en cuanto al modelo desarrollado, entre otras. Este conjunto de brechas relacionadas con “Información y monitoreo del recurso hídrico” y “Gestión y gobernanza del agua” tienen consistencia con las acciones identificadas en la Tabla 6-6.

Cabe señalar que se evidenció una desconfianza desde muchos actores hacia el accionar de la DGA y demás servicios públicos, que se supone a la falta de información adecuada hacia los distintos usuarios de agua. Si se quiere que los actores comunitarios de la zona participen adecuada y activamente en la implementación del PEGH se requiere confrontar estas brechas de información ante todos los tipos de actores comunitarios y mejorar la difusión de información en forma coordinada entre los servicios del Estado y todos los demás actores de la cuenca.

6.5 Acciones adicionales

Adicionalmente, se recogieron recomendaciones para futuras actualizaciones de la modelación en el marco del PEGH. Así mismo, recogiendo recomendaciones DGA, se mencionan potenciales iniciativas futuras a considerar en mediano y/o largo plazo que

no fueron priorizadas en el trabajo, pero que podrían ser consideradas para futuras actualizaciones del PEGH.

6.5.1 Recomendaciones a partir de los resultados de la modelación

La modelación de la cuenca también necesitó un análisis de toda la información hídrica de la cuenca y a partir de esto, identificar brechas de información para mejorar el conocimiento de la cuenca. Lo anterior se incluye en la sección 5.2 y las recomendaciones técnicas en esta materia se incluyen en el Anexo H, sección 5.5; éstas últimas se muestran en la Tabla 6-8.

Tabla 6-8 Recomendaciones para futuras actualizaciones de la modelación.

Recomendaciones
Complementar la red fluviométrica en la cuenca, en otras quebradas con flujo continuo, como la Quebrada de Aroma o la Quebrada de Chacarillas.
Realizar mantenimiento y mejoras a las estaciones de la Quebrada de Tarapacá, o bien incluir una estación adicional a la salida de la quebrada.
Realizar campañas de aforos en las diversas quebradas, para diversas épocas del año, que permitan complementar el conocimiento en relación a las zonas y magnitudes de recarga, así como posibles zonas de afloramiento.
Incluir nuevas estaciones de precipitaciones y temperaturas en altura, que complementen el registro de las estaciones existentes, y permitan realizar una mejor validación de productos satelitales.
Realizar un catastro de pozos con sistematización de datos como profundidad, intervalos habilitados/ranurados, niveles observados, etc.
Desarrollar un criterio de sostenibilidad sobre el cambio de volumen con más especificidad.
Incluir en futuras actualizaciones de la modelación, modelos climáticos con distintas sensibilidades climáticas, que permitan dar cuenta de la incertidumbre asociada al cambio climático y sus efectos sobre la estimación de la recarga.
Realizar mediciones de tasas de evapotranspiración de tamarugos en terreno, para permitir una mejor definición de la variación en profundidad de la evaporación.

Fuente: elaboración propia.

6.5.2 Recomendaciones de potenciales iniciativas para mediano/largo plazo

Recogiendo las recomendaciones de la DGA, resulta necesario mencionar cuatro iniciativas de inversión que podrían ser consideradas a futuro en una actualización de la cartera de inversiones del presente plan.

- a) Recarga Artificial de Acuíferos
- b) Construcción de estaciones fluviométricas
- c) Obras para control de crecidas
- d) Planta desaladora

Se sugiere considerar a futuro un proyecto de recarga artificial piloto que aproveche las aguas de las crecidas del invierno altiplánico que descargan las quebradas aportantes a la Pampa del Tamarugal. Para ello es necesario conducir las crecidas mediante

canalizaciones hasta balsas desarenadoras y luego a balsas de recarga ubicadas en los abanicos aluviales. Se sugiere realizar estas obras piloto en las quebradas que descargan un mayor caudal y que corresponden a las quebradas de Tarapacá, Chacarilla y Aroma, para posteriormente escalarlo a una escala mayor según los resultados de la experiencia.

Para abordar este tema, será necesario implementar un sistema de recarga artificial en un acuífero piloto, de manera de poder realizar una caracterización y ensayar con obras en al menos una quebrada en cuestión. Para ello se propone realizar una caracterización hidrogeológica local, realización de al menos un par de perfiles geofísicos, un par de sondajes de control (con instrumentación de control de niveles) y obras de movimiento de tierras, para generar balsas de recarga y canales de encauzamiento.

En cuanto a la red de estaciones fluviométricas de la cuenca, ésta es escasa, determinada principalmente, por la poca presencia de cursos de agua superficial permanentes. Es más, sólo la cuenca de quebrada de Tarapacá cuenta con estaciones fluviométricas, y en algunos sectores. Es por ello que se propone construir al menos una estación fluviométrica en las cuencas que cuenten con algún cauce continuo, como en los sectores altos de éstas, como en Quebrada de Aroma, Quebrada de Quipisca y Quebrada de Chacarilla.

En cuanto al control de crecidas, resulta necesario realizar un estudio de análisis con los sectores de mayor necesidad de generar obras de control de crecidas. Una vez identificados los sectores con mayor necesidad, se generarán los ejes hidráulicos, así como la ingeniería para subsanar los tres sectores con mayor necesidad. La ingeniería deberá contener la información (documentos y planos) para solicitar a la DOH la presentación de defensas fluviales en estos tres sectores.

En cuanto a una planta desaladora para la cuenca, si bien todavía hay espacio para postergarla, se espera que dentro de los años resulte necesario iniciar al menos los trabajos de diseño de una planta de este tipo.

A modo referencial, la Tabla 6-9 identifica las iniciativas junto con sus presupuestos y plazos estimados, así como un calendario de ejecución.

Tabla 6-9 Presupuesto y plazos estimados para iniciativas adicionales no incluidas en la cartera del PEGH.

Iniciativas consolidadas	Monto (Millones \$)	Plazo (meses)	AÑOS											Financia	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
Recarga artificial de acuíferos	144,00	12								x					DOH
Estaciones fluviométricas	90,00	9							x						DGA
Obras de control de crecidas	74,00	6									x				DOH
Planta desaladora	156,00	6												x	GORE-FNDR

Las fichas resumen para estas 4 iniciativas adicionales, se incluyen en Anexo F Apéndice Iniciativas.

7. CARTERA DE INICIATIVAS PROPUESTAS

El objetivo de este capítulo es generar la cartera de iniciativas que conforma el PEGH.

Para esto, en primer lugar, se establece una priorización de las acciones abordadas en las actividades de PAC, luego se identifican las iniciativas que permiten abordar dichas acciones, y finalmente se propone un cronograma para abordarlas.

7.1 Priorización de acciones

En primer lugar, en la ronda del Taller 2 se presentó un conjunto de 26 acciones provenientes del análisis bibliográfico y de las reuniones previas con actores de la cuenca.

Cabe señalar que en la actividad de PAC, mediante la herramienta Menti se recogió una priorización de los actores para las acciones consideradas y finalmente se adoptó un enfoque de análisis multicriterio (Sección 3.5 de Anexo F) para la priorización de iniciativas. Los elementos, criterios y subcriterios considerados se presentan en la Tabla 7-1. A partir de dicha evaluación se elaboró un listado priorizado de acciones. Cabe señalar que las acciones consideradas se refieren a ideas o soluciones más amplias que una iniciativa concreta, y lo que se busca finalmente es identificar las iniciativas concretas que permitan abordar dichas acciones.

Tabla 7-1 Elementos, criterios y subcriterios de la priorización.

Elemento	Criterio	Subcriterio
Acceso al agua en un nivel de cantidad y calidad adecuada.	<i>Eficiencia y efectividad de la iniciativa.</i>	Beneficiarios atendidos (número de beneficiarios totales).
		Vida útil de la iniciativa (en años).
		Costo de la iniciativa por beneficiario (Inversión/número de beneficiarios).
		Eficiencia económica de la iniciativa (Inversión / l/s).
		Nivel de calidad del agua provista por la iniciativa.
Sustento y aprovechamiento en el tiempo, tanto para la salud, subsistencia, desarrollo socioeconómico.	<i>Impacto socioeconómico de la iniciativa.</i>	Nivel socioeconómico de los beneficiarios.
		Impacto esperado sobre la productividad de los beneficiarios.
		Impacto esperado sobre la calidad de vida de los beneficiarios.
		Pertinencia sociocultural de la iniciativa en el territorio.
Conservación de los ecosistemas [y] resiliencia frente a amenazas asociadas a sequías, crecidas y contaminación.	<i>Contribución a la conservación de ecosistemas y resiliencia territorial de la iniciativa.</i>	Cobertura territorial de la iniciativa.
		Grado de escasez o calidad de las aguas del territorio cubierto.
		Impacto ambiental de la iniciativa sobre el territorio.
		Localización en áreas con protección ambiental o turística.

Fuente: elaboración propia.

La Tabla 7-2 presenta los resultados de la evaluación. Luego, considerando un puntaje de corte 4,1, se generó un listado con 7 acciones priorizadas, el cual se presenta en la Tabla 7-3.

Tabla 7-2 Resultados de evaluación de acciones y priorización.

Id	Tipo	Id2	Id Acc	Acciones propuestas	Ev. Final Corte=4,0 7/26
1	Obras de Infraestructura	1.1	1	Mejoramiento, ampliación y modernización red de monitoreo DGA.	3,9
		1.2	2	Construcción de obras de regulación.	3,8
		1.3	3	Mejoramiento de sistemas y cobertura (APR, alcantarillado, y sistemas de tratamiento).	4,1
		1.4	4	Mejoramiento protección de riberas y cauces.	3,7
2	Medidas de gestión hídrica	2.1	5	Alinear organismos en una visión común en materia de regulación de derechos.	4,0
		2.2	6	Ampliar implementación de control de extracciones.	3,8
		2.3	7	Campaña educativa de uso y cuidado responsable del agua.	3,9
		2.4	8	Estudio de la constitución y operación de organizaciones de usuarios ancestrales de aguas.	3,9
		2.5	9	Fortalecimiento de OUAs y APRs.	4,1
		2.6	10	Implementación de un programa piloto de sistema de monitoreo para regantes.	3,8
		2.7	11	Implementación y/o promoción de instancias participativas de cuenca.	3,8
		2.8	12	Impulsar creación de nuevas juntas de vigilancia (fuentes superficiales) y comunidad de aguas en acuífero de la Pampa del Tamarugal.	4,0
		2.9	13	Mejorar sistema de información de recursos hídricos.	3,9
		2.10	14	Plan de reducción de pérdidas (DGA-SISS-Aguas Altiplano).	3,7
		2.11	15	Plataforma ciudadana de información de aguas.	4,0
3	Nuevas fuentes de agua	3.1	16	Propuesta de iniciativas de plantas desaladoras.	3,7
		3.2	17	Propuestas de proyectos piloto de recarga artificial.	3,8
4	Otras medidas	4.1	18	Caracterización de la calidad química de aguas (superficiales y subterráneas).	3,9
		4.2	19	Diagnóstico de la calidad de información hidrometeorológica de privados.	3,6
		4.3	20	Formalizar relación DGA Mineras para traspaso de información meteorológica y fluviométrica.	3,8
		4.4	21	Fortalecimiento y promoción de actividades productivas tradicionales.	4,0
		4.5	22	Incentivar y facilitar la aplicación de la Ley de Fomento al Riego (mejoramiento de sistemas de riego en los ámbitos de infraestructura, eficiencia, ambiental y monitoreo).	4,0
		4.6	23	Integración de información hidrometeorológica de otras fuentes a red DGA.	3,7
		4.7	24	Mejorar información ambiental y de contaminación de recursos hídricos.	3,9
		4.8	25	Mejorar información de sistemas de vegas y bofedales.	3,8
		4.9	26	Mejorar información recursos hídricos en áreas deficitarias.	3,7

Fuente: elaboración propia.

Tabla 7-3 Acciones priorizadas en la cuenca según criterio de corte.

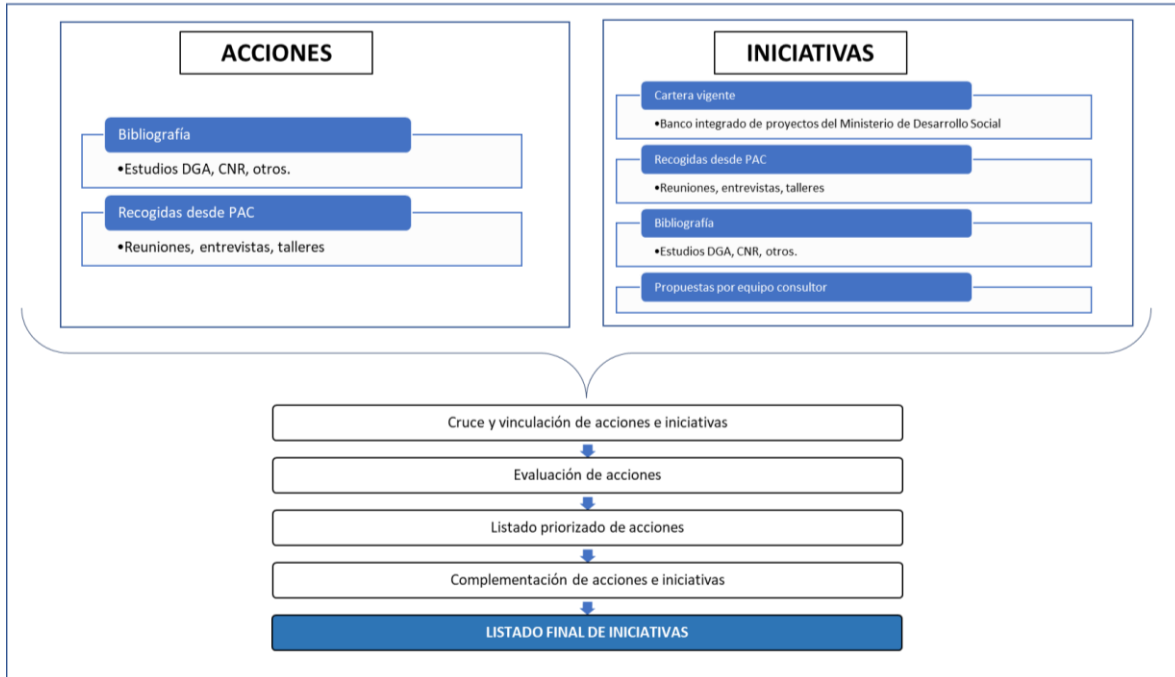
Id	Tipo	Id2	Id Acc	Acciones priorizadas
1	Obras de Infraestructura	1.3	3	Mejoramiento de sistemas y cobertura (APR, alcantarillado y sistemas tratamiento).
2	Medidas de gestión hídrica	2.1	5	Alinear organismos en una visión común en materia de regularización de derechos.
		2.5	9	Fortalecimiento de OUAs y APRs.
		2.8	12	Impulsar creación de nuevas juntas de vigilancia (fuentes superficiales) y comunidad de aguas en acuífero de la Pampa T.
		2.11	15	Plataforma ciudadana de información de aguas.
4	Otras medidas	4.4	21	Fortalecimiento y promoción de actividades productivas tradicionales.
		4.5	22	Incentivar y facilitar la aplicación de la Ley de Fomento al Riego (Mejoramiento de sistemas de riego en los ámbitos de infraestructura, eficiencia, ambiental y monitoreo).

Fuente: elaboración propia.

Este listado priorizado de acciones de la Tabla 7-3 debió ser transformado a iniciativas concretas. Para esto, en forma paralela se levantó el conjunto de iniciativas de inversión incluyendo las de la cartera vigente, las recogidas en proceso PAC, las recogidas en la revisión bibliográfica, y nuevas iniciativas propuestas por el equipo consultor. En caso de no existir acción o iniciativa según sea el caso, fueron agregadas a partir de la información manejada por el equipo consultor.

Así, a partir de lo anterior y tomando en consideración lo indicado en la sección 6.4, el listado de iniciativas a proponer desde el listado de acciones priorizadas debe abordar tanto los objetivos del plan, así como las brechas identificadas, pero también tomando en consideración complementar con iniciativas del ámbito "Información y monitoreo del recurso hídrico" y "Gestión y gobernanza del agua", que, si bien no fueron priorizadas en los primeros lugares por la votación de la PAC, son claves para el PEGH.

Finalmente, el esquema de la Figura 7.1 resume los pasos desarrollados para el listado final de iniciativas.



Fuente: elaboración propia.

Figura 7.1 Esquema general para elaboración de Plan de acción.

La Tabla 7-4 presenta la relación entre el listado completo de acciones (29) y las iniciativas levantadas desde estudios previos (113). Cabe señalar que fue necesario agregar 3 nuevas acciones a la clasificación. Estas nuevas acciones daban cuenta del proceso de entrevistas, reuniones, talleres y del análisis técnico desarrollado durante el trabajo, incluyendo los aspectos de modelación.

Tabla 7-4 Resultados del cruce del Acciones (29) con Iniciativas previas (113).

Id	Tipo	Id Acción	Acciones propuestas	Id inic. planes	Iniciativas previas	Acc. Prior.
1	Obras de Infraestructura	1	Mejoramiento, ampliación y modernización red de monitoreo DGA.	40	Diseño e implementación de una red de monitoreo ambiental de los acuíferos que alimentan vegas y bofedales protegidos por la DGA, basados en los resultados del estudio anterior.	
				41	Diseño e Implementación de red de monitoreo de calidad química del agua superficial y subterránea.	
				42	Plan de mejoramiento de estaciones fluviométricas existentes.	
				43	Plan de frecuencias de control de niveles y calidad de aguas en Red Hidrométrica.	
				47	Equipamiento Instalación de Estaciones Agrometeorológicas.	
				48	Programa de implementación sistemas de trasmisión remota en estaciones de Red Hidrometeorológica.	
				49	Proyecto de actualización de la red de medición de evaporación DGA.	
				50	Proyecto de actualización de la red de medición de niveles DGA.	
				51	Programa de obras de protección a red fluviométrica en las cuencas de Camiña y Tarapacá.	
				52	Estudio de definición de umbrales de alerta de crecidas (caudales) en las cuencas de Camiña, Aroma y Tarapacá.	
				53	Programa de diseño e implementación de estación fluviométrica satelital de crecidas en la Quebrada Aroma.	
		2	Construcción de obras de regulación.	5	Construcción Embalse Pintanane en Quebrada Aroma, Huara.	
				6	Construcción Embalse Quebrada de Tarapacá.	
				29	Construcción obras de regulación.	
				30	Construcción obras de regulación.	
				31	Construcción obras de regulación.	
		3	Mejoramiento de sistemas y cobertura (APR, alcantarillado y sistemas tratamiento).	11	Estudio y diseño para la construcción de un sistema de alcantarillado y tratamiento de aguas servidas en Chanavayita, caletas del litoral sur, Pisagua, sector Las quintas de Pozo Almonte y La Huayca.	x
				12	Extensión de redes de AP en La Tirana.	x
				13	Instalación Sistema APR, localidades de Apamilca, Yala Yala, Quistagama, Saiña y Cuisama.	x
				14	Instalación Sistemas de APR, localidades de Laonzana, Moquella sector Francia y Enquelga, Región de Tarapacá.	x
				15	Instalación Sistemas de APR, localidades Nama, Mocha, Parca, Achacagua, Chusmiza, Macaya y Pintados, Región de Tarapacá.	x
				18	Mejoramiento Sistema de Agua Potable Rural de Laonzana.	x
				22	Independizar tubería de aguas del altiplano, Chintaguay. (Pica).	x
				27	Reparar infraestructura (Pica).	x
				28	Aumento de cobertura de sistemas de agua potable rural y semiurbano.	x
		36	Mejoramiento sistema APR Tarapacá.	x		

Id	Tipo	Id Acción	Acciones propuestas	Id inic. planes	Iniciativas previas	Acc. Prior.			
				37	Mejoramiento sistema APR Pachica.	x			
				38	Construcción sistema de APR Chusmiza y Usmagama Huara.	x			
				39	Mejoramiento sistema APR Huarasiña.	x			
				44	Rediseño de APR para complementar proyecto de sistema de tratamiento de Aguas servidas de Camiña.	x			
				45	Reposición sistema de agua potable rural de Chapiquilta, Camiña.	x			
		4	Mejoramiento protección de riberas y cauces.		1	Conservación obras fluviales Región de Tarapacá año 2013.			
					19	Obras de Protección de cauce CMCC.			
					34	Protección de cauces y riberas.			
					35	Protección de cauces y riberas.			
		Nueva 1	Mejoramiento sistemas de riego.		16	Mejoramiento de sistemas de riego en los ámbitos de infraestructura, eficiencia, ambiental y monitoreo.			
					24	Mejoramiento de sistemas de riego en los ámbitos de infraestructura, eficiencia, ambiental y monitoreo (Huara).			
					25	Mejoramiento de sistemas de riego en los ámbitos de infraestructura, eficiencia, ambiental y monitoreo (Pica).			
					26	Mejoramiento de sistemas de riego en los ámbitos de infraestructura, eficiencia, ambiental y monitoreo (Pozo Almonte).			
					32	Estudio integral del recurso hídrico para riego.			
					33	Estudio integral del recurso hídrico para riego.			
46	Conservación infraestructura Ley 18.450 de Fomento al riego y drenaje (nivel interregional).								
54	Promoción y Evaluación de Proyectos de Riego para Organizaciones Indígenas, Región de Tarapacá 2013.								
55	XXII Concurso UMA, para la ejecución de obras de riego a favor de familias pertenecientes al área de desarrollo indígena, Jiwasa Orajé, Provincia El Tamarugal, año 2013.								
2	Medidas de gestión hídrica	5	Alinear organismos en una visión común en materia de regularización de derechos.	57	Programa para el establecimiento de criterios comunes en materia de regularización de derechos de agua (DGA-Tribunales-CONADI).	x			
							6	Ampliar implementación de control de extracciones.	60
		7	Campaña educativa de uso y cuidado responsable del agua.	72	Implementar campañas de educación de cómo ahorrar agua a la población.				
							77	Jornadas Informativas de Recursos Hídricos.	
		8	Estudio de la constitución y operación de organizaciones de usuarios ancestrales de aguas.	68	Estudio de la constitución y operación de organizaciones de usuarios ancestrales de aguas.				
							80	Guía operativa de puesta en valor de actividades ancestrales asociadas al recurso hídrico.	

Id	Tipo	Id Acción	Acciones propuestas	Id inic. planes	Iniciativas previas	Acc. Prior.
		9	Fortalecimiento de OUAs y APRs.	69	Capacitación(es) para el fomento de asociatividad entre OUAs.	x
				85	Programa de apoyo al fortalecimiento organizacional (Camiña).	x
				86	Programa de apoyo al fortalecimiento organizacional (Colchane).	x
				87	Programa de apoyo al fortalecimiento organizacional (Huara).	x
				88	Programa de apoyo al fortalecimiento organizacional (Pica).	x
				89	Programa de apoyo al fortalecimiento organizacional (Pica).	x
				90	Programa de apoyo al fortalecimiento organizacional (Pozo Almonte).	x
				56	Mejorar Operación de los Sistemas de Agua Potable Rurales.	x
				58	Cumplimiento de la NCh 409 por parte de los sistemas de AP.	x
		59	Evaluación de alternativas para disminución de costos de tratamiento para abastecimiento de agua a APR.	x		
		10	Implementación de un programa piloto de sistema de monitoreo para regantes.	63	Implementación de un programa piloto de sistema de monitoreo para regantes (Huara).	
				64	Implementación de un programa piloto de sistema de monitoreo para regantes (Pica).	
				65	Implementación de un programa piloto de sistema de monitoreo para regantes (Pozo Almonte).	
		11	Implementación y/o promoción de instancias participativas de cuenca.	67	Comité de Recursos Hídricos.	
				70	Generar condiciones para realizar participaciones ciudadanas efectivas.	
		12	Impulsar creación de nuevas juntas de vigilancia (fuentes superficiales) y comunidad de aguas en acuífero de la Pampa del Tamarugal.	74	Programa DGA de incentivo a la formación de juntas de vigilancia en cuencas específicas.	x
				75	Programa DGA de formación de la comunidad de aguas del acuífero Pampa del Tamarugal.	x
				82	Transferencia para la Constitución de Junta de Vigilancia Quebrada de Tarapacá.	x
				83	Programa de Constitución de comunidades de Aguas (Pozo Almonte).	x
				84	Programa de Constitución de comunidades de Aguas Sector Chiapa-Jaiña.	x
		13	Mejorar sistema de información de recursos hídricos.	91	Programa de constitución de comunidades de aguas sector de Aroma (Chiapa, Jaiña).	x
				79	Base regional de información DGA.	
				81	Sistematización información ambiental.	
		14	Plan de reducción de pérdidas (DGA-SISS-Aguas Altiplano).	92	Catastro de derechos de agua y jurisprudencia; y evaluación de los recursos hídricos subterráneos.	
				61	Implementar medidas de incentivo para AA en la línea de disminuir porcentaje de pérdidas en las redes de distribución.	
		15	Plataforma ciudadana de información de aguas.	76	Plataforma ciudadana de información de aguas.	x
		Nueva 2	Gobernanza.	66	Creación del cargo de Coordinador de Recursos Hídricos.	
				71	Implementación Interna del Plan Maestro de Recursos Hídricos.	

Id	Tipo	Id Acción	Acciones propuestas	Id inic. planes	Iniciativas previas	Acc. Prior.
3	Nuevas fuentes de agua	16	Propuesta de iniciativas de plantas desaladoras.	93	Propuesta de iniciativas de plantas desaladoras.	
		17	Propuesta de proyectos piloto de recarga artificial.	94	Propuesta de proyectos piloto de recarga artificial.	
4	Otras medidas	18	Caracterización de la calidad química de aguas (superficiales y subterráneos).	99	Estudio calidad de aguas sector La Tirana, Pozo Almonte, Pintados.	
				101	Clasificación del agua subterránea de acuerdo a su calidad.	
				106	Coordinar junto a SISS sistemas de información efectivos de calidad de aguas en sistemas concesionados.	
				111	Caracterización de la calidad química de los cuerpos de agua (superficiales y subterráneos) principales de la Región.	
		19	Diagnóstico de la calidad de información hidrometeorológica de privados.	116	Diagnóstico de la calidad de información hidrometeorológica de privados.	
		20	Formalizar relación DGA Mineras para traspaso de información meteorológica y fluviométrica.	115	Formalizar relación DGA-Mineras para traspaso de información meteorológica y fluviométrica.	
		21	Fortalecimiento y promoción de actividades productivas tradicionales.	95	Acuerdo de Producción Limpia Sector Productores de Limón de Pica.	x
				96	Implementación de proyectos de riego tecnificado para pueblos originarios orientados al cultivo de la quinoa. (Huara).	x
				121	Acuerdo de colaboración para promoción y puesta en valor de actividades productivas tradicionales.	x
		22	Incentivar y facilitar la aplicación de la Ley de Fomento al Riego (Mejoramiento de sistemas de riego en los ámbitos de infraestructura, eficiencia, ambiental y monitoreo).	123	Transferencia para concursos complementarios Ley Riego 18450.	x
		23	Integración de información hidrometeorológica de otras fuentes a red DGA.	117	Procedimiento de integración de información hidrometeorológicas de otras fuentes a red DGA.	
		24	Mejorar información ambiental y de contaminación de recursos hídricos.	102	Plan de vigilancia y seguimiento de pasivos ambientales que presentan riesgo de contaminación de recursos hídricos.	
				103	Análisis de riesgo de contaminación de acuíferos por pasivos ambientales mineros.	
				104	Medidas de mitigación y/o reparación en pasivos mineros contaminantes.	
113	Catastro de emergencias ambientales por eventos de contaminación.					
		114	Mapa de riesgo de contaminación de acuíferos.			

Id	Tipo	Id Acción	Acciones propuestas	Id inic. planes	Iniciativas previas	Acc. Prior.	
				118	Levantamiento del grupo objetivo de usuarios con potencial de contaminar el agua que utilizan no evaluado por el SEA.		
		25	Mejorar información de sistemas de vegas y bofedales.	109	Actualización del listado de vegas y bofedales, enfocado en aquellos que tienen relevancia para la biodiversidad regional.		
				110	Caracterización del funcionamiento hídrico de sectores acuíferos que alimentan vegas y bofedales protegidos por la DGA.		
				119	Determinación de consumos evapotranspirativos de la vegetación de vegas y bofedales en el altiplano y precordillera.		
				98	Análisis integrado de información a nivel de cuencas.		
		26	Mejorar información recursos hídricos en áreas deficitarias.	105	Coordinación por DGA de cooperación entre estudios de temáticas similares o complementarias.		
					107	Determinación de índices de extremos climáticos para la visualización de cambio climático y su posible incidencia en los recursos hídricos de la Región de Tarapacá.	
					108	Diagnóstico de situación de Riesgo en las Quebradas Laterales de Cauces de Camiña y Tarapacá.	
					112	Análisis de sedimentos en cauces superficiales.	
					120	Caracterización del funcionamiento hidrogeológico de los sectores Pampa del Tamarugal, Colchane, Camiña, Cuencas costeras y Salar de Huasco.	
					122	Seguimiento de la sostenibilidad en fuentes naturales críticas.	
		Nueva 3	Estudio integral de riego.	100	Estudio integral del recurso hídrico para riego.		
					124	Estudio integral del recurso hídrico para riego.	
					125	Estudio integral del recurso hídrico para riego (Pozo Almonte).	
Total de acciones				29			
Nuevas acciones				3			
Total iniciativas				112			

Fuente: elaboración propia.

7.2 Síntesis de las iniciativas priorizadas

A partir del punto anterior, en la Tabla 7-5 se presenta el listado de acciones e iniciativas priorizadas, incluyendo las iniciativas previas, las de la cartera vigente, así como las de valor estratégico recogidas en PAC.

Tabla 7-5 Iniciativas Plan cuenca Pampa del Tamarugal.

Id	Tipo	Acciones priorizadas	N°	Iniciativas del Plan de acción
1	Obras de Infraestructura	Mejoramiento de sistemas y cobertura (APR, alcantarillado y sistemas tratamiento).	1	Estudio y diseño para la construcción de un sistema de alcantarillado y tratamiento de aguas servidas en sector Las Quintas y La Huayca (comuna de Pozo Almonte).
			2	Extensión de redes de AP en La Tirana, comuna de Pozo Almonte.
			3	Instalación, Cobertura y mejoramiento de Sistemas APR en diversas localidades.
2	Medidas de gestión hídrica	Alinear organismos en una visión común en materia de regularización de derechos para todas las organizaciones de la cuenca.	4	Programa de apoyo en la regularización de derechos de agua (DGA-Tribunales-CONADI).
			Fortalecimiento de OUAs y APRs.	5
		6		Programa de apoyo al fortalecimiento organizacional.
		7		Mejorar Operación de los Sistemas de Agua Potable Rurales.
		8		Cumplimiento de la NCh 409 por parte de los sistemas de Agua Potable.
		9		Evaluación de alternativas para disminución de costos de tratamiento para abastecimiento de agua a APR.
		Impulsar creación de nuevas juntas de vigilancia (fuentes superficiales) y comunidad de aguas en acuífero de la Pampa del Tamarugal.	10	Programa DGA de incentivo a la formación de juntas de vigilancia en cuencas específicas.
			11	Programa DGA de formación de la comunidad de aguas del acuífero Pampa del Tamarugal.
			12	Transferencia para la Constitución de Junta de Vigilancia Quebrada de Tarapacá.
			13	Programa de constitución de comunidades de aguas sector de Aroma (Chiapa, Jaiña), comuna de Huara.
Plataforma ciudadana de información de aguas.	14	Plataforma ciudadana de información de aguas.		
Gobernanza.	15	Diseño de una nueva gobernanza y acompañamiento técnico para su implementación.		
4	Otras medidas	Fortalecimiento y promoción de actividades productivas tradicionales.	16	Acuerdo de Producción Limpia Sector Productores de Limón de Pica.

Id	Tipo	Acciones priorizadas	N°	Iniciativas del Plan de acción
			17	Acuerdo de colaboración para promoción y puesta en valor de actividades productivas tradicionales agrícolas.
		Incentivar y facilitar la aplicación de la Ley de Fomento al Riego (Mejoramiento de sistemas de riego en los ámbitos de infraestructura, eficiencia, ambiental y monitoreo).	18	Transferencia para concursos complementarios Ley N°18.450 de Fomento al Riego y Drenaje.
		Estudios para mejorar conocimiento hídrico.	19	Evaluación histórica de extracciones de la Pampa del Tamarugal.
			29	Estudio hidrogeológico del acuífero profundo de la Pampa.
			21	Estudio de actualización de la delimitación del acuífero, especialmente en sector oriental.

Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 7-6 se presenta el listado de iniciativas junto con su presupuesto, costo, responsable financiero propuesto y horizonte de tiempo.

Tabla 7-6 Iniciativas del Plan de acción con costos y plazos.

Id	Iniciativas del Plan de acción	Origen de iniciativa	Costo total (Millones de \$)	Plazo (meses)	Responsable financiero	Horizonte
1	Estudio y diseño para la construcción de un sistema de alcantarillado y tratamiento de aguas servidas en sector Las Quintas y La Huayca (comuna de Pozo Almonte).	DGA (2013a)	93,32	24	SUBDERE	Mediano plazo
2	Extensión de redes de AP en La Tirana, comuna de Pozo Almonte.	DGA (2013a)	1100,00	24	DOH	Mediano plazo
3	Instalación, Cobertura y mejoramiento de Sistemas APR en diversas localidades.	DGA (2013a) / MOP (2021) / Consultor PEGH / PAC	1846,83	60	DOH-EXTRAMOP-PRIVADOS	Mediano plazo
4	Programa de apoyo en la regularización de derechos de agua (DGA-Tribunales-CONADI).	DGA (2013a)	7,00	6	CONADI	Corto plazo
5	Capacitación(es) para el fomento de asociatividad entre OUs.	DGA (2013a)	4,00	2	INDAP	Corto plazo
6	Programa de apoyo al fortalecimiento organizacional.	CNR (2017)	851,59	24	CNR	Mediano plazo
7	Mejorar Operación de los Sistemas de Agua Potable Rurales.	DGA (2013a)	132,53	12	DOH-EXTRAMOP-PRIVADOS	Mediano plazo

Id	Iniciativas del Plan de acción	Origen de iniciativa	Costo total (Millones de \$)	Plazo (meses)	Responsable financiero	Horizonte
8	Cumplimiento de la NCh 409 por parte de los sistemas de Agua Potable.	DGA (2013a)	116,67	6	DOH	Corto plazo
9	Evaluación de alternativas para disminución de costos de tratamiento para abastecimiento de agua a APR.	DGA (2013a)	18,76	3	DOH	Corto plazo
10	Programa DGA de incentivo a la formación de juntas de vigilancia en cuencas específicas.	DGA (2013a)	82,83	24	DGA	Mediano plazo
11	Programa DGA de formación de la comunidad de aguas del acuífero Pampa del Tamarugal.	DGA (2013a)	59,64	12	CNR	Corto plazo
12	Transferencia para la Constitución de Junta de Vigilancia Quebrada de Tarapacá.	DGA (2013a)	191,34	12	CNR	Corto plazo
13	Programa de constitución de comunidades de aguas sector de Aroma (Chiapa, Jaiña), comuna de Huara.	CNR (2017)	121,66	12	GORE-FNDR	Mediano plazo
14	Plataforma ciudadana de información de aguas.	DGA (2013a)	41,42	12	GORE-FNDR	Corto plazo
15	Diseño de una nueva gobernanza y acompañamiento técnico para su implementación.	Consultor PEGH / PAC	350,00	60	GORE-FNDR	Mediano plazo
16	Acuerdo de Producción Limpia Sector Productores de Limón de Pica.	DGA (2013a)	50,00	12	GORE-FNDR	Mediano plazo
17	Acuerdo de colaboración para promoción y puesta en valor de actividades productivas tradicionales agrícolas.	DGA (2013a)	30,00	24	CORFO	Mediano plazo
18	Transferencia para concursos complementarios Ley N°18.450 de Fomento al Riego y Drenaje.	DGA (2013a)	183,34	36	GORE-FNDR	Mediano plazo
19	Evaluación histórica de extracciones de la Pampa del Tamarugal.	Consultor PEGH / PAC	40,00	8	DGA	Corto plazo
20	Estudio hidrogeológico del acuífero profundo de la Pampa.	Consultor PEGH / PAC	300,00	12	CORFO	Corto plazo
21	Estudio de actualización de la delimitación del acuífero, especialmente en sector oriental.	Consultor PEGH / PAC	168,00	12	DGA	Mediano plazo

Fuente: elaboración propia. (*: Iniciativas con avance actual de ejecución)

Por último, en la Tabla 7-8, se presenta el cronograma de implementación.

7.3 Fichas resumen de las iniciativas propuestas

Las fichas resumen de las iniciativas propuestas más relevantes en el marco de este PEGH fueron completadas según el formato de la Tabla 7-7 y se incluyen en el Anexo F Apéndice Iniciativas.

Tabla 7-7 Formato ficha resumen de iniciativa.

Id	
Nombre iniciativa	
Origen iniciativa	
Brecha-Problema identificado	
Eje	A partir de los 4 ejes definidos para este plan: Uso estratégico del recurso hídrico: brechas entre oferta y demanda, riesgos hídricos; Información y monitoreo del recurso hídrico; Gestión y gobernanza del agua; y Conservación y protección del recurso y del ecosistema hídrico.
Objetivo relacionado	
Objetivo Iniciativa	
Descripción	

Detalles:

Ámbito	Entre los ámbitos considerados se cuentan: ampliación cobertura sistemas de agua potable rural; mejoramiento sistemas de agua potable rural; calidad/tratamiento de aguas; obras de protección contra crecidas; construcción y/o mejoramiento de captaciones; medio ambiente; monitoreo; difusión de conocimiento; obras/mejoramiento/promoción riego; fortalecimiento de capacidades; mejorar la estructura legal/organizacional de las OUA (gobernanza); trasvases; obras de recarga artificial; plantas desaladoras; estudios.
Ubicación	
Beneficiarios Directos	
Acción relacionada	
Situación	
Plazo (años)	
Costo total (MM\$=millones de pesos)	
Tipo Financiamiento	
Entidad Financiera	
Entidad Responsable	
Observaciones	
Mapa referencial	

Fuente: elaboración propia.

7.4 Cronograma de las iniciativas propuestas

En el esquema presentado en la Tabla 7-8, se presenta la hoja de ruta propuesta para el PEGH de la cuenca. Es el resultado del análisis e integración de los diversos componentes trabajados, priorizados y seleccionados a través de todo el estudio. En el esquema es posible observar un total de 21 iniciativas, tomando además en consideración su temporalidad orientativa en el corto, mediano y largo plazo, planificación propuesta por la consultoría tomando en consideración la priorización de iniciativas expresada en la Tabla 7-3 y detallada en la sección 3.5.5 del Anexo F. En la Tabla 7-8 se presenta el cronograma de ejecución del plan de acción.

Tabla 7-8 Cronograma del plan.

Id	Iniciativas del Plan de acción	Años							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	Estudio y diseño para la construcción de un sistema de alcantarillado y tratamiento de aguas servidas en sector Las Quintas y La Huayca (comuna de Pozo Almonte).			x	x				
2	Extensión de redes de AP en La Tirana, comuna de Pozo Almonte.		x	x					
3	Instalación, Cobertura y mejoramiento de Sistemas APR en diversas localidades.				x	x	x	x	x
4	Programa de apoyo en la regularización de derechos de agua (DGA-Tribunales-CONADI).	x							
5	Capacitación(es) para el fomento de asociatividad entre OUAs.	x							
6	Programa de apoyo al fortalecimiento organizacional.		x	x					
7	Mejorar Operación de los Sistemas de Agua Potable Rurales.			x					
8	Cumplimiento de la NCh 409 por parte de los sistemas de Agua Potable.		x						
9	Evaluación de alternativas para disminución de costos de tratamiento para abastecimiento de agua a APR.		x						
10	Programa DGA de incentivo a la formación de juntas de vigilancia en cuencas específicas.		x	x					
11	Programa DGA de formación de la comunidad de aguas del acuífero Pampa del Tamarugal.	x							
12	Transferencia para la Constitución de Junta de Vigilancia Quebrada de Tarapacá.		x						
13	Programa de constitución de comunidades de aguas sector de Aroma (Chiapa, Jaiña), comuna de Huara.				x				
14	Plataforma ciudadana de información de aguas.		x						
15	Diseño de una nueva gobernanza y acompañamiento técnico para su implementación.			x	x	x	x	x	
16	Acuerdo de Producción Limpia Sector Productores de Limón de Pica.					x			
17	Acuerdo de colaboración para promoción y puesta en valor de actividades productivas tradicionales agrícolas.						x	x	
18	Transferencia para concursos complementarios Ley N°18.450 de Fomento al Riego y Drenaje.			x	x	x			
19	Evaluación histórica de extracciones de la Pampa del Tamarugal.	x							
20	Estudio hidrogeológico del acuífero profundo de la Pampa.		x						
21	Estudio de actualización de la delimitación del acuífero, especialmente en sector oriental.			x					

Fuente: elaboración propia.

7.5 Valorización del Plan

Las medidas contempladas en el presente Plan ascienden a un valor actual de costos de 5789 millones de pesos, de los cuales 858 millones corresponden a iniciativas propuestas y 4.931 millones de pesos a iniciativas previas. El financiamiento del PEGH se basa principalmente en la coordinación de las entidades públicas, reasignación de presupuesto público, y la gestión de los fondos y/o programas en forma consistente a los objetivos y medidas del Plan.

En función de los resultados de la evaluación económica, y la responsabilidad en la ejecución de las iniciativas, se resume a continuación el Valor actual de costo (VAC) y Costo anual equivalente (CAE) total por institución responsable en la Tabla 7-9 y Figura 7.2.

Tabla 7-9 Distribución de costos según ejecutor: VAC y CAE (\$ Millones de Pesos) Iniciativas priorizadas.

Entidad financiera	CAE [\$Millones]	VAC [\$Millones]
CORFO	315,29	330,03
DGA	291,02	290,86
SUBDERE	46,73	93,34
DOH	686,30	1235,63
DOH-EXTRAMOP-PRIVADOS	503,03	1980,01
CONADI	7,01	7,00
INDAP	4,00	4,00
CNR	677,34	1102,35
GORE-FNDR	344,50	745,79
Total general	2875,22	5789,00

Fuente: elaboración propia.

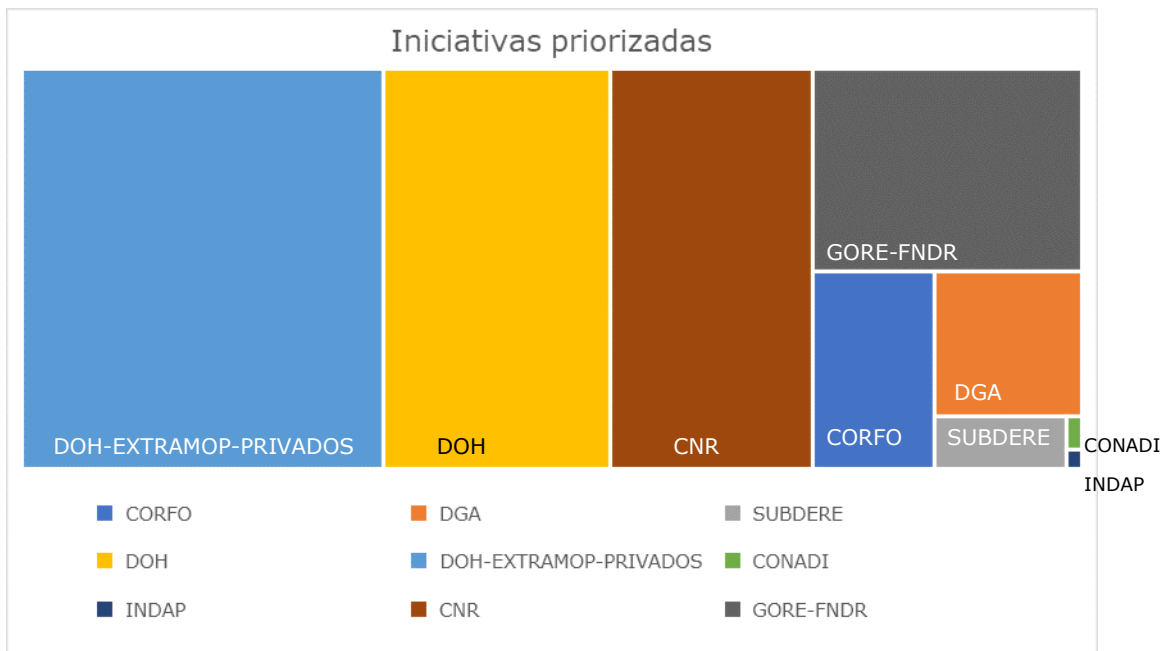


Figura 7.2 Distribución de VAC (\$ Millones de pesos) según ejecutor: Iniciativas priorizadas.

Fuente: elaboración propia.

8. IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN

En este capítulo se presentan las características necesarias para la correcta implementación del PEGH. Se incluye también un resumen con la identificación de las fuentes de financiación previstas.

8.1 Estructura del Plan de Gestión

La estructura del PEGH se ha establecido de acuerdo con 4 ejes, alineados según los objetivos del presente estudio:

- **EJE 1:** Uso estratégico del Recurso Hídrico: Brechas entre oferta y demanda, riesgos hídricos
- **EJE 2:** Información y Monitoreo del Recurso Hídrico
- **EJE 3:** Gestión y Gobernanza del Agua
- **EJE 4:** Conservación y Protección del Recurso y del Ecosistema Hídrico.

A su vez, en cuanto a su tipología, las iniciativas se clasifican en 4 tipos según:

- Obras de infraestructura (OI)
- Medidas de Gestión (MG)
- Nuevas Fuentes (NF)
- Otras Medidas (OM)

8.2 Plazos de implementación

Los plazos de implementación se muestran en la Tabla 7-8 y los detalles de las iniciativas en Anexo F Apéndice Iniciativas.

8.3 Estrategia de Implementación

Para la lograr implementar las iniciativas del PEGH es necesario conocer los diferentes aspectos que puedan influir en la implementación de las acciones del plan, dentro de lo cual se pueden identificar aspectos institucionales, culturales, normativos, y económicos, los cuales serán expuestos a continuación.

8.3.1 Aspectos institucionales

En la cuenca existen diversas instituciones que poseen influencia en materia hídrica y son condicionantes para la implementación de las iniciativas del plan. Por tanto, no tan solo hay que tener en consideración a los organismos públicos pertinentes sino también

a la interacción o instancias de coordinación donde puedan interactuar estos organismos. Entre las interacciones clave se cuentan:

- DGA-DOH-CNR
- DGA-CNR
- DGA-DOH
- DGA-SISS
- DGA-GORE
- DGA-CNR-DOH-MIDESO
- DGA-CORFO
- DGA-MMA-SERNAGEOMIN

8.3.2 Aspectos de cultura del agua

La Unesco (2005) ha definido la cultura de agua como aquel conjunto de modos, estrategias y medios utilizados para la satisfacción de necesidades fundamentales relacionadas con el agua y con todo lo que depende de ella, incluyendo lo que se hace con el agua, en el agua y por el agua, lo que se manifiesta en la lengua, en las creencias (cosmovisión, conocimientos), en los valores; en las normas y formas organizativas; en las prácticas tecnológicas y en la elaboración de objetos materiales; en las creaciones simbólicas (artísticas y no artísticas); en las relaciones de los seres humanos entre sí y de estos con la naturaleza, y en la forma de resolver los conflictos generados por el agua.

De este modo, la cultura del agua se constituye en un aspecto específico de la cultura de un colectivo que comparte, entre otras cosas, una serie de creencias, de valores y de prácticas relacionadas con el agua, así como también conflictos y problemáticas respecto al recurso, así como a los distintos intereses que expresan los diversos actores que se ven involucrados. Por ello, la gobernanza debe ser planteada reconociendo las particulares o específicas formas culturales de aproximación a una misma temática, en este caso, respecto al recurso hídrico en los territorios que despliegan el desarrollo de la vida.

De manera paralela a la implantación de las iniciativas es necesario promover una cultura del agua que abarque por completo del ciclo hidrológico, considerando el enfoque en la producción de agua por parte de los ecosistemas; un manejo que permita preservar la calidad de las aguas en las distintas fuentes naturales; y utilizar eficientemente el recurso hídrico de manera que las intervenciones que se realicen sean responsables con este ciclo.

A continuación, se presentan condicionantes y/o limitaciones de carácter cultural que pueden influir en la implementación del PEGH:

- Rechazo de las comunidades, por motivos culturales o desconfianza y desconocimiento de las atribuciones de los organismos públicos relevantes en la materia, así como desconocimiento de los procedimientos administrativos para resolución de problemas o conflictos en la cuenca
- Dificultad en la implantación de proyectos de tecnificación de riego, si es que no se entrega una adecuada formación de los usuarios, dada las arraigadas costumbres y hábitos, relacionadas con el riego tradicional de la población más envejecida de agricultores y campesinos.
- Limitaciones en comunidades de agua potable rural dada la poca predisposición y disposición para la conformación de comités y renovación cargos necesarios para la gestión de estos tipos de sistemas.
- Reticencia de actores a la implantación de recarga artificial de acuíferos dado el desconocimiento del marco normativo mediante el cual se ejecutan y efecto que pueda tener sobre sus DAA.

8.3.3 Aspectos de financiamiento

El financiamiento necesario para la implantación de las iniciativas definidas en el PEGH, puede ser una limitante al momento de llevarlas a cabo, esto debido que a pesar que una determinada iniciativa cuente con una aprobación técnica, ambiental, social y económica, las restricciones de financiamiento pueden frenar su implementación, a pesar de contar con todos los requisitos para ejecutarse.

Las fuentes de financiamiento del PEGH, pueden ser principalmente sectoriales o regionales. Actualmente la fuente principal de financiamiento es sectorial, debido a que buena parte de las iniciativas considera como responsables a instituciones como la DGA, DOH o CNR, como se puede ver en detalle en la Tabla 7-6 de las iniciativas propuestas y en el Anexo F Apéndice Iniciativas.

Sin embargo, desde el presente PEGH se considera que la dinámica de inversión regional, definida principalmente por el Fondo Nacional de Desarrollo Regional (FNDR), debería evolucionar a una mayor participación y aportes de financiamiento por parte de los gobiernos regionales, considerando el fuerte impacto que tiene el recurso hídrico en sectores económicos de la región (actividades agropecuarias, sanitaria, energéticas). Este financiamiento no necesariamente debe enfocarse en la realización de estudios o ejecución de iniciativas, sino más bien, al financiamiento de la estructura técnica que permita su operación e influyendo por tanto a la gobernanza del plan en la cuenca. Desde esta consultoría se propone que el financiamiento compartido de las iniciativas sea de al menos 30% regional y 70% sectorial en su fase inicial, para llegar a un 70% regional y 30% sectorial en su último año, sujeto por supuesto a la disponibilidad de recursos de cada entidad.

8.3.4 Aspectos normativos

Los aspectos normativos de mayor relevancia del PEGH son aplicados de forma exclusiva por órganos del estado. Las actuales disposiciones legales y normativas vigentes pueden

favorecer o limitar las iniciativas propuestas en PEGH, sin embargo, la gestión de los recursos hídricos se rige principalmente por el vigente Código de Aguas, el cual se encuentra en un proceso de revisión, y que, dada su estrecha dependencia con la Constitución, estará sujeto en gran medida a los cambios que se puedan realizar en el proceso constituyente. Esta materia escapa de los alcances del plan por lo que no se aborda dentro de sus contenidos.

Cabe destacar que actualmente, existen políticas y estrategias intersectoriales vigentes que presentan una coherencia con el Código de Aguas que rige las políticas de agua con otras áreas, como agricultura (Ley 18.450 Normas para el fomento de la inversión privada en obras de riego y drenaje), Medio ambiente (Ley 20.417 Bases generales del medio ambiente), Salud (Decreto 735 Reglamento de los servicios de agua destinados al consumo humano), planificación territorial (Decreto 458 Ley general de construcciones y urbanización), entre otros.

8.3.5 Aspectos relacionados con el ciclo político

Quizá el riesgo más relevante a la hora de implementar un plan de este tipo, guarda relación con el compromiso de las autoridades de los Servicios Públicos clave, ya que son estas autoridades las que:

- Validarán y priorizarán las iniciativas de inversión asociadas al Plan
- Destinarán personal para el seguimiento del PEGH
- Apoyarán en la convocatoria a reuniones futuras
- Y tendrán un rol activo en el PEGH

Por otro lado, la discusión incipiente sobre un proyecto de ley acerca de una gobernanza del agua a nivel de cuenca, en caso de concretarse, también puede ser una oportunidad para asegurar la implementación del PEGH a futuro al constituir este trabajo una herramienta de gestión para la toma de decisiones en la cuenca.

Por último, desde el punto de vista de políticas públicas también resulta clave que los lineamientos de este PEGH sean coherentes con los lineamientos más importantes en materia de agua vigente. En la situación actual, este PEGH está alineado tanto con los desafíos y ejes de trabajo de la actual Mesa Nacional del Agua, la cual tiene por objeto proponer un plan para hacer frente a la crisis hídrica que atraviesa el país. Por otro lado, también hay concordancia con las actuales Prioridades estratégicas de la DGA, como son, Mejoras en información de los recursos hídricos y Gestión estratégica de cuencas, entre otras.

8.3.6 Proceso de implementación

El Plan Estratégico es parte de un proceso de mejoramiento continuo en donde, es necesario ir incorporando constantemente a nuevos actores e iniciativas que puedan ir surgiendo. Como ya se ha mencionado previamente existentes factores que influyen en

la implementación del PEGH, y para el éxito de su implementación es necesario considerar al menos:

- Identificación y comunicación con instituciones responsables
- Generar una buena acogida de las iniciativas por parte de los beneficiarios
- Disponer de financiamiento
- Identificar externalidades positivas y negativas de cada medida.

Debido a que los PEGH han sido impulsados por DGA, se considera que sea esta entidad la responsable de estar a cargo de esta herramienta a partir de la coordinación y articulación desde la Dirección Regional de Aguas. Esto, debido a que se considera a ésta como una entidad conocedora de la realidad territorial de una forma más próxima (que por ejemplo la DGA Nivel Central) y que mantiene vínculos con los actores relevantes de la cuenca, tanto a nivel público (DOH, CNR, Gobernación, Municipios, entre otros) así como actores propios del territorio (OUA, Comunidades indígenas, entre otros).

En la Figura 8.1 se presenta un esquema básico de los pasos propuestos a seguir en la implementación de las iniciativas del PEGH.

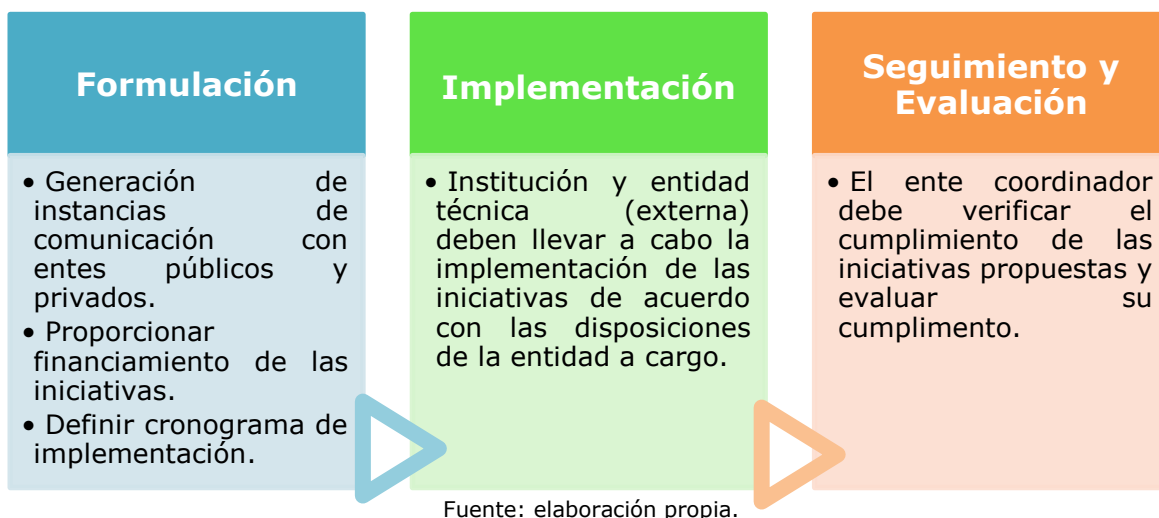


Figura 8.1 Esquema de la ejecución de iniciativas del PEGH.

8.4 Gobernanza del Plan Estratégico

De acuerdo al informe de la Mesa de Agua, del Comité Científico COP25 Chile (2019), se comprende por gobernanza del agua como el proceso a través del cual se deben adoptar las decisiones sobre la protección y gestión de un bien que tiene valor ambiental, social y económico, resguardando en todo el proceso que las decisiones sean tomadas de manera informada, coordinada y participativa entre los actores relevantes, y de este modo, asegurar que las generaciones presentes y futuras puedan acceder al disfrute de

todos los servicios ecosistémicos asociados al agua. Es decir, la gobernanza se orienta a responder las interrogantes: ¿quiénes toman las decisiones?, ¿cómo?, ¿sobre qué?, y ¿quién asegura el cumplimiento de los objetivos buscados?

En este marco, se plantea que el objetivo central de la gobernanza debe ser lograr la seguridad hídrica en el país, existiendo consenso en la necesidad de integrar criterios de sostenibilidad en la toma de decisiones ante el cambio climático, con el fin de ayudar a reducir y/o mitigar la incertidumbre que genera este. Al respecto, la Mesa del Agua ha considerado cinco aspectos o enfoques relevantes en materia de gobernanza, a saber:

1. **Gobernanza resiliente y ambientalizada:** dados los cambios observados y proyectados en las precipitaciones, se requiere una gobernanza (derecho y gestión) resiliente y ambientalizada, es decir, proteger el agua.
2. **Cambios al régimen legal de acceso al agua, usos prioritarios y medio ambiente:** toda vez que la realidad hídrica y climática es muy diferente a la pasada, se requieren cambios para lograr sostenibilidad y equidad social.
3. **Gestión integrada de cuencas y participación:** se debe avanzar hacia la gestión integrada de los recursos hídricos de la cuenca, en la que el agua es un valor ambiental, social y productivo, que incluya la gestión integrada del agua (superficial y subterránea) y entre ella y los usos del territorio. Gestión integrada que debe ser hecha por el Estado y todos los interesados, que incluye a los ecosistemas y las generaciones futuras, incentivando la constitución de organizaciones de usuarios.
4. **Autoridad de jerarquía superior:** se hace necesario contar con una autoridad política de jerarquía superior y que sea capaz de coordinar las múltiples instituciones con competencia en agua en Chile, recomendando crear una comisión nacional, altamente representativa de las instituciones y sectores públicos y privados interesados en el agua, la ciencia y la sociedad civil.
5. **Disminuir brechas en información y fortalecer la interfaz ciencia-política:** se debe generar mayor articulación y colaboración para la generación y difusión de la información que permita tomar decisiones.

Por su parte, el Plan Estratégico para la gestión de la cuenca es parte de un proceso de mejoramiento continuo, definido en tres etapas: Formulación, Implementación, y Seguimiento y Evaluación, ver Figura 8.1, en las cuales se propone integrar la dimensión de la gobernanza para su desarrollo.

De esta forma, en la etapa de formulación del plan se requiere la creación de una instancia que permita la participación de los distintos actores relacionados con la gestión de los recursos hídricos, usuarios directos e indirectos, considerando las problemáticas de desplazamiento y comunicación de algunos sectores de la cuenca, la diversidad de territorios y diversidad de actores vinculadas a ésta, que denominaremos Mesa del PEGH. En este sentido, la Mesa del PEGH podría evolucionar en su rol, adquiriendo una orgánica que le permita conducir en el tiempo los procesos estratégicos del plan, en este caso, su formulación y actualización. Además, podría ser la instancia que dirima los vacíos o superposiciones que existen entre las funciones de los distintos servicios públicos y

actores presentes en el territorio, es decir, se trataría de una iniciativa público-privada. Sin embargo, esta posibilidad requiere que las decisiones de la mesa sean vinculantes, al menos en alguna medida, por lo que se debe avanzar hacia niveles deliberativos en la gobernanza del agua, teniendo en cuenta los límites y reglamentación vigente para ello. En su proceso de conformación se debería definir el ente coordinador de la misma.

Para la implementación del PEGH se requiere atender a diversos factores que incidirán o afectarán su buen desarrollo, tales como la precisión de las responsabilidades institucionales, el interés y confianza de los actores involucrados en el plan, los recursos financieros disponibles, y los imponderables u otras externalidades positivas o negativas particulares de la o las iniciativas del plan.

Asimismo, la etapa de implementación del plan requiere contar con una instancia de coordinación, ausente actualmente en la cuenca, y que facilite el trabajo conjunto de las distintas entidades responsables de llevar a cabo las iniciativas ya identificadas. También, se hace necesaria dicha instancia de coordinación para las etapas de seguimiento y evaluación, que se haga cargo de llevar un registro permanente de los indicadores, y facilite las revisiones periódicas del Plan Estratégico formulado, permitiendo su actualización.

En particular, en la cuenca, los actores clave en la gobernanza de la misma son sin duda las organizaciones públicas vinculadas directamente a la gestión del recurso hídrico y las OUA y APR del territorio, las que, a pesar de presentar diversos grados de organización y desarrollo, son entidades de relevancia que se enlazan con la acción de las instituciones públicas. De este modo, no es posible una buena gestión del recurso sin el fomento de las relaciones entre organismos públicos y privados en este tema.

Considerando los diversos grados de organización y desarrollo de las distintas secciones de la cuenca, se requiere generar acciones para el fortalecimiento organizacional en el sector más bajo de esta, pues los niveles de acceso a tecnología y/o capacidades técnico-profesionales distan bastante de las ubicadas arriba de la cuenca.

A continuación, se propone un modelo de gobernanza, consistente en una mesa técnica coordinada por DGA y Mesa del PEGH, cuyos miembros son los distintos grupos de actores que fueron mapeados y analizados en el estudio.



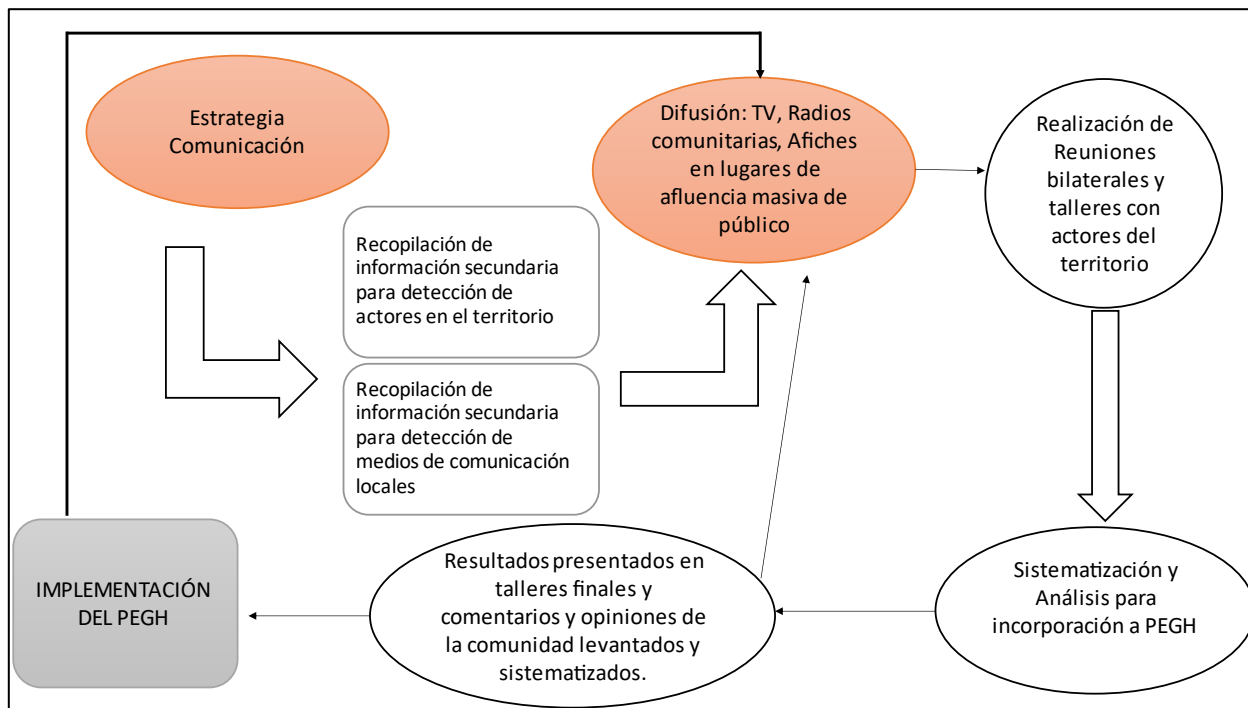
Fuente: elaboración propia.

Figura 8.2 Esquema de Gobernanza para el PEGH.

8.5 Estrategia de comunicación

La estrategia comunicacional del PEGH considerará a los actores que participaron de este proceso, en vista de que se vinculan con la necesidad de implementar una estrategia de Gobernanza pertinente para la cuenca.

Para establecer esta estrategia, se presentan las actividades llevadas a cabo durante la consultoría, seguido de las propuestas futuras. El resumen las actividades de comunicación y difusión durante el proyecto en la Figura 8.3.



Fuente: elaboración propia.

Figura 8.3 Estrategia comunicacional PEGH.

8.5.1 Comunicación y difusión durante el desarrollo del estudio

Los mecanismos de participación ciudadana utilizados en el estudio se detallan en el anexo F, acápite I y correspondieron a:

- Recopilación de antecedentes desde fuentes de información secundaria sobre actividades de participación realizadas anteriormente.
- Proceso de información y consulta a través de reuniones con actores relevantes en la forma de decisiones sobre el recurso hídrico en la cuenca
- Seminario de cierre, enfocado en la presentación del Plan y el modelo hidrológico a los actores relevantes, extensivo a aquellos que considere oportuno la Inspección Fiscal y/o el encargado de participación ciudadana MOP.

Desde el inicio del proyecto se ha considerado generar instancias de difusión para la comunidad de todo el proceso que se ha implementado en la cuenca. Desde ese punto de vista se han cumplido los objetivos de:

- Levantar información de fuentes secundarias, las que fueron contrastadas en el proceso de PAC, lo que llevó a generar información que fue trabajada por la comunidad.
- Elaborar y distribuir trípticos a los actores de la Cuenca, a modo informativo.
- Retroalimentar a los actores con la información levantada en los talleres, especialmente en el taller 2, para obtener una visión pertinente a las necesidades de los actores de la cuenca.

- Generar un tríptico final con los principales resultados del proceso, a distribuir entre los actores.

Un punto relevante es la necesidad de generar un proceso de gobernanza que permita la implementación del PEGH de la zona, en que se requiere mantener el proceso informativo desarrollado en el proceso PAC.

Lamentablemente, las condiciones de la pandemia imposibilitaron llegar a más actores o a un territorio más amplio, con lo que la necesidad de mantener y profundizar este proceso informativo es central y absolutamente necesario.

8.3.2 Comunicación y difusión del PEGH en fases posteriores

A continuación, se presenta una propuesta de estrategia comunicacional a considerar para la adecuada implementación del PEGH en la cuenca. La estrategia está conformada por tres objetivos:

- Difundir el alcance y los contenidos del PEGH propuesto.
- Informar a los actores relevantes y otros actores del territorio acerca de los avances en la implementación del PEGH.
- Corroborar la aceptación de las iniciativas del PEGH por parte de los potenciales beneficiarios directos.

En cuanto al primer objetivo, debe existir una difusión permanente acerca del PEGH, tanto de la información y diagnóstico generada, así como de las brechas, sus soluciones y las iniciativas identificadas, sin perder de vista que el PEGH debe ser una iniciativa "viva" y dinámica que dé cuenta de la visión de los actores. Este plan debe ser una herramienta "de" los actores de la cuenca, quienes pueden levantar o priorizar problemáticas así como realizar gestiones de financiamiento tanto con privados como con organismos públicos para avanzar con las iniciativas que a su juicio tengan mayor valor para la cuenca.

Con respecto al segundo objetivo, y dado que el público general es amplio, se sugiere que la DGA genere un correo electrónico institucional de contacto para que el público en general pueda hacer seguimiento, consultas o aportes, con el objetivo de transparentar el avance de las iniciativas del Plan. Así mismo, se recomienda la identificación de una persona referencial del servicio a nivel local (DGA regional) con conocimiento íntegro del PEGH que pueda resolver dudas o consultas de terceros sobre el avance de implementación de las medidas. Además de lo anterior, se recomienda el uso de medios de difusión a través de las actuales plataformas de la DGA (web, redes sociales).

En relación al tercer objetivo, el público objetivo variará en función de la acción del PEGH. Para este caso, previamente a la asignación de financiamiento correspondiente para la implementación de acciones, se sugiere establecer reuniones de trabajo al menos con los actores identificados como beneficiarios directos, con el objetivo de presentar los detalles técnicos (y sociales y económicos si corresponde) de la iniciativa. En el caso que la acción implique otras instituciones públicas, o bien diferentes unidades o

departamentos de la DGA, será precisa la coordinación de las reuniones pertinentes para aunar lineamientos interinstitucionales.

8.6 Análisis de externalidades

El análisis de externalidades del PEGH requerirá un análisis periódico de posibles externalidades, especialmente los que impliquen obras.

Sin duda las medidas propuestas relacionadas con tratamiento van de la mano de externalidades positivas por la oportunidad que generan a las personas; pero, por otro lado, una posible externalidad negativa puede considerarse el descarte de sal. Así mismo, mejorar la calidad de agua abre la puerta a nuevos desarrollos productivos, emprendimientos o de subsistencia en la zona.

Entre las externalidades positivas se cuentan la solución de problemas de APR, un mayor caudal ecológico y la recarga de acuíferos.

La fiscalización de extracciones ilegales y otras infracciones al Código de Aguas, podría generar la externalidad positiva de desincentivar el comportamiento "ilegal" por el agua ante una presencia más visible.

La mayor disponibilidad de agua en zonas rurales puede tener como externalidad positiva un repoblamiento de esos sectores.

9. MONITOREO Y EVALUACIÓN DEL PLAN

En este capítulo se detalla el Plan de Monitoreo del PEGH, así como los mecanismos para análisis y toma de decisiones asociados, con el objetivo de evaluar la eficacia de la implementación del PEGH, estableciendo para ello indicadores que permitan seguir el grado de cumplimiento de las iniciativas y de los objetivos definidos para el PEGH.

9.1 Plan de Monitoreo

El Plan de Monitoreo del PEGH busca establecer el grado de cumplimiento en el tiempo de las iniciativas del PEGH, y así, evaluar el grado de avance para alcanzar los objetivos formulados por el plan a través de un modelo de seguimiento. Este programa de Monitoreo se basa en experiencias anteriores en materia de planes hídricos de cuenca.

La cartera de acciones del PEGH considera iniciativas vigentes e iniciativas nuevas. El Plan de Monitoreo se centrará como índice de cumplimiento, tanto las iniciativas propuestas como de otros planes; si bien estas últimas poseen sus propios tiempos de implementación establecidos y el plan de monitoreo no tiene injerencia directa sobre ellas, se considera importante, dada la coherencia que debe tener del plan en su totalidad, al aplicar el Monitoreo correspondiente.

La Tabla 9-1 muestra el número y porcentaje de iniciativas vigentes y propuestas para el PEGH según el plazo de implementación considerado.

Tabla 9-1 Cantidad de iniciativas del PEGH según plazo de implementación.

Plazo de implementación	Iniciativas vigentes		Iniciativas propuestas	
	Cantidad	%	Cantidad	%
Corto plazo	7	41%	2	50%
Mediano plazo	10	59%	2	50%
Largo plazo	-	-	-	-

Fuente: elaboración propia.

El PEGH centrará sus esfuerzos en dar seguimiento anualmente a los indicadores establecidos para los primeros 5 años. Para el periodo posterior (mediano y largo plazo) el Plan de monitoreo deberá ser evaluado, actualizado y rediseñado.

Entre los indicadores propuestos, se cuentan:

Indicadores Generales. Cuantifican el grado de avance del plan a nivel global, considerando la relación existente entre iniciativas comenzadas y/o finalizadas versus la programación planificada según la carta Gantt. Considera 4 indicadores:

- *Porcentaje de iniciativas comenzadas (PIC).* Se calcula como el cociente entre el número de iniciativas comenzadas en el año i y el número de iniciativas planificadas en el año i .

- *Porcentaje de iniciativas comenzadas acumulada (PICA)*. Se calcula como el cociente entre el número de iniciativas comenzadas hasta año *i* y el número de iniciativas planificadas hasta el año *i*.
- *Porcentaje de iniciativas finalizadas (PIF)*. Se calcula como el cociente entre el número de iniciativas finalizadas en el año *i* y el número de iniciativas planificadas en el año *i*.
- *Porcentaje de iniciativas finalizadas acumulada (PIFa)*. Se calcula como el cociente entre el número de iniciativas finalizadas hasta año *i* y el número de iniciativas planificadas hasta el año *i*.

Indicadores Específicos. Dan cuenta del porcentaje de avance de la implementación de las iniciativas clave del PEGH.

- *Porcentaje de avance iniciativa*. El porcentaje de cualquier iniciativa analizada se calcula como el cociente entre el avance real y lo planificado. Este cálculo se obtiene a partir de la carta Gantt específica de la iniciativa, cronograma que debe confeccionarse al momento de comenzar el proyecto en particular. Adicionalmente este indicador tiene definido un tiempo máximo para su implementación.

Indicadores de metas. Este indicador busca analizar el porcentaje de avance de las acciones propuestas en este PEGH.

- *Porcentaje de avance de acciones (PA)*. El porcentaje de avance de las acciones del plan se calcula como el número de acciones con iniciativas terminadas según lo planificado / N° total de acciones (Las acciones y sus iniciativas vinculadas se indican en Tabla 7-5).

Parámetro de referencia. Para los indicadores generales representa el número de iniciativas totales por año que deben ser comenzadas o finalizadas para dar cumplimiento en un 100% a la planificación del PEGH. Para los indicadores específicos representa el tiempo al cual la iniciativa debe estar 100% implementada. Este parámetro es sólo referencial y ayudan a la determinación de los umbrales del Plan de Monitoreo.

Umbrales. Los umbrales corresponden a los valores de avance mínimos aceptados para cada tipo de indicador presentados en la Tabla 9-2.

Frecuencia de revisión: El plan de monitoreo considera el seguimiento de la implementación de las iniciativas durante los primeros cuatro años (2022-2025), a través de los indicadores descritos anteriormente. Y se contempla una evaluación y rediseño del plan en su conjunto durante el quinto año, donde una de las variables a evaluar y rediseñar es el PEGH.

Plan de Acción. Si la evaluación realizada a través del Plan de monitoreo indica que no se ha cumplido con los umbrales definidos, es decir, existen desviaciones importantes respecto de lo planificado, se ejecutará un plan de acción, que tiene por objetivo

replanificar el PEGH de modo de cumplir con los objetivos propuestos en los tiempos propuestos.

El Plan de Monitoreo del PEGH se muestra en la Tabla 9-2, detallando los indicadores generales, específicos y de metas, los parámetros de referencia en cada caso y el umbral establecido por indicador de seguimiento.

Tabla 9-2 Plan de Monitoreo de PEGH.

Tipo de indicador	Indicador de seguimiento	Umbral
General	PIC N° de iniciativas comenzadas/N° iniciativas planificadas al año	Umbral PIC 80% de las iniciativas propuestas proyectadas a comenzar al año i hasta i+4
	PICa N° de iniciativas comenzadas acumuladas/N° iniciativas acumuladas planificadas al año	Umbral PICa 1) 80% de las iniciativas propuestas proyectadas a comenzar al año i hasta i+3 (valor acumulado) 2) 100% de las iniciativas propuestas proyectadas a comenzar su implementación hasta el año i+4 (valor acumulado)
	PIF N° de iniciativas finalizadas/N° iniciativas planificadas al año	Umbral PIF 80% de las iniciativas propuestas proyectadas a finalizar al año i hasta i+4
	PIFa N° de iniciativas finalizadas acumuladas/N° iniciativas finalizadas acumuladas planificadas al año	Umbral PIFa 1) 80% de las iniciativas propuestas proyectadas a finalizar su implementación el año i hasta i+3 (valor acumulado) 2) 100% de las iniciativas propuestas proyectadas a finalizar su implementación hasta el año i+4 (valor acumulado)
Específico	Porcentaje de avance de cada iniciativa	Soluciones definitivas para APR (0%)
Metas	PA Número de acciones con iniciativas terminadas según lo planificado / N° total de acciones	Umbral PA 70% de las acciones cuentan con iniciativas terminadas según lo planificado hasta el año i+4 (valor acumulado)

Fuente: elaboración propia.

Según lo indicado anteriormente, el Plan de Monitoreo, en caso de incumplimiento de los indicadores requerirá un plan de acción, dependiendo del periodo de tiempo considerado:

- **Para los primeros 4 años (año i hasta i+4):** El objetivo del Plan de Acción sería reprogramar o replanificar las iniciativas atrasadas para el año siguiente al originalmente programado. Sí el valor de los indicadores PIC y/o PIF es menor al valor del umbral definido, entonces el PS activa el plan de acción, el cual determina el número total de iniciativas que deben reprogramarse para el año siguiente. Su valor corresponderá al número de iniciativas mínimas programadas para un determinado año (PIC, 80% anual) más las iniciativas retrasadas acumuladas. Como criterio de priorización de las iniciativas a reprogramar se deben analizar los Indicadores de Metas (PO y PA) identificando que objetivos y acciones están debajo del umbral, para considerarlas preferentemente en la reprogramación del plan.
- **Año 5 (año i+5):** El objetivo del Plan de Acción en este periodo es analizar si el PEGH ha cumplido en un 100% con su planificación. En caso que no se haya

cumplido con la planificación, el PS entregará el número de iniciativas que no fueron ejecutadas, información que será una variable de entrada en la evaluación, actualización y rediseño del PEGH, a través de los mecanismos para el análisis, toma de decisiones y rediseño del plan de acción.

9.2 Mecanismos de evaluación, actualización y toma de decisiones

La planificación tiene una componente dinámica, más aun considerando iniciativas relativas a los recursos hídricos, los cuales van de la mano con la evolución del contexto climático, incidiendo sobre la oferta hídrica en la cuenca, y los cambios inherentes en la demanda de agua del territorio, así como las relaciones entre los actores (fortalecimiento, conflictos), y finalmente, en un contexto político donde la propiedad sobre el agua y el rol de las comunidades en la cuenca podría tornarse en un tema conflictivo. Lo anterior hace necesario que el PEGH sea evaluado para determinar si el diseño original sigue vigente al cabo de su primer ciclo de 5 años, así como en ciclos consecutivos del mismo periodo.

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

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

1. Actualización del diagnóstico en la cuenca en materia de recursos hídricos, con especial atención a las brechas entre oferta y demanda, el estado de la infraestructura, la situación de gobernanza en el territorio y el estado ambiental de los cuerpos de agua de la cuenca, solución de brechas de información identificadas en el desarrollo del PEGH. Considera recopilar, revisar y analizar los nuevos antecedentes generados durante los 5 años de implementación del PEGH.
2. Actualización de las problemáticas, brechas y cartera actual de acciones generadas en la cuenca a nivel público como privado.
3. Actualización del modelo hidrológico superficial-subterráneo con la nueva data disponible, resolviendo brechas de modelización que hubieron quedado no resueltas durante el diseño del PEGH original.
4. Evaluación de nuevos escenarios de gestión a través de la herramienta de modelación disponible
5. Evaluación de las condiciones habilitantes de las iniciativas no ejecutadas.
6. Evaluación del resultado del Plan de Monitoreo el año $i+4$, mediante la cuantificación de las iniciativas no comenzadas/finalizadas del PEGH.

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

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

10. ASPECTOS NORMATIVOS

Los aspectos normativos relevantes del PEGH son los mismos que aplican para PEGHs de otras cuencas, y guardan relación con las disposiciones existentes en las leyes y normativa vigente que pueden tanto facilitar y favorecer ciertas iniciativas como limitar y/o impedir otras. Actualmente, existen políticas y estrategias intersectoriales que promueven la coherencia entre políticas de agua ("Código de Aguas") y áreas clave como, por ejemplo, medio ambiente (Ley 19.300 Bases Generales del Medio Ambiente), salud (Decreto 735 Reglamento de los Servicios de Agua Destinados al Consumo Humano), agricultura (Ley 18.450 Normas Para el Fomento de la Inversión Privada en Obras de Riego y Drenaje), planificación territorial (Decreto 458 Ley General de Construcciones y Urbanización), entre otros. A continuación, se identifican algunas condicionantes normativas para la implementación de ciertas iniciativas:

- a. Infraestructura hidráulica para el almacenamiento y/o desvío de caudales en cauces naturales. Para este tipo de acción es necesario coordinar la aprobación de dichos proyectos con las entidades competentes en temas relativos a impacto ambiental e intervención de fuentes de agua natural (DGA, SEA, entre otros). En general requieren ceñirse a las normas de Código de Aguas y a la normativa ambiental, requiriendo de autorización de la DGA y de una RCA.
- b. Mejora de infraestructura hidráulica de conducción. En general no requieren autorización de organismos públicos mientras se ejecute dentro de los marcos normativos establecidos en el Código de Aguas.
- c. Mejora de la eficiencia de riego a nivel predial, y a pequeña escala. En general no requieren autorización de organismos públicos mientras se ejecute dentro de los marcos normativos establecidos en el Código de Aguas.
- d. Sistemas de tratamiento de aguas residuales en localidades rurales concentradas o semi-concentradas. Debe someterse a la normativa ambiental sobre la descarga de riles a distintos cuerpos de agua (redes, aguas superficiales, lagos, acuífero, océano) y obtener los permisos sanitarios de MINSAL, de la SISS y del SAG, según corresponda. Según las características del proyecto pudiera necesitar someterse al sistema de EIA, y preparar una DIA o un EIA. Además, dependiendo del caso, debe requerir la aprobación municipal para el cumplimiento de la LGUC. Su aplicación en el caso de los sistemas de agua potable y saneamiento urbanos deberá someterse al marco regulatorio de las empresas sanitarias.
- e. Recarga artificial de acuíferos. Requiere cumplir la normativa asociada al Código de Aguas, en lo relativo a la recarga de acuíferos, a la titularidad de los derechos de aprovechamiento utilizados y, eventualmente, a la construcción de obras de infraestructura hidráulica. Además, se deberá cumplir la normativa sobre la calidad del agua, aplicable a los vertidos a las aguas subterráneas.
- f. Desalación. Necesita autorización según la normativa aplicable al uso del borde costero, la relativa a vertidos al océano, y la correspondiente a la LGUC. Dependiendo del tamaño de la iniciativa, requiere de la aprobación en el SEIA. Además, el producto debe cumplir la normativa sanitaria respectiva, según su uso.

- g. Reúso de aguas residuales urbanas o de comunidades rurales. No existen normativas específicas para el reúso de aguas servidas tratadas y sus implicancias sanitarias. Eventualmente, deben someterse a la normativa ambiental sobre la descarga a distintos cuerpos de agua (aguas superficiales, lagos, acuífero) y obtener los permisos sanitarios de MINSAL, de la SISS y del SAG, según corresponda. Además, dependiendo del caso, debe requerir la aprobación municipal para el cumplimiento de la LGUC.
- h. Manejo y restauración de cauces. Son actividades que involucran numerosos organismos del sector público y un complejo marco regulatorio. Así, dependiendo del proyecto específico involucran regulaciones y permisos relacionados con la administración de los bienes nacionales de uso público y el ordenamiento del territorio (Municipios, M. BBNN, Minvu), con la legislación de aguas y el control de inundaciones (DGA, DOH), y con la conservación y protección ambiental (MMA).
- i. Protección directa de glaciares. En la actualidad, dependiendo del caso, pudiera requerir una autorización en el marco del SEIA. Está en el Congreso un proyecto de Ley relativo a la protección de glaciares.
- j. Iniciativas para restauración ambiental en espacios privados o bienes nacionales. Se trata de iniciativas que pudieran requerir de autorización ambiental a través del SEIA o formar parte de una RCA, en especial si corresponden a áreas con algún tipo de protección ambiental. Asimismo, pueden integrar planes de abandono. En el país, no hay una legislación relativa a recuperación de pasivos ambientales.