



Gobierno
de Chile

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 ELQUI

INFORME FINAL

REALIZADO POR:

UTP HIDRICA CONSULTORES SPA Y RUBIO CARTES Y MEZA
INGENIEROS CONSULTORES LTDA (UTP HIDRICA - ERIDANUS)

S.I.T. N° 463

Santiago, noviembre 2020

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 Miranda

Inspector Fiscal
Geógrafo, MSc., Sr. Paul Dourojeanni Schlotfeldt

Inspectora Fiscal Subrogante
Ingeniera Agrícola Sra. Pamela García Serrano

Inspector Fiscal Subrogante (S)
Ingeniero Civil Sr. Patricio Luengo Ávalos

UTP HIDRICA CONSULTORES SPA Y RUBIO CARTES Y MEZA INGENIEROS CONSULTORES
LTDA (UTP HIDRICA - ERIDANUS)

Jefe de Proyecto
Ingeniero Civil Félix Pérez Soto

Profesionales Equipo Especialistas
Ingeniero Civil Rodrigo Meza L.
Ingeniero Civil José Castillo V.
Ingeniera Civil Maricel Gibbs R.
Antropóloga Francis Villagrán A.
Cartógrafo Salomón Vielma P.
Ingeniero Civil Rodrigo González A.
Ingeniero Civil Sergio Duarte M.

Profesionales Equipo Complementario
Ingeniero Civil Julio Faúndes S.
Ingeniera Agrónomo Irene Bernaus L.
Ingeniero Civil Mauricio Cartes V.
Ingeniero Constructor Juan Carlos Ravanales S.
Ingeniera Civil Camila Matta L.
Psicóloga Sigrid Huenchuñir M.
Ingeniero Ambiental Matías Faúndes S.
Ingeniero Civil Eduardo Rubio M.
Ingeniera Civil Rossana Escanilla M.
Ingeniero Civil Darío Vargas G.
Ingeniero Civil Pablo Vivero P.
Geógrafo Ignacio Aguirre B.
Analista en Computación Científica Félix Pérez M.

CONTENIDO

CONTENIDO	i
TABLAS	v
FIGURAS	ix
CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 OBJETIVOS	3
1.2.1 Objetivo General	3
1.2.2 Objetivos Específicos	3
CAPÍTULO 2 CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA	5
2.1 DIMENSIÓN FÍSICA Y ECONÓMICA	5
2.1.1 Geomorfología	5
2.1.2 Geología	7
2.1.3 Suelos	9
2.1.4 Drenaje	9
2.1.5 División político-administrativa	10
2.1.6 Actividad económica	11
2.2 CLIMA	13
2.2.1 Caracterización climática	13
2.2.2 Eventos extremos y variabilidad climática	15
2.2.3 Escenarios de cambio climático	24
2.3 DIMENSIÓN AMBIENTAL	25
2.3.1 Unidades ecosistémicas	25
2.3.2 Glaciares	30
2.4 INFRAESTRUCTURA	30
2.4.1 Obras hidráulicas	30
2.4.2 Red hidrométrica	35
2.5 NUEVAS FUENTES EXISTENTES	37
2.6 GOBERNANZA DEL AGUA A NIVEL DE CUENCA	37
2.6.1 Mapa de actores	37
2.6.2 Síntesis de reuniones PAC	49
2.6.3 Brechas de Coordinación	52
2.6.4 Brechas de información	63
CAPÍTULO 3 DEMANDA FÍSICA Y LEGAL DE RECURSOS HÍDRICOS PARA DIFERENTES USOS	69
3.1 USO HUMANO	69
3.1.1 Demografía	69
3.1.2 Agua potable urbana, actual y proyectada	71

3.1.3	Agua potable rural, actual y proyectada	72
3.1.4	Derechos de agua para uso humano	74
3.2	NECESIDADES MÍNIMAS AMBIENTALES	74
3.2.1	Consideración de sistemas protegidos	75
3.2.2	Derechos de agua para el medio ambiente: caudales ecológicos	76
3.3	DEMANDA AGRÍCOLA	76
3.3.1	Zonas de riego modeladas	77
3.4	DEMANDA MINERA	80
3.4.1	Demanda del sector minero	80
3.4.2	Derechos de agua para la minería	80
3.5	DEMANDA INDUSTRIAL	81
3.5.1	Demanda del sector industrial	81
3.5.2	Derechos de agua para la industria	81
3.6	OTRAS DEMANDAS	81
3.6.1	Demanda del sector pecuario	81
3.6.2	Demanda por generación eléctrica	82
3.6.3	Demanda por uso turístico	82
3.7	RESUMEN DE DEMANDAS	83
3.8	MERCADO DE AGUAS	88
3.8.1	Evolución histórica	88
3.8.2	Valor del agua por sector económico	89
CAPÍTULO 4	OFERTA HÍDRICA	93
4.1	AGUA SUPERFICIAL	93
4.1.1	Fuentes superficiales	93
4.1.2	Oferta en la fuente	103
4.1.3	Oferta en la fuente proyectada	103
4.1.4	Calidad actual	104
4.1.5	Fuentes de contaminación	115
4.1.6	Derechos concedidos	115
4.2	AGUA SUBTERRÁNEA	119
4.2.1	Fuentes subterráneas	119
4.2.2	Stock, recarga y niveles	126
4.2.3	Estadística de parámetros de calidad	128
4.2.4	Fuentes de contaminación	135
4.2.5	Derechos concedidos	141
4.3	GLACIARES	145
4.3.1	Glaciares	145
CAPÍTULO 5	BALANCE DE AGUA	148
5.1	MODELO DE SIMULACIÓN	148
5.1.1	Situación actual	148
5.1.2	Situación Proyectada	165
5.2	BRECHAS	166
5.2.1	Resultados de Escenario Cambio Climático Seleccionado (ECC)	166

5.2.2	Resultados Escenario 1: Caso Base (E1)	167
5.3	SUSTENTABILIDAD	171
5.3.1	Oferta Hídrica Sustentable Superficial	171
5.3.2	Sustentabilidad de Sectores Acuíferos DGA	176
5.4	ESCENARIOS DE GESTIÓN ESPECÍFICOS	178
5.4.1	Escenario 2 (E2)	178
5.4.2	Escenario 3 (E3)	187
CAPÍTULO 6	ACCIONES	199
6.1	OBRAS HIDRÁULICAS	201
6.1.1	Obras mayores	201
6.1.2	Obras medianas y menores	205
6.1.3	Tecnificación y revestimientos	224
6.2	MEDIDAS DE GESTIÓN	230
6.2.1	Gobernanza	230
6.2.2	Constitución de reservas	235
6.2.3	Sistemas de Información	237
6.2.4	Fortalecimiento y Formalización de las Organizaciones de Usuarios	247
6.2.5	Tecnologías habilitantes	252
6.3	NUEVAS FUENTES DE AGUA	257
6.3.1	Recarga de acuíferos	257
6.3.1	Desalinización	261
6.3.2	Uso aguas servidas tratadas	262
6.4	OTRAS MEDIDAS	264
6.4.1	Conocimiento e investigación sobre reúso de aguas tratadas	265
6.4.2	Conocimiento e investigación sobre origen de contaminantes	267
CAPÍTULO 7	CARTERA DE INICIATIVAS PROPUESTAS	270
7.1	SÍNTESIS DE LA SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS	270
7.2	EVALUACIÓN DE LAS MEDIDAS	275
7.2.1	Evaluación Económica	275
7.2.2	Evaluación Social	278
7.2.3	Evaluación Ambiental	279
7.2.4	Priorización de las medidas según líneas de acción	280
7.3	VALORIZACIÓN ECONÓMICA DEL PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA	283
7.3.1	Acciones según ejecutor o mandante DGA	283
7.3.2	Acciones ejecutadas por otras instituciones	284
7.3.3	Distribución de costos por actores	284
7.4	CRONOGRAMA DE LAS SOLUCIONES	286
CAPÍTULO 8	IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN	289
8.1	HITOS DE REFERENCIA EN LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN	289
8.1.1	Estructura del Plan de Gestión	289
8.1.2	Corto plazo	289
8.1.3	Mediano plazo	290

8.1.4	Largo plazo	291
8.2	ESTRATEGIA DE IMPLEMENTACIÓN	292
8.2.1	Aspectos institucionales	292
8.2.2	Aspectos de cultura del agua	294
8.2.3	Aspectos de financiamiento	295
8.2.4	Aspectos normativos	297
8.2.5	Pasos en la implementación	298
8.3	ESTRATEGIA DE COMUNICACIÓN	302
8.3.1	Comunicación y difusión durante el desarrollo del estudio	302
8.3.2	Comunicación y difusión del PEGH en fases posteriores	302
8.4	IDENTIFICACIÓN DE FUENTES DE FINANCIAMIENTO DEL PLAN	303
CAPÍTULO 9 MONITOREO Y EVALUACIÓN DEL PLAN		304
9.1	PLAN MONITOREO	304
9.1.1	Indicadores de evaluación de las iniciativas	305
9.1.2	Indicadores del PEGH	305
9.1.3	Seguimiento del PEGH	305
9.2	MECANISMOS PARA EL ANÁLISIS Y TOMA DE DECISIONES	307

ANEXOS

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

TABLAS

Tabla 2.1-1	Superficie de la cuenca del río Elqui respecto a comunas	10
Tabla 2.1-2	Superficies de riego en la cuenca del río Elqui - Censo Agropecuario año 2007	12
Tabla 2.1-3	Servicios de generación de energía eléctrica en operación.....	13
Tabla 2.2-1	Estadísticos de precipitación anual para el periodo histórico y 4 MCG....	20
Tabla 2.2-2	Estadísticos de temperatura anual para el periodo histórico y 4 MCG	22
Tabla 2.2-3	Estadísticos de caudales anuales simulados para el periodo histórico y 4 MCG.	24
Tabla 2.3-1	Ecosistemas terrestres zonales	25
Tabla 2.3-2	Ecosistemas acuáticos continentales	26
Tabla 2.3-3	Flora acuática de la cuenca del río Elqui	26
Tabla 2.3-4	Fauna acuática de la cuenca del río Elqui.....	27
Tabla 2.3-5	Áreas de conservación	28
Tabla 2.4-1	Registro de embalses en la cuenca del río Elqui	30
Tabla 2.4-2	Registro de centrales hidroeléctricas en la cuenca del río Elqui	30
Tabla 2.4-3	Registro de bocatomas en la cuenca del río Elqui.....	31
Tabla 2.4-4	Registro de canales en la cuenca del río Elqui.....	31
Tabla 2.4-5	Territorio operacional de concesionarias de agua potable urbana en la cuenca del río Elqui	32
Tabla 2.4-6	Registro de PTAS en la cuenca del río Elqui.....	32
Tabla 2.4-7	Sistemas APR en la cuenca del río Elqui.....	32
Tabla 2.4-8	Pozos de extracción en el acuífero de Elqui	33
Tabla 2.4-9	Registro de estaciones de control DGA en la cuenca del río Elqui.....	35
Tabla 2.6-1	Actores relevantes convocados a PAC en la cuenca del río Elqui.....	41
Tabla 2.6-2	Problemas en torno al objetivo 1.1 del Plan de Acción	49
Tabla 2.6-3	Problemas en torno al objetivo 1.2 del Plan de Acción	50
Tabla 2.6-4	Problemas en torno al objetivo 1.3 del Plan de Acción	50
Tabla 2.6-5	Problemas en torno al objetivo 1.4 del Plan de Acción	50
Tabla 2.6-6	Problemas en torno al objetivo 2.1 del Plan de Acción	51
Tabla 2.6-7	Problemas en torno al objetivo 3.1 del Plan de Acción	51
Tabla 2.6-8	Problemas en torno al objetivo 4.2 del Plan de Acción	52
Tabla 2.6-9	Juntas de Vigilancia en la cuenca del río Elqui	53
Tabla 2.6-10	Asociaciones de Canalistas en la cuenca del río Elqui.....	53
Tabla 2.6-11	Comunidades de Agua Superficiales en la cuenca del río Elqui	53
Tabla 2.6-12	DAA con características esenciales de perfeccionamiento faltantes	64
Tabla 2.6-13	Número de transacciones y sus características no indicadas según naturaleza del agua, años 2015-2019	65
Tabla 3.1-1	Densidad y población residente en la cuenca del río Elqui	69
Tabla 3.1-2	Demanda hídrica APU actual y futura	72
Tabla 3.1-3	Pérdidas por distribución en localidades abastecidas	72
Tabla 3.1-4	Población abastecida por sistema APR actual y futura.....	73
Tabla 3.1-5	Demanda hídrica APR actual y futura por comuna.....	73
Tabla 3.1-6	Demanda hídrica APR actual y futura por SHAC	73

Tabla 3.1-7	Promedio de pérdidas por comuna.....	74
Tabla 3.1-8	Extracciones destinadas a agua potable, en l/s.....	74
Tabla 3.2-1	Caudal de reserva para protección ambiental (m ³ /s) en “Estero Derecho en Alcohuz”	75
Tabla 3.2-2	Caudal de reserva para protección ambiental (m ³ /s) en “Río Elqui en La Serena”	75
Tabla 3.2-3	Caudales ecológicos	76
Tabla 3.3-1	Zonas de riego modeladas.....	77
Tabla 3.4-1	Demanda hídrica minera actual y futura	80
Tabla 3.4-2	Extracciones superficiales destinadas a minería, en l/s	80
Tabla 3.4-3	Derechos subterráneos asociados a minería, en l/s	80
Tabla 3.5-1	Demanda hídrica industrial actual y futura.....	81
Tabla 3.5-2	Extracciones destinadas a la industria, en l/s	81
Tabla 3.6-1	Demanda hídrica pecuaria actual y futura por sector	81
Tabla 3.6-2	Demanda hídrica pecuaria actual y futura por subcuenca	82
Tabla 3.6-3	Demanda hídrica eléctrica actual y futura	82
Tabla 3.6-4	ZOIT en la cuenca del río Elqui y estaciones fluviométricas DGA	83
Tabla 3.6-5	Caudales turísticos propuestos (m ³ /s)	83
Tabla 3.7-1	Resumen de demandas de la cuenca del río Elqui	84
Tabla 3.8-1	Transacciones según naturaleza del agua, años 1971-2019.....	88
Tabla 3.8-2	Aplicación incremental de criterios de depuración	90
Tabla 3.8-3	Transacciones depuradas	90
Tabla 3.8-4	Transacciones por unidad de mercado.....	91
Tabla 3.8-5	Resultados valor de aguas subterráneas.....	92
Tabla 3.8-6	Resultados valor de aguas superficiales.....	92
Tabla 4.1-1	Regímenes y caudales promedio histórico en la cuenca del río Elqui	94
Tabla 4.1-2	División administrativa de la cuenca del río Elqui	96
Tabla 4.1-3	Declaración de agotamiento en la cuenca del río Elqui	98
Tabla 4.1-4	Oferta en la fuente, periodo 1993 - 2019.....	103
Tabla 4.1-5	Oferta en la fuente, periodo 2019 - 2050.....	104
Tabla 4.1-6	Registro de estaciones de control de calidad de agua analizadas en la cuenca del río Elqui	105
Tabla 4.1-7	DAA otorgados y Caudal otorgado	115
Tabla 4.1-8	DAA y caudal otorgado según tipo de solicitud	116
Tabla 4.1-9	DAA otorgados según Tipo de DAA y Ejercicio del DAA	116
Tabla 4.1-10	Total de DAA georreferenciados y no georreferenciados.....	117
Tabla 4.2-1	SHAC en el acuífero de Elqui.....	122
Tabla 4.2-2	Áreas de restricción y zonas de prohibición en el acuífero del río Elqui	125
Tabla 4.2-3	Entradas Promedio 1994-2019 Modelo Acoplado.....	126
Tabla 4.2-4	Índice de Calidad por APR de acuífero Elqui (parámetros locales Fe y Mn), año 2016	133
Tabla 4.2-5	Índice de Calidad en seguimiento APR de acuífero Elqui (parámetros locales Fe y Mn), año 2017	134
Tabla 4.2-6	Fuentes de captación de agua subterránea en la cuenca del río Elqui ..	134
Tabla 4.2-7	Depósitos de relave, según estado, en la cuenca del río Elqui	139
Tabla 4.2-8	DAA otorgados y Caudal otorgado	142
Tabla 4.2-9	DAA y caudal otorgado según Tipo de Solicitud	142

Tabla 4.2-10	DAA y caudal otorgado según Tipo de DAA y Ejercicio del DAA	142
Tabla 4.2-11	Total de DAA georreferenciados y no georreferenciados.....	143
Tabla 4.3-1	Tipología y número de glaciares en la cuenca del río Elqui.....	145
Tabla 4.3-2	Glaciares de mayor superficie en la cuenca del río Elqui.....	145
Tabla 5.1-1	Indicadores de Calidad de Calibración para el periodo histórico (1990 - 2019) en las estaciones DGA consideradas	149
Tabla 5.1-2	Estadígrafos de calibración del sistema subterráneo	150
Tabla 5.1-3	Balance Hidrogeológico calibrado para la zona del sistema acoplada ...	161
Tabla 5.1-4	Escenarios de cambio climático modelados	165
Tabla 5.1-5	Descripción Escenario 1, Caso Base	166
Tabla 5.2-1	Balance Hidrogeológico del período futuro (2020-2050)	167
Tabla 5.2-2	Escenario 1, Balance Hídrico Subterráneo 2020-2050.....	168
Tabla 5.3-1	Caudales ecológicos para las cuencas analizadas	173
Tabla 5.3-2	Oferta hídrica del Río Turbio para la parte alta de la cuenca Elqui (m ³ /s) ..	174
Tabla 5.3-3	Oferta hídrica del Río Claro para la parte alta de la cuenca Elqui (m ³ /s) ...	174
Tabla 5.3-4	Oferta Hídrica de Elqui Medio para la parte del Valle del Río Elqui (m ³ /s) ..	175
Tabla 5.3-5	Oferta Hídrica de Elqui Bajo para la desembocadura del Río Elqui (m ³ /s) ..	175
Tabla 5.3-6	Descripción modelo considerado para sustentabilidad sectores acuíferos ..	176
Tabla 5.3-7	Condición Actual SHAC Elqui	177
Tabla 5.3-8	Criterio 1 Cuenca Río Elqui	177
Tabla 5.4-1	Resumen descriptivo de Escenario 2 y Escenario 3.....	178
Tabla 5.4-2	Escenario 2, Balance Hídrico Subterráneo 2020-2050.....	182
Tabla 5.4-3	Escenario 3, Balance Hídrico Subterráneo 2020-2050.....	191
Tabla 6.1-1	Características generales del embalse Puclaro	201
Tabla 6.1-2	Características generales del embalse La Laguna	203
Tabla 6.1-3	Iniciativas de bocatomas propuestas en el Plan de Riego	206
Tabla 6.1-4	Cantidad y porcentaje de tranques según clasificación de diagnóstico. 206	
Tabla 6.1-5	Sistemas APR abastecidos por camiones aljibes y su estado	208
Tabla 6.1-6	Acciones públicas en cartera asociadas a obras de abastecimiento de agua potable rural	211
Tabla 6.1-7	Medidas estructurales, Plan de Manejo de Cauces	213
Tabla 6.1-8	Medidas no estructurales, Plan de Manejo de Cauces.....	214
Tabla 6.1-9	Cronograma de obras Aguas la Serena - Sistema ALSER.....	215
Tabla 6.1-10	Cronograma de obras Aguas del Valle - Sistema Algarrobito.....	215
Tabla 6.1-11	Cronograma de obras Aguas del Valle - Sistema Peralillo	217
Tabla 6.1-12	Cronograma de obras Aguas del Valle - Sistema Vicuña.....	217
Tabla 6.1-13	Ficha resumen Acción N°: OH-01	219
Tabla 6.1-14	Ficha resumen Acción N°: OH-02	221
Tabla 6.1-15	Ficha resumen Acción N°: OH-03	223
Tabla 6.1-16	Estimación de la eficiencia de aplicación de riego, por comuna y cuenca ..	225
Tabla 6.1-17	Longitud de canales	226

Tabla 6.1-18	Iniciativas de tecnificación y/o revestimiento de canales propuestas en el Plan de Riego	226
Tabla 6.1-19	Acciones públicas en cartera asociadas a conservación de obras de riego	227
Tabla 6.1-20	Ficha resumen Acción N°: OH-04	229
Tabla 6.2-1	Iniciativas públicas en la cuenca de Elqui para mejoras en gobernanza	232
Tabla 6.2-2	Ficha resumen Acción N°: MG-01	234
Tabla 6.2-3	Volúmenes de disponible para DAA provisionales en los SHAC de la cuenca del río Elqui.....	236
Tabla 6.2-4	Cálculo de volumen de reserva en SHAC de la cuenca del río Elqui	236
Tabla 6.2-5	Resumen del grado de modernización de la Red Hidrométrica DGA.....	240
Tabla 6.2-6	Resumen de mejoras propuestas de la Red Hidrométrica DGA	241
Tabla 6.2-7	Ficha resumen Acción N°: MG-04	244
Tabla 6.2-8	Ficha resumen Acción N°: MG-03	246
Tabla 6.2-9	Iniciativas públicas para mejoras en fortalecimiento y formalización de OUA	248
Tabla 6.2-10	Ficha resumen Acción N°: MG-02	251
Tabla 6.2-11	Compuertas automáticas y puntos de automatización.....	252
Tabla 6.2-12	Estándares para los DAA subterráneas del MEE – SHAC de la provincia de Elqui	254
Tabla 6.2-13	Ficha resumen Acción N°: MG-05	256
Tabla 6.3-1	Iniciativa de recarga artificial en cartera año 2020.....	258
Tabla 6.3-2	Ficha resumen Acción N°: NF-01	260
Tabla 6.4-1	Ficha resumen Acción N°: OM-01	266
Tabla 6.4-2	Ficha resumen Acción N°: OM-02	269
Tabla 7.1-1	Síntesis de acciones asociadas a Obras Hidráulicas (OH).....	271
Tabla 7.1-2	Síntesis de acciones asociadas a Medidas de Gestión (MG)	273
Tabla 7.1-3	Síntesis de acciones asociadas a Nuevas Fuentes de agua (NF).....	274
Tabla 7.1-4	Síntesis de acciones asociadas a Otras Medidas (OM)	274
Tabla 7.1-5	Identificación de iniciativas y su origen principal.....	274
Tabla 7.2-1	Resumen de evaluación económica de iniciativas	276
Tabla 7.2-2	Resumen evaluación económica por tipología de acciones	277
Tabla 7.2-3	Tabla relacional de evaluación social de iniciativas	278
Tabla 7.2-4	Indicador de evaluación ambiental según iniciativas.....	280
Tabla 7.2-5	Resultado de priorización de iniciativas	282
Tabla 7.3-1	Iniciativas ejecutadas por DGA.....	284
Tabla 7.3-2	Iniciativas ejecutadas por otras instituciones.....	284
Tabla 7.3-3	Distribución de costos según ejecutor: VAC y CAE [UF]	285
Tabla 8.4-1	Distribución de costos según mandante DGA u otros	303
Tabla 9.1-1	Distribución de iniciativas del PEGH según tipo de acción y horizonte de implementación	304
Tabla 9.1-2	Seguimiento del PEGH Elqui	306

FIGURAS

Figura 2.1-1	Perfil topográfico W – E a la latitud de 30° en la cuenca del río Elqui5
Figura 2.1-2	Mapa de elevaciones y unidades geomorfológicas de la cuenca del río Elqui 6
Figura 2.1-3	Mapa geológico de la cuenca del río Elqui (escala 1:1.000.000)8
Figura 2.1-4	Diagrama unifilar de los cauces principales 10
Figura 2.2-1	Clasificación climática de la cuenca del río Elqui (escala 1:1.500.000)... 14
Figura 2.2-2	Diagramas ombrotérmicos de las estaciones meteorológicas Rivadavia (4308003-2), La Ortiga (4311005-5) y La Laguna Embalse (4301005-0) 15
Figura 2.2-3	Resumen de eventos más importantes, período: 1965-2018 16
Figura 2.2-4	Variación de eventos (comunales) más importantes en el tiempo, período 1965-2018..... 17
Figura 2.2-5	Precipitación anual para el periodo histórico (panel izquierdo, tendencia lineal en línea punteada roja) y periodo futuro (panel derecho, tendencias lineales en líneas sólidas y promedio histórico en línea punteada negra)18
Figura 2.2-6	Gráficos de caja para los valores anuales de precipitación para los 4 MCG. La línea negra punteada indica el promedio del periodo histórico..... 19
Figura 2.2-7	Distribución espacial de la precipitación en el periodo histórico (panel izquierdo) y las proyecciones (expresadas en diferencias porcentuales con respecto al periodo histórico) de los 4 MCGs (panel derecho) 19
Figura 2.2-8	Temperatura media anual para el periodo histórico (panel izquierdo, tendencia lineal en línea punteada roja) y periodo futuro (panel derecho, tendencias lineales en líneas sólidas y promedio histórico en línea punteada negra) 21
Figura 2.2-9	Gráficos de caja para los valores anuales de temperatura para los 4 MCG. La línea negra punteada indica el promedio del periodo histórico..... 21
Figura 2.2-10	Distribución espacial de la temperatura en el periodo histórico (panel izquierdo) y las proyecciones (expresadas en diferencias porcentuales con respecto al periodo histórico) de los 4 MCGs (panel derecho) 22
Figura 2.2-11	Caudal medio anual para el periodo histórico (panel izquierdo, tendencia lineal en línea punteada roja) y periodo futuro (panel derecho, tendencias lineales en líneas sólidas y promedio histórico en línea punteada negra)23
Figura 2.2-12	Gráficos de caja para los valores anuales de caudales para los 4 MCG. La línea negra punteada indica el promedio del periodo histórico..... 23
Figura 2.2-13	Distribución espacial de la escorrentía en el periodo histórico (panel izquierdo) y las proyecciones (expresadas en diferencias porcentuales con respecto al periodo histórico) de los 4 MCGs (panel derecho) 24
Figura 2.3-1	Ecosistemas y áreas de conservación de la cuenca del río Elqui29
Figura 2.4-1	Infraestructura principal asociada al recurso hídrico en la cuenca del río Elqui 34
Figura 2.4-2	Red hidrométrica de la DGA en la cuenca del río Elqui 36
Figura 2.6-1	Representación gráfica de actores en el territorio 38

Figura 2.6-2	Diagrama relación Interés/Influencia actores relevantes en la cuenca del río Elqui.....	39
Figura 2.6-3	Número de canales espacializados (SIIR) vinculados a Asociaciones de Canalistas (AC) en la cuenca del río Elqui	56
Figura 2.6-4	Número de canales espacializados (SIIR) asociados a Comunidades de Agua (CA) en la cuenca del río Elqui	57
Figura 3.1-1	Proyección de la tasa de crecimiento poblacional en la región de Coquimbo, periodo 2018-2050	70
Figura 3.1-2	Población proyectada para la cuenca del río Elqui, periodo 2018 – 2050	70
Figura 3.1-3	Distribución de la población según abastecimiento de agua potable, años 2019, 2030 y 2050	71
Figura 3.2-1	Caudal de reserva para protección ambiental (m ³ /s) en “Estero Derecho en Alcohuaz”	75
Figura 3.2-2	Caudal de reserva para protección ambiental (m ³ /s) en “Río Elqui en La Serena”	76
Figura 3.3-1	Zonas de riego modeladas.....	79
Figura 3.7-1	Distribución de demandas principales según uso.....	85
Figura 3.7-2	Distribución de las demandas consuntivas (año 2019) de la cuenca del río Elqui	86
Figura 3.7-3	Distribución de las demandas consuntivas (año 2030) de la cuenca del río Elqui	87
Figura 3.7-4	Distribución de las demandas consuntivas (año 2050) de la cuenca del río Elqui	87
Figura 3.8-1	Distribución anual del número de DAA transados, periodo 1971-2019...	89
Figura 4.1-1	Hidrografía de la cuenca del río Elqui	95
Figura 4.1-2	Cuenca y subcuencas del río Elqui	97
Figura 4.1-3	Zonas con diferentes grados de restricción al uso de agua en la cuenca del río Elqui.....	100
Figura 4.1-4	Distribución temporal y espacial de los decretos de escasez hídrica (2014-2020) en la cuenca del río Elqui	101
Figura 4.1-5	Decretos de escasez históricos por comuna , periodo 2008-2020	102
Figura 4.1-6	Estaciones de calidad empleadas en la caracterización de la cuenca río Elqui	107
Figura 4.1-7	Gráfico de Cajas – As Total (mg/l)	110
Figura 4.1-8	Gráfico de Cajas – Cu Total (mg/l)	110
Figura 4.1-9	Gráfico de Cajas – Zn Total (mg/l)	111
Figura 4.1-10	Gráfico de Cajas – Cl ⁻ (mg/l)	112
Figura 4.1-11	Gráfico de Cajas – SO ₄ ²⁻ (mg/l).....	112
Figura 4.1-12	Gráfico de Cajas – pH.....	113
Figura 4.1-13	Gráfico de Cajas – CE (μS/cm).....	114
Figura 4.1-14	Gráfico de Cajas – SDT (mg/l)	114
Figura 4.1-15	Ubicación geográfica de los puntos de captación asociados a los DAA superficiales en la cuenca del río Elqui	118
Figura 4.2-1	Mapa hidrogeológico en la cuenca del río Elqui (escala 1:1.000.000) ..	119
Figura 4.2-2	Leyenda de Mapa hidrogeológico en la cuenca del río Elqui (escala 1:1.000.000)	120

Figura 4.2-3	Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común de la cuenca del río Elqui	123
Figura 4.2-4	Curvas Equipotenciales Modelo Acoplado marzo 2019.....	127
Figura 4.2-5	Gráfico de Cajas – Pb Total (mg/l).....	129
Figura 4.2-6	Gráfico de Cajas – SO ₄ ²⁻ (mg/l).....	130
Figura 4.2-7	Gráfico de Cajas – Cl ⁻ (mg/l)	130
Figura 4.2-8	Gráfico de Cajas – pH.....	131
Figura 4.2-9	Gráfico de Cajas – CE.....	132
Figura 4.2-10	Gráfico de Cajas – SDT.....	132
Figura 4.2-11	Estado de la calidad de agua en la Red Hidrométrica DGA y pozos APR137	
Figura 4.2-12	Depósitos de relaves en la cuenca del río Elqui.....	140
Figura 4.2-13	Ubicación geográfica de los puntos de captación asociados a los DAA subterráneas en la cuenca del río Elqui	144
Figura 4.3-1	Glaciares en la cuenca del río Elqui.....	147
Figura 5.1-1	Niveles observados y simulados en el periodo de calibración del modelo (1990-2019)	151
Figura 5.1-2	Error en el tiempo del balance para el modelo acoplado de la cuenca del río Elqui.....	151
Figura 5.1-3	Distribución de los ajustes de modelos según indicadores como NSE y PBIAS	152
Figura 5.1-4	Resultados Calibración Estación Río Elqui en Algarrobal	154
Figura 5.1-5	Resultados Calibración Estación Río Elqui en Almendral	155
Figura 5.1-6	Resultados Calibración de volúmenes en Embalse La Laguna.....	156
Figura 5.1-7	Resultados Calibración de volúmenes en Embalse Puclaro.....	157
Figura 5.1-8	Resultados Niveles simulados aguas abajo embalse Puclaro (Elqui Alto)	158
Figura 5.1-9	Resultados Niveles simulados aguas abajo embalse Puclaro (Elqui Medio)	158
Figura 5.1-10	Resultados Niveles simulados aguas abajo embalse Puclaro (Elqui Bajo)	159
Figura 5.1-11	Curvas Equipotenciales Modelo Acoplado marzo 2019.....	160
Figura 5.1-12	Recarga superficial computada por modelo WEAP y modelo MODFLOW – modelo acoplado Elqui	162
Figura 5.1-13	Extracciones computadas por modelo WEAP y modelo MODFLOW – modelo acoplado Elqui	163
Figura 5.1-14	Comportamiento de las variables asociadas al Acuífero Elqui Bajo, período 1989-2019.....	164
Figura 5.1-15	Comportamiento de las variables asociadas al Acuífero Elqui Alto, período 1989-2019.....	164
Figura 5.2-1	Variación futura de los volúmenes del acuífero - SHAC Elqui Alto. Escenario E1 Caso Base	169
Figura 5.2-2	Variación futura de las componentes del balance hidrogeológico por SHAC Elqui Alto. Escenario E1 Caso Base	169
Figura 5.2-3	Brecha Hídrica (BR-H) cuenca río Elqui. (Sup) BR-H por tipo de demanda. (Inf) BR-H como porcentaje del total. Escenario E1 Caso Base.....	170
Figura 5.3-1	Curva de variación estacional para Elqui Bajo en punto de control Río Elqui en La Serena.....	171

Figura 5.3-2	Curva de variación estacional para Elqui Medio en punto de control Río Elqui en Almendral	172
Figura 5.3-3	Curva de variación estacional para Río Claro en punto de control Río Claro en Rivadavia	172
Figura 5.3-4	Curva de variación estacional para Río Turbio en punto de control Río Turbio en Varillar	173
Figura 5.4-1	Ubicación Plantas Desaladoras. Escenario E2.....	179
Figura 5.4-2	Pozos representativos de demanda de agua potable. Escenario E2	180
Figura 5.4-3	Balance Hídrico sobre la planta desaladora. Escenario E2.....	181
Figura 5.4-4	Variación de la estacionalidad promedio [m ³ /s] para: (Sup) Elqui en Algarrobal, (Med) Elqui en Almendral, (Inf) Elqui en La Serena. Escenario E2	184
Figura 5.4-5	Comparación de niveles simulados. (Sup) Pozo Alfalfares (EB-03), (Inf) Pueblo El Islón (EB-06). Escenario E2	185
Figura 5.4-6	Comparación de volúmenes simulados (E2 v/s E1). (Sup) SHAC Elqui Bajo, (Inf) SHAC Serena Norte. Escenario E2	185
Figura 5.4-7	Componentes del Balance Hídrico para el SHAC de Elqui Bajo. Escenario E2	186
Figura 5.4-8	Brecha Hídrica Escenario E2	187
Figura 5.4-9	Ubicación zona de recarga de acuíferos (sup) y su implementación a través de pozos de inyección (inf). Escenario E3	189
Figura 5.4-10	Curva de duración de caudales medios mensuales en "Q_PRE_EB04". Escenario E3	190
Figura 5.4-11	Variación de la estacionalidad promedio para: (Sup) Elqui en Algarrobal, (Med) Elqui en Almendral, (Inf) Elqui en La Serena. Escenario E3	192
Figura 5.4-12	Comparación de niveles simulados. (Sup) Pozo AP Piedra C-3 (EB-04), (Inf) El Molle (EB-02, 1,39 km de EB-04). Escenario E3	194
Figura 5.4-13	Comparación de niveles simulados. (Sup) Pozo EB-07: P. Punta de Piedra C-12, a 2,13 km de EB-04. (Inf) Pozo EB-03, a 8,24 km de EB.04. Escenario E3	195
Figura 5.4-14	Comparación de volúmenes simulados (E3 v/s E1). (Sup) SHAC Elqui Bajo, (Inf) SHAC Serena Norte. Escenario E3	196
Figura 5.4-15	Componentes del Balance Hídrico para el SHAC de Elqui Bajo. Escenario E3	197
Figura 5.4-16	Brecha Hídrica Escenario E3	198
Figura 6.0-1	Diagrama de medidas analizadas	200
Figura 6.1-1	Evolución histórica del volumen almacenado en el embalse Puclaro	202
Figura 6.1-2	Evolución histórica del volumen almacenado en el embalse La Laguna	203
Figura 6.1-3	Ubicación de sectores asociados a medidas de defensa fluvial.....	212
Figura 7.1-1	Iniciativas asociadas a Obras Hidráulicas.....	272
Figura 7.2-1	VAC [UF] totales según línea de acción	277
Figura 7.2-2	CAE [UF] totales según línea de acción.....	277
Figura 7.2-3	Esquema de priorización de iniciativas	281
Figura 7.3-1	Distribución de VAC [UF] según institución	285
Figura 7.3-2	CAE [UF] según institución	286
Figura 7.4-1	Hoja de ruta del Plan de Acción.....	287
Figura 7.4-2	Hoja de ruta del Plan de Acción (continuación)	288

Figura 8.1-1	Distribución de iniciativas a corto plazo	290
Figura 8.1-2	Distribución de iniciativas a mediano plazo	291
Figura 8.1-3	Distribución de iniciativas a largo plazo	291
Figura 8.2-1	Esquema simplificado de los pasos de implementación de PEGH	300
Figura 8.2-2	Modelo de gobernanza del PEGH Elqui	301

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO

1.1 INTRODUCCIÓN

La DGA como organismo del Estado de Chile encargado de promover la gestión y la administración del recurso hídrico, dentro de un marco de sustentabilidad, prevalencia del interés público y eficiencia en la asignación del recurso hídrico, se enfrenta al desafío que supone planificar el desarrollo de dicho recurso para las diversas demandas del país, el cual se encuentra en un escenario de escasez hídrica.

Un enfoque de cuenca como unidad de análisis, planificación y gestión es a menudo necesario para evitar el riesgo de un incremento de las externalidades negativas por un inadecuado manejo del agua (BMI, 2011). Asimismo, el cambio climático tiene y tendrá implicaciones sobre la disponibilidad del recurso hídrico, con inundaciones y sequías como fenómenos extremos frente a los cuales se deben proyectar medidas de intervención.

En Chile, igual que en muchas otras partes del mundo, los problemas relativos al recurso hídrico son complejos y cada vez con mayor repercusión debido a los múltiples objetivos a satisfacer y los efectos del cambio climático sobre los ciclos hidrológicos. Una muestra de esta realidad se refleja en el ranking global de estrés hídrico, donde el Instituto Mundial de Recursos (WRI, *World Resources Institute*), en su última actualización, situó a Chile en el lugar 18°, encabezando el grupo de países que presentan un alto riesgo de sufrir dicho fenómeno (WRI, 2019).

A pesar de que la DGA promovió el desarrollo de algunos instrumentos orientativos con fines de planificación hidrológica, los planes de cuenca, identificados como “planes directores” o “planes maestros”, en ocasiones a escala regional, no tienen carácter normativo y no han alcanzado el éxito esperado. Entre las razones de ello, la propia DGA vislumbra determinadas causas, como: a) un erróneo diseño del modelo de gobernanza; b) pérdida de interés en la aplicación del plan por parte de los usuarios, por falta de representatividad en sus reales necesidades, y c) falencia de información sobre la disponibilidad hídrica y de modelos hidrogeológicos que dificultan una correcta toma de decisiones.

En dichos planes, se enfatizó en la realización de un diagnóstico de la cuenca o región en aspectos hidrológicos, de infraestructura hidráulica y organizacional, para posteriormente formular iniciativas estructurales o no estructurales que solventaran las brechas identificadas. Paralelamente, desde otras instituciones públicas, y en ocasiones entidades privadas, también se han elaborado planificaciones sobre el recurso hídrico, atendiendo a los requerimientos específicos de los interesados a nivel local o sectorial.

Aún y así, no siempre se han alcanzado los objetivos que presentaban las iniciativas formuladas, dado el mapa cambiante de demandas de agua entre los diferentes actores y de disponibilidad de agua en el tiempo (sequías, inundaciones, etc.), derivando todo ello en una gestión ineficiente.

A su vez, la disociación histórica entre la gestión del agua superficial y subterránea en el país ha generado tensiones entre usuarios, especialmente en momentos críticos. Si bien se ha avanzado en integrar estos aspectos, el concepto de manejo conjunto de aguas superficiales y subterráneas en las propuestas de acciones en los instrumentos de planificación no ha sido relevante hasta estos últimos años, y esencialmente focalizado en cuencas del norte de Chile.

En este entorno de incertidumbre hidrológica, caracterizado por la escasez del recurso, una forma de evaluar y diseñar estrategias de planificación y gestión que resuelvan los problemas existentes consiste en la utilización de sistemas de soportes a la decisión (DSS por sus siglas en inglés, *Decision Support System*), mediante la aplicación de modelos de simulación, los cuales constituyen un excelente ejercicio de comprensión de la realidad. En los últimos tiempos se ha ido contando con determinados modelos de simulación hidrológica, pero sin disponer de ellos de forma generalizada en las principales cuencas del país, y no siempre considerando una integración de los modelos superficiales y subterráneos.

En este contexto, la DGA está promoviendo la elaboración de “Planes Estratégicos de Gestión Hídrica” (PEGH) en diferentes cuencas del país. Las novedades respecto a los instrumentos de planificación abordados anteriormente apuntan a subsanar los problemas identificados en anteriores estudios, principalmente por la incorporación de modelos hidrológicos superficiales-subterráneos. Esta contribución pone en valor la relación entre aguas superficiales y subterráneas, permitiendo además actualizaciones en el tiempo, aportando escenarios de enorme valía a los tomadores de decisión.

Consecuentemente a lo expuesto anteriormente, los PEGH debieran enfocarse en los lineamientos expuestos seguidamente, según lo establecido en las Bases Técnicas y la propia visión del Consultor sobre las brechas existentes en la materia:

- Los PEGH no pueden seguir con la conceptualización clásica de respuesta a problemas aislados mediante iniciativas puntuales y desvinculadas entre ellas, puesto que el recurso hídrico debe concebirse a nivel de cuenca y con una visión integrada de las aguas (superficial/subterránea), coherente y sustentable a largo plazo.
- En la medida de lo técnicamente posible, los PEGH deben apoyarse en la simulación de las acciones o iniciativas de mayor impacto que puedan representarse en un escenario de modelación hidrológica; las herramientas de modelación pueden aportar claridad sobre los resultados de la implantación de determinadas iniciativas de gestión, considerando los efectos del cambio climático.
- Los PEGH deben incluir participación de los diferentes actores de la institucionalidad vinculada con el agua, tanto públicos como privados. El éxito de las acciones establecidas en los planes reside tanto en su carácter técnico y económico como en su aceptación e implicación a escala social. Por tanto, sería beneficiosa la participación de los usuarios en la concretización de las ideas de gestión y tener conocimiento de la trascendencia de cada acción definida.

El resultado esperado para el PEGH en la cuenca de Elqui consiste en un portafolio de acciones a diferentes plazos (corto, mediano, largo) para la Dirección General de Aguas y de utilidad para los actores involucrados en dichas cuencas, considerando también en su formulación el apoyo brindado por el modelo hidrológico superficial – subterráneo y los escenarios de gestión analizados.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General

El objetivo general es proponer un plan estratégico para la cuenca del río Elqui, con la finalidad de conocer oferta y demanda actual de agua, establecer balance hídrico y sus proyecciones a los años 2030 y 2050, diagnosticar el estado de información, infraestructura e instituciones que toman decisiones respecto al recurso hídrico, y proponer una cartera de acciones de DGA y de terceros público-privados, las cuales permitan suplir la demanda de agua y adaptación al cambio climático, con un portafolio de acciones que aseguren su abastecimiento en cantidad y calidad.

1.2.2 Objetivos Específicos

Los objetivos específicos se enumeran y definen a continuación:

- **Objetivo 1:** Conocer el estado actual de la cuenca de Elqui en cuanto a oferta, demanda, balance de agua y sus respectivas herramientas de cálculo (modelos), control de extracciones, calidad físico-química de fuentes de aguas superficiales y subterráneas, gobernanza, y red hidrométrica superficial, subterránea, de calidad, de glaciología y nieves.
- **Objetivo 2:** Construir el modelo de simulación hidrológico subterráneo en WEAP de la cuenca del río Elqui, acoplarlo con el modelo superficial WEAP existente (1989-2016) y actualizarlo.
- **Objetivo 3:** Definir acciones para restaurar condiciones de abastecimiento y calidad de las fuentes de agua potable rural y urbana, tanto para fuentes superficiales como subterráneas.
- **Objetivo 4:** Diagnosticar el estado de la calidad de aguas de las fuentes superficiales y subterráneas, así como definir acciones para proteger funciones ecosistémicas críticas relacionadas con los cuerpos de agua en el tiempo.
- **Objetivo 5:** Diagnosticar el estado de la infraestructura hidráulica actual y proponer acciones para mejorar el monitoreo de las aguas de la cuenca del río Elqui (superficial, subterráneo, de montaña y glaciares), analizando el estado de funcionamiento, la antigüedad y la confiabilidad de los sistemas en general.
- **Objetivo 6:** Identificar las brechas entre oferta y demanda de agua en distintos escenarios de cambio climático, sequía e inundaciones, estableciendo un portafolio de acciones estratégicas de gestión para reducirlas, generando un caso base y distintos escenarios para la evaluación.

- **Objetivo 7:** Entregar estrategias para mejorar la toma de decisiones mediante la utilización de modelos operativos de gestión, con escenarios de planificación a corto, mediano y largo plazo, y adaptativos en el tiempo.
- **Objetivo 8:** Entregar estrategias para promover y revitalizar la alianza público - privada, para incrementar cualitativamente la inversión requerida en infraestructura.

CAPÍTULO 2 CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA

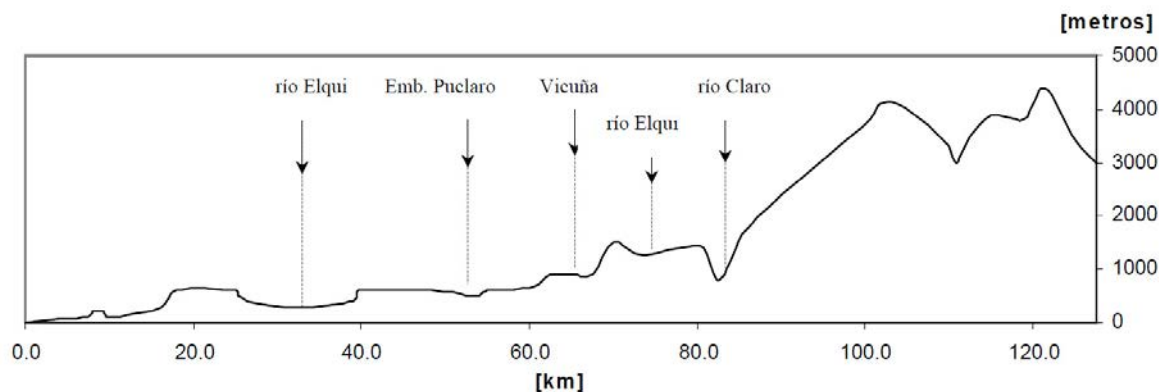
En el presente capítulo se describen las principales características de la cuenca del río Elqui, tanto a nivel geográfico, como de aspectos político-administrativos, demográficos y relativos a su actividad económica. Asimismo, se recopilan las principales obras de infraestructura en materia hídrica existentes en la cuenca, con el fin de disponer de una visión del estado de inversión actual en diferentes ámbitos (embalses, obras de riego, agua potable, extracciones, red hidrométrica de la DGA).

2.1 DIMENSIÓN FÍSICA Y ECONÓMICA

El objetivo del presente acápite es tener una visión general de la cuenca del río Elqui en términos geográficos, analizando aspectos relativos a su geomorfología y geología, suelos, drenaje, división político-administrativa y principales actividades económicas.

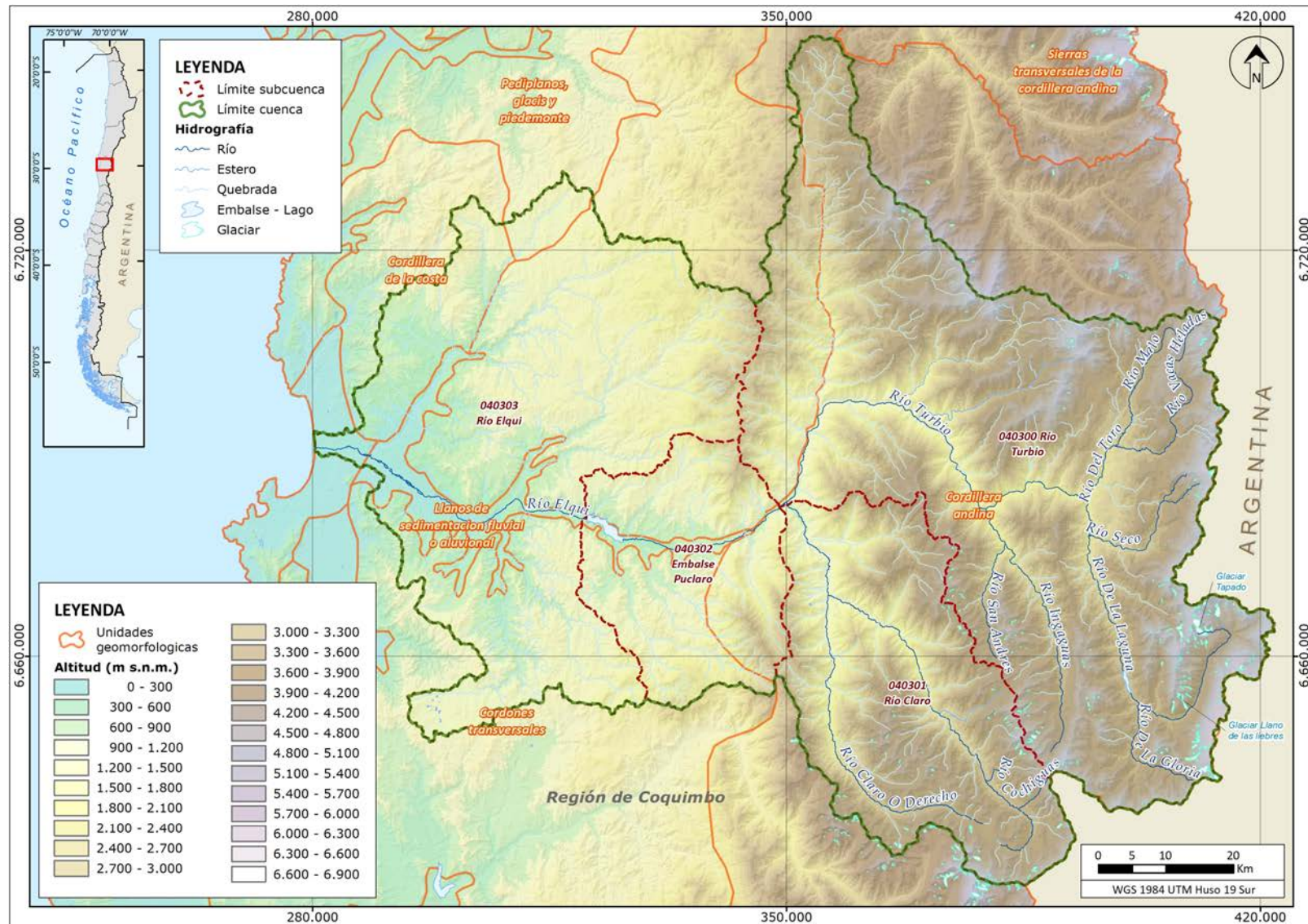
2.1.1 Geomorfología

Desde el punto de vista geomorfológico, existe una serie de elementos fisiográficos que se pueden identificar claramente; los grupos principales son: Cordillera de los Andes, Valles Transversales, Cordillera de la Costa y Planicies Litorales (DGA-CI, 2004). En la Figura 2.1-1 se presenta un perfil topográfico de la cuenca del río Elqui, y en la Figura 2.2-2 se muestra la distribución de sus elevaciones y unidades geomorfológicas.



Fuente: DGA (2004).

Figura 2.1-1 Perfil topográfico W – E a la latitud de 30° en la cuenca del río Elqui



Fuente: Elaboración propia basado en UFRO (2020) y METI-NASA (2019).

Figura 2.1-2 Mapa de elevaciones y unidades geomorfológicas de la cuenca del río Elqui

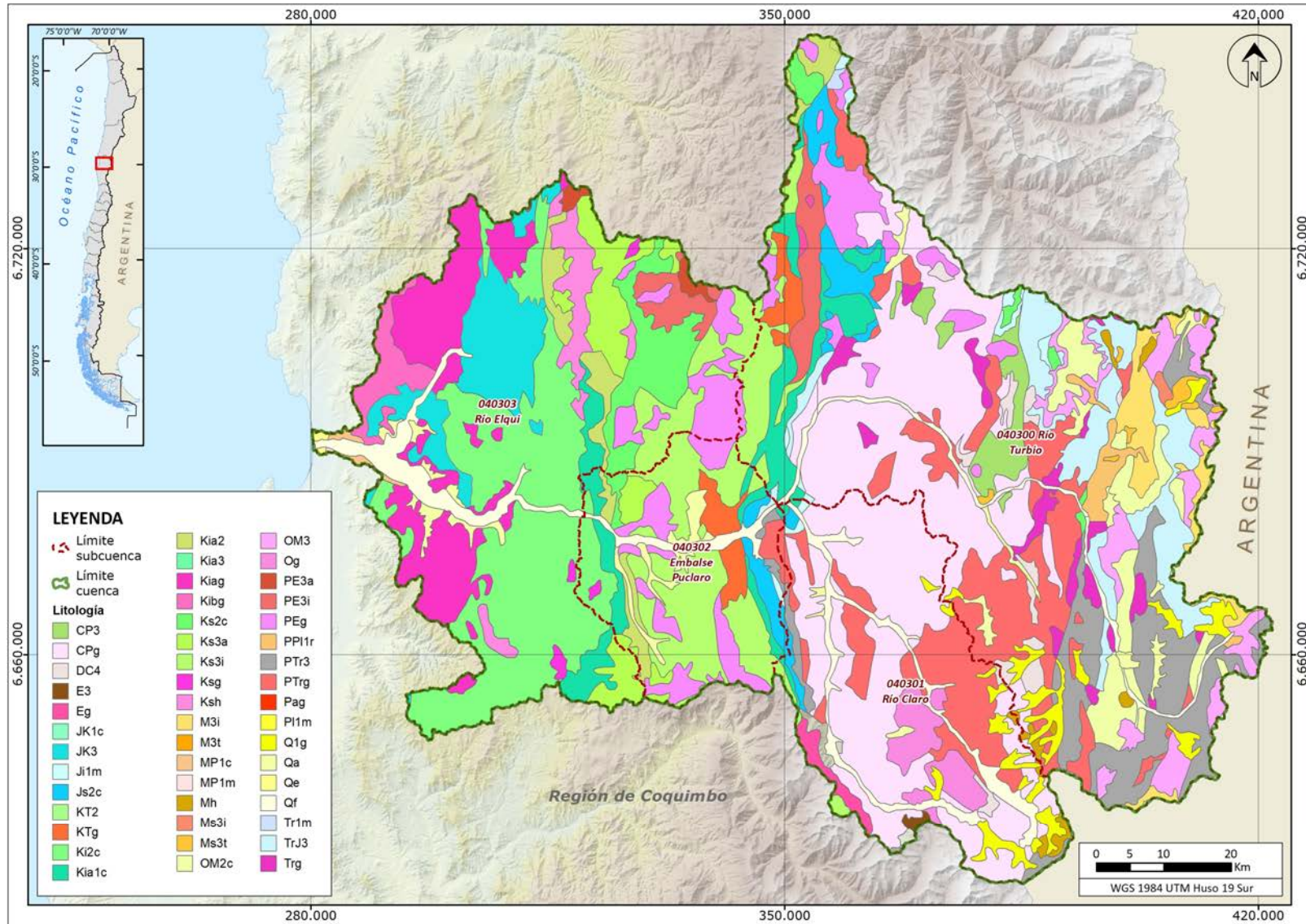
En el sector del nacimiento del río Elqui, en la confluencia de los ríos Claro o Derecho y Turbio, la precordillera andina presenta importantes alturas, destacando el Cerro Mamalluca (2.330 m s.n.m.) por el N y el Cerro El Molle (2.630 m s.n.m.) por el S, en el sector de Paiguano (DGA, 2004).

En sus primeros kilómetros hasta la localidad de El Molle, el río Elqui se caracteriza principalmente por presentar un escurrimiento de tipo recto. Las elevaciones están comprendidas entre los 1.000 y 1.600 m s.n.m., disminuyendo en forma paulatina. El tramo final del río (desde el sector de El Molle hasta la desembocadura en el mar), los valles presentan mayores amplitudes, cuyo material de sedimentación fluvial ha originado amplias terrazas laterales.

2.1.2 Geología

En la Figura 2.1-3 se muestran las diferentes formaciones geológicas presentes en la cuenca del río Elqui. Al respecto de la geología de superficie en los cauces, cabe señalar que éstos se encuentran sobre formaciones geológicas constituidas por depósitos no consolidados y rellenos de depósitos fluviales; gravas, arenas y limos del curso actual de los ríos mayores o de sus terrazas subactuales y llanuras de inundación. Los alrededores de los cauces presentan una amplia variedad de formaciones geológicas (DGA-CI, 2004):

- Sector Quebrada Santa Gracia y La Caleta: Rocas MP1m de tipo sedimentarias del Mioceno Superior - Plioceno. Secuencias sedimentarias marinas transgresivas: areniscas, limolitas, coquinas, conglomerados calizas y fangolitos; ubicadas entre las quebradas, formando una franja de ancho variable.
- Quebrada Marquesa: Rocas Kibg de tipo intrusivas del Cretácico Inferior Bajo. Monzodioritas y dioritas de piroxeno, hornblenda y biotita, granodioritas y tonalitas.
- Quebradas Las Cañas y San Carlos: Rocas Kiag de tipo intrusivas del Cretácico Inferior Alto - Cretácico Superior Bajo. Dioritas y monzodioritas de piroxeno y hornblenda, granodioritas, monzodioritas de hornblenda y biotita.
- Sector entre límite de la subcuenca de Quebrada Marquesa con la Quebrada Chacal: Rocas JK3 de tipo volcánicas del Jurásico Superior - Cretácico Inferior. Secuencias volcánicas, lavas, basálticas a riolíticas, domos brechas y aglomerados andesíticos a dacíticos con intercalaciones clásticas continentales y marinas.
- Quebradas Los Loros y Uchumi: Rocas Ki2c de tipo volcanosedimentarias del Cretácico Inferior - Cretácico Superior. Secuencias sedimentarias y volcánicas continentales, con escasas intercalaciones marinas: brechas sedimentarias y volcánicas, lavas andesíticas, conglomerados de areniscas, limolitas calcáreas lacustres con flora fósil.
- Quebrada Vega Negra y sector Río Cochiguaz y San Andrés: Rocas PEg de tipo intrusivas del Paleoceno - Eoceno. Monzodioritas de piroxeno y biotita, granodioritas y monzodioritas de hornblenda y biotita, dioritas, grabos y pórfidos riolíticos y dacíticos.
- Sector Estero Guanta: Rocas Js2c de tipo volcanosedimentarias del Jurásico Medio - Superior. Secuencias sedimentarias y volcánicas continentales, rocas epiclásticas, piroclásticas, lavas andesíticas a riolíticas; ubicadas de manera casi perpendicular al estero de Guanta.



Fuente: Elaboración propia basado en SERNAGEOMIN (2003).

Figura 2.1-3 Mapa geológico de la cuenca del río Elqui (escala 1:1.000.000)

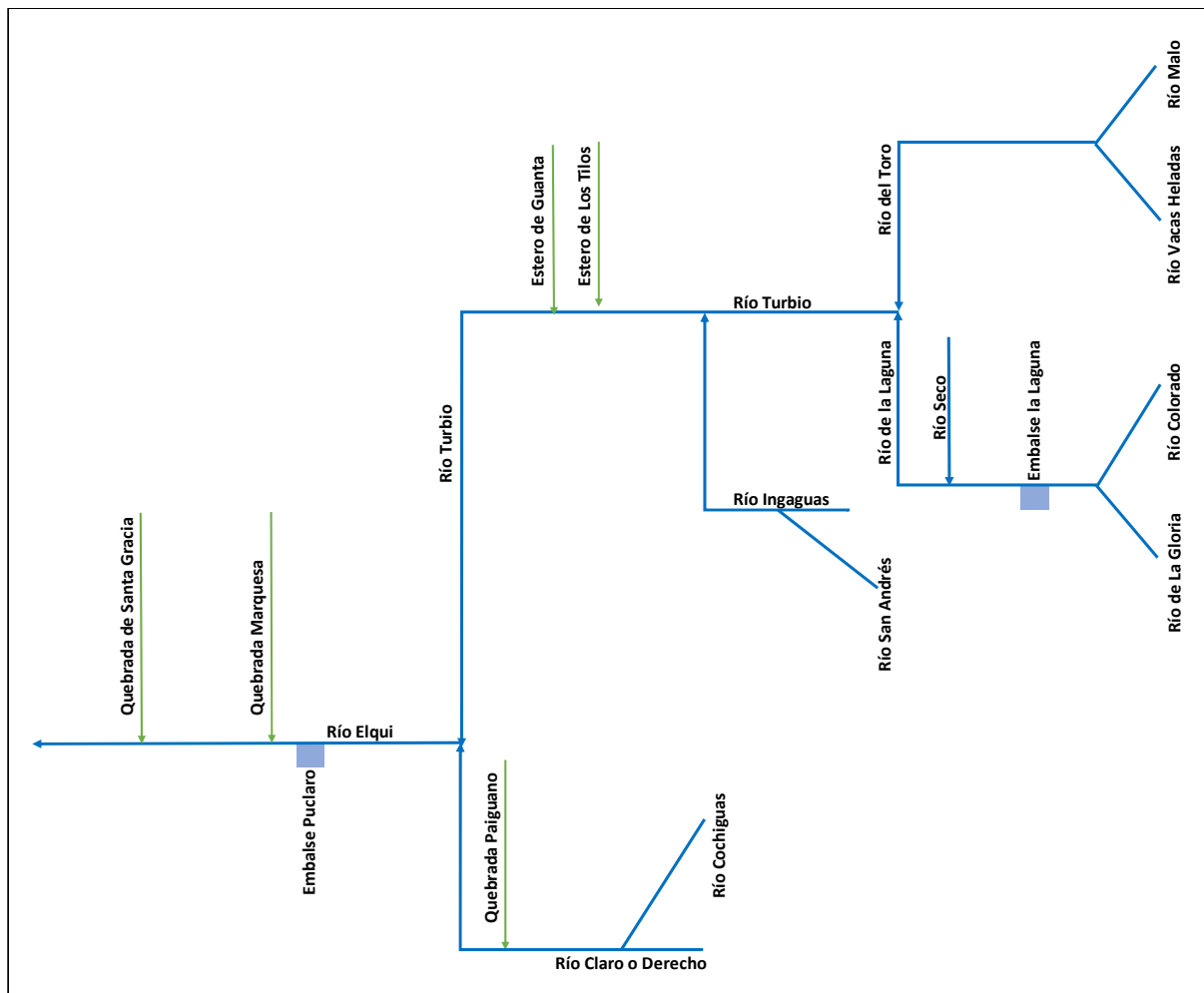
2.1.3 Suelos

En la cuenca del río Elqui predominan los suelos rojos litosólicos que muestran una formación de arcilla y algunas segregaciones de limo en las grietas de las rocas subyacentes. En antiguos paisajes remanentes hay suelos rojos desérticos más desarrollados y bien diferenciados; tienen en sus primeros 50 cm de profundidad (Horizonte A) suelos de color pardo claro, de textura gruesa. En el lecho del río, los suelos presentan texturas gruesas con gravas y piedras de aluviones; y litosoles en los sectores montañosos (DGA, 2004).

En el curso medio del valle de Elqui predominan los suelos aluviales denominados pardocálcicos o alfisoles. Son suelos originados tanto por sedimentos aportados por el río Elqui como también por materiales provenientes de los interfluvios montañosos (DGA, 2004).

2.1.4 Drenaje

El río Elqui nace a 815 m s.n.m., 2 km aguas arriba de Rivadavia, de la unión de los ríos Turbio, que viene del W, y Claro o Derecho, que proviene del S. Desde Rivadavia, el río Elqui se desarrolla en dirección E-W y prácticamente no recibe afluentes, salvo quebradas habitualmente secas. Aguas abajo, por la ribera N, las quebradas más importantes son Marquesa y Santa Gracia, que confluyen en su curso medio e inferior, respectivamente. Por el S, recibe las quebradas San Carlos, Arrayán y Talca, aparte de otras menores (DGA, 2004). Entre las localidades de Vicuña y El Molle, a 432 m s.n.m., se encuentra el embalse Puclaro, con una capacidad de almacenamiento de 200 millones de m³. En la Figura 2.1-4 se presenta un diagrama unifilar de los principales cauces de la cuenca. En el acápite 4.1.1.1 se recopila mayor detalle de la hidrología superficial de la cuenca.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.1-4 Diagrama unifilar de los cauces principales

2.1.5 División político-administrativa

La cuenca del río Elqui se extiende a través de la provincia de Elqui, abarcando completa o parcialmente las comunas de Andacollo, La Serena, Paiguano y Vicuña. La Tabla 2.1-1 muestra la superficie total de las mencionadas comunas, así como el porcentaje de la comuna en relación a la extensión de la cuenca.

Tabla 2.1-1 Superficie de la cuenca del río Elqui respecto a comunas

Cuenca	Provincia	Comuna	Superficie comuna (km ²)	Porcentaje superficie comuna en cuenca (%)
Río Elqui	Elqui	Andacollo	514	14%
		La Serena	1.901	76%
		Paiguano	1.514	100%
		Vicuña	7.579	84%

Fuente: Elaboración propia basada en Mapoteca DGA (2019b).

2.1.6 Actividad económica

2.1.6.1 Valor de la producción regional¹

El PIB de la Región de Coquimbo consignado por el Banco Central de Chile (BC, 2019) al año 2017, corresponde a \$5.025 mil millones de pesos, representando el 2,79% a nivel nacional. En términos sectoriales se destaca la actividad minera (25%), seguida por servicios personales (13%) y servicios financieros-empresariales (10%). Respecto al sector agropecuario-silvícola, este alcanza un 7,9% de participación. En último lugar se encuentra el sector pesquero, el cual corresponde al 0,3% del PIB regional. En el Anexo J.1.1 se encuentran las gráficas de distribución del PIB por actividad económica y del registro del PIB regional total y regional sectorial.

2.1.6.2 Empleo regional por sector económico

Respecto al número de personas empleadas por rama de actividad económica, se obtiene que, entre los años 2013-2018, la mayor cantidad de trabajos se encuentra en la actividad de comercio, representando un 19% del total de personas ocupadas; le sigue las actividades agropecuario-silvícola con un 13% de empleabilidad (INE, 2019b). La fuerza de trabajo asociada a la actividad minería y a la industria manufacturera, alcanza un promedio de 10% y 7% correspondientemente (INE, 2019b). En el Anexo J.1.1 se encuentra la tabla con el número de trabajadores ocupados por rama de actividad, entre los años 2013-2018 y el registro trimestral de ocupación según actividad.

2.1.6.3 Principales actividades económicas en la cuenca

A continuación, se presenta una descripción de las actividades económicas de importancia para la gestión hídrica de la cuenca. La identificación de las actividades económicas de interés para la cuenca y la gestión de recursos hídricos, se realizó a partir de los registros históricos del Producto Interno Bruto (PIB) regional, los que se obtuvieron desde la base de datos estadísticos en línea del Banco Central (BC, 2019).

i. Actividad minera

Según la información minera contenida en la base de datos "Faenas de Chile" en la plataforma web Minería Abierta (MINMINERIA, 2019), en la cuenca del río Elqui existen 110 faenas mineras, consistentes en minas a rajo abierto, minas subterráneas y plantas procesadoras (molienda, chancado, concentración y lixiviación), focalizadas en las comunas de La Serena y Andacollo. De acuerdo a la información presentada por el Consejo Minero (CONMIN, 2019), el 81% de la demanda de agua en la minería se encuentra en los procesos de concentración e hidrometalurgia; en la cuenca estudiada se identificaron 14 plantas que desarrollan estos procesos. El registro completo de las instalaciones (minas y plantas) presentes en la cuenca del río Elqui se encuentra en el Anexo J.1.2.

Entre los minerales metálicos explotados se encuentra Cu, Mo, Fe y Au, y de las rocas y minerales no metálicos está presente la producción de carbonato de Ca y yeso.

¹ La información relativa a producción, desde fuentes oficiales, es a nivel regional (PIB, del Banco Central de Chile). No se dispone de este índice desagregado a nivel provincia. Debido a esto, no es posible aplicar un porcentaje ponderado a la cuenca, ya que los valores no son homogéneos en toda la región.

Entre los yacimientos cupríferos se destaca la Compañía Minera Carmen de Andacollo, con una producción de 76 miles de toneladas métricas en el año 2017; otras empresas cupríferas presentes en la zona son Compañía Minera San Gerónimo, Talcuna S.A y compañía Minera Linderos. Entre las empresas no cupríferas se encuentran Seawolf Group Mineral Services S.A, con plantas de producción de Fe; Compañía Minera Dayton, con plantas de concentración de Au; y Improver S.A., con producción de yeso.

De acuerdo a la información entregada por INE (2019a), la minería fue el principal sector exportador de la región, con un monto de 282,0 MMUS\$ en el mes de septiembre del año 2019, representando el 84,9% de la exportación total de la zona.

ii. Actividad agrícola

Se presenta en la Tabla 2.1-2 la superficie de riego censada (INE, 2007)² para diferentes tipos de cultivos, por subcuenca. Se observa que la principal producción agrícola en la cuenca corresponde al cultivo de frutales, representando un 52% de la producción regional al año 2007.

Tabla 2.1-2 Superficies de riego en la cuenca del río Elqui - Censo Agropecuario año 2007

Código Subc.	Nombre Subcuenca	Superficie por cultivos [Ha] ³					Total
		CER	FOP	HOR	VIÑ	FRU	
0430	Río Turbio	0,21	28,23	2,28	105,48	605,21	741,41
0431	Río Claro	5,58	60,37	3,83	503,18	994,49	1.567,45
0432	R. Elqui Medio	26,48	65,78	108,44	902,40	3.024,50	4.127,60
0433	R. Elqui Bajo	1.253,52	229,40	1.877,19	392,57	1.350,15	5.102,83
Total	Cuenca río Elqui	1.285,79	383,78	1.991,73	1.903,63	5.974,35	11.539,29

Fuente: Elaboración propia basada en INE (2007).

De acuerdo a las estadísticas entregadas por INE (2019a), la producción silvoagropecuaria para exportación solo alcanza el 11,9% de participación a nivel regional, lo cual también se ve reflejado en el aporte de esta actividad al PIB regional, como se muestra en la Tabla 2.1-2. Sin embargo, de acuerdo al estudio "Estimación de la demanda actual, proyecciones futuras y caracterización de la calidad de los recursos hídricos en Chile" (DGA, 2017a), la demanda hídrica para riego del sector agrícola al año 2015 representó el 75% de la demanda consuntiva en la cuenca (ver Anexo J.1.3), razón por la cual es considerado en el presente análisis.

² Cabe remarcar la brecha existente en cuanto a información agropecuaria actualizada por la inexistencia de un censo actualizado, superando en más de 10 años el período desde el último realizado (año 2007).

³ Grupos de cultivos según lo siguiente: CER (Cereales, Legumbres, Tubérculos y Cultivos Industriales; y Forrajeras Anuales); FOP (Forrajeras Permanentes); HOR (Hortalizas, Flores y Semilleros); VIÑ (Viñas y Parronales); y FRU (Frutales).

iii. Actividad servicios: generación hidroeléctrica

En la Tabla 2.1-3 se muestran las instalaciones utilizadas para generación eléctrica en la cuenca del río Elqui y que, a su vez, son consideradas de importancia para la gestión de recursos hídricos. En el Anexo J.1.4 se detalla información sobre éstas.

Tabla 2.1-3 Servicios de generación de energía eléctrica en operación

Subcuenca	Tipo de generación	Nombre	Propiedad	Potencia (MW)	Tipo de instalación	Año operación
Embalse Puclaro	Hidroeléctrica	Puclaro	Hidroeléctrica Puclaro S.A.	5,6	De Pasada	2008

Fuente: Elaboración propia basada en MINMINERIA (2019).

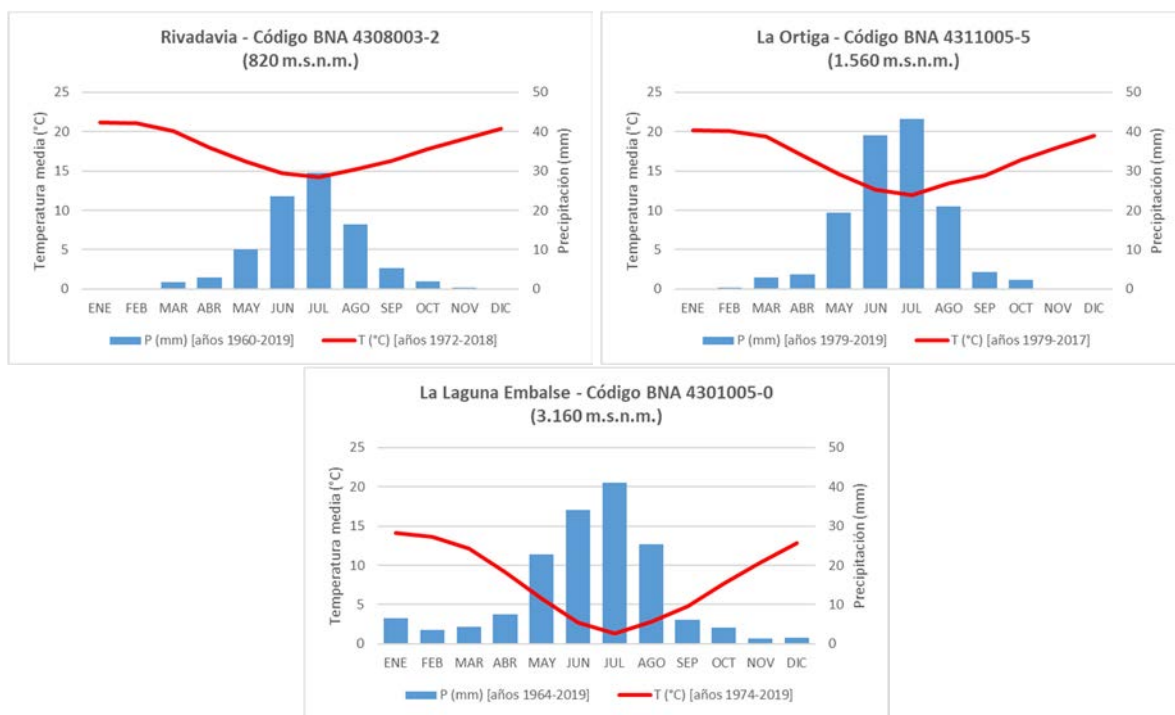
2.2 CLIMA

2.2.1 Caracterización climática

Según la clasificación de Köppen-Geisger, en la cuenca del río Elqui se presentan varios climas, según lo representado en la Figura 2.2-1. Los climas identificados, en sentido W-E, se exponen a continuación.

- BSk (s) (i), correspondiente a clima seco semiárido de lluvia invernal e influencia costera; se extiende por la comuna de La Serena. Se caracteriza por ser un clima frío y seco, con precipitaciones escasas y temperatura media anual inferior a 18°C, presentando una débil oscilación térmica anual.
- BSk (s): Clima seco semiárido de lluvia invernal. Abarca la mayor extensión de la cuenca en su parte media y media-alta en los valles. Se caracteriza por ser un clima frío y seco, con precipitaciones escasas y temperatura media anual inferior a 18°C.
- En las partes más altas de la cuenca, se presenta un clima frío de tundra de lluvia invernal (ET (s)), con algunos sectores de tipo ET (clima frío de tundra) en la franja limítrofe con la República de Argentina; en ambos casos el mes más caluroso del año presenta temperaturas son muy bajas.

En la Figura 2.2-2 se presentan los climogramas de las estaciones meteorológicas de Rivadavia, La Ortiga y La Laguna Embalse, ubicadas en diferentes alturas de la cuenca del río Elqui (Figura 2.2-1).



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

Figura 2.2-2 Diagramas ombrotérmicos de las estaciones meteorológicas Rivadavia (4308003-2), La Ortiga (4311005-5) y La Laguna Embalse (4301005-0)

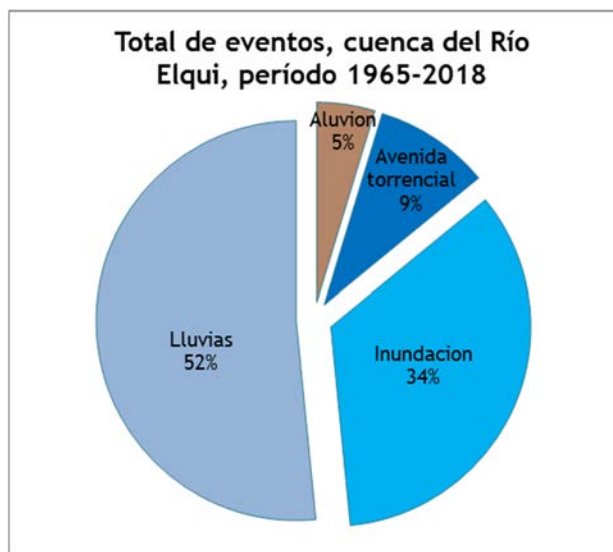
La temperatura media anual en Rivadavia es de 18,2°C, con máxima de 27,8°C y mínima de 2,3°C, y una precipitación anual de 97 mm. Por otro lado, en La Ortiga se presenta una temperatura media anual de 16,3°C, con temperaturas máxima y mínima de 25,3°C y 0,6°C respectivamente, y una precipitación media anual de 140 mm. En la parte alta de la cuenca, en La Laguna, se registra una temperatura media anual de 7,9°C, con máxima de 27°C y mínima de -10,6°C; la precipitación media anual en este punto asciende a 158 mm (CR2, 2020).

2.2.2 Eventos extremos y variabilidad climática

Para el análisis de los eventos extremos, se realiza una selección de eventos a evaluar, se establece la resolución de los insumos a utilizar y el periodo de análisis. El detalle de la metodología se expone en el Anexo F, acápite 3.2.1.

2.2.2.1 Resultados del análisis de eventos

A continuación, se muestran los resultados asociados al período 1965-2018. Se identificó un total de 65 eventos diferentes. En la Figura 2.2-3 se muestra el resultado del total de eventos por tipo de eventos, siendo los eventos asociados a lluvias los mayoritarios con un 52% del total, seguido por las inundaciones en un 34%. Los eventos asociados a aluviones y las avenidas torrenciales poseen una menor proporción, con 5% y 9%, respectivamente.

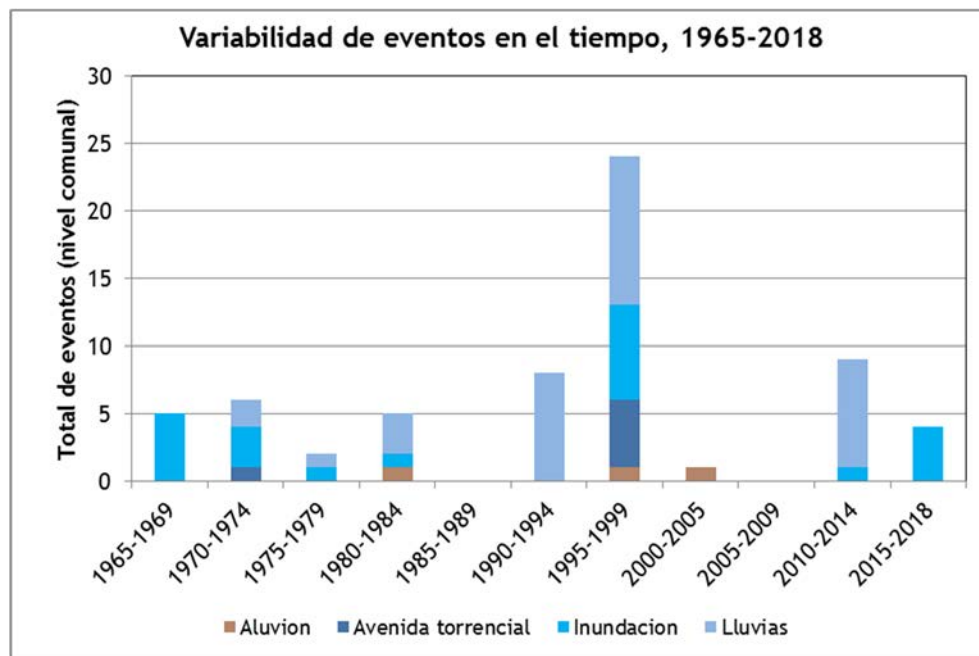


Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.2-3 Resumen de eventos más importantes, período: 1965-2018

En la Figura 2.2-4 se muestra la variabilidad temporal, según lustros, en el que se aprecia una importante variabilidad de los eventos registrados, siendo el período 1995-1999 aquel con mayor número de eventos y que supera ampliamente a los demás períodos, seguido del período 2010-2014. Además, se verifica que la población ha sido afectada de manera aleatoria por los diferentes eventos. Este aspecto puede ser explicado por la aleatoriedad de los eventos extremos, y/o la capacidad de resiliencia de los habitantes de la región, aunque estos aspectos deben ser estudiados con mayor profundidad. Se destaca que los eventos asociados a aluviones no se han reportado durante la última década. De los resultados, se destaca que el número de eventos no ha aumentado sostenidamente en el tiempo. Sin embargo, el aumento en la frecuencia de eventos climatológicos extremos ha sido ampliamente discutido (Cubasch, U *et al.*, 2001; Karl and Trenberth, 2003). La explicación a esta diferencia corresponde a que los eventos analizados resultan ser muchas veces del tipo secundario, vale decir, fueron generados de un evento primario, el cual pudo haber sido un evento climatológico; por lo tanto, la frecuencia de los eventos primarios puede aumentar de frecuencia, pero no implicaría un aumento en la frecuencia de eventos secundarios. Por otro lado, en relación al nivel de impacto en la población, la facilidad de comunicación mediante redes sociales ha permitido mostrar con mayor detalle los efectos de cada evento, generándose a la vez un aumento en la amplitud de su impacto (Kasperson, R., *et al.*, 1988), con la búsqueda permanente de su justificación mediante el cambio climático.

Que en un período de 4 o 5 años no existan registros se explica porque: (i) no hubo personas afectadas a pesar de que sí ocurrieron eventos del tipo analizado; (ii) que sí hubo personas afectadas, pero el trabajo periodístico no incluyó dicha noticia por cubrir otras de mayor interés. De esta manera, la Figura 2.2-4 fue construida del registro de eventos que han generado alguna afectación a la población. El que exista o no exista correlación con otros fenómenos es una materia que requiere de otros análisis más profundos a la información recopilada.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.2-4 Variación de eventos (comunales) más importantes en el tiempo, período 1965-2018

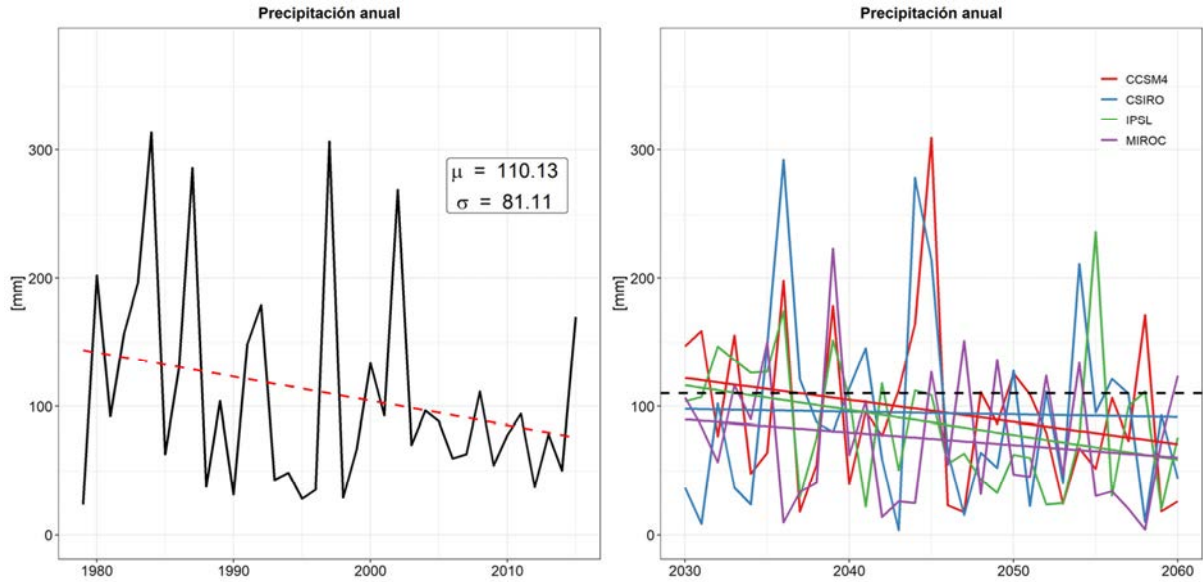
2.2.2.2 Variabilidad climática

La metodología en detalle para establecer la variabilidad climática asociada a la precipitación, temperatura y caudales se expone en el Anexo F, acápite 3.2.1. A continuación, se presentan los resultados del análisis de variabilidad para las tres variables hidrometeorológicas. El periodo analizado comprende entre los años 1985-2015 para escenario base y 2030-2060 para escenario futuro, esto según la Actualización del Balance Hídrico Nacional (DGA, 2018c). Los valores corresponden al comportamiento de cada variable en el periodo analizado en base a un barrido de las diferentes estaciones con información disponible.

i. Precipitación

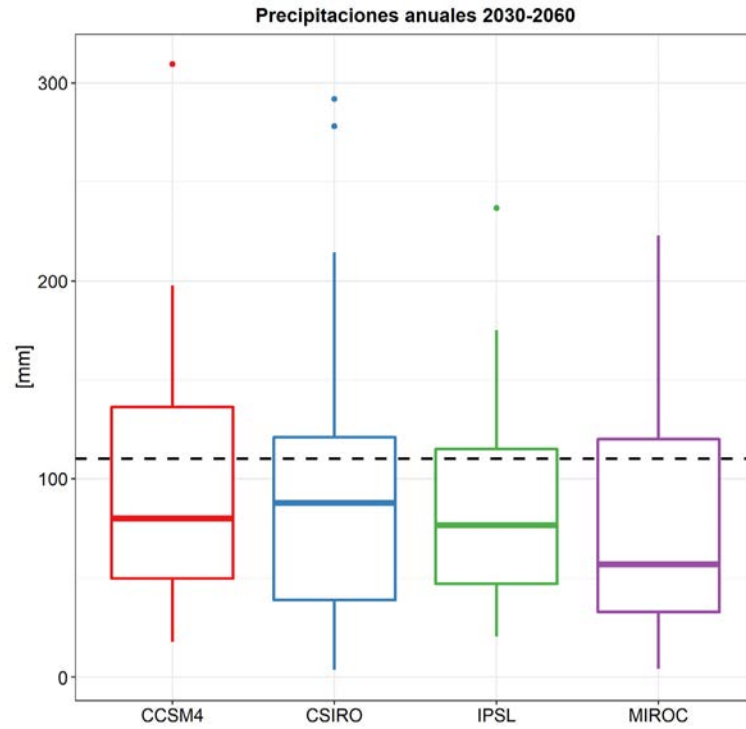
En la Figura 2.2-5 y la Figura 2.2-6 se muestran los resultados gráficos, mientras que en la Tabla 2.2-1 se resumen los resultados numéricos. El periodo histórico presenta una tendencia estadísticamente significativa a la disminución de las precipitaciones. Si bien los cuatro MCGs presentan también tendencias a la disminución, solo son estadísticamente significativas para los casos de CCSM4 y CSIRO. En promedio, los MCGs proyectan una disminución de 8 mm en la precipitación promedio anual para el

periodo futuro, siendo MIROC el modelo más pesimista (disminución de 16 mm). Los modelos CSIRO, IPSL y MIROC proyectan una disminución en la variabilidad interanual en comparación con el periodo histórico. La distribución espacial de la precipitación se muestra en la Figura 2.2-7 y corresponde al resumen del comportamiento de la cuenca en base a la resolución espacial empleada de 5 x 5 km/pixel en base a DGA (2018c); se observa que la disminución de precipitaciones proyectadas es más bien homogénea para la cuenca del río Elqui.



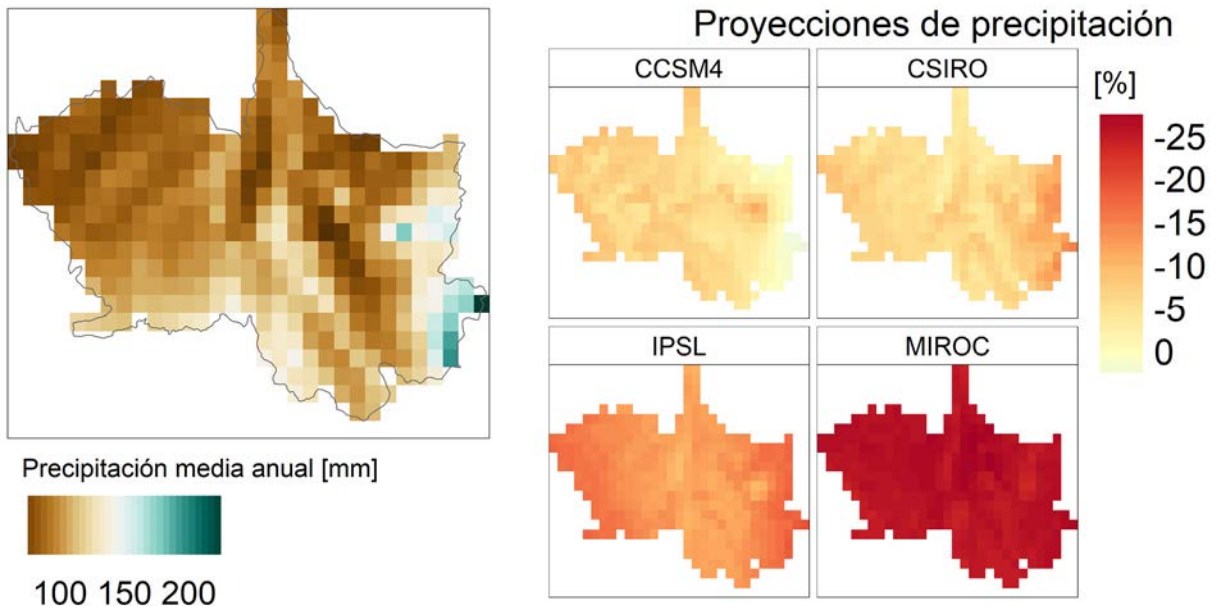
Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.2-5 Precipitación anual para el periodo histórico (panel izquierdo, tendencia lineal en línea punteada roja) y periodo futuro (panel derecho, tendencias lineales en líneas sólidas y promedio histórico en línea punteada negra)



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.2-6 Gráficos de caja para los valores anuales de precipitación para los 4 MCG. La línea negra punteada indica el promedio del periodo histórico



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

Figura 2.2-7 Distribución espacial de la precipitación en el periodo histórico (panel izquierdo) y las proyecciones (expresadas en diferencias porcentuales con respecto al periodo histórico) de los 4 MCGs (panel derecho)

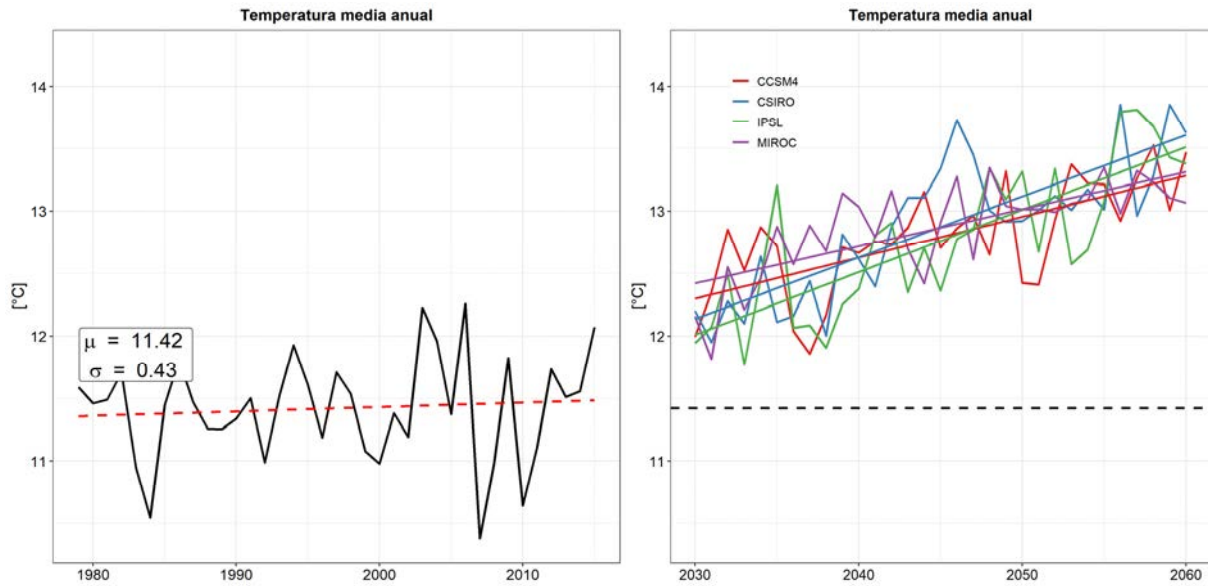
Tabla 2.2-1 Estadísticos de precipitación anual para el periodo histórico y 4 MCG

Modelo/Periodo	Promedio [mm]	Desviación estándar [mm]	Coefficiente de variación [-]	Tau [-]	p valor [-]
Histórico	110	81	0,74	-0,108	0,356
CCSM4	106	90	0,85	-0,070	0,355
CSIRO	107	84	0,79	-0,095	0,204
IPSL	101	58	0,57	-0,193	0,010
MIROC	94	62	0,66	-0,240	< 0,01

Fuente: Elaboración propia.

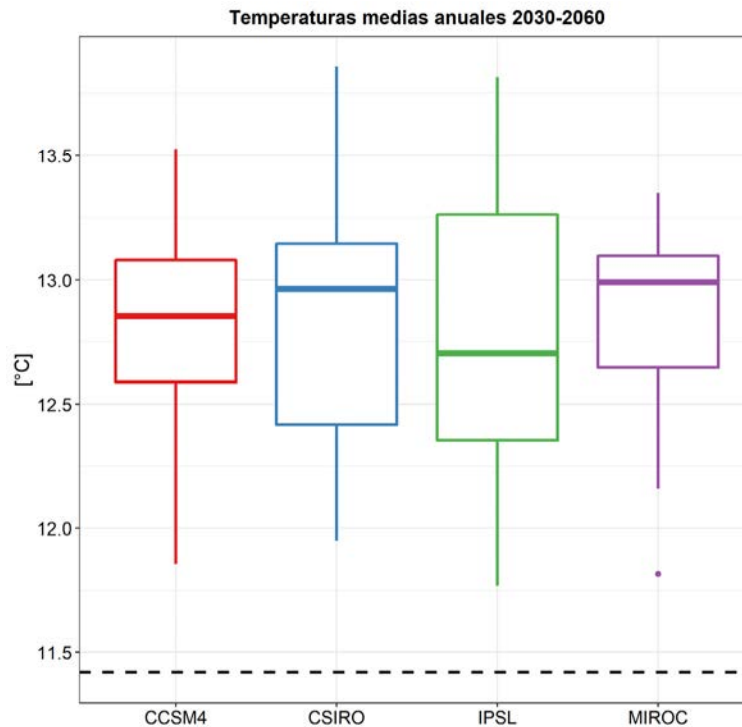
ii. Temperatura

En la Figura 2.2-8 y la Figura 2.2-9 se muestran los resultados gráficos, mientras que en la Tabla 2.2-1 se resumen los resultados numéricos. El periodo histórico presenta una tendencia estadísticamente significativa en el aumento de temperaturas. Los cuatro MCG proyectan tendencias similares entre sí, sin embargo, ninguna de ellas es estadísticamente significativa. En promedio, las proyecciones estiman un aumento de 0,54 °C a escala de cuenca. Las desviaciones estándar obtenidas para los MCG son cercanas al doble de la desviación obtenida para el periodo histórico, indicando aumentos en la variabilidad interanual de la temperatura. La distribución espacial de la temperatura se muestra en la Figura 2.2-10 y corresponde al resumen del comportamiento de la cuenca en base a la resolución espacial empleada de 5 x 5 km/pixel en base a DGA (2018c); se observa que los MCGs proyectan un aumento mayor en sectores de mayor elevación, llegando a aumentos de 1,7 °C para la cuenca del río Elqui.



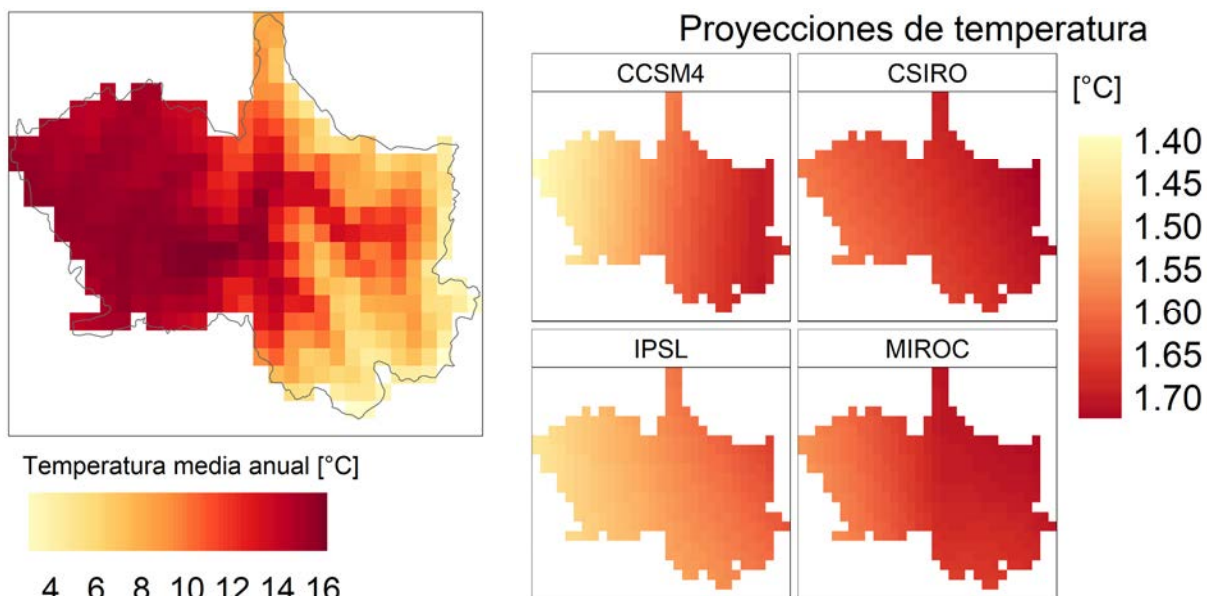
Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.2-8 Temperatura media anual para el periodo histórico (panel izquierdo, tendencia lineal en línea punteada roja) y periodo futuro (panel derecho, tendencias lineales en líneas sólidas y promedio histórico en línea punteada negra)



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.2-9 Gráficos de caja para los valores anuales de temperatura para los 4 MCG. La línea negra punteada indica el promedio del periodo histórico



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

Figura 2.2-10 Distribución espacial de la temperatura en el periodo histórico (panel izquierdo) y las proyecciones (expresadas en diferencias porcentuales con respecto al periodo histórico) de los 4 MCGs (panel derecho)

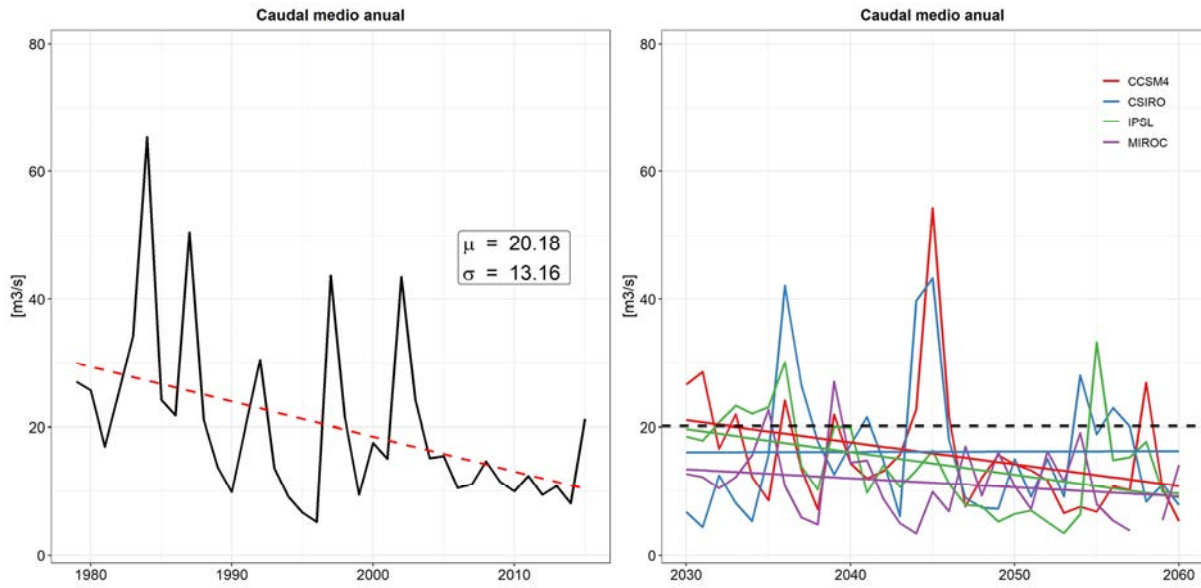
Tabla 2.2-2 Estadísticos de temperatura anual para el periodo histórico y 4 MCG

Modelo/Periodo	Promedio [°C]	Desviación estándar [°C]	Coefficiente de variación [-]	Tau [-]	p valor [-]
Histórico	12,53	0,53	0,04	-0,04	0,75
CCSM4	13,01	0,88	0,07	0,77	< 0,01
CSIRO	13,11	0,98	0,08	0,76	< 0,01
IPSL	12,98	0,98	0,08	0,79	< 0,01
MIROC	12,99	0,85	0,07	0,76	< 0,01

Fuente: Elaboración propia.

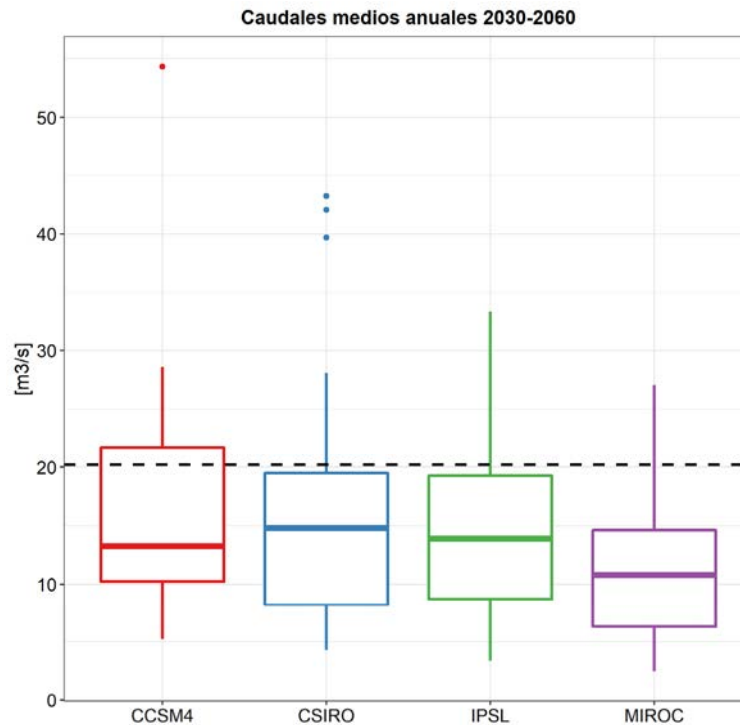
iii.Caudal

En la Figura 2.2-11 y la Figura 2.2-12 se muestran los resultados gráficos, mientras que en la Tabla 2.2-3 se resumen los resultados numéricos. Si bien se observa una tendencia a la disminución en el periodo histórico, no se considera estadísticamente significativa según la prueba de Mann-Kendall (p valor < 0,05). Los cuatro MCG presentan tendencias a la disminución de escorrentía, siendo significativos solo para el caso de CSIRO. Los cuatro MCG son concordantes en presentar una disminución de escorrentía, proyectando una disminución promedio de 0,96 m³/s. Los cuatro modelos proyectan una disminución en la variabilidad interanual de los caudales. Las disminuciones más notorias de escorrentía se observan en el sector sur de la cuenca, llegando a -0,03 mm en el caso de MIROC.



Fuente: Elaboración propia.

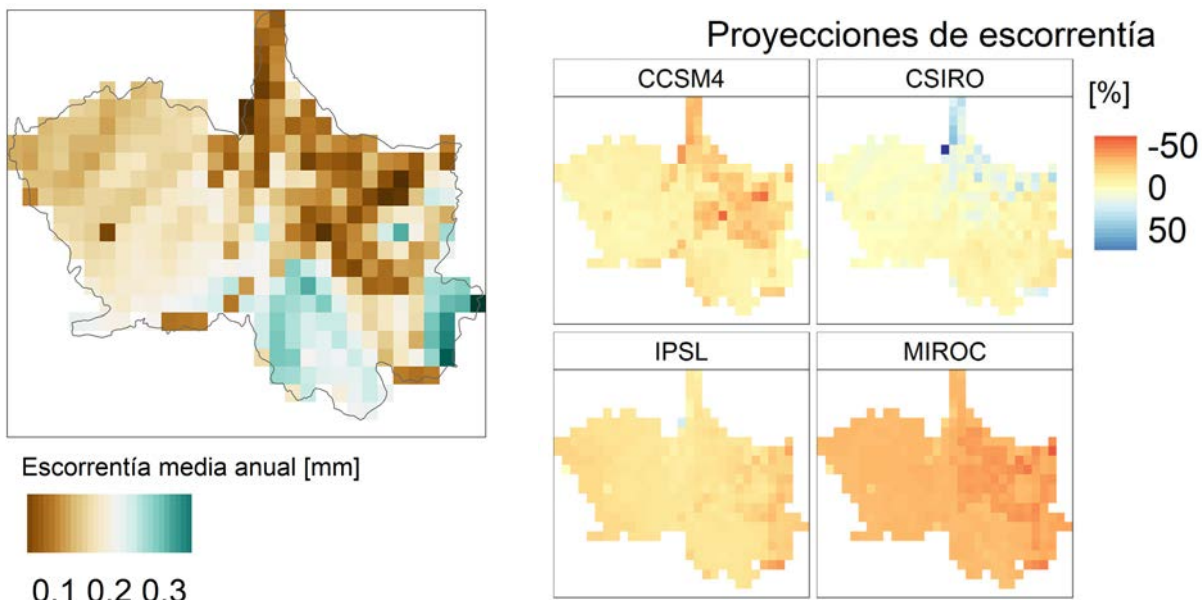
Figura 2.2-11 Caudal medio anual para el periodo histórico (panel izquierdo, tendencia lineal en línea punteada roja) y periodo futuro (panel derecho, tendencias lineales en líneas sólidas y promedio histórico en línea punteada negra)



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.2-12 Gráficos de caja para los valores anuales de caudales para los 4 MCG. La línea negra punteada indica el promedio del periodo histórico

La distribución espacial del caudal se muestra en la Figura 2.2-13y corresponde al resumen del comportamiento de la cuenca en base a la resolución espacial empleada de 5 x 5 km/pixel, en base a DGA (2018c); se observa que los MCGs proyectan una disminución general de la escorrentía para la cuenca del río Elqui.



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

Figura 2.2-13 Distribución espacial de la escorrentía en el periodo histórico (panel izquierdo) y las proyecciones (expresadas en diferencias porcentuales con respecto al periodo histórico) de los 4 MCGs (panel derecho)

Tabla 2.2-3 Estadísticos de caudales anuales simulados para el periodo histórico y 4 MCG.

Modelo/Periodo	Promedio [m ³ /s]	Desviación estándar [m ³ /s]	Coefficiente de variación [-]	Tau [-]	p valor [-]
Histórico	20,2	13,2	0,65	-0,38	< 0,01
CCSM4	18,4	15,4	0,84	-0,16	0,04
CSIRO	18,7	14,0	0,75	-0,08	0,26
IPSL	17,4	9,3	0,54	-0,28	< 0,01
MIROC	15,6	10,3	0,66	-0,34	< 0,01

Fuente: Elaboración propia.

2.2.3 Escenarios de cambio climático

La selección de los modelos de circulación general (MCG) para el estudio se enmarca dentro de la metodología empleada en la Actualización del Balance Hídrico Nacional (DGA, 2018c). Se puede ver el detalle de la metodología aplicada en el Anexo F del presente estudio.

En el caso de Elqui, los modelos seleccionados como prioridad 1 y 2 fueron CSIRO y CCSM4 respectivamente. En el caso de CSIRO las reducciones de precipitación y escorrentía fueron de un -4% y 2%. En el caso de CCSM4 las mismas variaciones reportadas por DGA (2018c) fueron de -4% y -11%.

2.3 DIMENSIÓN AMBIENTAL

2.3.1 Unidades ecosistémicas

En este apartado se identifican los ecosistemas terrestres y de aguas continentales presentes en la cuenca, así como las figuras de protección existentes.

2.3.1.1 Ecosistemas terrestres

Las formaciones y pisos vegetales en la cuenca del río Elqui, según Luebert y Pliscoff (2017), se presentan en la Tabla 2.3-1 y quedan representadas en la Figura 2.3-1.

Tabla 2.3-1 Ecosistemas terrestres zonales

Formación	Código Piso	Piso	Superficie remanente (km ²)	Porcentaje superficie (%)
Herbazal de altitud	P117	Herbazal tropical-mediterráneo andino de <i>Chaetanthera sphaeroidalis</i>	771	8%
Matorral bajo de altitud	P108	Matorral bajo tropical-mediterráneo andino de <i>Adesmia hystrix</i> - <i>Ephedra breana</i>	1287	14%
	P109	Matorral bajo tropical-mediterráneo andino de <i>Adesmia subterranea</i> - <i>Adesmia echinus</i>	860	9%
Matorral bajo desértico	P26	Matorral bajo desértico mediterráneo andino de <i>Senecio proteus</i> - <i>Haplopappus baylahuen</i>	264	3%
Matorral desértico	P17	Matorral desértico mediterráneo costero de <i>Oxalis virgosa</i> - <i>Heliotropium stenophyllum</i>	182	2%
	P18	Matorral desértico mediterráneo interior de <i>Adesmia argentea</i> - <i>Bulnesia chilensis</i>	1342	14%
	P19	Matorral desértico mediterráneo interior de <i>Heliotropium stenophyllum</i> - <i>Flourensia thurifera</i>	635	7%
	P20	Matorral desértico mediterráneo interior de <i>Flourensia thurifera</i> - <i>Colliguaja odorifera</i>	1601	17%
Sin vegetación	SV	Sin vegetación	2467	26%

Fuente: Elaboración propia basada en Luebert y Pliscoff (2017).

2.3.1.2 Ecosistemas de aguas continentales

Respecto de los ecosistemas acuáticos, el Inventario de Humedales (MMA, 2015) identificó, en la cuenca del río Elqui, los cuerpos de agua resumidos en la Tabla 2.3-2 y graficados en la Figura 2.3-1.

Tabla 2.3-2 Ecosistemas acuáticos continentales

Clase	Subclase	Longitud (km)	Área (km ²)
Ríos	Ríos principales	312	-
	Ríos secundarios	250	-
Cuerpos	Lagos	-	-
	Lagunas	-	2
Otros humedales	Otros humedales	-	27
Sistemas antropizados	Embalses	-	9

Fuente: Elaboración propia basada en MMA (2015).

Respecto a los humedales y otros cuerpos de agua, no existe información sistematizada sobre su importancia ecosistémica, especies presentes o su estado de conservación. Si bien el MMA propone diseñar e implementar un sistema de monitoreo y seguimiento ambiental de humedales que considere todas sus características ecológicas, esto es parte de una visión a largo plazo, sin que exista actualmente información en detalle sobre su condición actual particular de cada uno, ni sobre los componentes biológicos, físicos y químicos que conforman dichos ecosistemas.

Sin perjuicio de lo anterior, se presentan en la Tabla 2.3-3 algunas de las especies de flora acuática presentes en la cuenca del río Elqui, así como también su estado de conservación según el Inventario Nacional de Especies (MMA, 2020b). De la misma forma, en la Tabla 2.3-4 se presentan especies de fauna acuática representativas de la cuenca, su ambiente y estado de conservación.

Tabla 2.3-3 Flora acuática de la cuenca del río Elqui

Nombre científico	Nombre común	Estado de conservación
<i>Apium nodiflorum</i>	Apio	Exótica
<i>Cardamine glacialis</i>	-	-
<i>Carex gayana</i>	-	-
<i>Carex microglochin</i>	-	-
<i>Carex nebularum</i>		
<i>Cotula coronopifolia</i>	Botón de oro	Exótica
<i>Chenopodium ambrosioides</i>	Paico	Exótica
<i>Eleocharis albibracteata</i>	-	-
<i>Eleocharis macrostachya</i>	-	-
<i>Eleocharis pachycarpa</i>	-	-
<i>Equisetum giganteum</i>	Yerba del platero	Preocupación menor
<i>Gentiana prostata</i>	-	Exótica
<i>Gentianella coquimbensis</i>	-	-
<i>Juncus articus</i>	-	-
<i>Juncus chilensis</i>	-	-
<i>Juncus leseurii</i>	-	-
<i>Lemna gibba</i>	-	-
<i>Lilaeopsis macloviana</i>	-	-

Nombre científico	Nombre común	Estado de conservación
<i>Limnobiium laevigatum</i>	Hierba guatona	Exótica
<i>Mentha citrata</i>	-	-
<i>Mimulus depressus</i>	-	-
<i>Mimulus glabratus</i>	-	En peligro crítico
<i>Mimulus luteus</i>	-	-
<i>Myriophyllum quitense</i>	-	-
<i>Oxychloe andina</i>	-	-
<i>Patosia clandestina</i>	-	-
<i>Phragmites australis</i>	Carrizo	Exótica
<i>Phyla nodiflora</i>	-	Exótica
<i>Polypogon australis</i>	-	-
<i>Polypogon monspelliensis</i>	Rabo de zorro	Exótica
<i>Potamogeton berteroanus</i>	-	-
<i>Potamogeton striatus</i>	-	-
<i>Potamogeton strictus</i>	-	-
<i>Ranunculus apiifolius</i>	-	-
<i>Ranunculus chilensis</i>	-	-

Fuente: Elaboración propia basada en DGA (2004) e Inventario Nacional de Especies (MMA, 2020b).

Tabla 2.3-4 Fauna acuática de la cuenca del río Elqui

Nombre científico	Nombre común	Ambiente	Estado de conservación
<i>Basilichthys microlepidotus</i>	Pejerrey	Íctico	Vulnerable
<i>Odontesthes brevianalis</i>	Cauque del norte	Íctico	Vulnerable
<i>Galaxias maculatus</i>	Puye	Íctico	Preocupación menor, Vulnerable

Fuente: Elaboración propia basada en DGA (2004) e Inventario Nacional de Especies (MMA, 2020b).

2.3.1.3 Áreas bajo protección oficial y otras figuras de conservación

En la Tabla 2.3-5 se resumen las áreas con diferentes grados de protección de la biodiversidad identificadas en el RNAP del MMA en la cuenca del río Elqui, las cuales también se representan en la Figura 2.3-1.

En el Anexo J.2 se recopilan las fichas de las áreas con figuras de conservación procedentes del RNAP, donde se incluye, entre otros, información sobre las especies presentes y sus características (nativo, endémico o exótico, y su estado de conservación). Según la información anterior, las especies representativas de la biodiversidad identificadas en las mencionadas áreas de conservación tienen su estado de conservación en categoría "No Evaluado".

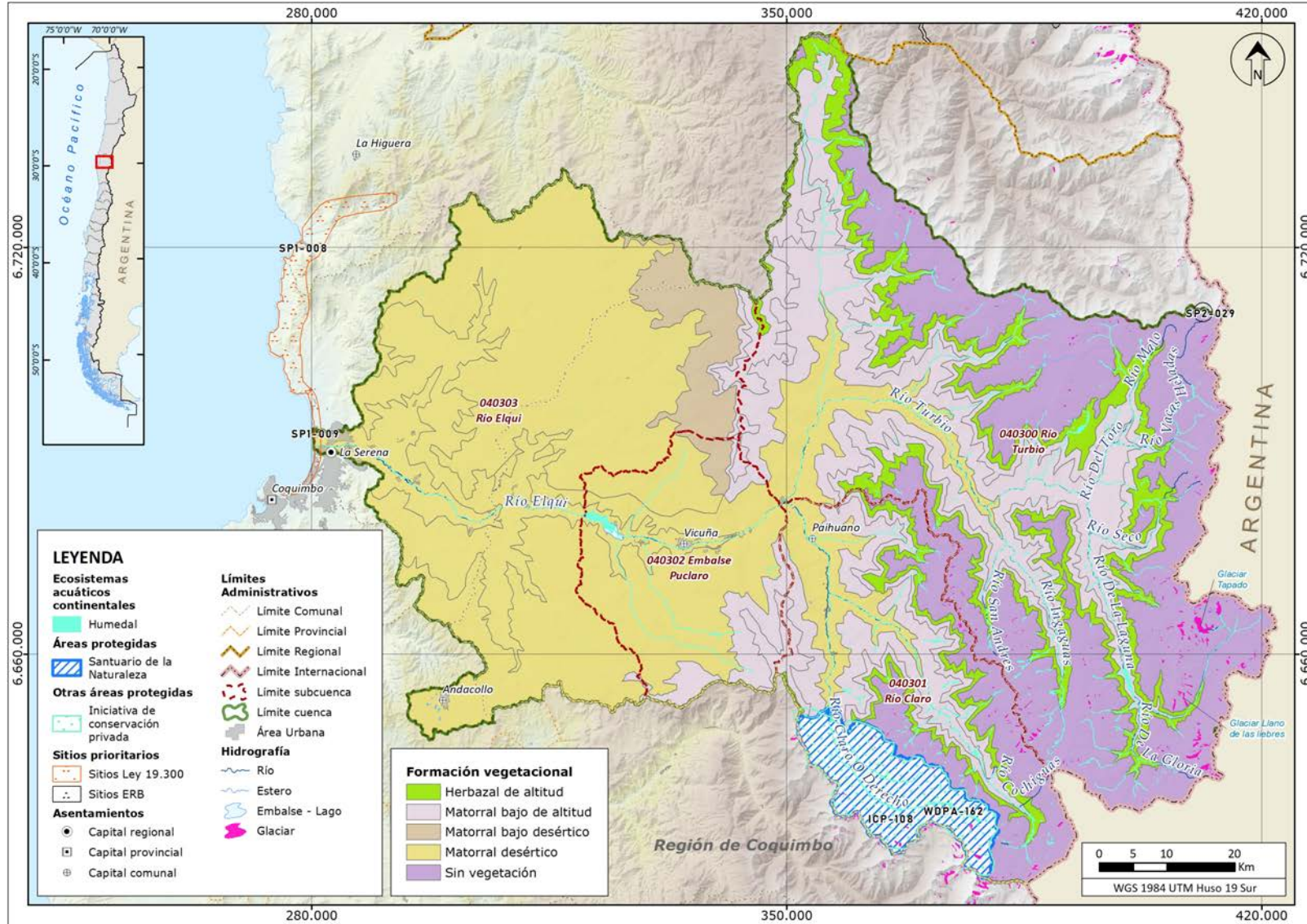
Tabla 2.3-5 Áreas de conservación

Categoría	Cód. RNAP	Nombre	Año Promulg.
Áreas Protegidas			
Parque Nacional	-	-	-
Reserva Nacional	-	-	-
Monumento Nacional	-	-	-
Santuario de la Naturaleza	WDPA-162	Estero Derecho	2015
Reserva Forestal	-	-	-
Área Marina Costera Protegida	-	-	-
Otras Áreas con Medidas de Conservación			
Sitio Ramsar	-	-	-
Reserva de la Biosfera	-	-	-
Bien Nacional Protegido (BNP)	-	-	-
Iniciativa de Conservación Privada (ICP)	ICP-108	Comunidad Agrícola Estancia Estero Derecho	-
Sitios Prioritarios			
Sitio Ley 19.300 art. 11 letra d)	SP1-009	Red de Humedales Costeros de Comuna de Coquimbo	2012
	SP1-008	Punta Teatinos – Caleta Hornos	
Sitio Estratégico Regional de Biodiversidad (ERB)	SP2-029	Vegas de Tambo	-

Fuente: Elaboración propia basada en MMA (2020a).

Cabe señalar que las áreas protegidas de la cuenca abarcan una superficie muy reducida de la cuenca; tanto los ecosistemas terrestres como acuáticos prestan servicios ecosistémicos, entre otros, de provisión de agua y de depuración de las aguas, respectivamente. La inexistencia de áreas de protección de zonas de recarga natural a lo largo del río Elqui y sus afluentes (excepto aquellas relativas a las figuras WDPA-162, y en menor medida SP1-009 y SP2-029) supone una brecha al objetivo específico relativo a la protección de funciones ecosistémicas críticas con los cuerpos de agua en el tiempo.

En relación a lo anterior, el MMA se encuentra actualmente trabajando en ejes programáticos sobre la incorporación de los servicios ecosistémicos en la elaboración de políticas públicas ambientales a nivel país (MMA, 2020c). Se sugiere que, de la misma forma, dicha institución desarrolle instrumentos o políticas para asegurar los servicios ecosistémicos de provisión de agua que llevan a cabo los ecosistemas terrestres, y de depuración de aguas que facilitan los ecosistemas acuáticos. Algunos ejemplos de estudios para la cuenca del río Elqui, que son parte de la base de datos de estudios sobre servicios ecosistémicos del MMA son "*Economic valuation of kelp forests in northern Chile: values of goods and services of the ecosystem*" (Vásquez *et al.*, 2014) y "*Valor económico de los bosques de algas pardas en las costas de la III y IV región de Chile*" (Zuñiga-Jara *et al.*, 2009).



Fuente: Elaboración propia basada en MMA (2020a).

Figura 2.3-1 Ecosistemas y áreas de conservación de la cuenca del río Elqui

2.3.2 Glaciares

Los glaciares presentes en la cuenca del río Elqui pertenecen a la zona glaciológica de Los Andes Desérticos. Se identifican un total de 346 glaciares, representando un volumen total equivalente de agua de 0,28 km³.

En el apartado 4.3 se recopila mayor detalle de la hidrología glaciar de la cuenca, así como las restricciones sobre el uso de sus recursos hídricos en la cuenca y el estado actual de la información relativa a ellos, identificando brechas sobre este tema.

2.4 INFRAESTRUCTURA

A partir de la revisión de antecedentes de la cuenca del río Elqui, se identificaron las obras relativas al recurso hídrico y que son relevantes para el propósito de este estudio. La infraestructura se ha estructurado en: obras hidráulicas (embalses y centrales hidroeléctricas, infraestructura de riego, obras de abastecimiento de agua potable y tratamiento de aguas servidas, pozos), y red de monitoreo y control de la DGA.

2.4.1 Obras hidráulicas

A continuación, se presentan las obras hidráulicas identificadas en la cuenca. El detalle del diagnóstico de las obras se presenta en el acápite 6.1.

2.4.1.1 Embalses y centrales hidroeléctricas

Se identificaron dos (2) embalses y una (1) central hidroeléctrica en la cuenca del río Elqui (Figura 2.4-1). El detalle se presenta en la Tabla 2.4-1 y la Tabla 2.4-2. En el acápite 6.1.1.1 se presenta el detalle y análisis de estos embalses.

Tabla 2.4-1 Registro de embalses en la cuenca del río Elqui

Cuenca	Subcuenca	Comuna	Nombre Embalse	Uso	Capacidad (hm ³)
Río Elqui	Río Turbio	Vicuña	La Laguna	Riego	40
	Embalse Puclaro		Puclaro		200

Fuente: Elaboración propia basada en Mapoteca DGA (2019b).

Tabla 2.4-2 Registro de centrales hidroeléctricas en la cuenca del río Elqui

Cuenca	Subcuenca	Comuna	Nombre	Propietario	Potencia (MW)
Río Elqui	Embalse Puclaro	Vicuña	Puclaro	Hidroeléctrica Puclaro	5,6

Fuente: Elaboración propia basada en Mapoteca DGA (2019b).

2.4.1.2 Infraestructura de riego

Se identificaron 184 bocatomas y 826 kilómetros lineales de extensión en canales (Figura 2.4-1), siendo su distribución por subcuenca y comuna, detallada en la Tabla 2.4-3 y la Tabla 2.4-4.

Tabla 2.4-3 Registro de bocatomas en la cuenca del río Elqui

Subcuenca	Comuna	Número de captaciones superficiales
Embalse Puclaro	Vicuña	26
Río Claro	Paihuano	110
	Vicuña	2
Río Elqui	La Serena	22
	Vicuña	10
Río Turbio	Vicuña	14
Total		184

Fuente: Elaboración propia basada en CNR (2020).

Tabla 2.4-4 Registro de canales en la cuenca del río Elqui

Subcuenca	Comuna	Extensión Total (m)
Costeras entre Quebrada Chacay y Río Elqui (*)	La Serena	13.753
Costeras entre Río Elqui y Quebrada Tongoy (*)	La Serena	23.512
Embalse Puclaro	Vicuña	168.493
Quebrada Chacay (*)	La Serena	2.175
Río Claro	Paihuano	193.352
	Vicuña	3.019
Río Elqui	La Serena	294.354
	Vicuña	88.569
Río Turbio	Vicuña	39.386
Total		826.613

(*) Canales que captan las aguas desde la cuenca del río Elqui.

Fuente: Elaboración propia basada en CNR (2020).

Para el caso de obras de acumulación de agua para riego, dada la escasa o desactualizada información relacionada, no es posible determinar la cantidad y estado real de estas obras. Por otro lado, se ha realizado una revisión al diagnóstico del estado actual de los tranques CORA presentes en la cuenca (CNR, 2016b). De acuerdo a este estudio, se identificó inicialmente un total de 73 tranques CORA. El detalle del diagnóstico se presenta en el acápite 6.1.2.1.

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

Se identificaron dos (2) concesionarias de agua potable con un área de abastecimiento de 51,7 km² aproximadamente y 5 PTAS, así como 28 sistemas de APR (Figura 2.4-1). El detalle se presenta en la Tabla 2.4-5, la Tabla 2.4-6 y la Tabla 2.4-7.

Tabla 2.4-5 Territorio operacional de concesionarias de agua potable urbana en la cuenca del río Elqui

Empresa	Territorio Operado	Área (km ²)
Aguas Del Valle S.A.	Andacollo	3,3
	La Serena	38,5
	Paihuano	1,3
	Peralillo De Vicuña	1
	Vicuña	2,7
Alser	Aguas La Serena	4,9

Fuente: Elaboración propia basada en Mapoteca DGA (2019b).

Tabla 2.4-6 Registro de PTAS en la cuenca del río Elqui

Cuenca	Sistema	Sanitaria	Receptor
Río Elqui	Andacollo	Aguas Del Valle S.A.	Estero sin dilución
	La Serena - Coquimbo		Mar
	Paihuano		Riego
	Peralillo De Vicuña		Río con dilución
	Vicuña		

Fuente: Elaboración propia basada en Mapoteca DGA (2019b).

Tabla 2.4-7 Sistemas APR en la cuenca del río Elqui

Cuenca	Comuna	Numero de Sistemas APR
Río Elqui	La Serena	9
	Paihuano	3
	Vicuña	16
	Total	28

Fuente: Elaboración propia basada en DGA-DOH (2019).

2.4.1.4 Pozos

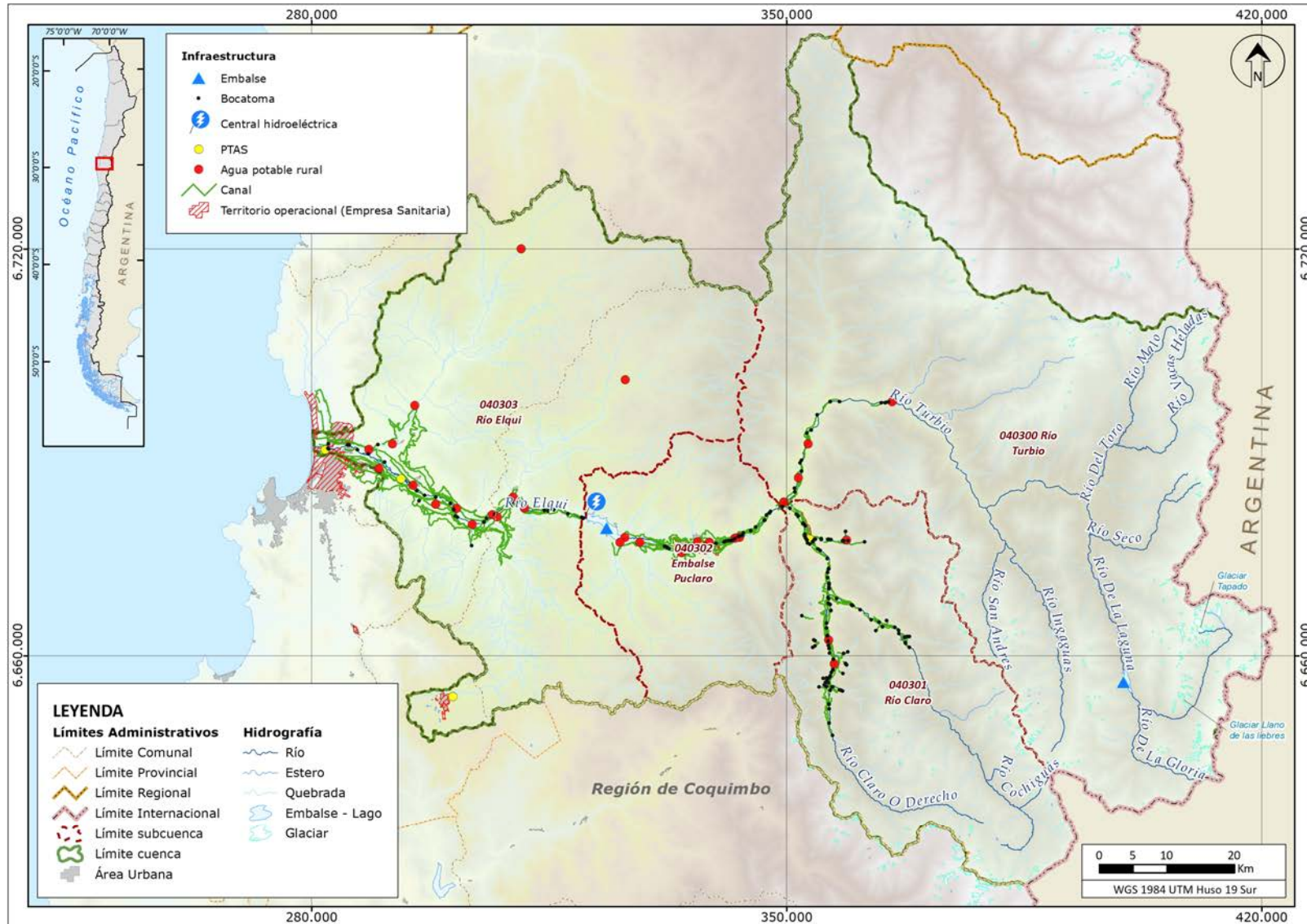
Se identificaron 535 pozos de extracción con DAA ubicados en los 7 SHAC que conforman el acuífero de Elqui (la identificación de SHAC y su situación se presentan en la Tabla 4.2-1 y la Figura 4.2-3, respectivamente), y 47 pozos sin información para su localización. En la Tabla 2.4-8 se presenta el detalle de la cantidad de pozos por sector.

Tabla 2.4-8 Pozos de extracción en el acuífero de Elqui

SHAC	N° Pozos
Turbio	9
Claro	15
Elqui Alto	64
Elqui Medio	196
Elqui Bajo	134
Santa Gracia	92
Serena Norte	25
Total sectores	535
Fuera de SHAC	47
Sin información de ubicación	12
Total	594

Fuente: Elaboración propia en base a información DGA (2020c)

En la Figura 2.4-1 se representa espacialmente la información recopilada en la cuenca referente a la infraestructura asociada al uso del recurso hídrico.



Fuente: Elaboración propia, basado en Mapoteca DGA (2019b).

Figura 2.4-1 Infraestructura principal asociada al recurso hídrico en la cuenca del río Elqui

2.4.2 Red hidrométrica

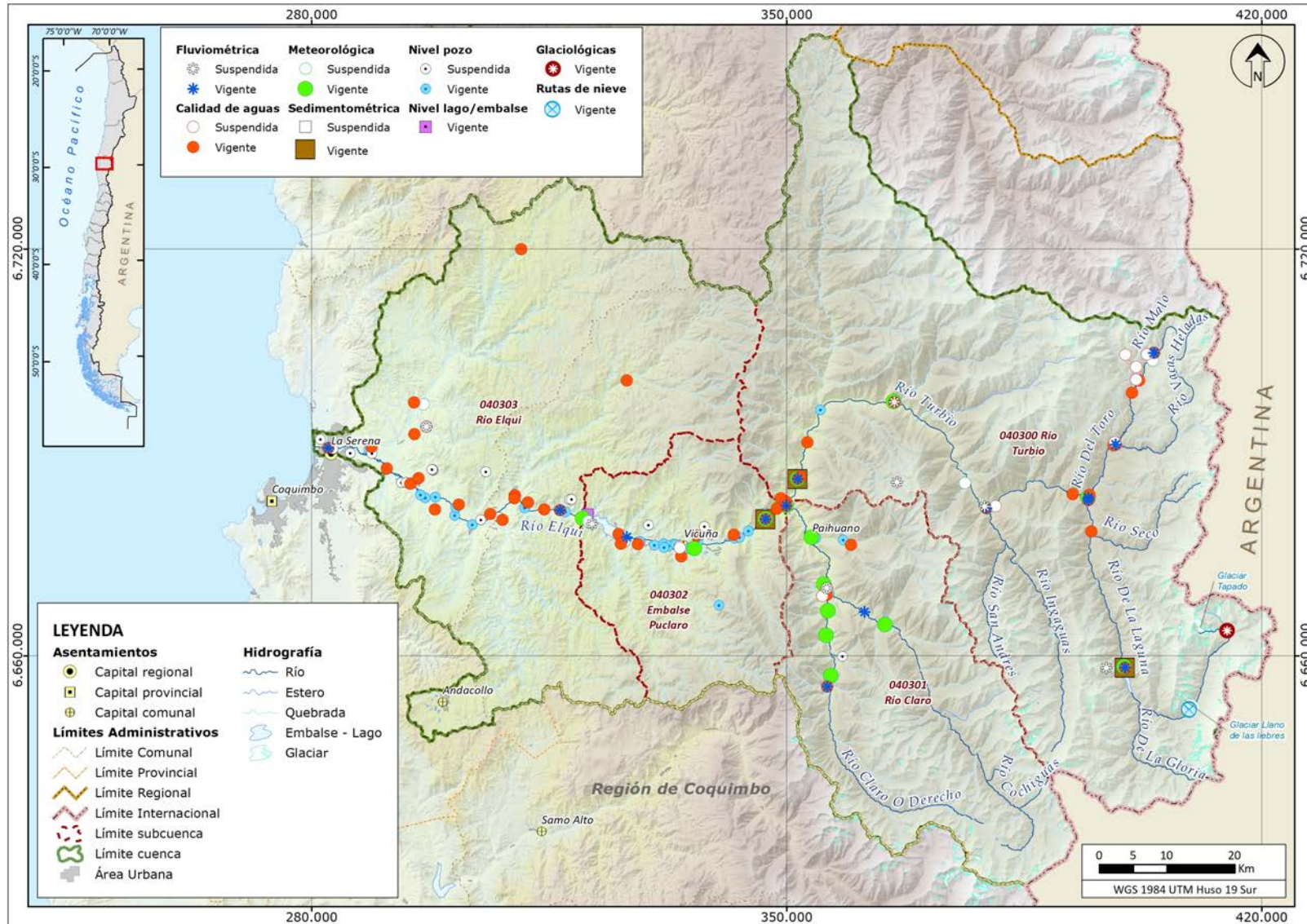
De acuerdo a la red de monitoreo y control de la DGA, en la cuenca del río Elqui se encuentran vigentes la cantidad de estaciones de monitoreo indicadas en la Tabla 2.4-9; adicionalmente se muestran las estaciones suspendidas, ya que pueden contar con información histórica relevante. En la Figura 2.4-2 se muestra la red de estaciones de control de la DGA en la cuenca.

Tabla 2.4-9 Registro de estaciones de control DGA en la cuenca del río Elqui

Cuenca	Tipo	Vigentes	Suspendidas
Río Elqui	Calidad	49	11
	Fluviométrica	16	7
	Meteorológica	16	4
	Nivel de pozo	32	24
	Sedimentométrica	3	-
	Nivel lagos y embalses	2	-
	Glaciológica	1	-
	Ruta de nieve	1	-

Fuente: Elaboración propia basada en Mapoteca DGA (2019b).

La recopilación de las estaciones vigentes se presenta en el Anexo J.11.1, y las estaciones suspendidas en Anexo J.11.2. El detalle del diagnóstico de la red se presenta en el acápite 6.1.2.



Fuente: Elaboración propia, basado en Mapoteca DGA (2019b).

Figura 2.4-2 Red hidrométrica de la DGA en la cuenca del río Elqui

2.5 NUEVAS FUENTES EXISTENTES

En la cuenca del río Elqui no se identifican actualmente obras o infraestructuras existentes en torno a nuevas fuentes de agua (recarga artificial de acuíferos, desalinización u otras).

2.6 GOBERNANZA DEL AGUA A NIVEL DE CUENCA

En este apartado se presenta el mapa de actores relevantes en materia hídrica de la cuenca, una síntesis de las problemáticas levantadas en las reuniones de participación ciudadana, y aspectos relativos a las brechas de coordinación e información existentes. También se aborda el análisis de las OUA como entidades participantes en la gobernanza del agua, así como una revisión de las instancias actuales de relación entre actores y de experiencias internacionales de gobernanza de agua.

2.6.1 Mapa de actores

A continuación, se presentan aquellos actores convocados para las actividades de participación ciudadana del presente estudio. La definición de actor relevante y la metodología seguida en la identificación de actores se encuentran en el acápite 3.5.5.1 del Anexo F. En el Anexo I.2 se presenta el listado de actores de la cuenca.

2.6.1.1 Actores en el territorio

Una vez finalizada la etapa de diagnóstico, y antes de hacer el ajuste metodológico⁴ que acotó la nómina de actores a convocar, se determinó un listado de actores en la cuenca de Elqui todos ellos vinculados al recurso hídrico. En la Figura 2.6-1 se presenta la representación gráfica de esos actores.

- Actores Públicos a nivel regional: Comprende aquellos actores que representan a instituciones o servicios públicos responsables del gobierno político o sectorial, cuyo ámbito de acción tiene alcance a nivel regional, los cuales corresponden, entre otros a GORE Coquimbo, SEREMI MOP, DGA, DOH, SEREMI Minería, SEREMI Agricultura, SEREMI Medio Ambiente, CNR, INDAP.
- Actores Públicos a nivel provincial: Son aquellas instituciones públicas cuyo radio de acción alcanzan a nivel provincial, los cuales corresponden a Gobernación Provincial de Elqui, Gobiernos Locales (Municipios), Oficinas Públicas Provinciales.
- Actores Privados: Corresponden a entidades privadas cuyo accionar o ámbito de acción los vinculan con los recursos hídricos, estos corresponden a Juntas de Vigilancia, Empresa de Servicios Sanitarios, Minería, Agrícolas (SANAG), entre otros.
- Actores Público- Privado: Corresponden a instituciones o entidades que nacen del acuerdo entre el sector público y el sector privado, bajo distintos formatos jurídicos, estos corresponden, entre otros a la Corporación Regional de Desarrollo Productivo de Coquimbo (CRDP), INIA, Academia.
- Actores de la Comunidad: Representan a aquellas entidades u organizaciones que agrupan a ciudadanos con un interés común, entre estas se encuentran, APR, Comunidades Agrícolas, Comunidades y Asociaciones Indígenas, Organizaciones Ciudadanas, Fundaciones y Movimientos Ambientales.

⁴ Ajuste metodológico señalado en acápite 3.5.5.2 del Anexo F.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.6-1 Representación gráfica de actores en el territorio

2.6.1.2 Mapa de actores convocados

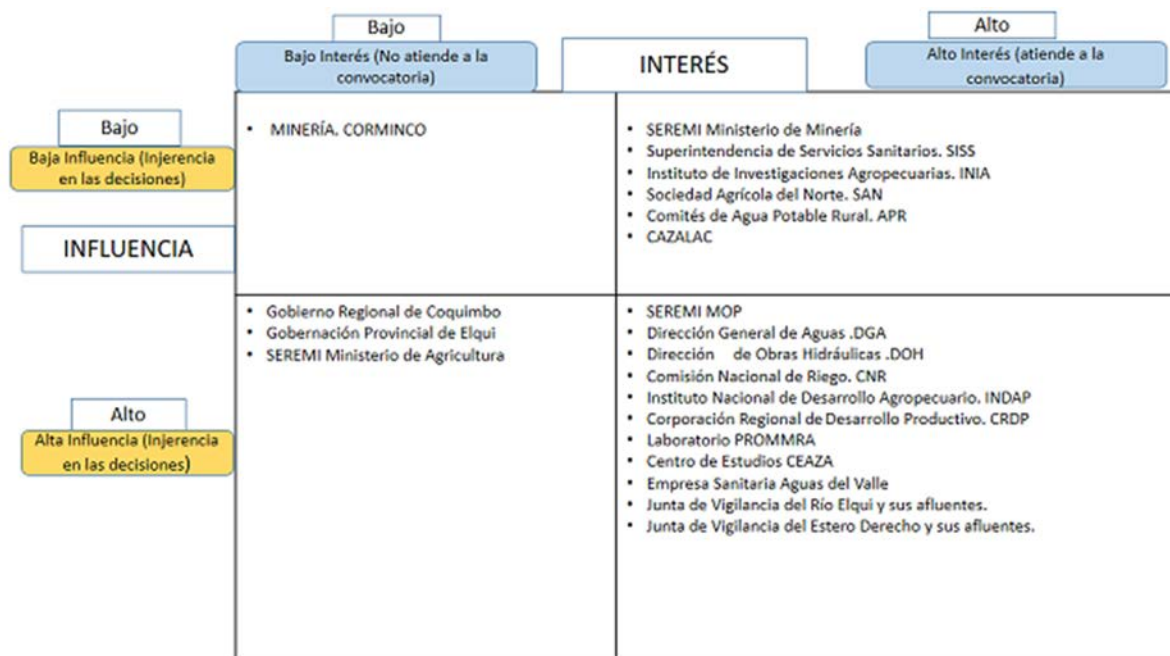
En función de la información y los criterios definidos en la metodología (Anexo F acápite 3.5), en la Tabla 2.6-1 pormenoriza la situación de cada actor (o grupo de actores) relevante efectivamente convocado a las actividades participativas programadas y realizadas; además se presenta el grado de influencia/interés de esos actores, el cual es asignado de acuerdo al diagrama de relación interés influencia que se presenta a continuación:

i. 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.

En el caso del presente estudio, basados en los datos dispuestos en las columnas de Grado de Interés y Grado de Influencia de la Tabla 2.6-1, además de la información obtenida a partir de las reuniones PAC realizadas, se estableció la Figura 2.6-2.

La metodología utilizada para determinar las relaciones de influencia /interés de los actores se encuentra en el acápite 3.5.5.4 del Anexo F.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.6-2 Diagrama relación Interés/Influencia actores relevantes en la cuenca del río Elqui

Según lo anterior, la mayoría de los actores invitados a participar en las reuniones de participación ciudadana presentan un grado de interés y grado de influencia altos, excepto el sector productivo minero, el cual tiene un grado de interés bajo, al considerar que, de los nueve (9) actores convocados, solo asistieron tres (3) a las

reuniones de participación ciudadana; además, surgieron limitaciones en la interacción e intercambio de información con los actores de este sector productivo.

Cabe señalar que debido a las modificaciones en los diseños de las reuniones PAC, surgieron una serie de limitantes que impidieron construir de manera correcta el diagrama interés/influencia presentado anteriormente (Anexo F acápite 3.5).

Dado lo mencionado anteriormente y considerando que el interés no puede simplificarse solamente a si los grupos asisten o no a las reuniones, a continuación, se presenta los parámetros de Influencia/Interés de los actores convocados al proceso participativo del Estudio Básico "Diagnóstico para realizar un Plan de Riego de la cuenca de Elqui (CNR, 2016a).

El Plan de Riego (CNR, 2016a), de los dos (2) actores públicos pertenecientes a CNR, ambos poseen una posición positiva ante el Estudio y 1 de ellos presenta un bajo nivel de relevancia (profesional regional); el segundo de ellos presenta un nivel de influencia medio (coordinador regional Ley de Riego 18.450); mientras que de los siete (7) actores Privados, seis de ellos poseen una posición positiva ante el Estudio (principalmente OUAs) y uno de ellos presenta una posición neutra (CRDP). En relación al nivel de influencia, uno de ellos posee un alto nivel (Presidente JVRE) y los seis restantes poseen un nivel de influencia medio.

Finalmente, como primera aproximación, se puede observar que los actores que se encuentran en una posición directa frente a la toma de decisiones sobre el recurso hídrico (OUAs y entidades públicas relacionadas al manejo del agua) mantienen una posición positiva frente a iniciativas que permitan mejorar la gestión hídrica. Finalmente, para la reformulación de las iniciativas PEGH, se recomienda considerar la inclusión de representantes de la comunidad en las actividades PAC, con el objetivo de desarrollar procesos de sensibilización sobre la importancia de dichas iniciativas.

Tabla 2.6-1 Actores relevantes convocados a PAC en la cuenca del río Elqui

ACTOR	DESCRIPCIÓN	PRESENCIA EN TEMAS HÍDRICOS	GRADO DE INFLUENCIA ⁵	GRADO DE INTERÉS ⁶	RELACIÓN ENTRE ACTORES
Gobierno Regional (GORE) Coquimbo – Intendente Regional	Su misión es apoyar ejercicio del gobierno Ministerio del Interior en la Región de Coquimbo.	El Gobierno Regional forma parte y preside instancias de diálogo, con actores públicos, privados, representantes de la agricultura y relacionados al recurso hídrico; coordinando acciones para enfrentar problemáticas relacionadas al sistema hídrico y sus complejidades.	Alto	Bajo	Se relaciona directamente con actores públicos del agua en la región, como, DOH, DGA, SEREMI Agricultura, CNR, y SUBDERE, además de vincularse con OUA y APR presentes en la cuenca a través de programas de iniciativas y financiamiento para infraestructura y fortalecimiento y mantiene un constante trabajo con sectores rurales. Destaca su liderazgo en la Mesa Regional para la Emergencia Hídrica.
Gobernación Provincial de Elqui.	Su misión es apoyar el ejercicio del gobierno Ministerio del Interior de la Provincia de Elqui.	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	Bajo	Se relaciona directamente con actores públicos del agua en la región, como, DOH, DGA y CNR, además de vincularse con OUA, agricultores, municipalidades y APR presentes en la cuenca. Destaca su liderazgo en la Mesa Hídrica Provincial.

⁵ Influencia: grado de influencia del actor, vinculado a recursos hídricos, en torno a la toma de decisiones en el territorio.

⁶ Interés: grado de disposición del actor, vinculado a recursos hídricos, a participar en el estudio.

ACTOR	DESCRIPCIÓN	PRESENCIA EN TEMAS HÍDRICOS	GRADO DE INFLUENCIA ⁵	GRADO DE INTERÉS ⁶	RELACIÓN ENTRE ACTORES
<p>Secretaría Regional Ministerio de Obras Públicas (SEREMI MOP). Región de Coquimbo</p>	<p>Su objetivo es coordinar, y fiscalizar los servicios regionales dependientes del MOP en la región de Coquimbo. En tanto ejecuta y coordina las políticas, planes y proyectos regionales, así como estudia con los organismos correspondientes los planes de desarrollo sectoriales, entre otras funciones, tiene incumbencia en los temas hídricos regionales.</p>	<p>En tanto ejecuta y coordina las políticas, planes y proyectos regionales, así como estudia con los organismos correspondientes los planes de desarrollo sectoriales, entre otras funciones, tiene incumbencia en temas hídricos regionales.</p>	<p>Alto</p>	<p>Bajo</p>	<p>Como ministerio regional, se relaciona con todos servicios públicos de la región, así como también con las direcciones regionales del MOP atinentes a los temas hídricos, entre estos DGA y DOH.</p>
<p>Secretaría Regional Ministerio de Agricultura (SEREMI MINAGRI). Región de Coquimbo</p>	<p>El SEREMI es el representante del MINAGRI en la región y cumple el rol de poner en marcha las políticas. Está mandatado a ejecutar y aplicar las medidas necesarias que permitan impulsar el desarrollo y bienestar de la actividad silvoagropecuaria.</p>	<p>Entre los principales lineamientos de MINAGRI está el de cuidar el agua, a la vez que apoyar al sector agropecuario en lo relacionado al recurso hídrico.</p>	<p>Alto</p>	<p>Alto</p>	<p>A través de programas y proyectos trabaja con otras entidades públicas tales como DOH, DGA, SUBDERE; además, en su rol de ejecutor de políticas centralizadas, coordina a las instituciones representantes de MINAGRI en el territorio (INDAP, CNR), los cuales se vinculan directamente con los usuarios de agua relacionados al sector agropecuario.</p>
<p>Secretaría Regional Ministerio de Minería (SEREMI MINERIA). Región de Coquimbo</p>	<p>El seremi es el representante del Ministerio de Minería en la región, cumple el rol de poner en marcha las políticas del Estado y está mandatado a ejecutar y aplicar las medidas necesarias que permitan impulsar el desarrollo y bienestar de la actividad minera.</p>	<p>El programa de trabajo del ministerio, señala entre sus objetivos como temas sensibles y de preocupación los recursos hídricos, energía y medioambiente.</p>	<p>Alto</p>	<p>Bajo</p>	<p>Se relaciona con otros servicios públicos de la región, centros de investigación y directamente con empresas vinculadas al sector minero.</p>

ACTOR	DESCRIPCIÓN	PRESENCIA EN TEMAS HÍDRICOS	GRADO DE INFLUENCIA ⁵	GRADO DE INTERÉS ⁶	RELACIÓN ENTRE ACTORES
<p>Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS). Oficina Regional de Coquimbo.</p>	<p>Su misión es garantizar a los clientes de los servicios de agua potable y saneamiento de las zonas urbanas de la región, que éstos corresponden a los ofrecidos, que su precio es justo y sostenible en el largo plazo; y asegurar a la comunidad, que el agua una vez utilizada será tratada para ser devuelta a la naturaleza de forma compatible con un desarrollo sustentable.</p>	<p>Es el organismo normativo y fiscalizador de las empresas concesionarias que prestan los servicios de agua potable y alcantarillado.</p>	<p>Bajo</p>	<p>Alto</p>	<p>Por su misión y función, se relaciona con las empresas sanitarias de la cuenca (Aguas del Valle) como ente fiscalizador. Además de vincularse con los usuarios del sistema de agua potable urbana. Además de su vínculo con entidades públicas como el MOP, DOH, DGA, GORE Coquimbo, entre otros. En particular, destaca su participación en la Mesa Regional para la Emergencia Hídrica.</p>
<p>Dirección General de Aguas (DGA), Ministerio de Obras Públicas (MOP). Región de Coquimbo</p>	<p>Pertenece al MOP, su misión es promover la gestión y administración del recurso hídrico en un marco de sustentabilidad, de interés público y asignación eficiente, a la vez debe proporcionar y difundir la información de los catastros y red hidrométrica, con el objeto de contribuir a la calidad de vida de las personas.</p>	<p>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 e indirectamente con fiscalizaciones sobre extracciones. También coordinan los programas de investigación que lleven a cabo organismos públicos y privados con fondos estatales.</p>	<p>Bajo</p>	<p>Alto</p>	<p>Los vínculos de la DGA en la cuenca se identifican con Aguas de Valle, APR y con las OUA del territorio. Además, tiene relación con la SISS, SEREMI de Minería y Agricultura, GORE Coquimbo y CNR. En particular, destaca su participación en la Mesa Regional para la Emergencia Hídrica y el "Consortio Centro Tecnológico Quita-Anko".</p>

ACTOR	DESCRIPCIÓN	PRESENCIA EN TEMAS HÍDRICOS	GRADO DE INFLUENCIA ⁵	GRADO DE INTERÉS ⁶	RELACIÓN ENTRE ACTORES
<p>Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), Ministerio de Obras Públicas (MOP). Región de Coquimbo</p>	<p>Pertenece a MOP, tiene como misión proveer servicios e infraestructura hidráulica que permita aprovechar el agua y proteger el territorio y a las personas</p>	<p>En la cuenca se centra especialmente en temas referentes a infraestructura de almacenamiento y al mejoramiento integral de obras de distribución de agua, además de generar fondos concursables para financiar dichas obras. Además se encarga de temas relacionados al financiamiento de infraestructura por el Programa DOH-APR.</p>	<p>Alto</p>	<p>Alto</p>	<p>Los vínculos de la DOH en la cuenca se identifican con Aguas del Valle, APR y con las OUA del territorio. A demás, se relaciona con la CNR para generar fondos concursables. En particular, destaca su participación en la Mesa Regional para la Emergencia Hídrica y el "Consortio Centro Tecnológico Quita-Anko".</p>
<p>Comisión Nacional de Riego (CNR), Ministerio de Agricultura (MINAGRI). Región de Coquimbo</p>	<p>Servicio dependiente del MINAGRI, su principal objetivo es asegurar el incremento y mejoramiento de la superficie regada del país. Administra la ley de Fomento a la Inversión Privada en Obras de Riego y Drenaje y, a través de sus concursos, entrega fondos a las OUA destinados a mejoras de infraestructura, programas de transferencia tecnológica, entre otras.</p>	<p>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 riego y/o drenaje, a través de la cual la mayoría de OUA mejoran sus infraestructuras. Además, desde su nivel central, la CNR genera diversos estudios y programas de fortalecimiento de OUA, entre otros.</p>	<p>Alto</p>	<p>Alto</p>	<p>A través de programas y proyectos trabaja con otras entidades públicas tales como DOH, DGA y GORE Coquimbo; además, en su rol de ejecutor de iniciativas centralizadas, se vinculan directamente con los OUA presentes en la cuenca. En particular, destaca su participación en la Mesa Regional para la Emergencia Hídrica.</p>
<p>Instituto Nacional de Desarrollo Agropecuario (INDAP), Ministerio de Agricultura (MINAGRI). Región de Coquimbo</p>	<p>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.</p>	<p>Una de sus misiones es lograr que pequeños agricultores accedan a financiamiento, tecnología y recursos hídricos necesarios para mejorar la productividad y la competitividad de cada Territorio. Tiene programas de riego asociativo (PRA), intrapredial (PRI), obras menores de riego (PROM), bono legal de aguas (BLA), entre otros; pero su relación mayoritariamente es de carácter directo con los regantes de forma</p>	<p>Alto</p>	<p>Alto</p>	<p>Se relaciona directamente con agricultores y organismos públicos como GORE Coquimbo, SEREMI Agricultura, DOH, entre otros; sobre programas de iniciativas y financiamiento para infraestructuras hidráulicas y capacitaciones.</p>

ACTOR	DESCRIPCIÓN	PRESENCIA EN TEMAS HÍDRICOS	GRADO DE INFLUENCIA ⁵	GRADO DE INTERÉS ⁶	RELACIÓN ENTRE ACTORES
		<p>individual. En el territorio se encuentran en desarrollo del “Plan de Desarrollo Territorial y Estrategia Regional de Riego de la región de Coquimbo”, el cual, considera un horizonte de 4 años, desde el año 2019 al año 2022.</p>			
<p>Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Ministerio de Agricultura (MINAGRI). Región de Coquimbo</p>	<p>El INIA es una corporación de derecho privado, sin fines de lucro, vinculada al Ministerio de Agricultura, su misión consiste en generar y transferir conocimientos y tecnologías estratégicas a escala global, para producir innovación y mejorar la competitividad del sector agroalimentario.</p>	<p>Uno de sus objetivos es proponer adaptaciones e innovaciones que constituyan alternativas sostenibles de uso y manejo del suelo y del agua. Esto, sobre la base de criterios científicos orientados a la generación de tecnologías y a la implementación de políticas públicas, tendientes al desarrollo sostenible, ecológico y productivo de la agricultura nacional.</p>	<p>Alto</p>	<p>Alto</p>	<p>Se relaciona con agricultores, regantes, crianceros y organismos públicos relacionados con las temáticas agropecuarias, suelo y agua entre otros.</p>
<p>Sociedad Agrícola del Norte (SAN).</p>	<p>Asociación gremial que agrupa actores vinculados a la agricultura y a la agroindustria. Su objetivo es velar por los intereses del área agrícola, representando al gremio en la defensa de sus intereses, en la promoción de políticas públicas tendientes a fomentar la competitividad y el emprendimiento en el agro.</p>	<p>Fomenta la gestión del rubro agrícola con visión de futuro y brinda apoyo a iniciativas que motiven la innovación, la competitividad y la responsabilidad social.</p>	<p>Baja</p>	<p>Alto</p>	<p>Se relaciona con agricultores y sus gremios nacionales, sus asociados quienes representan forman parte de las OUA de la región.</p>

ACTOR	DESCRIPCIÓN	PRESENCIA EN TEMAS HÍDRICOS	GRADO DE INFLUENCIA ⁵	GRADO DE INTERÉS ⁶	RELACIÓN ENTRE ACTORES
Corporación Regional de Desarrollo Productivo de Coquimbo (CRDP)	Es una corporación con participación del Gobierno Regional, cuya orientación consiste en contribuir al desarrollo productivo y sustentable, a través de acciones que promuevan la asociatividad entre el sector público, privado, académico y científico de la región	Promueve la generación y desarrollo de proyectos de investigación, innovación y transferencia tecnológica en la región. Su acción trabajo en torno al potenciamiento de seis Ejes Estratégicos: Calidad de Vida y Sustentabilidad, Capital Humano, Energía, Recurso Hídrico, Producción Alimentaria e Internacionalización de la región de Coquimbo.	Bajo	Alto	Al ser una corporación regional se relacionan con el Gobierno Regional y con todos los actores de la región, tanto del ámbito privado y público, Universidades, Centros de Investigación, organizaciones campesinas y OUA , entre otros.
Laboratorio de Prospección, Monitoreo y Modelación de Recursos Agrícolas y Ambientales (PROMMRA)	Es una unidad dependiente del Departamento de Agronomía de la Facultad de Ciencias de la Universidad de La Serena, y su objetivo es contribuir a reducir las brechas tecnológicas en el sector agroalimentario, mediante la detección de necesidades y la generación de conocimiento de la base de recursos agrícolas y naturales, identificando el impacto en los sistemas productivos y sobre el desarrollo.	Entre sus líneas de investigación destaca y proyectos destacan: Investigación y desarrollo en recursos hídricos en zonas áridas y semi áridas, monitoreo de uso de suelo agrícola, aforo de caudal y desarrollo de curvas de descarga de caudal, proyección de disponibilidad de recursos hídricos en la región de Coquimbo, modelos operacionales para OUA.	Alto	Alto	Se relacionan con todas las OUA, en las tres cuencas de la región, Gobierno Regional, con los Servicios Públicos relacionados a los temas hídricos y agrarios de la región. Poseen proyectos conjuntos con universidades y centros de investigación Nacionales e Internacionales.
Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA)	Es un Centro de Investigación Científica y Tecnológica, de la Región de Coquimbo, promueve la generación de conocimiento científico para la construcción de políticas públicas focalizadas en el desarrollo del país.	A través de un equipo interdisciplinario CEAZA realiza investigación en diversas áreas de la ciencia, ligadas a zonas áridas, ciencias biológicas y ciencias de la tierra. Poseen investigaciones en diversas líneas, entre estas: gestión del agua para uso agrícola, cambio climático e importancia del recurso hídrico.	Alto	Alto	Se relacionan con OUA, en las tres cuencas de la región y con los Servicios Públicos relacionados a los temas hídricos, agrarios, mineros y otros de la región. Poseen proyectos conjuntos con universidades Nacionales e Internacionales.

ACTOR	DESCRIPCIÓN	PRESENCIA EN TEMAS HÍDRICOS	GRADO DE INFLUENCIA ⁵	GRADO DE INTERÉS ⁶	RELACIÓN ENTRE ACTORES
Centro Regional del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y el Caribe (CAZALAC)	CAZALAC forma parte los centros sobre recursos hídricos auspiciados por la UNESCO. Se enfoca en fortalecer el desarrollo técnico, social y educacional de un aprovechamiento y una gestión mejorada de los recursos hídricos, además de aumentar el rol de las comunidades en el desarrollo de una cultura del agua en las zonas áridas y semiáridas de América Latina y el Caribe.	Promueve y difunde la investigación y gestión del recurso hídrico. Posee un programa de gestión sustentable de los recursos hídricos en áreas piloto, en las zonas áridas y semiáridas de América Latina y El Caribe. En la región han desarrollado un proyecto de Investigación de soluciones innovadoras para el abastecimiento de agua, cuya finalidad es orientar a los sistemas de agua potable rural (APR), de la Región de Coquimbo.	Alto	Alto	Se relacionan con OUA y APR en las tres cuencas de la región y con el Gobierno Regional, con los Servicios Públicos relacionados a los temas hídricos, agrarios, mineros y otros de la región. A nivel internacional se relacionan con una serie de organismos y centros de investigación públicos y privados, poseen proyectos de investigación con universidades Nacionales e Internacionales.
Comités de Agua Potable Rural (APR)	Los APR son sistemas de agua potable mantenidos y operados por la propia comunidad, organizada en Comités o Cooperativas.	Organizaciones encargadas de abastecer de agua potable a las localidades rurales contribuyendo al desarrollo económico y a la integración social del país	Bajo	Alto	Se relaciona con organismos públicos como DOH, DGA, MOP, OUA de toda la región.
Empresa Sanitaria, Aguas del Valle	Empresa dedicada a los servicios sanitarios, la cual produce y distribuye agua potable, y recolecta, trata y dispone aguas servidas. Su giro abarca además prestaciones relacionadas con las actividades mencionadas, en la forma y condiciones establecidas en la ley y otras normas aplicables.	Entregan servicios de producción y distribución de agua potable, y recolección, descontaminación y disposición de aguas servidas a todas las comunas de la Región de Coquimbo, con excepción de La Higuera y Río Hurtado.	Alto	Alto	Se relaciona con organismos públicos como Superintendencia de Servicios Sanitarios, organismos MOP como DOH, DGA, SISS; también se relaciona con OUA regionales como APR y Juntas de Vigilancia, además de otras organizaciones privadas estratégicas.

ACTOR	DESCRIPCIÓN	PRESENCIA EN TEMAS HÍDRICOS	GRADO DE INFLUENCIA ⁵	GRADO DE INTERÉS ⁶	RELACIÓN ENTRE ACTORES
Junta de Vigilancia del Río Elqui y sus afluentes.	Organización de Usuarios de Aguas; agrupa a todos los usuarios de derechos de aprovechamiento de aguas, por intermedio de las directivas de las comunidades de aguas o asociaciones de canalistas que alimenta el Río.	Esta organización administra y distribuye sus recursos hídricos de acuerdo a los derechos de aprovechamiento de sus usuarios y al rol definido de acuerdo al Código de Aguas. Representa a los usuarios de DAA ante el Estado y los sectores privados.	Alto	Alto	Se relaciona con DGA, CNR, MOP, DOH, GORE Coquimbo y otros servicios públicos ligados a temas hídricos y agrarios, mantiene vínculos con centros de investigaciones regionales. Se relaciona con otras OUA presentes en el territorio.
Junta de Vigilancia del Estero Derecho.	Organización de Usuarios de Aguas; agrupa a todos los usuarios de derechos de aprovechamiento de aguas por intermedio de las directivas de las comunidades de aguas o asociaciones de canalistas que alimenta el río, esta Organización está conformada por los integrantes de la Comunidad Agrícola Estero Derecho y se ubica en un sector declarado Santuario de la Naturaleza en 2015 por el Ministerio del Medio ambiente.	Esta organización administra y distribuye sus recursos hídricos de acuerdo a los derechos de aprovechamiento de sus usuarios y al rol definido de acuerdo al Código de Aguas. Representa a los usuarios de DAA ante el Estado y los sectores privados.	Alto	Alto	Se relaciona con DGA, CNR, MOP, DOH, GORE Coquimbo y otros servicios públicos ligados a temas hídricos y agrarios, mantiene vínculos con centros de investigaciones regionales. Se relaciona con otras OUA presentes en el territorio.
Consejo Regional Minero de Coquimbo (CORMINCO)	Asociación Gremial sin fines de lucro, que agrupa a las principales mineras de la Región de Coquimbo.	Su objetivo se orienta a la promoción del desarrollo e investigación en la minería, siendo un referente en materias de respeto al medio ambiente y a las comunidades humanas circundantes, en la región de Coquimbo.	Bajo	Bajo	Las empresas asociadas poseen acciones de agua en las 3 cuencas de la región.

Fuente: Elaboración propia.

2.6.2 Síntesis de reuniones PAC

En el presente acápite se presenta un resumen con los principales problemas identificados por los diferentes actores que asistieron a las actividades (reuniones) de participación ciudadana (Anexo I.3 para mayor detalle) y su ordenamiento para abordar el Plan de Acción de la cuenca. En el Anexo I.4 se incluye una síntesis de las reuniones PAC, en la cual se presenta un resumen de las ideas expresadas por los diferentes actores durante las reuniones y su correlación a las problemáticas señaladas a continuación.

Seguidamente, se muestra una tabla resumen con las problemáticas generales actuales en relación a los objetivos establecidos para el Plan. Para cada caso, se identifica el actor que manifestó alguna idea u opinión que refleja la existencia de dichos problemas en la cuenca (Tabla 2.6-2 a la Tabla 2.6-8).

Tabla 2.6-2 Problemas en torno al objetivo 1.1 del Plan de Acción

Objetivo 1.1. Reducir las brechas entre oferta y demanda de agua considerando cambio climático, sequía e inundaciones.		
N° Problema	Problemas	Actores
1	Descenso de caudales por incremento en la frecuencia de eventos críticos (sequía).	- DGA Coquimbo - DOH Coquimbo - CNR Zonal Coquimbo - INDAP Coquimbo - Público-Privado - Aguas del Valle - JVs en la cuenca río Elqui
2	Disminución de nivel de agua en acuíferos por su uso intensivo y creciente.	- DGA Coquimbo - DOH Coquimbo - INDAP Coquimbo - Público-Privado - JV río Elqui - Aguas del Valle
3	Aumento de demanda debido a recambio en uso de agua (recambio agricultura-industria-minería y/o aumento de superficie plantada).	- DGA Coquimbo - INDAP Coquimbo - JV río Elqui - JV estero Derecho - Academia - Público-Privado - Minería

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.6-3 Problemas en torno al objetivo 1.2 del Plan de Acción

Objetivo 1.2. Restaurar condiciones de abastecimiento y calidad de las fuentes de agua potable urbana, tanto para fuentes superficiales como subterráneas.		
N° Problema	Problemas	Actores
4	Disminución de la disponibilidad de aguas superficial y/o subterránea para el abastecimiento de agua potable.	- Aguas del Valle - Público-Privado
5	Insuficientes o inexistentes fuentes alternativas de agua a escala relevante.	- SISS Coquimbo - Aguas del Valle - Academia
6	Aumento en la concentración de minerales en el agua dada la profundización de pozos para el abastecimiento de agua potable.	- Aguas del Valle
7	Inexistencia de gestión de aguas tratadas, actual uso costumbrista.	- DGA Coquimbo

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.6-4 Problemas en torno al objetivo 1.3 del Plan de Acción

Objetivo 1.3. Restaurar condiciones de abastecimiento y calidad de las fuentes de agua potable rural, tanto para fuentes superficiales como subterráneas.		
N° Problema	Problemas	Actores
8	Disminución de la disponibilidad de aguas superficial y/o subterránea para el abastecimiento de agua potable rural.	- Agua Potable Rural - Público-Privado
9	Insuficientes o inexistentes fuentes alternativas de agua a escala relevante.	- DOH Coquimbo -CNR zonal -Academia
10	Disparidades capacidades técnicas y/o financieras de los Comités APR.	- DOH Coquimbo - CNR zonal - Aguas del Valle - Agua Potable Rural

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.6-5 Problemas en torno al objetivo 1.4 del Plan de Acción

Objetivo 1.4. Conservar y/o mejorar el estado de la infraestructura hidráulica actual.		
N° Problema	Problemas	Actores
11	Disminución en la capacidad de almacenamiento de obras de acumulación.	- CNR zonal - JV río Elqui - JV Estero Derecho
12	Captación y distribución de agua sin infraestructura adecuada.	- JV río Elqui - DOH Coquimbo -Academia

Fuente: Elaboración propia.

De las problemáticas expresadas respecto a las brechas entre oferta y demanda (Tabla 2.6-2 a la Tabla 2.6-5) se puede observar que las mayores dificultades se relacionan a la disminución en la disponibilidad del recurso hídrico superficial y subterráneo, ya sea atribuido a un incremento en eventos críticos (como la sequía) o a un aumento de la demanda para usos agrícolas y/o sanitarios.

Tabla 2.6-6 Problemas en torno al objetivo 2.1 del Plan de Acción

Objetivo 2.1. Mejorar el monitoreo de las aguas de la cuenca (superficial, subterráneo, de montaña y glaciares).		
N° Problema	Problemas	Actores
13	Insuficiente cobertura de monitoreo fluviométrico, de pozos y/o meteorológico.	- DGA Coquimbo - DOH Coquimbo - INDAP Coquimbo - JV río Elqui
14	Deficiente o insuficiente cobertura de monitoreo de calidad.	- DGA Coquimbo - JV río Elqui
15	Deficiente o insuficiente fiscalización de extracciones ilegales de agua.	- Academia

Fuente: Elaboración propia.

La principal problemática manifestada por los actores convocados a las reuniones PAC respecto al monitoreo de recursos hídricos (Tabla 2.6-6), se relaciona a la insuficiente cobertura de la red hidrométrica, en particular a la necesidad de contar con medición de parámetros “en línea”. Con respecto a la deficiente o insuficiente fiscalización de extracciones ilegales de agua, durante las reuniones PAC se identifica la necesidad de mejorar los sistemas de monitoreo como base para mejorar la fiscalización. En el acápite 6.2.1.1 se presenta el diagnóstico del rol de DGA en los procesos de fiscalización y su efecto en la gobernanza.

Tabla 2.6-7 Problemas en torno al objetivo 3.1 del Plan de Acción

Objetivo 3.1. Promover y revitalizar la alianza público - privada en materia hídrica.		
N° Problema	Problemas	Actores
16	Deficiente coordinación entre usuarios en la gestión de aguas en la cuenca.	- DGA Coquimbo - DOH Coquimbo - INDAP Coquimbo - CNR zonal - JV río Elqui - Agua Potable Rural - SISS Coquimbo - Aguas del Valle
17	Disparidades capacidades técnicas y/o financieras de las Organizaciones de Usuarios de Agua.	- DOH Coquimbo - INDAP Coquimbo - CNR zonal - SISS Coquimbo - Aguas del Valle - Agua Potable Rural - JV río Elqui - Academia - Público-Privado

Fuente: Elaboración propia.

Con respecto al objetivo de promover y revitalizar la alianza público-privada (Tabla 2.6-7), se puede observar que el principal problema identificado que es necesario superar para cumplir dicho objetivo es mejorar la coordinación entre usuarios en la gestión de aguas en la cuenca. De acuerdo a lo señalado por los diferentes actores asistentes, esta descoordinación se debe a la inexistencia de entidad a nivel cuenca que se encargue de vincular tanto a instituciones públicas como privadas y miembros de la sociedad civil. Esto genera diferencias al momento de establecer alianzas, por ejemplo, los

representantes APR expresan la falta de comunicación entre las organizaciones y algunas instituciones tales como la DOH, señalando la falta de voluntad de esta para trabajar en conjunto; mientras que DOH Coquimbo señala que, como servicio, han planteado la necesidad de poder priorizar ciertos proyectos (regionalmente), ya que muchas decisiones son tomadas desde nivel central. Además, expresan la necesidad de una mayor vinculación entre los diferentes actores, de manera que sea posible establecer estrategias conjuntas, como políticas de gestión de cultivos y articular las distintas visiones de manera integral para poder establecer un plan de trabajo conjunto. Con respecto a las deficientes capacidades técnicas, los actores solo identificaron la problemática asociada, no obstante, en el acápite 6.2.5 se amplía su diagnóstico, de acuerdo a fuentes secundarias.

Tabla 2.6-8 Problemas en torno al objetivo 4.2 del Plan de Acción

Objetivo 4.2. Proteger funciones ecosistémicas críticas relacionadas con los cuerpos de agua en el tiempo.		
N° Problema	Problemas	Actores
18	Deterioro en la calidad de agua superficial y/o subterránea.	- DOH Coquimbo - JV río Elqui - Aguas del Valle - Minería

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, de la Tabla 2.6-8, se observa que los actores convocados expresan preocupación frente al deterioro en la calidad de agua superficial y/o subterránea, principalmente relacionado al efecto de contaminación difusa por agricultura y por concentración de minerales por profundización de pozos.

2.6.3 Brechas de Coordinación

En este apartado se presenta, en primer lugar, un breve análisis de las OUA, profundizando en el estado legal, estructura organizacional, administrativa, gobernanza y financiera de las Juntas de Vigilancia de la cuenca. Seguidamente, se describe el estado actual de regulación de la cuenca, enfocado en la exposición de las relaciones entre actores relevantes y las instancias existentes de coordinación en materia hídrica. Se incluye también una comparativa cualitativa del funcionamiento de las instancias de coordinación y/o gestión hídrica a nivel internacional, abordando los casos de España, California y Australia.

Finalmente, se sintetizan las principales brechas de coordinación identificadas en la cuenca del río Elqui en relación a su gobernanza.

2.6.3.1 Análisis de las Organizaciones de Usuarios de Agua (OUA)

En la Tabla 2.6-9, la Tabla 2.6-10 y la Tabla 2.6-11 se presenta un resumen de las diferentes OUA identificadas en la cuenca estudiada, siendo éstas Juntas de Vigilancia, Asociaciones de Canalistas y Comunidades de Aguas, superficiales y subterráneas.

Tabla 2.6-9 Juntas de Vigilancia en la cuenca del río Elqui

Junta de Vigilancia	Situación actual	Fecha vigencia	N° Usuarios totales ⁷	N° Acciones totales	Caudal total (l/s)
JV del Río Elqui y sus Afluentes	Aprobada	25-06-1996	138	25.290	25.290
JV del Estero Derecho	Aprobada	10-01-1977	21	3.041	3.041

Fuente: Elaboración propia basada RPOU (2020).

Tabla 2.6-10 Asociaciones de Canalistas⁸ en la cuenca del río Elqui

Subcuenca	Asociaciones de Canalistas		
	N° de AC	N° de Usuarios	N° de Acciones
Embalse Puclaro	0	0	0
Río Elqui	1	68	3.677
Río Turbio	0	0	0
Río Claro	0	0	0

Fuente: Elaboración propia basada RPOU (2020).

Tabla 2.6-11 Comunidades de Agua Superficiales⁹ en la cuenca del río Elqui

Subcuenca	Comunidades de Agua		
	N° de CA	N° de Usuarios	N° de Acciones
Embalse Puclaro	19	1.029	2.894
Río Elqui	17	602	3.293
Río Turbio	24	331	2.247
Río Claro	61	1.077	5.101

Fuente: Elaboración propia basada RPOU (2020) y en DGA (2018a).

En la cuenca del río Elqui se han identificado a dos (2) Juntas de Vigilancia, una (1) Asociaciones de Canalistas y 121 Comunidades de Aguas superficiales. De acuerdo a RPOU (2020), en la cuenca no existen Comunidades de Aguas Subterráneas conformadas.

El listado completo de las OUA presentes en la cuenca, además de otras características, como caudales y derechos de agua, se encuentran en el Anexo J.3. En el Anexo J.4 se presenta información detallada de estas OUA, en los siguientes aspectos: estado legal, jurisdicción y usuarios, estructura organizacional, administrativa, financiera e instancias de gobernanza, cuando exista. Concretamente, se recopilan antecedentes de las Juntas de Vigilancia en Anexo J.4.1, de las Asociaciones de Canalistas en Anexo J.4.2 y de las Comunidades de Aguas (superficiales) en Anexo J.4.3. A continuación, se entrega una breve caracterización de las mismas.

⁷ De acuerdo al registro de comuneros en RPOU (2020).

⁸ Comunidades de Agua y Asociaciones de Canalistas en situación actual "Aprobado", según Registro Público de Organizaciones de Usuarios (RPOU).

⁹ Comunidades de Agua y Asociaciones de Canalistas en situación actual "Aprobado", según Registro Público de Organizaciones de Usuarios (RPOU).

i. Juntas de Vigilancia, Asociaciones de Canalistas y Comunidades de Agua superficiales

a) Junta de Vigilancia del Río Elqui y sus Afluentes (JVRE)

De acuerdo a lo señalado en el RPOU (2020), dentro de la jurisdicción de la JVRE, se registran 138 usuarios entre usuarios individuales y OUAs. Esta diferencia identifica una falta de coordinación y comunicación entre la JVRE y la entidad pública a cargo del Registro de Usuarios, además, refleja la dispersión de información respecto a la actualización de catastros de usuarios de agua.

Su constitución y estatutos fueron aprobados mediante la Resolución Exenta DGA N°1606, el 25 de junio de 1996.

Organizacionalmente, la JVRE posee una directiva que se compone de un (1) Presidente y 6 directores, con un periodo de administración de 3 años. De acuerdo a la información pública revisada (<http://www.rioelqui.cl>), la junta cuenta con una planta técnica-administrativa, lo que demuestra muestra la existencia de niveles de profesionalización al interior de la OUA.

Administrativamente, la organización se muestra como un ente dinámico; cuenta con un registro de roles de usuario ordenado y actualizado; y es capaz de tomar la iniciativa para participar en instancias de fortalecimiento y generar proyectos para mejorar su organización interna y proyección productiva. También cuenta con un sistema de reparto flexible, que se define anualmente en base al escenario hídrico y las acciones de cada usuario (<http://www.rioelqui.cl/>).

LA JVRE cuenta con sistemas de monitoreo por telemetría de registro de caudales en bocatomas y telecontrol para operación de bocatomas en el 60% de las entregas a canales; también cuenta con una conexión digital al Embalse La Laguna, regulador de agua en la cabecera de la cuenca, mejorando el registro y reporte de la información proveniente de la obra (<http://www.rioelqui.cl/>). Entre otras formas de iniciativas tecnológicas, la Junta formó parte del desarrollo de un programa piloto en la Provincia de Elqui, denominado “Centro de Información del Agua (CRIA)”, con el objetivo de permitir satisfacer las necesidades de información estratégica para los diversos sectores involucrados en zonas con escasez hídrica permanente (<https://www.opia.cl/>).

En cuanto a aspectos económicos, la junta cuenta con manuales de procedimientos contables e informes financieros, los cuales incluyen presupuesto ejecutado y propuesto, además de proyecciones de ingresos, esta información se encuentra pública en la página web de la JVRE (<http://www.rioelqui.cl/>), sin embargo, esta se encuentra desactualizada.

En temas relacionados a gobernanza y la participación de la JVRE en agrupaciones de gestión colectiva, es posible señalar su contribución en instancias como la “Mesa de

Recursos Hídricos Elqui Bajo Alfalfares”, cuyo objetivo es cuidar el recurso hídrico y mantener el espacio de análisis y discusión de conflictos y el monitoreo del recurso.

b) Junta de Vigilancia Estero Derecho (JVED)

De acuerdo a lo señalado por la JVED en el proceso de Participación, la junta se conforma de 20 CA con aproximadamente 370 regantes. Sin embargo, de acuerdo al RPOU, solo 17 CA se encuentran debidamente conformadas, mientras que, según estudio “Diagnóstico Nacional de Organizaciones de Usuarios de Agua” (DGA, 2018a), se logró identificar un total de 757 usuarios de agua pertenecientes a la JVED. Esta diferencia identifica una falta de coordinación y comunicación entre la JVED y la entidad pública a cargo del Registro de Usuarios, además, refleja la dispersión de información respecto a la actualización de catastros de usuarios de agua.

De acuerdo a lo registrado en RPOU, la JVED fue aprobado por Decreto MOP N° 26, el 10 de enero de 1977, sin embargo, no se registra Resolución DGA ni inscripción en Conservador de Bienes Raíces.

Si bien esta Junta se encuentra inscrita desde el año 1977, no cuenta con una fuente de información pública oficial (página web, perfiles en redes sociales, entre otros), por lo que el acceso a la información necesaria para realizar análisis referente a administración, finanzas y reglas de operación, es escasa o nula, desactualizada y dispersa.

Organizacionalmente, la JVED posee una directiva que se compone de un (1) Presidente y 8 directores, con un periodo de administración de 3 años, sin embargo, de acuerdo al estudio “Diagnóstico para desarrollar plan de riego en cuenca de Elqui” (CNR, 2016a), se observa una falta de renovación del directorio, lo cual se relaciona al conformismo hacia la Junta por parte de los usuarios.

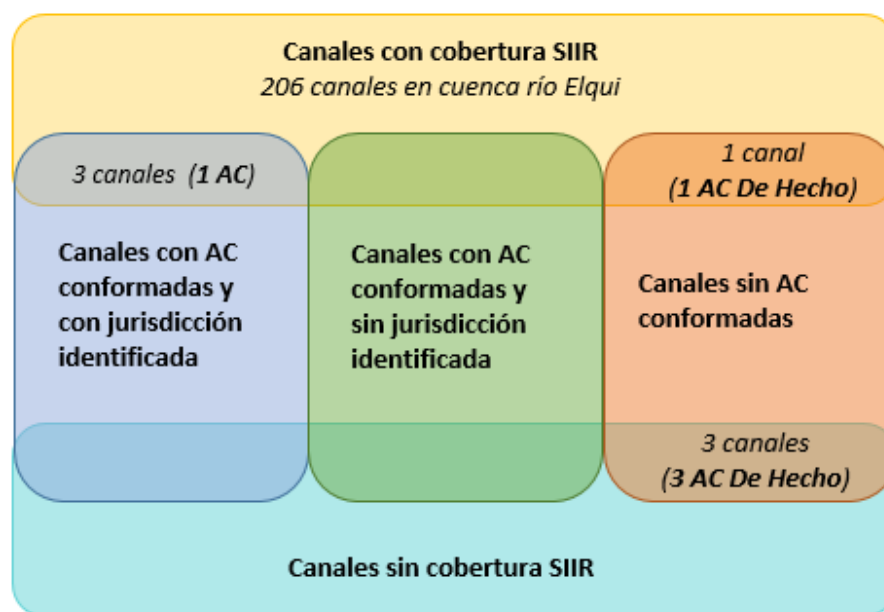
De acuerdo al estudio mencionado (CNR, 2016a), la administración se clasifica como ordenada, con un manejo y explotación adecuado del recurso hídrico; es una organización con un nivel de desarrollo estable de propuestas para proyectos de fortalecimiento.

En cuanto a aspectos económicos, la información pública disponible sobre el presupuesto de la Junta es escasa; sin embargo, es posible observar las bases de construcción presupuestales en los estatutos. Por otra parte, en el estudio realizado por CNR (2016a), se observa que, los recursos financieros de la Junta son limitados y a veces insuficiente para ejercer labores adicionales, como el apoyo a reparación de infraestructuras.

En temas relacionados a gobernanza, no se observan instancias de participación en conjunto a entes público-privadas; tampoco se observan instancias de relación con otras OUA fuera de su jurisdicción.

c) Asociaciones de Canalistas

A partir del estudio de diagnóstico de las OUA (DGA, 2018a), se lograron identificar 206 canales en la cuenca. De la totalidad de canales registrados en la cuenca, a 3 canales se les asignó una AC conformada y con jurisdicción identificada. Se debe considerar que, a partir de los listados de expedientes DGA correspondientes a inscripciones de AC aprobados y utilizados en el estudio, se logró identificar un grupo de AC que no registran canales en las coberturas SIIR (Figura 2.6-3).



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

Figura 2.6-3 Número de canales especializados (SIIR) vinculados a Asociaciones de Canalistas (AC) en la cuenca del río Elqui

La Asociación de Canalistas del canal Bellavista corresponde a la AC más importante de la Junta de Vigilancia del Río Elqui y se encuentra legalmente constituida. El canal está ubicado en la tercera sección del río Elqui. Con respecto a la estructura organizacional, la Asociación de Canalistas del Canal Bellavista se encuentra conformada, por un (1) presidente; un (1) tesorero; un (1) secretario y dos (2) directores.

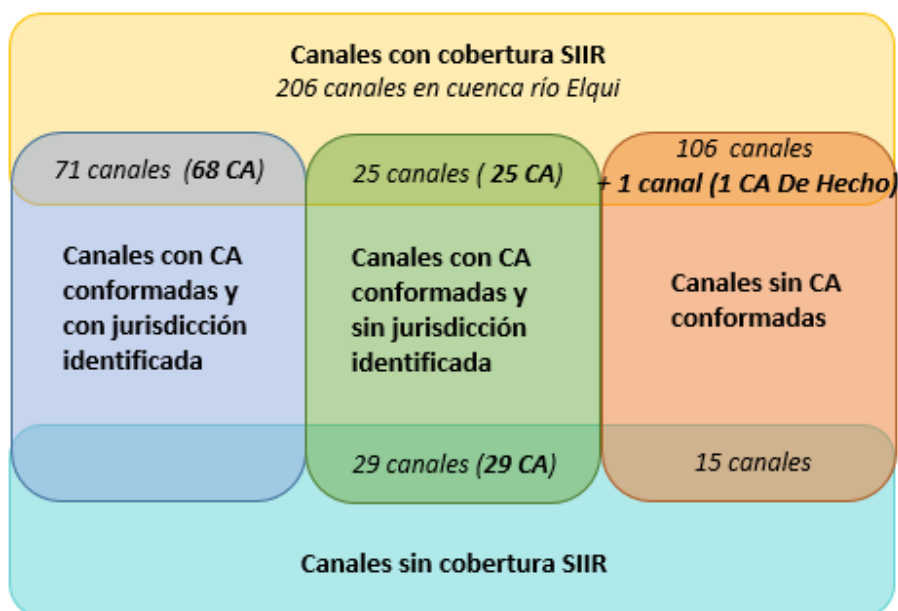
En cuanto a la estructura administrativa, gobernanza y financiera, dada la información disponible, no es posible realizar un análisis de sus capacidades actuales, sin embargo, el estudio de diagnóstico (CNR, 2016a) observa que la Asociación de Canalistas del Canal Bellavista posee problemas de operación y gestión administrativa, por lo que su capacidad de gestión es débil y poco representativa, lo que disminuye su facultad de resolución de conflictos.

Con respecto a proyectos, acciones o iniciativas relacionadas con el manejo del recurso hídrico, el estudio de diagnóstico la Dirección de Obras Hidráulicas tiene en

su cartera de proyectos la “Mejora Integral del Canal Bellavista”, el cual tiene como objetivo mejorar la infraestructura y así evitar las pérdidas por conducción.

ii. Comunidades de Aguas Superficiales

Como se mencionó en el acápite anterior, de acuerdo al estudio DGA (2018a), se lograron identificar 206 canales en la cuenca, los cuales son parte del Sistema Información Integral de Riego (SIIR) desarrollado la CNR. De la totalidad de canales registrados en la cuenca, a 71 canales se les asignó una CA con jurisdicción identificada; al resto de los canales no fue posible adjudicarle una jurisdicción, ya sea por falta de información o por no ser parte de una CA conformada. Al igual que en caso de las Asociaciones de Canalistas, se debe considerar que, a partir de los listados de expedientes DGA correspondientes a inscripciones de CA aprobados y utilizados en el estudio, se logró identificar un grupo de CA que no registran canales en las coberturas SIIR (Figura 2.6-4).



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

Figura 2.6-4 Número de canales espacializados (SIIR) asociados a Comunidades de Agua (CA) en la cuenca del río Elqui

Con respecto a la estructura organizacional, al igual que las AC, y de acuerdo al estudio de diagnóstico para el Plan de Riego (CNR, 2016a), las comunidades de agua se encuentran formadas, principalmente, por un (1) presidente o representante; un (1) tesorero; un (1) secretario y diferentes directores, quienes tienen como función hacer cumplir las disposiciones de los estatutos y la gestión física del agua; sin embargo, en algunos casos, este directorio no opera conforme a sus Estatutos ni cuenta con un mínimo de tres (3) directores conforme a lo establecido en el Art. 235 del Código de Aguas. Dentro del análisis tampoco se observa la renovación de los cargos directivos.

En cuanto a la estructura administrativa, gobernanza y financiera, dada la información disponible, no es posible realizar un análisis de sus capacidades actuales; sin embargo, el estudio de diagnóstico (CNR, 2016a) describe a la mayoría de las comunidades de agua de la cuenca como organizaciones que gestionan los recursos que tienen a cargo; no obstante, carecen de profesionalismo; reglas de operación claras; conocimiento y capacidades técnicas de gestión; además de no tener los recursos financieros necesarios para obtener acceso a instrumentación de monitoreo y programas de fortalecimiento.

iii. Comunidades de Aguas Subterráneas

Si bien se han presentado solicitudes de formación de comunidades de agua subterránea en la cuenca del río Elqui, la gran mayoría de estos procesos han sido denegados o se encuentran Pendientes. La información correspondiente a las solicitudes de conformación de Comunidades de Aguas Subterráneas, su situación legal actual, usuarios y administradores, se encuentra en el Anexo J.4.4.

2.6.3.2 Estado actual de coordinación

A continuación, se presenta una descripción de las relaciones entre actores relevantes en materia hídrica, para disponer de una visión de los vínculos entre organizaciones y/o entidades públicas y privadas para la gestión hídrica, y las instancias existentes para este fin.

i. Sociograma de redes de actores relevantes

El sociograma de redes, es una herramienta que permite visualizar los vínculos entre los actores convocados a procesos participativos, a través de este análisis es posible representar de manera gráfica y estadística el grado de relación y conexión existente entre ellos.

No obstante, como se señaló en el acápite 2.6.1.2i, debido a las modificaciones en los diseños de las reuniones PAC, surgieron una serie de limitantes que impidieron construir de manera correcta esta herramienta (Anexo F acápite 3.5), lo cual significó que no fuera posible la recopilación y levantamiento de información necesaria para la construcción del sociograma de redes, lo que para términos del presente estudio constituye una brecha en el análisis de redes de actores relevantes convocados

ii. Relación entre actores

A partir de la asistencia de actores a las reuniones de Participación Ciudadana realizadas en este estudio, fue posible identificar dos ámbitos relevantes para los que se analiza en detalle las relaciones de interés entre actores: agua potable (tanto urbana como rural) y riego. El detalle y desarrollo de estas relaciones se encuentra en el Anexo I acápite 4.3.3; mientras que la síntesis correspondiente a cada actor relevante asistente a las actividades PAC se encuentran en la Tabla 2.6-1.

iii. Instancias de relación entre actores

Las instancias de relación entre actores de la cuenca se presentan en el Anexo I acápite 4.3.4; mientras que la síntesis correspondiente a cada actor relevante asistente a las actividades PAC se encuentran en la Tabla 2.6-1.

2.6.3.3 Lecciones de experiencias internacionales

A continuación, se presenta un breve análisis de las lecciones identificadas a partir de las principales características de la gobernanza internacional en materia hídrica centrado en las tres dimensiones presentadas por OCDE (2015a), para alcanzar una gobernanza eficiente, eficaz e incluyente en Chile y en la cuenca del río Copiapó en cada dimensión. Específicamente, en el Anexo J.4.5, se detalla una descripción de la gobernanza hídrica enfocada en los casos internacionales de España, California y Australia, ya que estos lugares presentan cierto grado de similitud con Chile en características climáticas, de usuarios y/o de gestión del recurso, según el caso.

i. Dimensión “Efectividad”

De acuerdo a OCDE (2015a), esta dimensión se refiere a la contribución de la gobernanza en definir metas y objetivos sostenibles y claros de las políticas del agua en los diferentes órdenes de gobierno, en la implementación de dichos objetivos de política y en la consecución de las metas y objetivos esperados.

A continuación, se presentan las ideas más relevantes en materia de “efectividad” para el caso de la cuenca del río Elqui:

- *De acuerdo a la experiencia en España, se identifica la necesidad de mantener escalas apropiadas de gestión hídrica, en donde los esfuerzos para mejorar la gobernanza hídrica y aplicar programas de gestión, superen los límites político-administrativos existentes.* Si bien en Chile se trabaja con el concepto de cuenca natural como entorno de organización hídrica, los órganos de administración pública con competencias relacionadas al agua, usualmente son entes centralizadas con representatividad regional e incluso zonal; esto conlleva a que estudios y programas relacionados a gestión hídrica se apliquen dentro de límites políticos en lugar de límites naturales. Por ejemplo, la existencia de Mesas Hídricas Regionales en Coquimbo, si bien tienen su función acotada a esos límites administrativos, no juegan el rol de instancia a nivel de cuenca, por ejemplo, la Mesa Regional de para la Emergencia Hídrica. Es decir, si bien estas mesas abarcan temáticas concernientes a la cuenca de Elqui, también incluye a otras cuencas de la región (cuenca río Choapa, río Limarí, cuencas costeras, entre otras), por lo que la identificación de problemas y priorización de soluciones no serán estratégicas o alineadas con las necesidades propias de la cuenca, sino que se convertirán en iniciativas atomizadas dentro del territorio regional.
- *De acuerdo a la experiencia en California, es necesario priorizar el rol de las administraciones locales sobre gestión de acuíferos, y centrarse en el fortalecimiento de dichas organizaciones para mejorar su desarrollo organizacional.* Como se observa en el caso de California, es necesario promover

la conformación de Comunidades de Aguas Subterráneas (CAS) y fomentar su desarrollo organizacional, con el objetivo de que sean capaces de implementar Planes de Gestión, coordinadas con otros *stakeholders* en la cuenca. En el caso de la cuenca del río Elqui, no existen CAS conformadas.

- *De acuerdo a la experiencia australiana, las entidades públicas territoriales relacionadas a la gestión hídrica deben garantizar que la planificación a nivel local esté alineado y coordinado.* Es decir, se observa que las administraciones locales deben ser autónomas frente a la toma de decisiones respecto a la gestión hídrica, no obstante, también deben coordinarse con las estrategias hídricas a nivel nacional. En el caso chileno, se identifica la necesidad de reforzar el rol de DGA como entidad a cargo de desarrollar y hacer cumplir la política nacional del agua, a través de financiamiento que le permita mejorar la fiscalización de las OUA, tanto en el uso y regulación de DAA, así como en temas relacionados al desarrollo organizacional de las OUA.

ii. Dimensión “Eficiencia”

De acuerdo a OCDE (2015a), esta dimensión se refiere a la contribución de la gobernanza en maximizar los beneficios de la gestión sostenible del agua y el bienestar, al menor costo para la sociedad.

A continuación, se presentan las ideas más relevantes en materia de “eficiencia” para el caso de la cuenca del río Elqui:

- *Reconocer el “derecho a la información” como pilar fundamental de buenas prácticas de gobernanza y legislar al respecto.* En nuestro país, existen diversos sistemas de información del agua cuyos datos son públicos, en algunos casos en “tiempo real” y cubren parámetros claves para la gestión hídrica, como: datos meteorológicos, fluviométricos, piezométricos, zonas de riesgo de sequías e inundaciones, entre otros. Sin embargo, se identifica la necesidad de centralizar la información disponible entre los diferentes organismos públicos, con soluciones como las observadas en Australia, en donde existen plataformas centralizadas, las cuales son actualizadas con información provenientes de monitoreo telemétrico y categorizadas dependiendo del objetivo para lo que será utilizada dicha información (plataforma WaterConnect); o en el caso de California, donde existen plataformas con información proveniente de organizaciones locales a través de programas de colaboración voluntaria de monitoreo con entidades públicas centrales (plataforma CASGEM), quienes trabajan en conjunto para cumplir con los diferentes lineamientos legales establecidos respecto a la transferencia de información¹⁰, en donde se observa el rol de los privados como entidades de monitoreo y el rol de instituciones públicas como administradores y difusores de la información entregada, además, estas últimas continúan como una entidad de monitoreo en el caso de que existan cuencas donde no se generen entidades voluntarias para el levantamiento de información, no obstante, esta entidad pública central aplica restricciones sobre asistencias financieras estatales para

¹⁰ Senate Bill x7-6 (2009), sobre colaboración para el monitoreo entre agencias locales y Departamento de Recurso Hídricos de California.

dichas organizaciones cuenca para el desarrollo de proyectos (limitaciones para el acceso a créditos, bonos o licitaciones). Actualmente, en la cuenca del río Elqui, existen diversas plataformas de información desarrolladas por el Laboratorio PROMMRA de la Universidad de La Serena; sin embargo, ninguna cuenta con información “en tiempo real”. En cuanto al trabajo de monitoreo entre DGA con usuarios de DAA, el presente año han entrado en vigencia las condiciones para implementar el sistema de monitoreo y transmisión de extracciones efectiva, en el cual se establece la “obligación de instalación y mantención de sistemas de medición de caudales, volúmenes extraídos y niveles freáticos en las obras de captación de aguas” por parte de los titulares de DAA en zonas de prohibición.

iii. Dimensión “Confianza y participación”:

De acuerdo a OCDE (2015a) esta dimensión se refiere a la contribución de la gobernanza en la creación de confianza entre la población, y en garantizar la inclusión de los actores a través de legitimidad democrática y equidad para la sociedad en general.

A continuación, se presentan las ideas más relevantes en materia de “confianza y participación” para el caso de la cuenca del río Elqui:

- *Avanzar hacia una participación y colaboración integrada efectiva, con procesos adaptados a las circunstancias particulares de cada territorio.* De acuerdo al estudio realizado por OCDE (2017), en Chile, esto requeriría aumentar la variedad de herramientas participativas y extender los aportes de las partes interesadas más allá de un enfoque sobre los asuntos ambientales. De acuerdo a la experiencia Californiana, y según lo establecido en su legislación a través del Código de Aguas¹¹, las Organizaciones a cargo de la administración del agua en la cuenca, deben mantener un registro de las personas que estén interesadas en recibir información, citaciones a reuniones y acceso a cualquier documento relevante sobre la planificación y gestión del agua en la cuenca; además, este registro debe ser adjuntado al momento conformar la OUA, incluyendo una explicación de cómo sus intereses serán considerados en la operación y desarrollo de la Organización y de sus planes de gestión hídrica. Las partes interesadas deberían incluir (y no ser limitadas) a: regantes; usuarios de DAA para abastecimiento de agua para uso domiciliario; servicios sanitarios públicos y privados; representantes públicos y privados de departamentos a cargo de la planificación territorial municipal/local; usuarios de agua con demanda ambiental o sin DAA (por ejemplo, organizaciones para la protección del medio ambiente, turismo); representantes de instituciones públicas que tengan vínculos con la gestión y uso del agua y del suelo; comunidades y/o asociaciones indígenas; usuarios de agua en “desventaja”, como usuarios de agua para abastecimiento domiciliario sin DAA o pequeñas OUAs. Estos procesos deberían ser apoyados por directrices y capacitación, y potencialmente reforzados con la regulación y el fortalecimiento institucional y las reglas administrativas. En el caso de la

¹¹ California Water Code §10723 et seq.

cuenca del río Elqui no existen instancias de participación a nivel cuenca activas o funcionales; no obstante, sí existe una mesa de trabajo a nivel regional (Mesa Regional para la Emergencia Hídrica), en la cual trabajan permanentemente actores relacionados a instituciones públicas, sin embargo, y como se menciona en el Plan Estratégico (acápite 2.6.1.2), la participación de Organizaciones de Usuarios de Agua u otros actores privados, públicos o civiles, no es periódica ni establecida y es dependiente de la situación atingente a tratar en la mesa. Debido a lo anterior, se concluye que la cuenca del río Elqui no cuenta con instancias de participación y colaboración efectiva.

- *Generar instancias periódicas de participación, en las cuales se fomenten la colaboración a través de financiamiento y capacitación de los stakeholders.* Esta lección identifica la necesidad de generar programas de transferencia y fortalecimiento, centrados en la capacitación de las partes interesadas en la gestión del recurso hídrico, con el objetivo de generar foros de opinión integrando por diversos actores informados y con las necesarias aptitudes para una correcta integración.

2.6.3.4 Síntesis de brechas de coordinación

A continuación, se presenta una síntesis de brechas identificadas a partir de la información señalada en acápites anteriores y las experiencias recopiladas durante los procesos de Participación Ciudadana (Anexo I.3 y Anexo I.4):

1. Existe una **disparidad de capacidades técnicas y organizacionales entre OUA, en particular a nivel de Comunidades de Aguas (121 CA) y/o Asociación de Canalistas (1 AC)**, las cuales, si bien cumplen con las labores básicas de captación y distribución de agua, suelen carecer de desarrollo organizacional y profesionalización, impidiendo una participación informada y efectiva en la toma de decisiones respecto a la gestión hídrica de la cuenca; debido a esto, se debe considerar que el nivel organizacional actual de la OUA condicionará el nivel desarrollo que puedan alcanzar al fortalecer sus capacidades. No obstante, cualquier iniciativa que acorte dicha brecha de disparidad, permitirá mejorar las aptitudes de gestión y de coordinación de las OUA, incrementando las posibilidades de participar en instancias de alianzas público-privadas en materia hídrica.
2. Actualmente en la cuenca, **no existen Comunidades de Aguas Subterráneas** que permitan una administración local y un manejo sustentable de los acuíferos, lo que impide la correcta integración de la gestión de recursos hídricos superficiales y subterráneos. Debido a esto, la conformación de CAS es esencial para generar entidades que, a través de una gestión estratégica del recurso, permita reducir las brechas entre oferta y demanda de agua, especialmente considerando los efectos del cambio climático y eventos críticos (sequía); además, la conformación de estas OUA promoverá la creación de nuevas alianzas público-privadas.
3. Las **instancias de participación en la cuenca del río Elqui no se realizan en las escalas recomendadas para una gestión hídrica adecuada** (cuenca/subcuenca hidrográfica) y, aquellas instancias que se aproximan (“Mesa del Elqui”), no son instancias públicas para todos los actores de interés en la

cuenca, sino que para un grupo limitado de OUA (Juntas de Vigilancia) relacionados a actividades productivas particulares y ciertos representantes de entidades públicas. Esta situación, impide una óptima coordinación entre los actores relevantes en la toma de decisiones sobre los recursos hídricos en la cuenca, lo que dificulta la generación de iniciativas para reducir las brechas entre oferta y demanda de agua durante eventos críticos (sequía) y, obstaculiza la promoción de nuevas alianzas público-privadas.

4. En la cuenca se **desconoce la existencia de instancias de participación y coordinación entre miembros de las OUAs y/o entre las organizaciones de usuarios, que no estén relacionadas a las establecidas por sus estatutos o por el solo ministerio de la ley**. Si bien, se identifica la existencia de instancias de relación entre las OUAs y otros actores de en la cuenca, es necesario conocer las instancias de coordinación entre las propias organizaciones y sus usuarios, externas a lo establecido legalmente. Solventar esta brecha permitiría mejorar la generación de iniciativas para reducir las brechas entre oferta y demanda de agua durante eventos críticos (sequía) y la creación de alianzas público-privadas.

Se presenta a continuación algunos aspectos relativos a brechas de coordinación y ejecución de las actividades PAC del presente Plan, surgidas a partir de la contingencia sanitaria relacionada a la pandemia generada por el virus Sars-CoV-2:

1. El desarrollo de **reuniones telemáticas** significó que **algunos actores convocados presentaron dificultades en el acceso a internet o a señal telefónica**, complejizando su participación en las actividades PAC del estudio.
2. El cambio de **modalidad de trabajo de algunos actores** (de presencial a teletrabajo o trabajo a distancia) **dificultó su contacto** para invitarlos a participar de las actividades PAC, debido a números de **teléfonos corporativos no operativos** a causa de su trabajo fuera de oficina.

2.6.4 Brechas de información

2.6.4.1 Estado de información sobre OUA

Cabe señalar las siguientes consideraciones en torno a la información sobre OUA en la cuenca del río Elqui:

- i) Durante las reuniones de Participación Ciudadana realizadas para el presente estudio, se levantó la necesidad de fortalecer las Comunidades de Agua; sin embargo, para esto, se requiere el desarrollo de programas de diagnóstico y levantamiento de información territorial sectorizada, en áreas de estudio a nivel subcuenca o menores, con el objetivo de identificar específicamente las necesidades de cada Comunidad.
- ii) No hay información de OUA de carácter subterráneo porque estas organizaciones, en la cuenca del río Elqui, son inexistentes actualmente; este hecho supone una falta de información de los actores que explotan el recurso hídrico subterráneo. El modelo hidrológico desarrollado durante este estudio, permitirá identificar aquellos SHAC en donde el balance entre oferta y demanda ejerza mayor presión sobre los acuíferos, pudiendo servir como base

para establecer los sectores prioritarios para promover la conformación de Comunidades de Agua Subterránea.

2.6.4.2 Estado de información sobre DAA

Sobre la información disponible de DAA en la cuenca del río Elqui, se observa una dispersión de fuentes de datos y una desactualización de las características de los DAA registrados. De acuerdo a lo señalado por Vergara y Rivera (2018) y complementando con lo mencionado por DGA (2020)¹² sobre las problemáticas para la conformación de OUs (lo cual también se considera aplicable para los procesos de solicitudes de DAA), la falta de perfeccionamiento y regularización pueden ser relacionadas a las siguientes problemáticas:

- Procedimiento de regularización es oneroso y complejo, cuyo costo de ejecución puede superar las capacidades financieras de los usuarios interesados.
- Existe una desinformación por parte de los usuarios respecto al correcto procedimiento de registro, lo cual genera procesos de inscripción incompletos o incorrectamente ejecutados.
- Se identifica una falta de coordinación y comunicación entre los entes públicos relacionados al registro y regularización de DAA.
- Los incentivos o sanciones son insuficientes para enfrentar la falta de regularización de los DAA

También se identifica la falta de registro de algunas características esenciales para un DAA. En la Tabla 2.6-12 se puede observar un resumen de aquellos derechos de agua existentes en la cuenca, en los cuales falta al menos una (1) característica esencial para su perfeccionamiento.

Tabla 2.6-12 DAA con características esenciales de perfeccionamiento faltantes

Tipo de solicitud	N° DAA
Subterránea	27
Coordenada	26
Caudal	1
Tipo de Derecho	0
Ejercicio del Derecho	0
Superficial	31
Coordenada	27
Caudal	4
Tipo de Derecho	0
Ejercicio del Derecho	0
Total	58

Fuente: Elaboración propia en base a información DGA (2020c).

¹² Presentación realizada por Felipe Tapia (Profesional de DGA) en las "XXII Jornadas de Derecho y Gestión de Aguas", organizada por el "Centro UC: Derecho y Gestión de Aguas", realizada el 6 de agosto de 2020. Con respecto a la conformación de Organizaciones de Usuarios de Agua.

Cabe mencionar que, de acuerdo a lo señalado por diferentes actores en las reuniones PAC, en la cuenca del río Elqui es prioritaria la ejecución de programas de apoyo legal para el saneamiento y la regularización de derechos de aprovechamiento de aguas del embalse Puclaro (menos del 43% de DAA saneados¹³) y de algunos APR. Al respecto, de acuerdo al estudio DGA-DOH (2019), se identifican únicamente 4 sistemas APR¹⁴ con disponibilidad en el SHAC en el cual están ubicados, en los que se hace necesario regularizar o sanear el derecho ante DGA. Cabe señalar, que se han excluido aquellos sistemas APR en los que no hay disponibilidad en el SHAC donde captan el agua subterránea.

En cuanto a las transacciones de DAA realizadas en el mercado de agua en la cuenca del río Elqui, se identifican falencias en el registro de sus elementos esenciales para un seguimiento óptimo de la mutación del dominio. En la Tabla 2.6-13, se muestra un resumen de las transacciones y el estado de registro de sus características esenciales disponibles para el estudio correspondiente a los últimos 5 años (periodo 2015-2019).

Tabla 2.6-13 Número de transacciones y sus características no indicadas según naturaleza del agua, años 2015-2019

Naturaleza del Agua	N° de Transacciones	Característica no indicada			
		Nombre vendedor	Nombre comprador	Caudal	Valor Transacción
Subterránea	206	0	-	1	-
Superficial	6.718	3	-	37	50
No indica	397	0	-	6	2
Total	7.321	3	0	44	52

Fuente: Elaboración propia en base a información DGA (2020c).

En la Tabla 2.6-13 se puede observar que en la cuenca se han realizado 397 transacciones, en las cuales no se ha indicado la naturaleza del agua, característica esencial para la perfección de un DAA, esta irregularidad de información impide conocer el estado actual de demanda efectiva de agua en la cuenca, lo cual dificulta generar iniciativas para reducir las brechas entre oferta y demanda de agua.

2.6.4.3 Herramientas de información hídrica

De acuerdo a fuentes secundarias de información y a lo recopilado durante las actividades de Participación Ciudadana, se presentan algunas de las herramientas de información actualmente disponibles en la cuenca y el estado de información actual:

- i) LA JVRE cuenta con sistemas de monitoreo telemétrico para el 60% de las entregas a canales; también cuenta con una conexión digital al embalse La

¹³ De acuerdo a lo mencionado por JVRE en la publicación "Programa de saneamiento de DAA de CNR y Junta de Vigilancia del Río Elqui y sus Afluentes", realizada el 18 de febrero de 2020.

¹⁴ Los cuatro (4) sistemas APR identificados corresponden a: Coquimbito-Altovalsol; Gabriela Mistral-El Rosario; Islón y; Las Rojas-Punta Piedra.

- Laguna, regulador de agua en la cabecera de la cuenca, mejorando el registro y reporte de la información proveniente de la obra (<http://www.riodelqui.cl/>)¹⁵.
- ii) Entre otras formas de iniciativas tecnológicas, la Junta formó parte del desarrollo de un programa piloto en la Provincia de Elqui en el año 2012, denominado “Centro de Información del Agua (CRIA)”¹⁶, con el objetivo de permitir satisfacer las necesidades de información estratégica para los diversos sectores involucrados en zonas con escasez hídrica permanente (<https://www.opia.cl/>).
 - iii) A través del Laboratorio PROMMRA, perteneciente a la Universidad de La Serena, la cuenca cuenta con diferentes plataformas abiertas de información para la gestión de recursos hídricos, entre las cuales se encuentran: Sistema de Monitoreo de Caudales en río Elqui (SIMCA); Plataforma Pronóstico de Caudales de Cabecera (PROQ); Plataforma de Monitoreo de Uso de Suelo Agrícola (PROMUS) y; Plataforma de Buenas Prácticas de Gestión Hídrica (BPGH) en la cuenca del río Elqui.
 - iv) Red Hidrométrica DGA (Tabla 2.4-9). En las reuniones PAC, diversos actores expresaron la necesidad de contar con estaciones de monitoreo fluviométrico y de calidad con información “en tiempo real”.
 - v) Cabe señalar que en el marco del Monitoreo de Extracciones Efectivas (MEE) de la DGA se podría tener mayor detalle de las extracciones superficiales¹⁷ y subterráneas¹⁸ de la cuenca; esta información se visualiza en una plataforma propia de la DGA.

Entre algunos de los problemas relacionados al levantamiento de información hídrica en la cuenca del río Elqui es posible señalar que:

- i) La inversión pública para red de monitoreo es dependiente de presupuestos y capacidades sectoriales, y, por tanto, limitada.
- ii) Con respecto a la entrega de información por parte de actores privados (OUA, mineras, agrícolas, entre otros), cabe señalar que esta queda condicionada a diferentes variables a analizar en cada caso específico, por ejemplo: qué información se comparte, con qué usuarios, en qué plataforma, cuál es el compromiso de las otras partes en la facilitación de información, etc. También es importante mencionar que estas interacciones entre actores (no conflicto, colaboración y confianza, u otra situación) pueden cambiar según el tema que los una o relacione; es posible que se presenten relaciones de confianza para la gestión, pero no para compartir información. Debido a lo anterior y al alcance del presente estudio, estas instancias de levantamiento de información no se consideran evaluables a partir de las reuniones PAC sostenidas.

¹⁵ Noticia “Nuevas compuertas y telemetría para canales de la JVRE”, publicada el 18 de febrero de 2020.

¹⁶ Programa ejecutado el año 2012 por la Administradora de Recursos Hídricos Río Elqui Limitada, asociada a la Junta de Vigilancia del río Elqui y sus Afluentes, financiada por FIA.

¹⁷ Resolución DGA N° 53 “APRUEBA REGLAMENTO DE MONITOREO DE EXTRACCIONES EFECTIVAS DE AGUAS SUPERFICIALES”, del 03 de abril de 2020

¹⁸ Resolución Exenta DGA N° 1238 “DETERMINA LAS CONDICIONES TÉCNICAS Y LOS PLAZOS A NIVEL NACIONAL PARA CUMPLIR CON OBLIGACIÓN DE INSTALAR Y MANTENER UN SISTEMA DE MONITOREO Y TRANSMISIÓN DE EXTRACCIONES EFECTIVAS EN LAS OBRAS DE CAPTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS”, del 30 de octubre de 2020

2.6.4.4 Síntesis de brechas de información

A continuación, se presenta una síntesis de brechas identificadas a partir de la información señalada en acápite anteriores y las experiencias recopiladas durante los procesos de Participación Ciudadana (Anexo I.3 y Anexo I.4):

1. No existe la **información base recopilada necesaria para la conformación de Comunidades de Aguas Subterráneas** en la cuenca, como, por ejemplo, la certificación de los DAA registrados en el Catastro Público de Aguas. Esta situación obstaculiza la conformación de nuevas OUA, lo cual, de acuerdo a lo mencionado en el acápite 2.6.3.4, dificulta la generación de estrategias para reducir las brechas entre oferta y demanda de agua y promover la creación de nuevas alianzas público-privadas.
2. Se identifica la necesidad de **apoyo legal en el saneamiento y regularización de derechos de aprovechamiento de aguas**, en particular para el **embalse Puclaro y APR**. Esta irregularidad de información impide conocer el estado actual de demanda efectiva de agua en la cuenca, lo cual dificulta generar propuestas estratégicas para reducir las brechas entre oferta y demanda de agua, además de obstaculizar la participación de dichos usuarios de DAA en proyectos de conservación y/o mejora de infraestructuras hidráulicas.
3. **La información pública disponible sobre las transacciones de DAA en el mercado de agua no es suficiente para realizar un seguimiento óptimo de las mutaciones de derecho**. Esto se debe a que no se incluye coordinada de captación o información sobre el expediente del DAA original. Debido a esto, y tal como se señaló en la brecha anterior, esta irregularidad de información impide conocer el estado actual de demanda efectiva de agua en la cuenca, lo cual dificulta generar iniciativas para reducir las brechas entre oferta y demanda de agua.
4. Actualmente la cuenca de Elqui **no cuenta con datos “en tiempo real”, que agrupe la información de la red hidrométrica DGA y otros monitoreos de extracciones de carácter privado**. Cabe mencionar que, la existencia de un sistema integral y centralizado de información hidrométrica, no solo sería una mejora respecto al monitoreo de las aguas, sino que se convertiría en una herramienta fundamental para generar estrategias de gestión hídricas necesarias para mejorar la conservación y protección del recurso hídrico y, reducir las brechas entre oferta y demanda.
5. **Se desconoce la disposición efectiva de actores privados para entregar información**, la cual puede ser un aporte para el monitoreo de los recursos hídricos y ser una herramienta fundamental para mejorar la toma de decisiones en la cuenca y, por ende, reducir las brechas entre oferta y demanda.
6. **Se desconoce la efectividad de los sistemas privados para el levantamiento de información hídrica**, la cual impide diagnosticar de manera correcta los sistemas de información existentes, dificultando el desarrollo de iniciativas para mejorar el monitoreo de los recursos hídricos.

Finalmente, se presenta la síntesis de las brechas de información y ejecución de las actividades PAC del presente Plan, surgidas a partir de la contingencia sanitaria relacionada a la pandemia generada por el virus Sars-CoV-2:

1. El desarrollo de **reuniones telemáticas**, significó que algunos **actores convocados presentaron dificultades en el acceso a internet o a señal telefónica, dificultando la recopilación de información primaria** necesaria para evaluar el interés de estos en la gestión del agua y en el desarrollo del Plan Estratégico.

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

En el presente capítulo se cuantifica la demanda de agua por los diferentes sectores productivos y otros usos del recurso, tanto actual como su proyección futura, para uso humano, necesidades mínimas ambientales, demandas agrícola, minera, industrial u otras. La determinación de las demandas efectivas se complementa como un análisis del mercado de derechos de agua asociado.

3.1 USO HUMANO

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

3.1.1 Demografía

i. Población actual y proyección demográfica

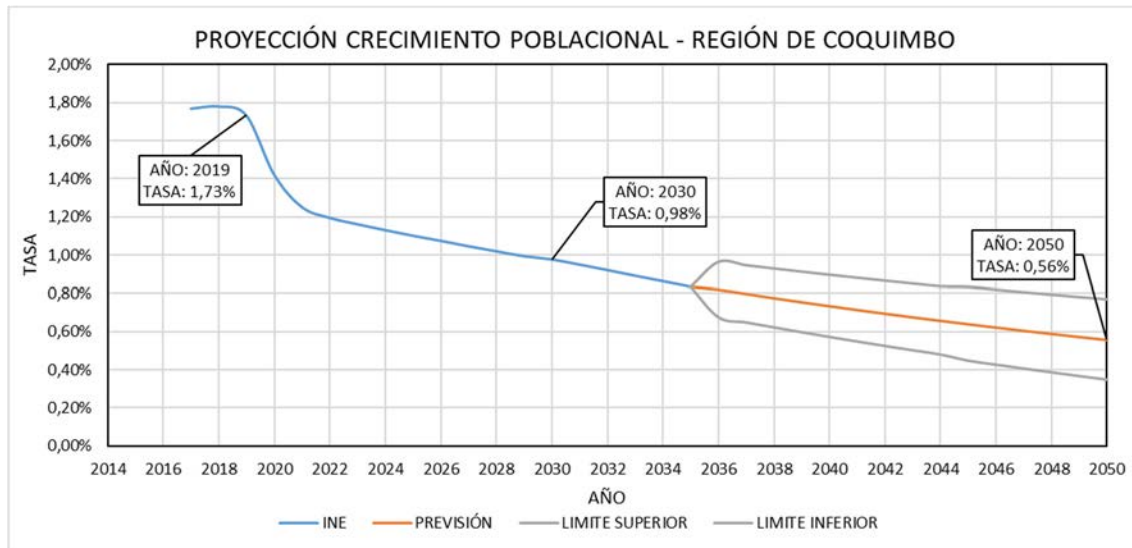
De acuerdo a la información del "Censo Poblacional y Vivienda" del año 2017 (INE, 2018), la población que habita en la cuenca del río Elqui alcanza los 133.672 habitantes, cuya distribución territorial se presenta en la Tabla 3.1-1. Se observa que la comuna de La Serena concentra la mayor cantidad de habitantes en zona urbana al interior de la cuenca (el 78% del total comunal en la cuenca), mientras que en la comuna de Paiguano se encuentra la mayor población habitante en zona rural (100% del total comunal).

Tabla 3.1-1 Densidad y población residente en la cuenca del río Elqui

Cuenca	Comunas	Población (n° habitantes)			Densidad de población (n° hab./km ²)
		Total	Urbana	Rural	
Río Elqui	La Serena	91.170	70.898	20.272	116,26
	Andacollo	10.234	10.008	226	21,45
	Paiguano	4.497	0	4.497	2,97
	Vicuña	27.771	16.993	10.778	3,66
	Total	133.672	97.899	35.773	14,22

Fuente: Elaboración propia basada en INE (2018).

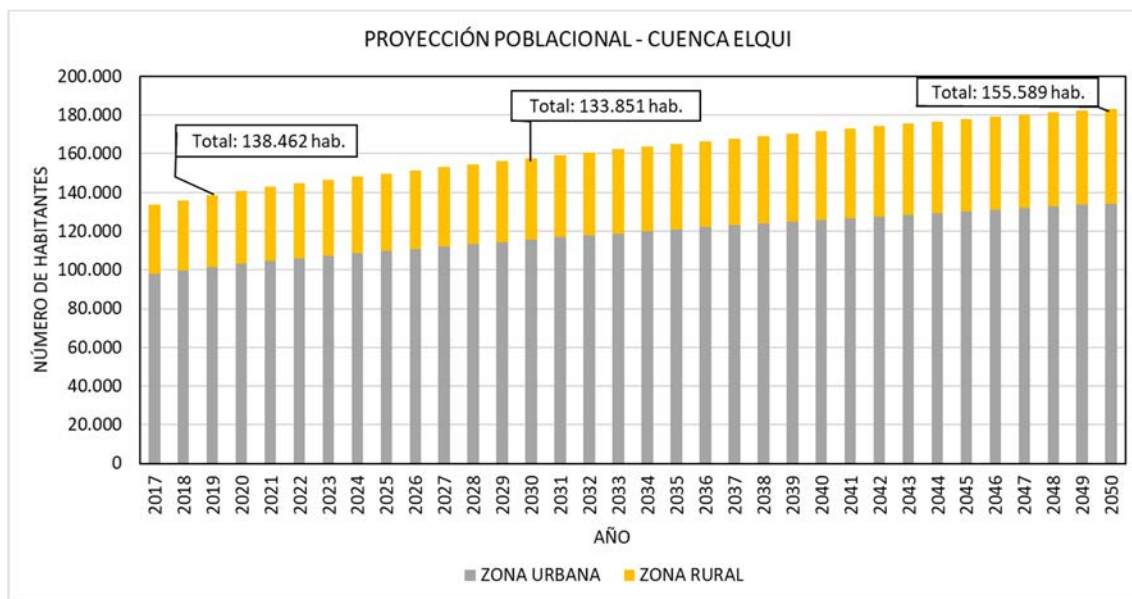
Considerando la información recopilada por el censo (INE, 2018), durante el periodo 2002-2017, la región de Coquimbo experimentó un crecimiento poblacional promedio del 1,56%, inferior al 1,79% estimado en el periodo 1992-2002 y mayor 1,11% actual a nivel nacional. En la Figura 3.1-1, se puede observar la proyección de las tasas de crecimiento poblacional para la región, en donde se muestran las tasas estimadas por INE al año 2035 y las tasas proyectadas con estadísticas de tendencia (mediante herramientas Excel) para el periodo 2036-2050.



Fuente: Elaboración propia basada en INE (2018).

Figura 3.1-1 Proyección de la tasa de crecimiento poblacional en la región de Coquimbo, periodo 2018-2050

A partir de lo anterior y la información poblacional entregada en la Tabla 3.1-1, se realiza la proyección de población en la cuenca para el periodo 2018 - 2050, la cual se muestra en la Figura 3.1-2, donde se presenta el total de habitantes estimados en la cuenca para los años 2019, 2030 y 2050, identificando habitantes en zona rural y urbana.



Fuente: Elaboración propia basada en INE (2018).

Figura 3.1-2 Población proyectada para la cuenca del río Elqui, periodo 2018 – 2050

El detalle de la distribución territorial y las proyecciones de crecimiento se encuentran en el Anexo J.5.

ii. Abastecimiento de agua potable de la población

En términos generales, la población urbana se abastece de agua potable desde la red de distribución de empresas sanitarias (Aguas del Valle, principalmente), mientras que la población rural lo hace mediante los sistemas de APR, actualmente llamados "Servicios Sanitarios Rurales". La distribución de la población, según la estimación de la población actual (año 2019) y sus proyecciones (años 2030 y 2050), según su fuente de abastecimiento, se muestra en la Figura 3.1-3.



Nota: APU: Agua Potable Urbana; APR: Agua Potable Rural.

Fuente: Elaboración propia basada en INE (2018) y DGA-DOH (2019).

Figura 3.1-3 Distribución de la población según abastecimiento de agua potable, años 2019, 2030 y 2050

El porcentaje de población abastecida desde sistemas APR podría decrecer bajo el supuesto en que el territorio operacional de las empresas sanitarias existentes se ampliara hasta APR con mayor población, considerando que 4 APR de la cuenca superarían los 3.000 habitantes el año 2050.

3.1.2 Agua potable urbana, actual y proyectada

3.1.2.1 Demanda Agua Potable Urbana

La demanda de agua potable urbana en la cuenca del río Elqui, está determinada por las fuentes de extracción que se localizan al interior de los límites definidos de la cuenca y que abastecen localidades con áreas urbanas dentro y fuera de la cuenca. Adicionalmente, las proyecciones poblacionales del acápite anterior, permiten estimar la demanda hídrica APU en el futuro. En la Tabla 3.1-2 se presentan las estimaciones de demanda hídrica asociadas a las localidades identificadas y que cumplen con lo antes mencionado.

Tabla 3.1-2 Demanda hídrica APU actual y futura

Localidad	Demanda hídrica (m ³ /año)		
	2019	2030	2050
Andacollo	1.147.850	1.128.260	1.306.733
Coquimbo	14.047.004	15.416.903	17.807.861
La Serena	15.534.904	18.309.298	21.151.795
Paihuano	125.946	111.043	127.213
Peralillo de Vicuña	158.629	129.480	148.792
Vicuña	904.898	813.559	940.288
Total	31.919.232	35.908.543	41.482.682

Fuente: Elaboración propia.

En el acápite 3.3.2.2 del Anexo F se presenta la metodología aplicada para la estimación de la demanda actual y la proyección de la demanda futura, y en el Anexo J.6.1 se adjunta detalle de los resultados obtenidos.

3.1.2.2 Pérdidas

A partir de los volúmenes de agua potable producida para cada localidad, informado por la SISS en el PR027001 (SISS, 2019), se obtiene el porcentaje (%) de pérdidas asociados a la distribución del recurso en cada localidad en la actualidad, lo que se presenta en la Tabla 3.1-3.

Tabla 3.1-3 Pérdidas por distribución en localidades abastecidas

Localidad	Pérdidas
Andacollo	13%
Coquimbo	29%
La Serena	22%
Paihuano	35%
Peralillo de Vicuña	45%
Vicuña	34%
Promedio	30%

Fuente: Elaboración propia en base a SISS (2019).

El porcentaje de pérdidas por distribución expresado se entiende como el volumen de agua que una vez se produce para determinada localidad, no llega a ser consumido por la población de dicha localidad, en definitiva, el volumen es perdido en la red de distribución desde la fuente productora hasta el consumidor final.

3.1.3 Agua potable rural, actual y proyectada

3.1.3.1 Población actual y proyección demográfica

La población estimada abastecida desde un sistema APR, en situación actual (año 2019) y proyección futura (años 2030 y 2050), se presenta en la Tabla 3.1-4. La población asociada a cada sistema se presenta en detalle en el Anexo J.6.2.

Tabla 3.1-4 Población abastecida por sistema APR actual y futura

Comuna	Población (hab./año)		
	2019	2030	2050
La Serena	11.772	15.601	26.971
Vicuña	8.083	9.901	15.487
Paihuano	2.980	3.400	4.326
Total	22.836	28.902	46.783

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

3.1.3.2 Demanda APR

Se identificaron 29 localidades al interior de la cuenca del río Elqui que cuentan con un sistema de APR. En la Tabla 3.1-5 y la Tabla 3.1-6 se resume la demanda hídrica asociada al consumo de localidades rurales agrupado por comunas y por SHAC, respectivamente. El detalle de sistemas APR se encuentra en el Anexo J.6.2.

Tabla 3.1-5 Demanda hídrica APR actual y futura por comuna

Comuna	Demanda hídrica (m ³ /año)		
	2019	2030	2050
La Serena	1.137.279	1.509.994	2.619.742
Vicuña	819.676	1.011.204	1.608.424
Paihuano	306.088	349.194	444.239
Total	2.263.043	2.870.392	4.672.405

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

Tabla 3.1-6 Demanda hídrica APR actual y futura por SHAC

SHAC	Demanda hídrica (m ³ /año)		
	2019	2030	2050
Claro	306.088	349.194	444.239
Elqui Bajo	688.703	880.199	1.397.823
Elqui Medio	354.326	475.957	869.027
Elqui Alto	547.687	650.148	939.654
Santa Gracia	309.072	446.346	919.125
Turbio	57.167	68.549	102.537
Total	2.263.043	2.870.392	4.672.405

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

De acuerdo a lo señalado por el estudio DGA-DOH (2019), el escenario actual y futuro evidencia un aumento de la competencia por el recurso hídrico, es decir, un aumento de la demanda por el crecimiento demográfico y por las dinámicas territoriales locales como los cambios de uso de suelo. Esto sumado a las componentes climáticas, como por ejemplo una baja en las precipitaciones y por ende una menor recarga de los sistemas SHAC y cursos superficiales; y al aumento de la demanda y nuevos usos de los espacios rurales, resulta relevante poder prever los problemas que se enfrentarán los asentamientos humanos, en particular del punto de vista hídrico. Entre alguno de

estos problemas, se destacan las ineficiencias en el sistema de distribución y almacenamiento del recurso y las dificultades para el otorgamiento de derechos de aprovechamiento de aguas mediante gestiones administrativas. Lo anterior conlleva a una serie de soluciones, entre las cuales está el uso de camiones aljibe y la constitución de reservas de agua, cuyos diagnósticos se encuentran en los acápites 6.1.2.1 y 6.2.2, correspondientemente.

3.1.3.3 Eficiencia

Las pérdidas asociadas a los sistemas APR, al igual que los sistemas urbanos, corresponden a los volúmenes producidos y que no son facturados por los consumidores finales. Por tanto, se asume que estos volúmenes corresponden a pérdidas por distribución en la red. De acuerdo a lo informado por DOH en (DGA-DOH, 2019), se presenta el porcentaje de pérdida de cada APR en detalle en el Anexo J.6.2. En la Tabla 3.1-7 se resume el promedio de pérdidas por comuna.

Tabla 3.1-7 Promedio de pérdidas por comuna

Comuna	Pérdidas
La Serena	22%
Vicuña	26%
Paihuano	30%
Promedio	26%

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

3.1.4 Derechos de agua para uso humano

Los derechos de agua destinados a agua potable corresponden a las extracciones desde la Quebrada Santa Gracia y las realizadas por ECONSSA, las cuales se configuran como nodos de demanda dentro de la modelación. La demanda mensual se expone en la Tabla 3.1-8.

Tabla 3.1-8 Extracciones destinadas a agua potable, en l/s

Nodo de Demanda	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
AP_AN_GRA_01	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
CS_ECONSSA	36,68	39,00	39,96	41,11	40,80	40,27	29,66	36,91	41,01	53,03	60,27	41,13

Fuente: Elaboración propia en base a WEAP Elqui (2020).

Cabe destacar que, de acuerdo a lo señalado en el artículo 56 del Código de Aguas "*Cualquiera puede cavar en suelo propio para las bebidas y usos domésticos...*", por lo que se debe considerar que existen captaciones para uso doméstico que no necesariamente tienen derechos de aprovechamiento de agua inscritos.

3.2 NECESIDADES MÍNIMAS AMBIENTALES

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

3.2.1 Consideración de sistemas protegidos

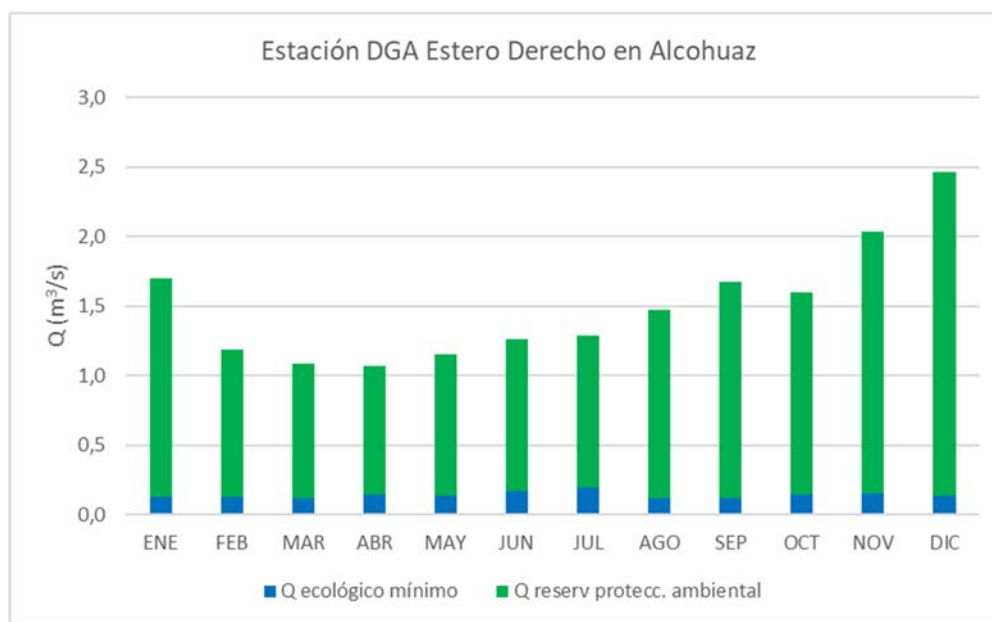
El caudal de reserva para protección ambiental se ha determinado en aquellas estaciones de la red fluviométrica de la DGA cercanas y potencialmente representativas del flujo de agua mínimo asociado a áreas de conservación existentes en la cuenca, presentadas en el apartado 2.3.1.3. La metodología para su determinación se presenta en el acápite 3.3.2.2 del Anexo F y el detalle del análisis correspondiente en el Anexo J.6.9.

En la cuenca del río Elqui se ha estimado el caudal actual (año 2019) de reserva para protección ambiental en 2 estaciones DGA, tal como se presenta en la Tabla 3.2-1 y la Tabla 3.2-2, en relación a las áreas de conservación “Estero Derecho” (WDPa-162) y a “Humedales Costeros Comuna de Coquimbo” (SP1-009), en las subcuencas “Río Claro” y “Río Elqui Bajo”, respectivamente; la distribución gráfica de estos caudales se presenta en la Figura 3.2-1 y la Figura 3.2-2.

Tabla 3.2-1 Caudal de reserva para protección ambiental (m³/s) en “Estero Derecho en Alcohuz”

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1,57	1,05	0,96	0,93	1,02	1,10	1,10	1,35	1,56	1,45	1,89	2,33	1,42

Fuente: Elaboración propia en base a DGA (2020a).



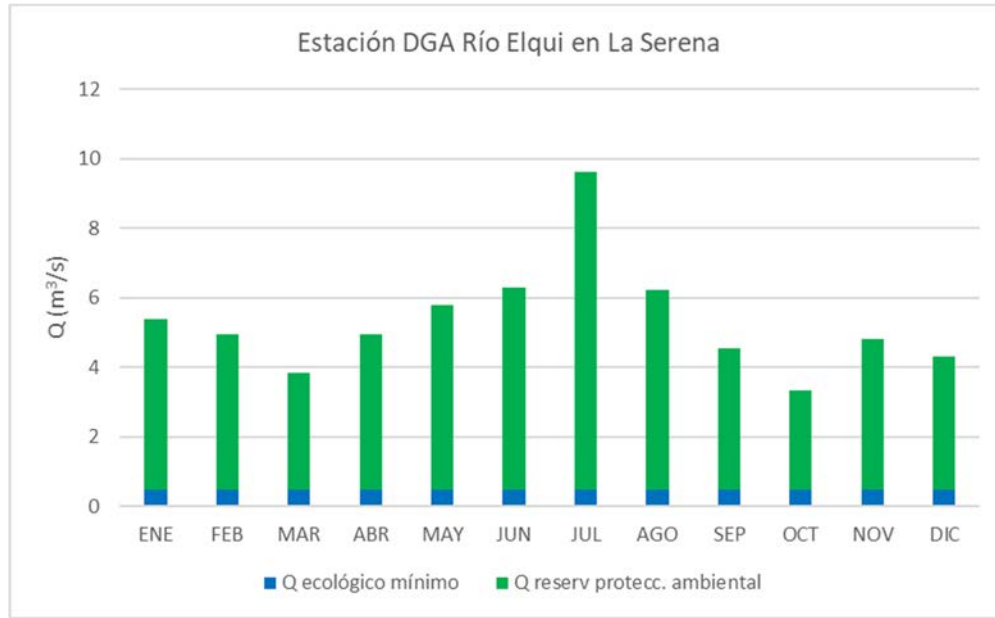
Fuente: Elaboración propia en base a estadística DGA (2020a).

Figura 3.2-1 Caudal de reserva para protección ambiental (m³/s) en “Estero Derecho en Alcohuz”

Tabla 3.2-2 Caudal de reserva para protección ambiental (m³/s) en “Río Elqui en La Serena”

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
4,93	4,48	3,36	4,49	5,32	5,84	9,16	5,77	4,08	2,88	4,34	3,84	7,24

Fuente: Elaboración propia en base a DGA (2020a).



Fuente: Elaboración propia en base a estadística DGA (2020a).

Figura 3.2-2 Caudal de reserva para protección ambiental (m³/s) en “Río Elqui en La Serena”

Cabe señalar que existen otras áreas de conservación en la cuenca en las cuales no ha sido posible determinar un caudal de reserva para protección ambiental por la falta de registros estadísticos en los flujos de agua asociados a dichas áreas. La demanda futura para protección ambiental (años 2030 y 2050) corresponde como mínimo a los valores de caudales de reserva estimados para la situación actual (año 2019), ya que no se puede estimar una proyección futura de esta demanda según la metodología utilizada (acápites 3.3.2.2 del Anexo F).

3.2.2 Derechos de agua para el medio ambiente: caudales ecológicos

En el presente acápite se presentan los caudales ecológicos extraídos desde los resultados del modelo numérico acoplado desarrollado en el capítulo 5. El detalle de su cálculo se encuentra en el Anexo H, acápite 5.3.1.

Tabla 3.2-3 Caudales ecológicos

Cuenca	Q ecológico (m³/s)
Elqui Bajo	0,005
Elqui Medio	0,98
Río Claro	0,10
Río Turbio	0,72

Fuente: Elaboración propia.

3.3 DEMANDA AGRÍCOLA

La demanda agrícola se representa en el modelo superficial WEAP Aconcagua a través de unidades hidrológicas (*Catchments*), bajo la metodología *Rainfall Runoff (simplified coefficient method)*, donde los parámetros de entrada corresponden a coeficientes de

cultivo (Kc), evapotranspiración de referencia (ET0), precipitación (Pp) y eficiencia de riego. A continuación, se presenta las zonas de riego modeladas, tanto su nomenclatura como la distribución georreferenciada en la Figura 3.3-1.

El detalle de la estructura de modelación de las zonas de riego se expone en el Apéndice H-9 llamado "Demanda Agrícola".

3.3.1 Zonas de riego modeladas

En la Tabla 3.3-1 se exponen las zonas de riego consideradas en la modelación, señalando la subcuenca, el río de captación y el nombre del *catchment* o unidad hidrológica.

Tabla 3.3-1 Zonas de riego modeladas

Subcuenca	Sector	Nombre Unidad Hidrológica
Elqui Bajo	Quebrada Sta. Gracia	ZR_GRA_01ANU
	Quebrada Sta. Gracia	ZR_GRA_01FRU
	Quebrada Calvario	ZR_CAL_01FRU
	Zona Costera	ZR_COS_01ANU
	Zona Costera	ZR_COS_02ANU
	Zona Costera	ZR_COS_02FRU
	Zona Costera	ZR_COS_02OTR
	Zona Costera	ZR_COS_03ANU
	Zona Costera	ZR_COS_03FRU
	Estero Culebrón	ZR_CUL_01ANU
	Estero Culebrón	ZR_CUL_01FRU
	Estero Culebrón	ZR_CUL_01OTR
	Río Elqui en el Almendral	ZR_ELO_05ANU
	Río Elqui en el Almendral	ZR_ELO_05FRU
	Río Elqui	ZR_ELO_06ANU
	Río Elqui	ZR_ELO_06FRU
	Río Elqui	ZR_ELO_07ANU
	Río Elqui	ZR_ELO_07FRU
Río Elqui	ZR_ELO_08ANU	
Río Elqui	ZR_ELO_08FRU	
Elqui Medio	Río Elqui aguas arriba embalse Puclaro	ZR_ELO_01ANU
	Río Elqui aguas arriba embalse Puclaro	ZR_ELO_01FRU
	Río Elqui aguas arriba embalse Puclaro	ZR_ELO_02ANU
	Río Elqui aguas arriba embalse Puclaro	ZR_ELO_02FRU
	Río Elqui aguas arriba embalse Puclaro	ZR_ELO_03ANU
	Río Elqui aguas arriba embalse Puclaro	ZR_ELO_03FRU
	Río Elqui aguas arriba embalse Puclaro	ZR_ELO_04ANU
	Río Elqui aguas arriba embalse Puclaro	ZR_ELO_04FRU
Río Claro	Río Claro	ZR_CLA_01ANU
	Río Claro	ZR_CLA_01FRU
	Río Claro	ZR_CLA_02ANU
	Río Claro	ZR_CLA_02FRU
	Río Cochihuaz	ZR_COC_01ANU

Subcuenca	Sector	Nombre Unidad Hidrológica
	Río Cochihuaz	ZR_COC_01FRU
	Río Cochihuaz	ZR_COC_02ANU
	Río Cochihuaz	ZR_COC_02FRU
	Estero Derecho	ZR_EDE_01ANU
	Estero Derecho	ZR_EDE_01FRU
	Estero Derecho	ZR_EDE_02ANU
	Estero Derecho	ZR_EDE_02FRU
	Estero Paihuano	ZR_PAI_01ANU
	Estero Paihuano	ZR_PAI_01FRU
Río Turbio	Río Turbio	ZR_TUR_01ANU
	Río Turbio	ZR_TUR_01FRU
	Río Turbio	ZR_TUR_02ANU
	Río Turbio	ZR_TUR_02FRU
	Río Turbio	ZR_TUR_03ANU
	Río Turbio	ZR_TUR_03FRU

Fuente: Elaboración propia en base a WEAP Elqui (2020).

3.4 DEMANDA MINERA

3.4.1 Demanda del sector minero

De acuerdo al Anuario de la Minería de Chile (SERNAGEOMIN, 2018), a partir de la producción anual declarada se estimó la demanda hídrica asociada. En la Tabla 3.4-1 se presenta la estimación actual y futura de demanda hídrica asociada a la minería; el detalle de la estimación se encuentra en el Anexo J.6.5 y el detalle metodológico en el Anexo F, acápite 3.3.2.7.

Tabla 3.4-1 Demanda hídrica minera actual y futura

Subcuenca	Demanda hídrica (m ³ /año)		
	2019	2030	2050
R. Elqui Medio	496.709	465.050	308.916
R. Elqui Bajo	10.458.306	11.126.630	9.843.545
E. El Culebrón - Q. El Romeral (incl.)	496.709	465.050	308.916
Total	11.451.724	12.056.730	10.461.377

Fuente: Elaboración propia.

La estimación de la demanda minera, según la metodología propuesta no incorpora nuevas explotaciones de yacimientos, debido a la alta incertidumbre que la evaluación de estos conlleva.

3.4.2 Derechos de agua para la minería

La demanda destinada a la minería corresponde a las extracciones superficiales de caudal en los tramos 6 y 7 del río Elqui, la quebrada Santa Gracia y el tramo 1 del río Turbio, como se expone mensualmente en la Tabla 3.4-2 y a los derechos subterráneos asociados, tal como se resume en la Tabla 3.4-3.

Tabla 3.4-2 Extracciones superficiales destinadas a minería, en l/s

Nodo de Demanda	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
M_AN_ELO_06	9,27	9,27	9,27	9,27	9,27	9,27	9,27	9,27	9,27	9,27	9,27	9,27
M_AN_ELO_07	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97
M_AN_GRA_01	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08	2,08
M_AN_TUR_01	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83

Fuente: Elaboración propia a partir de WEAP Elqui (2020).

Tabla 3.4-3 Derechos subterráneos asociados a minería, en l/s

SHAC	2019 (l/s)
Elqui Bajo	335
Elqui Medio	42
Elqui Alto	0
Santa Gracia	17
Serena Norte	0

Fuente: Elaboración propia a partir de WEAP Elqui (2020).

3.5 DEMANDA INDUSTRIAL

3.5.1 Demanda del sector industrial

La demanda hídrica industrial es estimada a partir de volúmenes declarados y que son emitidos a sistemas de alcantarillado o fuentes superficiales, por lo tanto, se emplearon dos fuentes de información: una asociada a localidades que son parte del área de concesión de una empresa sanitaria (SISS) y otra asociada a lo declarado por unidades fiscalizables (SMA). El detalle de localidades y unidades fiscalizables se presentan en el Anexo J.6.6 y el detalle metodológico en el Anexo F (acápito 3.3.2.2.vi). En la Tabla 3.5-1 se resume la demanda hídrica a nivel cuenca.

Tabla 3.5-1 Demanda hídrica industrial actual y futura

Demanda hídrica (m ³ /año)		
2019	2030	2050
64.378	61.119	62.642

Fuente: Elaboración propia.

3.5.2 Derechos de agua para la industria

La demanda destinada a la industria corresponde a las extracciones de caudal desde la quebrada Santa Gracia, como se expone mensualmente en la Tabla 3.5-2.

Tabla 3.5-2 Extracciones destinadas a la industria, en l/s

Nodo de Demanda	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
I_AN_GRA_01	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03

Fuente: Elaboración propia a partir de WEAP Elqui (2020).

3.6 OTRAS DEMANDAS

3.6.1 Demanda del sector pecuario

De acuerdo a los Censos Agropecuarios de los años 1997 y 2007 y otras fuentes complementarias (acápito 3.3.2.2.iv del Anexo F) se estimó la demanda actual y futura asociada al sector pecuario. En la Tabla 3.6-1 se presenta el resumen de la demanda hídrica por tipo de ganado, y en la Tabla 3.6-2 la demanda por subcuenca.

Tabla 3.6-1 Demanda hídrica pecuaria actual y futura por sector

Sector pecuario	Demanda hídrica (m ³ /año)		
	2019	2030	2050
Bovino	18.284	39.644	59.216
Ovino	3.358	4.625	6.332
Caprino	28.285	48.805	68.272
Avícola	624	3.831	1.189
Porcino	11.447	15.694	23.900
Equino	72.136	93.487	133.062
Camélidos	65	98	158
Otros	509	729	1.129

Sector pecuario	Demanda hídrica (m ³ /año)		
	2019	2030	2050
Total	134.709	206.912	293.258

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.6-2 Demanda hídrica pecuaria actual y futura por subcuenca

Código Subc./Cuenca	Nombre Subcuenca/Cuenca	Demanda hídrica (m ³ /año)		
		2019	2030	2050
0430	Río Turbio	3.380	7.559	11.470
0431	Río Claro	29.083	50.290	74.359
0432	R. Elqui Medio	13.469	19.306	26.285
0433	R. Elqui Bajo	88.776	129.758	181.144
043	Río Elqui	134.709	206.912	293.258

Fuente: Elaboración propia.

Según los resultados obtenidos, la mayor presión por demanda hídrica de este rubro corresponde a la proyección del sector equino, y espacialmente en la subcuenca Elqui Bajo. Mayor detalle de la estimación de demanda hídrica actual y su proyección se presenta en el Anexo J.6.4.

3.6.2 Demanda por generación eléctrica

A partir de los registros históricos de generación eléctrica de plantas hidroeléctricas y termoeléctricas en la cuenca, se estimó la demanda hídrica tanto no consuntiva como consuntiva, respectivamente, según la naturaleza de la central analizada (metodología de cálculo asociada en el Anexo F, acápite 3.3.2.2.vii). En la Tabla 3.6-3 se presenta el resumen de los resultados.

Tabla 3.6-3 Demanda hídrica eléctrica actual y futura

Uso	Código Subc./ Cuenca	Nombre Subcuenca / Cuenca	Demanda hídrica (m ³ /año)		
			2019	2030	2050
No Consutivo	0432	R. Elqui Medio	128.501.422	91.984.619	123.016.061
	043	Río Elqui	128.501.422	91.984.619	123.016.061

Fuente: Elaboración propia.

Según los resultados obtenidos, la presión por demanda hídrica no consuntiva corresponde completamente a la subcuenca Río Elqui Medio.

3.6.3 Demanda por uso turístico

Aplicando la metodología de cálculo para estimar la demanda por uso turístico, en la cuenca del río Elqui existe un ZOIT, "Valle del Elqui", en la que están incluidos los ríos Turbio y Claro, afluentes al río Elqui. En la Tabla 3.6-4 y la Tabla 3.6-5 se identifican las estaciones fluviométricas de la DGA y la distribución de los caudales turísticos actuales determinados. En el Anexo J.6.8 se adjunta detalle de la estimación de los caudales, y la metodología aplicada en el Anexo F (acápite 3.3.2.2.viii).

Estos caudales son de carácter no consuntivo, por lo que no serán considerados en la modelación numérica.

Tabla 3.6-4 ZOIT en la cuenca del río Elqui y estaciones fluviométricas DGA

Nombre	Estación DGA	Código Subc.	Nombre Subc.
ZOIT Valle del Elqui	Estero Derecho en Alcohuaz	431	Río Claro
	Río Cochiguaz en Peñón	431	Río Claro
	Río Turbio en Varillar	430	Río Turbio
	Río Elqui en Algarrobal	432	Río Elqui Medio

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

Tabla 3.6-5 Caudales turísticos propuestos (m³/s)

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
10,2	9,9	8,2	7,7	7,2	6,7	7,5	7,5	7,7	8,7	10,4	10,6	9,2

Fuente: Elaboración propia.

3.7 RESUMEN DE DEMANDAS

En la Tabla 3.7-1 se presenta un resumen de los valores de demandas consuntivas y no consuntivas por sector económico u otro uso, mientras que en la Figura 3.7-1 se representa la distribución de las demandas en el territorio y la Figura 3.7-2 se grafica el porcentaje de dichos sectores sobre el total del consumo de agua en la cuenca.

Tabla 3.7-1 Resumen de demandas de la cuenca del río Elqui

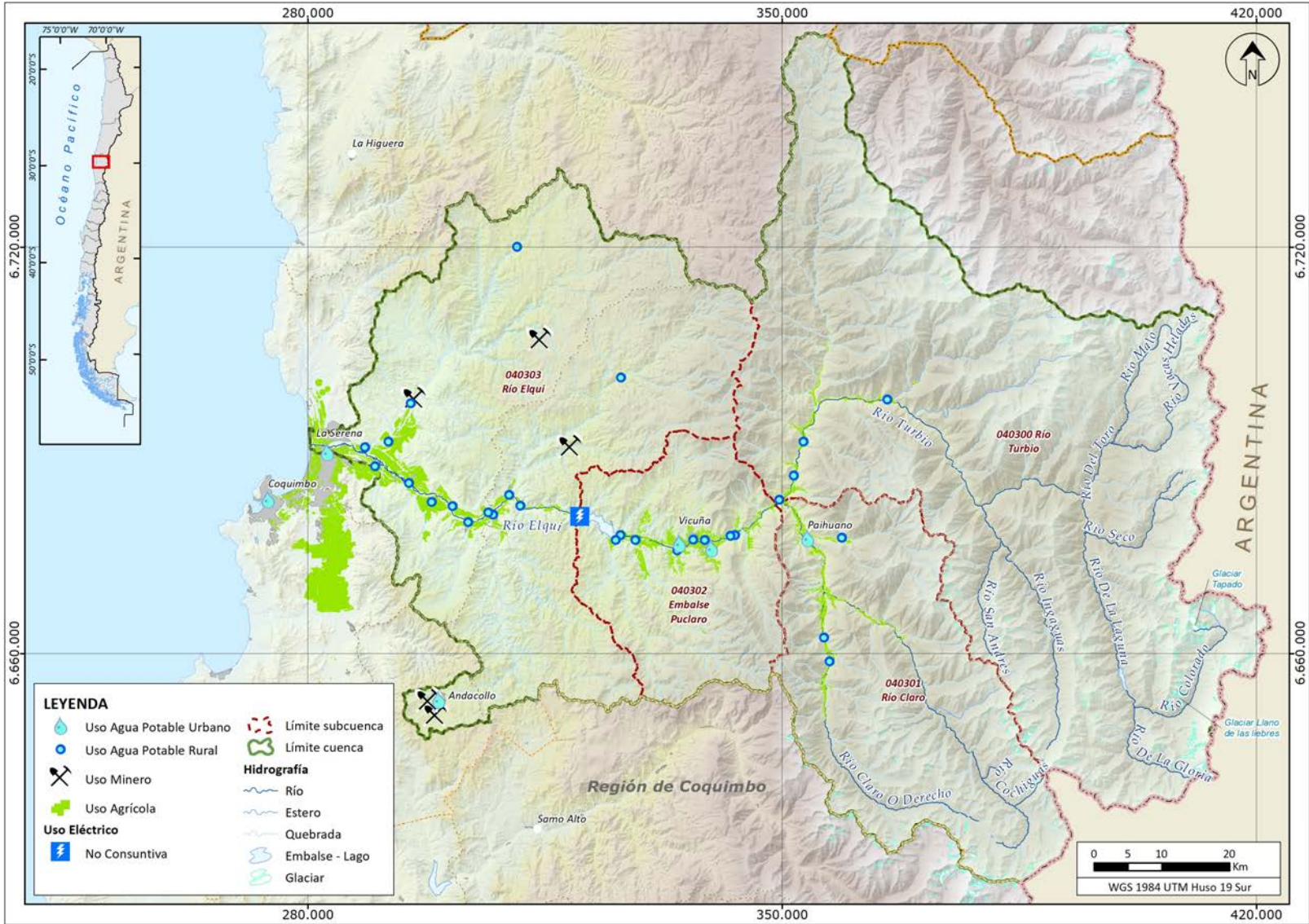
Sector	Año 2019		Año 2030		Año 2050		Var. 2019/2030	Var. 2019/2050
	(m ³ /año)	(m ³ /s)	(m ³ /año)	(m ³ /s)	(m ³ /año)	(m ³ /s)	(%)	(%)
Agua potable urbana	31.919.232	1,01	35.908.543	1,14	41.482.682	1,32	12%	30%
Agua potable rural	2.263.043	0,07	2.870.392	0,09	4.672.405	0,15	27%	106%
Agrícola (*)	223.404.010	7,08	226.902.864	7,20	220.240.713	6,98	2%	-1%
Pecuario	134.709	0,00	206.912	0,01	293.258	0,01	54%	118%
Minería	11.451.724	0,36	12.056.730	0,38	10.461.377	0,33	5%	-9%
Industrial	64.378	0,00	61.119	0,00	62.642	0,00	-5%	-3%
Generación Eléctrica (**)	128.501.422	4,07	91.984.619	2,92	123.016.061	3,90	-28%	-4%
Turístico (***)	-	9,22	-	9,22	-	9,22	0%	0%
Protección Ambiental (***)	-	7,24	-	7,24	-	7,24	0%	0%

(*) Demanda bruta (sin considerar eficiencia de riego).

(**) Demanda no consuntiva, asociada a centrales hidroeléctricas de pasada.

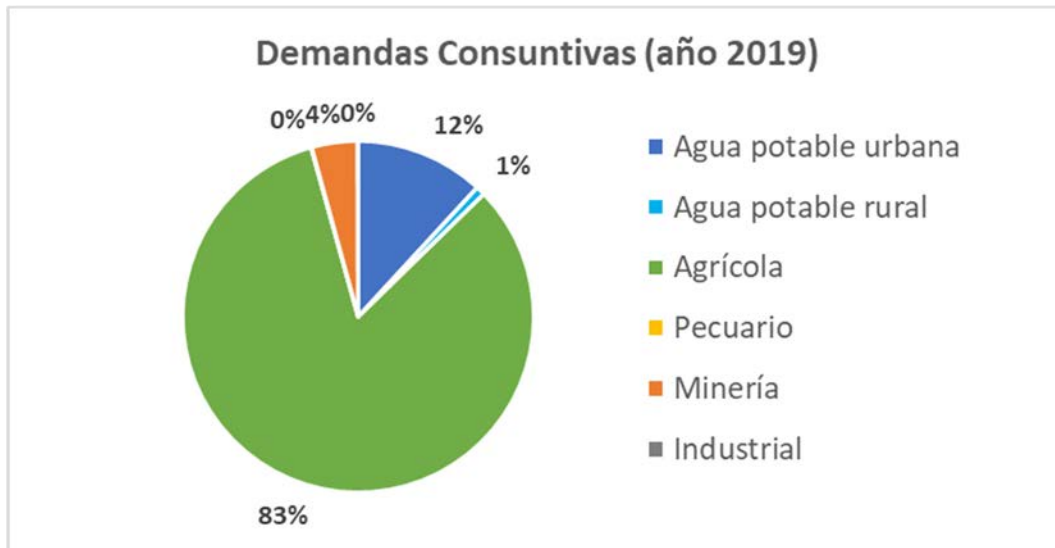
(***) Demanda anual asociada a una distribución mensual, en unidades m³/s.

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.7-1 Distribución de demandas principales según uso.

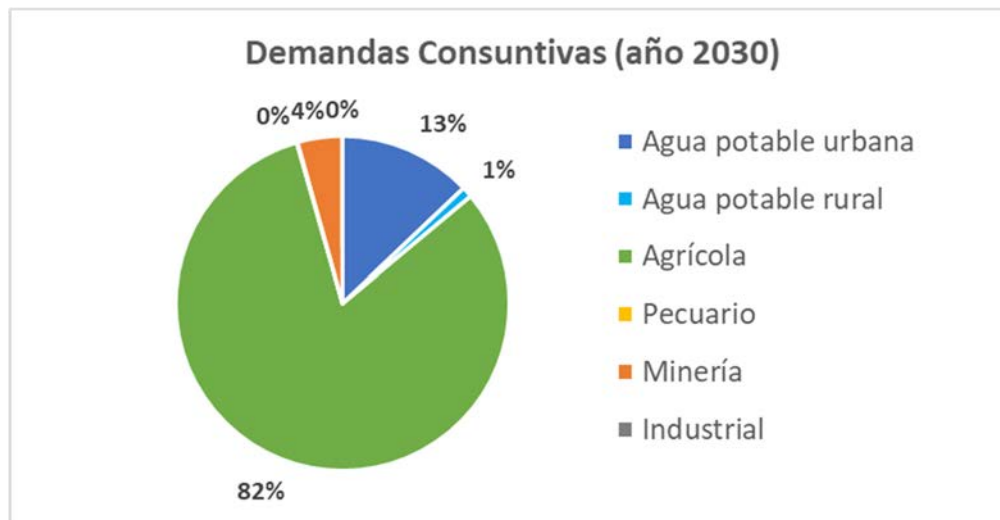


Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.7-2 Distribución de las demandas consuntivas (año 2019) de la cuenca del río Elqui

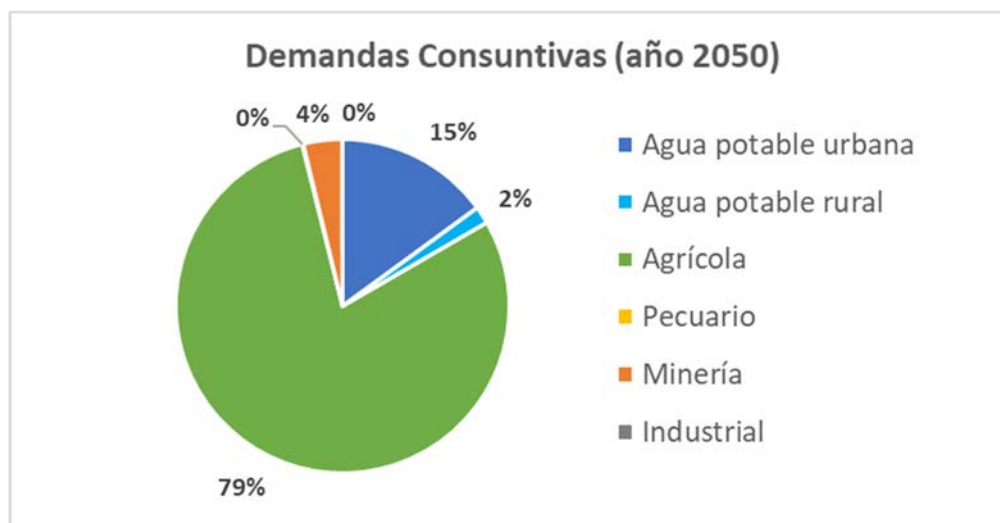
Al respecto, cabe destacar que el principal consumo es el referente al riego (83,0%), mientras que la minería representa un 4,3% del total; el agua potable urbano y rural alcanzan en torno a un 12,7%.

La proyección futura (año 2030) muestra una ligera tendencia a la baja del porcentaje de la demanda de riego (81,6%) y aumentando levemente el consumo por parte de agua potable y rural (13,9%); en la proyección al año 2050, desciende levemente el porcentaje de demanda para riego (79,4%) y se incrementan los requerimientos para agua potable urbano y rural (16,6%) (detalle en Anexo J.6, Figura 3.7-3 y Figura 3.7-4). En este contexto, las iniciativas deben enfocarse, en buena medida, en minimizar la demanda insatisfecha del sector de riego en la cuenca, dado que sigue siendo el sector de mayor peso con gran diferencia respecto de otros usos.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.7-3 Distribución de las demandas consuntivas (año 2030) de la cuenca del río Elqui



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.7-4 Distribución de las demandas consuntivas (año 2050) de la cuenca del río Elqui

Respecto de las variaciones porcentuales de las demandas proyectadas a los años 2030 y 2050 sobre de la estimación de la situación actual (año 2019) mostradas en la Tabla 3.7-1, cabe resaltar el incremento futuro para agua potable rural proyectado al año 2050, suponiendo un porcentaje de variación del 106%. A su vez, la variación en el sector pecuario es destacable, si bien cabe señalar que la proyección se basa en los datos disponibles de los Censos Agropecuarios de los años 1997 y 2007, por lo que existe un grado de incertidumbre a considerar en dicha estimación (metodología en el acápite 3.3.2.2 del Anexo F).

3.8 MERCADO DE AGUAS

Un mercado de aguas puede definirse como las interacciones entre compradores y vendedores de algún tipo de título de propiedad de agua para usarla, asignándole a este, un precio determinado mediante el libre intercambio (CNR, 2016a).

3.8.1 Evolución histórica

La información que a continuación se presenta corresponde a la contenida en la base de datos "Inscripciones de Derechos de Aprovechamiento de Aguas en Conservadores de Bienes Raíces" disponible en el portal web de la DGA y que registra las transacciones informadas por los CBR de Vicuña y La Serena con jurisdicción en las comunas que integran la cuenca, Vicuña, Paihuano y La Serena.

El análisis considera inscripciones de categoría "mercado" tales como: compraventa, adjudicación, aporte, dación en pago, entre otras, de naturaleza superficial y subterránea, del tipo consuntivos y no consuntivos, de ejercicio permanente y eventuales. No fueron consideradas transacciones de categoría "no mercado" (herencias, concesiones, regularizaciones, entre otras).

El estado de registro de las características esenciales disponibles para el análisis correspondiente al periodo 1971-2019 se presenta en la Tabla 3.8-1.

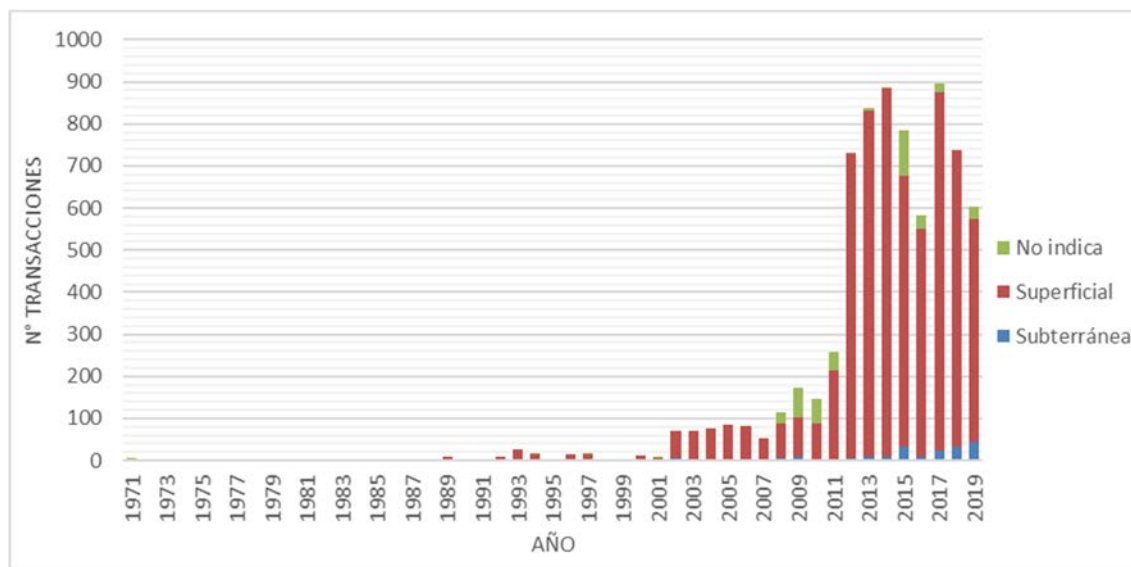
Tabla 3.8-1 Transacciones según naturaleza del agua, años 1971-2019

Naturaleza del Agua	N° de Transacciones ¹⁹	Característica no indicada		
		Nombre vendedor	Nombre comprador	N° Transacciones con valor de Caudal
Subterránea	206	20	10	3
Superficial	6.718	1.014	408	202
No indica	397	195	0	10
Total	7.321	1229	418	215

Fuente: Elaboración propia en base a información DGA (2020b).

El total de transacciones informadas corresponde a 7.321, de las cuales, según la naturaleza del agua, 206 (2,81%) de ellas pertenecen al tipo de fuente subterránea, 6.718 (91,76%) corresponden al tipo de fuente superficial y 397 (5,42%) no indica el tipo de fuente. En la Figura 3.8-1 se observa el total de transacciones de DAA a lo largo del periodo de estudio. Entre 2002 y 2019 se concentra el 98% de las transacciones de DAA en relación al total informado, con un máximo en el año 2017 y 2014 con 895 y 886 transacciones, respectivamente.

¹⁹ El total de transacciones considera únicamente transacciones de "mercado" (compraventa, dación en pago, entre otras), lo que equivale a 7.321 transacciones de un total de 8.355 registros disponibles en la base de datos DGA.



Fuente: Elaboración propia en base a información DGA (2020b).

Figura 3.8-1 Distribución anual del número de DAA transados, periodo 1971-2019

En el Anexo J.7 se identifica los principales usuarios compradores de DAA haciendo un análisis de las transferencias más frecuentes (intrasectoriales e intersectoriales) de DAA.

3.8.2 Valor del agua por sector económico

Con el objetivo de estimar el valor de mercado de los DAA, se tomó como fuente de información la información contenida en la base de datos entregada por la DGA y que registra las transacciones informadas por los CBR. Esta base de datos contiene 8.355 transacciones informadas por los CBR de Vicuña y La Serena durante el periodo del año 2002 hasta el año 2019.

Sobre la base de datos inicial se procedió a aplicar los criterios de depuración de manera incremental, con el fin de contar con una base de datos depurada que incluya transacciones que cumplan con todas las condiciones para que sean consideradas en la estimación. Esta depuración se realizó en base a la metodología que la SISS utiliza para la estimación del valor de los derechos de aprovechamiento de aguas en los procesos tarifarios que se llevan a cabo cada 5 años y que se encuentra plasmada en el estudio "Análisis de Mercados de Derechos de Aprovechamiento de Aguas en Chile", SIT N.º 438, diciembre 2018.

Las transacciones excluidas fueron aquellas con las siguientes características:

- Imposibilidad de identificar el tipo de naturaleza del DAA.
- Imposibilidad de identificar el tipo de ejercicio del DAA.
- Imposibilidad de identificar el mercado a la cual pertenece la transacción DAA.
- Inexistencia de información de caudal.
- Imprecisión en el monto de la transacción.
- Transacciones diferentes a compraventa.

- Transacciones en conjunto con otros bienes.
- Transacciones entre parientes.
- Agrupación de observaciones que no presenten diferencias en la fecha de inscripción, comprador, vendedor y mercado relevante.

Cabe mencionar que los resultados que se presentan a continuación consideran la equivalencia entre l/s y "acción" indicada en el estudio de la DGA "Diagnostico Nacional de Organizaciones de Usuarios" S.I.T. N.º 422, agosto 2018. Esta equivalencia corresponde a 1 acción = 1 l/s.

A continuación, se presenta el resultado del proceso de depuración de la base de datos inicial. Se observa que, de las 8.355 transacciones, 365 (4,4%) cumplen con los requisitos definidos para estimar precios de mercado de DAA (Tabla 3.8-2).

Tabla 3.8-2 Aplicación incremental de criterios de depuración

	Número de transacciones
Base de datos inicial²⁰	8.355
<i>Criterio de depuración</i>	
Compraventa	4.824
Con información de naturaleza	4.665
Con información de tipo de ejercicio	455
Con información de caudal	441
Con información de monto	413
Transacciones sin otros bienes	371
Con información de Mercado (sector comprador)	365
Base de datos depurada	365

Fuente: Elaboración propia en base a información DGA (2020b).

Cabe indicar que de las transacciones que quedaron fuera de las estimaciones según la depuración descrita, 4.411 (53%) no se consideraron debido a que no cuentan con información básica de la transacción de un DAA: naturaleza, ejercicio, mercado (sector), caudal o monto.

Tabla 3.8-3 Transacciones depuradas

Tipo de ejercicio del DAA	Nº Superficial	Nº Subterránea	Total
Eventual y continuo	97	0	97
Permanente	1	0	1
Permanente y continuo	143	124	267
Total general	241	124	365
Proporción	66%	34%	100%

Fuente: Elaboración propia en base a información DGA (2020b)

²⁰ El total considera transacciones de categoría "mercado" (compraventa, dación en pago, entre otras) y "no mercado" (herencias, concesiones, entre otras), lo que equivale a 8.355 transacciones.

Se ha considerado como “Unidad de mercado” la naturaleza del agua (subterránea o superficial) y el sector económico en cual se realizó la transacción.

En la Tabla 3.8-4 se presenta el número de transacciones según naturaleza del agua y sector económico obtenidas de la depuración de la base de datos.

Tabla 3.8-4 Transacciones por unidad de mercado

Naturaleza del agua	Unidad de mercado	Transacciones
Subterránea	Agrícola	9
	Agua potable y Saneamiento	0
	Banca	0
	Inmobiliaria y Construcción	9
	Minería	2
	Otros (Particular y otras empresas)	104
	Subtotal	124
Superficial	Agrícola	35
	Agua potable y Saneamiento	4
	Banca	1
	Inmobiliaria y Construcción	8
	Minería	3
	Otros (Particular y otras empresas)	190
	Subtotal	241
Total		365

Fuente: Elaboración propia en base a información DGA (2020b).

La baja cantidad de transacciones que cumplen con los requisitos mínimos para la estimación de un valor de mercado (4,4 % del total de registros), imposibilita un análisis representativo de cada unidad definida. Conforme a lo anterior, para la estimación del valor del agua, se ha considerado un mínimo de 10 transacciones por unidad de mercado, esto conforme a la metodología descrita en el estudio “Análisis de Mercados de Derechos de Aprovechamiento de Aguas en Chile”, SIT N.º 438, diciembre 2018. Aquellas unidades con menos de 10 transacciones, no han sido consideradas por no permitir una estimación robusta y representativa del mercado.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para las unidades de mercado “aguas subterráneas” y “aguas superficiales”.

Aguas Subterráneas

Para la unidad de mercado Aguas subterráneas, se encontraron dos (2) valores atípicos. Estos valores fueron apartadas a fin de no generar distorsión en los resultados. Con esto, se obtiene una media y mediana por caudal de 346 UF/l/s y 150 UF/l/s, respectivamente (Tabla 3.8-5).

Tabla 3.8-5 Resultados valor de aguas subterráneas

Transacciones	124
Transacciones atípicas	2
Media (UF/l/s)	346
Mediana (UF/l/s)	150

Fuente: Elaboración propia en base a información DGA (2020b).

Aguas Superficiales

Para la unidad de mercado Aguas Superficiales, se encontraron cuatro (4) valores atípicos. Estos valores fueron apartadas a fin de no generar distorsión en los resultados. Con esto, se obtiene una media y mediana por caudal de 155 UF/l/s y 106 UF/l/s, respectivamente (Tabla 3.8-6).

Tabla 3.8-6 Resultados valor de aguas superficiales

Transacciones	241
Transacciones atípicas	4
Media (UF/l/s)	155
Mediana (UF/l/s)	106

Fuente: Elaboración propia en base a información DGA (2020b).

Los resultados, respecto a el valor del agua por sector económico, se presentan en el Anexo J.7. Asimismo, en el Anexo J.7.1 y el Anexo J.7.2 se adjuntan las planillas con el detalle del análisis presentado sobre los DAA en la cuenca del río Elqui, así como su mercado de aguas, respectivamente.

CAPÍTULO 4 OFERTA HÍDRICA

En el presente capítulo se estima la oferta hídrica de la cuenca, tanto de las fuentes superficiales como subterráneas, así como la identificación de los glaciares existentes. Se complementa además con el análisis de las restricciones históricas y actuales sobre uso de las aguas, de forma de establecer un diagnóstico realista de los recursos hídricos que se disponen. Además de la “cantidad”, también es influyente la “calidad” de la misma, por ello se incorpora el estado actual de la calidad de las aguas, tanto superficiales como subterráneas.

4.1 AGUA SUPERFICIAL

4.1.1 Fuentes superficiales

4.1.1.1 Identificación de fuentes

El río Elqui nace a 815 m s.n.m., 2 km aguas arriba de Rivadavia, de la unión de los ríos Turbio, que viene del W, y Claro o Derecho, que proviene del S. Desde Rivadavia, el río Elqui se desarrolla en dirección E-W y prácticamente no recibe afluentes, salvo quebradas habitualmente secas. Aguas abajo, por la ribera N, las quebradas más importantes son Marquesa y Santa Gracia, que confluyen en su curso medio e inferior, respectivamente. Por el S, recibe las quebradas San Carlos, Arrayán y Talca, aparte de otras menores (DGA, 2004). Entre las localidades de Vicuña y El Molle, a 432 m s.n.m., se encuentra el embalse Puclaro, con una capacidad de almacenamiento de 200 millones de m³.

El río Turbio se forma 43 km aguas arriba de Rivadavia y a 1.370 m s.n.m., de la unión de los ríos Toro y La Laguna, drenando un área de 4.123 km². A partir de la confluencia de sus tributarios, toma rumbo al NW; posteriormente, describe un gran arco para definir un rumbo final N-S, que es la dirección de la tributaria quebrada del Calvario. El río Claro o Derecho nace también en la alta cordillera y su único afluente es el río Cochiguaz; el área drenada es de 1.513 km², y toma rumbo N-S con una longitud de 65 km (DGA, 2004).

El régimen del río Elqui es nival, ya que la mayoría de las estaciones fluviométricas de esta cuenca presenta esta influencia (DGA, 2004). A modo de ejemplo, en la Tabla 4.1-1 se presentan los valores de caudal en 3 puntos de control de la cuenca.

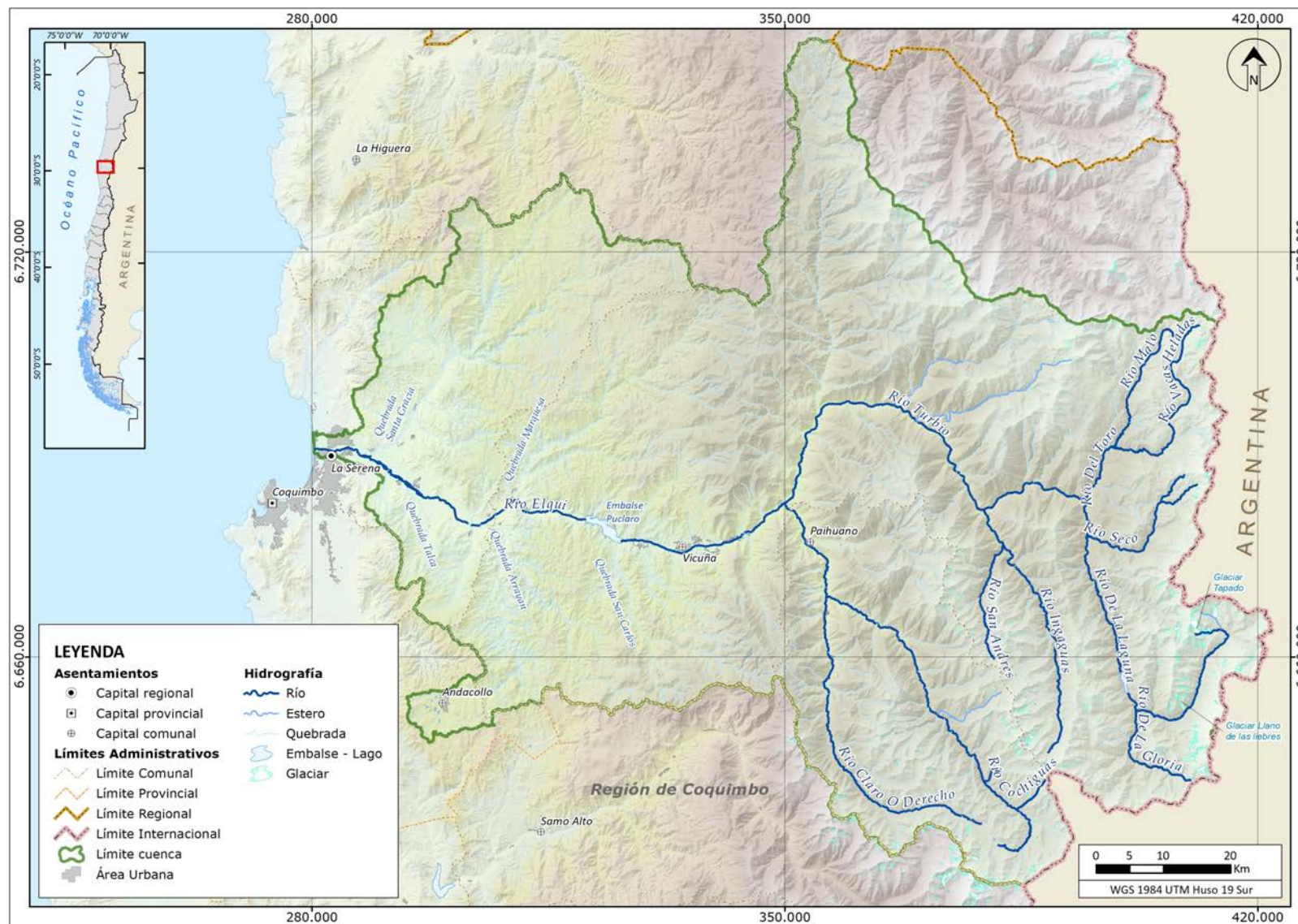
Tabla 4.1-1 Regímenes y caudales promedio histórico en la cuenca del río Elqui

Cód. BNA	Estación Fluviométrica	Q _{medio anual} (m ³ /s)	Q _{medio DEF} (m ³ /s)	Q _{medio MAM} (m ³ /s)	Q _{medio JJA} (m ³ /s)	Q _{medio SON} (m ³ /s)	Régimen
4308001-6	Río Turbio en Varillar	5,9	8,5	5,1	3,9	6,1	Nival
4314002-7	Río Claro en Rivadavia	3,8	5,1	2,8	3,2	4,0	Nival
4323001-8	Río Elqui en Almendral	8,2	10,4	7,3	7,2	8,0	Nival

Nota: DEF diciembre-enero-febrero, MAM marzo-abril-mayo, JJA junio-julio-agosto, SON septiembre-octubre-diciembre.

Fuente: Elaboración propia en base a CR2 (2020).

Complementariamente, se presenta en la Figura 4.1-1 los principales ríos y esteros que conforman la hidrografía de la cuenca del río Elqui.



Fuente: Elaboración propia, basado en Mapoteca DGA (2019b).

Figura 4.1-1 Hidrografía de la cuenca del río Elqui

4.1.1.2 División administrativa

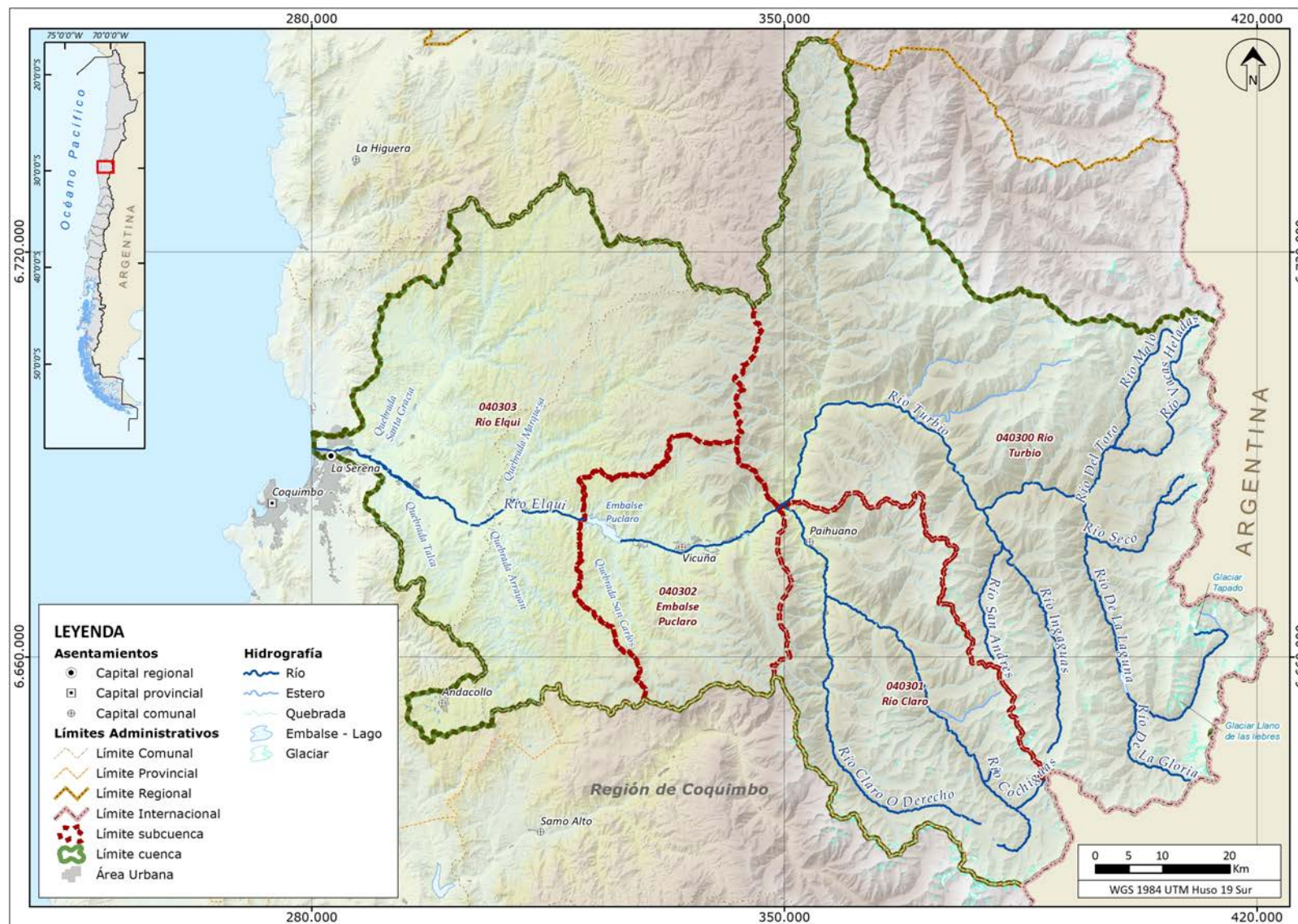
La cuenca del río Elqui tiene una superficie de 9.408 km² y se divide en 4 subcuencas, las cuales se presentan en la Tabla 4.1-2. En la Figura 4.1-2 se presentan la cuenca y las subcuencas del río Elqui.

Tabla 4.1-2 División administrativa de la cuenca del río Elqui

Código Cuenca	Nombre Cuenca	Código Subcuenca	Nombre Subcuenca	Superficie (km²)
0403	Río Elqui	040300	Río Turbio	4.124
		040301	Río Claro	1.513
		040302	Embalse Puclaro	939
		040303	Río Elqui	2.832

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

Fuente: Elaboración propia basada en Mapoteca DGA.



Fuente: Elaboración propia basada en Mapoteca DGA (2019b).

Figura 4.1-2 Cuenca y subcuencas del río Elqui

4.1.1.3 Restricciones de uso sobre fuentes superficiales

Con la finalidad de tener una visión amplia de los problemas de escasez que existen y/o han ido apareciendo temporalmente, se presentan seguidamente las restricciones al uso de agua en la cuenca, en sus diferentes figuras de protección de las aguas superficiales. En el acápite 3.3.1.2 del Anexo F se presenta la definición de cada restricción considerada.

A su vez, en la Figura 4.1-3 se representan las medidas vigentes de restricción al uso de agua de la cuenca del río Elqui. En los Anexos J.8.1 y J.8.3 se recopilan los antecedentes relativos a restricciones de uso de aguas superficiales en la cuenca.

i. Declaraciones de agotamiento de aguas superficiales

En la Tabla 4.1-3 se muestra la declaración de agotamiento de aguas superficiales que afecta la cuenca del río Elqui.

Tabla 4.1-3 Declaración de agotamiento en la cuenca del río Elqui

Cuenca	Limitación	Res. DGA N°	Fecha Res. DGA
Río Elqui y sus afluentes	Declaración de agotamiento	1515	25-05-2009

Fuente: Elaboración propia basada en Mapoteca DGA (2019b).

ii. Zonas de conservación

Las áreas colocadas bajo protección oficial y sitios prioritarios en la cuenca del río Elqui se han identificado y recopilado en el apartado 2.3.1.3. del presente documento.

Seguidamente se enumeran únicamente las áreas protegidas, sitios Ramsar y Reservas de la Biosfera de la cuenca, esto es, zonas de conservación con protección oficial y una descripción general, mientras que en la Figura 4.1-3 se muestra su ubicación:

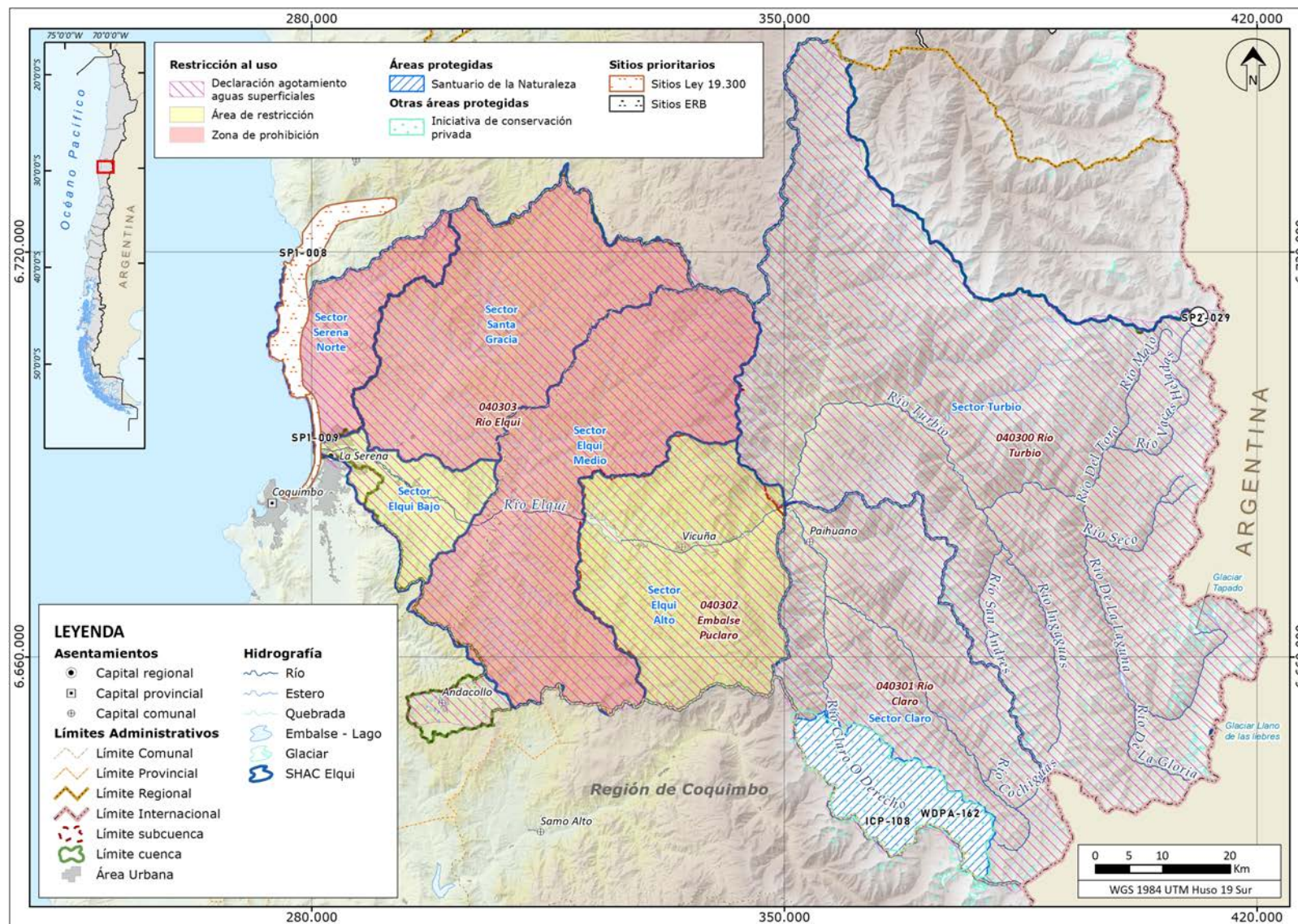
- Santuario de la Naturaleza: Estero Derecho (WDPA-162). Se ubica dentro del cordón del valle transversal situado más al norte de la región de Coquimbo, en la zona cordillerana de Valle de Elqui, en la comuna de Paihuano. La zona referida provee diversos servicios ecosistémicos de suministro, regulación y recreación, destacando entre ellos la provisión de agua. El área constituye una cabecera de cuenca que abastece de agua a todo el valle de Paihuano, así como al valle de la provincia de Elqui, producto de la acumulación de nieve en invierno y de la presencia de numerosos glaciares rocosos. La gran cantidad de vegas altoandinas presentes en el área proveen el servicio de regulación del agua, a través de la purificación de ésta. La mantención de la cobertura vegetal, por su parte, permite la regulación del clima a escala local, de la temperatura y precipitaciones, y regula la erosión, reteniendo el suelo y previniendo los deslizamientos de tierra.

En el Anexo J.2 se adjunta la ficha RNAP (MMA, 2020a) de esta zona de conservación. Cabe señalar que los Sitios Prioritarios para la Conservación de la Biodiversidad, si

bien pueden tener vínculos con los recursos hídricos de la cuenca, no tienen carácter de categoría de protección.

iii. Decretos de reserva

No se han dictado decretos de reserva en la cuenca del río Elqui.



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

Figura 4.1-3 Zonas con diferentes grados de restricción al uso de agua en la cuenca del río Elqui

iv. Decretos de escasez hídrica

En la cuenca del río Elqui, en el periodo 2014-2020, se han declarado un total de 14 decretos de escasez. En el Anexo J.8.3.1 se enumeran los decretos de escasez hídrica históricos promulgados parcial o totalmente en la cuenca. Actualmente, se encuentra vigente el siguiente decreto de escasez hídrica sobre la cuenca del río Elqui:

- N° 72 de 01 de julio de 2020 con fecha de caducidad el 01 de enero del 2021, en la provincia del Elqui.

En la Figura 4.1-4 se muestran aquellos años en que, a nivel comunal, se ha declarado algún decreto a lo largo del año. Se observa, en términos generales, la afectación del conjunto de la cuenca desde 2018 hasta la actualidad.

Cuenca	Provincia	Comuna	Decretos de escasez hídrica						
			2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Río Elqui	Elqui	La Serena							
		Vicuña							
		Paihuano							
		Andacollo							

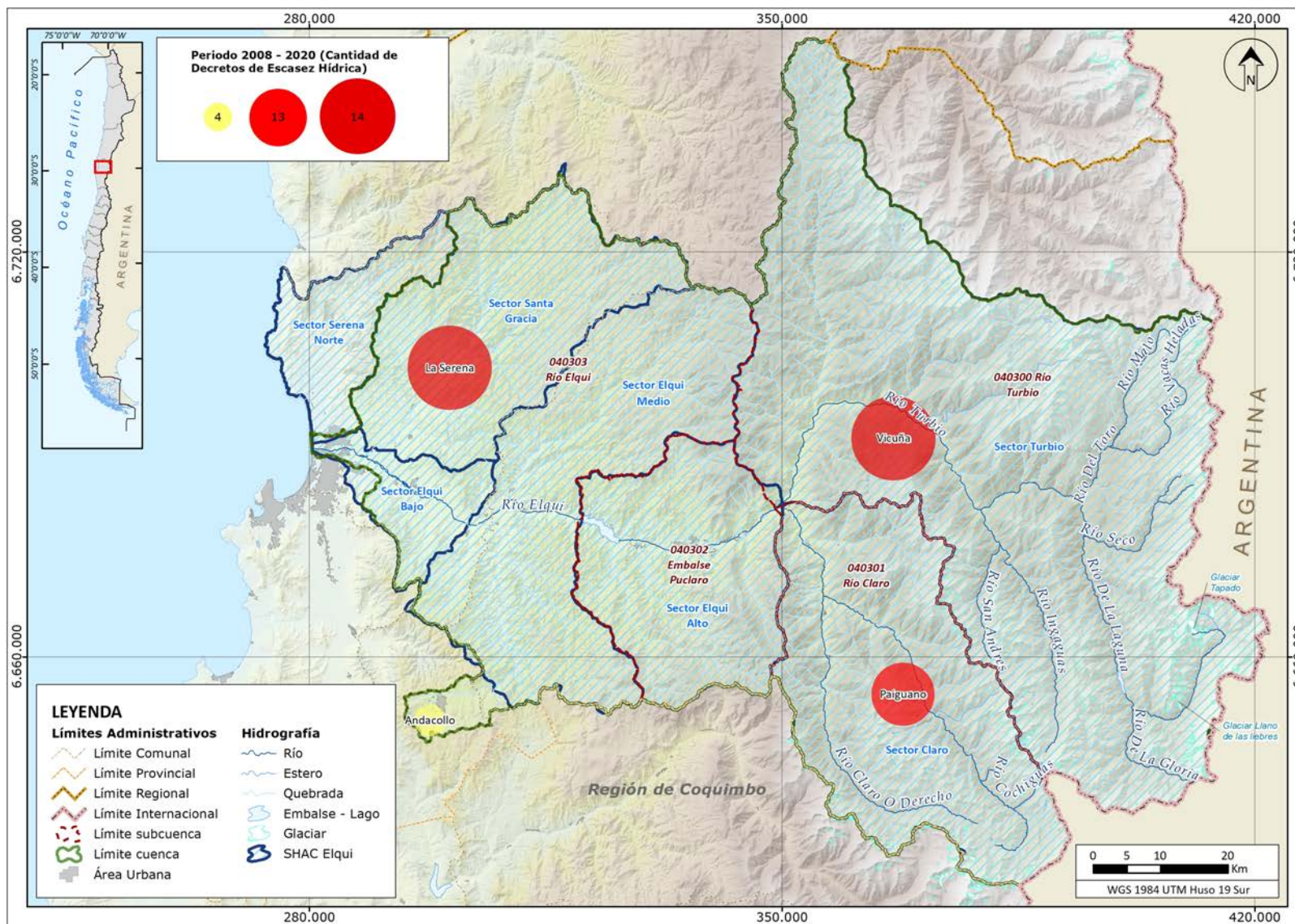
Nota: Celda con color indica la existencia de decretos en el año, que pueden ser hasta 2.

Fuente: Elaboración propia basada en DGA (2020a).

Figura 4.1-4 Distribución temporal y espacial de los decretos de escasez hídrica (2014-2020) en la cuenca del río Elqui

En la Figura 4.1-5 se presenta la cuantificación de estos decretos a escala comunal.

El total de solicitudes aprobadas en la cuenca del río Elqui, con cargo al Decreto de Escasez Hídrica N° 156 (31/12/2019), el 100% corresponden a aguas subterráneas, por lo que esta información será analizada en el apartado 4.2.1.3.



Fuente: Elaboración propia en base a DGA (2020a).

Figura 4.1-5 Decretos de escasez históricos por comuna , periodo 2008-2020

4.1.2 Oferta en la fuente

De acuerdo a los resultados del modelo numérico acoplado sin demandas ni obras de regulación, detallado en el Apéndice H-8 (acápite 1.1), se presenta en la Tabla 4.1-4 la oferta hídrica, considerando las probabilidades de excedencia 50 (Q50) y 85% (Q85). Las curvas de duración en los 11 puntos de control del modelo, en los cuales se tomó un año base por calibración del mismo, se pueden consultar en el Apéndice referido.

Tabla 4.1-4 Oferta en la fuente, periodo 1993 - 2019

Estación	Q ₅₀ (m ³ /s)	Q ₈₅ (m ³ /s)
Río Toro antes junta Río La Laguna	0,498	0,377
Estero Derecho en Alcohuaz	0,548	0,291
Estero Culebrón en El Sifón	1,078	0,117
Río Cochiguaz en El Peñón	1,138	0,808
Río La Laguna en Salida Embalse La Laguna	1,370	0,225
Río Claro en Rivadavia	1,569	0,977
Río Elqui en La Serena	3,584	1,462
Río Turbio en Varillar	4,547	2,555
Río Elqui en Almendral	6,514	3,762
Río Elqui en Algarrobal	6,929	4,026
Río Elqui Salida Embalse	6,982	4,238

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3 Oferta en la fuente proyectada

De acuerdo a los resultados del modelo numérico acoplado en el periodo 2019 - 2050, considerando cambio climático sin demandas ni obras de regulación, se presenta en la Tabla 4.1-5 la oferta hídrica para las probabilidades de excedencia 50 y 85% en las estaciones fluviométricas. Las curvas de duración en los 11 puntos de control del modelo se muestran en el Apéndice H-8 (acápite 1.2), en los cuales se tomó un año base por calibración del modelo.

Tabla 4.1-5 Oferta en la fuente, periodo 2019 - 2050

Estación	Q ₅₀ (m ³ /s)	Q ₈₅ (m ³ /s)
Río Toro antes junta Río La Laguna	0,515	0,315
Estero Derecho en Alcohuaz	0,467	0,225
Estero Culebrón en El Sifón	0,053	0,041
Río Cochiguaz en El Peñón	1,161	0,527
Río La Laguna en Salida Embalse La Laguna	1,499	0,333
Río Claro en Rivadavia	2,142	0,972
Río Elqui en La Serena	8,100	4,107
Río Turbio en Varillar	5,935	3,262
Río Elqui en Almendral	7,854	4,470
Río Elqui en Algarrobal	7,925	4,245
Río Elqui Salida Embalse	7,994	4,553

Fuente: Elaboración propia.

4.1.4 Calidad actual

La calidad de las aguas en la cuenca, tanto superficiales como subterráneas, se ha caracterizado a partir de las estaciones de calidad pertenecientes a la Red Hidrométrica de la DGA. Esta caracterización de las aguas se ha realizado basándose en el estudio "Estimación de la demanda actual, proyecciones futuras y caracterización de la calidad de los recursos hídricos en Chile" (DGA, 2017a).

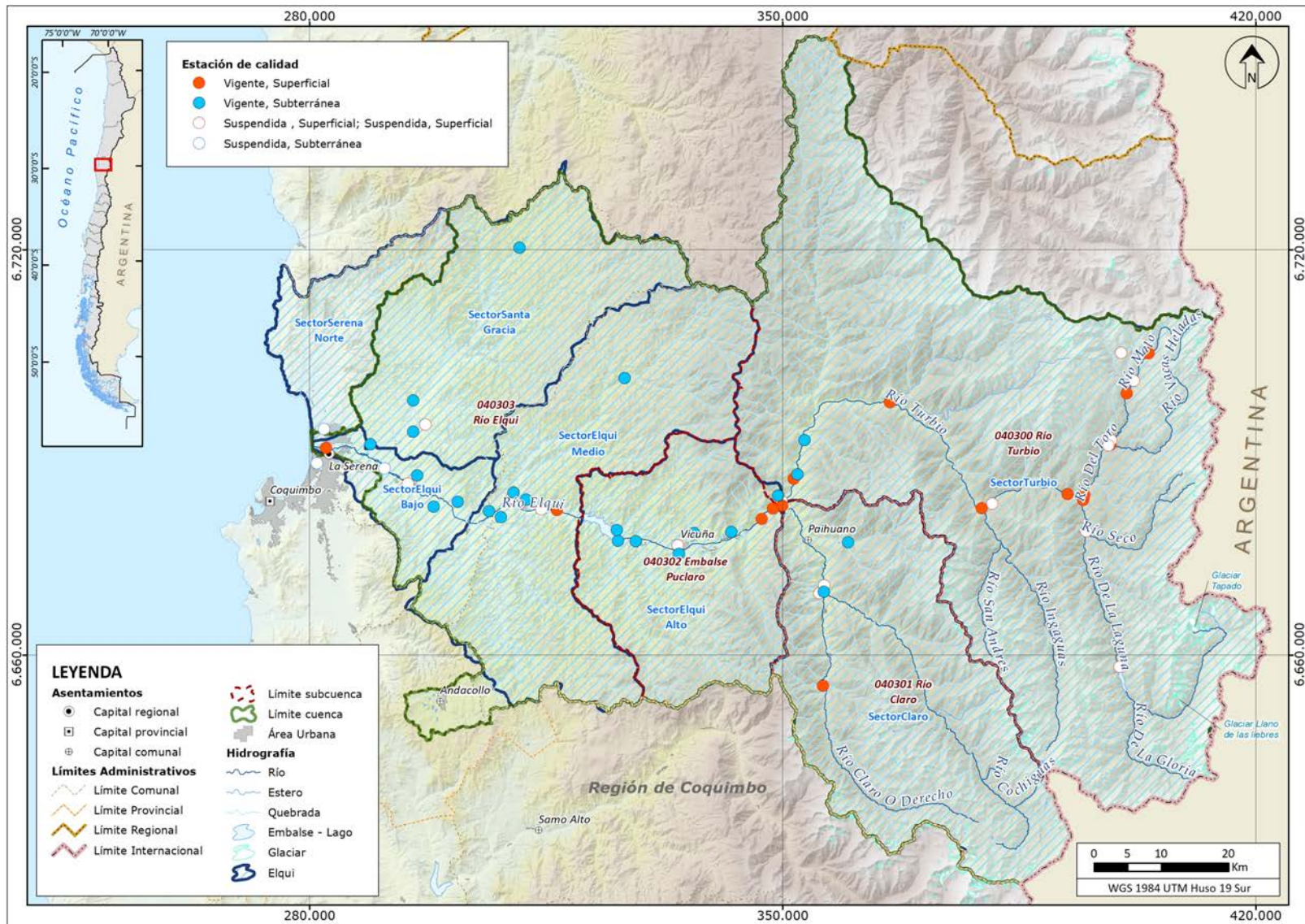
En la Tabla 4.1-6 se presentan las estaciones destinadas a control de calidad de aguas dentro de la cuenca a partir de las cuales se ha realizado dicha caracterización y/o que fueron utilizadas en el diagnóstico del estado de la calidad, indicando detalles sobre su estado, ubicación y el tipo de estación a la cual corresponde. Adicionalmente se presenta la Figura 4.1-6 con la disposición espacial de dichas estaciones.

Tabla 4.1-6 Registro de estaciones de control de calidad de agua analizadas en la cuenca del río Elqui

Código Subc.	Código BNA	Nombre Estación	Estado medición calidad	Coordenadas		Tipo Estación
				Este 84	Norte 84	
40300	4301001-8	RÍO LA LAGUNA ANTES JUNTA RÍO DEL TORO	Vigente	394513	6682909	Superficial
	4301002-6	RÍO LA LAGUNA EN SALIDA EMBALSE LA LAGUNA	Suspendida	399863	6658260	Superficial
	4301004-2	RÍO LA LAGUNA DESPUES RÍO SECO (CA)	Suspendida	394917	6678307	Superficial
	4302001-3	RÍO TORO ANTES JUNTA RÍO LA LAGUNA	Vigente	394646	6683722	Superficial
	4302002-1	RÍO MALO AGUAS ABAJO TRANQUE RELAVES EL INDIO	Vigente	404121	6704658	Superficial
	4302003-K	DREN G TRANQUE EL INDIO (2-D DRENES)	Vigente	404160	6704666	Superficial
	4302004-8	RÍO VACAS HELADAS ANTES JUNTA RÍO MALO	Vigente	398488	6691124	Superficial
	4302005-6	RÍO MALO ANTES JUNTA RÍO VACAS HELADAS	Vigente	398507	6691140	Superficial
	4302007-2	RÍO MALO DESPUES FAENA MINERA EL INDIO	Suspendida	401953	6700577	Superficial
	4302009-9	ESTERO NEGRO ANTES RÍO MALO (CA)	Suspendida	400114	6704727	Superficial
	4302011-0	BAÑOS DEL TORO (CA)	Vigente	400932	6698743	Superficial
	4302012-9	RÍO TORO ANTES RÍO VACAS HELADAS (CA)	Suspendida	398621	6691784	Superficial
	4302013-7	RÍO VACAS HELADAS ANTES RÍO TORO (CA)	Suspendida	398205	6691019	Superficial
	4303001-9	RÍO TURBIO DESPUES RÍO TORO Y RÍO LA LAGUNA	Vigente	392163	6683821	Superficial
	4303002-7	RÍO TURBIO ANTES RÍO INCAGUAZ (CA)	Suspendida	381018	6682373	Superficial
	4304002-2	RÍO INGAGUAZ ANTES JUNTA RÍO TURBIO	Vigente	379455	6681731	Superficial
	4306001-5	RÍO TURBIO EN HUANTA	Vigente	365906	6697376	Superficial
	4308001-6	RÍO TURBIO EN VARILLAR	Vigente	351661	6686061	Superficial
4308002-4	RÍO TURBIO ANTES RÍO CLARO (CA)	Suspendida	349906	6682751	Superficial	
4308007-5	APR CHAPILCA	Vigente	353230	6691800	Subterránea	
4308008-3	APR VARILLAR	Vigente	352198	6686736	Subterránea	
40301	4311001-2	ESTERO DERECHO EN ALCOHUAZ	Vigente	355969	6655437	Superficial
	4311002-0	RÍO DERECHO ANTES RÍO COCHIGUAS (CA)	Suspendida	355459	6669136	Superficial
	4313002-1	RÍO COCHIGUAS ANTES ESTERO DERECHO (CA)	Suspendida	355459	6669136	Superficial
	4314001-9	RÍO CLARO EN MONTEGRANDE	Suspendida	356140	6670285	Superficial
	4314002-7	RÍO CLARO EN RIVADAVIA	Vigente	349932	6682122	Superficial
	4311007-1	APR LA JARILLA	Vigente	356125	6669360	Subterránea
4314009-4	APR QUEBRADA DE PAIHUANO	Vigente	359700	6676673	Subterránea	
40302	4331003-8	RÍO ELQUI EN PUENTE LAS ROJAS	Vigente	348553	6681656	Superficial
	4320001-1	RÍO ELQUI EN ALGARROBAL	Vigente	346934	6680103	Superficial
	4320002-K	RÍO ELQUI EN VICUÑA (CA)	Suspendida	334467	6676231	Superficial
	4308009-1	APR RIVADAVIA	Vigente	349344	6683618	Subterránea
	4320019-4	APR DIAGÜITAS	Vigente	342424	6678195	Subterránea
	4320017-8	APR SAN ISIDRO-CALINGASTA	Vigente	336932	6678054	Subterránea
	4320018-6	APR LA COMPAÑIA	Vigente	334646	6674971	Subterránea
	4321009-2	APR EL TAMBO	Vigente	328294	6676845	Subterránea
	4321008-4	APR PUNTA AZUL	Vigente	325641	6676865	Subterránea
4321007-6	APR GUALLIGUAICA	Vigente	325457	6678457	Subterránea	
40303	4323001-8	RÍO ELQUI EN ALMENDRAL	Vigente	316645	6681433	Superficial
	4323004-2	RÍO ELQUI DESPUES MINERA ALMENDRAL (CA)	Suspendida	314336	6681533	Superficial

Código Subc.	Código BNA	Nombre Estación	Estado medición calidad	Coordenadas		Tipo Estación
				Este 84	Norte 84	
	4323006-9	RÍO ELQUI EN PUENTE MARQUEZA (CA)	Suspendida	309905	6683229	Superficial
	4331001-1	RÍO ELQUI EN PUNTA DE PIEDRA	Suspendida	297157	6694089	Superficial
	4331002-K	RÍO ELQUI EN PUENTE ALTOVALSOL (CA)	Suspendida	294562	6685346	Superficial
	4335001-3	RÍO ELQUI EN LA SERENA	Vigente	282472	6690625	Superficial
	4335011-0	POZO PARCELA 164 VEGA NORTE A-2	Suspendida	282158	6693464	Subterránea
	4335012-9	POZO PARCELA 484 ESQUINA C-13	Suspendida	281107	6688393	Subterránea
	4335013-7	POZO ALFALFARES C-14	Suspendida	291128	6687599	Subterránea
	4323016-6	APR EL MOLLE – POLLA ALTA	Vigente	312083	6682987	Subterránea
	4323015-8	APR MARQUESA – NUEVA TALCUNA	Vigente	310161	6684032	Subterránea
	4330002-4	APR LA CALERA	Vigente	308320	6680397	Subterránea
	4331019-4	APR PELÍCANA	Vigente	306535	6681290	Subterránea
	4324000-5	APR VIOLETA ALTA MARQUESA	Vigente	326631	6700962	Subterránea
	4331020-8	APR LAS ROJAS	Vigente	301926	6682656	Subterránea
	4331022-4	APR GABRIELA MISTRAL	Vigente	298345	6681944	Subterránea
	4331021-6	APR COQUIMBO ALTOVALSOL	Vigente	295954	6686551	Subterránea
	4332000-9	APR ALMIRANTE LATORRE	Vigente	311076	6720296	Subterránea
	4334004-2	APR LAMBERT	Vigente	295319	6697690	Subterránea
	4334005-0	APR EL ROMERO	Vigente	295351	6693039	Subterránea
	4334003-4	APR ISLÓN	Vigente	289025	6691165	Subterránea

Fuente: Elaboración propia, basado en Mapoteca DGA (2019b) y BNA.



Fuente: Elaboración propia, basado en Mapoteca DGA (2019b) y BNA.

Figura 4.1-6 Estaciones de calidad empleadas en la caracterización de la cuenca río Elqui

Para la determinación de la calidad de las aguas superficiales en la cuenca, se ha realizado en primer lugar una caracterización hidroquímica de las aguas; seguidamente, se presenta en análisis de parámetros relevantes en relación a las normas de referencia de agua potable (NCh409/05) y riego (NCh1333/78). La metodología aplicada se detalla en el acápite 3.3.1.3 del Anexo F.

4.1.4.1 Caracterización hidroquímica de aguas superficiales

Respecto la caracterización de las aguas superficiales, se ha considerado para ello la parte alta, la parte media y la parte baja de la cuenca del río Elqui, analizando sus características por separado. Se ha definido la parte alta de la cuenca del río Elqui como aquella asociada a las subcuencas “Río Turbio” (BNA 040300) y “Río Claro” (BNA 040301), ambas tributarias del río Elqui e inmersas la unidad geomorfológica Cordillera andina, en el borde oriental de la cuenca. La parte media está compuesta por la subcuenca “Embalse Puclaro” (BNA 040302), caracterizada también por las unidades geomorfológicas Cordones transversales y Llanos de sedimentación fluvial o aluvional, entre el punto de inicio del río Elqui hasta embalse que da nombre a la subcuenca. La parte baja, finalmente, está compuesta por la subcuenca “Río Elqui” (BNA 040303), desde el Embalse Puclaro hasta la desembocadura en el océano, inmersa en las unidades geomorfológicas Cordones transversales, Llanos de sedimentación fluvial o aluvional y Planicies marinas o fluviomarinas.

En la parte alta se observan diferencias en las dos subcuencas analizadas. Por una parte, la subcuenca “Río Turbio” presenta en general aguas del tipo $\text{SO}_4^{2-}\text{-Ca}^{2+}$, mientras que la subcuenca “Río Claro” presenta aguas del tipo $\text{HCO}_3^-\text{-Ca}^{2+}$. Al confluir ambas cuencas, se forma el río Elqui, donde se evidencia el predominio de aguas del tipo $\text{SO}_4^{2-}\text{-Ca}^{2+}$ tanto en la parte media como en la parte baja, siendo entonces más influyente el efecto del río Turbio que el del río Claro, de menor extensión. De igual forma, tanto en la parte media como en la parte baja se observa una mayor cantidad de HCO_3^- que en la subcuenca “Río Turbio”. Esto se mantiene hasta llegar al punto de cierre de la cuenca, donde en la estación “Río Elqui en La Serena” (BNA 4335001-3) se infiere una composición $(\text{Cl}^-\text{-SO}_4^{2-})\text{-Ca}^{2+}$, aunque con inclinación hacia el Cl^- .

Los diagramas para la totalidad de las estaciones superficiales identificadas en la cuenca se encuentran en Anexo J.9.1.

4.1.4.2 Estado de la calidad de agua superficiales

En este apartado se realiza una evaluación del estado de la calidad de las aguas continentales superficiales de la cuenca del río Elqui, a través de la información que aportan las estaciones de calidad pertenecientes a la Red Hidrométrica de la DGA, cuya identificación se realizó en la Figura 2.4-2. Este diagnóstico se basa principalmente en el estudio “Estimación de la demanda actual, proyecciones futuras y caracterización de la calidad de los recursos hídricos en Chile” (DGA, 2017a), y se presenta en detalle en el Anexo J.9.2.

Para los efectos de esta evaluación en específico, se consideraron los siguientes parámetros:

- Metales totales: As, Pb, Cu, Mo, Cr, Hg y Zn.
- Parámetros inorgánicos: Cl⁻, SO₄²⁻ y NO₃⁻.
- Parámetros físico-químicos: pH, CE y SDT.
- Parámetros microbiológicos: Coliformes Totales y *E. coli*

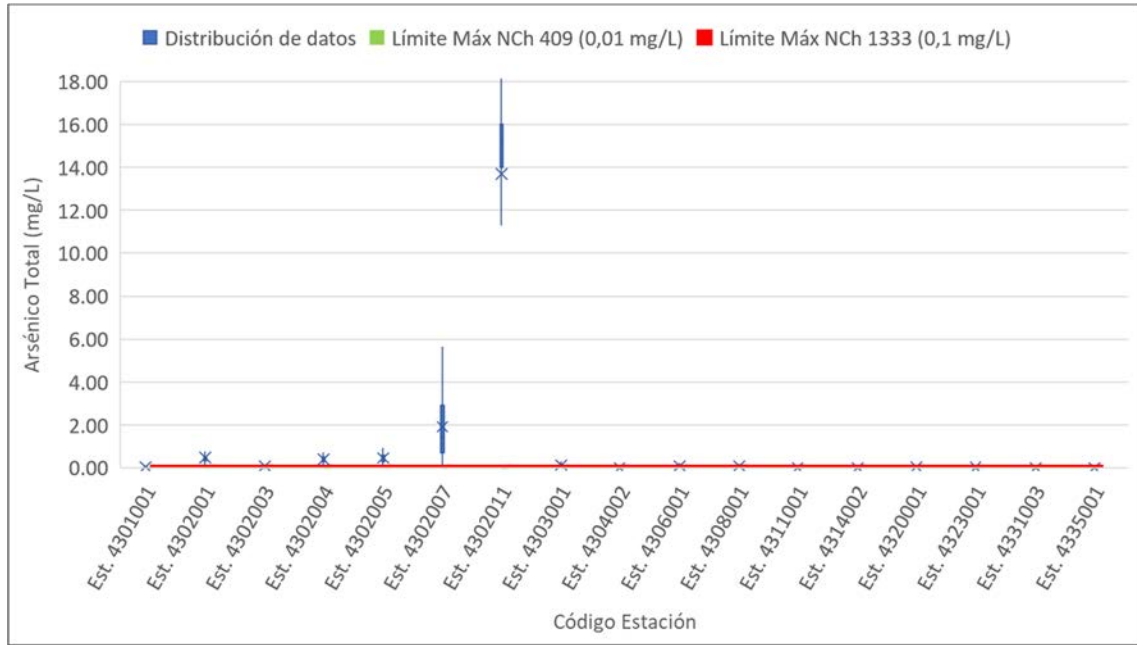
De acuerdo a los gráficos de cajas de las series de medición de los diferentes elementos considerados, se presentan a continuación los resultados obtenidos por parámetro, únicamente en los casos en que se supera alguna de las normas de referencia²¹ (NCh409/05 y/o NCh1333/78), según el grupo de análisis al que pertenece, centrandó el análisis en los resultados del rango intercuartil (RIC).

Metales

De acuerdo a las concentraciones de metales en aguas superficiales graficadas, se observan valores muy por sobre las normas NCh409/05 y NCh1333/78 en As, Cu y Zn.

Los casos de elevado contenido de As y Cu se observan en distintas zonas de la cuenca (Figura 4.1-7 y Figura 4.1-8). Los mayores valores se encuentran en la subcuenca "Río Turbio", en las estaciones "Río Toro antes junta río La Laguna" (BNA 4302001), "Río Vacas Heladas antes junta río Malo" (BNA 4302004-8), "Río Malo antes junta río Vacas Heladas" (BNA 4302005-6), "Río Malo después faena minera El Indio" (BNA 4302007-2), "Río Turbio después río Toro y río Laguna" (BNA 4303001-9), y "Río Turbio en Huanta" (BNA 4306001-5), todas de la parte alta de la cuenca, y las cuales superan ambas normas ya mencionadas. Se observa además otras cuatro estaciones con registros de As y de Cu superando la NCh409/05, siendo estas las estaciones "Río La Laguna antes junta río del Toro" (BNA 4301001-8), "Dren G Tranque El Indio (2-D Drenes)" (BNA 4302003-K), "Río Turbio en Varillar" (BNA 4308001-6) y "Río Elqui en Algarrobal" (BNA 4320001-1), estando las primeras tres en la parte alta de la cuenca y la última en la parte media.

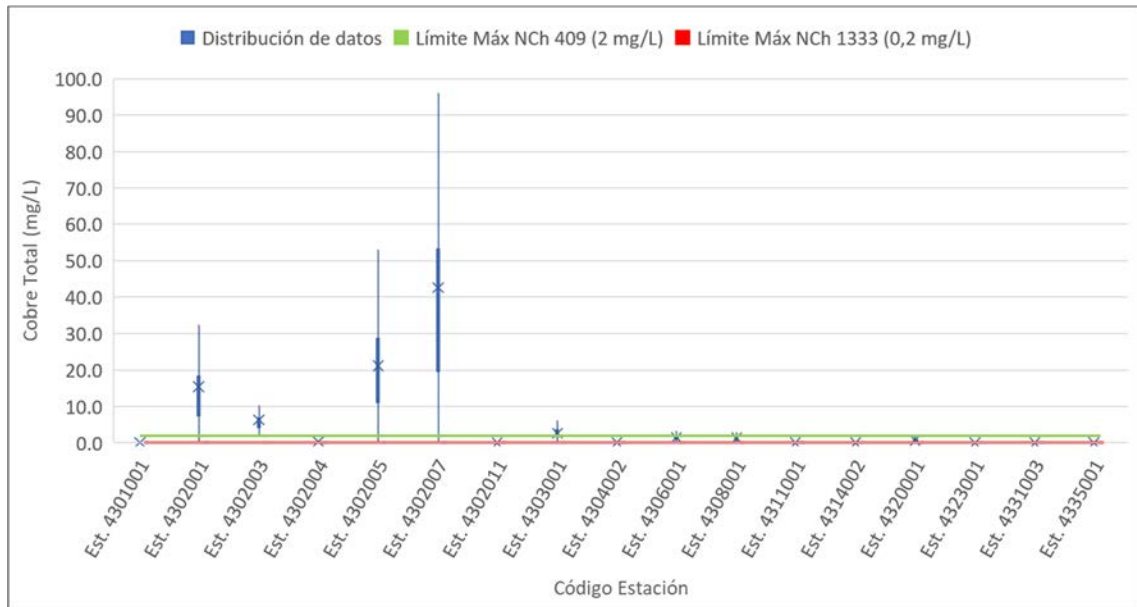
²¹ En el presente diagnóstico se ha considerado que supera la norma aquella estación que presenta valores por encima de la referencia hasta su cuartil superior (y/o inferior si la norma aplica un rango).



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

Nota: Los nombres de cada estación y su código equivalente se presenta en la Tabla 4.1-6.

Figura 4.1-7 Gráfico de Cajas – As Total (mg/l)



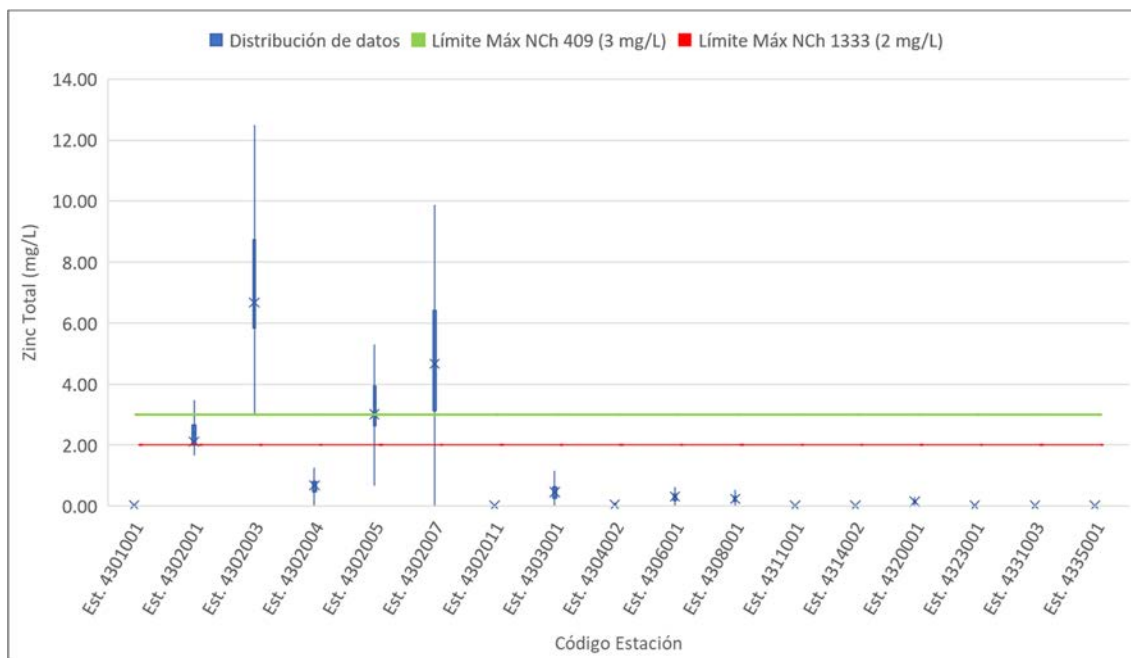
Fuente: Elaboración propia en base a DGA (2017a).

Nota: Los nombres de cada estación y su código equivalente se presenta en la Tabla 4.1-6.

Figura 4.1-8 Gráfico de Cajas – Cu Total (mg/l)

En el caso del Zn, presenta tres estaciones por sobre de ambas normas (NCh409/05 y NCh1333/78), siendo estas “Dren G Tranque El Indio (2-D Drenes)” (BNA 4302003-K), “Río Malo antes junta río Vacas Heladas” (BNA 4302005-6) y “Río Malo después faena minera El Indio”, (BNA 4302007-2). Se presenta, además, otra estación que supera la norma NCh1333/78, correspondiente a “Río Toro antes junta río La Laguna”

(BNA 4302001-3). Todas las estaciones mencionadas anteriormente se encuentran parte alta de la cuenca, dentro de la subcuenca “Río Turbio”.



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

Nota: Los nombres de cada estación y su código equivalente se presenta en la Tabla 4.1-6.

Figura 4.1-9 Gráfico de Cajas – Zn Total (mg/l)

Por otro lado, cabe aclarar que los datos registrados de Mo y Hg son los valores asignados cuando las medidas son menores que la sensibilidad del instrumento, por lo que no se puede aseverar si se cumplen o sobrepasan las normas de agua potable y/o riego.

Parámetros inorgánicos

Respecto el contenido de Cl^- (Figura 4.1-10), los valores muestran registros sobre lo estipulado en la NCh409/05 y la NCh1333/78 en la estación “Baños del Toro (CA)” (BNA 4302011-0), ubicada en cabecera de la subcuenca “Río Turbio”, mientras que en la estación “Río Elqui en La Serena” (BNA 4335001-3), en la parte baja de la cuenca (Subcuenca “Río Elqui”) presenta registros únicamente por encima de la NCh1333/78.

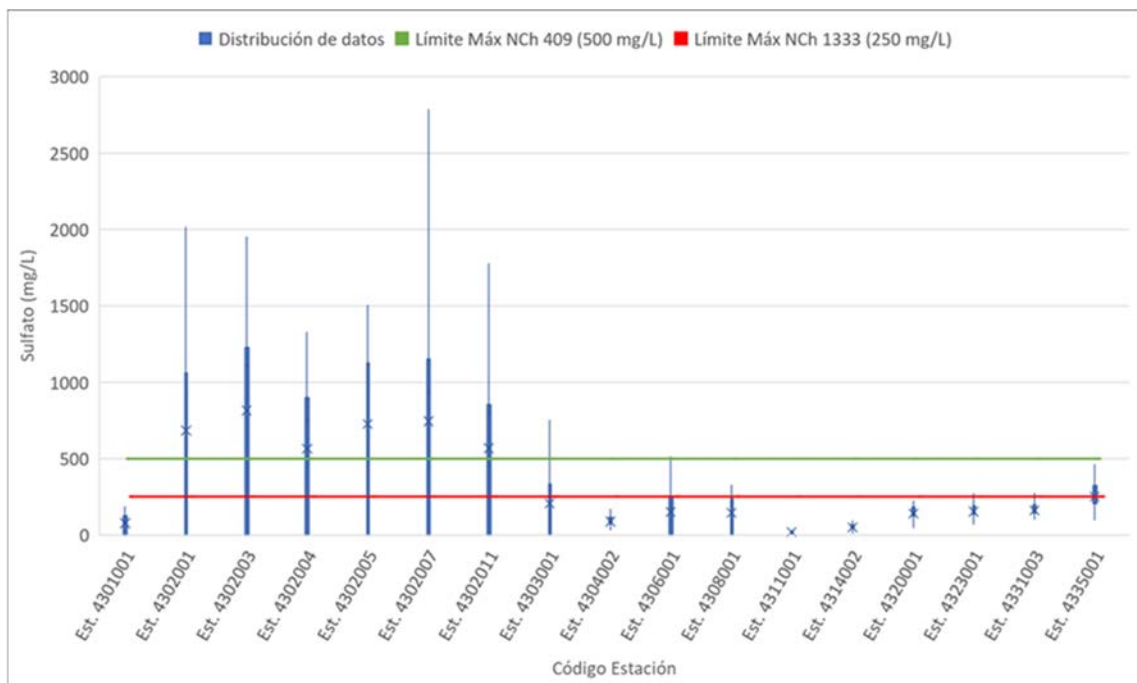
Por otra parte, el SO_4^{2-} presenta la mayor cantidad de estaciones con valores por sobre las normas NCh409/05 y NCh1333/78, siendo éstas las estaciones “Río Toro antes junta Río La Laguna” (BNA 4302001-3), “Dren G Tranque El Indio (2-D Drenes)” (BNA 4302003-K), “Río Vacas Heladas antes junta Río Malo” (BNA 4302004-8), “Río Malo antes junta Río Vacas Heladas” (BNA 4302005-6), “Río Malo después Faena Minera El Indio” (BNA 4302007-2) y “Baños del Toro (CA)” (BNA 4302011-0), todas en la subcuenca “Río Turbio”. Las estaciones “Río Turbio después Río Toro y Río La Laguna” (BNA 4303001-9) y “Río Elqui en La Serena” (BNA 4335001-3), presentan valores superando solamente la NCh1333/78 en este parámetro (Figura 4.1-11).



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

Nota: Los nombres de cada estación y su código equivalente se presenta en la Tabla 4.1-6.

Figura 4.1-10 Gráfico de Cajas – Cl⁻ (mg/l)



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

Nota: Los nombres de cada estación y su código equivalente se presenta en la Tabla 4.1-6.

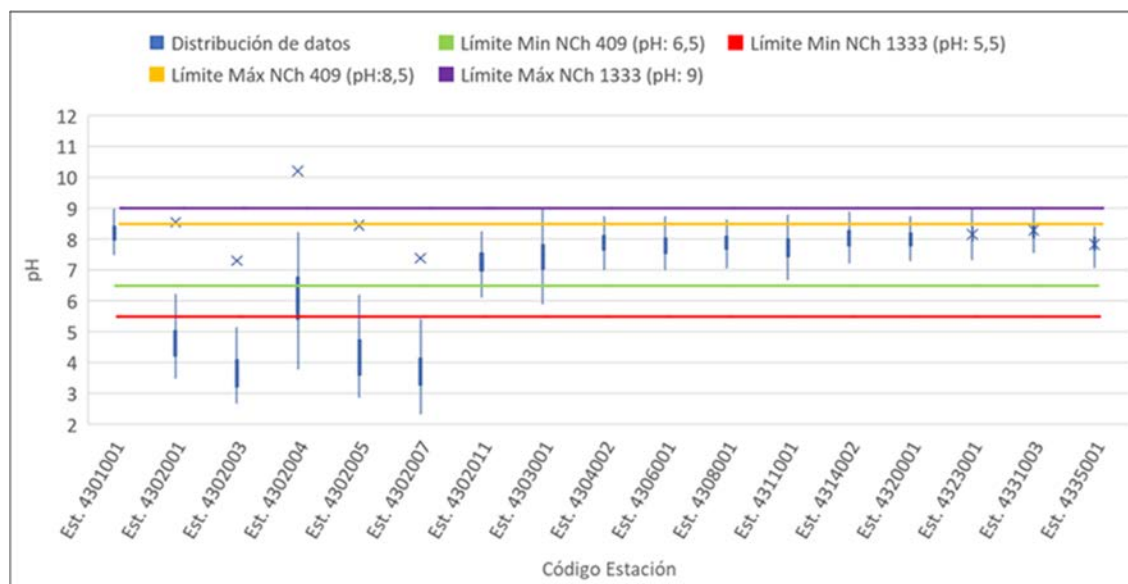
Figura 4.1-11 Gráfico de Cajas – SO₄²⁻ (mg/l)

En el caso del NO_3^- , las concentraciones se mantienen bajo las normas en todos los puntos monitoreados en la cuenca.

Parámetros físico-químicos

Respecto del pH, existen 4 estaciones que no cumplen con los valores permitidos para NCh409/05 ni NCh1333/78, ubicadas en la subcuenca "Río Turbio", con registros ácidos (pH inferior a 5,5). Además, existe una estación con valores de pH por debajo de lo permitido por la NCh409/05 pero cumpliendo NCh1333/78. Las estaciones ubicadas en la parte media y baja de la cuenca se encuentran acordes a la normativa, con una tendencia de incremento de los valores de pH hacia aguas abajo (Figura 4.1-12).

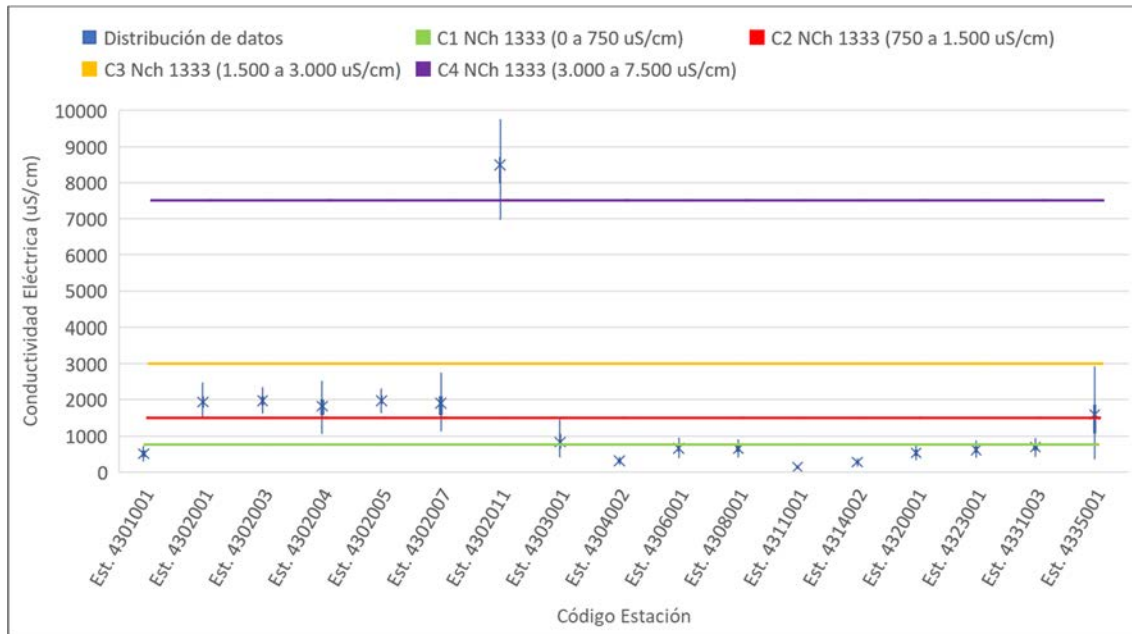
En lo relativo a la CE y SDT (Figura 4.1-13 y Figura 4.1-14), los valores graficados muestran las estaciones en la cabecera de la cuenca con registros de valores en el rango C3 (agua que puede tener efectos adversos en muchos cultivos y necesita de métodos de manejo cuidadoso), mientras que la parte media y baja de la cuenca en general presentan valores sin problemas. Excepciones a esto son la estación "Río Elqui en La Serena" (BNA 4335001-3) y la estación "Baños del Toro (CA)" (BNA 4302011-0), la cual presenta valores por sobre el rango C4 (agua que puede ser usada para plantas tolerantes en suelos permeables con métodos de manejo cuidadosos) y además supera con creces el límite de la NCh409/05 en relación a SDT.



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

Nota: Los nombres de cada estación y su código equivalente se presenta en la Tabla 4.1-6.

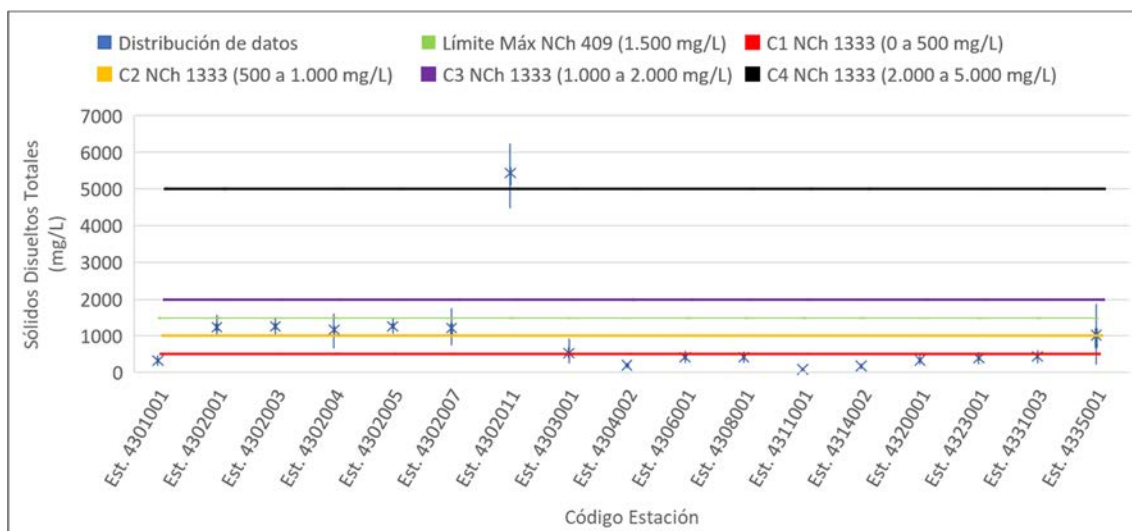
Figura 4.1-12 Gráfico de Cajas – pH



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

Nota: Los nombres de cada estación y su código equivalente se presenta en la Tabla 4.1-6.

Figura 4.1-13 Gráfico de Cajas – CE ($\mu\text{S/cm}$)



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

Nota: Los nombres de cada estación y su código equivalente se presenta en la Tabla 4.1-6.

Figura 4.1-14 Gráfico de Cajas – SDT (mg/l)

Parámetros microbiológicos

A partir de la información contenida en los PR018002 de la SISS en la cuenca del río Elqui hay una (1) fuente en operación de captación de agua superficial con información de calidad microbiológica. En dicha fuente, el parámetro *E. coli* ha estado presente de forma histórica en los resultados de análisis realizados a lo largo del tiempo, lo que indicaría que las aguas superficiales presentarían una contaminación microbiológica debido a aguas residuales o contaminación de residuos animales.

4.1.5 Fuentes de contaminación

Con base en la evaluación de la calidad de las aguas superficiales efectuada en los numerales precedentes, se pueden establecer que los resultados presentados para la cuenca del río Elqui presentan una variabilidad importante dentro de la cuenca, con altas concentraciones de elementos metálicos (As, Cu y Zn) y parámetros como SO_4^{2-} , pH y SDT en la subcuenca “Río Turbio”, por sobre las normas de agua potable y riego. Este comportamiento particular de esta subcuenca, estaría relacionado con la presencia de actividades mineras, depósitos de relaves y lixiviación natural de minerales sulfurados presentes en superficie. Al mezclarse estas aguas con las provenientes de la subcuenca “Río Claro”, se forma el río Elqui, y las concentraciones de los parámetros mencionados son diluidos a niveles aceptables para ambas normas. A medida que se avanza a la parte media y la parte baja de la cuenca, la aridez favorece el aumento progresivo de las concentraciones de SO_4^{2-} y Cl^- , llegando a superar la norma de riego en el punto “Río Elqui en La Serena” (BNA 4335001-3), el último antes de la desembocadura en el océano.

Además, al existir información solo de una fuente de agua superficial con registros reportados a SISS (PR018002) que incluyan concentraciones de Coliformes Totales (CT) o presencia de *E. coli*, no fue posible realizar el análisis microbiológico de las aguas superficiales a nivel de cuenca, presentando dicha fuente *E. coli* en todas sus mediciones.

El análisis de los riesgos de contaminación de las aguas superficiales se aborda de forma conjunta con el relativo a las aguas subterráneas, y se presenta en el acápite 4.2.4.

4.1.6 Derechos concedidos

A continuación, se presenta el análisis de los derechos de aprovechamiento de aguas (DAA) superficiales otorgados en la cuenca del río Elqui. 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.

Cabe mencionar que los resultados que se presentan a continuación consideran la equivalencia entre l/s y “acción” indicada en el estudio de la DGA “Diagnostico Nacional de Organizaciones de Usuarios” S.I.T. N.º 422, agosto 2018. Esta equivalencia corresponde a 1 acción = 1 l/s.

En la Tabla 4.1-7 se entrega el total de DAA subterráneas otorgados en la cuenca del río Elqui.

Tabla 4.1-7 DAA otorgados y Caudal otorgado

Naturaleza del Agua	Nº	Caudal (l/s)
Superficial	33	44.033

Fuente: Elaboración propia en base a información DGA (2020c).

Según se desprende de la Tabla 4.1-7, la base cuenta con 33 DAA en la cuenca, con un caudal otorgado de 44.033 l/s.

DAA otorgados según tipo de solicitud

En la Tabla 4.1-8 se entrega la distribución de los DAA superficiales de acuerdo al tipo de solicitud, esto es, Nuevos Derechos (ND), Solicitudes de Regularización (NR) y Derechos de Usuarios Antiguos (UA).

Tabla 4.1-8 DAA y caudal otorgado según tipo de solicitud

Tipo de solicitud ²²	N°	%	Caudal	
			l/s	%
Solicitudes de Nuevos Derechos (ND)	19	58	42.929	97,5
Solicitud de Regularización (NR)	5	15	171	0,4
Derechos de Usuarios Antiguos (UA)	9	27	933	2,1
Total	33	100	44.033	100

Fuente: Elaboración propia en base a información DGA (2020c).

Según se desprende de la Tabla 4.1-8, la mayor parte del caudal otorgado está asociada a solicitudes de tipo ND, lo que equivale al 97,5% del total, seguido muy por debajo por UA, representando el 2,1%.

DAA otorgados según tipo de Derecho y ejercicio del Derecho

En la Tabla 4.1-9 se presenta la distribución de los DAA superficiales otorgados según tipo de DAA y ejercicio del DAA. Cabe mencionar que el total (34), en este caso no es igual al total de derechos superficiales en la cuenca (33), dado que existe 1 DAA en la base de datos, cuyas captaciones no tiene un único ejercicio del DAA.

Tabla 4.1-9 DAA otorgados según Tipo de DAA y Ejercicio del DAA

Tipo de DAA y Ejercicio del DAA	N°	%	Caudal	
			l/s	%
Consuntivo	21	62	14.343	32,6
Eventual y Continuo	6	18	13.228	30,0
Permanente y Continuo	15	44	1.115	2,5
No Consuntivo	13	38	29.690	67,4
Eventual y Continuo	5	15	8.107	18,4
Eventual y Discontinuo	1	3	106	0,2
Permanente y Continuo	7	21	21.477	48,8
Total	34	100	44.033	100

Fuente: Elaboración propia en base a información DGA (2020c).

Según se desprende de la Tabla 4.1-9, la mayor parte de los DAA son de tipo consuntivo y de ejercicio permanente y continuo, lo que equivale al 44% del total de DAA superficiales otorgados en la cuenca. Respecto al caudal, no existe correlación, dado que el mayor caudal otorgado corresponde al de tipo no consuntivo y de ejercicio permanente y continuo, representado el 48,8% del caudal total.

²² Clasificación de la DGA respecto a las solicitudes de DAA: ND=Nuevos derechos; NR=Regularización de derechos; UA=Usuarios antiguos o merced de agua: derechos de aprovechamiento de aguas, otorgados y reconocidos como tal, antes de la creación de la DGA (1981).

Georreferenciación DAA en la cuenca del río Elqui

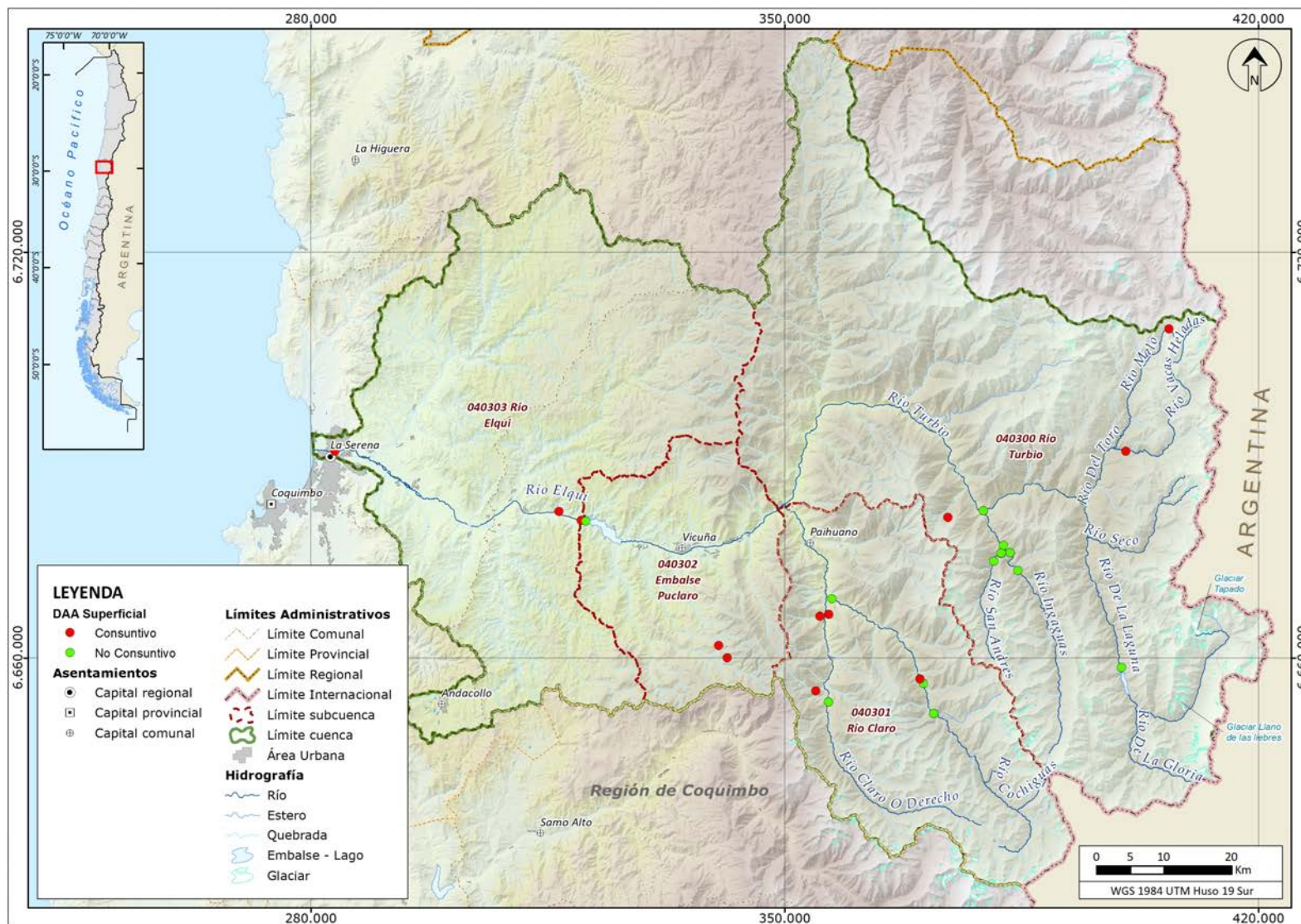
De la base de datos, 22 DAA cuentan con información necesaria para su georreferenciación, esto es, coordenadas UTM, Datum y Huso, lo que equivale al 67% del total de registros (Tabla 4.1-10).

Tabla 4.1-10 Total de DAA georreferenciados y no georreferenciados

Naturaleza del Agua	N°	DAA georreferenciado		DAA no georreferenciado	
		N°	%	N°	%
Superficial	33	22	67	11	33

Fuente: Elaboración propia en base a información DGA (2020c).

En la Figura 4.1-15 se muestra la ubicación geográfica de los puntos de captación superficiales asociados a cada DAA en la cuenca de Elqui.



Fuente: Elaboración propia en base a información DGA (2020c).

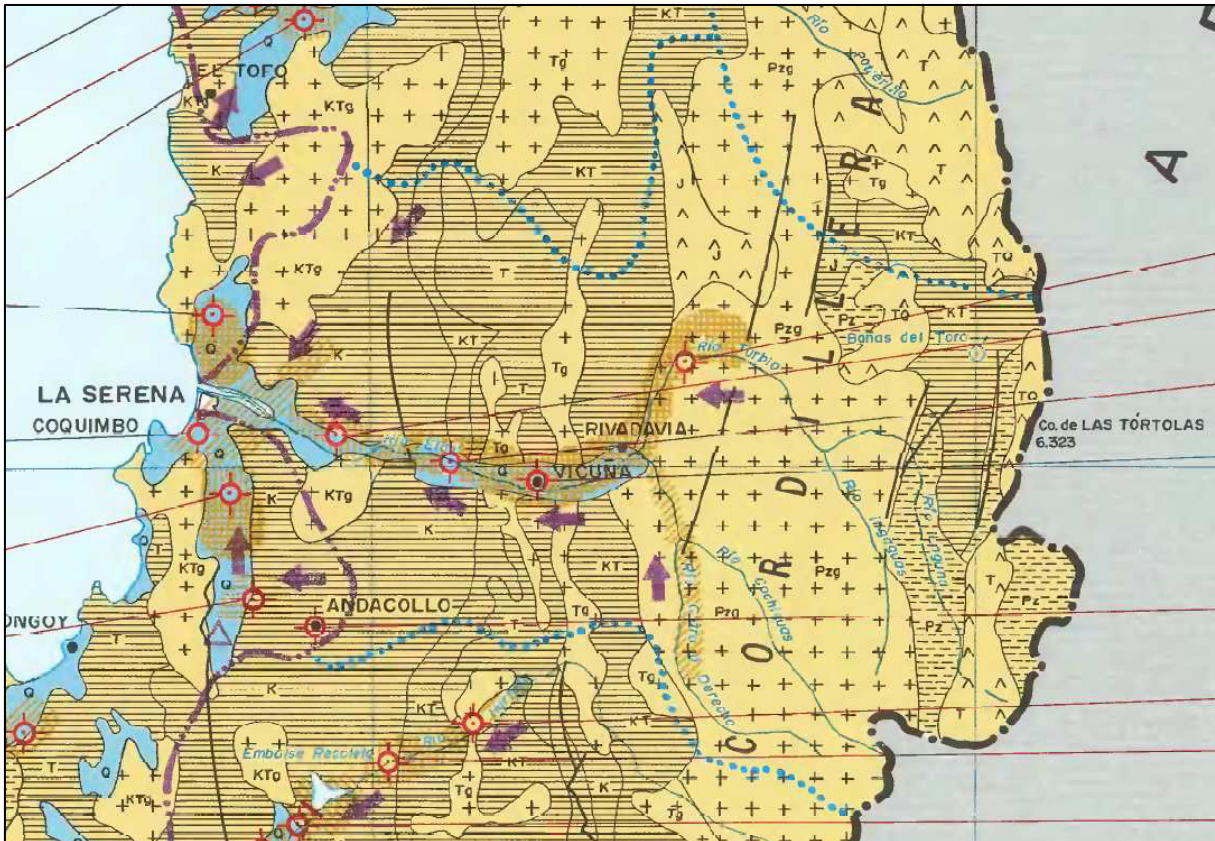
Figura 4.1-15 Ubicación geográfica de los puntos de captación asociados a los DAA superficiales en la cuenca del río Elqui

4.2 AGUA SUBTERRÁNEA

4.2.1 Fuentes subterráneas

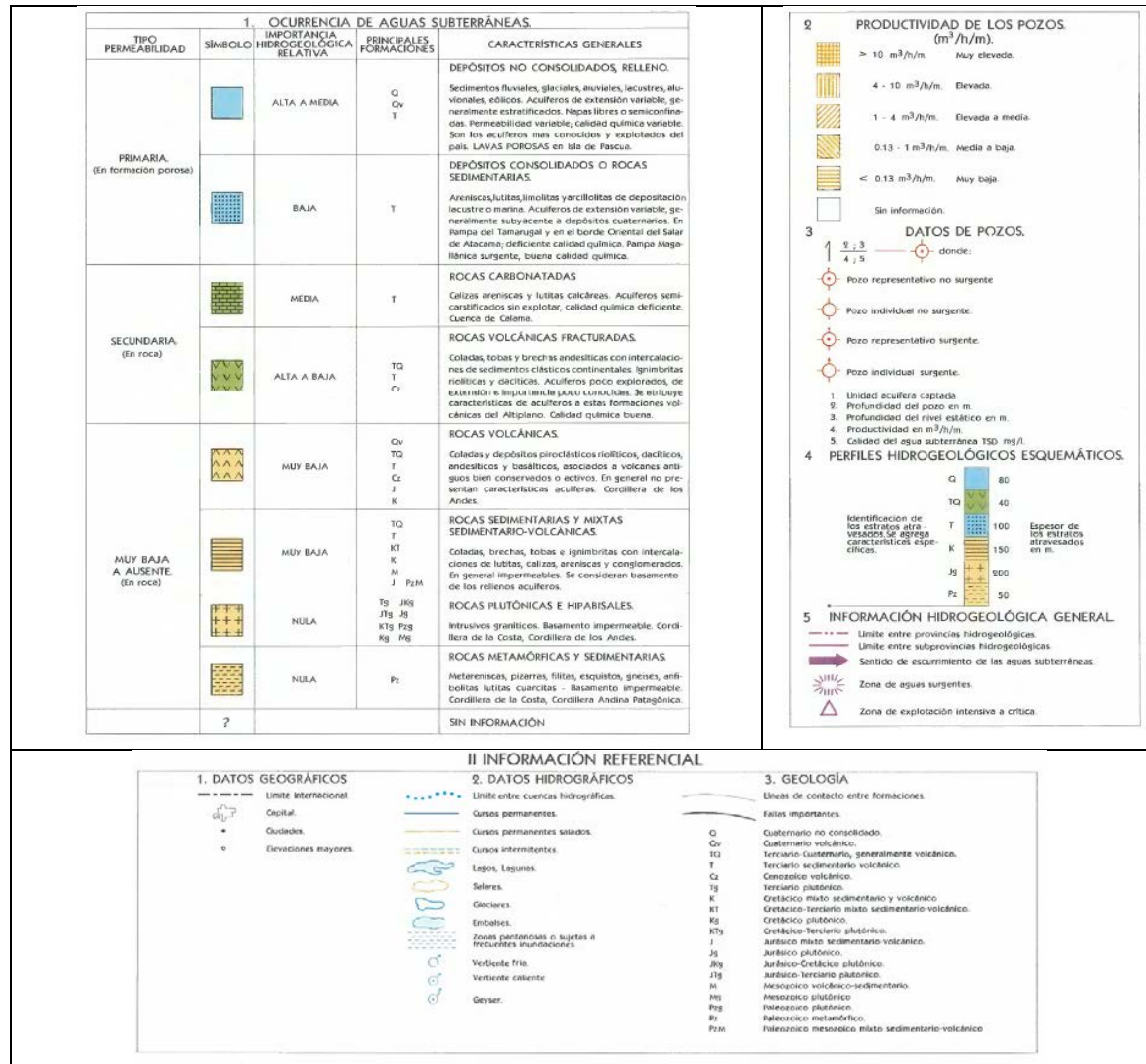
4.2.1.1 Identificación de fuentes

La Figura 4.2-1, obtenida del Mapa Hidrogeológico de Chile (DGA, 1989), representa las características hidrogeológicas principales en el conjunto de la cuenca del río Elqui. La leyenda se presenta en la Figura 4.2-2.



Fuente: DGA (1989).

Figura 4.2-1 Mapa hidrogeológico en la cuenca del río Elqui (escala 1:1.000.000)



Fuente: DGA (1989).

Figura 4.2-2 Leyenda de Mapa hidrogeológico en la cuenca del río Elqui (escala 1:1.000.000)

En términos generales, en la parte alta, destaca la existencia de permeabilidad muy baja debido a la existencia de rocas metamórficas y sedimentarias, volcánicas y plutónicas e hipabisales del período Paleozoico, motivo por el cual el escurrimiento subterráneo ocurre paralelo a los cauces (DGA, 2004).

Destacan tres escurrimientos, uno de los cuales fluye en dirección ESW paralelo al río Turbio hasta Rivadavia; este acuífero escurre a través de rocas de permeabilidad muy baja encauzándose paralelo al río. Por otro lado, y por un lecho de rocas plutónicas, en dirección SN escurren aguas subterráneas paralelas al río Claro o Derecho hasta la confluencia con el río Turbio en Rivadavia. Desde Rivadavia hasta la desembocadura en La Serena, el acuífero escurre en dirección EW, por depósitos no consolidados o rellenos con profundidades freáticas variables, encajonados por rocas volcánico-sedimentarias de muy baja productividad. En este sector, el acuífero freático que se extiende ininterrumpidamente a lo largo de todo el valle, sólo muestra un leve grado de semiconfinamiento en el sector terminal (La Serena). Existe un último acuífero que escurre en dirección NSW paralelo a la Cordillera de la Costa por rocas volcánico-sedimentarias del período Cretácico, para juntarse al flujo subterráneo principal en las cercanías de La Serena (DGA, 2004).

A lo largo de la cuenca, los rellenos sedimentarios que constituyen acuíferos se pueden separar en tres capas o niveles principales que en su conjunto no exceden los 250 m de potencia. El nivel más superficial corresponde a los primeros 15 m de profundidad y está compuesto por depósitos de gravas con arenas, ripio, bolones e intercalaciones menores de sedimentos finos. Estos depósitos presentan una baja compactación y buena a muy buena capacidad hídrica. El segundo nivel presenta un espesor variable entre 30 m y 120 m. Está compuesto por arenas de tamaño variable con gravas, bolones y arcillas e intercalaciones de lentes de arcilla de dimensiones variables. El nivel más profundo tiene espesores también variables entre 30 m y 120 m. Este "estrato" queda representado por una sucesión de interdigitaciones de niveles arenosos con gravas y niveles arcillosos con clastos de tamaño característicos de grava. Debido a su mayor compactación y menor granulometría, la capacidad hídrica de este último nivel es inferior a la del nivel superior. Bajo este nivel se dispone el basamento rocoso del acuífero (DGA, 2006).

En el sector de la desembocadura del río, la napa subterránea se presenta bastante superficial, contribuyendo al desarrollo de vegas y presentando además un alto contenido de sales, debido a la intrusión salina desde el mar. Al norte de la desembocadura se produce una importante descarga del acuífero debido a la evapotranspiración desde vegas.

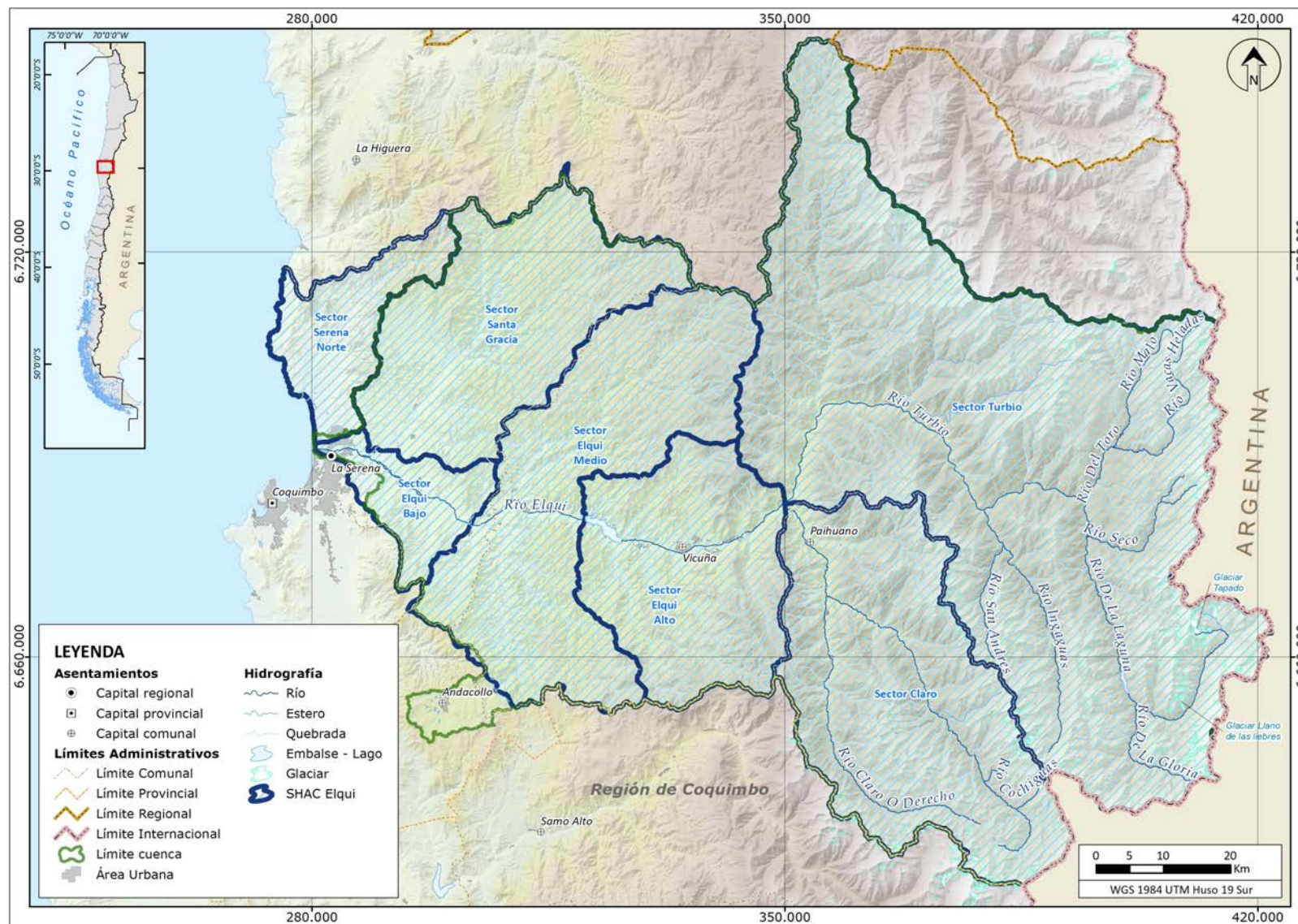
4.2.1.2 División administrativa

En cuanto a la gestión técnica y administrativa de las aguas subterráneas, el acuífero de Elqui está dividido en 7 SHAC. En la Tabla 4.2-1 se presenta el detalle de los sectores y en la Figura 4.2-3 se resume gráficamente.

Tabla 4.2-1 SHAC en el acuífero de Elqui

Cuenca	SHAC	Superficie (km²)
Río Elqui	Turbio	4.119
	Claro	1.515
	Elqui Alto	950
	Elqui Medio	1.401
	Elqui Bajo	276
	Santa Gracia	1.087
	Serena Norte	378

Fuente: Elaboración propia basada en Mapoteca DGA.



Fuente: Elaboración propia basada en Mapoteca DGA (2019b).

Figura 4.2-3 Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común de la cuenca del río Elqui

4.2.1.3 Restricciones de uso sobre fuentes subterráneas

Con la finalidad de tener una visión amplia de los problemas de escasez que existen y/o han ido apareciendo temporalmente, se presentan seguidamente las restricciones al uso de agua en la cuenca, en sus diferentes figuras de protección de las aguas subterráneas. En el acápite 3.3.1.2 del Anexo F se presenta la definición de cada restricción considerada.

A su vez, en la Figura 4.1-3 se representan las medidas vigentes de restricción al uso de agua de la cuenca del río Elqui. En los Anexos J.8.2 y J.8.3 se recopilan los antecedentes relativos a restricciones de uso de aguas subterráneas en la cuenca.

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

En la Tabla 4.2-2 se muestra el detalle de las áreas de restricción y zonas de prohibición de aguas subterráneas declaradas en la cuenca.

ii. Zonas de conservación

En el acápite 4.1.1.3 se describen las zonas de conservación.

iii. Decretos de reserva

No se han dictado decretos de reserva en la cuenca del río Elqui.

iv. Decretos de escasez hídrica

A fin de tener una estimación actual de la distribución geográfica y tipo solicitantes autorizadas en la cuenca, ha sido analizado el Decreto de Escasez Hídrica N°156 (31/12/2019) con fecha de caducidad 30 de junio del año 2020. Este análisis ha sido realizado con base en la información proporcionada por la DGA con fecha 27 de mayo del año 2020.

Bajo el decreto antes indicado fueron autorizadas 16 solicitudes de extracción, distribuidos en las comunas de La Serena, Paihuano y Vicuña. Se observa que el mayor caudal aprobado se concentra en la comuna de Vicuña con un 53,0%. Respecto al rubro solicitante, el único es Agua Potable Rural con 16 solicitudes y un caudal de 69,6 l/s.

El detalle de este análisis se presenta en el Anexo J.8.3.3.

Tabla 4.2-2 Áreas de restricción y zonas de prohibición en el acuífero del río Elqui

Acuífero	Sector	Limitación	Prov.	Sobreotorg.	Ley 20.411	Res. DGA N°	Fecha Res. DGA	Modif. Res. N°	Referencia y año
Elqui	Elqui Bajo	Área de Restricción	SI	NO	SI	74	21-03-2007	43, 24-07-2013	Informe Técnico N°101 (2013)
	Santa Gracia	Zona de Prohibición	NO	SI	SI	74	21-03-2007	43, 24-07-2013; 15, 15-11-2019	Informe Técnico N°233 (2019)
	Serena Norte	Zona de Prohibición	NO	SI	SI	74	21-03-2007	43, 24-07-2013; 15, 15-11-2019	Informe Técnico N°233 (2019)
	Elqui Alto	Área de Restricción	NO	SI	s/i	45	24-07-2013	-	Informe Técnico N°101 (2013)
	Elqui Medio	Zona de Prohibición	SI	NO	s/i	45	24-07-2013	15, 15-11-2019	Informe Técnico N°233 (2019)

Fuente: Elaboración propia basada en Mapoteca DGA (2019b).

4.2.2 Stock, recarga y niveles

En el presente acápite se presentan resultados y análisis extraídos desde los resultados del modelo numérico acoplado desarrollado en el Capítulo 5.

En lo que respecta al stock de agua subterránea, se realizó el cálculo del volumen de agua contenido en cada celda del modelo, considerando el coeficiente de almacenamiento del sector acuífero. Como resultado final, se obtuvo para la situación del modelo calibrado, marzo 2019, un stock de 1.122 Mm³.

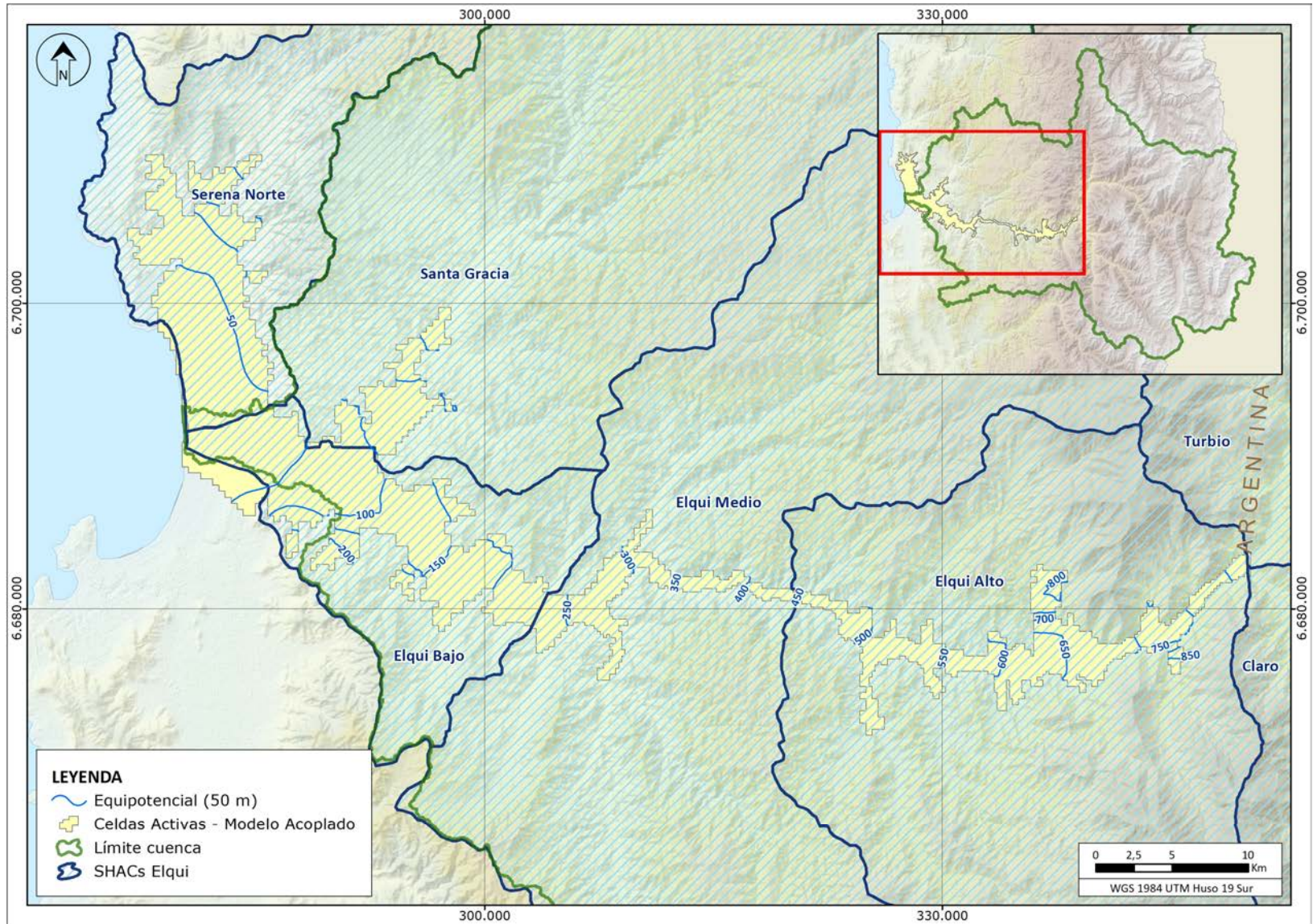
Respecto a la recarga en el sistema, en la Tabla 4.2-3 se presenta el resumen de entradas al modelo acoplado en el periodo de calibración (1994-2019), en el cual se especifican las recargas al sistema.

Tabla 4.2-3 Entradas Promedio 1994-2019 Modelo Acoplado

Entradas (l/s)	Serena Norte	Elqui Bajo	Santa Gracia	Elqui Medio	Elqui Alto	Total
Flujo subterráneo	33	343	2	263	150	150
Entrada desde carga constante	0	0	0	0	0	0
Recarga desde río	0	1402	0	303	666	2.371
Recarga superficial	333	1.438	254	968	1.161	4.153
Total	366	3.182	256	1.534	1.977	6.674

Fuente: Elaboración propia.

Por último, en lo referente a niveles freáticos en el dominio de modelación, en la Figura 4.2-4 se presenta se presentan las curvas equipotenciales calibradas en el acuífero del río Elqui, para marzo de 2019.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.2-4 Curvas Equipotenciales Modelo Acoplado marzo 2019

4.2.3 Estadística de parámetros de calidad

En el apartado 4.1.4 se presentan las estaciones de calidad de la red hidrométrica de la DGA, entre las que se encuentran pozos con monitoreo de calidad físico-química, y que han sido la base principal para el análisis del estado de las aguas subterráneas.

Para la determinación de la calidad de las aguas subterráneas en la cuenca, se ha realizado en primer lugar una caracterización hidroquímica de las aguas; seguidamente, se presenta en análisis de parámetros relevantes en relación a las normas de referencia de agua potable (NCh409/05) y riego (NCh1333/78). La metodología aplicada se detalla en el acápite 3.3.1.3 del Anexo F y los resultados en el Anexo J.9.

4.2.3.1 Caracterización hidroquímica de aguas subterráneas

Las estaciones de aguas subterráneas con mediciones históricas presentes dentro de la cuenca del Elqui se distribuyen exclusivamente en su parte baja, esto es, en los SHAC “Elqui Bajo” y “Serena Norte”. Para el análisis hidroquímico de las aguas subterráneas se recurre a los datos aportados por 3 pozos, los cuales fueron clasificados según sus diagramas de Piper y Stiff. En ellos se aprecia que, se observa el mismo efecto que tiene el ambiente costero en las aguas superficiales, siendo predominantemente las aguas del tipo Cl^- - Na^+ con importantes contenidos de HCO_3^- .

Los diagramas para la totalidad de las estaciones subterráneas identificadas en la cuenca se encuentran en Anexo J.9.1.

4.2.3.2 Estado de la calidad de agua subterráneas

En este apartado se realiza una evaluación del estado de la calidad de las aguas continentales subterráneas de la cuenca del río Elqui, a través de la información que aportan las estaciones de calidad pertenecientes a la Red Hidrométrica de la DGA, cuya identificación se realizó en la Figura 2.4-2. Este diagnóstico se basa principalmente en el estudio “Estimación de la demanda actual, proyecciones futuras y caracterización de la calidad de los recursos hídricos en Chile” (DGA, 2017a) y complementándose con los estudios de aguas subterráneas correspondientes a la cuenca (DGA, 2017b y 2018b), y se presenta en detalle en el Anexo J.9.2.

Para los efectos de esta evaluación en específico, se consideraron los siguientes parámetros:

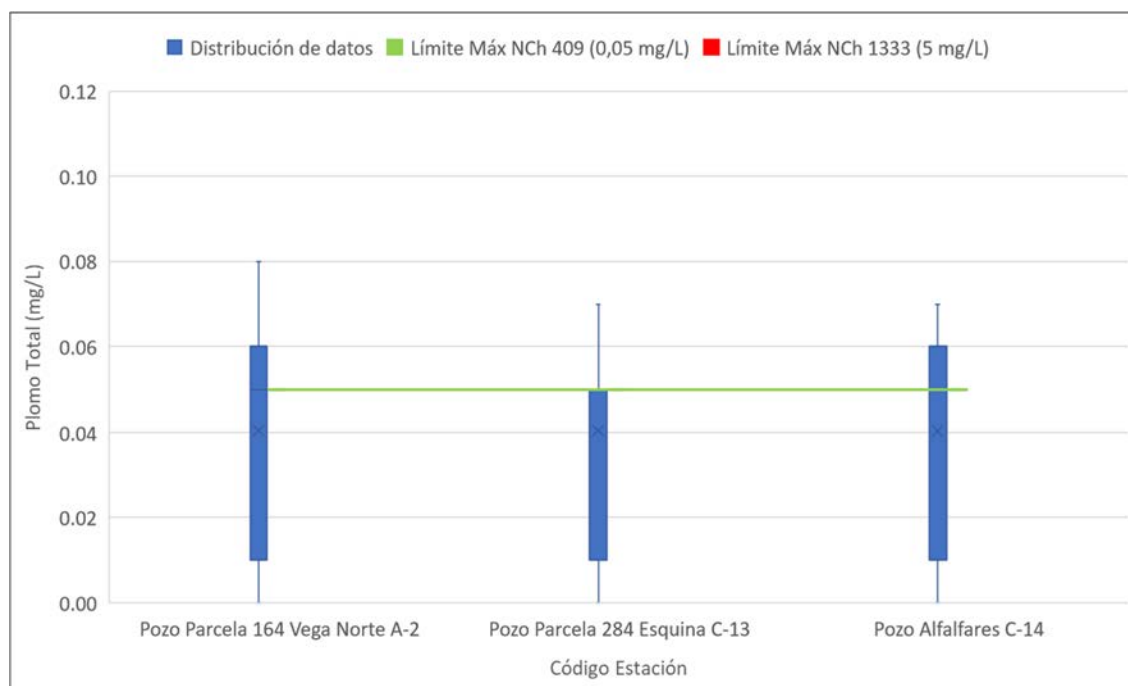
- Metales totales: As, Pb, Cu, Mo, Cr, Hg y Zn.
- Parámetros inorgánicos: Cl^- , SO_4^{2-} y NO_3^- .
- Parámetros físico-químicos: pH, CE y SDT.
- Parámetros microbiológicos: Coliformes Totales y *E. coli*

De acuerdo a los gráficos de cajas de las series de medición de los diferentes elementos considerados, se presentan a continuación los resultados obtenidos por parámetro, únicamente en los casos en que se supera alguna de las normas de

referencia²³ (NCh409/05 y/o NCh1333/78), según el grupo de análisis al que pertenece, centrando el análisis en los resultados del rango intercuartil (RIC).

Metales

Los parámetros metálicos revisados se encuentran bajo la normativa de referencia, salvo en los puntos “Pozo Parcela 164 Vega Norte A-2” (BNA 4335011-0) y “Pozo Alfalfares C-14” (BNA 4335013-7), donde supera los valores permitidos según la NCh409/05 para el Pb (Figura 4.2-5).



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

Nota: Los nombres de cada estación y su código equivalente se presenta en la Tabla 4.1-6.

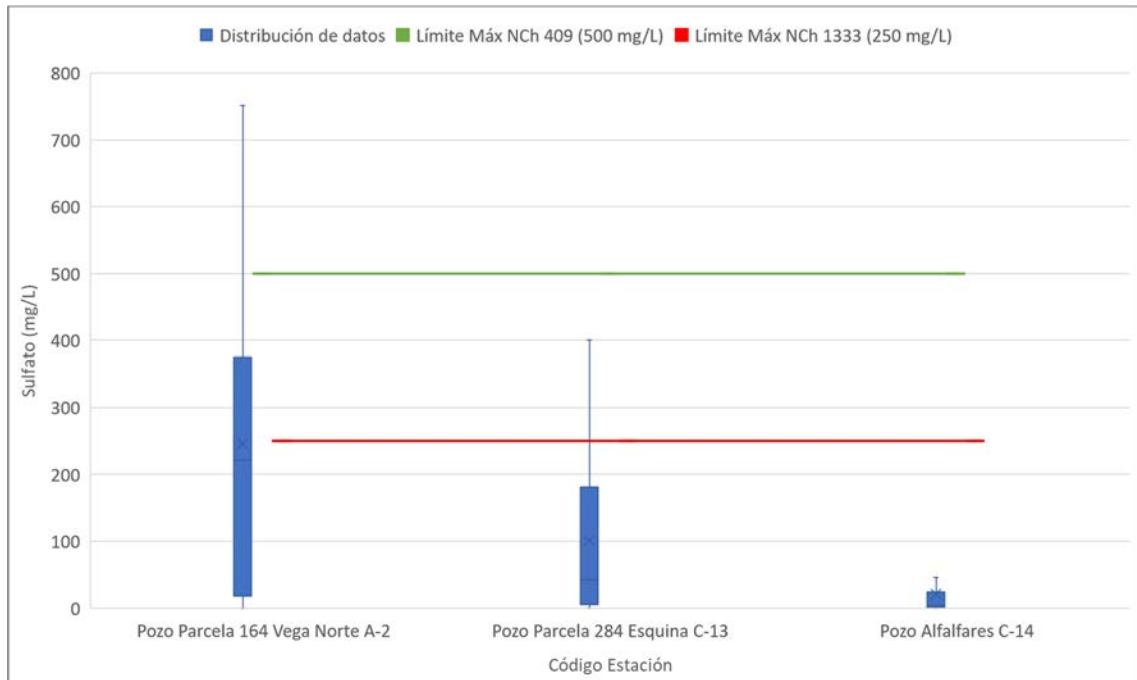
Figura 4.2-5 Gráfico de Cajas – Pb Total (mg/l)

Para los parámetros Hg y Mo, no se logró definir si sus concentraciones se encuentran cumpliendo o por sobre las normas, ya que los valores registrados corresponden al valor entregado por el instrumento cuando la medición es menor a su sensibilidad.

Parámetros inorgánicos

Respecto a los valores disponibles de parámetros inorgánicos, el punto “Pozo Parcela 164 Vega Norte A-2” (BNA 4335011-0) supera la norma NCh1333/78 tanto para el SO_4^{2-} (Figura 4.2-6) como para el Cl^- (Figura 4.2-7), mientras que en el punto “Pozo Parcela 284 Esquina C-13” (BNA 4335012-9) se supera solo para el caso del Cl^- .

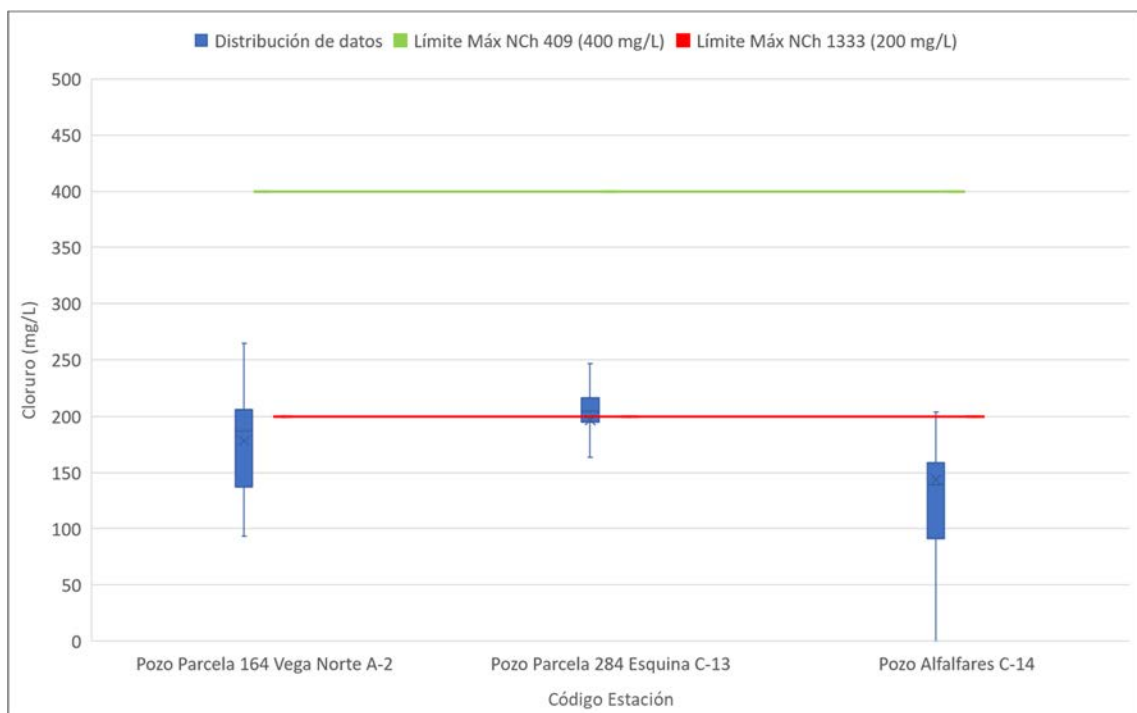
²³ En el presente diagnóstico se ha considerado que supera la norma aquella estación que presenta valores por encima de la referencia hasta su cuartil superior (y/o inferior si la norma aplica un rango).



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

Nota: Los nombres de cada estación y su código equivalente se presenta en la Tabla 4.1-6.

Figura 4.2-6 Gráfico de Cajas – SO₄²⁻ (mg/l)



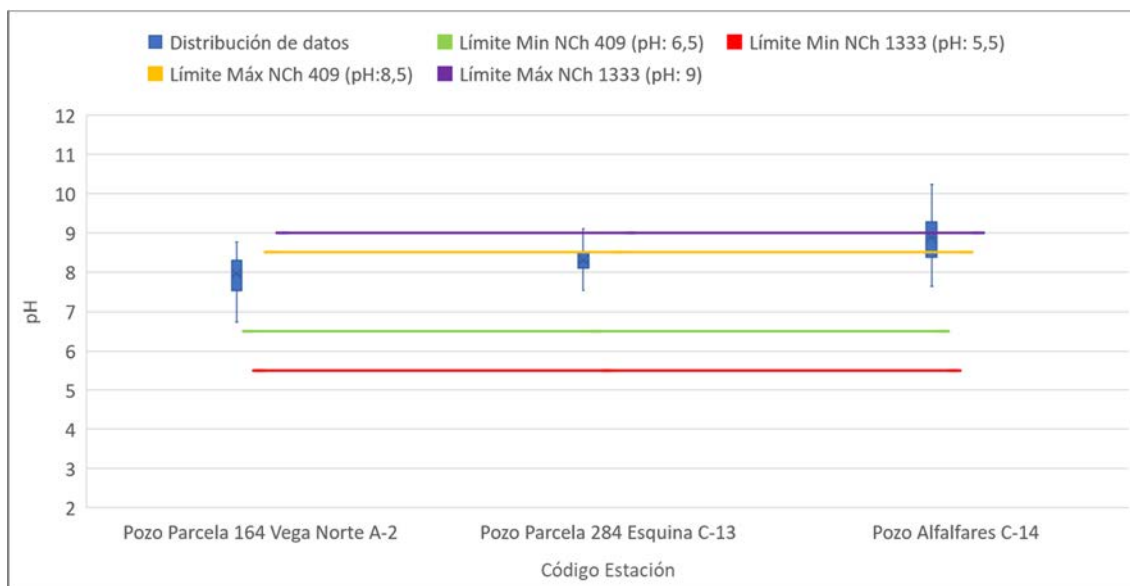
Fuente: Elaboración propia en base a DGA (2017a).

Nota: Los nombres de cada estación y su código equivalente se presenta en la Tabla 4.1-6.

Figura 4.2-7 Gráfico de Cajas – Cl⁻ (mg/l)

Parámetros físico-químicos

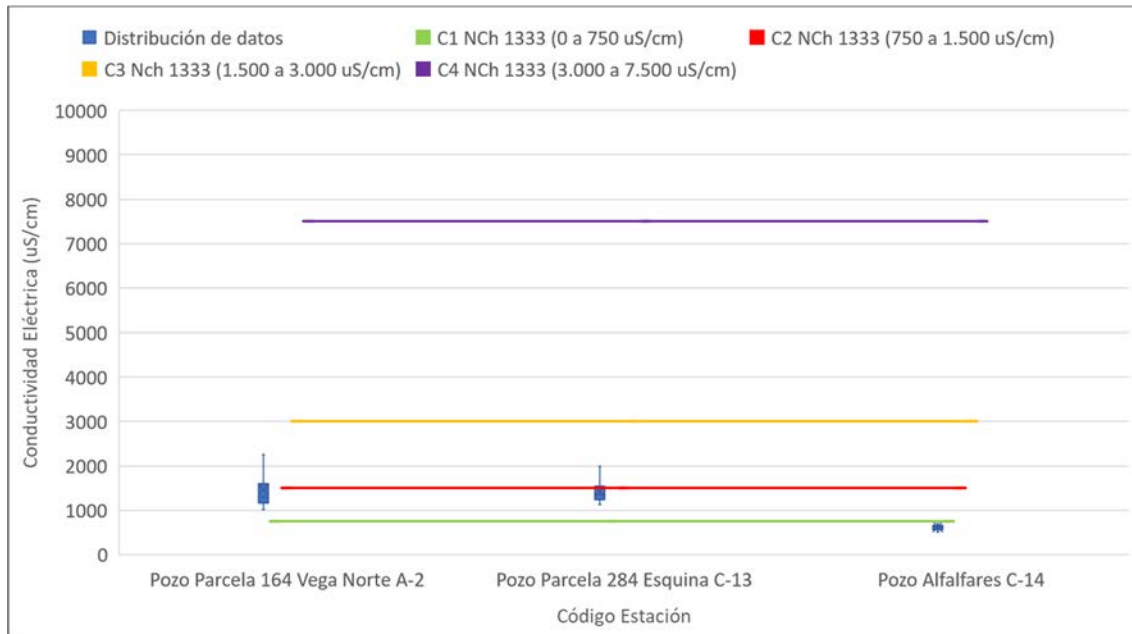
De los valores graficados para los parámetros físico-químicos solo en el punto “Pozo Alfalfares C-14” (BNA 4335013-7), el pH se presenta por sobre NCh409/05 (máx. pH 8,5) y NCh1333/78 (máx. pH 9), registrándose valores básicos (Figura 4.2-8). Además, la CE y los SDT en dicho pozo dentro del rango C1 (agua con la cual generalmente no se observarán efectos perjudiciales), mientras que en “Pozo Parcela 284 Esquina C-13” (BNA 4335012-9) indican una calidad C3 (agua que puede tener efectos adversos en muchos cultivos y necesita de métodos de manejo cuidadosos) y C2 (agua que puede tener efectos perjudiciales en cultivos sensibles) respectivamente. Finalmente, para el “Pozo Parcela 164 Vega Norte A-2” (BNA 4335011-0), la calidad indicada para la CE y los SDT es de clase C3 en ambos. Los resultados de estos parámetros se presentan en la Figura 4.2-9 y Figura 4.2-10 respectivamente.



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

Nota: Los nombres de cada estación y su código equivalente se presenta en la Tabla 4.1-6.

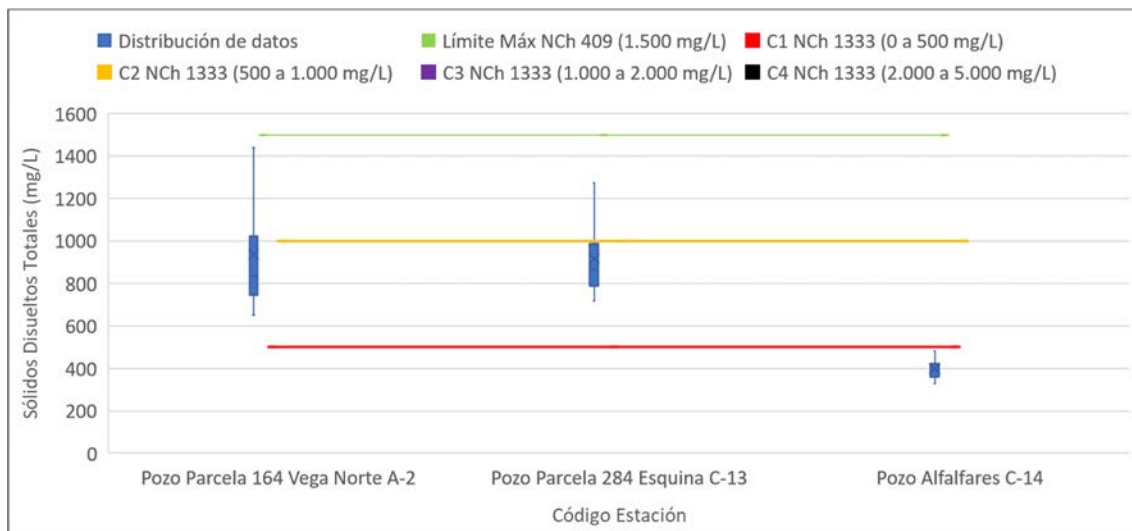
Figura 4.2-8 Gráfico de Cajas – pH



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

Nota: Los nombres de cada estación y su código equivalente se presenta en la Tabla 4.1-6.

Figura 4.2-9 Gráfico de Cajas – CE



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

Nota: Los nombres de cada estación y su código equivalente se presenta en la Tabla 4.1-6.

Figura 4.2-10 Gráfico de Cajas – SDT

Antecedentes Complementarios

Adicionalmente, en el estudio “Diagnóstico de la calidad de las aguas subterráneas de la Región de Coquimbo” (DGA, 2017b), se realizaron estudios de calidad de agua a 23 pozos APR previo a cualquier tratamiento en el acuífero del río Elqui, donde se recogieron valores obtenidos para los siguientes parámetros:

- Metales totales: As, Pb, Fe y Mn.
- Parámetros inorgánicos: Cl⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻, Ca²⁺ y Mg²⁺.
- Parámetros físico-químicos: pH, T°, CE y SDT.

En la Tabla 4.2-4 realizada en dicho estudio, se presentan los resultados de IC individuales para cada pozo analizado, cuya metodología se explica en detalle en el Anexo F. Como se observa, dos (2) pozos del acuífero Elqui presentan un IC Insuficiente, ambos por algún metal tal como Fe o Mn. Estos se distribuyen en el SHAC "Elqui Medio" y son cercanos entre sí. Se presentan también pozos con IC Regular en la zona baja (SHAC "Santa Gracia") y otros pozos puntuales. Respecto a los parámetros coincidentes, SO₄²⁻ y NO₃⁻ bajan la clasificación de IC, pero en los casos más extremos a una categoría Regular.

Tabla 4.2-4 Índice de Calidad por APR de acuífero Elqui (parámetros locales Fe y Mn), año 2016

N°	Nombre Pozo	SHAC	Comuna	IC General (cualitativo)	Parámetros que otorgan clasificación
29	LA JARILLA	Claro	Paihuano	Buena	Mn
30	QUEBRADA DE PAIHUANO	Claro	Paihuano	Regular	Fe
106	CHAPILCA	Turbio	Vicuña	Buena	NO ₃ ⁻
108	VARILLAR	Turbio	Vicuña	Buena	Ca ²⁺ , NO ₃ ⁻
53	RIVADAVIA	Elqui Alto	Vicuña	Buena	SO ₄ ²⁻ , Ca ²⁺ , NO ₃ ⁻
49	DIAGUITAS	Elqui Alto	Vicuña	Buena	NO ₃ ⁻
54	SAN ISIDRO-CALINGASTA	Elqui Alto	Vicuña	Buena	Ca ²⁺ , NO ₃ ⁻
52	LA COMPAÑÍA	Elqui Alto	Vicuña	Buena	SO ₄ ²⁻ , Ca ²⁺ , NO ₃ ⁻
50	EL TAMBO	Elqui Alto	Vicuña	Buena	Ca ²⁺ , NO ₃ ⁻
151	PUNTA AZUL	Elqui Alto	Vicuña	Buena	Ca ²⁺ , NO ₃ ⁻
51	GUALLIGUAICA	Elqui Alto	Vicuña	Buena	Ca ²⁺ , NO ₃ ⁻
58	EL MOLLE	Elqui Medio	Vicuña	Excepcional	
153	VIÑITA ALTA	Elqui Medio	Vicuña	Buena	NO ₃ ⁻
59	MARQUESA-NUEVA TALCUNA	Elqui Medio	Vicuña	Regular	Fe
152	LA CALERA	Elqui Medio	Vicuña	Insuficiente	Fe
60	PELÍCANA	Elqui Medio	La Serena	Insuficiente	Mn
56	LAS ROJAS	Elqui Bajo	La Serena	Buena	Ca ²⁺ , NO ₃ ⁻
55	GABRIELA MISTRAL	Elqui Bajo	La Serena	Buena	SO ₄ ²⁻ , Ca ²⁺
57	COQUIMBO ALTOVALSOL	Elqui Bajo	La Serena	Buena	SO ₄ ²⁻ , Ca ²⁺ , NO ₃ ⁻
143	ALMIRANTE LATORRE	Santa Gracia	La Serena	Regular	SO ₄ ²⁻
145	LAMBERT	Santa Gracia	La Serena	Buena	Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ , Ca ²⁺ , NO ₃ ⁻ , Pb
104	EL ROMERO	Santa Gracia	La Serena	Buena	SO ₄ ²⁻ , Ca ²⁺ , NO ₃ ⁻
144	ISLÓN	Santa Gracia	La Serena	Regular	Na ⁺

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

La Minuta DCPRH N° 19 (DGA, 2018b) analiza los resultados del seguimiento a la calidad del agua de las fuentes de los pozos APR, que para el caso de la cuenca del río Elqui, registran en Pelicana y La Calera (SHAC “Elqui Medio”) y El Romero (SHAC “Santa Gracia”). De dicho seguimiento se muestra la Tabla 4.2-5 indicando los IC individuales de los pozos. Se observa que mantienen su clasificación de IC Buena en “El Romero”, y se mejora en “La Calera” y “Pelicana” respecto el año anterior.

Tabla 4.2-5 Índice de Calidad en seguimiento APR de acuífero Elqui (parámetros locales Fe y Mn), año 2017

N°	Nombre Pozo	Sector Acuífero	Comuna	IC General (cualitativo)
1	LA CALERA	Elqui Medio	Vicuña	Regular
2	PELÍCANA	Elqui Medio	La Serena	Buena
3	EL ROMERO	Santa Gracia	La Serena	Buena

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

Parámetros microbiológicos

A partir de la información contenida en los PR018002 de la SISS, en la cuenca del río Elqui hay 45 fuentes de captación subterránea en operación con información de calidad microbiológica. En la Tabla 4.2-6 se presentan las fuentes y al sistema al que pertenecen. De ellas, solo en 11 se ha detectado la presencia de *E. coli*, concentradas en los sectores de “Pta. Piedra” y “Las Rojas”.

Tabla 4.2-6 Fuentes de captación de agua subterránea en la cuenca del río Elqui

Código Fuente	Nombre Fuente	Nombre Sistema
203-33	Pozo Pta Piedra 116	La Serena - Coquimbo
203-35	Pozo Pta Piedra 628	La Serena - Coquimbo
203-39	Pozo Pta Piedra 106	La Serena - Coquimbo
203-48	Pozo Alfalfares 1	La Serena - Coquimbo
203-42	Pozo Saturno 2	La Serena - Coquimbo
203-31	Pozo Pta Piedra 126	La Serena - Coquimbo
203-50	Pozo Alfalfares 3	La Serena - Coquimbo
203-47	Pozo Las Cias 4	La Serena - Coquimbo
203-44	Pozo Las Cias 2	La Serena - Coquimbo
203-43	Pozo Las Cias 1	La Serena - Coquimbo
203-41	Pozo Saturno 1	La Serena - Coquimbo
203-30	Pozo Pta Piedra 790	La Serena - Coquimbo
203-29	Pozo Pta Piedra 791	La Serena - Coquimbo
203-184	Sondaje N° 7 Las Rojas	La Serena - Coquimbo
203-28	Pozo Pta Piedra 109	La Serena - Coquimbo
203-27	Pozo Pta Piedra 107	La Serena - Coquimbo
203-25	Pozos Las Rojas 4	La Serena - Coquimbo
203-24	Pozos Las Rojas 3	La Serena - Coquimbo

Código Fuente	Nombre Fuente	Nombre Sistema
203-23	Pozos Las Rojas 2	La Serena - Coquimbo
203-22	Pozos Las Rojas 1	La Serena - Coquimbo
203-183	Sondaje N° 6 Las Rojas	La Serena - Coquimbo
203-99	Pozos Las Rojas 5	La Serena - Coquimbo
203-53	Pozo Alfalfares 6	La Serena - Coquimbo
201-21	Dren Antiguo Pta Piedra	La Serena - Coquimbo
203-176	Sondaje 12-2015 Pta Piedra	La Serena - Coquimbo
203-175	Sondaje 11-2015 Pta Piedra	La Serena - Coquimbo
203-174	Sondaje 10-2014 Pta Piedra (R118)	La Serena - Coquimbo
203-172	Sondaje 8-2014 Pta Piedra	La Serena - Coquimbo
203-173	Sondaje 9-2014 Pta Piedra	La Serena - Coquimbo
203-151	Sondaje 7 Las Compañías	La Serena - Coquimbo
203-150	Sondaje 6 Las Compañías	La Serena - Coquimbo
203-130	Pozo Pta Piedra 633-A	La Serena - Coquimbo
203-131	Pozo Pta Piedra 634-A	La Serena - Coquimbo
203-147	Sondaje N°5	La Serena - Coquimbo
203-145	Sondaje N°3	La Serena - Coquimbo
203-148	Sondaje N°6	La Serena - Coquimbo
203-146	Sondaje N°4	La Serena - Coquimbo
203-136	Sondaje Punta De Piedra N°1	La Serena - Coquimbo
203-137	Sondaje Punta De Piedra N°2	La Serena - Coquimbo
203-75	Pozo N 931	Peralillo De Vicuña
203-74	Pozo N 930	Peralillo De Vicuña
203-86	Sondaje N 587	Vicuña
203-116	Sondaje Nuevo	Vicuña
203-140	Sondaje Paihuano_2011	Paihuano
203-73	Pozo N 1230	Paihuano

Fuente: Elaboración propia en base a SISS (2020).

4.2.4 Fuentes de contaminación

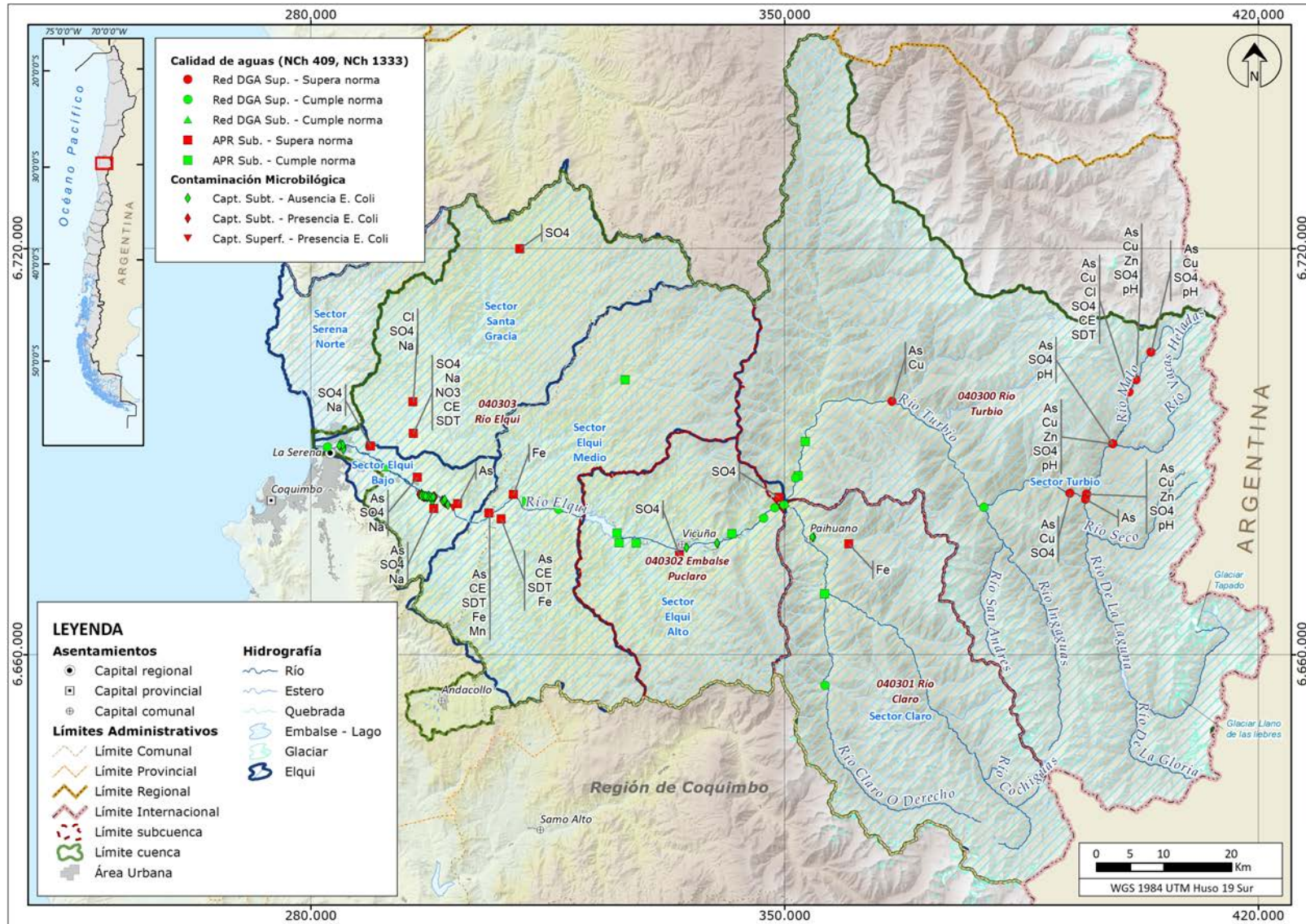
Con base en la evaluación de la calidad de las aguas subterráneas efectuada en los numerales precedentes, se observa, respecto a los datos entregados por los pozos de la red hidrométrica de la DGA y los pozos APR, se determina que, el SHAC "Elqui Medio" es el único que posee puntos de monitoreo con una calidad de las aguas clasificada como Insuficiente, principalmente por los contenidos de metales como As, Fe y Mn. Esto puede deberse a la presencia de faenas mineras y depósitos de relaves aguas arriba de las quebradas afluentes al río Elqui en este punto, tanto en la quebrada Marquesa desde el Norte como en la quebrada El Arrayán desde el Sur, donde se destaca la presencia de la mina Carmen de Andacollo. Por otra parte, la parte alta de la cuenca (SHAC "Río Claro" y SHAC "Río Turbio") muestra en general una buena calidad, al igual que el SHAC "Elqui Alto", sin una mayor influencia de la actividad minera ni la geología local, salvo algunos puntos con elevados contenidos de SO_4^{2-} . La parte baja de la cuenca, caracterizada en parte por el SHAC "Elqui Bajo", presentó algunos puntos con elevados contenidos de Fe,

probablemente heredados del SHAC "Elqui Medio", así como también de SO_4^{2-} y Na^+ , similar a lo visto en las aguas superficiales. Los pozos de la red hidrométrica cumplieron los límites de las normas de agua potable y riego, salvo por los contenidos de Pb, el pH y CE, siendo incluso estos últimos de clase C3 (agua que puede tener efectos adversos en muchos cultivos y necesita de métodos de manejo cuidadoso). Finalmente, los puntos de monitoreo de APR del SHAC "Santa Gracia", también en la parte baja de la cuenca, son los únicos que llegaron a la clasificación C3 de la norma de riego, según su CE, evidenciando la influencia climática que existe en la parte baja de la cuenca.

En relación a la contaminación de componentes microbiológicos, fue detectada la presencia de *E. coli* en 11 distintas fuentes de abastecimiento de agua subterránea evidenciando contaminación a partir de aguas residuales o contaminación de residuos animales en la cuenca de manera extendida.

4.2.4.1 Relación entre aguas superficiales y subterráneas según su calidad

En la Figura 4.2-11 se aprecian las estaciones analizadas y presentadas en el complemento, mostrando aquellos puntos con registros por encima de las normas NCh409/05 y/o NCh1333/78 en algún o algunos parámetros estudiados.



Fuente: Elaboración propia en base a DGA (2017a) y DGA (2017a).

Figura 4.2-11 Estado de la calidad de agua en la Red Hidrométrica DGA y pozos APR

De la Figura 4.2-11 se analiza seguidamente los parámetros críticos más representativos de la cuenca:

- **As y Cu:** El alto contenido de estos elementos se da principalmente en la cabecera de la cuenca (subcuenca "Río Turbio"), y tendría un origen mixto. Por un lado, por las actividades mineras relacionadas a la franja metalogénica del Mioceno Temprano, donde se destaca la presencia de la mina El Indio. La presencia de esta y de otras de menor desarrollo, generan procesos como la lixiviación de depósitos estériles y, aguas de drenaje de minas (GORE, 2013). Por otra parte, también existen procesos de lixiviación natural de minerales sulfurados, dadas las condiciones naturales que facilitan la presencia de estos minerales en superficie, en zonas que no son necesariamente de actividades mineras (DGA, 2004). Este mismo comportamiento se repetiría en las aguas subterráneas del SHAC "Elqui Medio", pero esta vez asociado a los yacimiento de la franja metalogénica del Cretácico Temprano.
- **SO₄²⁻:** Respecto a este parámetro, su aumento de concentración en la cabecera de la cuenca es producto de procesos de la minería que existieron y existen en la cuenca, al igual que ocurre para el As y el Cu (DGA, 2004). Por otro lado, para la parte baja esto se debe también, en el caso de estaciones superficiales, a influencia marítima, o en el caso de las estaciones subterráneas a disolución de sedimentos de origen marino (GORE, 2013), sumado a las condiciones climáticas que favorecen la evaporación.
- **pH:** La cuenca presenta, en algunos puntos de cabecera, valores de pH ácidos superando los límites impuestos por NCh409/05 y/o NCh1333/78. Esto tiene un origen mixto: uno, natural, por la circulación del agua en rocas con minerales sulfurados (GORE, 2013); mientras que el origen de carácter antrópico se debe a las actividades mineras ubicadas en la parte alta de la cuenca (DGA, 2004).
- **CE:** Las causas del aumento de la conductividad específica en ciertas estaciones de la cuenca se debe a el aporte de aguas termales, posibles intrusiones salinas (GORE, 2013) o las características de la cuenca, debido a sus terrenos áridos, con escasas precipitaciones y alta radiación solar, además de las distintas formaciones geológicas sedimentarias con compuestos que fácilmente se disocian en iones en el agua, especialmente en aguas subterráneas; más aún, desde Vicuña hacia abajo no existen nuevos aportes al río (DGA, 2004).
- **E. coli:** Si bien hay puntos de muestreo de distintas fuentes de abastecimiento de agua, todos los que dieron positivo en la presencia de este parámetro, se encuentran en el SHAC "Elqui Bajo" en el caso de las muestras subterráneas, o en la parte baja de la subcuenca "Río Elqui". Las muestras obtenidas en zonas cercanas a las principales urbes de la cuenca, no dieron cuenta de la presencia de este contaminante, por lo que estaría asociado a urbes menores y zonas rurales, que podrían carecer de un correcto sistema de alcantarillado.

De la información anterior, se logra identificar que la presencia de dos franjas metalogénicas presentes en la cuenca modifica en gran medida la calidad de las aguas, además de generar la actividad minera que influye en la zona. Sin embargo, se logra distinguir una mejora en la calidad de las aguas entre ambas franjas metalogénicas, lo que indica que la contaminación no es persistente en el agua, sino que se da a nivel local o de subcuenca, para luego ser mejorada por fuentes de agua más diluidas.

También cabe recalcar la importancia de la interacción río-acuífero-embalse Puclaro (DGA, 2004), el cual puede concentrar metales pesados en sus sedimentos.

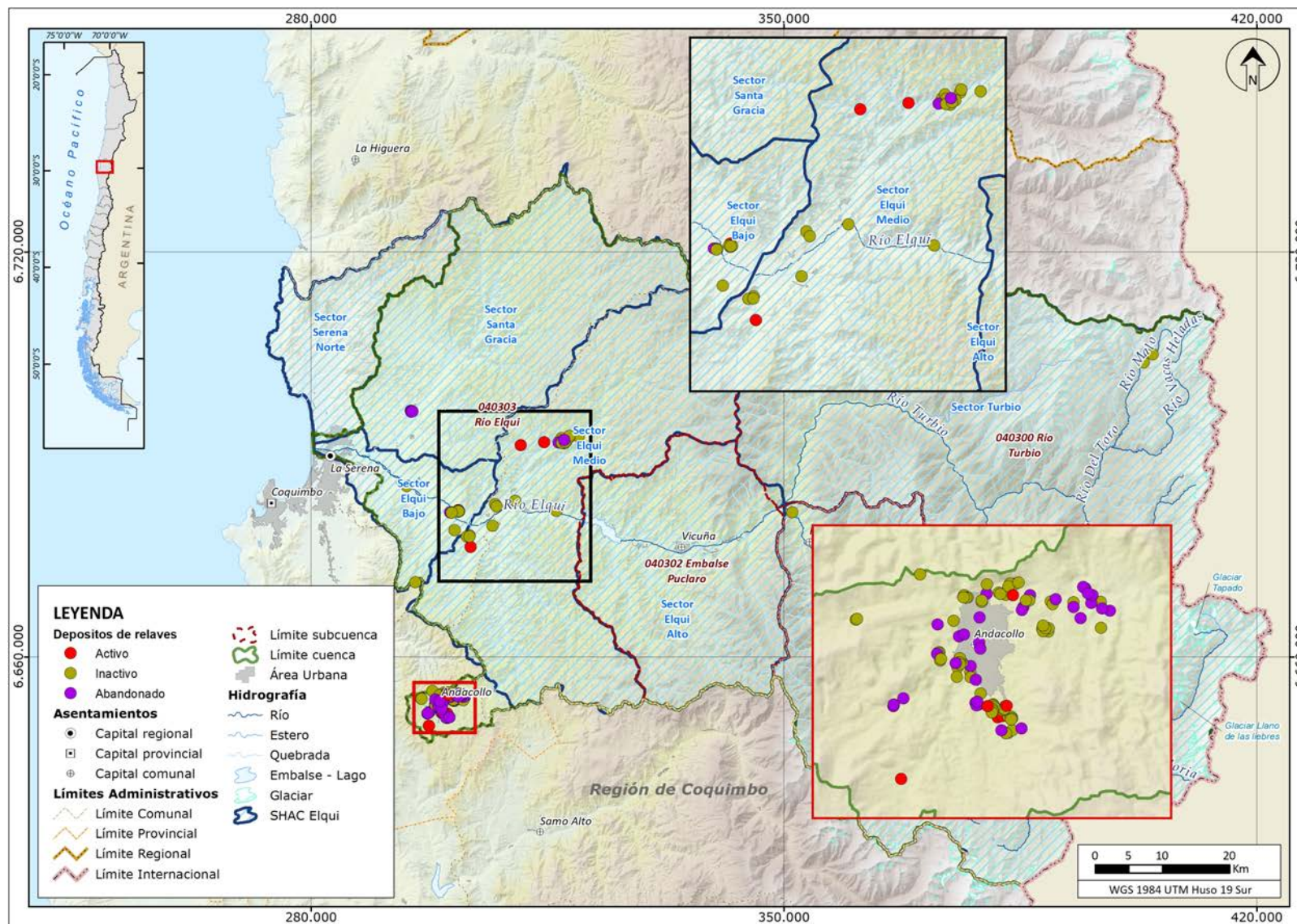
En relación con riesgo de contaminación por acción antrópica, es importante considerar el peso de las faenas mineras sobre la calidad de las aguas. En la Tabla 4.2-7 se resumen las instalaciones del Catastro de Depósitos de Relaves (SERNAGEOMIN, 2019), donde puede apreciarse la concentración de este tipo de infraestructuras en la parte baja, y especialmente en la parte de la comuna de Andacollo perteneciente a la cuenca del río Elqui.

Tabla 4.2-7 Depósitos de relave, según estado, en la cuenca del río Elqui

Cuenca	Subcuenca	Activo	No Activo	Abandonado	Total
Río Elqui	R. Turbio		2		2
	R. Claro		1		1
	R. Elqui Medio	2	15	2	19
	R. Elqui Bajo	10	92	42	144
Total		12	110	44	166

Fuente: SERNAGEOMIN (2019).

En la Figura 4.2-12 se presenta la distribución espacial de los depósitos de relaves en la cuenca del río Elqui.



Fuente: Elaboración propia, basado en SERNAGEOMIN (2019).

Figura 4.2-12 Depósitos de relaves en la cuenca del río Elqui

Con respecto a la contaminación microbiológica esta puede ser de carácter antrópico, las cuales se atribuyen principalmente al vertido de desechos de origen doméstico e industrial a los cuerpos de agua. La contaminación de aguas subterráneas, también se puede asociar al fácil acceso de los animales domésticos a los pozos, y a su material de revestimiento permeable. El análisis de las distintas fuentes de abastecimiento de agua en la cuenca evidencia que solo en el SHAC “Elqui Bajo” se detectó *E. coli*.

En relación a una posible influencia marina en el borde costero de la cuenca, si bien las fuentes superficiales y subterráneas mostraron un incremento de la salinidad y de parámetros como el Na^+ y el Cl^- , no llegaron a niveles comparables con el mar, que darían cuenta de un proceso extendido de intrusión salina en el acuífero del SHAC “Elqui Bajo”. De todas maneras, un monitoreo de pozos más exhaustivo y de mayor área proporcionaría más claridad, considerando que todo el borde costero forma parte del Sitio Prioritario “Red de Humedales Costeros de Comuna de Coquimbo (SP1-009)”.

De la misma forma, se observó un carácter salino en el punto de muestreo “Baños del Toro (CA)” (BNA 4302011-0). Sin embargo, al estar este en la parte alta de la cuenca, sus características no se deben a la influencia marina o climática, sino más bien al afloramiento de aguas con un origen distinto al superficial, posiblemente magmático o fósil. Estas aguas verían favorecido su ascenso producto de fallas presentes en el sector cordillerano, y su influencia desaparecería rápidamente aguas abajo por la mezcla con las aguas presentes en superficie.

Por último, indicar que se inició el proceso de elaboración de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental (NSCA) para la protección de las aguas continentales superficiales de la cuenca del río Elqui en fecha 19 de diciembre de 2016, y actualmente se encuentran en etapa de Elaboración de Anteproyecto (MMA, 2020a). Estas normas son un instrumento normativo que tiene por objeto la protección de los ecosistemas acuáticos existentes, incluyendo ecosistemas de gran valor ecológico que prestan importantes servicios ecosistémicos a los diferentes actores que habitan en la cuenca o desarrollan sus actividades productivas en ella. Sin embargo, aún existe una brecha sobre el control y la protección de las aguas continentales subterráneas en la cuenca.

4.2.5 Derechos concedidos

A continuación, se presenta el análisis de los derechos de aprovechamiento de aguas (DAA) subterráneas otorgados en la cuenca del río Elqui. 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.

En la Tabla 4.2-8 se entrega el total de DAA subterráneas otorgados en la cuenca del río Elqui.

Tabla 4.2-8 DAA otorgados y Caudal otorgado

Naturaleza del Agua	N°	Caudal (l/s)
Subterránea	520	6.080

Fuente: Elaboración propia en base a información DGA (2020c).

Según se desprende de la Tabla 4.2-8, la base cuenta con 520 DAA en la cuenca, con un caudal otorgado de 6.080 l/s.

DAA otorgados según tipo de solicitud

En la Tabla 4.2-9 se entrega la distribución de los DAA subterráneas de acuerdo al tipo de solicitud, esto es, Nuevos Derechos (ND), Solicitudes de Regularización (NR) y Derechos de Usuarios Antiguos (UA).

Tabla 4.2-9 DAA y caudal otorgado según Tipo de Solicitud

Tipo de solicitud ²⁴	N°	%	Caudal	
			l/s	%
Solicitudes de Nuevos Derechos (ND)	496	95	5.576	92
Solicitud de Regularización (NR)	16	3	473	8
Derechos de Usuarios Antiguos (UA)	8	2	32	1
Total	520	100	6.080	100

Fuente: Elaboración propia en base a información DGA (2020c).

Según se desprende de la Tabla 4.2-9, la mayor parte del caudal otorgado está asociada a solicitudes de tipo ND, lo que equivale al 92% del total, seguido muy por debajo por solicitudes NR, representando el 8%.

DAA otorgados según Tipo de Derecho y Ejercicio del Derecho

En la Tabla 4.2-10 se presenta la distribución de los DAA subterráneas otorgados según tipo de DAA y ejercicio del DAA.

Tabla 4.2-10 DAA y caudal otorgado según Tipo de DAA y Ejercicio del DAA

Tipo de DAA y Ejercicio del DAA	N°	%	Caudal	
			l/s	%
Consuntivo	518	99,6	6.065	100
Permanente y Continuo	477	91,7	5.453	90
Provisional y Continuo	41	7,9	612	10
No Consuntivo	2	0,4	15	0
Permanente y Continuo	2	0,4	15	0
Total	520	100	6.080	100

Fuente: Elaboración propia en base a información DGA (2020c).

²⁴ Clasificación de la DGA respecto a las solicitudes de DAA: ND=Nuevos derechos; NR=Regularización de derechos; UA=Usuarios antiguos o merced de agua: derechos de aprovechamiento de aguas, otorgados y reconocidos como tal, antes de la creación de la DGA (1981).

Según se desprende de la Tabla 4.2-10, la mayor parte de los DAA subterráneas otorgados son del tipo consuntivo y de ejercicio permanente y continuo, lo que equivale al 91,7% del total de DAA subterráneo otorgados en la cuenca, a su vez estos equivalen a 5.453 l/s de un total de 6.080 l/s otorgados, equivalente al 90% del caudal total otorgado.

Georreferenciación DAA en la cuenca del río Elqui

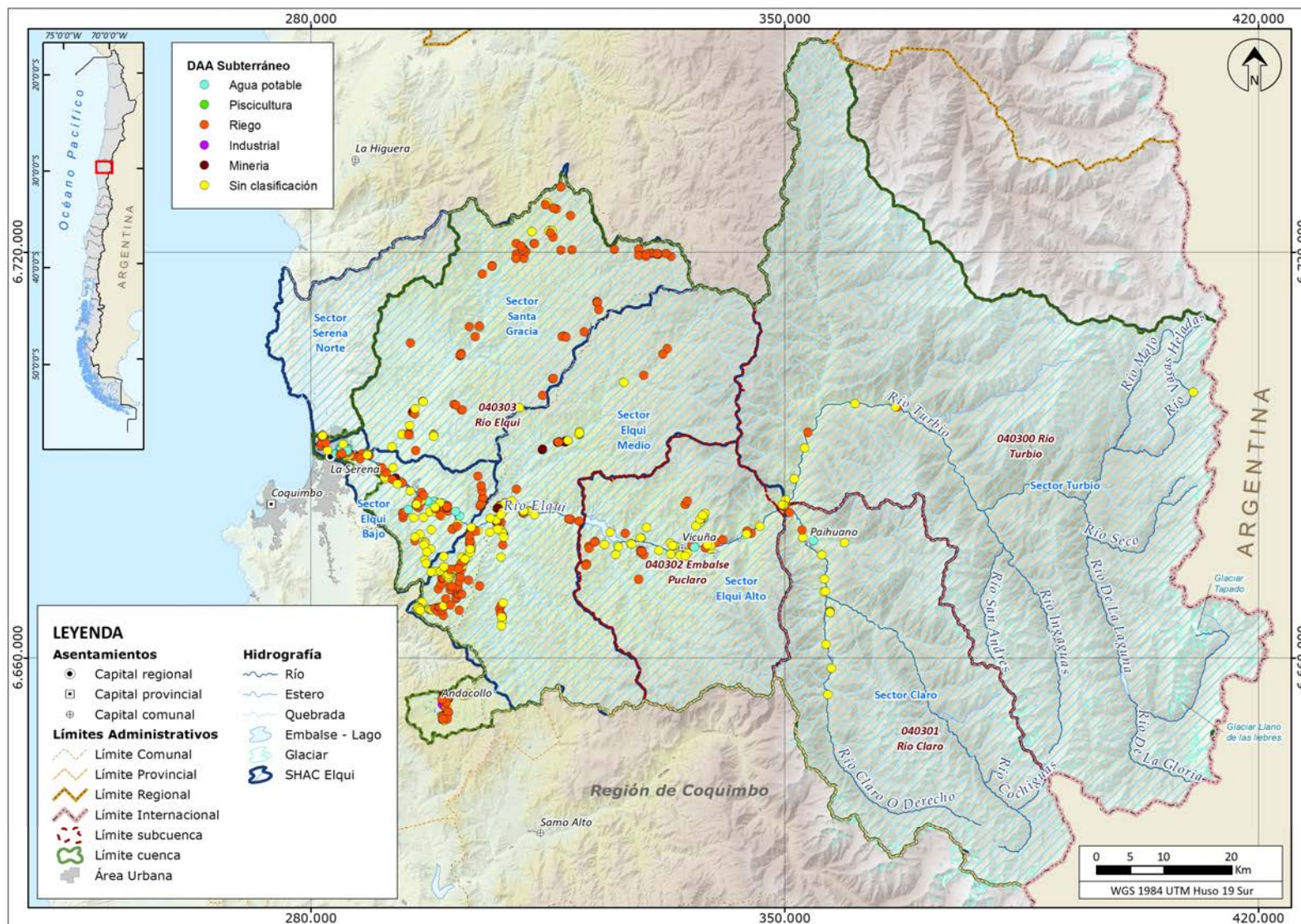
De la base de datos, 510 DAA cuentan con información necesaria para su georreferenciación, esto es, coordenadas UTM, Datum y Huso, lo que equivale al 98,08% del total de registros (Tabla 4.2-11).

Tabla 4.2-11 Total de DAA georreferenciados y no georreferenciados

Naturaleza del Agua	N°	DAA georreferenciado		DAA no georreferenciado	
		N°	%	N°	%
Subterránea	520	510	98	10	2

Fuente: Elaboración propia en base a información DGA (2020c).

En la Figura 4.2-13 se muestra la ubicación geográfica de los puntos de captación subterráneos asociados a cada DAA en la cuenca de Elqui.



Fuente: Elaboración propia en base a información DGA (2020c).

Figura 4.2-13 Ubicación geográfica de los puntos de captación asociados a los DAA subterráneas en la cuenca del río Elqui

4.3 GLACIARES

4.3.1 Glaciares

4.3.1.1 Identificación de fuentes

Los glaciares presentes en la cuenca del río Elqui pertenecen a la zona glaciológica de Los Andes Desérticos. En la Tabla 4.3-1 se resumen los glaciares identificados por la DGA en el Inventario Público de Glaciares, que data del año 2014, y los clasifica a nivel de subcuencas BNA. Cabe señalar que durante el presente año (2020) se liberará al público el Inventario Público de Glaciares actualizado (IPG2020), usando como parámetro de clasificación las cuencas DARH.

Tabla 4.3-1 Tipología y número de glaciares en la cuenca del río Elqui

Cód. Subcuenca	Nombre Subcuenca	Tipo Glaciar	Cantidad (n°)	Área (km ²)	Volumen (km ³)	Vol. Equiv. Agua (km ³)
040300	Río Turbio	Glaciar de montaña	15	5,9	0,16	0,14
		Glaciar rocoso	160	11,8	0,19	0,09
		Glaciarete	98	3,0	0,03	0,02
	Subtotal		273	20,7	0,38	0,25
040301	Río Claro	Glaciar de montaña	1	0,11	0,0014	0,0013
		Glaciar rocoso	63	4,2	0,06	0,03
		Glaciarete	9	0,3	0,0024	0,0022
	Subtotal		73	4,6	0,06	0,03
Total			346	25,2	0,44	0,28

Fuente: Elaboración propia basada en Mapoteca DGA (2019b).

Así mismo, en la Tabla 4.3-2 se muestran los glaciares con un área mayor o cercana a 1 km² (100 hectáreas) de la cuenca.

Tabla 4.3-2 Glaciares de mayor superficie en la cuenca del río Elqui

N°	Cód. Glaciar	Nombre Glaciar	Área (km ²)	Tipo Glaciar	Nombre Subcuenca
1	CL104300039	Tapado	2,2	Glaciar de montaña	Río Turbio
2	CL104300054	s/n	1,0	Glaciar rocoso	Río Turbio
3	CL104300009	Llano de liebres	0,7	Glaciar rocoso	Río Turbio

Fuente: Elaboración propia basada en Mapoteca DGA (2019b).

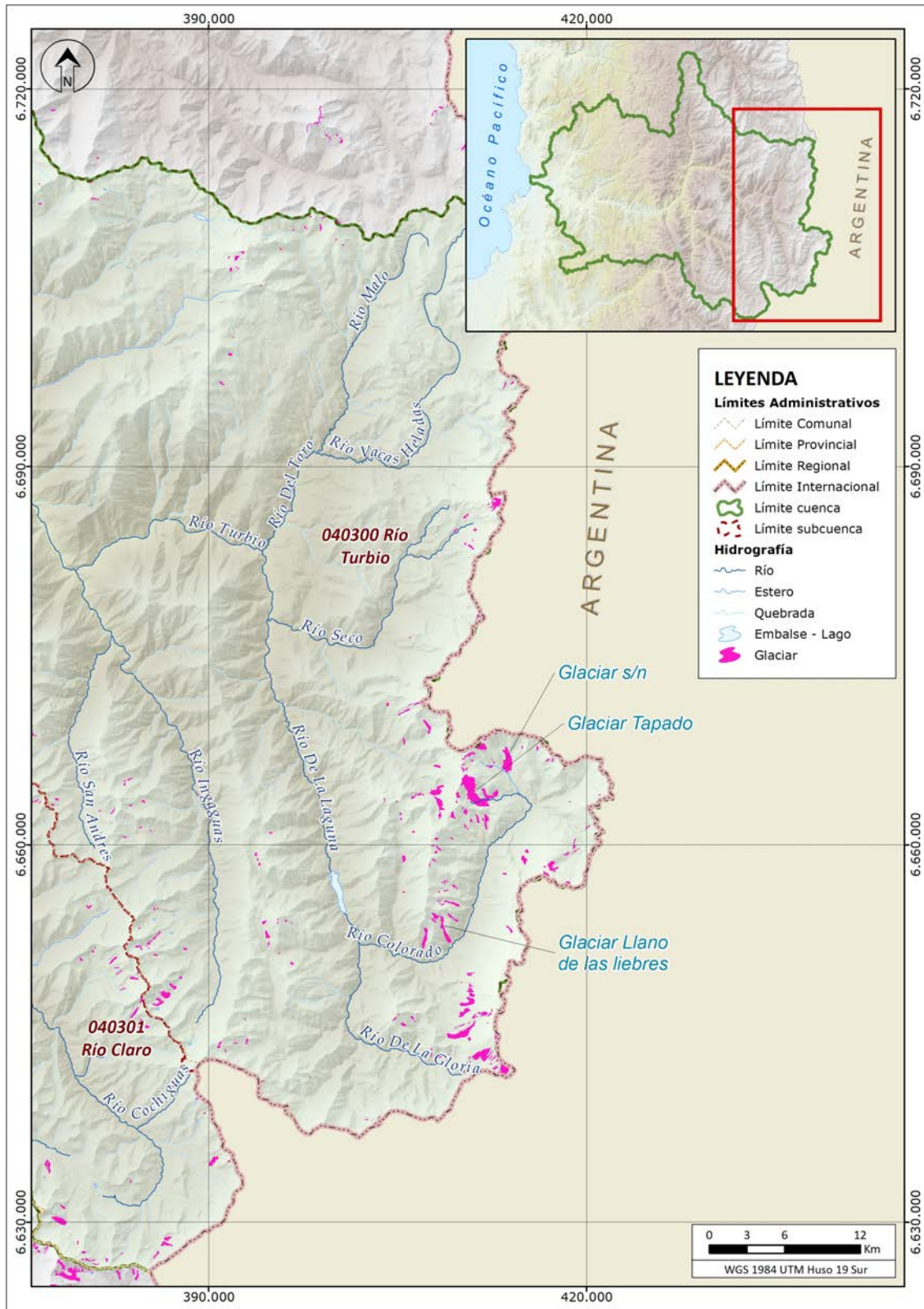
De la Tabla 4.3-1 y la Tabla 4.3-2 se desprende que, los principales glaciares se sitúan en la subcuenca del río Turbio; también en este sector se encuentra el mayor número de glaciares, ya que existen 273 de un total de 346, suponiendo un 79% en cantidad y un 82% en área glaciar. Cabe señalar la importancia de estos cuerpos, considerando sobre todo que las cabeceras de las distintas subcuencas tienen un régimen hidrológico nival (subcuencas río Claro y río Turbio), así como también el cauce principal del río Elqui.

4.3.1.2 Restricciones de uso sobre glaciares

De la superficie glaciar identificada en la cuenca del río Elqui, no existen áreas de conservación bajo protección oficial (acápites 2.3.1.3 y Figura 4.3-1).

4.3.1.3 Diagnóstico del estado de información sobre glaciares

A pesar de la importancia que suponen estos cuerpos para la cuenca, solo existe una estación glaciológica, que es parte de la red hidrométrica descrita en el acápite 2.4.2, específicamente en la subcuenca "Río Turbio" (BNA 040300). De la misma forma, en el estudio "Variaciones Recientes en Glaciares en Chile" (DGA, 2011) se presentó solo la variación del frente del glaciar Tapado (1955, 1978 y 2005), donde se evidencia un importante retroceso en dicho periodo. De esta forma, hay una brecha de información sobre el resto de los glaciares presentados en la Tabla 4.3-2, y también sobre el estado actual del glaciar Tapado, para el cual han pasado casi 15 años desde su última medición de área y/o frente glaciar. De la misma forma, no hay estudios sobre sus aportes hídricos por lo que se genera una brecha para la posterior incorporación de la escorrentía que generan a los modelos, lo cual dificulta su gestión.



Fuente: Elaboración propia basada en Mapoteca DGA (2019b).
Figura 4.3-1 Glaciares en la cuenca del río Elqui

CAPÍTULO 5 BALANCE DE AGUA

Para el desarrollo del presente estudio, se han desarrollado de manera independiente modelos de simulación de flujos superficiales y subterráneos que posteriormente han sido acoplados, siendo sus principales resultados los presentados a continuación. La descripción detallada de los modelos es posible consultarla en el Anexo H y sus apéndices.

La estructura de este capítulo consta del subcapítulo “Situación Actual” el cual hace tiene por objetivo resumir los principales resultados y aspectos de la calibración del modelo e informar donde el lector puede consultar los detalles de la construcción de la herramienta de gestión. Adicionalmente, el subcapítulo “Situación proyectada” tiene por objetivos informar los resultados del proceso de selección del modelo de circulación general (MCG) adoptado para las simulaciones futuras además de presentar el escenario de caso base sobre el cual se comparan las modelaciones.

El capítulo de “Brechas” resume los resultados de la herramienta de gestión (modelo acoplado) con el modelo MCG adoptado, además de presentar un resumen de los resultados del escenario caso base. Finalmente, se presenta el capítulo de sustentabilidad y escenarios de gestión que resumen los resultados para la oferta sustentable superficial y subterránea, como las iniciativas de gestión modeladas, siguiendo por cierto los lineamientos metodológicos expuestos en el Anexo F (acápites 3.4.6 a 3.4.8).

5.1 MODELO DE SIMULACIÓN

5.1.1 Situación actual

5.1.1.1 Actualización de Modelo Superficial

En el Anexo H (acápite 2.2) se presenta la descripción del modelo superficial WEAP de Elqui, utilizado como base en la elaboración del modelo acoplado del presente estudio (abril 1989 – marzo 2019), junto a las modificaciones realizadas en la actualización de éste.

5.1.1.2 Actualización de Modelo Subterráneo

En el Anexo H (acápite 1.2) se presenta la descripción del modelo subterráneo Visual MODFLOW de Elqui, utilizado como base en la elaboración del modelo acoplado del presente estudio (abril 1990 – marzo 2019), junto a las modificaciones realizadas en la actualización de éste.

5.1.1.3 Construcción de Modelo Acoplado Superficial Subterráneo

En el Anexo H (acápites 3.1, 3.2 y 3.3) se presenta la construcción del modelo acoplado WEAP-MODFLOW de Elqui (abril 1990 – marzo 2019), conforme a la metodología indicada en el presente estudio.

5.1.1.4 Calibración y Resultados de Modelo de Simulación Superficial Subterráneo

En el Anexo H (capítulo 4) se presenta la calibración y resultados del modelo acoplado WEAP-MODFLOW de Elqui (abril 1990 – marzo 2019), siguiendo los lineamientos indicados en la metodología.

Como resumen de la calibración del sistema conjunto, se obtuvieron los indicadores de calibración en las estaciones fluviométricas más relevantes de la cuenca, y las que por cierto representan una serie robusta para hacer una comparación. Cabe destacar que el año 1989 ha sido tomado como un año de “calentamiento” o “spin-up” del modelo, por lo que los indicadores y periodo de calibración son calculados a partir del año 1990.

Tabla 5.1-1 Indicadores de Calidad de Calibración para el periodo histórico (1990 -2019) en las estaciones DGA consideradas

Estación / Indicador	KGE	NSE	R2	PBIAS
Claro Rivadavia	0,54	0,60	0,66	-22,29
Cochiguaz El Penon	0,52	0,61	0,71	-29,69
Culebron El Sifon	-1,90	-8,56	0,46	239,07
Derecho en Alcohuaz	0,29	0,38	0,51	-29,44
Elqui Algarrobal	0,59	0,64	0,67	-2,73
Elqui en el Almendral	0,64	0,57	0,57	7,64
Elqui en la Serena	-0,1	-0,14	0,16	87,64
Elqui Salida Embalse	0,59	0,51	0,60	22,34
La Laguna Salida Embalse	0,93	0,92	0,93	5,74
Toro en La Laguna	0,29	0,21	0,26	-12,96
Turbio en Varillar	0,79	0,76	0,80	18,34

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados expuestos anteriormente reflejan el hecho de que el ajuste total de la cuenca posee una variedad de indicadores de eficiencia, existiendo zonas en donde queda el espacio para mejorar la representación del flujo, como en la cuenca del río Toro y la del estero Derecho en la parte alta, y, por cierto, en la zona de la desembocadura, representada por Elqui en La Serena.

En el Anexo H (acápites 4.2.1) se han analizado estos resultados, siguiendo el recorrido del flujo desde aguas arriba hacia aguas abajo. La gran dificultad y brecha es poder mejorar la calibración vía la mejora de la comprensión y aplicación de las reglas de operación de este sistema, como también de la mejora de implementación de los modelos hidrológicos de las cuencas del río Toro y estero Derecho, como se señala en el acápite 6.2 del Anexo H.

Cabe destacar que en el acápite 5.1.1.5, se analizan parte de estos indicadores de acuerdo a las definiciones que plantea Moriasi *et al.* (2007) y que se exponen en la Figura 5.1-3. de manera de identificar las brechas de la modelación. El análisis completo se presenta en el capítulo 4.2.1 del anexo H.

A pesar de eso, la herramienta calibrada es un insumo robusto para la planificación, el que por cierto puede ser mejorado con el recurso humano técnico de la región de Coquimbo, en donde existen instituciones como el CEAZA, PROMMRA y la Universidad de La Serena, quienes llevan años trabajando en la modelación y comprensión de dichos sistemas.

En lo que respecta a la componente subterránea, se observó una buena calidad en los ajustes del periodo 1991-2019; con un MAE y RMS normalizado inferior a 5%, acorde con los criterios de cierre recomendados por la Guía de Modelación Subterránea del SEA. Así también, en el siguiente acápite se observan las tendencias de niveles de la modelación ajustadas a los valores observados. El resumen de estadígrafos se presenta en la Tabla 5.1-2.

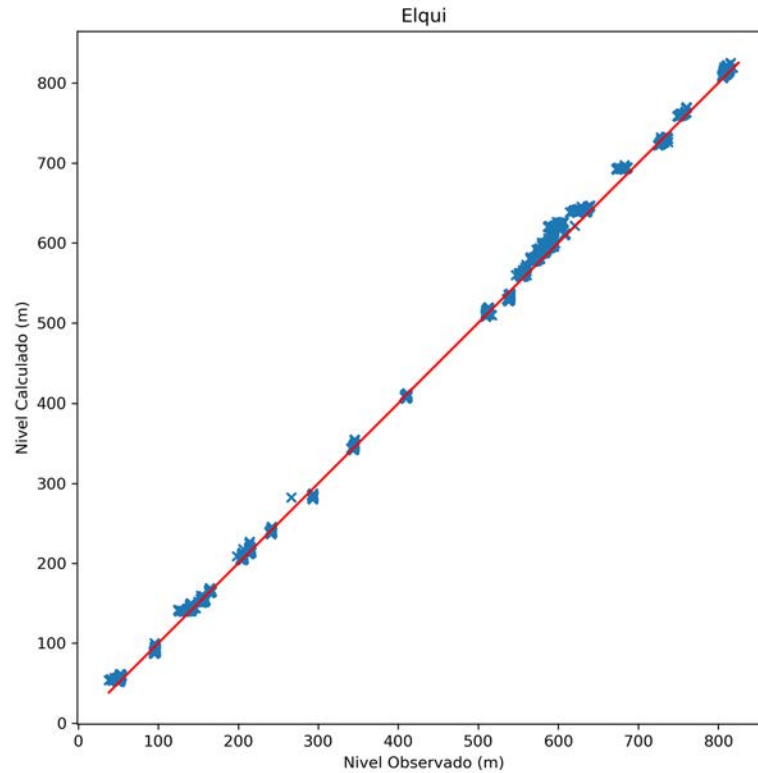
Tabla 5.1-2 Estadígrafos de calibración del sistema subterráneo

Estadígrafos cuenca Elqui	Valor
Coeficiente de Determinación (R2)	0,999
Error Medio (m)	-3,76
Error Absoluto Medio (MAE) (m)	5,69
MAE Normalizado (%)	0,73
Máximo Residual Absoluto (m)	13,17
Mínimo Residual Absoluto (m)	-33,86
Desviación Estándar (m)	6,63
RMS (m)	7,62
RMS Normalizado (%)	0,98

Fuente: Elaboración propia.

El ajuste de los niveles calibrados se puede apreciar en la Figura 5.1-1. Como se puede observar los ajustes obtenidos son satisfactorios e incluso reproducen las condiciones originales del modelo hidrogeológico base.

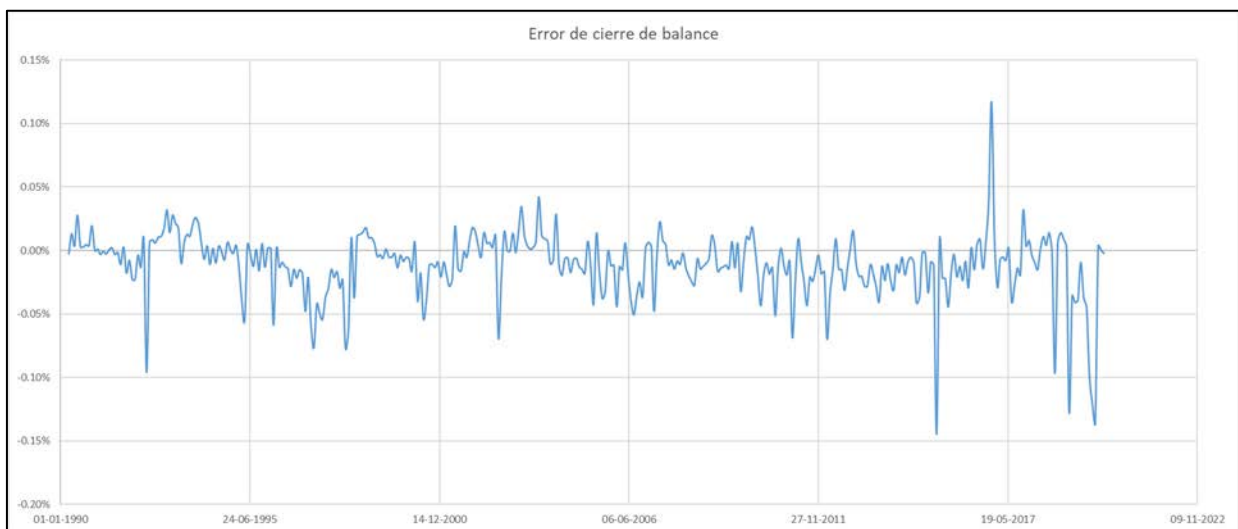
Cabe destacar que los indicadores presentados en la Tabla 5.1-2 corresponden a los valores de los indicadores que nacen de la Figura 5.1-1 y representan por tanto el ajuste a nivel de cuenca del modelo acoplado, tal como lo indican los lineamientos de la Guía de Modelación de Aguas Subterráneas del SEIA.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.1-1 Niveles observados y simulados en el periodo de calibración del modelo (1990-2019)

Adicionalmente, la Figura 5.1-2 presenta el error del balance en el tiempo, el cual se encuentra acotado en el intervalo del 0,15% para todos los tiempos de simulación.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.1-2 Error en el tiempo del balance para el modelo acoplado de la cuenca del río Elqui

5.1.1.5 Caudales Simulados en Estaciones Fluviométricas de Control

A continuación, se entregan los indicadores de calibración para cada flujo de caudal y los resultados más relevantes para los elementos topológicos considerados.

Cabe destacar que de acuerdo a Moriasi *et al.* (2007), existe una clasificación de modelos de acuerdo a distintos criterios de eficiencia, como se muestran en la Figura 5.1-3.

Performance Rating	RSR	NSE	PBIAS (%)		
			Streamflow	Sediment	N, P
Very good	$0.00 \leq RSR \leq 0.50$	$0.75 < NSE \leq 1.00$	$PBIAS < \pm 10$	$PBIAS < \pm 15$	$PBIAS < \pm 25$
Good	$0.50 < RSR \leq 0.60$	$0.65 < NSE \leq 0.75$	$\pm 10 \leq PBIAS < \pm 15$	$\pm 15 \leq PBIAS < \pm 30$	$\pm 25 \leq PBIAS < \pm 40$
Satisfactory	$0.60 < RSR \leq 0.70$	$0.50 < NSE \leq 0.65$	$\pm 15 \leq PBIAS < \pm 25$	$\pm 30 \leq PBIAS < \pm 55$	$\pm 40 \leq PBIAS < \pm 70$
Unsatisfactory	$RSR > 0.70$	$NSE \leq 0.50$	$PBIAS \geq \pm 25$	$PBIAS \geq \pm 55$	$PBIAS \geq \pm 70$

Fuente: Moriasi *et al.* (2007).

Figura 5.1-3 Distribución de los ajustes de modelos según indicadores como NSE y PBIAS

Como se ha dicho, los resultados del proceso de calibración se resumen en estadígrafos de calibración como en resultados gráficos. En el Anexo H (acápito 4.2.1), se analizan tanto las estaciones de control que fueron parte del acople como fuera del acople, es decir, aguas abajo y aguas arriba del embalse Puclaro respectivamente.

A modo de ejemplo, se presenta la Figura 5.1-4 y la Figura 5.1-5 que muestran la estación de caudal asociada a la cuenca Elqui en Algarrobal (fuera de la zona de acople), cuenca relevante que define el aporte conjunto de la zona alta de la cuenca del Elqui, y la estación río Elqui en Almendral respectivamente, estación parte de la zona de acople, ubicada aguas abajo del embalse Puclaro.

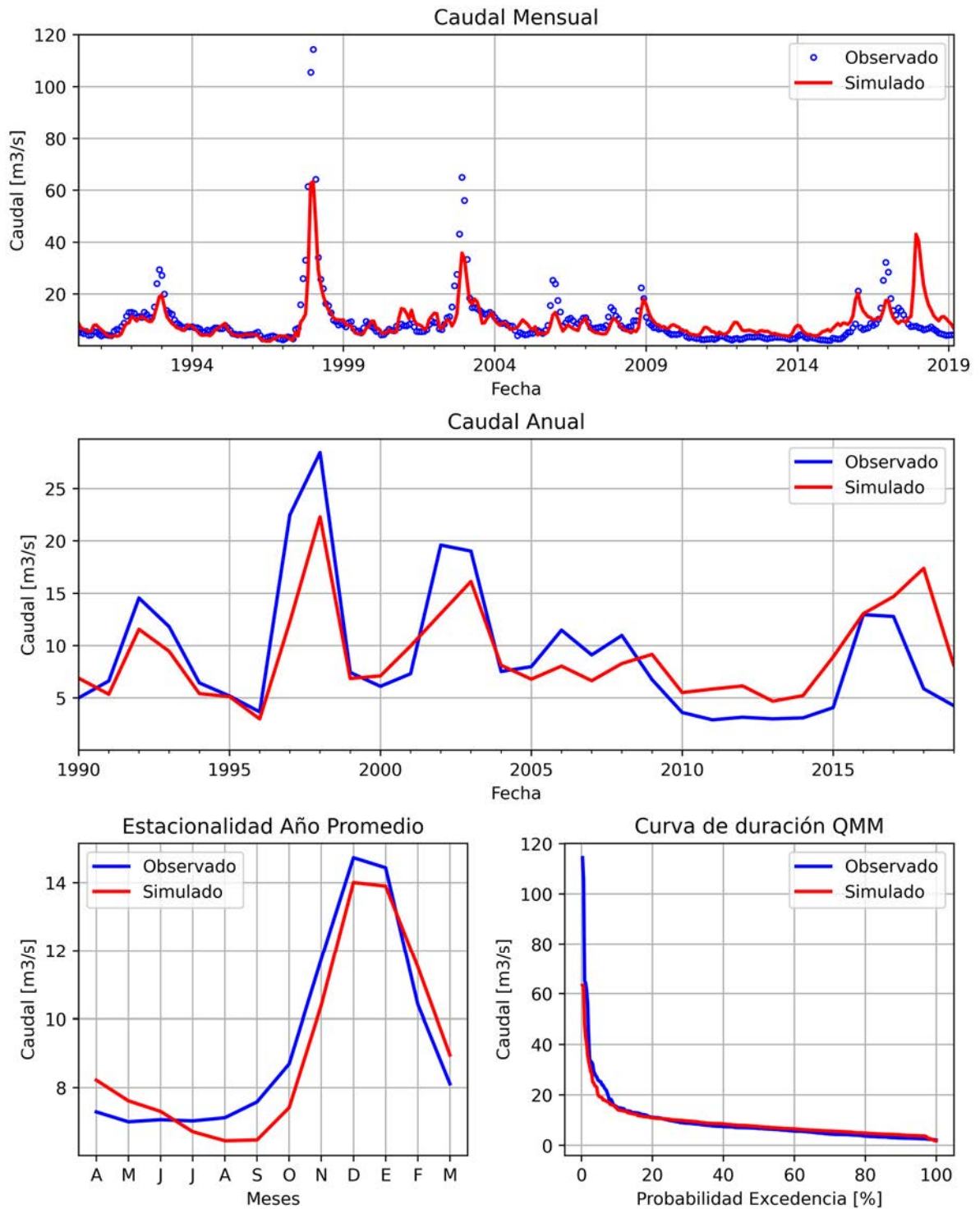
En este caso, los indicadores gráficos permiten complementar los indicadores de eficiencia, y se puede apreciar que para ambas estaciones existe primero una conservación de su régimen hidrológico de naturaleza mixta, como también de los volúmenes anuales de agua, que representan la oferta hídrica del sistema.

De la inspección de ambas series de tiempo, cabe destacar que la señal de caudal es correctamente representada, encontrándose por cierto las dificultades inherentes en este tipo de modelaciones para las crecidas de años emblemáticos (años Niño (ENSO>0)), pero en general, se tiene una correcta representación de las probabilidades de excedencia entre el 10 a 90%.

Respecto de la sobrestimación del último período (2016-2019), se analizó la precipitación total de la cuenca en WEAP, detectándose un peak en mayo de 2017 y otro menor en agosto 2018, que viene de información observada. La magnitud del peak del año 2017 (120 mm) se detectó en 5 años adicionales a este, en 1991, 1992, 1997, 2000 y 2002, por lo que el "peak" simulado del modelo se entiende responde conforme lo ha hecho en dichos años. No se descarta en ese sentido que en esos años en particular se podría haber presentado un error en la medición de caudal.

Por cierto, existen estaciones con brechas de calibración, las que pueden ser consultadas directamente en el Anexo H (acápito 6). La dificultad radica en dos temas sustanciales: una mejor calibración de la cuenca del río Toro y una mejor comprensión e implementación de la operación del sistema actual.

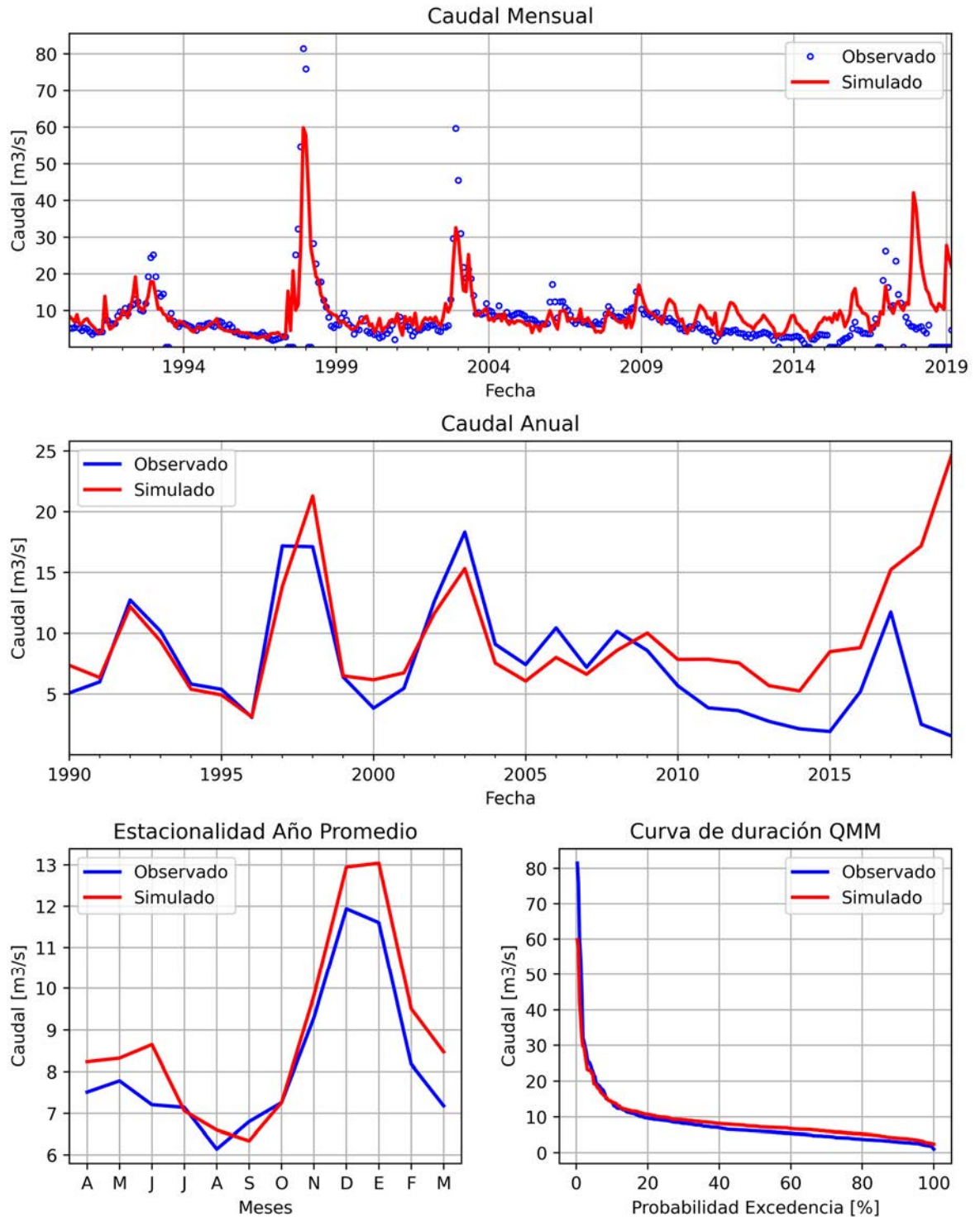
KGE = 0.592 NSE = 0.637 R2 = 0.671 PBIAS = -2.048



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.1-4 Resultados Calibración Estación Río Elqui en Algarrobal

KG E = 0.641 NSE = 0.566 R2 = 0.573 PBIAS = 8.378



Fuente: Elaboración propia.

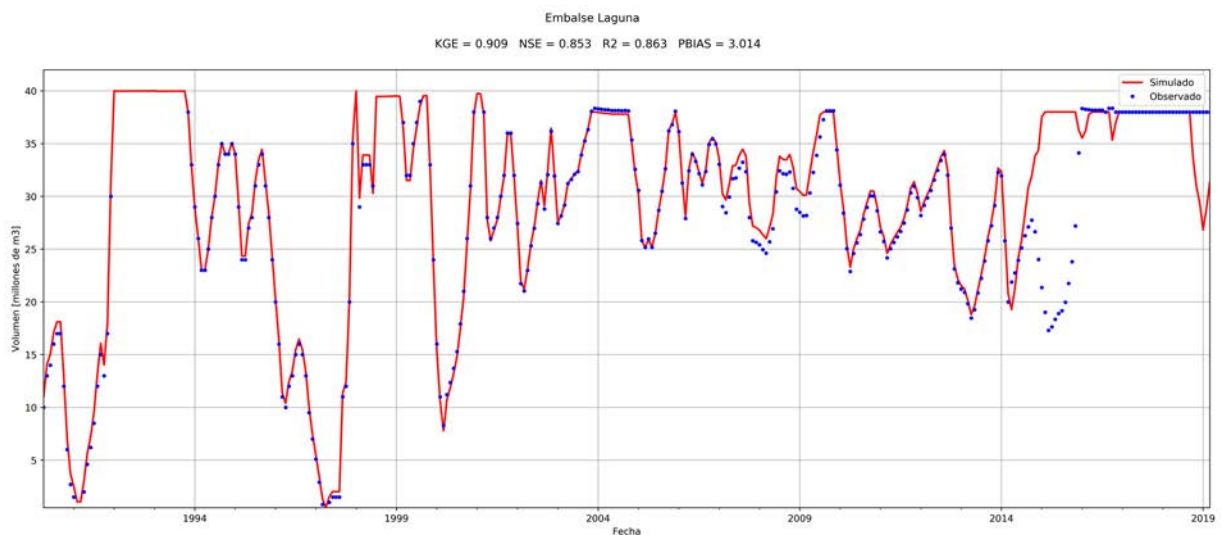
Figura 5.1-5 Resultados Calibración Estación Río Elqui en Almendral

5.1.1.6 Verificación de Flujos Simulados para Elementos Operacionales

Con el propósito de verificar los volúmenes embalsados, se graficaron los volúmenes simulados para los embalses La Laguna y Puclaro.

Dentro de los hallazgos más significativos es que para ambos embalses, el modelo base (CNR, 2017c) calibró una serie de desmarques única para cada obra, cuyo valor está en función netamente de los caudales previamente generados con el modelo hidrológico MPL.

Este aspecto significó que, pese a que se tenía una buena calibración de la cuenca afluente al embalse La Laguna, no se pudo obtener una calibración representativa de la variación de los volúmenes. Para solventar esta brecha, se dejó igualmente el "catchment" CA_AN_LAG_01, pero con un área 0, de manera de respaldar su creación para futuros ajustes, y en el río "AN_LAG_01" se utilizó el caudal originalmente reproducido por MPL, para poder reproducir los niveles históricos, quedando como una brecha la estimación de estos desmarques "forzados". Esto permitió entregar un buen respaldo de la simulación en dicho embalse (Figura 5.1-6). Pese a los ajustes impuestos, no fue posible ajustar la baja del volumen del año 2015.



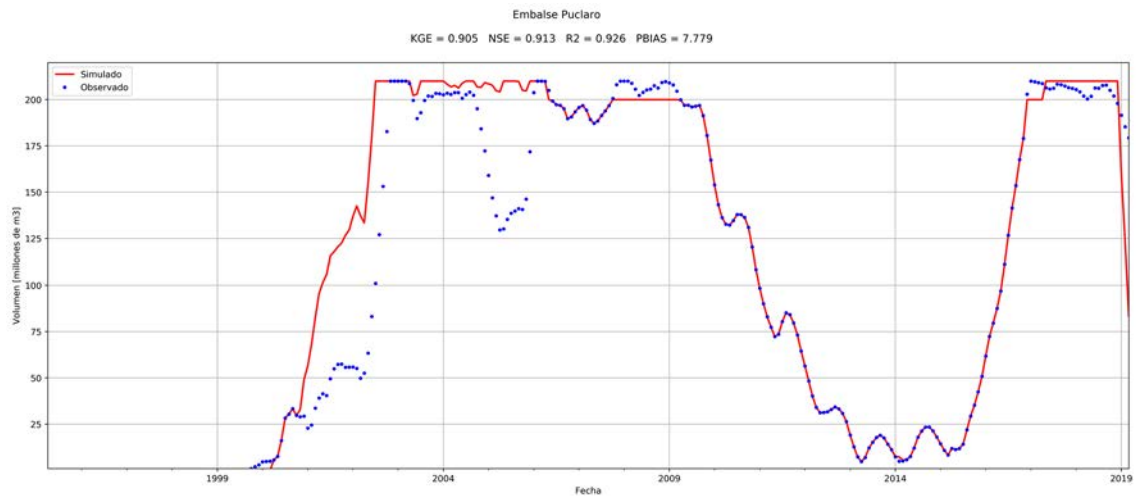
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.1-6 Resultados Calibración de volúmenes en Embalse La Laguna

El caso de Puclaro requirió un esfuerzo adicional en términos de generación de topología y reglas de operación a través de archivos de texto la cual puede ser consultada directamente en el Anexo H (acápito 4.2.2.2). La mejora continua de la representación de los volúmenes embalsados significó un gran esfuerzo de calibración, existiendo por cierto espacio para la mejora de los flujos superficiales.

Adicionalmente permitió establecer brechas y recomendaciones directas para mejorar la representación de la operación de embales en WEAP. Debe de implementarse una regla en formato WEAP en dicho embalse para mejorar su comportamiento. No obstante, los caudales a la salida del embalse, a la altura de la estación río Elqui en

Almendral si son correctamente representados, por lo que la disponibilidad hídrica hacia aguas abajo, tanto a nivel superficial como subterránea es la mejor que se puede tener existiendo, por cierto, un espacio para la mejora de la calibración de los sistemas. De 16 escenarios de calibración del embalse, la Figura 5.1-7 resume el ajuste encontrado para la calibración de Puclaro.

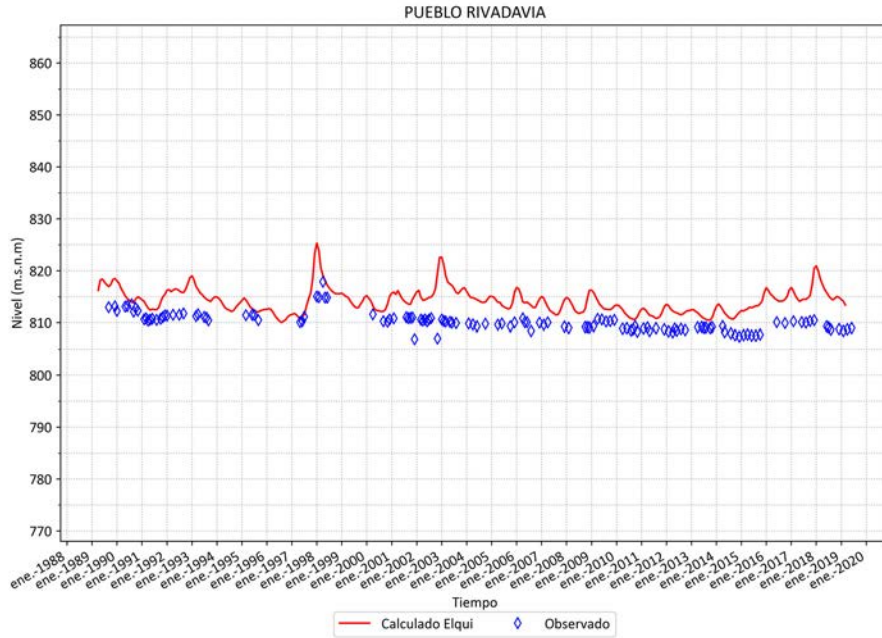


Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.1-7 Resultados Calibración de volúmenes en Embalse Puclaro

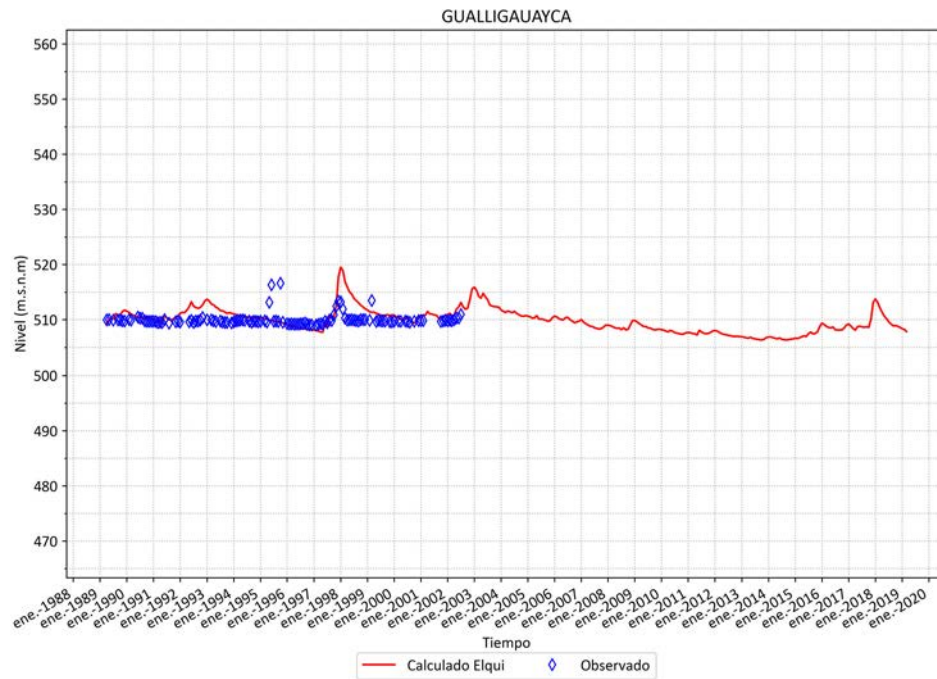
5.1.1.7 Niveles y Flujos Subterráneos

En lo que respecta a la variación de niveles en régimen transiente (1994-2019), es necesario considerar tanto los valores de niveles como las tendencias temporales. De esta manera en la Figura 5.1-8 a la Figura 5.1-10 se presenta, a modo de ejemplo para cada sector, el registro de niveles registrados (puntos azules “observados”) y simulados (línea roja “Calculados Elqui”) en el modelo acoplado de la cuenca.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.1-8 Resultados Niveles simulados aguas abajo embalse Puclaro (Elqui Alto)



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.1-9 Resultados Niveles simulados aguas abajo embalse Puclaro (Elqui Medio)

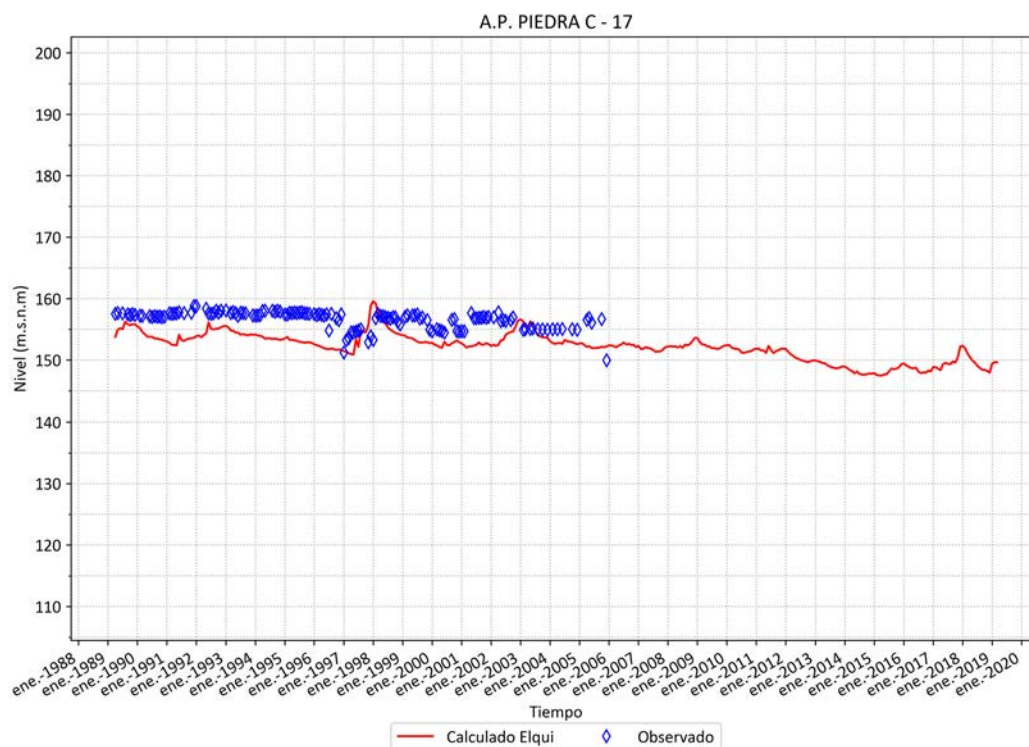
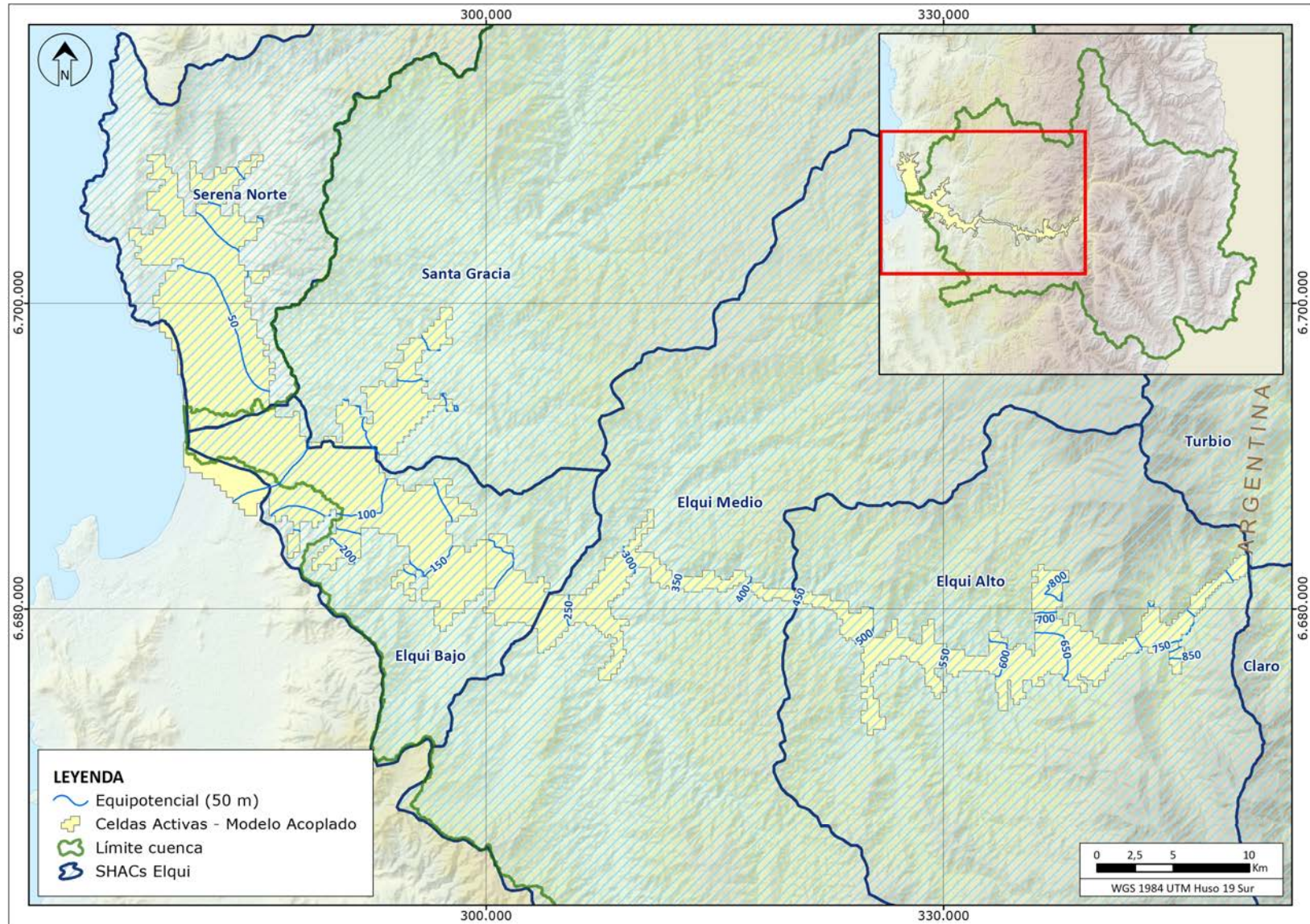


Figura 5.1-10 Resultados Niveles simulados aguas abajo embalse Puclaro (Elqui Bajo)

De los gráficos se aprecia un buen ajuste de los niveles simulados, representando en términos generales las tendencias y variaciones en el tiempo; así como registros con una marcada variación estacional en base a las recargas del sistema. Adicionalmente es factible comentar la ganancia que ha tenido el sistema acoplado, por cuanto mejora la caracterización de los niveles de su versión anterior (pre-acople).

En cuanto a la mirada general de los niveles freáticos del modelo calibrado, en la Figura 5.1-11 se presentan las curvas equipotenciales en el acuífero del río Elqui, para marzo de 2019. Se observa que las zonas saturadas del modelo se encuentran asociadas al río Elqui, distribuidas uniformemente a lo largo de todo el dominio de modelación. No se observan conos de depresión que darían cuenta de una fuerte explotación del sistema, sino más bien un descenso suave de los niveles en sentido del flujo preferencial del río Elqui asociados al descenso de cota altimétrica hacia la desembocadura.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.1-11 Curvas Equipotenciales Modelo Acoplado marzo 2019

Finalmente, en la Tabla 5.1-3 se presentan los resultados del balance hídrico subterráneo para el periodo 1990-2019, para las diferentes componentes de flujo, el cual reproduce los volúmenes de agua que interactúan en el acuífero. Asimismo, el error de balance es de un 0,09 %, cumpliendo la sugerencia de la Guía de Modelación del SEA.

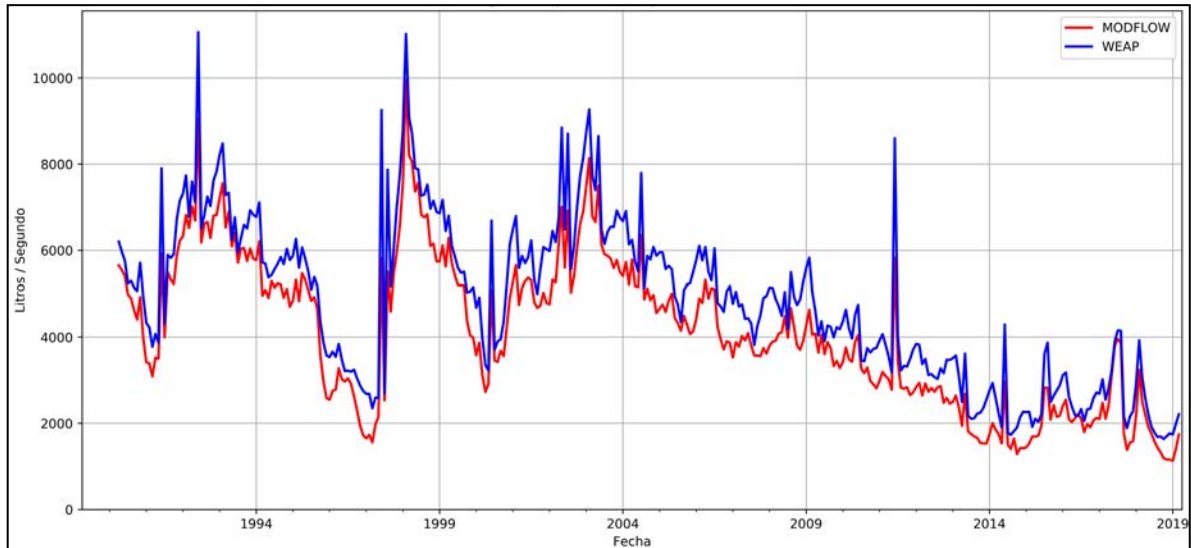
Tabla 5.1-3 Balance Hidrogeológico calibrado para la zona del sistema acoplada

Entradas (l/s)	Serena Norte	Elqui Bajo	Santa Gracia	Elqui Medio	Elqui Alto	Total
Flujo subterráneo	34	352	2	253	150	150
Entrada desde mar u otros	0	0	0	0	0	0
Recarga desde río	0	1.335	0	313	766	2.413
Recarga superficial	357	1.716	254	957	878	4.162
Total	391	3.403	256	1,523	1,794	6.726
Salidas (l/s)						
Flujo subterráneo	27	37	204	116	252	
Afloramiento río	0	2.183	0	1.364	1,301	4.849
Pozos de bombeo	177	1.057	34	52	248	1.568
Descarga hacia el mar u otros	239	91	0	0	0	330
Total	443	3.369	238	1.532	1,802	6.747
Variación de Almacenamiento (l/s)	-51,93	34,24	18,81	-8,56	-7,86	-15,30
Error de Balance (l/s)	-0,15	-0,20	-0,05	-0,10	-0,23	-5,87
Error de Balance (%)	-0,03%	-0,01%	-0,02%	-0,01%	-0,01%	-0,09%

Fuente: Elaboración propia.

Se observa un promedio cercano a 0%, con un máximo absoluto inferior a 1%, lo cual sigue los lineamientos establecidos por el SEA. La zona con la mayor discrepancia, esto es, un 0,02% corresponde a Serena Norte. Cabe destacar que los acuíferos de Serena Norte, Elqui Medio y Elqui Alto, se encuentran con una variación negativa de su almacenamiento, siendo el sector de Serena Norte el que presenta la mayor variación de almacenamiento (-51,9 l/s). El sistema en su conjunto se vacía a una tasa de -15,3 l/s. Cabe destacar que el flujo subterráneo total de entrada es de 150 l/s debido a la condición de borde del modelo subterráneo de base, como se detalla en el Anexo H (acápito 4.1), la cual proviene de una condición de borde de pozos de inyección detallada en el acápito 1.1.4.4 del mismo Anexo H.

Respecto a los flujos de intercambio entre los modelos, la Figura 5.1-12 presenta la recarga superficial calculada por WEAP, y la recarga subterránea efectiva calculada por MODFLOW.

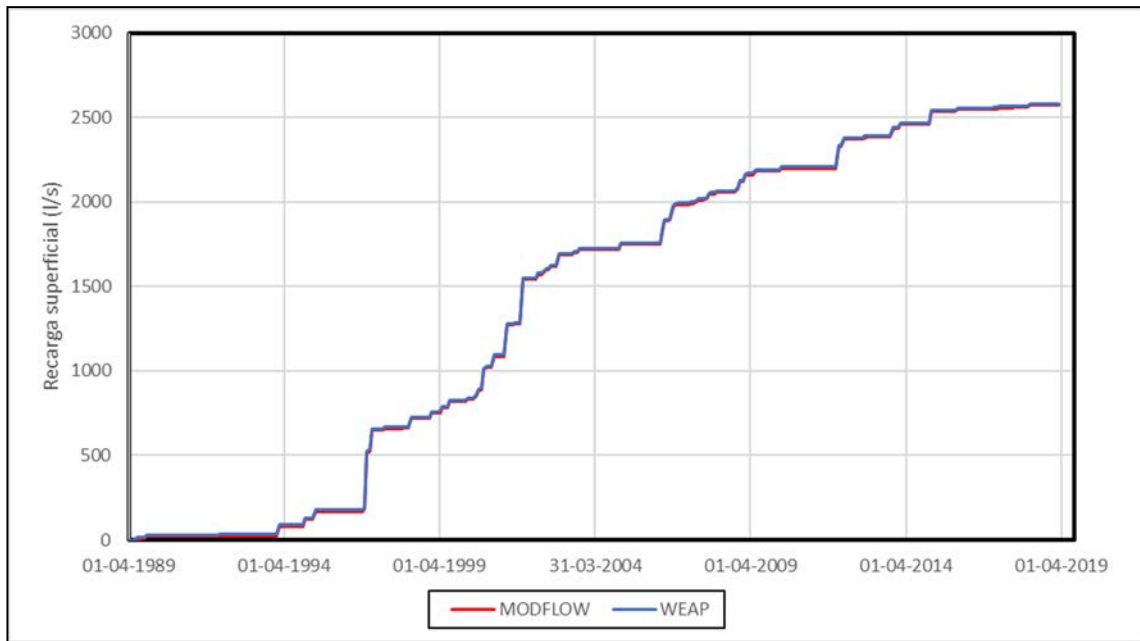


Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.1-12 Recarga superficial computada por modelo WEAP y modelo MODFLOW – modelo acoplado Elqui

La diferencia entre ambas recargas, en promedio de 15%, se debe a la asignación de la variable en celdas secas del modelo, las cuales se encuentran en esta condición desde el comienzo de la modelación, por la condición inicial del modelo subterráneo base. En este aspecto, el modelo parte la modelación el año 1989 con 1.285 celdas secas (un 7% del total de celdas activas) y termina con 1.316 celdas secas en 2019; es decir, aumenta un 2% la proporción en el periodo de modelación (1989-2019). No obstante, la recarga incorporada en el modelo subterráneo es computada y del orden de las conceptualizadas en los modelos base, como la presentada en el estudio "Análisis de Embalse Subterráneo: Aplicación en Acuífero Subyacente al río Elqui", desarrollado en el 2009; cuyo valor era de 3,5 m³/s.

En lo que concierne a las extracciones en la Figura 5.1-13 se presentan las extracciones impuestas por el modelo superficial WEAP en contraste con las efectivas computadas en el modelo subterráneo MODFLOW.



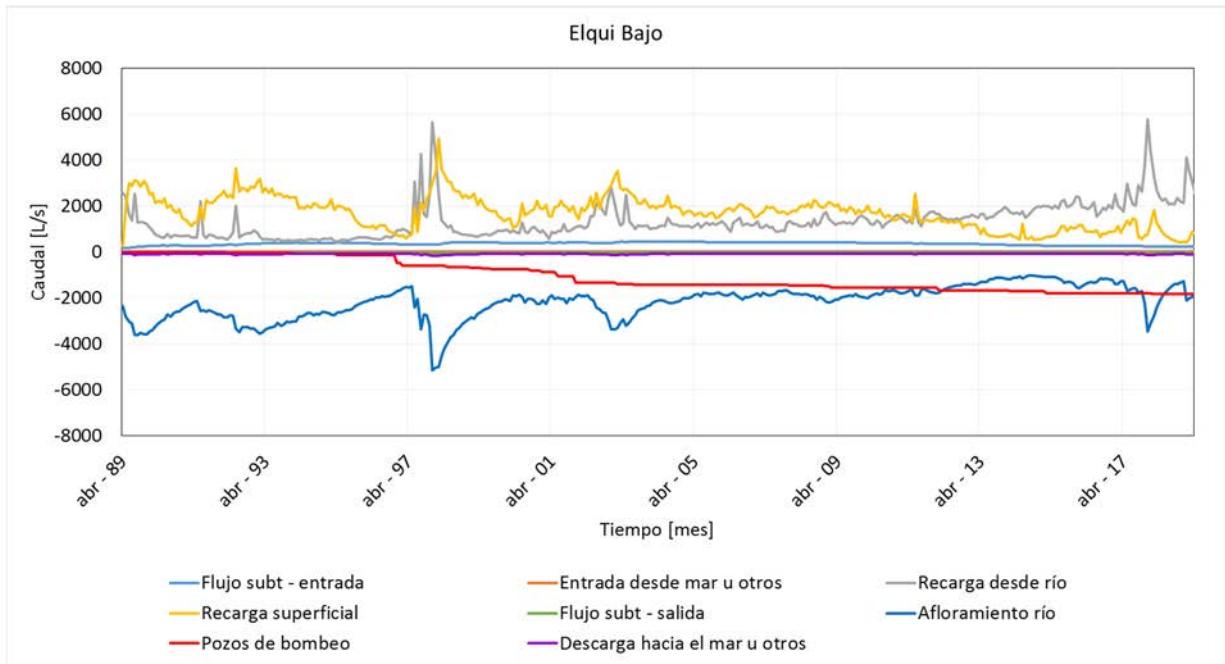
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.1-13 Extracciones computadas por modelo WEAP y modelo MODFLOW – modelo acoplado Elqui

Se observa que ambas son similares, computando tanto WEAP como el código MODFLOW la misma demanda en el sistema subterráneo.

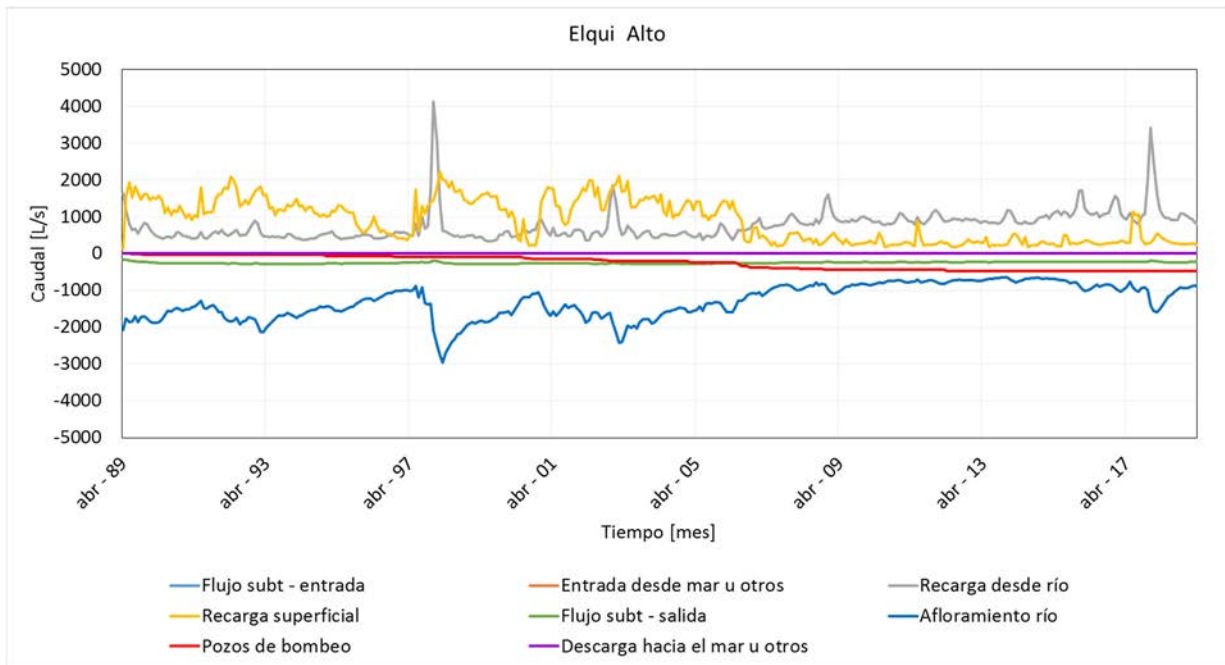
5.1.1.8 Comportamiento de las variables

Para evaluar el comportamiento de las variables modeladas del sistema acoplado, en la Figura 5.1-14 y en la Figura 5.1-15 se muestra el resultado gráfico de la simulación mensual, en la que se presentan con valores positivos aquellos flujos de entrada al acuífero y en negativo aquellos flujos que representan las salidas. Para ambas figuras se distingue el importante nivel de flujos subterráneos interacuíferos, que permiten la alimentación de los demás sistemas. Además, los flujos muestran la tendencia a la disminución en el tiempo, reconocida para la cuenca. Finalmente, los valores indicados en el balance hidrogeológico del acápite anterior quedan de manifiesto en cuando a su orden de magnitud en las figuras presentadas.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.1-14 Comportamiento de las variables asociadas al Acuífero Elqui Bajo, período 1989-2019



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.1-15 Comportamiento de las variables asociadas al Acuífero Elqui Alto, período 1989-2019

5.1.2 Situación proyectada

5.1.2.1 Selección de Modelo de Circulación General Disponibles

En el Anexo H, acápite 5.1.1.1, se presenta el detalle de la selección del del modelo de circulación general disponible. Como resumen, los escenarios que se evaluaron, de manera de verificar el correcto funcionamiento de los modelos acoplados en la situación futura (2019-2050) se implementaron según lo especificados en la Tabla 5.1-4, tomando como base el modelo calibrado acoplado WEAP-MODFLOW (1990-2019) descrito en los acápites anteriores.

Tabla 5.1-4 Escenarios de cambio climático modelados

Escenarios CC	Periodo	OBS
E1 CC	Abr 1990 - Mar 2050	
Forzantes	Abr 2019 - Mar 2050	MCG CSIRO
Demandas	Abr 2019 - Mar 2050	Replicadas desde 2019 para analizar variación de oferta hídrica y cómo responde el sistema para garantizar funcionamiento
E2 CC	Abr 1990 - Mar 2050	
Forzantes	Abr 2019 - Mar 2050	MCG CCSM4
Demandas	Abr 2019 - Mar 2050	Replicadas desde 2019 para analizar variación de oferta hídrica y cómo responde el sistema para garantizar funcionamiento

Fuente: Elaboración propia.

Para realizar el análisis comparativo en términos de balances hídricos, los modelos fueron comparados en ventanas de tiempo equivalentes. Es decir, ya que la modelación de escenarios se realiza hasta el año 2050, y que el modelo calibrado comprende el período 1990-2019, la ventana de comparación futura fue 2020-2050.

Conforme a lo especificado, en los siguientes puntos se describen los resultados comparativos y selección del MCG para evaluar los escenarios.

i. E1 CC: MCG CSIRO

En el acápite 5.1.1.1-i del Anexo H se presenta el resumen de resultados del modelo CSIRO.

ii. E2 CC: MCG CCSM4

En el acápite 5.1.1.1-ii del Anexo H se presenta el resumen de resultados del modelo CCSM4.

iii. Comparaciones de Resultados E1 CC y E2 CC

En el acápite 5.1.1.1-iii del Anexo H se presenta la comparación entre ambos escenarios de manera de poder decidir con qué escenario evaluar a futuro.

Modelo de Circulación General Seleccionado para evaluar Escenarios (ECC)

En el Anexo H (acápites 5.1.1.1-iii) se detalla el modelo de circulación seleccionado. El modelo escogido para la cuenca del río Elqui fue el modelo CSIRO. En este sentido, el escenario de cambio climático con MCG CSIRO se denomina E CC.

5.1.2.2 Escenario 1: Caso Base (E1)

En el Anexo H, acápite 5.1.1.2, se presenta el detalle de la conceptualización del Escenario 1, Caso Base. Como resumen, la simulación futura de la cuenca de Elqui, corresponde a la situación en la cual la oferta natural de la cuenca está dada por la implementación de las forzantes meteorológicas obtenidas del MCG CSIRO, de acuerdo a lo determinado en el acápite anterior; y la demanda se proyecta principalmente debido a la actividad agrícola de la zona; junto a las iniciativas de gestión en la cuenca que se realizarán como base entre 2019 y 2050. En este caso se considera un aumento de la demanda de agua potable del 35% (Tabla 5.1-5).

Tabla 5.1-5 Descripción Escenario 1, Caso Base

Escenarios	Periodo	OBS
E1	Abr 2019 - Mar 2050	
Forzantes	Abr 2019 - Mar 2050	MCG CSIRO
Demandas	Abr 2019 - Mar 2050	Proyección de demandas a 2050
Iniciativas Base	Abr 2019 - Mar 2050	Cuenca no contempla iniciativas de gestión base entre 2019-2050, pero sí un aumento de la demanda de agua potable del 35%.

Fuente: Elaboración propia.

5.2 BRECHAS

5.2.1 Resultados de Escenario Cambio Climático Seleccionado (ECC)

En el Anexo H, acápite 5.2.1, se presenta el detalle de los resultados del escenario de cambio climático seleccionado, detallando los cambios en caudales, niveles y balances. Los modelos fueron comparados en ventanas de tiempo equivalentes; puesto que el modelo calibrado comprende el período 1990-2019, la ventana de comparación futura utilizada fue 2020-2050. Los resultados de la implementación del escenario E CC se encuentran en los apéndices del Anexo H (H-5 y H-6).

De acuerdo a lo consignado en el acápite 5.1.2.1, el MCG seleccionado para incorporar las forzantes meteorológicas al modelo acoplado corresponde a CSIRO.

En lo que respecta al sistema subterráneo, en la Tabla 5.2-1 se presenta el balance hidrogeológico de la cuenca para el período futuro (2020-2050).

Tabla 5.2-1 Balance Hidrogeológico del período futuro (2020-2050)

Entradas (l/s)	Serena Norte	Elqui Bajo	Santa Gracia	Elqui Medio	Elqui Alto	Total
Flujo subterráneo	32,17	150,58	19,93	227,41	150,00	150,00
Entrada desde mar u otros	0,98	0,02	0,00	0,00	0,00	1,00
Recarga desde río	0,00	2.718,23	0,00	621,65	1.165,05	4.504,94
Recarga superficial	335,31	434,10	15,84	197,31	281,04	1263,60
Total	368,46	3302,93	35,77	1.046,38	1.596,09	5.919,54
Salidas (l/s)						
Flujo subterráneo	9,73	52,44	32,17	107,49	227,21	429,04
Afloramiento río	0,00	1.220,10	0,00	812,61	851,37	2.884,08
Afloramiento drenes	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Evapotranspiración	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pozos de bombeo	218,12	2.010,03	40,90	138,63	530,21	2.937,88
Descarga hacia el mar u otros	146,06	87,32	0,00	0,00	0,00	233,38
Total	373,91	3.369,88	73,07	1.058,73	1.608,79	6.055,34
Variación de Almacenamiento (l/s)	-5,26	-65,88	-37,02	-12,07	-11,83	-132,05
Error de Balance (l/s)	-0,19	-1,07	-0,28	-0,28	-0,87	-3,75
Error de Balance (%)	-0,05%	-0,03%	-0,38%	-0,03%	-0,05%	-0,06%

Fuente: Elaboración propia.

5.2.2 Resultados Escenario 1: Caso Base (E1)

De acuerdo al planteamiento del escenario 1, Caso Base, presentado en el acápite 5.1.2.2, a continuación, se presentan los resultados de dicha modelación. La totalidad de los resultados se encuentra en los Apéndices H-4 y H-5 del Anexo H, así como en el acápite 5.2.2 del mismo documento.

Se debe recordar que en dicho escenario no se incluye ninguna obra de infraestructura, y se proyectan las demandas, principalmente los cultivos agrícolas y la demanda potable. Esta última aumenta un 35%, la cual se aplica de manera progresiva desde abril de 2019 (0%) hasta marzo del 2050 (35%) de acuerdo a una progresión lineal.

El balance hidrogeológico obtenido se presenta en la Tabla 5.2-2. Como se puede apreciar el desembalse de la cuenca es de 146,47 l/s.

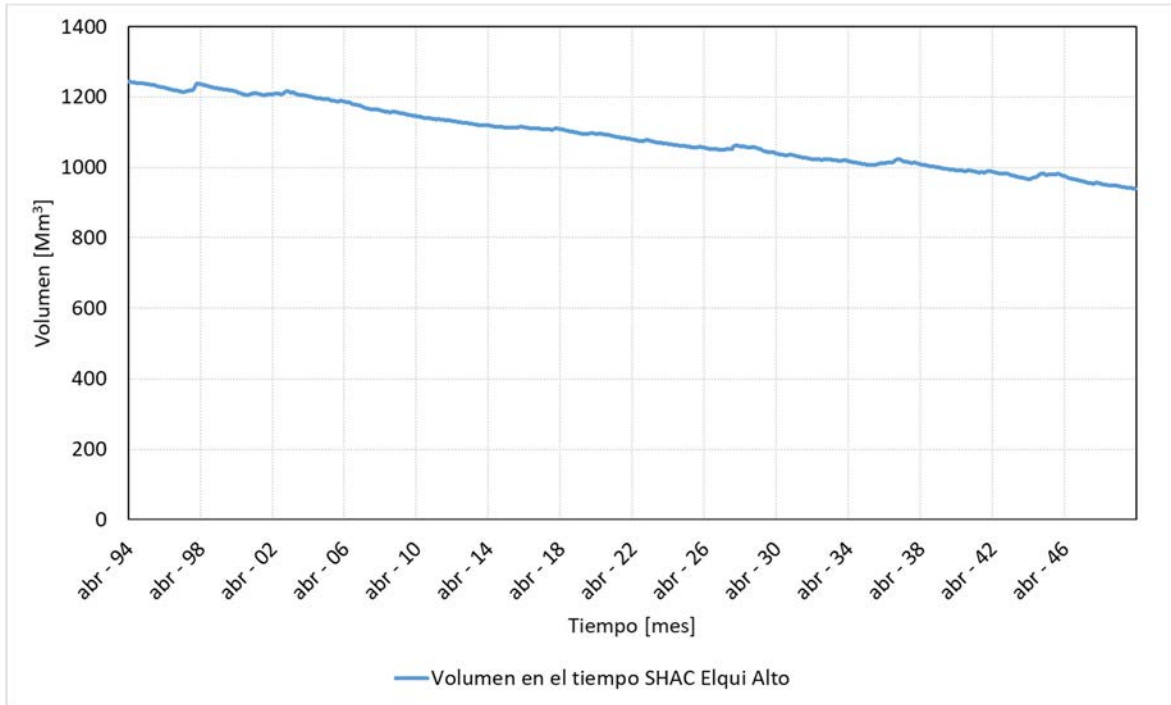
Tabla 5.2-2 Escenario 1, Balance Hídrico Subterráneo 2020-2050

Entradas (l/s)	Serena Norte	Elqui Bajo	Santa Gracia	Elqui Medio	Elqui Alto	Total
Flujo subterráneo	29,82	150,72	22,63	226,13	150,00	150,00
Entrada desde mar u otros	1,93	0,02	0,00	0,00	0,00	1,95
Recarga desde río	0,00	2.913,86	0,00	624,77	1.186,38	4.725,01
Recarga superficial	340,60	423,68	15,69	196,46	280,47	1.256,89
Total	372,35	3.488,28	38,32	1047,35	1.616,85	6.133,85
Salidas (l/s)						
Flujo subterráneo						
Afloramiento río	10,77	52,79	31,28	107,46	225,92	428,22
Afloramiento drenes	0,00	1172,62	0,00	809,60	838,65	2.820,87
Evapotranspiración	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pozos de bombeo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Descarga hacia el mar u otros	229,93	2.253,52	44,87	142,28	564,87	3.235,47
Total	137,91	89,24	0,00	0,00	0,00	227,15
	378,60	3.568,18	76,15	1.059,34	1.629,44	6.283,49
Variación de Almacenamiento (l/s)						
Error de Balance (l/s)	-6,14	-79,18	-37,55	-11,83	-11,77	-146,47
Error de Balance (%)	-0,11	-0,72	-0,27	-0,16	-0,83	-3,17

Fuente: Elaboración propia.

En el Anexo H, acápite 5.2.2, se pueden corroborar las variaciones de volúmenes y el detalle de las componentes del balance. A modo de ejemplo se presenta la variación de volumen para el SHAC de Elqui Alto en la Figura 5.2-1.

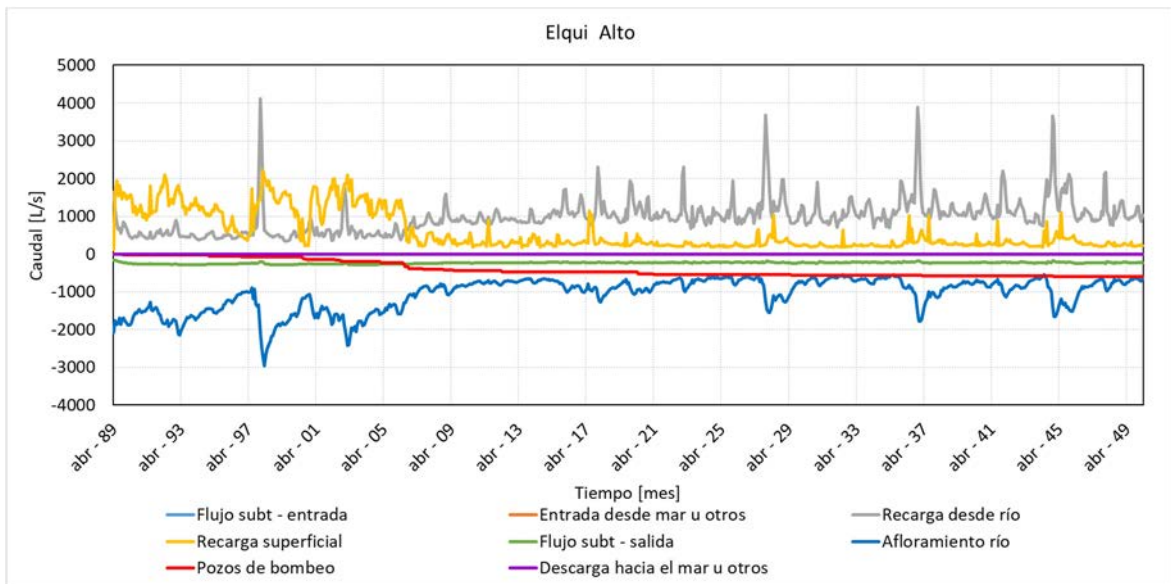
Lo primero al observar la variación de volumen es la marcada señal inequívoca al descenso del recurso, lo que se corrobora con la tasa de vaciamiento promedio estimada en el balance hidrogeológico. El SHAC de Elqui Alto desciende del orden de 250 Mm³ a lo largo del periodo de simulación. Se debe recordar que en este SHAC existe un uso intensivo del riego y es el que está ubicado inmediatamente a la salida del embalse Puclaro.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.2-1 Variación futura de los volúmenes del acuífero - SHAC Elqui Alto. Escenario E1 Caso Base

Un ejemplo de las componentes del balance hidrogeológico se presenta en la Figura 5.2-2, siguiendo el mismo esquema que los volúmenes.

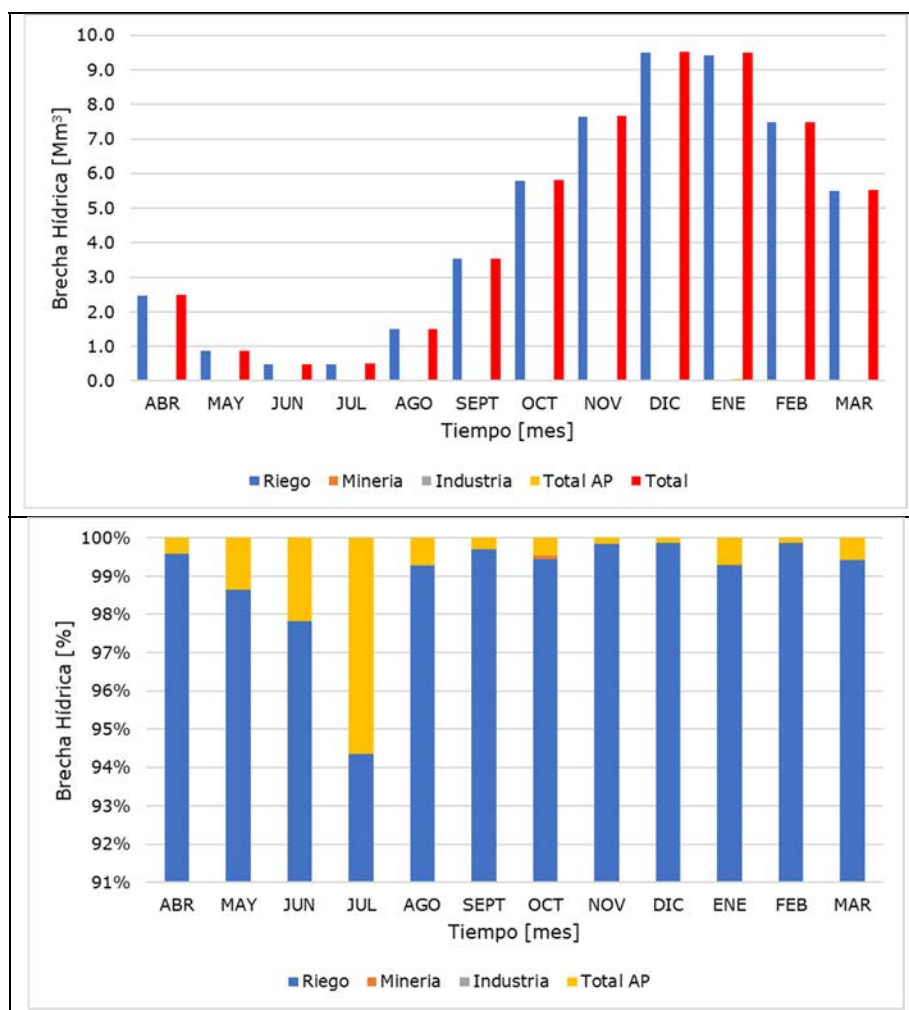


Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.2-2 Variación futura de las componentes del balance hidrogeológico por SHAC Elqui Alto. Escenario E1 Caso Base

En términos de la brecha hídrica de la cuenca, esta fue estimada a través de WEAP rescatando la información de “demanda no satisfecha”, obteniéndose dicho término para aquellos elementos según su uso (agua potable, minería, riego e industria). La razón de hacer esto, es porque existe mucha topología auxiliar, que debe filtrarse antes del cálculo de la demanda no satisfecha. Adicionalmente, la demanda no satisfecha por riego fue consultada directamente en los “catchments” en donde está definida la operación de riego, pero no se ahonda en la subdivisión por cultivo anual o frutales, sino que se aborda como la demanda no satisfecha de manera íntegra en el nodo.

La Figura 5.2-3 presenta la brecha hídrica alcanzada. Como se puede apreciar la brecha hídrica a nivel estacional está dada por el riego, la que como se puede apreciar representa más del 90% de la brecha total. La brecha asociada al agua potable es relevante durante los meses de mayo a agosto, alcanzando un 5% en Julio. Sumando la brecha identificada mes a mes se obtiene una brecha total de 54,88 Mm³. Por otra parte, si se promedia la brecha mes a mes (abril-marzo) se obtiene un promedio de 4,57 Mm³.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.2-3 Brecha Hídrica (BR-H) cuenca río Elqui. (Sup) BR-H por tipo de demanda. (Inf) BR-H como porcentaje del total. Escenario E1 Caso Base

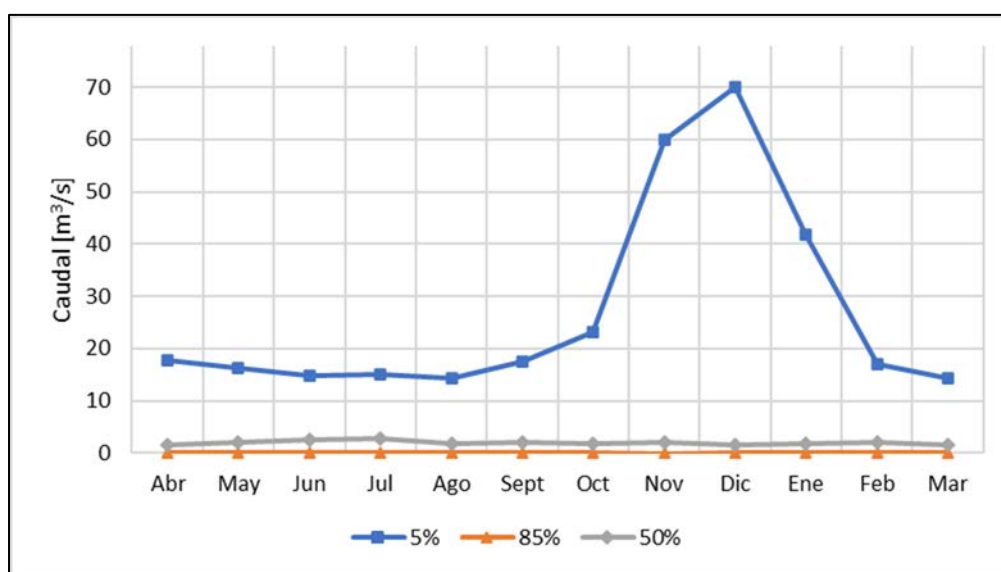
5.3 SUSTENTABILIDAD

5.3.1 Oferta Hídrica Sustentable Superficial

Para el cálculo de la oferta sustentable de tipo superficial, se emplea la metodología expuesta en el Anexo F (acápites 3.4.5) del presente informe, considerando para el análisis el modelo WEAP acoplado para el periodo histórico sin demandas. Los resultados obtenidos se exponen a continuación.

5.3.1.1 Curvas de variación estacional

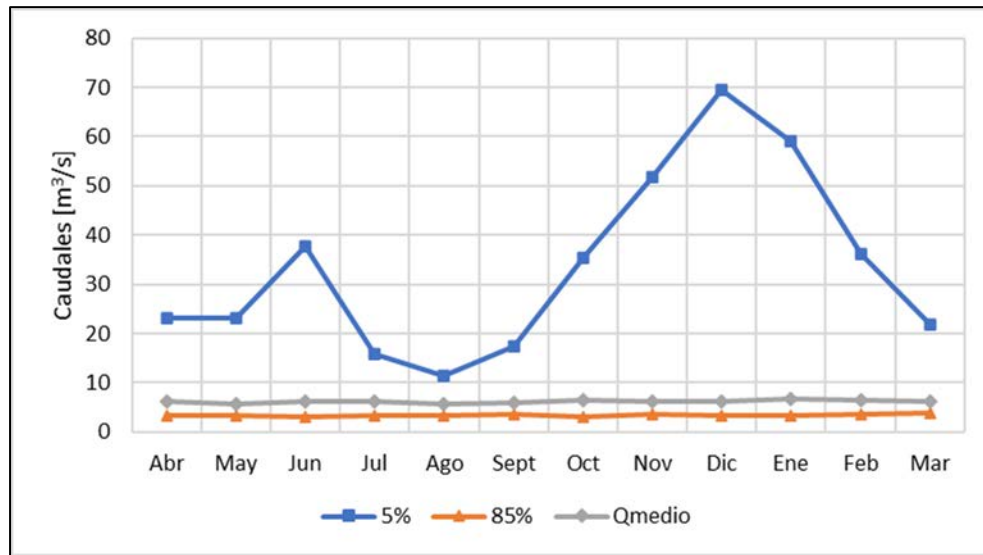
En este acápite se exponen los resultados de los caudales para una probabilidad de excedencia de un 5%, 50% y 85% para cada mes, junto con los gráficos de las curvas de variación estacional para cada punto de control, desde la Figura 5.3-1 a la Figura 5.3-4.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.3-1 Curva de variación estacional para Elqui Bajo en punto de control Río Elqui en La Serena

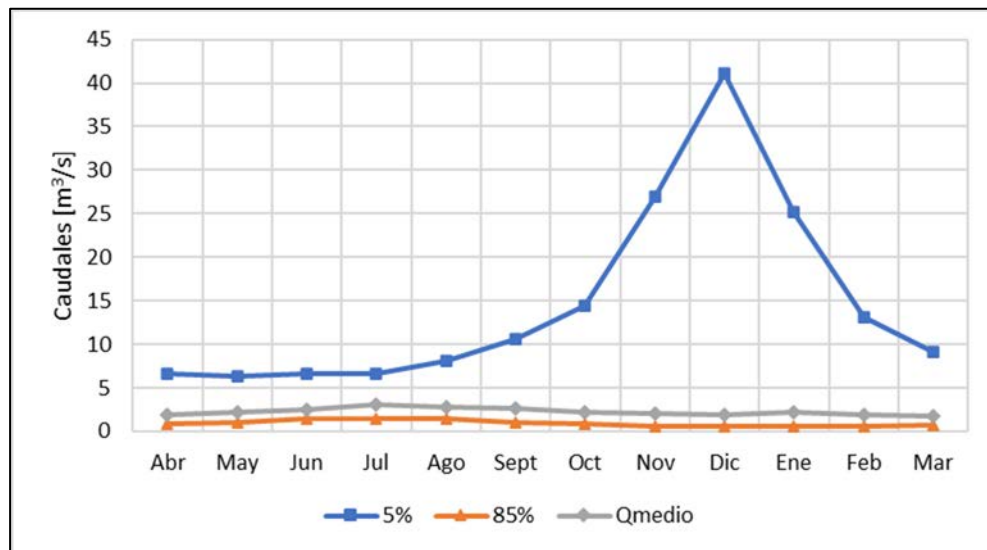
Se aprecia que la curva asociada a la desembocadura de la cuenca del Río Elqui posee un régimen de aportes nivales, lo que localiza los caudales máximos durante el periodo de estiaje, desde el mes de octubre a marzo.



Fuente: Elaboración propia

Figura 5.3-2 Curva de variación estacional para Elqui Medio en punto de control Río Elqui en Almendral

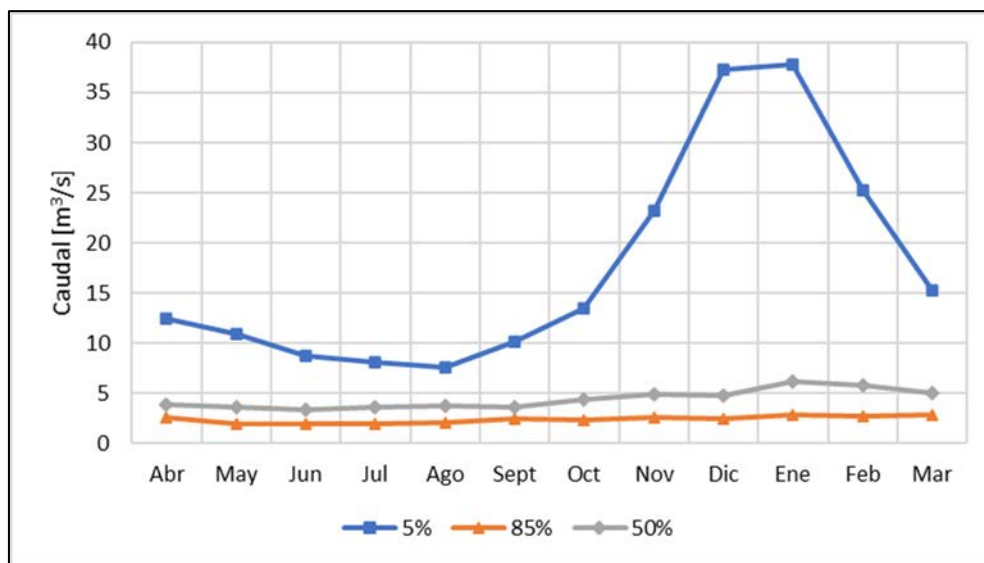
En el caso de la cuenca asociada al valle del Río Elqui en Elqui Medio, se tiene un régimen mixto con aportes tanto nivales como pluviales.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.3-3 Curva de variación estacional para Río Claro en punto de control Río Claro en Rivadavia

En el caso de la cuenca del Río Claro, se aprecia un régimen totalmente nival, lo que está acorde con la ubicación geográfica de esta cuenca, la cual presenta altimetrías desde los 1.120 m s.n.m. hasta los 4.000 m.s.n.m.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.3-4 Curva de variación estacional para Río Turbio en punto de control Río Turbio en Varillar

Finalmente, para la cuenca del Río Turbio, se tiene un régimen similar al del Río Claro, de aporte totalmente nival, acorde con el rango altitudinal de la cuenca que oscila entre los 950 m s.n.m. hasta los 4.500 m s.n.m.

5.3.1.2 Actualizar los derechos otorgados, en trámite, de todo tipo y distribución

Este acápite tiene como objetivo exponer el proceso de actualización de derechos de aprovechamiento considerados. El detalle de esta actualización se expone de forma acaba en el Anexo J.7.1. Los resultados se exponen en el Anexo H.5.3.1.

5.3.1.3 Oferta hídrica sustentable y caudal ecológico

La actualización de los caudales ecológicos en los tramos analizados, calculados como se especifica en la metodología (Anexo F.3.4.5), presentándose en la Tabla 5.3-1 los resultados.

Tabla 5.3-1 Caudales ecológicos para las cuencas analizadas

Cuenca	Q ecológico [m³/s]
Elqui Bajo	0,005
Elqui Medio	0,98
Río Claro	0,10
Río Turbio	0,72

Fuente: Elaboración propia.

Con esto, es posible calcular la oferta hídrica en cada una de las cuencas y los saldos que se heredan de cada tramo hacia el tramo siguiente.

Tabla 5.3-2 Oferta hídrica del Río Turbio para la parte alta de la cuenca Elqui (m³/s)

Valor	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Q5%	12,43	10,90	8,70	8,16	7,62	10,19	13,50	23,27	37,30	37,85	25,29	15,33
Event	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31
Q85%	2,55	1,92	1,96	1,96	2,08	2,42	2,36	2,58	2,49	2,86	2,68	2,86
Perm	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Q ecol	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72
Saldo Eventual	11,39	9,86	7,66	7,13	6,59	9,16	12,47	22,24	36,27	36,82	24,26	14,29
Saldo Perman.	-4,17	-4,81	-4,77	-4,76	-4,65	-4,30	-4,37	-4,14	-4,23	-3,86	-4,04	-3,86

Fuente: Elaboración propia.

De la Tabla 5.3-2 se puede desprender que, en términos de derechos eventuales, la oferta hídrica se encuentra estable y no presenta un déficit del recurso hídrico, a diferencia del otorgamiento de derechos permanentes, donde el saldo que se hereda al siguiente nodo es cero, ya que se tienen valores negativos que indican el sobre otorgamiento de derechos en la zona alta, frente a la disponibilidad hídrica que se tiene.

Tabla 5.3-3 Oferta hídrica del Río Claro para la parte alta de la cuenca Elqui (m³/s)

Valor	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Q5%	6,66	6,39	6,56	6,55	8,10	10,62	14,44	26,92	41,14	25,19	13,09	9,14
Event	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Q85%	0,88	0,96	1,43	1,39	1,49	1,04	0,85	0,64	0,54	0,51	0,50	0,69
Perm	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54
Q ecol	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Saldo Eventual	6,45	6,19	6,36	6,35	7,90	10,42	14,23	26,71	40,94	24,98	12,88	8,94
Saldo Perman.	-0,76	-0,69	-0,21	-0,25	-0,16	-0,60	-0,79	-1,00	-1,11	-1,14	-1,14	-0,95

Fuente: Elaboración propia.

En el caso de la cuenca del río Claro, se puede apreciar un comportamiento similar en el otorgamiento de derechos, donde en el caso de los de tipo eventual se tiene un saldo positivo heredable al nodo siguiente, mientras que en los de tipo permanente se presenta un sobre otorgamiento que no deja un saldo de oferta hídrica en la cuenca. Comparativamente, en el río Claro se tiene un agotamiento de menor magnitud respecto al río Turbio.

A partir de ambos saldos, en el eventual se migran los caudales a la cuenca de Elqui Medio, mientras que en el permanente se toma como cero, ya que no hay oferta que pueda trasladarse al nodo siguiente. Con esto se establece la oferta hídrica para la cuenca de Elqui Medio, como se muestra en la Tabla 5.3-4.

Tabla 5.3-4 Oferta Hídrica de Elqui Medio para la parte del Valle del Río Elqui (m³/s)

Valor	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Q5%	23,10	23,08	37,67	15,77	11,35	17,37	35,43	51,89	69,48	59,17	36,12	21,79
Event	12,71	12,71	12,71	12,71	12,71	12,71	12,71	12,71	12,71	12,71	12,71	12,71
Claro E	6,45	6,19	6,36	6,35	7,90	10,42	14,23	26,71	40,94	24,98	12,88	8,94
Turbio E	11,39	9,86	7,66	7,13	6,59	9,16	12,47	22,24	36,27	36,82	24,26	14,29
Q85%	3,39	3,32	3,03	3,32	3,25	3,51	3,04	3,51	3,44	3,45	3,67	3,78
Perm	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39
Claro P	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Turbio P	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Q ecol	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
Saldo Eventual	27,26	25,44	38,00	15,56	12,14	23,25	48,44	87,15	132,99	107,28	59,57	31,32
Saldo Perman.	0,01	-0,06	-0,34	-0,05	-0,12	0,13	-0,34	0,13	0,07	0,07	0,29	0,40

Fuente: Elaboración propia.

Respecto a la zona del Valle del Río Elqui, se puede apreciar que la oferta hídrica mejora. No existe un sobre otorgamiento de derechos respecto al recurso hídrico en términos de derechos eventuales y en el caso de los derechos permanentes, se tiene un déficit mucho menor con respecto a las cuencas altas e incluso se estabiliza en los meses de estiaje de noviembre a abril.

Los saldos eventuales y permanentes que se generan en Elqui Medio, se heredan al nodo de cierre siguiente, donde se obtiene el saldo total para la cuenca de Elqui Bajo. En el caso de saldos negativos, se consideran como cero en el nodo siguiente.

Tabla 5.3-5 Oferta Hídrica de Elqui Bajo para la desembocadura del Río Elqui (m³/s)

Valor	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Q5%	17,79	16,24	14,81	15,01	14,38	17,60	23,03	60,02	70,04	41,84	17,12	14,32
Event	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
ElquiM.E	27,26	25,44	38,00	15,56	12,14	23,25	48,44	87,15	132,99	107,28	59,57	31,32
Q85%	0,09	0,06	0,17	0,08	0,08	0,07	0,11	0,05	0,05	0,07	0,05	0,08
Perm	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40
ElquiM. P	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00	0,13	0,07	0,07	0,29	0,40
Q ecol	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Saldo Eventual	40,04	36,68	47,81	25,56	21,52	35,85	66,47	142,16	198,02	144,12	71,68	40,64
Saldo Perman.	-1,30	-1,34	-1,22	-1,31	-1,32	-1,19	-1,28	-1,22	-1,28	-1,26	-1,05	-0,91

Fuente: Elaboración propia.

En la zona costera del río Elqui, se puede apreciar que, en términos eventuales, no se tiene un déficit de agua, a diferencia de los derechos permanentes, donde se incrementa el orden de magnitud del sobre otorgamiento de derechos respecto a Elqui Medio.

5.3.1.4 Comentarios

Sobre los derechos de aprovechamiento de aguas superficiales de la cuenca del río Turbio, se aprecia que el último derecho de tipo permanente fue otorgado el año 1964, por lo que desde entonces no se han asignado más derechos de los que, con dificultad, puede satisfacer la cuenca. A partir de los resultados, se puede establecer que esta situación debe seguir así. La oferta hídrica de esta cuenca no permite la asignación de más derechos de aprovechamiento en la zona.

Siguiendo el mismo lineamiento, ocurre lo mismo en la cuenca del río Claro, donde el último derecho permanente asignado es más reciente (2007), sin embargo, a pesar de que se tiene un estrés hídrico de menor magnitud que en el Río Turbio, no es recomendable otorgar más derechos del tipo permanente en la cuenca.

En el caso del Valle del Elqui, en la zona de Elqui medio, el último derecho permanente asignado data del año 2006. A pesar de que no se reciben aportes del tipo permanente desde las cuencas del río Turbio y Claro, el estrés hídrico mejora considerablemente, e incluso alcanza valores positivos en los meses desde noviembre a abril, sin embargo, no sería recomendable el otorgamiento de derechos permanentes en el valle, para no aumentar el estrés hídrico aguas abajo.

Finalmente, para Elqui Bajo nuevamente se expone un saldo permanente negativo, indicando un déficit en la oferta hídrica. El último derecho otorgado de tipo permanente es el más actual y data del año 2012, por lo que se sugiere que esta situación se mantenga y no abusar del sobre otorgamiento, mucho menos frente a la mega sequía que afecta a gran parte del país.

5.3.2 Sustentabilidad de Sectores Acuíferos DGA

De acuerdo a la metodología expuesta en el Anexo F, el estudio y análisis de los criterios de sustentabilidad se aplicaron en aquellos SHAC ubicados dentro del dominio de acople. Sus resultados se presentan en los acápite siguientes.

Para la implementación de escenarios y análisis de sustentabilidad de los acuíferos, se consideró el modelo descrito en la Tabla 5.3-6, tomando como base el modelo E CC, seleccionado en el acápite 5.1.2.

Tabla 5.3-6 Descripción modelo considerado para sustentabilidad sectores acuíferos

Sustentabilidad Acuífero	Periodo	OBS
Periodo de modelación	Abr 1994 - Mar 2050	-
Periodo de evaluación	Abr 2000 - Mar 2050	-
Forzantes	Abr 2019 - Mar 2050	MCG CSIRO
Demandas	Abr 2019 - Mar 2050	Replicadas desde 2019 a 2050, para ver actual operación de la cuenca. Para cálculo de oferta natural también se consideró eliminación de demandas.

Fuente: Elaboración propia.

5.3.2.1 Análisis Criterios de Sustentabilidad en SHAC

Para la cuenca del río Elqui se han analizado los SHAC Elqui Bajo, Medio, Alto, Serena Norte y Santa Gracia. Inicialmente se procede a determinar la condición actual de cada SHAC, definidas a través de la declaración de restricción y prohibición de la DGA, tal como se presenta en la Tabla 5.3-7.

Tabla 5.3-7 Condición Actual SHAC Elqui

SHAC	Condición
Elqui Bajo	Cerrado
Elqui Medio	Cerrado
Elqui Alto	Cerrado
Serena Norte	Cerrado
Santa Gracia	Cerrado

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del análisis de los criterios de sustentabilidad aplicados a la cuenca del río Elqui se presentan de manera individual según corresponda.

Criterio 1: Volumen Sustentable

Utilizando el valor de la variable de estado nivel freático para cada celda activa dentro del dominio de modelación del modelo acoplado, se obtuvo la variación del volumen para los 50 años de análisis, siendo sus resultados presentados en la Tabla 5.3-8.

Tabla 5.3-8 Criterio 1 Cuenca Río Elqui

SHAC	ΔV (%)	Criterio
Elqui Alto	9,0%	No Cumple
Elqui Medio	14,8%	No Cumple
Elqui Bajo	23,3%	No Cumple
Santa Gracia	9,4%	No Cumple
Serena Norte	14,6%	No Cumple

Fuente: Elaboración propia.

Considerando que el volumen de explotación sustentable para un periodo de 50 años corresponde a una variación del 5%, ninguno de los SHAC analizados en el estudio cumplen con el primer criterio.

Este criterio corresponde al primer filtro, ya que basta con que uno de los criterios no se cumpla para establecer que no exista oferta sustentable subterránea dentro de la cuenca.

5.3.2.2 Oferta subterránea sustentable

Debido a que ninguno de los SHAC analizados cumple con los criterios de sustentabilidad acuífera, no existe una oferta subterránea sustentable capaz de suplir una mayor demanda a la actual, por lo que no es recomendable el otorgamiento de derechos de aprovechamiento de carácter subterráneo

5.4 ESCENARIOS DE GESTIÓN ESPECÍFICOS

Los escenarios de gestión específicos corresponden a iniciativas identificadas en trabajo conjunto con DGA, en base a la información recabada en las reuniones de Participación Ciudadana (PAC) (detalles en apartado 2.6.2 y Anexo I). De esta forma, en base a la información disponible por actores de la cuenca y entidades públicas, fue posible definir dos escenarios:

- Escenario 2: Planta Desaladora, ubicada en la zona costera de La Serena.
- Escenario 3: Recarga de acuíferos en el SHAC de Elqui Bajo.

Los siguientes apartados describen, en primera instancia, en qué consiste la implementación de estos escenarios para, posteriormente, proporcionar un diagnóstico técnico en términos del beneficio que cada alternativa representaría para la cuenca, de acuerdo con los resultados obtenidos con el modelo desarrollado.

Cabe destacar que la formulación de los modelos de gestión (E2 y E3), consideran como modelo base el Escenario 1, definido en el acápite 5.1.2.2 y 5.2.2; sumando las iniciativas propias de cada escenario. Conforme a lo anterior, en la Tabla 5.4-1 se resumen los escenarios de gestión específicos desarrollados, en lo que respecta a forzantes, demandas, e iniciativas.

Tabla 5.4-1 Resumen descriptivo de Escenario 2 y Escenario 3

Ítem	Descripción
Periodo de modelación	Abr 1990 - Mar 2050 (1994-2019 corresponde a modelo calibrado)
Periodo de evaluación	Abr 2019 - Mar 2050
Forzantes Abr 2019 - Mar 2050	MCG CSIRO
Demandas Abr 2019 - Mar 2050	Proyección de demandas a 2050
Escala	Mensual
Zonas de Balance	SHAC
Iniciativa desarrollada E2	Planta Desaladora en zona costera
Iniciativa desarrollada E3	Recarga SHAC Elqui Bajo

Fuente: Elaboración propia.

5.4.1 Escenario 2 (E2)

El escenario E2 en cuestión está basado en una iniciativa de la Corporación Regional de Desarrollo Productivo (CRDP) de Coquimbo denominada: "Estudio técnico-económico comparativo entre la instalación de una planta desaladora y una planta de reutilización de aguas depuradas" desarrollada en septiembre del año 2014 por la empresa "Agua Advise".

El estudio plantea varias alternativas de desarrollo, combinando la opción de desalación y de reutilización de las aguas. En este caso, el modelo actual requiere de un trabajo mayor para la incorporación de la reutilización de aguas, siendo necesaria la definición de estos nodos en el modelo, incorporando así las plantas de tratamiento existentes. Independiente de aquello, si es posible evaluar la incorporación de una nueva fuente de

abastecimiento, en este caso, la planta desaladora. En este sentido la inclusión de plantas de reutilización de aguas es una opción que se debiese explorar en futuros escenarios de gestión, ya sea de manera independiente u complementaria.

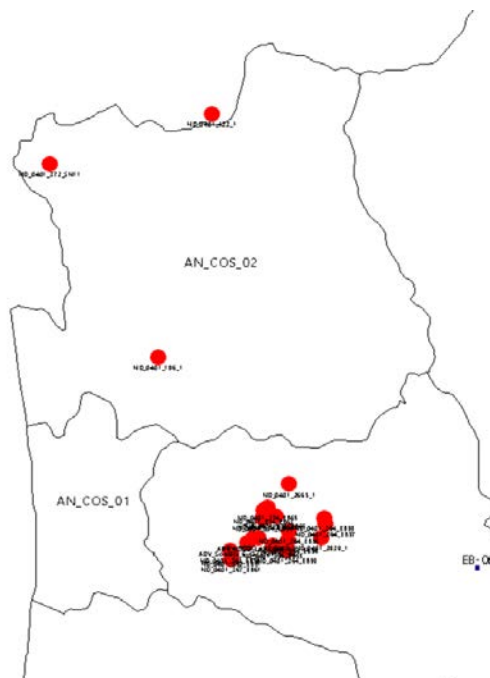
De acuerdo al estudio, se proponen dos plantas ubicadas en los puntos 1 y 3 de la Figura 5.4-1.



Fuente: CRDP (2014).

Figura 5.4-1 Ubicación Plantas Desaladoras. Escenario E2

De acuerdo al modelo desarrollado, y teniendo en cuenta que estas plantas suministrarán una oferta hídrica adicional en los límites de la zona costera, se hizo un filtro de los pozos susceptibles de recibir dicha oferta adicional, la cual es presentada en la Figura 5.4-2.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.4-2 Pozos representativos de demanda de agua potable. Escenario E2

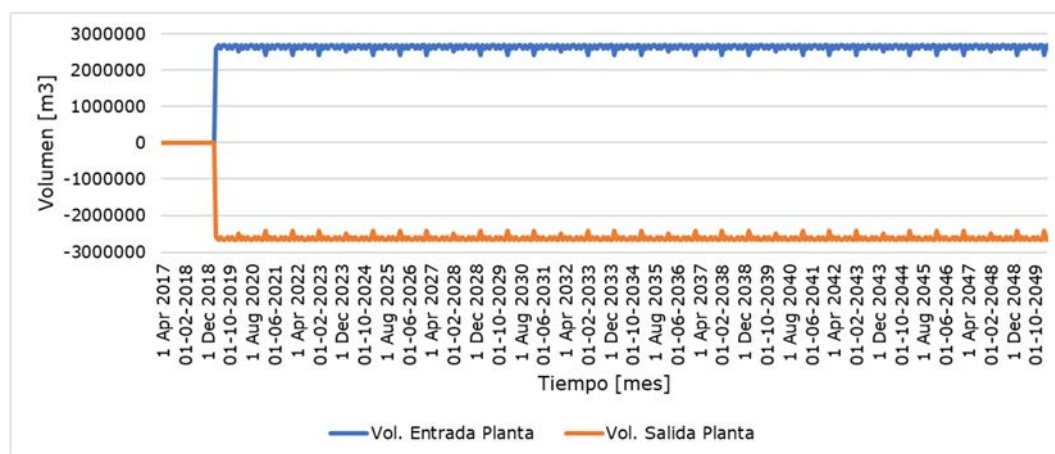
Como se puede apreciar, existe una distribución asimétrica de dichos pozos, la mayoría está concentrado en la zona sur del SHAC Serena Norte y en el extremo oeste del SHAC Elqui Bajo, lo que coincide con el emplazamiento de la ciudad de La Serena. Dado que, no se pudo levantar una distribución preliminar de la forma de distribuir el recurso, se decidió unificar ambas plantas en una única oferta hídrica que permitiese entonces que los pozos de agua potable primero satisfagan su demanda con el agua desalada y luego puedan bombear el remanente. La planta fue modelada a través del nodo "Other Supply" de WEAP.

El supuesto clave que hay detrás es que la iniciativa involucra un proceso de gestión y cooperación público-privado para la utilización de esta oferta hídrica adicional. Este escenario sólo es posible de sustentarlo si la DGA y la DOH puedan colaborar en un convenio de cooperación con Aguas del Valle que permita entonces el abastecimiento de las comunidades de APR y otros usuarios. Bajo ese principio, futuros tipos de convenio podrán elaborarse, por ejemplo, evaluando en el modelo restricciones a los caudales de bombeo, con el propósito de tener un efecto de recuperación de las napas subterráneas del sector de Elqui Bajo u otros acuerdos de explotación.

Otro aspecto a tener en cuenta es que si bien está oferta adicional se destina al consumo de agua potable y el espíritu es bombear menos del SHAC asociado, esto técnicamente también requiere de una iniciativa adicional de conservación en que los otros usuarios de aguas subterráneas conformen una comunidad de aguas subterráneas (CAS) en donde puedan limitar sus extracciones. En este escenario dicha restricción no es aplicada, por ende, si otros usuarios ven mayor disponibilidad del recurso subterráneo

querrán utilizarlos para sus fines productivos. De ahí la importancia de las iniciativas de creación de las CAS.

Lo primero a verificar en la implementación del resultado de los escenarios es la verificación que la planta desaladora está bien configurada y que está constituyéndose como oferta hídrica. Para esto se presenta la Figura 5.4-3, que representa la suma de los flujos de entrada y salida del nodo de la planta desaladora.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.4-3 Balance Hídrico sobre la planta desaladora. Escenario E2

Como se puede apreciar, se verifica primero que la planta funciona a partir de abril del 2019 y que toda el agua que entra a la planta sale de ella, a suplir la demanda de agua potable conectada a ella. Cabe destacar que, en este caso, la planta desaladora no ha sido conectada a la captación superficial de agua de ECONSSA.

La Tabla 5.4-2 presenta la actualización del balance hidrogeológico para el escenario E2. Lo primero a destacar es que respecto del escenario E1 (caso base), la variación de almacenamiento pasa de -146,47 l/s a -128,25 l/s, lo que se traduce en una disminución de la tasa de desembalse de un 12,4%. La recarga superficial pasa de 1256,89 a 1.254,28 l/s, pero el principal impacto se observa en la recarga desde el río la que pasa de 4.725,01 a 4.087,70 l/s, presentando una reducción de un 13,5%.

Si se analizan las salidas del balance hídrico, la principal diferencia se da en dos ítems: el afloramiento de los ríos pasa de los 2.820,87 a 2.928,08 l/s (aumento del 3,8%) y la disminución de los bombeos que varía desde los 3.235,47 a 2.376,44 l/s, lo que equivale a una reducción del 26,54%, efecto esperado producto de la nueva oferta hídrica.

Estos efectos se han concentrado en SHAC de Elqui Bajo, justamente donde se implementa la oferta hídrica de la planta desaladora, y que explica la totalidad del cambio de los bombeos. La variación de almacenamiento en dicho SHAC pasa de los -79,18 a -65,31 l/s, ratificando la correcta implementación del escenario. Cabe destacar que los flujos para los otros SHAC's se mantuvieron con muy pocas variaciones, solo destacándose una reducción de los bombeos para el SHAC de Serena Norte de 79,31 l/s.

Tabla 5.4-2 Escenario 2, Balance Hídrico Subterráneo 2020-2050

Entradas (l/s)	Serena Norte	Elqui Bajo	Santa Gracia	Elqui Medio	Elqui Alto	Total
Flujo interacuífero	45,36	152,97	22,66	226,14	150,00	150,00
Entrada desde mar u otros	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02
Recarga desde río	0,00	2.277,60	0,00	623,87	1.186,23	4.087,70
Recarga superficial	341,14	420,90	15,65	196,06	280,53	1.254,28
Total	386,49	2.851,48	38,31	1.046,07	1.616,76	5.491,99
Salidas (l/s)						
Flujo interacuífero	13,22	68,36	31,08	107,45	225,93	446,05
Afloramiento río	0,00	1.280,99	0,00	808,46	838,63	2.928,08
Afloramiento drenes	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Evapotranspiración	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pozos de bombeo	150,62	1.473,97	44,71	142,28	564,87	2.376,44
Descarga hacia el mar u otros	224,48	94,26	0,00	0,00	0,00	318,75
Total	388,32	2.917,58	75,79	1.058,19	1.629,44	5.623,27
Variación de Almacenamiento (l/s)	-1,70	-65,31	-37,23	-11,93	-12,08	-128,25
Error de Balance (l/s)	-0,12	-0,79	-0,25	-0,19	-0,60	-3,03
Error de Balance (%)	-0,03%	-0,03%	-0,34%	-0,02%	-0,04%	-0,05%

Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente, en el Anexo H, acápite 5.4.1, se ha incluido una tabla comparativa entre los balances hídricos subterráneos entre el escenario E1 (caso base) y E2.

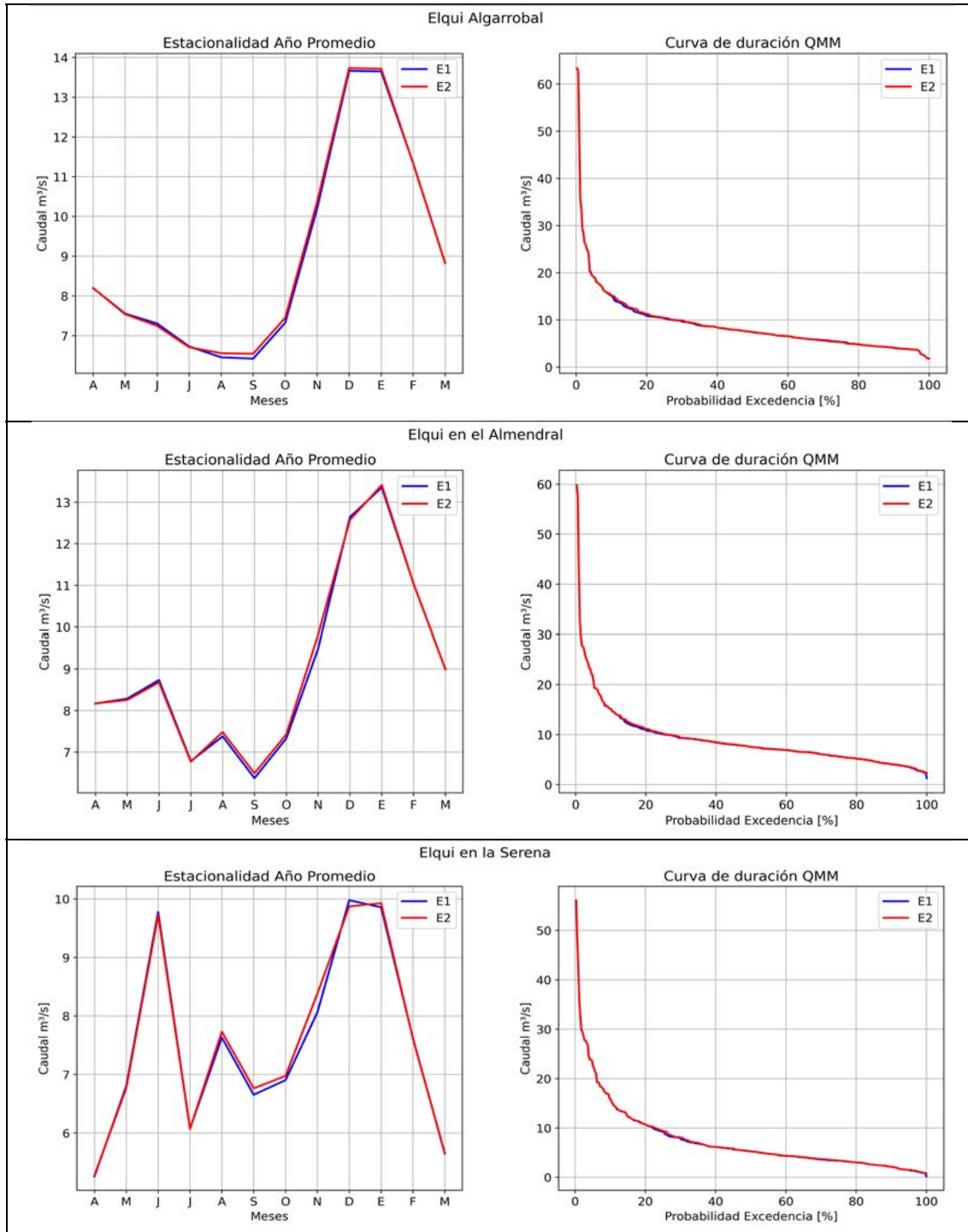
Dada la naturaleza de la modificación se ha comparado el caudal para tres estaciones de control fluviométricas, representativas de la zona. Elqui en Algarrobal por ser la oferta al sistema acoplado, Elqui en Almendral, aguas debajo de Puclaro y después de la operación de riego, y Elqui en La Serena para analizar variaciones al cierre de la cuenca.

La Figura 5.4-4 muestra la variación de la estacionalidad promedio de estas tres estaciones, comparando el escenario E2 respecto del caso base E1.

Tal como puede observarse, el efecto de la medida se focaliza en los meses de verano, particularmente de noviembre a marzo para Elqui en Algarrobal y Elqui en Almendral, con un leve descenso en los meses de mayo y junio en el período pluvial. A nivel medio anual se tiene un aumento del caudal medio anual de 2,56 y 2,2 % respectivamente.

Respecto a la estación de cierre, Elqui en La Serena, el efecto en el período pluvial no es apreciable, salvo en el mes de agosto y septiembre, por lo que el efecto se concentra entre los meses septiembre a noviembre. El aumento de caudal medio anual totaliza un 1,5%.

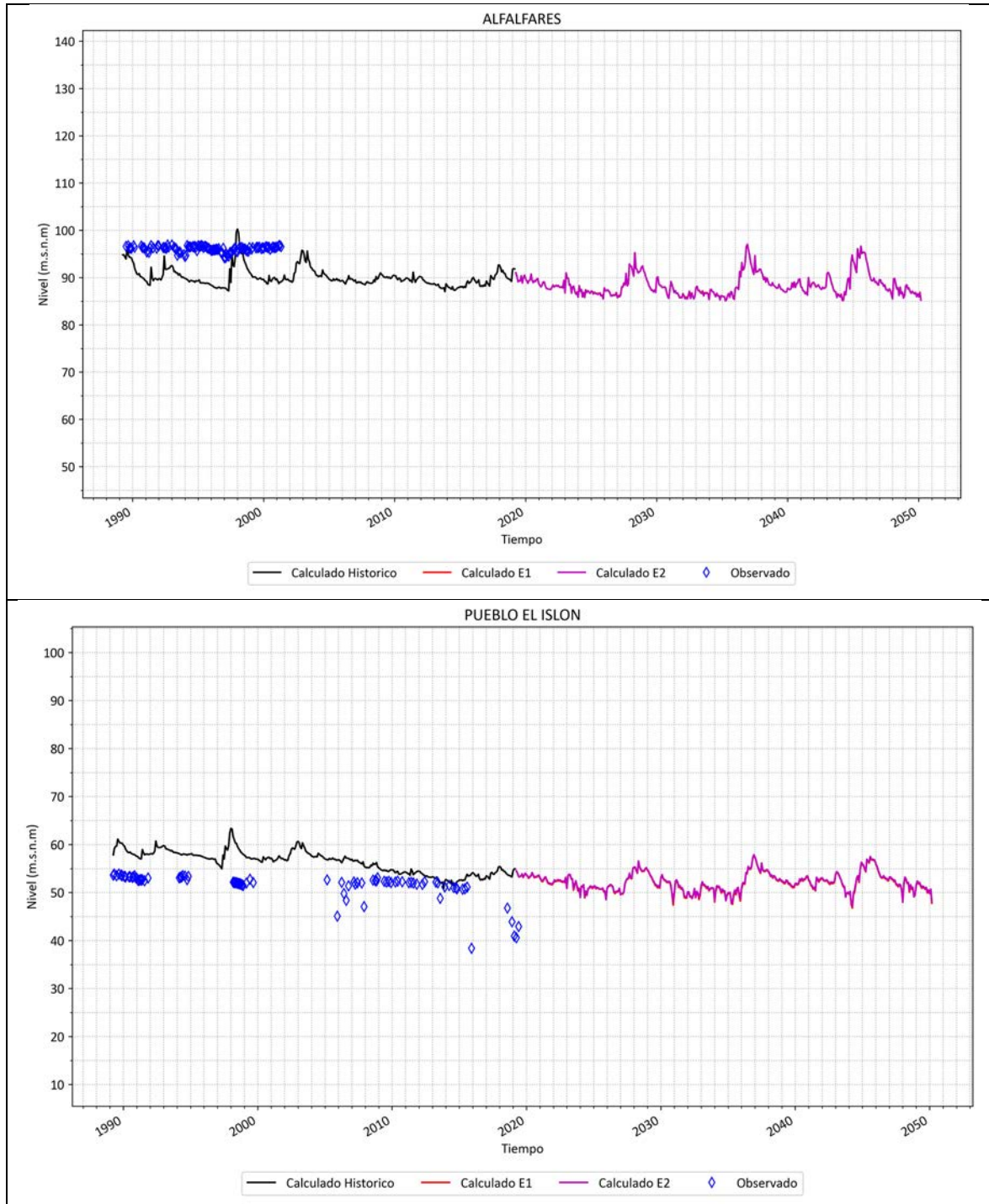
Respecto de las curvas de duración, los únicos cambios perceptibles en las estaciones más altas se dan entre las probabilidades de excedencia entre el 10 a 20%, mientras que, para Elqui en La Serena, el aumento de disponibilidad se acota al intervalo entre un 20 a 30%.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.4-4 Variación de la estacionalidad promedio [m³/s] para: (Sup) Elqui en Algarrobal, (Med) Elqui en Almendral, (Inf) Elqui en La Serena. Escenario E2

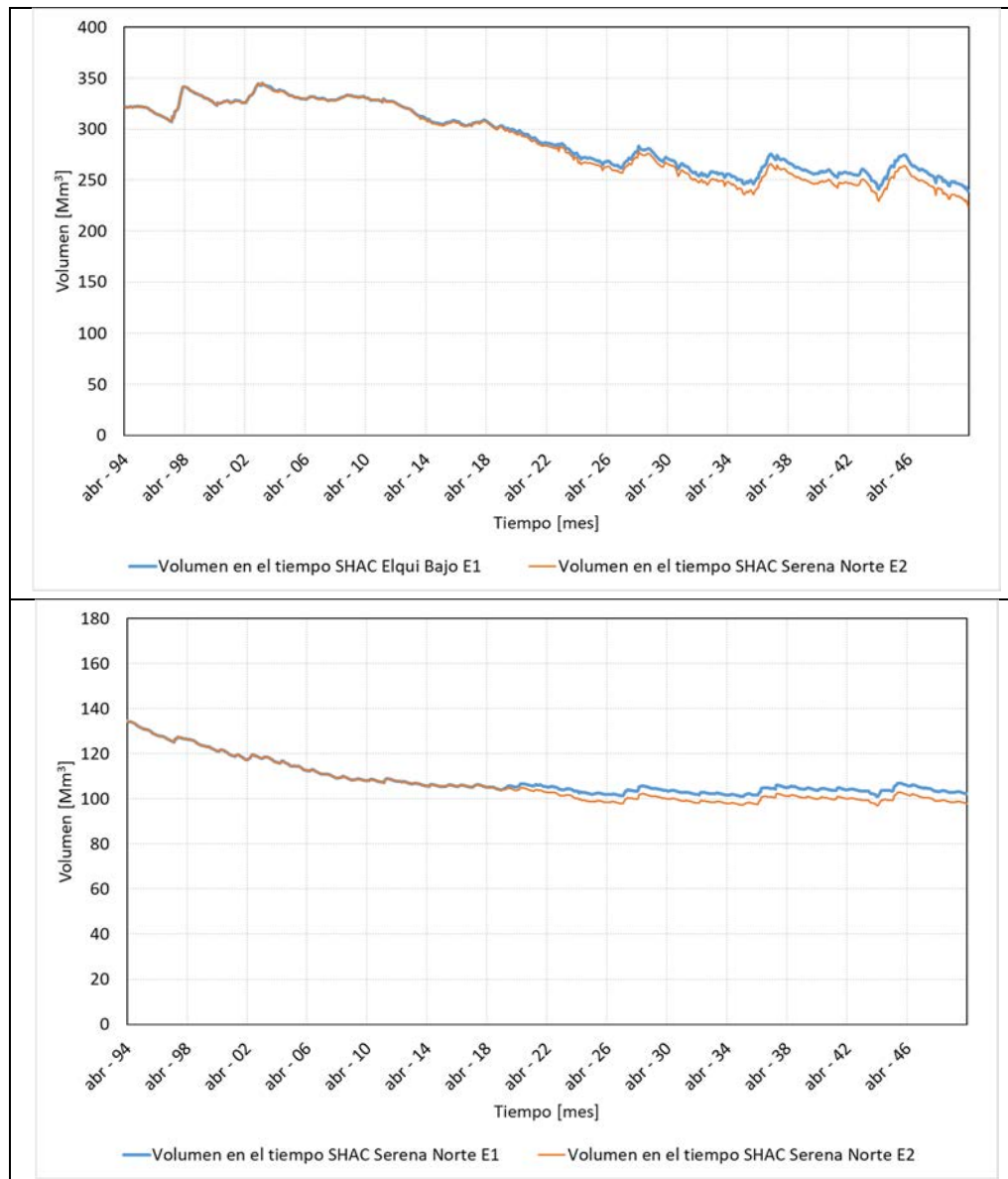
En cuanto a la variación de los niveles, se presenta la Figura 5.4-5 que resume los niveles de algunos pozos de observación en la zona de Elqui Bajo, particularmente cercanos a las extracciones de agua potable, que corresponden a EB-06 y EB-03.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.4-5 Comparación de niveles simulados. (Sup) Pozo Alfalfares (EB-03), (Inf) Pueblo El Islón (EB-06). Escenario E2

Si bien los pozos están un poco alejados de la concentración inmediata de los pozos de extracción de agua potable conectados, es posible ver el efecto, por ejemplo, cercano al año 2030 y 2040 en donde el nivel de E2 es superior a E1 (cambio leve). Por esta misma razón se analiza la variación de volumen del SHAC Elqui Bajo y mostrar de mejor manera el impacto en el acuífero. La comparación entre los volúmenes del acuífero de los SHAC Elqui Norte y Elqui Bajo se presenta en la Figura 5.4-6.

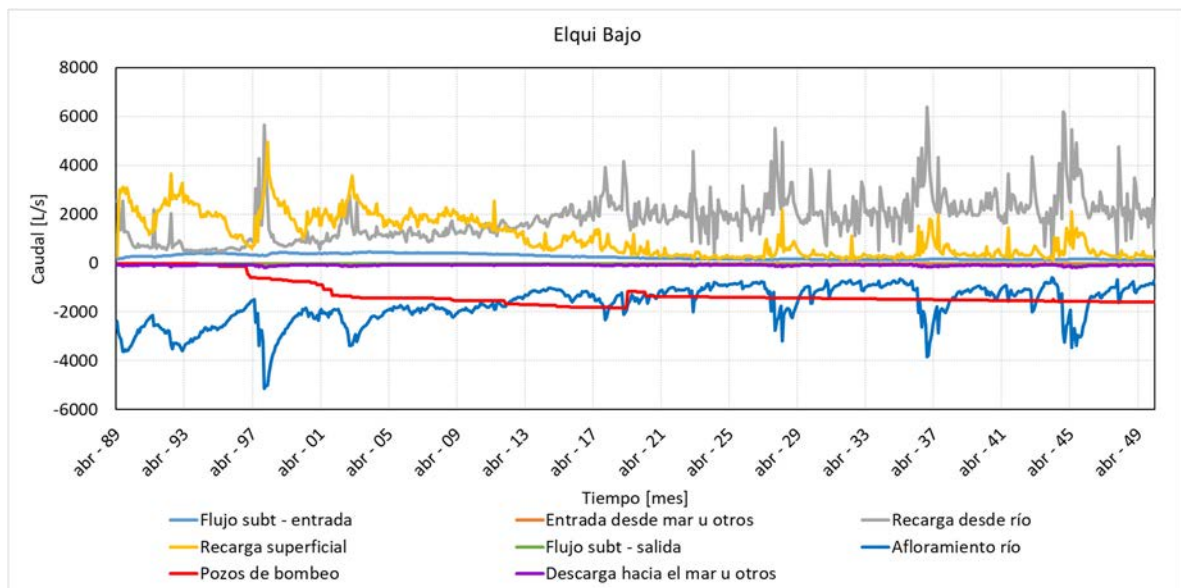


Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.4-6 Comparación de volúmenes simulados (E2 v/s E1). (Sup) SHAC Elqui Bajo, (Inf) SHAC Serena Norte. Escenario E2

Como se puede apreciar, existe una recuperación del volumen en cada uno de los SHAC en donde hay un impacto de la oferta hídrica. En el caso del SHAC Serena Norte existe una recuperación de $4,3 \text{ Mm}^3$ al 2050 mientras que para el SHAC Elqui Bajo la recuperación es más notoria e igual a $12,2 \text{ Mm}^3$ al 2050. Esto es una medida clara de reducción de la brecha hídrica a nivel subterráneo.

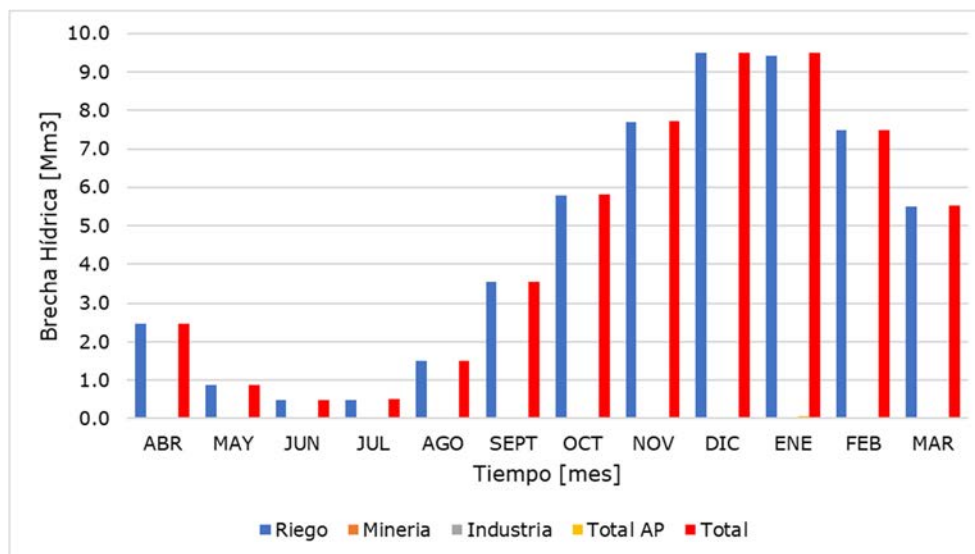
Por último, la Figura 5.4-7, presenta las componentes del balance en el sector de Elqui Bajo. Del análisis de la figura es posible comentar que el tipo de comportamiento es similar al observado en E1, en el sentido que, a partir del 2019, la recarga de río es más relevante que la recarga superficial. Sin embargo, el cambio se aprecia es que esta recarga de río es menor que en el caso original, y en las salidas del balance, se aprecia la reducción de los bombeos y un aumento del afloramiento del río. Las salidas totales en el periodo futuro pasan de $6.747,02$ a $6.283,49 \text{ l/s}$.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.4-7 Componentes del Balance Hídrico para el SHAC de Elqui Bajo. Escenario E2

Por último, se presenta la Figura 5.4-8 con la brecha hídrica que se obtiene en el presente escenario. Esto, al igual que en el caso base, se ha estimado a partir de los resultados del modelo WEAP, particularmente en la demanda no satisfecha. Cabe destacar que nuevamente el riego encabeza la brecha, manteniendo la brecha en volumen de $54,93 \text{ Mm}^3$. Por otra parte, si se promedia la brecha mes a mes (abril-marzo) se obtiene un promedio de $4,58 \text{ Mm}^3$.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.4-8 Brecha Hídrica Escenario E2

En resumen, la brecha hídrica principal se da por la recuperación de un volumen aproximadamente de 12 y 4 Mm³ en los SHAC de Elqui Bajo y de Serena Norte.

5.4.2 Escenario 3 (E3)

El escenario E3 nace de una mixtura entre las necesidades levantadas en los procesos de participación ciudadana (PAC) y la inspección del estado actual de los SHAC modelados en este trabajo. En las reuniones PAC con diferentes actores, una de las preocupaciones más básica era el estado actual y evolución de los niveles de los acuíferos, como también contar con nuevas fuentes de abastecimiento.

En este sentido, cuando se calibró el modelo acoplado, se informó que uno de los pozos en particular presentaba una señal marcada hacia el descenso, particularmente el pozo del sector Elqui Bajo "EB-04", también denominado "A.P Piedra C-3", el cual ha sido descrito también en el acápite 5.2.1 y 5.2.2.

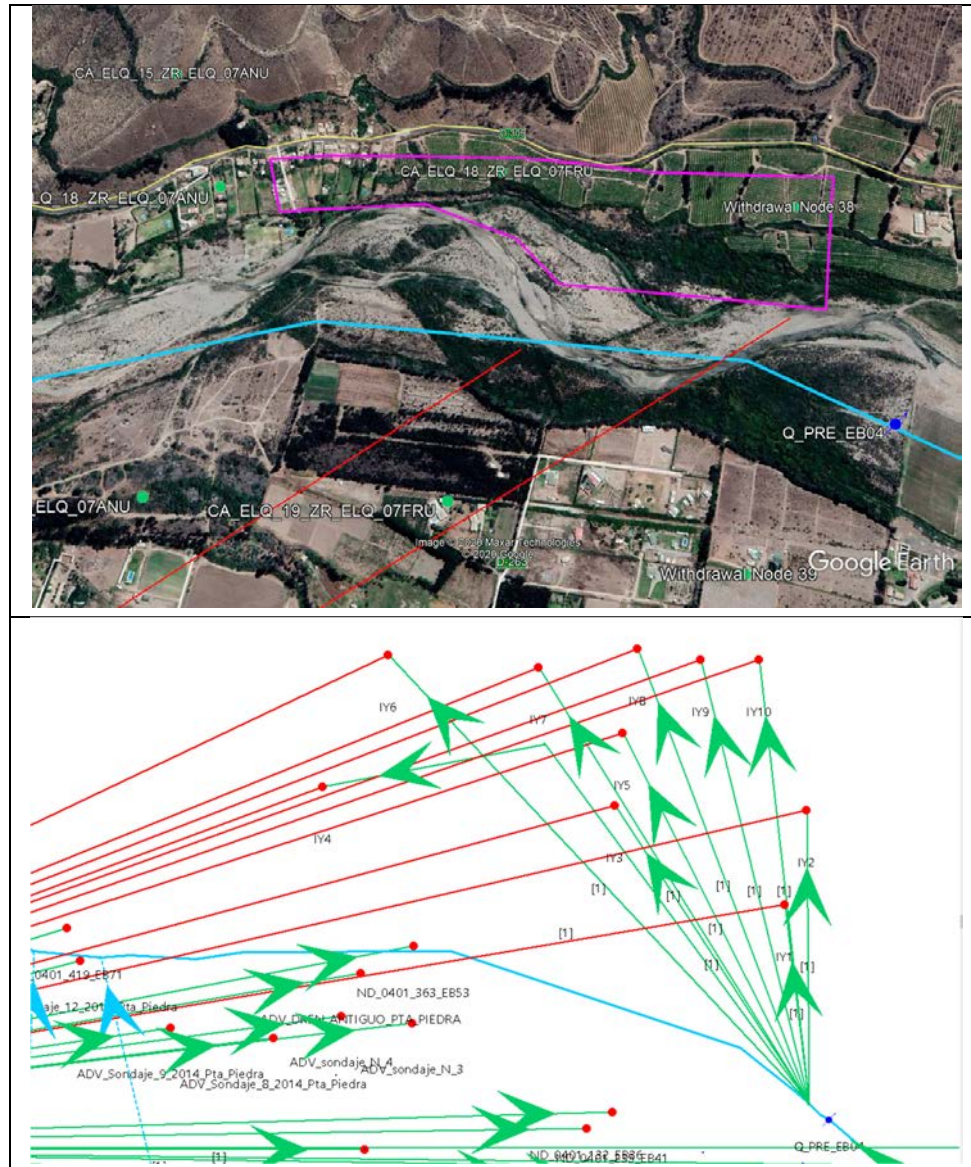
Por esta razón, manifestar una obra de recarga en la cercanía de dicho pozo podría permitir recuperar los niveles del acuífero, parte de su volumen, y constituir una nueva oferta hídrica. Sin embargo, el escenario requiere de un trabajo de gestión paralelo bastante arduo. Se requiere la conformación de Comunidades de Aguas Subterráneas, para justamente, paralelo a la obra de recarga, se puedan regular las extracciones del acuífero comprometiendo parte del caudal inyectado para labores productivas y otra parte para la recuperación de las napas.

La Figura 5.4-9 muestra la zona de recarga modelada para estos efectos (panel superior). El polígono en violeta marca el área susceptible de ser recargada, la cual debe compatibilizarse por cierto con la malla de modelación representada por el archivo de enlace. La coordenada del centro de gravedad del polígono violeta es: 298.959,62 m Este y 6.683.409,83 m Norte, con una elevación de 173 m. La estación Q_PRE_EB04 representa la captación aproximada de los recursos superficiales que serán infiltrados.

El panel inferior de la misma figura detalla la implementación de la planta de recarga la cual se ha efectuado a través de pozos de inyección. Como no hay un estudio de prefactibilidad de la recarga en sí, se buscaron antecedentes de estudios similares. En particular se usó como guía el estudio: "Análisis para la Infiltración Artificial de Agua en la Cuenca del Río Huasco", correspondiente a una Memoria de Titulación de Ingeniería Civil de Nicolas Gottiandía (Universidad Técnica Federico Santa María), realizado en el año 2018 y proporcionado por la Junta de Vigilancia del Río Huasco, a través de la Dirección General de Aguas.

Dicho estudio proponía una recarga total de 885 l/s en pozos de inyección de 15 l/s, totalizando entonces 59 pozos de inyección. En el caso de la cuenca de Elqui, se analizaron los caudales simulados en el punto de captación denominado "Q_PRE_EB04".

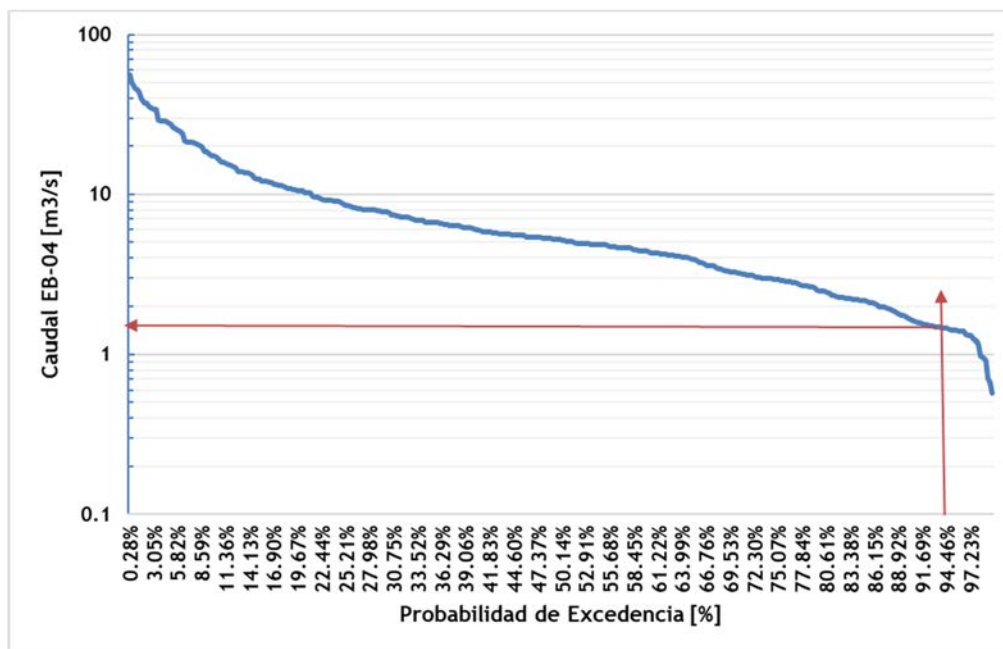
Se requiere definir un caudal que permita por una parte no intervenir de manera drástica la disponibilidad hídrica aguas abajo, y también no incurrir en un caudal de inyección muy grande, pues terminaría en la implementación de muchos pozos de inyección y en una iniciativa muy costosa.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.4-9 Ubicación zona de recarga de acuíferos (sup) y su implementación a través de pozos de inyección (inf). Escenario E3

En este sentido, se estudió la curva de duración de los caudales medios mensuales en el punto de captación (Figura 5.4-10). A través de un análisis de los caudales pasantes por el tramo, se corrobora que el caudal del 95% de probabilidad de excedencia es del orden de $1,4 \text{ m}^3/\text{s}$, lo que constituye un elevado caudal para infiltrar. En este sentido, plantear una recarga entre 150 a 300 l/s permitiría no causar una afectación a terceros, dado que la probabilidad de excedencia asociada sería prácticamente del orden del 99%. Se decidió entonces optar por el caudal más bajo, de manera también de no provocar efectos adversos en el modelo hidrogeológico. Esto totalizaría una recarga de 150 l/s en entonces 10 pozos de inyección. De ahí los 10 pozos que se detallan en la Figura 5.4-9.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.4-10 Curva de duración de caudales medios mensuales en "Q_PRE_EB04". Escenario E3

Resuelto el caudal a infiltrar, y a la vez modificando el respectivo archivo de enlace, se procedió entonces a evaluar los efectos que tendría esta recarga en el modelo, particularmente en el sector de Elqui Bajo, que representa el SHAC con la mayor tasa de vaciamiento.

La Tabla 5.4-3 presenta el balance hidrogeológico del escenario E3. Como se puede apreciar, este balance detalla una fila específica con los pozos de inyección, la que equivale a 133,95 l/s en el SHAC de Elqui Bajo. Cabe destacar que en el modelo existe otra condición de inyección, que es la condición de borde impuesta en Elqui Alto, la que simula el flujo pasante desde aguas arriba y que en el balance está expuesta como un flujo interacuífero (150 l/s). El balance obtenido desde la modelación por ende se corrigió para que los flujos preservaran su sentido físico.

Aclarando dicho punto, y respecto del escenario E1, la recarga superficial pasa de 1.256,89 a 1.289,04 l/s (aumento de 32,12 l/s), mientras que la recarga desde el río disminuye desde 4.725,01 a 4.608,43 l/s (116,57 l/s).

En cuanto a las salidas del balance, los afloramientos aumentan, pasando de 2.820 a 2.869 l/s aproximadamente (48,53 l/s), mientras que los bombeos se mantienen estables. Se debe recordar que la recarga se inyecta al acuífero, pero, a diferencia del escenario E2, no hay nodos de demanda conectados directamente a la nueva oferta hídrica, por lo que se entiende los bombeos permanecen dentro del mismo valor.

La variación del almacenamiento pasó de -146,47 a -144,33 l/s. Esto significa que se reduce la tasa de vaciamiento en 2,1 l/s aproximadamente, valor inferior al de la

iniciativa E2, pero absolutamente complementario. En el Anexo H, acápite 5.4.2, se incluye la tabla 5.4-5 la cual resume la comparación entre los flujos del balance hídrico subterráneo entre el escenario E3 y E1.

Tabla 5.4-3 Escenario 3, Balance Hídrico Subterráneo 2020-2050

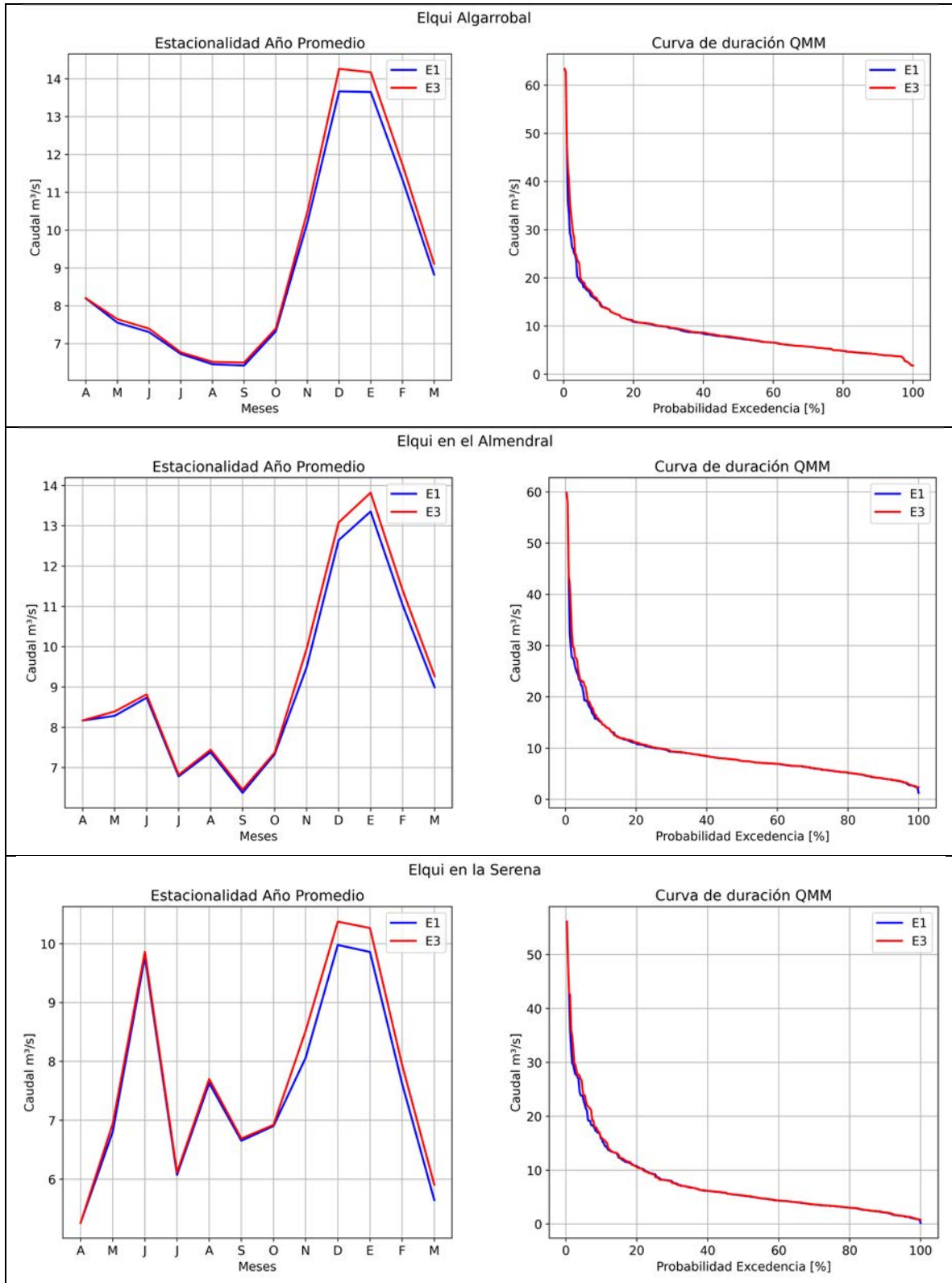
Entradas (l/s)	Serena Norte	Elqui Bajo	Santa Gracia	Elqui Medio	Elqui Alto	Total
Flujo interacuífero	29,25	151,46	22,63	226,04	150,00	150,00
Entrada desde mar u otros	1,93	0,02	0,00	0,00	0,00	1,95
Recarga desde río	0,00	2.812,78	0,00	617,55	1.178,09	4.608,43
Recarga superficial	341,51	460,49	15,48	193,26	278,26	1.289,01
Pozos de Inyección	0,00	133,95	0,00	0,00	0,00	133,95
Total	372,69	3.558,71	38,11	1.036,86	1.606,35	6.183,34
Salidas (l/s)						
Flujo interacuífero	11,27	52,23	31,63	107,29	225,83	428,24
Afloramiento río	0,00	1.240,11	0,00	799,69	829,60	2.869,40
Afloramiento drenes	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Evapotranspiración	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pozos de bombeo	229,93	2.253,71	44,98	142,28	564,87	3.235,77
Descarga hacia el mar u otros	137,88	88,81	0,00	0,00	0,00	226,69
Total	379,08	3.634,86	76,61	1.049,25	1.620,31	6.331,87
Variación de Almacenamiento (l/s)	-6,29	-74,72	-38,21	-12,07	-13,04	-144,33
Error de Balance (l/s)	-0,10	-135,38	-0,28	-0,32	-0,91	-138,14
Error de Balance (%)	-0,03%	-3,72%	-0,37%	-0,03%	-0,06%	-2,18%

Fuente: Elaboración propia.

Siguiendo la lógica de comparaciones, la Figura 5.4-11 presenta la variación de la estacionalidad promedio para las mismas estaciones de control del escenario E2, de manera de analizar las principales diferencias.

Tal como puede observarse, el efecto de la medida se focaliza en los meses de verano, particularmente de diciembre a marzo para Elqui en Algarrobal y Elqui en Almendral, con un leve aumento en los meses de mayo y junio en el período pluvial. Por lo que existe entonces un aumento de oferta hídrica en dichas estaciones. A nivel medio anual se tiene un aumento del caudal medio anual de 2,49 y 2,19 %, respectivamente.

Respecto a la estación de cierre, Elqui en La Serena, el efecto en el período pluvial no es apreciable, por lo que el efecto se concentra sólo en la época de estiaje entre los meses de diciembre a febrero. El aumento de caudal medio anual totaliza un 1,03%.

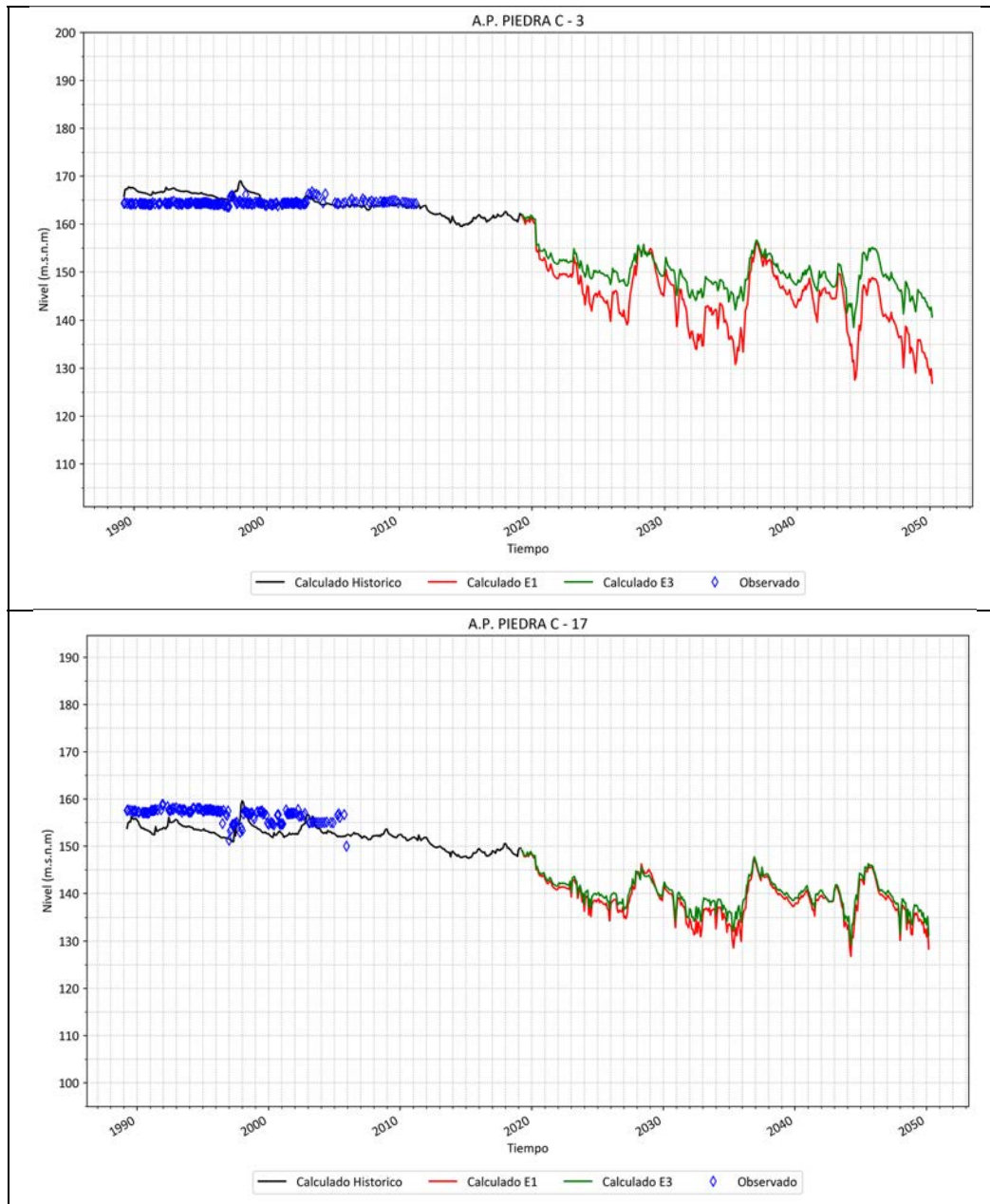


Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.4-11 Variación de la estacionalidad promedio para: (Sup) Elqui en Algarrobal, (Med) Elqui en Almendral, (Inf) Elqui en La Serena. Escenario E3

Siguiendo con el patrón de comparaciones, la Figura 5.4-12, presenta la diferencia entre los niveles del escenario E3 con respecto a E1. La línea verde representa el nivel calculado para el escenario E3 y la línea roja el escenario E1. Como se puede apreciar los niveles en el pozo de observación EB-04 presentan recuperaciones de nivel detectables, y que al 2050 acumulan 15 metros de recuperación aproximadamente. Este pozo está prácticamente inmediatamente aguas abajo de la zona de recarga.

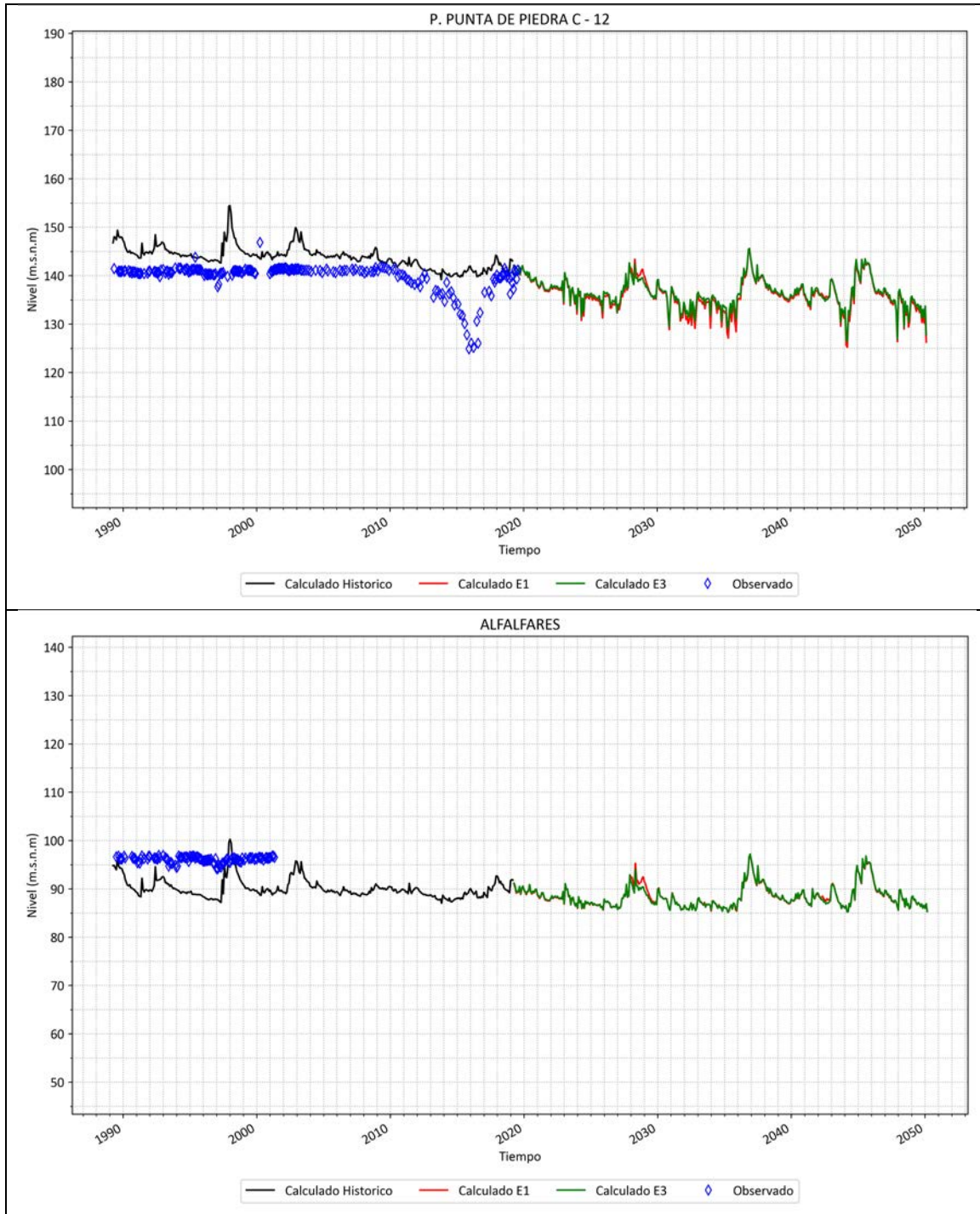
El pozo EB-02, a 1,32 km de EB-04 hacia el sur-oeste, presenta un nivel de E3 ligeramente mayor (ver 2030-2031), pero claramente el efecto de la recarga ha disminuido a dicha distancia, totalizando al 2050 una recuperación de 2,5 m.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.4-12 Comparación de niveles simulados. (Sup) Pozo AP Piedra C-3 (EB-04), (Inf) El Molle (EB-02, 1,39 km de EB-04). Escenario E3

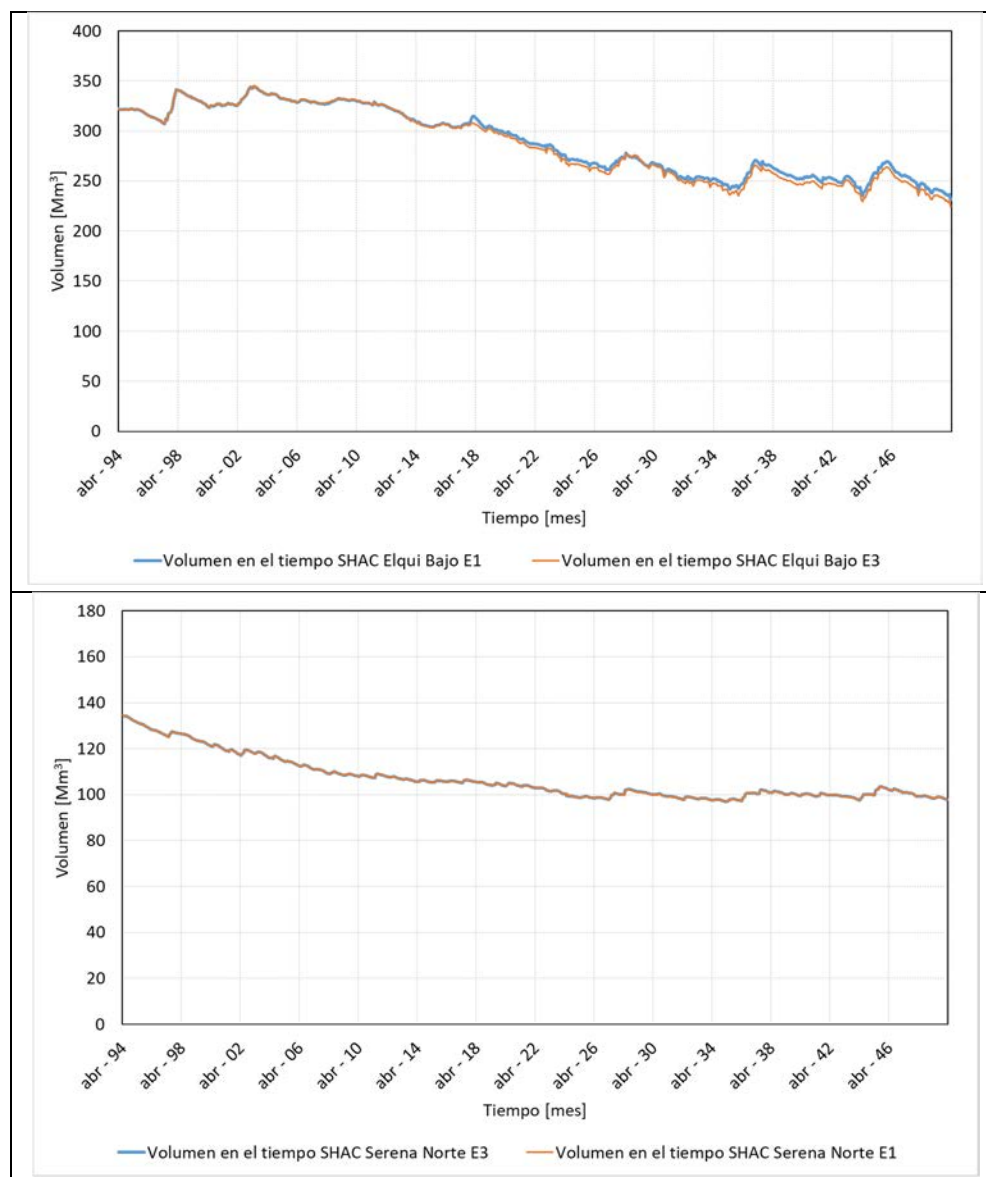
Finalmente, para los pozos de EB-07 y EB-03, el efecto ha desaparecido completamente, por lo que se extiende que el efecto espacial de la recarga estaría acotado a los 2 km aproximadamente.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.4-13 Comparación de niveles simulados. (Sup) Pozo EB-07: P. Punta de Piedra C-12, a 2,13 km de EB-04. (Inf) Pozo EB-03, a 8,24 km de EB.04. Escenario E3

Para complementar los cambios de niveles, se presenta la Figura 5.4-14, que resume las variaciones de volúmenes en los SHAC de Elqui Bajo y Serena Norte, que es donde se concentran las diferencias en el balance hidrogeológico.



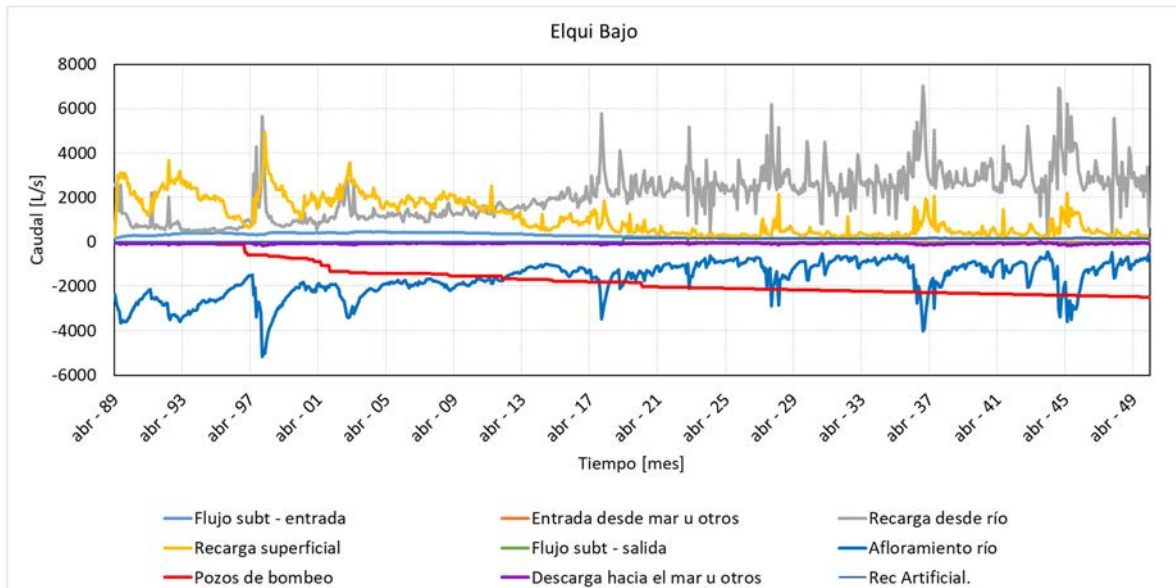
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.4-14 Comparación de volúmenes simulados (E3 v/s E1). (Sup) SHAC Elqui Bajo, (Inf) SHAC Serena Norte. Escenario E3

Como se puede apreciar, la recarga presenta un beneficio mucho más local, a diferencia de la iniciativa E2, en donde las recuperaciones también impactaban en el sector de Serena Norte. El volumen recuperado al 2050 corresponde a 6,8 Mm³.

En términos del balance por componente se obtuvo un comportamiento similar al evaluado en el escenario E2, salvo que en este se destaca la recarga artificial. Cabe

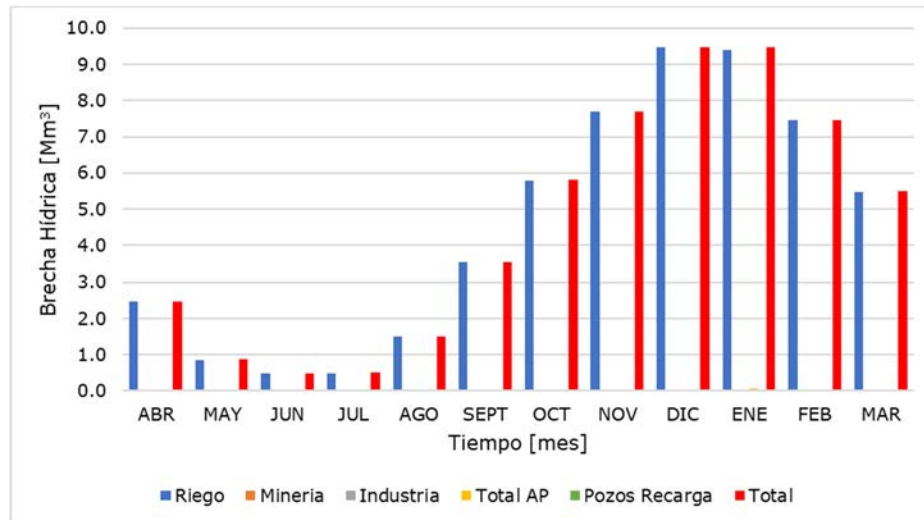
destacar que sólo en 1 año dentro de todo el período de simulación no fue posible suministrar los 150 l/s (Figura 5.4-15). Como se puede apreciar la recarga desde el río pasa a ser mucho más predominante que la recarga superficial, del mismo modo los bombeos de este balance son mayores, lo que merma de manera continua los afloramientos hacia el final del período de simulación.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.4-15 Componentes del Balance Hídrico para el SHAC de Elqui Bajo. Escenario E3

Por último, se presenta la Figura 5.4-16 con la brecha hídrica que se obtiene en el presente escenario. Esto, al igual que en el caso base, se ha estimado a partir de los resultados del modelo WEAP, particularmente en la demanda no satisfecha. Cabe destacar que nuevamente el riego encabeza la brecha, manteniendo la brecha en volumen de 54,82 Mm³ (0,11 Mm³ menos que E1). Por otra parte, si se promedia la brecha mes a mes (abril-marzo) se obtiene un promedio de 4,57 Mm³.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.4-16 Brecha Hídrica Escenario E3

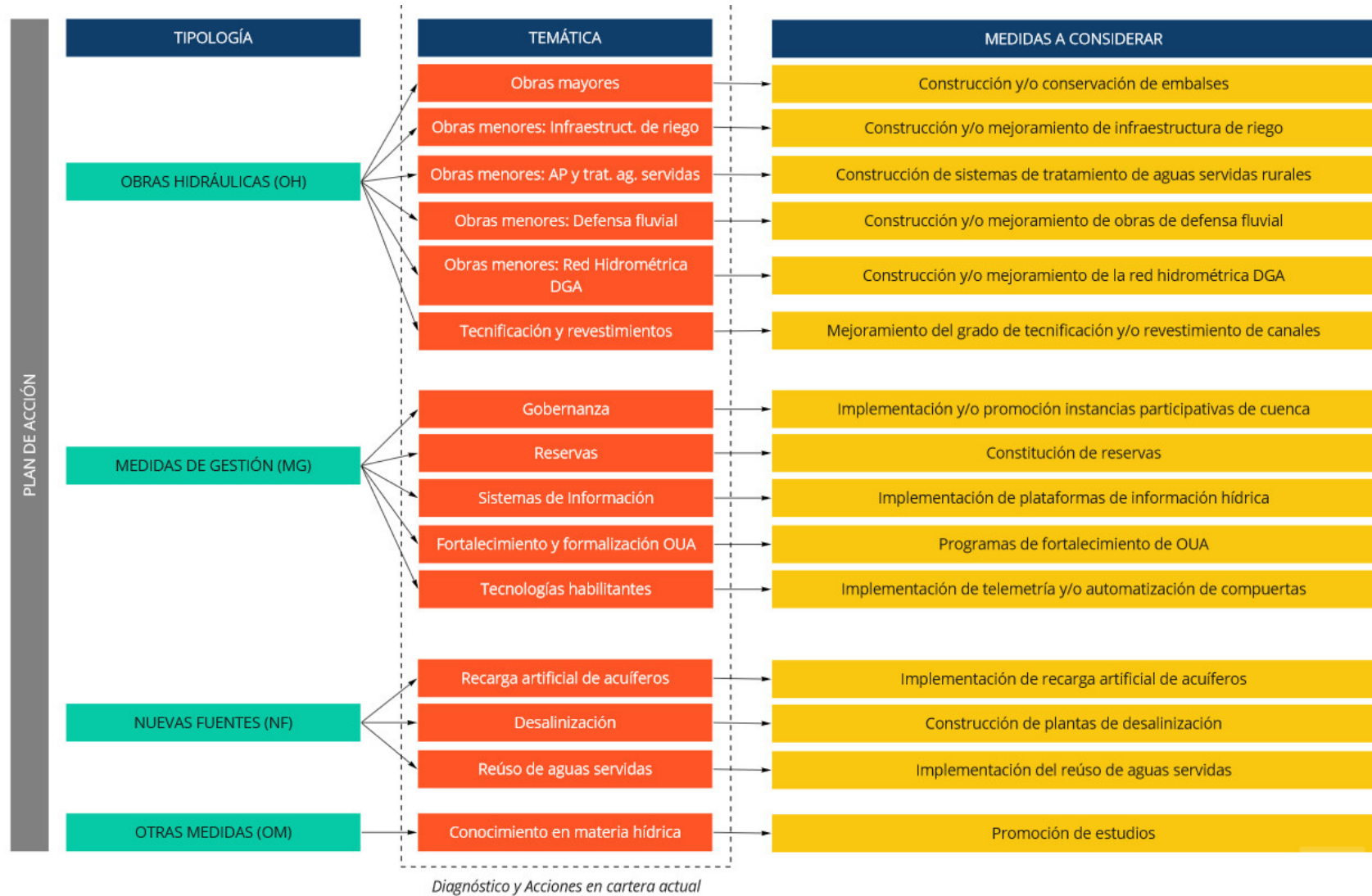
Adicionalmente, en el Anexo H, acápite 5.4.2, se presenta una comparación de los flujos totales de los balances hídricos subterráneos para los tres escenarios de gestión implementados en la cuenca, de modo de facilitar las variaciones en tasas de almacenamiento, recargas y bombeos entre otros.

Por último, se recomienda la lectura del capítulo 6, acápite 6.2, del Anexo H, donde se exponen las brechas de modelación, propuestas de soluciones y comentarios de mejoras a la plataforma de implementación, entre otras. Es altamente recomendable la lectura de dicho capítulo de manera de que cualquier usuario que use la herramienta de gestión se familiarice con las posibles mejoras y limitaciones de la misma.

CAPÍTULO 6 ACCIONES

En este capítulo se identifican las potenciales iniciativas a incorporar en el Plan de Acción de la cuenca, como resultado de un diagnóstico previo y la evaluación de la cartera de acciones actualmente existente, resumiendo cada acción en una ficha resumen identificatoria. Las acciones se analizan abordando los siguientes temas: obras hidráulicas, medidas de gestión, nuevas fuentes de agua y otras medidas; para cada uno de ellos, se analizan diferentes ejemplos de medidas, tal como se muestra en la Figura 6.0-1.

Dichas medidas están clasificadas según los Ejes y objetivos definidos para el Plan de Acción (acápites 3.6.1 del Anexo F), a propósito de la participación ciudadana (Anexo J.12).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.0-1 Diagrama de medidas analizadas

6.1 OBRAS HIDRÁULICAS

Seguidamente se expone el análisis, la revisión de cartera de iniciativas actual y las iniciativas incluidas en el Plan de Acción en lo relativo a obras hidráulicas, tanto mayores, menores como referentes a tecnificación y revestimientos.

6.1.1 Obras mayores

De acuerdo a lo dispuesto en el artículo 18 del Reglamento del CPA, el Inventario Público de Obras Hidráulicas está constituido, entre otros, por el Inventario Público de Obras Hidráulicas Mayores, y el Inventario Público de Obras Hidráulicas Menores. Entre las obras hidráulicas mayores, y de acuerdo al artículo 294 del Código de Aguas, se contemplan los embalses con capacidad superior a 50.000 m³ o con muros superiores a 5 metros de altura.

A continuación, se presenta el diagnóstico de los embalses existentes Puclaro y La Laguna; seguidamente, se presentan las iniciativas registradas en cartera pública existente.

6.1.1.1 Diagnóstico

La caracterización de los dos embalses existentes en la cuenca del río Elqui, Puclaro y La Laguna, se ha presentado en detalle en el acápite 2.4.1.1. Seguidamente se sintetiza el diagnóstico de estas obras de acumulación.

Puclaro

El embalse Puclaro se ubica en el valle del río Elqui, específicamente en la comuna de Vicuña, a unos 50 km al oriente de la ciudad de La Serena. Fue construido entre los años 1996 y 1999, con motivos de reserva de agua potable y riego por la DOH. Su capacidad de almacenamiento útil es de 200 hm³ y su superficie inundada alcanza las 760 hectáreas aproximadamente.

Las características técnicas del embalse se muestran en la Tabla 6.1-1.

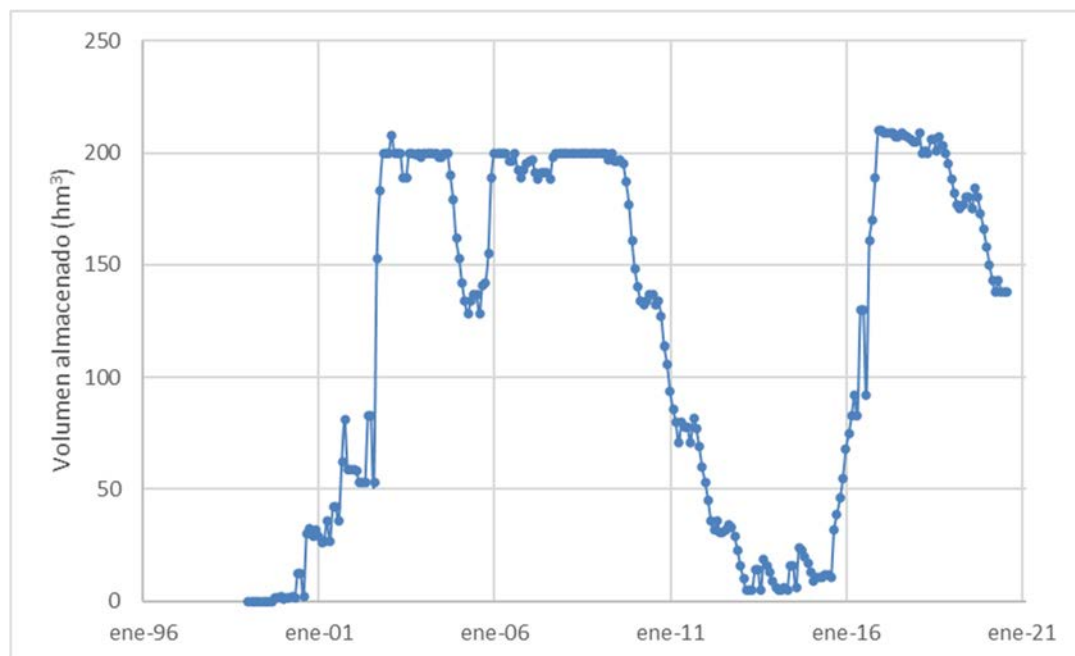
Tabla 6.1-1 Características generales del embalse Puclaro

Parámetro	Valor	Unidad
Superficie de la cuenca tributaria	6.765	km ²
Superficie de embalse	760	ha
Capacidad de embalse	200	hm ³
Caudal medio anual	9,5	m ³ /s
Longitud de largo	7.400	m
Cota máxima aguas normales	508,8	m s.n.m.
Regulación	Multianual	

Fuente: JVREH (2020).

En la Figura 6.1-1 se presenta la variación histórica en el volumen de agua acumulado en el embalse Puclaro. Se puede apreciar un período de descenso del nivel de

almacenaje entre los años 2010 y 2015, a partir del cual se recuperó hasta alcanzar niveles máximos de agua almacenada a finales del año 2016.



Fuente: Elaboración propia en base a DGA (2020e).

Figura 6.1-1 Evolución histórica del volumen almacenado en el embalse Puclaro

De acuerdo a los estudios de batimetría realizados en el año 2018 por el Laboratorio de Prospección, Monitoreo y Modelación de Recursos Agrícolas y Ambientales (PROMMRA) de la Universidad de La Serena y expuestos en la plataforma web de la JVRE, se tiene que el embalse no tiene la misma capacidad de acumulación de agua que cuando comenzó a operar, debido a sedimentos arrastrados por los afluentes y acumulados en el fondo del embalse. No obstante, la batimetría determinó que el volumen disponible a utilizar y la curva de llenado es muy similar a la actual, lo cual indica que los niveles de sedimentación sólo han variado 0,37% de la capacidad embalsada en sus veinte años de funcionamiento, concluyendo que la capacidad del embalse Puclaro es de 208.353.509 m³ (JVREH, 2018).

La Laguna

El embalse La Laguna se ubica en el valle del río Elqui, en la comuna de Vicuña, específicamente en la localidad de La Estancia La Laguna. Fue construido entre los años 1927 y 1937, con motivos de riego por la entonces Dirección de Riego, hoy DOH. Su capacidad de almacenamiento inicial fue de 40 millones de m³ con una superficie de 1,65 km².

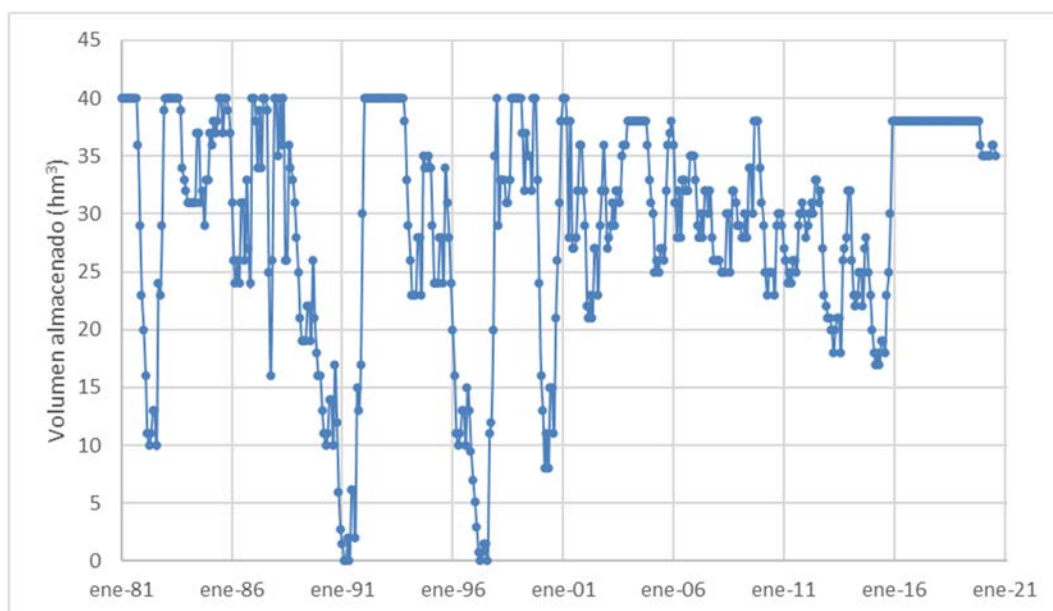
Las características técnicas del embalse se muestran en la Tabla 6.1-2.

Tabla 6.1-2 Características generales del embalse La Laguna

Tipo de Presa	Zona con núcleo impermeable y pantalla central de hormigón armado.
Material de Fundación	Morrena y Roca
Impermeabilización estribo izquierdo	Dentellón
Material estribo derecho	Morrena
Impermeabilización estribo derecho	Dentellón
Instrumentación	Aforadores de control de filtraciones y monolitos de control
Altura máxima	36,1 m
Cota Coronamiento	230,0 m
Ancho Coronamiento	10,0 m
Talud Aguas Arriba	1(V):3(H) (aprox.)
Talud Aguas Abajo	1(V):2.5(H) (aprox.)
Volumen del Muro	227.215 m ³
Capacidad Embalse	40,1 Mill m ³

Fuente: JVREH (2020).

En la Figura 6.1-2 se presenta la variación histórica en el volumen de agua acumulado en el embalse La Laguna. Se pueden apreciar bruscos descenso del nivel de almacenaje entre los años 1989-1991, 1995-1997 y 1999-2000. A partir del año 2001 el menor volumen acumulado fue de 17 hm³ y el máximo de 38 hm³.



Fuente: Elaboración propia en base a DGA (2020e).

Figura 6.1-2 Evolución histórica del volumen almacenado en el embalse La Laguna

El estado del embalse, de acuerdo a estudios de batimetría realizados en el año 2018 por el Laboratorio de Prospección, Monitoreo y Modelación de Recursos Agrícolas y Ambientales (PROMMRA) de la Universidad de La Serena y expuestos en la plataforma web de la JVRE, se tiene que el embalse, tal como ocurre con el embalse Puclaro, no tiene la misma capacidad de acumulación que cuando comenzó a operar, como consecuencia de sedimentos arrastrados por los afluentes y acumulados en su fondo. No obstante, la batimetría determinó que los niveles de sedimentación han variado un 1,6% de la capacidad embalsada para una cota de 3.147 m s.n.m., lo que concluye que la capacidad del embalse La Laguna es de 39.246.650 m³ (JVREH, 2018).

6.1.1.2 Acciones en cartera actual

No se identifican acciones propuestas por el sector público ni propuestas por el sector privado vinculadas a obras mayores (embalses) actualmente en cartera.

En la actividad de participación ciudadana del estudio, la Junta de Vigilancia del río Elqui expresó que no identifican una problemática en cuanto a falta de obras de acumulación mayores, puesto que cuentan con el embalse Puclaro y La Laguna.

Por su parte, la Junta de Vigilancia del Estero Derecho indicó que, en conjunto con la Comunidad del Estero Derecho, gestionan la acumulación de agua en los humedales altoandinos; además, en ese territorio el riego cesa a fines de abril y se reinicia a principios o durante el mes de septiembre (a diferencia de la realidad de Elqui, en que el riego es mayoritariamente continuo durante el año).

En este mismo ámbito, existe un estudio a nivel de prefactibilidad del MOP para la construcción de un embalse en la parte alta del Estero Derecho (código BIP 30106129-0, año 2016), pero actualmente no incluido en el Plan de Embalses. La iniciativa, "Mejoramiento Sistema de Riego Embalse Estero Derecho, Paihuano", el cual pretendía mejorar la seguridad de riego, a través de un embalse de acumulación estacional superficial, ubicado en dicho estero, cuyo propósito es de aprovechar los recursos hídricos normales y eventuales y proveer agua para riego con alta seguridad y mejor calidad a una superficie de 1.418 ha. No obstante, el representante por parte de la JVED, en la reunión PAC, advirtió que se trata de una zona protegida como Santuario de la Naturaleza, razón por la cual cualquier decisión entorno a una obra de este cariz tiene un carácter especial.

6.1.1.3 Iniciativa(s). Ficha(s) resumen

A partir del diagnóstico y de la revisión de las acciones en cartera actual, no se consideran iniciativas estratégicas en relación a la construcción de obras de acumulación mayores en la cuenca.

6.1.2 Obras medianas y menores

Según el Inventario Público de la DGA, las obras hidráulicas menores corresponden a aquellas normadas por el Artículo 151 del Código de Aguas. En este apartado se ha considerado como obras menores, la construcción, modificación, cambio y unificación de bocatomas, canales, embalses menores a 50.000 m³, entre otros.

Se han incorporado también en este apartado las obras relativas a abastecimiento de agua potable y tratamiento de aguas servidas, así como obras de defensa fluvial. Adicionalmente, se ha considerado un apartado relativo a construcción de obras de ampliación y/o mejora de la Red Hidrométrica de la DGA.

6.1.2.1 Diagnóstico

i. Infraestructura de riego

Una causa de la baja eficiencia hídrica en la cuenca guarda relación con las deficiencias de la infraestructura de riego, que se especifican tanto para las obras de captación (bocatomas), conducción (canales) y almacenamiento (estanques o tranques). De acuerdo a la identificación de obras realizada en el acápite 2.4.1.2, a continuación, se presenta el diagnóstico de esta tipología de obras.

Bocatomas

En el levantamiento de información efectuado en el acápite 2.4.1, se identificaron 184 bocatomas en la cuenca (CNR, 2020), no se cuenta con información del estado de las obras contenida en esta base de datos.

Por otro lado, en el estudio "Diagnostico para Desarrollar Plan de Riego en Cuenca de Elqui" (CNR, 2016a), se ha realizado un diagnóstico de las captaciones de la cuenca separado por subcuenca, donde para la cuenca del río Turbio presenta 21 unidades de captación, siendo solo dos de ellas sistemas unificados de canales; además, se cuentan 6 captaciones, las cuales se identifican como tomas sin estructura de conducción permanente, en la subcuenca del río Claro en el Estero Derecho, presenta más de 70 sistemas de captación, siendo 4 de ellas captaciones sin entrega a canal, en donde ninguna de las bocatomas catastradas constituye sistemas unificados de captación y conducción, mientras que el sector del río Claro/Cochiguaz, presenta 44 captaciones con dos sistemas unificados y tres captaciones sin entrega a canal permanente, en la subcuenca Embalse Puclaro, cuenta 26 bocatomas a canal y solo un sistema unificado, finalmente en la subcuenca del Río Elqui, el catastro realizado indica que en este sector se cuenta con más de 40 captaciones con entrega a canal, seis de ellos correspondientes a sistemas unificados. El más importante de ellos es el unificado Bellavista, que entrega a 18 derivados y 4 subderivados.

Finalmente, este diagnóstico presentó una iniciativa de mejora relacionada a estas obras. Por lo anterior, y a su vez, por el desconocimiento del estado real de las obras en la actualidad, para efectos del presente PEGH, no se generan nuevas iniciativas de este carácter. No obstante, desde un punto estratégico, se apoya y enfatiza en la importancia de ejecutar la iniciativa priorizada en dicho Plan (Tabla 6.1-3).

En cualquier caso, se recomienda, en este sentido, que la CNR pudiera contar con información actualizada por las juntas de vigilancias del número de bocatomas operativas y su estado, con actualización anual.

Tabla 6.1-3 Iniciativas de bocatomas propuestas en el Plan de Riego

Nombre de iniciativa	Tipología	Ámbito
Proyecto Prefactibilidad: Mejoramiento obra de entrega Embalse Puclaro y unificación de bocatomas en Río Elqui, Sector Elqui Bajo	Bocatoma	Subcuenca Río Elqui

Fuente: Elaboración propia en base a CNR (2016a).

Embalses y tranques de riego menores

Para el caso de obras de acumulación de agua para riego, dada la escasa o desactualizada información relacionada, no es posible determinar la cantidad y estado real de estas obras. Por otro lado, se ha realizado una revisión al diagnóstico del estado actual de los tranques CORA presentes en la cuenca (CNR, 2016b). De acuerdo a este estudio, se identificó inicialmente un total de 73 Tranques CORA, de estos, aproximadamente el 71 % requiere algún tipo de rehabilitación, un 16 % ya se encuentran rehabilitados, un 6 % ya no existen y para un 7 % el acceso a la visita fue negado y/o no existe interés por parte de sus dueños de mejorar el Tranque. En la Tabla 6.1-4, se presenta un resumen de la condición y/o clasificación dada a los tranques.

Tabla 6.1-4 Cantidad y porcentaje de tranques según clasificación de diagnóstico

Clasificación de tranques	Cantidad	Porcentaje (%)
Por Rehabilitar	52	71,2%
Rehabilitado	12	16,4%
No Existe	4	5,5%
Otros Escenario	5	6,8%
Total	73	100%

Fuente: Elaboración propia basada en CNR (2016b).

ii. Obras de abastecimiento de agua potable, saneamiento y tratamiento de aguas servidas

En términos de distribución de agua potable y recolección de aguas servidas a nivel urbano, la cuenca del río Elqui es abastecida por dos compañías que proveen el servicio de suministro de potable y de servicios sanitarios, estas son: Aguas del Valle y Alser (aguas La Serena). En el acápite 6.1.2.2ii se presenta la cartera de proyectos propuestos desde el sector público, relacionados con obras de abastecimiento de agua potable, saneamiento y tratamiento de aguas servidas.

Por otra parte, uno de los principales problemas identificados durante el desarrollo del presente estudio es la vulnerabilidad de las fuentes de agua que abastecen a los sistemas APR y la insuficiente infraestructura para la distribución del recurso, debido a que, que en aquellos lugares donde los sistemas APR no puedan abastecer

directamente, la distribución de agua potable debe ser realizada a través de sistemas alternativos, como lo es el uso del transporte de agua por camiones aljibes. El uso de camiones aljibes también permite suministrar agua a aquellos sistemas APR que no posean los DAA suficientes para abastecer a sus beneficiarios o, permiten entregar agua en sistemas donde la fuente hídrica natural se encuentre agotada, entre otros casos.

De acuerdo a lo señalado en el “Plan de Emergencia Hídrica 2020-2021, Región de Coquimbo” (GORE, 2019), dentro de la región, la provincia de Elqui es una de los territorios que presenta menor demanda de agua potable por camiones aljibe, registrándose, al año 2019, 5.386 personas abastecidas a través de este medio, siendo la comuna de Coquimbo la más afectada (2.711 personas), seguido de La Higuera (915 personas), La Serena (807 personas), Andacollo (581 personas), Vicuña (581 personas) y Paihuano (153 personas). En la Tabla 6.1-5 se presentan los sistemas APR que actualmente suplementan o complementan su abastecimiento de agua potable a través de camiones aljibe. Cabe señalar que el listado corresponde al resultado del estudio DGA-DOH (2020) denominado “Sustentabilidad de asentamientos humanos rurales en Chile: Análisis desde los comités de Agua Potable Rural – cuenca del río Elqui y río Los Choros”; en dicho estudio, se priorizaron aquellas APR de acuerdo a la disponibilidad de agua en su fuente de abastecimiento y a su vulnerabilidad²⁵, generando propuestas de trabajos a realizar para mejorar la situación actual de cada sistema APR.

²⁵ Variables de vulnerabilidad: Balance hídrico negativo para los años 2019, 2030 y 2040; APR sin DAA; pozos sin DAA; afectación de terceros; disponibilidad Fuente/SHAC; cantidad Población 2019; gasto (l/s); pozos Sencos; camiones aljibes e interferencia de captaciones subterráneas con cauces superficiales.

Tabla 6.1-5 Sistemas APR abastecidos por camiones aljibes y su estado

Nombre APR	Comuna	APR con DAA	Estado Balance Hídrico al año 2030	SHAC/Fuente	Situación SHAC/Fuente	Propuesta recomendada para mejorar abastecimiento	Clasificación de riesgo
Almirante Latorre	La Serena	NO	Déficit	Santa Gracia	Sin Disponibilidad	Se propone comprar DAA	Crítico
La Calera	Vicuña	SI	Déficit	Elqui Medio	Sin Disponibilidad	Se propone comprar DAA	Crítico
La Compañía	Vicuña	SI	Superávit	Elqui Alto	Sin Disponibilidad	APR con Balance Positivo	Leve

Fuente: Elaboración propia en base a DGA-DOH (2020).

Por otro lado, en cuanto al diagnóstico frente a las obras de saneamiento rural, cabe señalar que, en diferentes puntos a lo largo de la cuenca del río Elqui se ha detectado presencia de Coliformes Totales y *Escherichia coli* en las fuentes de agua cruda de abastecimiento de agua potable, de manera persistente en el tiempo. La presencia de la bacteria *E. coli* es atribuida principalmente a la contaminación por aguas residuales, considerando que las zonas rurales no cuentan en su totalidad con red de alcantarillado y sistemas de tratamiento de aguas servidas, donde eventualmente los contaminantes derivan a cuerpos hídricos receptores. De esta forma, los sectores rurales presentan necesidades de tratamiento de las aguas residuales que se generan.

Considerando lo mencionado anteriormente, la Dirección de Planeamiento del MOP actualmente evalúa a nivel de perfil el Estudio Básico "Análisis Plan de Inversión Pública en Saneamiento Rural para 20 Localidades Concentradas²⁶", en el cual se escogerán 20 localidades de un total de 205 estudiadas, en las regiones de Coquimbo y Atacama, y se entregará un Plan Estratégico de Inversiones en saneamiento rural, a partir del cual se seleccionarán las APR prioritarias para ejecutar diferentes iniciativas relacionadas a la implementación de sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas servidas.

iii. Obras de defensa fluvial

El desarrollo urbano y de la actividad económica minera, turística y agrícola de los últimos años, sumado a los periodos de sequía en la región, ha propiciado la intervención del río Elqui y de algunos de sus afluentes, modificando sus cauces y alterando el uso de los suelos adyacentes.

De acuerdo a el "Estudio de Vulnerabilidad y Definición de un Plan de Manejo de Cauces para Cuenca Río Elqui, Región de Coquimbo" (2019) desarrollado por la Dirección de Obras Hidráulicas, en términos generales, los principales problemas detectados en la cuenca corresponden a inundación y afectación por erosión de población e infraestructura pública y privada, debido a los eventos de crecidas en los cauces.

De acuerdo al análisis realizado en el estudio antes indicado y a lo obtenido de los talleres de participación ciudadana asociados al mismo, las causas que acrecientan los problemas principales son, en su mayoría, transversales y usuales tanto en la comuna de La Serena como Vicuña y tienen relación con lo siguiente:

- Ha aumentado la existencia tanto de loteos irregulares como de poblados que se han ubicado en las riberas de los cauces, a pesar de los riesgos a los que están expuestos, como, por ejemplo: Nueva Pelicana, Hinojal, Ex Fundo la Calera, Lambert, Islón, Quebrada de Talca, Los Corrales, Marquesa, Nueva Talcuna, El Molle, Almendral, Villa Francia y El Arenal.
- Modificaciones del cauce y alteraciones de suelos tanto por la actividad agrícola como minera, turística, comercial, vivienda y de extracción de áridos.

²⁶localidades rurales con una población mínima de 150 habitantes y una densidad de al menos 15 viviendas por kilómetro de red de agua potable (DIRPLAN, 2018).

- Pérdida de la capacidad del suelo de infiltrar agua lluvia debido a la urbanización de los suelos.
- Falta de planificación territorial que integre los distintos usos.
- Los organismos públicos se han visto sobrepasados y muchas veces limitados en su accionar dada la falta de información y/o profesionales para fiscalización.

Así mismo el estudio señala que, respecto de la existencia del embalse Puclaro, si bien tiene externalidades positivas como el control de crecidas y abastecimiento de agua para la agricultura, también tiene algunas consecuencias adversas en la dinámica natural del río aguas abajo de éste como: disminución de la capacidad de arrastre, profundización del cauce y mayor capacidad erosiva justo aguas abajo del mismo embalse. El embalse retiene dos tercios del sólido en arrastre y un 60% del sólido en suspensión disponible en la cuenca del río Elqui, por lo que, dado a la existencia de un humedal en la desembocadura al mar, sería recomendable realizar estudios respecto de cómo se ve o ha visto afectada la existencia del humedal a causa del embalse.

De las defensas fluviales existentes en el cauce, se identifican tres tipos: enrocado, gaviones y pretiles tierra. Respecto de los pretiles de tierra, son absolutamente vulnerables ante los efectos de las grandes crecidas. Las obras tipo gavión y enrocado en el río, pueden tener una resistencia mayor, en la medida que hayan sido diseñados adecuadamente.

Por último, el estudio indica que, los problemas pueden ser serios si las defensas son arrastradas, porque pueden obstruir puentes y/o generar problemas de inundación en sectores que no se ven afectados a ellos en general.

iv. Red Hidrométrica de la DGA

En este apartado se consideran las iniciativas asociadas a construcción de obras para mejorar la red hidrométrica de la cuenca, descritas con mayor detalle en el acápite 6.2.3.

6.1.2.2 Acciones en cartera actual

A continuación, se entrega el conjunto iniciativas públicas y privadas de obras medianas y menores.

i. Iniciativas catastradas desde el sector público

Obras de abastecimiento de agua potable, saneamiento y tratamiento de aguas servidas

Con respecto al abastecimiento de agua potable rural, el "Programa de Agua Potable Rural", administrado por DOH, a través de la Subdirección de Agua Potable Rural y las Direcciones Regionales respectivas, apoyadas por las Unidades Técnicas (Empresas Sanitarias), entre sus funciones comprende la gestión técnica y administrativa para la ejecución de estudios, diseños y obras de APR. Además, en la Tabla 6.1-6, se presentan las iniciativas catastradas por el "Plan de Emergencia

Hídrica 2020-2021, Región de Coquimbo” (GORE, 2019), para el mejoramiento del sistema de abastecimiento de APRs.

Tabla 6.1-6 Acciones públicas en cartera asociadas a obras de abastecimiento de agua potable rural

Código BIP	Descripción	Subsector	Etapa actual	Institución formuladora	Costo total [M\$]
30478246-0	Mejoramiento Sistema APR Coquimbito - Altovasol Año y Etapa a Financiar: 2020-Ejecución	Agua Potable	Perfil	DOH	1.561.923
30392034-0	Mejoramiento Sistema APR Diaguitas Año y Etapa a Financiar: 2020-Ejecución	Agua Potable	Perfil	DOH	653.887
30435476-0	Mejoramiento Sistema APR San Isidro - Calingasta Año y Etapa a Financiar: 2020-Ejecución	Agua Potable	Ejecución	DOH	877.386

Fuente: Elaboración propia en base a BIP (2020) y GORE (2019).

Obras de defensa fluvial

A continuación, se presenta el conjunto de medidas de manejo de cauces definidas en el “Estudio de Vulnerabilidad y Definición de un Plan de Manejo de Cauces para Cuenca Río Elqui, Región de Coquimbo” (2019) desarrollado por la Dirección de Obras Hidráulicas. El estudio tiene como objetivo resolver y/o regular posibles eventos críticos tales como crecidas o aluviones.

Cabe mencionar que, la definición de medidas, según indica el estudio, tuvo como base el análisis integral del cauce considerando aspectos hidráulicos y de mecánica fluvial, así como también, las inquietudes, intereses y opiniones de los Servicios Públicos y Comunidad, a fin de definir medidas de manejo realistas y con sentido territorial.

Los sectores que comprenden las medidas definidas son todo el desarrollo del río Elqui, a partir de la confluencia de los ríos Claro y Turbio (nacimiento), hasta su desembocadura al mar; además, las quebradas más importantes de la cuenca del río Elqui, dentro de las que se incluye Santa Gracia, Marquesa, Talca, Arrayán, San Carlos, Leiva, Arenal, Cebollín, Pullayes y Uchumi. En la Figura 17.7 4 se muestra la ubicación general de los sectores asociados a las distintas medidas.



Fuente: DOH (2019).

Figura 6.1-3 Ubicación de sectores asociados a medidas de defensa fluvial

Respecto a las medidas estructurales, se tiene que, del total (17), 9 corresponden a obras de defensa, 3 a obras de control de relaves, 3 a obras de retención de sedimentos/ revestimiento cauce, 1 a control aluvional y 1 a proyección de canal. El costo total de las obras de competencia de la DOH es de \$25.575.145.717, con un periodo de implementación a 10 años, siendo implementadas durante el primer periodo de 5 años 16 de las 17 medidas.

Con respecto a las medidas no estructurales, las materias tratadas son: Coordinación Institucional, Deslindes río Elqui, Programa de Mantenimiento de Obras Fluviales, Promoción de la educación ambiental y participación ciudadana, Restauración, Rehabilitación y Mejora del Cauce, y Revisión Normativas Comunales.

En la Tabla 6.1-7 y Tabla 6.1-8, se indica el listado de medidas estructurales y no estructurales propuestas en el Plan de Manejo de Cauce, identificando el sector al cual se asocia dicha medida.

Tabla 6.1-7 Medidas estructurales, Plan de Manejo de Cauces

Sector	Categoría	Solución	Organismo competente	Costo Obras (\$)
2	Defensas	Estudio diseño construcción defensas fluviales en Condominio Puertas del Mar	DOH-Inmobiliaria	-
5	Defensas	Construcción defensas fluviales en Lambert	DOH	407.668.634
	Defensas	Construcción defensas fluviales en Quebrada Santa Gracia, localidad de Islón	DOH	691.796.138
7	Obras control relaves (defensas)	Construcción de defensas fluviales en Quebrada de Talca, Km 3.525 - sector relaves	DOH-Convenio	-
	Defensas	Construcción defensas fluviales en Quebrada de Talca	DOH	133.990.998
8	Obras control relaves (defensas)	Construcción defensas fluviales en Quebrada El Arrayán, Km 1700, sector relave	DOH-Convenio	-
	Defensas	Construcción defensas fluviales en Quebrada El Arrayán, Km 2500	DOH	120.606.021
9	Defensas	Construcción defensas fluviales en Nueva Talcuna	DOH	1.412.972.753
	Defensas	Construcción defensas fluviales en Marquesa	DOH	954.969.687
	Control aluvional	Construcción obras de control aluvional en Quebrada Marquesa y Las Cañas	DOH	20.026.942.290
	Obras control relaves (defensas)	Construcción defensas fluviales sector relaves, Quebrada Marquesa	DOH-Convenio	-
13	Defensas	Construcción defensas fluviales en Quebrada de Leiva	DOH	749.415.269
15	Retención de Sedimentos / Revestimiento Cauce	Construcción obras de control sedimentos en Quebrada El Arenal	DOH	264.918.513
16	Retención de Sedimentos / Revestimiento Cauce	Construcción obras de control sedimentos en Quebrada El Cebollín	DOH	167.387.486
17	Retención de Sedimentos / Revestimiento Cauce	Construcción obras de control sedimentos en Quebrada Pullayes	DOH	355.536.785
	Protección canal	Mejoramiento del revestimiento de protección en canal Miraflores	Canalistas	-
18	Defensas	Construcción de defensas fluviales en Quebrada Uchumi, comuna de Vicuña	DOH	288.941.143

Fuente: DOH (2019).

Tabla 6.1-8 Medidas no estructurales, Plan de Manejo de Cauces

Categoría	Medidas / Contenidos	Sector	Actores vinculados
Deslindes río Elqui	Elaboración del expediente técnico y legal para fijación de deslinde	4,6,10 y 14	DOH- Bienes Nacionales
Revisión Normativas Comunales	Protección Humedal	1	Municipalidades
	Explotación Sustentable de Áridos	4	Municipalidades
	Revisión Zonificación áreas de Riesgos (inundación)	10,11	Municipalidades
Programa de Mantenimiento de Obras Fluviales	Elaboración Programa de mantenimiento periódica de las obras fluviales	Transversal en sectores con obras DOH: 2,5,7,8,9,13,15,16,17,18	DOH
Promoción de la educación ambiental y participación ciudadana	Promover y mejorar la gestión del riesgo (conocimiento amenazas y reducción vulnerabilidad), Educación en ámbito fluvial (Ej. FPA río Elqui), Programas de participación ciudadana asociados a cambios normativos y acuerdos institucionales (socialización), Instancias de difusión de acuerdos (Mesa Institucional Cuenca Elqui.)	Transversal	Servicios Públicos
Restauración, Rehabilitación y Mejora del Cauce	Estudio de Restauración Fluvial	Transversal	DOH-Municipalidades- CONAF-MMA
	Programa de Manejo Ambiental a nivel comunal, Parques Ribereños	Transversal	Municipalidades
	Delimitación Corredor Fluvial	Transversal	DOH
Coordinación Institucional	Mesa de Trabajo Cuenca del Elqui	Transversal	Servicios Públicos - Privados - Organizaciones Comunitarias
	Protección Humedal	1	Servicios Públicos
	Planificación y control del espacio ribereño	Transversal	Servicios Públicos
	Control Extracción de Áridos	4	Municipalidades, DOH
	Manejo de Relaves	5, 7, 8, 9	Sernageomin, CONAF, DOH, MMA

Fuente: DOH (2019).

ii. Acciones en cartera del sector privado

Obras de abastecimiento de agua potable, saneamiento y tratamiento de aguas servidas

De acuerdo al Cronograma de Obras de la sanitaria año 2016, disponible en el portal web de la SISS (consulta octubre 2020), se espera comiencen y concluyan durante los próximos años diferentes obras asociadas a la producción y distribución de agua potable y recolección y tratamiento de aguas servidas. En la Tabla 6.1-11 se presentan las obras vinculadas a la localidad en donde se han presentado mayores pérdidas en la distribución de agua potable, por otro lado, a fin de visualizar la existencia o no de obras de mejoramiento en la red de distribución Tabla 6.1-9, Tabla 6.1-10 y Tabla 6.1-12. Se debe tener en consideración que el cronograma corresponde al año 2016, por tal motivo podrían existir ajustes en el cronograma no especificados.

Tabla 6.1-9 Cronograma de obras Aguas la Serena - Sistema ALSER

Etapa	Obra	Descripción	Cronograma	
			Año inicio	Año término
Recolección	Reposición Equipos de Bombeo PEAS	Cambio de Equipos de Bombeo en PEAS Mar Egeo, PEAS jardín y PEAS Pacífico	2020	2020
	Reposición Equipos de Bombeo PEAS	Cambio de Equipos de Bombeo en PEAS Mar Egeo, PEAS jardín y PEAS Pacífico	2029	2029

Fuente: Aguas La Serena (2016).

Tabla 6.1-10 Cronograma de obras Aguas del Valle - Sistema Algarrobito

Etapa	Obra	Descripción	Cronograma	
			Año inicio	Año término
Producción	Planta elevadora AP Pozos Alfalfares.	Estudio de Ingeniería.	2022	2022
		Ampliación PEAP Pozos Alfalfares de 2311/s a 3511/s; H=130 m.	2023	2023
Distribución	Mejoramiento AP Sector Edmundo Gálvez Etapa III	Estudio de Ingeniería.	2022	2022
		Mejoramientos en la red (L=447 m, D=160-315 mm, HDPE).	2023	2023
	Mejoramiento AP Sector Edmundo Gálvez Etapa IV	Estudio de Ingeniería.	2025	2025
		Mejoramientos en la red (L=174 m, D=160 mm, HDPE).	2026	2026
	Construcción Estanque Elevado Bosque San Carlos N°3.	Estudio de Ingeniería.	2023	2023
		Construcción El Bosque de San Carlos N°3 (Elev. H=25 m; V=500 m ³).	2024	2024
	Mejoramientos AP Sectores Estanques El Jockey, Herradura Alto, Balmaceda. Punta Mira y Julio González SE y Elevado Etapa III.	Estudio de Ingeniería.	2025	2025
		Mejoramientos en la red (L=602 m, D=160-250-400 mm. HDPE).	2026	2026
	Estudio de Ingeniería.	2021	2021	

Etapa	Obra	Descripción	Cronograma	
			Año inicio	Año término
	Mejoramientos AP Sectores Estanques Santa Lucía Alto y Bajo, San Joaquín Elevado y S/E Etapa II.	Mejoramientos en la red (L=1.739 m, D=110-160-315-400 mm, HDPE).	2022	2022
		Estudio de Ingeniería.	2025	2025
	Mejoramientos AP Sectores Estanques Santa Lucía Alto y San Joaquín S/E Etapa III	Mejoramientos en la red (L=1.915 m, D=160-200-315-400 mm, HDPE).	2026	2026
		Estudio de Ingeniería.	2024	2024
	Construcción Estanque Semienterrado Santa Lucía N° 3.	Construcción Estanque Semienterrado Santa Lucía N° 3 (V=250 m ³)	2025	2025
		Estudio de Ingeniería.	2020	2020
	Mejoramientos AP Sectores Estanques Moisés Mancilla y Las Compañías Etapa II.	Mejoramientos en la red (L=917 m, D=110-160-200 mm, HDPE).	2021	2021
		Estudio de Ingeniería.	2025	2025
	Mejoramientos AP Sectores Estanques Moisés Mancilla y Las Compañías Etapa III.	Mejoramientos en la red (L=767 m, D=110-160-200-250 mm, HDPE).	2026	2026
		Estudio de Ingeniería.	2021	2021
	Construcción Estanque Moisés Mancilla N° 2.	Compra de terrenos	2022	2022
		Construcción Estanque Semienterrado La Moisés Mancilla N° 2 (V=2500 m ³) y conducción (HDPE; L=2.400 m; D=315-400 mm).	2024	2024
Recolección	Refuerzo colector Valparaíso Etapa 11.	Estudio de Ingeniería.	2022	2022
		Refuerzo colector Valparaíso (L=288 m, Ø=315-400 mm. HDPE).	2023	2023
	Planta elevadora AS N°4 Avenida del Mar.	Estudio de Ingeniería.	2022	2022
		Ampliación PEAS N°4 Avenida del Mar (de 80 a 90 L/s; H=6 m)	2023	2023
	Refuerzo colector Interior Av. del Mar T2.	Estudio de Ingeniería.	2022	2022
		Refuerzo colector Interior Av. del Mar T2 (L=300 m, Ø=250 mm, HDPE).	2023	2023
	Colector Las Vegas Sur Etapa II (*)	Estudio de Ingeniería.	2024	2024
		Colector Las Vegas Sur (L=2.750 m, D=200 mm, HDPE)	2025	2025

* Colector Las Vegas Sur: La ejecución de estas obras, están sujetas a construcción de las respectivas calles por parte de la Ilustre Municipalidad de La Serena, de acuerdo al Plan Regulador vigente, estas están proyectadas por terrenos particulares.

Fuente: Aguas del Valle (2016).

Tabla 6.1-11 Cronograma de obras Aguas del Valle - Sistema Peralillo

Etapa	Obra	Descripción	Cronograma	
			Año inicio	Año término
Distribución	Mejoramiento Sector Estanque Lourdes Etapa II	Estudio de Ingeniería.	2020	2020
		Mejoramientos en la red (L=572 m, D=110-160 mm, HDPE).	2021	2021

Fuente: Aguas del Valle (2016).

Tabla 6.1-12 Cronograma de obras Aguas del Valle - Sistema Vicuña

Etapa	Obra	Descripción	Cronograma	
			Año inicio	Año término
Producción	Ampliación Sistema de Cloración.	Estudio de Ingeniería.	2020	2020
		Ampliación sistema de cloración Vicuña (de 63 a 95 l/s).	2021	2021
Distribución	Mej. Sector Estanque Hierro Viejo Etapa II	Estudio de Ingeniería.	2020	2020
		Mejoramientos en la red (L=809 m, D=110-160-315 mm, HDPE).	2021	2021
	Mej. Sector Estanque Hierro Viejo Etapa III	Estudio de Ingeniería.	2025	2025
		Mejoramientos en la red (L=128 m, D=315 mm, HDPE).	2026	2026
Recolección	Planta elevadora AS La Viñita.	Estudio de Ingeniería.	2020	2020
		Ampliación PEAS La Viñita (de 6 l/s a 9 l/s; H=11,3 m).	2021	2021

Fuente: Aguas del Valle (2016).

6.1.2.3 Iniciativa(s). Ficha(s) resumen

A partir del diagnóstico y de la revisión de las acciones en cartera actual, se consideran estratégicas las siguientes iniciativas:

- Obras de ampliación y mejora de la Red Hidrométrica de la DGA en la cuenca del río Elqui, mediante la construcción de nuevas estaciones fluviométricas (OH-01).
 - Objetivo: Fortalecer la Red Hidrométrica DGA de la cuenca del río Elqui recuperando y mejorando infraestructura, de manera de incrementar la cantidad y la calidad de los datos de monitoreo de las aguas superficiales.
 - Descripción: Esta iniciativa consiste en mejorar el monitoreo de caudales en la cuenca del río Elqui, mediante la construcción de tres (3) nuevas estaciones fluviométricas. Una (1) de estas se ubicaría en la subcuenca río Turbio en "Río Turbio entre Incahuaz y estero Huanta". Las otras dos se ubicarían en la parte baja de la subcuenca río Elqui, una (1) en "Río Elqui aguas abajo Quebrada Marquesa" y una (1) en "Río Elqui aguas abajo quebrada Santa Gracia", esta última estación

podría ser reemplazada por la estación descrita en el punto 2 del acápite 6.2.3.2i.

- Instancias de relación vinculadas: Es una iniciativa que se alinea con el objetivo general de la “Mesa Regional para la Emergencia Hídrica” (Anexo I acápite 4.3.4b) y con los objetivos de la “Mesa Hídrica Elqui Bajo Alfalfares”.

En la Tabla 6.1-13 se presenta la ficha resumen de esta iniciativa. El monto asociado a esta inversión se presenta en el acápite 7.2.1 y su detalle en el Anexo K.2.

Tabla 6.1-13 Ficha resumen Acción N°: OH-01

ACCIÓN N°: OH-01	
Nombre de la Acción:	
Obras de ampliación y mejora de la Red Hidrométrica de la cuenca del río Elqui, mediante la construcción de nuevas estaciones fluviométricas.	
Brecha o problemática identificada:	
Para la correcta gestión y administración del agua superficial, es necesario contar con estaciones bien repartidas en toda la cuenca; además de servir como puntos de control, ayuda al conocimiento integral del recurso hídrico en la cuenca.	
Eje(s) del Plan:	
Eje 2. Monitoreo del recurso hídrico.	
Objetivo(s) del Plan:	
Objetivo 2.1 Mejorar el monitoreo de las aguas de la cuenca (superficial, subterráneo, de montaña y glaciares).	
Objetivo(s) de la Acción:	
Fortalecer la Red Hidrométrica DGA de la cuenca del río Elqui recuperando y mejorando infraestructura, de manera de incrementar la cantidad y la calidad de los datos de monitoreo de las aguas superficiales, a través de la construcción de tres (3) nuevas estaciones, una (1) en "Río Turbio entre Incahuaz y estero Huanta", una (1) en "Río Elqui aguas abajo Quebrada Marquesa" y una (1) en "Río Elqui aguas abajo quebrada Santa Gracia".	
Características generales:	
Ámbito:	Red Hidrométrica DGA
Ubicación:	Cuenca del río Elqui
Beneficiarios directos:	OJA, DGA, DOH y otros miembros de la comunidad relacionada a la toma de decisiones en temas hídricos.
Tipo de acción:	Propuesta
Situación de la acción:	Propuesta
Horizonte:	Corto/Mediano plazo
Tipo de financiación:	Pública
Entidad(es) financiadora(s):	DGA
Entidad(es) responsable(s):	DGA
Observaciones:	
No se identifican acciones públicas ni privadas en cartera vinculadas a estaciones de aforo de aguas superficiales en la cuenca. Cabe mencionar iniciativas interregionales relacionadas con esta tipología de obras (BIP 40020601-0, 30089737-0, 30089740-0).	

Fuente: Elaboración propia.

- Obras de ampliación y mejora de la Red Hidrométrica de la DGA, mediante la construcción de nuevos puntos de medición de niveles subterráneos (OH-02).
 - Objetivo: Fortalecer la Red Hidrométrica DGA de la cuenca del río Elqui, mediante la construcción de tres (3) nuevos puntos de medición de niveles subterráneos.
 - Descripción: Esta iniciativa consiste en la construcción de una red de medición de niveles de agua subterránea en distintos puntos de la cuenca, y su utilización para la toma de muestras de agua para el monitoreo de su calidad. Dicha información es relevante para la caracterización del estado del acuífero, y facilita la correcta gestión de los recursos hídricos subterráneos en los distintos SHAC de la cuenca.

Se propone como ubicación de los nuevos pozos el SHAC Turbio, SHAC Santa Gracia y SHAC Serena Norte. El monitoreo de niveles y calidad de aguas puede efectuarse en nuevos pozos de explotación que cuenten con sensor de nivel y data logger o la habilitación de pozos suspendidos.
 - Instancias de relación vinculadas: Es una iniciativa que se alinea con el objetivo general de la “Mesa Regional para la Emergencia Hídrica” (Anexo I acápite 4.3.4b) y con los objetivos de la “Mesa Hídrica Elqui Bajo Alfalfares”.

En la Tabla 6.1-14 se presenta la ficha resumen de esta iniciativa. El monto asociado a esta inversión se presenta en el acápite 7.2.1 y su detalle en el Anexo K.2.

Tabla 6.1-14 Ficha resumen Acción N°: OH-02

ACCIÓN N°:	OH-02
Nombre de la Acción:	
Obras de ampliación y mejora de la Red Hidrométrica de la cuenca del río Elqui, mediante la incorporación de nuevos puntos de medición de niveles subterráneos.	
Brecha o problemática identificada:	
En cuanto a la gestión técnica y administrativa de las aguas subterráneas, la medición de niveles del acuífero proporciona la información necesaria para la gestión del recurso hídrico en los SHAC. Por lo tanto, el fortalecimiento de la red de medición de niveles, para favorecer la gestión de los acuíferos, debe contar con pozos de medición, bien distribuidos en todos los SHAC de la cuenca.	
Eje(s) del Plan:	
Eje 2. Monitoreo del recurso hídrico.	
Objetivo(s) del Plan:	
Objetivo 2.1 Mejorar el monitoreo de las aguas de la cuenca (superficial, subterráneo, de montaña y glaciares).	
Objetivo(s) de la Acción:	
Fortalecer la Red Hidrométrica DGA de la cuenca del río Elqui, mediante la incorporación de tres (3) nuevos puntos de medición de niveles subterráneos en los SHAC Turbio, Santa Gracia y Serena Norte, de manera de mejorar la información relativa a balances de agua subterránea.	
Características generales:	
Ámbito:	Red Hidrométrica DGA
Ubicación:	SHAC Turbio, Santa Gracia y Serena Norte.
Beneficiarios directos:	DGA, titulares de DAA subterráneos SHAC Turbio, Santa Gracia y Serena N
Tipo de acción:	Propuesta
Situación de la acción:	Propuesta
Horizonte:	Corto/Mediano plazo
Tipo de financiación:	Pública
Entidad(es) financiadora(s):	DGA
Entidad(es) responsable(s):	DGA
Observaciones:	
Los puntos podrán ser nuevos pozos de explotación que cuenten con sensor de nivel y data logger o la habilitación de pozos suspendidos. No se identifican acciones públicas ni privadas en cartera vinculadas a sistemas de medición de niveles subterráneos.	

Fuente: Elaboración propia.

- Implementación de sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas servidas para sistemas APR en localidades concentradas de la cuenca del río Elqui (OH-03).
 - Objetivo: Construcción sistemas de alcantarillados, tratamientos y disposición de aguas servidas en zonas rurales, para para una adecuada disposición de estas y así evitar contaminar el acuífero.
 - Descripción: Esta iniciativa se enmarca en el "Análisis para Plan de Inversión Pública en saneamiento rural para 20 localidades concentradas en las regiones de Atacama y Coquimbo" (código BIP 40005219-0), y busca contrarrestar lo observado en relación a la presencia de contaminantes microbiológicos como coliformes totales y *E. coli* en el curso medio de la cuenca del río Elqui, lo cual sería atribuido a contaminación por aguas residuales, principalmente en zonas rurales que no cuentan con alcantarillado y sistemas de tratamiento de aguas. De acuerdo a lo señalado por DIRPLAN para la postulación de este estudio, el objetivo del proyecto se enmarca en el lineamiento estratégico del MOP de abordar las desigualdades en infraestructura entre sector urbano y rural, presentándose actualmente en este último solo un 12% de cobertura de evacuación y tratamiento de aguas servidas.

La implementación de estos sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas servidas se guiará por los resultados de la iniciativa OM-01, que consiste en la elaboración del Plan de Inversión a nivel de cuenca para el 100% de las APR.

La implementación de estos sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas servidas se guiará por los resultados de la iniciativa OM-02, que consiste en la elaboración del Plan de Inversión a nivel de cuenca para el 100% de las APR.

El alcance considerado en la presente iniciativa considera al menos la ejecución de 10 sistemas APR con las adecuadas obras de alcantarillado y tratamiento de aguas servidas.

- Instancias de relación vinculadas: Esta iniciativa no se relaciona con algún eje u objetivo de instancias de relación o mesas de trabajo actualmente vigente en la cuenca. Esto se debe a que las instancias actualmente activas (Anexo I acápite 4.3.4b), tienen como objetivo iniciativas a corto plazo o iniciativas relacionadas a la disponibilidad del recurso.

En la Tabla 6.1-15 se presenta la ficha resumen de esta iniciativa. El monto asociado a esta inversión se presenta en el acápite 7.2.1 y su detalle en el Anexo K.2.

Tabla 6.1-15 Ficha resumen Acción N°: OH-03

ACCIÓN N°: OH-03	
Nombre de la Acción:	
Implementación de sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas servidas para sistemas APR en localidades rurales concentradas de la cuenca del río Elqui.	
Brecha o problemática identificada:	
En diferentes puntos ubicados en el curso medio de la cuenca del río Elqui, se ha detectado presencia de Coliformes Totales y <i>Escherichia coli</i> en las fuentes de agua cruda de abastecimiento de agua potable, de manera persistente en el tiempo. La presencia de la bacteria <i>E. coli</i> es atribuida principalmente a la contaminación por aguas residuales; considerando que las zonas rurales no cuentan en su totalidad con red de alcantarillado y sistemas de tratamiento de aguas servidas, eventualmente los contaminantes derivan a cuerpos hídricos receptores.	
Eje(s) del Plan:	
Eje 1. Uso estratégico del recurso hídrico: brechas entre oferta y demanda. Eje 4. Conservación y protección del recurso y del ecosistema hídrico.	
Objetivo(s) del Plan:	
Objetivo 1.2. Restaurar condiciones de abastecimiento y calidad de las fuentes de agua potable urbana, tanto para fuentes superficiales como subterráneas. Objetivo 1.3. Restaurar condiciones de abastecimiento y calidad de las fuentes de agua potable rural, tanto para fuentes superficiales como subterráneas. Objetivo 4.1. Conservar y/o mejorar el estado de la calidad de las fuentes superficiales y subterráneas.	
Objetivo(s) de la Acción:	
Construcción de sistema de alcantarillado, tratamiento y disposición de aguas servidas en zonas rurales concentradas, para una adecuada disposición de éstas y evitar la potencial contaminación del acuífero.	
Características generales:	
Ámbito:	Agua potable/Ecosistema
Ubicación:	Cuenca del río Elqui
Beneficiarios directos:	Organización APR en localidad rural concentrada* de la cuenca del río Elqui y priorizada en Plan Estratégico de Inversiones en saneamiento rural Coquimbo.
Tipo de acción:	Propuesta
Situación de la acción:	Propuesta
Horizonte:	Mediano/Largo plazo
Tipo de financiación:	Público
Entidad(es) financiadora(s)	GORE-SUBDERE a través del FNDR
Entidad(es) responsable(s)	Municipalidades
Observaciones:	
Según al informe realizado por la Mesa Nacional del Agua (MOP, 2020), "en cuanto al saneamiento en zonas rurales, esta es una tarea pendiente", estimándose que la cobertura de alcantarillado en zonas rurales (a nivel nacional) no supera el 25% (DIRPLAN-IFARLE, 2018). Debido a esto, actualmente se evalúa a nivel de perfil el Estudio Básico "Análisis Plan de Inversión Pública en Saneamiento Rural para 20 Localidades Concentradas*", en el cual se escogerán 20 localidades de un total de 205 estudiadas, en las regiones de Coquimbo y Atacama, y se entregará un Plan Estratégico de Inversiones en saneamiento rural, a partir del cual se seleccionarán las APR prioritarias para ejecutar la presente iniciativa.	
*localidades rurales con una población mínima de 150 habitantes y una densidad de al menos 15 viviendas por kilómetro de red de agua potable (DIRPLAN-IFARLE, 2018).	

Fuente: Elaboración propia.

Para efectos del presente PEGH, no se generan nuevas iniciativas relativas a construcción de obras de riego (específicamente mejoras en bocatomas y construcción de tranques de riego), siendo que la CNR ya generó un plan propio (Plan de Riego, año 2016) para llevar a cabo iniciativas prioritarias a partir de su diagnóstico. No obstante, desde un punto estratégico, se apoya y enfatiza en la importancia de ejecutar las iniciativas priorizadas en dicho Plan respecto a actuaciones de mejora en bocatomas y tranques.

Por otro lado, respecto las obras de agua potable urbana, es la propia empresa sanitaria quien, bajo la aprobación de la SISS, establece las inversiones necesarias para garantizar el abastecimiento de agua potable y saneamiento correspondiente en su territorio operacional; por lo anterior, no se incluyen acciones estratégicas en el presente Plan de Acción.

Finalmente, no se incluyeron en el presente PEGH nuevas iniciativas públicas relacionadas al mejoramiento, profundización o ampliación en la red de APRs, debido a que dicho tipo de obras forman parte del trabajo que realiza el "Programa de Agua Potable Rural" de DOH como parte de sus objetivos principales, los cuales incluyen "ejecutar la inversión necesaria y realizar la asesoría respectiva a las organizaciones responsables de la administración, operación y mantenimiento de los sistemas [APR]"²⁷. Asimismo, el consultor considera relevante la ejecución de las iniciativas generadas y priorizadas por dicho Programa.

6.1.3 Tecnificación y revestimientos

En este apartado se realiza un diagnóstico y recopilación de acciones en cartera de información secundaria en relación al grado de tecnificación de la superficie agrícola del valle del río Elqui y el nivel de revestimiento de sus canales, así como potenciales medidas a considerar en el PEGH.

6.1.3.1 Diagnóstico

i. Tecnificación

La información respecto al nivel de tecnificación de los predios agrícolas actualmente se ha estimado en el apartado relativo a la demanda agrícola (Anexo J.6.3), considerando principalmente el último Catastro Frutícola regional (metodología en Anexo F). De lo anterior, en la Tabla 6.1-16 se presenta el resultado actual (año 2019).

²⁷ Ver Objetivos del Programa de Agua Potable Rural (<http://www.doh.cl/APR/AcercadeAPR/Paginas/ObjetivosProgramaAPR.aspx>) [fecha consulta: 02 de noviembre de 2020].

Tabla 6.1-16 Estimación de la eficiencia de aplicación de riego, por comuna y cuenca

Comuna	Eficiencia de aplicación (%)
Vicuña	87%
Paihuano	85%
Coquimbo	74%
La Serena	64%
Cuenca río Elqui	76%

Fuente: Elaboración propia.

A nivel de cuenca, se obtiene una eficiencia estimada del 76%. En general, se puede considerar que el grado de tecnificación es medio-alto (considerando un valor máximo de 90% en el caso de riego por goteo, y uno mínimo del 30% correspondiente a tendido), con diferencias espaciales a lo largo del valle. Al respecto, la zona con menor implantación de tecnificación de riego corresponde a:

- Sectores de riego de la comuna de La Serena, con un porcentaje de 64% de eficiencia de aplicación. Constituye la zona, de en torno a 3.600 ha, con mayor ineficiencia de riego a nivel predial.

Por otro lado, señalar que las inversiones en tecnificación de predios agrícolas suelen darse con recursos propios (privados) o a través de los fondos concursables de CNR gracias a la Ley de Fomento al Riego N° 18.450. En este sentido, se considera oportuno aportar recursos para tecnificación en la cuenca del río Elqui, con un nicho específico focalizado en la parte baja de la cuenca.

ii. Revestimiento de canales

El estudio "Diagnostico para Desarrollar Plan de Riego en Cuenca de Elqui" (CNR, 2016a), se señala que la conducción de las aguas se efectúa a través de una gran cantidad de canales en diverso estado de mantención y diferentes capacidades, longitudes, y materialidad. A nivel de cuenca, tan solo 5 obras de canalización de riego extra predial poseen capacidad mayor a 0,5 m³/s, mientras que únicamente 3 presentan una capacidad de conducción superior a 1 m³/s.

En muchos casos se constatan pérdidas cuantificables en torno al 20-40%, en promedio, a causa de la vegetación e infiltración, las que ocurren principalmente en zonas rocosas y en el paso de quebradas, donde no existe un adecuado diseño del canal.

La Tabla 6.1-17, indica las longitudes totales de canales de riego, desagregados según fuente de captación.

Tabla 6.1-17 Longitud de canales

Fuente	Longitud (km)
Río Claro o Derecho	124,9
Río Cochiguaz	32,8
Río Elqui	719,2
Río Turbio	40,4
Oda. de Paihuano - Paihuano	16,41
Oda. Pabellón - Paihuano	7,05
Oda. Del Colorado - Paihuano	2,75
Oda. Las Placetas -Paihuano	1,11
Otras Quebradas, Esteros, Vertientes y pequeñas fuentes	28,9
Total	973,52

Fuente: Elaboración propia en base a CNR (2016a)

La cantidad total señalada anteriormente, difiere del total indicado en la tabla 2.4-4, donde se indica un total de 826 km, por esta razón, es necesario contar con información actualizada del estado de estas obras.

Finalmente, desatacar que la información presentada en el estudio ya identificó una serie de iniciativas de mejora relacionadas a estas obras de riego. Por lo anterior, para efectos del presente PEGH, no se generan nuevas iniciativas de este carácter, siendo que CNR ya generó un plan propio para ello. No obstante, desde un punto estratégico, se apoya y enfatiza en la importancia de ejecutar las iniciativas priorizadas en dicho Plan respecto a actuaciones de revestimiento de canales. En la Tabla 6.1-18 presenta un resumen de la cartera de iniciativas sintetizadas en dicho informe.

Tabla 6.1-18 Iniciativas de tecnificación y/o revestimiento de canales propuestas en el Plan de Riego

Nombre de iniciativa	Tipología	Ámbito
Estudio Básico: Recuperación de infraestructura existente de canales para riego en mal estado, Sector Río Turbio	Obras de Conducción	Subcuenca río Turbio
Catastro y Proyecto de Prefactibilidad: Recuperación de infraestructura existente de canales para riego en mal estado, Sector Pisco Elqui-Horcón-Alcohuaz	Obras de Conducción	Subcuenca río Claro
Estudio Básico: Recuperación de canales de riego en mal estado y diseño de nueva infraestructura para la mejora de su gestión y operación, Sectores Paihuano, Quebrada de Pinto – Río Claro / Cochiguaz	Obras de Conducción	Subcuenca río Claro
Estudio Básico: Recuperación de canales de riego en mal estado y diseño de nueva infraestructura para la mejora de su gestión y operación, Sector Elqui Medio	Obras de Conducción	Subcuenca río Elqui

Nombre de iniciativa	Tipología	Ámbito
Estudio Básico: Recuperación de infraestructura existente de canales para riego en mal estado, Sector Elqui Bajo	Obras de Conducción	Subcuenca río Elqui

Fuente: Elaboración propia en base a CNR (2016a).

6.1.3.2 Acciones en cartera actual

De acuerdo a la información disponible en el Banco Integrado de Proyectos (BIP) del Ministerio de Desarrollo Social y Familia, actualmente se encuentran en cartera un (1) proyecto regional asociado a conservación de obras riego. En la Tabla 6.1-19 se identifica la iniciativa.

Tabla 6.1-19 Acciones públicas en cartera asociadas a conservación de obras de riego

Código BIP	Descripción	Subsector	Etapas actual	Institución formuladora	Costo total [M\$]
40022422-0	Conservación infraestructura de riego región de Coquimbo Año y Etapa a Financiar: 2020-Ejecución	Riego	Perfil	DOH	83.100

Fuente: Elaboración propia en base a BIP (2020).

Por otro lado, es importante mencionar que, este tipo de actuaciones mayoritariamente se implementan a través de los concursos de la CNR asociados a la Ley de Fomento al Riego N° 18.450, con financiación público-privada.

6.1.3.3 Iniciativa(s). Ficha(s) resumen

A partir del diagnóstico y de la revisión de las acciones en cartera actual, se considera estratégica la siguiente iniciativa:

- Programa de tecnificación de riego en la parte baja de la cuenca del río Elqui (OH-04).
 - Objetivo: Incrementar el grado de tecnificación de la superficie agrícola en riego.
 - Descripción: Esta iniciativa pretende incrementar el grado de tecnificación de la superficie agrícola en riego, mediante fondos concursables específicos de tecnificación en la cuenca del río Elqui, acompañado de un apoyo técnico a regantes para la exitosa postulación a dichos subsidios. Esto debido a que a pesar de que existen recursos económicos periódicos para tecnificación gestionados generalmente por la CNR, a través de la Ley de Fomento al Riego N° 18.450, se aprecia una limitación en los fondos concursables, que provoca que el grado de tecnificación se incremente muy lentamente en el tiempo.

Se espera tener un ratio de tecnificación sobre áreas actuales de riego de 100 ha/año aproximadamente, destinando a sectores de la cuenca en su totalidad.

- Instancias de relación vinculadas: Es una iniciativa que se alinea con el objetivo general de la “Mesa Regional para la Emergencia Hídrica” (Anexo I acápite 4.3.4b).

En la Tabla 6.1-20 se presenta la ficha resumen de esta iniciativa. El monto asociado a esta inversión se presenta en el acápite 7.2.1 y su detalle en el Anexo K.2.

Tabla 6.1-20 Ficha resumen Acción N°: OH-04

ACCIÓN N°:	OH-04
Nombre de la Acción:	
Programa de tecnificación de riego en la parte baja de la cuenca del río Elqui.	
Brecha o problemática identificada:	
El porcentaje de eficiencia de aplicación en el valle del río Elqui, el cual se estima entorno al 76%, puede incrementarse a través del apoyo a la tecnificación de los sistemas de riego actuales, de forme de mejorar la pérdida del recurso en los predios agrícolas. Se aprecian valores de eficiencia más elevados en la parte alta y media de la cuenca, mientras que decrece en la zona baja. Existen recursos económicos periódicos para tecnificación gestionados generalmente por la CNR, a través de la Ley de Fomento al Riego N° 18.450. No obstante, entre otros factores, se aprecia una limitación en los fondos concursables, que provoca que el grado de tecnificación se incremente muy lentamente en el tiempo.	
Eje(s) del Plan:	
Eje 1. Uso estratégico del recurso hídrico: brechas entre oferta y demanda.	
Objetivo(s) del Plan:	
Objetivo 1.1. Reducir las brechas entre oferta y demanda de agua considerando cambio climático, sequía e inundaciones.	
Objetivo(s) de la Acción:	
Incrementar el grado de tecnificación de la superficie agrícola en riego, mediante fondos concursables específicos de tecnificación en la cuenca del río Elqui.	
Características generales:	
Ámbito:	Riego
Ubicación:	Cuenca río Elqui
Beneficiarios directos:	Regantes
Tipo de acción:	Propuesta
Situación de la acción:	Perfil
Horizonte:	Corto/Mediano/Largo plazo
Tipo de financiación:	Público-Privada
Entidad(es) financiadora(s)	CNR-GORE-Privado
Entidad(es) responsable(s):	CNR
Observaciones:	
Se espera tener un ratio de tecnificación de 100 ha/año aproximadamente, destinando nicho específico para la comuna de La Serena.	

Fuente: Elaboración propia.

6.2 MEDIDAS DE GESTIÓN

Las medidas de gestión comprenden una serie de iniciativas encaminadas a mejorar la coordinación en la planificación y la ejecución de acciones en torno al recurso hídrico. Incluyen aspectos sociales (gobernanza, capital humano, fortalecimiento y formalización de OUA), así como otras de carácter técnico (mejora en la eficiencia, tecnologías, sistemas de información), entre otras.

6.2.1 Gobernanza

A continuación, se identifican aquellas herramientas necesarias para mejorar la gestión y coordinación entre los diferentes actores de interés en la toma de decisiones sobre los recursos hídricos.

6.2.1.1 Diagnóstico

En relación a la importancia de avanzar hacia una participación y colaboración integrada efectiva, cabe señalar que las instancias de participación en la cuenca del río Elqui no se realizan en las escalas recomendadas para una gestión hídrica adecuada (cuenca/subcuenca hidrográfica). Como se mencionó en el acápite 2.6.1), en Chile se trabaja con el concepto de cuenca natural como entorno de organización hídrica, sin embargo, los órganos de administración pública con competencias relacionadas al agua, usualmente son entes centralizadas con representatividad regional e incluso zonal; esto conlleva a que estudios y programas relacionados a gestión hídrica se apliquen dentro de límites políticos en lugar de límites naturales. Por ejemplo, la Mesa Regional para la Emergencia Hídrica en Coquimbo tiene su función acotada a límites administrativos y no juega el rol de instancia a nivel de cuenca; es decir, si bien esta mesa abarca temáticas concernientes a la cuenca de Elqui, también incluye a otras cuencas de la región (cuenca río Choros, río Limarí, río Choapa, entre otras), por lo que la identificación de problemas y priorización de soluciones no serán estratégicas o alineadas con las necesidades propias de la cuenca, sino que se convertirán en iniciativas atomizadas dentro del territorio regional. Así mismo, existe la Mesa Hídrica Elqui Bajo Alfalfares, la cual sólo abarca una sección de la cuenca, por lo que la solución estratégica de problemas y ejecución de iniciativas será parcial al interior de la cuenca.

Mejorar dichas instancias requiere aumentar la variedad de herramientas participativas disponibles para las OUA y extender los aportes de las partes interesadas más allá de un enfoque sobre los asuntos ambientales. Además, se debe reforzar el rol de las entidades públicas territoriales relacionadas a la gestión hídrica como garantes de una planificación a nivel local alineada y coordinada, brindando apoyo a los actores interesados a través de aportes financieros, tutoriales técnicos, y otros recursos que facilitarán su participación. En el caso de la cuenca del río Elqui, existe una mesa de trabajo a nivel regional (Mesa Regional para la Emergencia Hídrica), en la cual trabajan permanentemente actores relacionados a instituciones públicas, sin embargo, y como se menciona en el Plan Estratégico (acápite 2.6.1.2), la participación de Organizaciones de Usuarios de Agua no es periódica ni establecida y es dependiente de la situación atinente a tratar en la mesa, además, tampoco incluye periódicamente a otras entidades privadas, como Minerías, representantes de

APRs, representantes de sanitarias; miembros de la sociedad civil, como comunidades indígenas, organizaciones ambientalistas, representantes del turismo, entre otros²⁸. Debido a lo anterior, se concluye que la cuenca del río Elqui no cuenta con instancias de participación y colaboración efectiva.

Otro aspecto que influye en la gobernanza de la cuenca tiene relación a las fiscalización y sanciones en materia de aguas. En el presente Plan se presentan iniciativas de mejora tanto en las instalaciones de monitoreo como en los protocolos de medición. Con respecto a los procesos de fiscalización y sancionatorios, es DGA en su rol asignado por el solo ministerio de la ley, la entidad encargada de fiscalizar el cumplimiento de las normas del Código de Agua e iniciar los procesos sancionatorios de oficio cuando tomare conocimiento de hechos que puedan constituir infracciones de dichas normas, por denuncia de un particular, por medio de una autodenuncia, o a requerimiento de otro servicio del Estado (Ley N° 21.064). Debido a lo mencionado anteriormente, no se considera como medida estratégica el formular iniciativas relacionadas a procesos de fiscalización, dado que es una labor propia de DGA. No obstante, en el acápite 6.2.5.1 se presenta un breve análisis sobre la relación entre las capacidades técnicas y organizacionales de las OUA y su disposición a participar en dichos procesos.

El diagnóstico detallado de la gobernanza en la cuenca del río Elqui se ha presentado en el acápite 2.6.

6.2.1.2 Acciones en cartera actual

i. Iniciativas catastradas desde el sector público

A continuación, se entrega el conjunto de iniciativas públicas identificadas en el Banco Integrado de Proyectos (BIP) del Ministerio de Desarrollo Social y Familia (MIDESO), las que consideran una (1) iniciativa de planificación para la coordinación. En la Tabla 6.2-1 se entrega el detalle de las iniciativas.

²⁸ Ver acápite 2.6.3.3 iii) sobre lecciones internacionales para la cuenca y las entidades que se deberían incluir en los procesos participativos.

Tabla 6.2-1 Iniciativas públicas en la cuenca de Elqui para mejoras en gobernanza

Código BIP	Descripción	Subsector	Etap actual	Institución formuladora	Costo total [M\$]
30409172	Análisis para el desarrollo de un plan Nacional de Recursos Hídricos año y etapa a financiar: 2020-ejecución.	Ejecución	Recursos Hídricos	DGA	2.392.185

Fuente: Elaboración propia en base a BIP (2020).

La justificación del proyecto, según lo indicado en las Fichas IDI asociadas a cada iniciativa se indica a continuación:

- **Análisis para el desarrollo de un Plan Nacional de Recursos Hídricos:** La problemática que existe actualmente en las cuencas chilenas es el incremento de conflictos y competencia por el agua entre los diversos actores, debido a la falta de coordinación y orientación en la gestión del recurso hídrico, por consiguiente, se requiere la formulación e implementación de un plan nacional de recursos hídricos que mitigue esta problemática.

ii. Acciones en cartera del sector privado

No se identifican propuestas desde privados en torno a gobernanza en la cuenca.

6.2.1.3 Iniciativa(s). Ficha(s) resumen

A partir del diagnóstico y de la revisión de las acciones en cartera actual, se consideran estratégicas las iniciativas siguientes:

- Creación del "Servicio de Apoyo a la Facilitación" a las buenas prácticas de gobernanza en la cuenca del río Elqui (MG-01).
 - Objetivo: Fomentar la participación activa de diversos intereses productivos, sociales, culturales y económicos en la gestión hídrica y gobernanza entre actores relevantes en materia hídrica en la cuenca del río Elqui.
 - Descripción: Esta iniciativa busca generar una instancia fija de participación activa de los diversos intereses productivos, sociales, culturales y económicos en la gobernanza en materia hídrica, a través de la disposición de facilitadores para guiar en la toma de decisiones conjuntas y armónicas en la cuenca del río Choapa.

Así, se pretenden brindar apoyo a los actores interesados, el cual proveería de aportes financieros, tutoriales técnicos y otros recursos que facilitarían su participación en las diferentes instancias de coordinación en la cuenca; además de contar con un proceso de sensibilización sobre la importancia de contar con este servicio. Se

propone usar como experiencia además el trabajo realizado por el Departamento de Recursos Hídricos de California y su "Servicio de Apoyo a la Facilitación" (FSS por sus siglas en inglés), cuyo objetivo es contratar consultorías y profesionales para proporcionar servicios de apoyo de facilitación a agencias públicas locales que buscan determinar las estructuras de gobernanza efectivas para las "Agencia de sostenibilidad del agua subterránea", con el fin de implementar los requisitos de la Ley de Gestión Sostenible de las Aguas Subterráneas (SGMA).

Se plantea la conformación de esta iniciativa en la cuenca con el apoyo de profesionales externos (a través de consultorías) y un aporte en menor medida de profesionales públicos de planta como coordinadores de las solicitudes de servicios de facilitación, los cuales, en su conjunto, puedan prestar servicios de asistencia a las OUA en procesos relacionados a:

- Mejoras en el desarrollo organizacional de la OUA, a través de la asistencia en la ejecución de evaluaciones de usuarios y/o dirigentes; guías para el desarrollo de buenas prácticas de gestión y gobernanza hídrica; planes de gestión; planes maestros; entre otros.
- Planificación y desarrollo de instancias de coordinación y participación entre actores interesados en la gestión hídrica en la cuenca (públicos y/o privados).
- Desarrollo de herramientas de divulgación pública (páginas web; acceso e interacción con la prensa; entre otros).
- Desarrollo de metodologías o protocolos para la integración y participación de comunidades indígenas y/o miembros de la sociedad civil interesados en temas hídricos (organizaciones ambientalistas; juntas de vecinos; entre otros).
- Mediación de conflictos y metodologías de negociación.

De esta forma, el Servicio de Facilitación se convertiría en una herramienta complementaria para la mejora de las instancias de coordinación actualmente existente y facilitaría la generación de nuevos vínculos o alianzas, ya sea entre usuarios o entre actores interesados.

- Instancias de relación vinculadas: Es una iniciativa que se alinea con el objetivo general de la "Mesa Regional para la Emergencia Hídrica" (Anexo I acápite 4.3.4b) y los objetivos de la "Mesa Hídrica Elqui Bajo Alfalfares".

En la Tabla 6.2-2 se presenta la ficha resumen de esta iniciativa. El monto asociado a esta inversión se presenta en el acápite 7.2.1 y su detalle en el Anexo K.2.

Tabla 6.2-2 Ficha resumen Acción N°: MG-01

ACCIÓN N°: MG - 01	
Nombre de la Acción:	
Proyecto para la creación del "Servicio de Apoyo a la Facilitación" a las buenas prácticas de gobernanza en la cuenca del río Elqui.	
Brecha o problemática identificada:	
Las instancias de participación en la cuenca del río Elqui no se realizan en las escalas recomendadas para una gestión hídrica adecuada (cuenca/subcuenca hidrográfica), ya que su alcance cubre límites administrativos ("Mesa Regional de trabajo para la sequía") u operan de manera parcializada dentro de la cuenca ("Mesa Hídrica Elqui Bajo-Alfalfares").	
Eje(s) del Plan:	
Eje 3. Gestión y gobernanza del agua.	
Objetivo(s) del Plan:	
Objetivo 3.1. Promover y revitalizar la alianza público - privada en materia hídrica.	
Objetivo(s) de la Acción:	
Fomentar la participación activa de diversos intereses productivos, sociales, culturales y económicos en la gestión hídrica y gobernanza entre actores relevantes en materia hídrica, a través de la disposición de facilitadores para guiar en la toma de decisiones conjunta y armónica en la cuenca del río Elqui.	
Características generales:	
Ámbito:	Gobernanza
Ubicación:	Cuenca del río Elqui
Beneficiarios directos:	Actores públicos y privados relacionados con la toma de decisiones en temas hídricos de la cuenca.
Tipo de acción:	Propuesta
Situación de la acción:	Propuesta
Horizonte:	Corto plazo
Tipo de financiación:	Pública
Entidad(es) financiadora(s)	DGA
Entidad(es) responsable(s)	DGA Región de Coquimbo
Observaciones:	
Esta iniciativa surge de la importancia de reforzar el rol de las entidades públicas territoriales relacionadas a la gestión hídrica como garantes de una planificación a nivel local (cuenca) alineada y coordinada, brindando apoyo a los actores interesados a través de aportes financieros, tutoriales técnicos, y otros recursos que facilitarán su participación. Como experiencia, analizar el trabajo realizado por el Departamento de Recursos Hídricos de California y su "Servicio de Apoyo a la Facilitación" (FSS por sus siglas en inglés), como apoyo a las Agencias de Sustentabilidad de Aguas Subterráneas, encargadas de la administración de aguas subterráneas en el Estado.	

Fuente: Elaboración propia.

6.2.2 Constitución de reservas

A continuación, se diagnostica el estado de las áreas de reserva en la cuenca, se señala la factibilidad de su constitución y las iniciativas necesarias para lograrlo, de ser necesario.

6.2.2.1 Diagnóstico

La constitución de reservas de agua está definida por el Artículo 147 bis inciso 3° del Código de Aguas, el cual dispone que *"cuando sea necesario reservar el recurso para el abastecimiento de la población por no existir otros medios para obtener el agua, o bien, tratándose de solicitudes de derechos no consuntivos y por circunstancias excepcionales y de interés nacional, el Presidente de la República podrá, mediante decreto fundado, con informe de la Dirección General de Aguas, disponer la denegación parcial de una petición de derecho de aprovechamiento"*. Cabe señalar que, de acuerdo a lo señalado en el Inventario Público de Obras Estatales de Desarrollo del Recurso y Reservas de Aguas²⁹ de DGA, al momento de realizar este estudio, la cuenca de Elqui no cuenta con Decretos para la reserva de agua.

Para emitir un Decreto de Reserva, es necesaria la realización de un Informe Técnico DGA, el cual definirá el caudal disponible para reserva; usualmente son denominados "Análisis de Caudales de Reserva en Aguas Subterráneas para Abastecimiento de la Población en Acuíferos" o "Análisis de Caudales de Reserva en Aguas Superficiales para Abastecimiento de la Población", dependiendo de la fuente de abastecimiento analizada. De acuerdo a la revisión de antecedentes realizada, al momento del desarrollo del presente estudio, no se identifica la existencia de este informe en la cuenca del río Elqui.

Con respecto a las posibilidades de constituir nuevas zonas de reserva, se debe considerar que los SHAC sector Santa Gracia, sector Serena Norte y sector Elqui Medio están declarados como Zona de Prohibición; mientras que los SHAC sector Elqui Bajo y sector Elqui Alto están declarados como Zona de Restricción³⁰, por lo que existe la posibilidad de decretar reservas a través de la constitución de DAA provisionales, con la condición de que los acuíferos posean volúmenes de agua disponibles para tal fin. En la Tabla 6.2-3 se presentan los volúmenes disponibles para DAA provisionales y el estado de restricción para cada SHAC.

²⁹ Ver <en línea> https://dga.mop.gob.cl/administracionrecursoshidricos/obras_estatales_y_reservas/, visitado por última vez el 24 de septiembre de 2020.

³⁰ Ver Tabla 4.2-2 Áreas de restricción y zonas de prohibición en el acuífero del río Elqui

Tabla 6.2-3 Volúmenes de disponible para DAA provisionales en los SHAC de la cuenca del río Elqui

SHAC	Limitación	Volumen disponible DAA provisionales (m ³ /año)	Resolución DGA	Fecha Publicación
Elqui Bajo	Área de Restricción	26.507.222	N° 43	02/09/2013
Santa Gracia	Zona de prohibición	No existe volumen disponible	N° 15	01/02/2020
Serena Norte	Zona de prohibición	No existe volumen disponible	N° 15	01/02/2020
Elqui Alto	Área de Restricción	No existe volumen disponible	N° 45	02/09/2013
Elqui Medio	Zona de prohibición	No existe volumen disponible	N° 15	01/02/2020
Claro	Sector Abierto	-	N° 1661 Exenta	01/04/2020
Turbio	Sector Abierto	-	N° 1661 Exenta	01/04/2020

Fuente: Elaboración propia basada en DGA (2017b).

De acuerdo a la actualización de disponibilidad en los acuíferos, realizado en el estudio DGA-DOH (2019)³¹, solo el SHAC Elqui Bajo, posee disponibilidad efectiva para la constitución de nuevos derechos. En la Tabla 6.2-4, se muestra la propuesta realizada por DGA-DOH (2019) con respecto a la declaración de reserva de caudales sobre el SHAC mencionado.

Tabla 6.2-4 Cálculo de volumen de reserva en SHAC de la cuenca del río Elqui

SHAC	Disponibilidad (m ³ /año) ³²	Solicitudes en trámite (m ³ /año)	Volumen de reserva requerido (m ³ /año)	Diferencia (m ³ /año)	Propuesta
Elqui Bajo	17.397.459	649.378	836.080,7	15.912.000,3	No corresponde reservar

Fuente: DGA-DOH (2019).

Según lo presentado anteriormente, no se cumplen las condiciones para solicitar una declaración de reserva para abastecimiento de agua potable rural.

Además, durante el proceso de reuniones PAC, los actores convocados (en sus diferentes ámbitos, agua potable, riego, otros) no señalaron como una necesidad territorial prioritaria la constitución de áreas de reserva.

³¹ Ver estudio DGA-DOH (2019) "Sustentabilidad de asentamientos humanos rurales en Chile. Análisis desde los comités de agua potable rural – cuenca del río Elqui y río Los Choros"

³² La disponibilidad (m³/año), corresponde a derechos definitivos en los casos de acuíferos en situación "Sector abierto" o los derechos provisionales en los casos de acuíferos en situación "Área d Restricción".

6.2.2.2 Acciones en cartera actual

No se identifican propuestas en cartera en torno a constitución de reservas en la cuenca.

6.2.2.3 Iniciativa(s). Ficha(s) resumen

Debido a lo mencionado en el diagnóstico, la constitución de reservas de agua no se considera una iniciativa estratégica por ejecutar en la cuenca durante esta etapa; sin embargo, continúa siendo una opción disponible para análisis futuro, si es que se presentan actores que así lo requieran.

6.2.3 Sistemas de Información

En el presente acápite se presentan las herramientas de información necesarias para el apoyo a los actores relevantes de la cuenca en la toma de decisiones sobre la gestión de recursos hídricos y gobernanza, con énfasis en la Red Hidrométrica de la DGA.

6.2.3.1 Diagnóstico

Red Hidrométrica DGA

De acuerdo a la información presentada en el acápite 2.4.2 y el análisis de la oferta y demanda y gobernanza realizado en el presente estudio, se ha identificado la necesidad de mejoras en la red hidrométrica de la DGA. Dependiendo del grupo de control al que pertenece el tipo de estación, se expone el diagnóstico en el siguiente orden: red fluviométrica, nivel de pozos, nivel de lagos y embalses, glaciológica, calidad de las aguas, meteorológica y sedimentométrica.

i. Fluviometría

La cuenca del río Elqui posee dos zonas de control muy relevantes delimitadas por la presencia del embalse Puclaro. La cuenca afluente al embalse Puclaro, posee estaciones de control fluviométricas bien repartidas en la cuenca; sin embargo, seguidamente se presentan algunas recomendaciones al respecto.

a) Aguas arriba del embalse Puclaro:

Se sugiere la incorporación de un (1) nuevo punto de medición en "Río Turbio entre Incahuaz y Estero Huanta"; este punto serviría de control intermedio entre la estación "Río Incaguaz antes Junta Río Turbio" (BNA 04304002-2) y "Río Turbio en Varillar" (BNA 04308001-6).

b) Aguas abajo del embalse Puclaro:

En esta zona el reparto de aguas es bastante complejo y requiere de un mayor control. Si bien existe la estación "Río Elqui en Almendral" (BNA 04323001-8), con un comportamiento de acuerdo a las entregas del embalse, es necesario la inclusión de estaciones adicionales con propósito de control. Concretamente, se proponen dos (2) estaciones:

- “Río Elqui aguas abajo quebrada Marquesa”, donde se tendrían controlados los aportes de las dos subcuencas más grandes que llegan al río Elqui (aguas abajo del embalse Puclaro).
- “Río Elqui aguas abajo quebrada Santa Gracia”, donde se podrán controlar los flujos antes de llegar a la desembocadura, junto con el aporte que puedan tener las cuencas laterales (cuencas con más problemas en calibrar en el modelo hidrológico).

Además, para mejorar la calidad de los datos, se recomienda revisar el funcionamiento de ciertas estaciones de control, como la estación de cierre, “Río Elqui en desembocadura” (BNA 04335001-3), “Río Elqui en Almendral” (BNA 04323001-8) y también la estación “Estero Culebrón en Sifón” (BNA 04400001-6), dado que no tiene lecturas de caudal acordes o bien no se pudieron reproducir flujos acordes en el modelo, aun considerando extracciones.

ii. Nivel de pozos

Se ha realizado una propuesta de mejoramiento de la red de monitoreo superficial y subterráneo de la DGA en base al análisis de los registros, resultados de modelación y dificultades o limitaciones verificadas en el proceso de calibración. Esta propuesta considera:

- La necesidad de recuperación de puntos de monitoreo históricos retomando el registro que se haya dejado de realizar o bien la inclusión de nuevos puntos de monitoreo como reemplazo.
- Nuevos puntos de monitoreo que permitan complementar la actual red en zonas de importancia para mejorar la representación de la zona en futuros estudios.

En específico, para mejorar la información relativa a niveles del acuífero de Elqui, relacionada principalmente a productos del balance de aguas subterráneas realizados para cada SHAC de la cuenca, es necesario incorporar a la Red Hidrométrica DGA nuevos puntos de medición de niveles. Concretamente, se requieren pozos de monitoreo en los siguientes puntos: SHAC Turbio, SHAC Claro, SHAC Santa Engracia y SHAC Serena Norte.

iii. Nivel lagos y embalses

En lo que respecta la medición de niveles en lagos y embalses, la cuenca dispone de dos (2) estaciones de medición de nivel vigentes en la red DGA, “Embalse de la Laguna” (BNA 04300002-0) y “Embalse Puclaro Intendente Fuentealba” (BNA 04323014-K), cubriendo el monitoreo de nivel de los dos (2) embalses existentes, según la información detallada en la Tabla 2.4-1. No existen otros cuerpos de agua de esta tipología que sea estratégico monitorear.

iv. Glaciología

En lo que respecta a la infraestructura para monitoreo de glaciares, la cuenca dispone de una (1) estación (Glaciar Tapado en Los Corrales), ubicada en la parte alta de la subcuenca del río Turbio, que es donde se sitúan el mayor número de glaciares (271) según se indica en la Tabla 4.3-1. Por lo tanto, la obtención de información representativa para determinar la respuesta de los glaciares a las condiciones meteorológicas, se considera preliminarmente cubierta en la cuenca.

v. Calidad

El control de calidad de aguas superficiales de la DGA cuenta con estaciones distribuidas en toda la cuenca, concentradas principalmente en el sector de confluencia de los ríos Claro y Turbio, en la parte media de la cuenca y en la parte alta de la subcuenca del río Turbio. Por otra parte, existen pocos pozos de calidad de aguas subterráneas con datos históricos suficientes para realizar un análisis de la calidad del acuífero, concretamente tres (3) estaciones (BNA 4335011, 4335011 y 4335011), lo que sugiere un fortalecimiento de la red, la cual se encuentra subsanada con la integración de los pozos APR al plan de monitoreo DGA.

Además, a diferencia de otras cuencas, cabe señalar que el protocolo de monitoreo de la DGA en la cuenca del río Elqui incluye 6 mediciones anuales, lo que permite observar posibles variaciones estacionales. De esta forma, se logró distinguir con precisión el origen de los principales contaminantes de la cuenca (As, Cu y SO_4^{2-}), los cuales tendrían relación con la actividad minera presente en la cuenca.

Finalmente, se destaca el hecho que se ha detectado la presencia de *E. coli* en diversas muestras del curso bajo de la subcuenca "Río Elqui" y en el SHAC "Elqui Bajo", en el caso de las muestras de aguas superficiales y subterráneas respectivamente, las cuales son obtenidas a partir de los PR018002 de la SISS. De esta forma, resulta relevante incorporar dicho parámetro, además de los Coliformes Totales y Fecales, a la red de monitoreo constante de las estaciones de calidad de aguas de la DGA, de manera que se analicen a la par del resto de los contaminantes.

vi. Meteorología

En reuniones PAC se señaló como insuficiente la cobertura de monitoreo fluviométrico, de pozos y/o meteorológico (Tabla 2.6-6), al respecto, de acuerdo a la revisión de las estaciones meteorológicas DGA, se puede ver que la cuenca dispone de una red bien distribuida, concentrando la mayor parte de las estaciones en el sector medio de la cuenca, más específicamente a lo largo del Río Claro y el sector de la confluencia de este río, con el Río Turbio. El sector alto de la cuenca se encuentra caracterizado por la estación Juntas (BNA 04302014-5) y la Laguna Embalse (BNA 04301005-0), mientras que la zona costera se encuentra caracterizada por la estación La Serena (Escuela Agrícola) (BNA 04335002-1) y la estación Prueba GPRS10 (BNA 04335014-5), de manera que la caracterización meteorológica de la cuenca se considera bien monitoreada, con lo cual no se justifica agregar más puntos de medición como iniciativa a corto plazo. Se sugiere tener en cuenta la inquietud presentada en reuniones PAC en futuros estudios.

vii. Sedimentos

La red sedimentométrica de la cuenca dispone de tres (3) estaciones sedimentológicas vigentes, "Río La Laguna en salida embalse La Laguna" (BNA 04301002-6), ubicado en el sector alto de la subcuenca Río Turbio, "Río Turbio en Varillar" (BNA 0430800-6), ubicado en el Río Elqui, aguas arriba de la confluencia con el Río Claro y por último la estación "Río Elqui en Algarrobal" (BNA 04320001-1), ubicada aguas abajo de la confluencia antes mencionada; por lo anterior, en esta estación se miden los sedimentos originados en los cauces más importantes de la cuenca y que finalmente son depositados en el embalse Puclaro. Debido a esto, se considera cubierta la medición de esta variable en la cuenca. No se registran iniciativas referidas a este punto en reunión PAC con actores relevantes.

Cabe mencionar el grado de modernización de la Red DGA en la cuenca, en la Tabla 6.2-5 se puede ver un resumen de las estaciones que cuentan con instrumentación para el registro de datos, de las cuáles se puede apreciar que las estaciones de calidad, fluviométricas y meteorológicas, no sobrepasan el 50% del total vigente, a su vez, los pozos para medición de nivel no presentan registros en línea. En virtud de esto, se recomienda tener en cuenta estas estaciones durante el seguimiento a la iniciativa BIP 30089740-0 (Conservación y mantención de red hidrométrica nacional) y a la iniciativa número 3, presentada en el acápite 6.2.3.2i.

Tabla 6.2-5 Resumen del grado de modernización de la Red Hidrométrica DGA

Tipo	GRPS	Satelital	S/I *	Total	Porcentaje de modernización (%)
Calidad	-	4	45	49	8%
Fluviométrica	-	5	11	16	31%
Meteorológica	-	6	10	16	38%
Nivel de pozo	-	-	32	32	0%
Sedimentométrica	-	2	1	3	67%
Nivel lagos y embalses	1	1	-	2	100%
Glaciológica	-	1	-	1	100%
Ruta de nieve	-	-	1	1	0%

*Este ítem presenta la cantidad de estaciones sin ningún tipo de instrumentación (Anexo J.11).

Fuente: Elaboración propia, en base al sistema hidrométrico en línea DGA³³.

Finalmente, en la Tabla 6.2-6 se presenta un resumen de las mejoras recomendadas sobre la Red Hidrométrica DGA en la cuenca del río Elqui según lo expuesto anteriormente y en concordancia con el plan de acción presentado en la Figura 7.4-1, se indican las iniciativas que corresponden a medidas de gestión [MG] u obras hidráulicas [OH]. Por otro lado, cabe señalar que el impacto más positivo para el control de los caudales y niveles sería mediante el monitoreo obligatorio de extracciones por parte de los usuarios de la cuenca (a nivel superficial y subterráneo).

³³ <https://snia.mop.gob.cl/sat/site/informes/mapas/mapas.xhtml>

Tabla 6.2-6 Resumen de mejoras propuestas de la Red Hidrométrica DGA

Ubicación		Tipo de Estación		
		Fluviometría	Nivel de pozos	Calidad de aguas (*)
Subcuenca	Río Turbio	Una (1) nueva estación en "Río Turbio entre Incahuaz y Estero Huanta" [OH]		
	Río Claro			
	Embalse Puclaro			
	Río Elqui	Dos (2) nuevas estaciones [OH]: - "Río Elqui aguas abajo quebrada Marquesa" - "Río Elqui aguas abajo quebrada Santa Gracia"		
SHAC	Turbio		Un (1) nuevo punto de monitoreo [OH]	
	Claro		Un (1) nuevo punto de monitoreo [OH]	
	Elqui Alto			
	Elqui Medio			
	Elqui Bajo			
	Santa Gracia		Un (1) nuevo punto de monitoreo [OH]	
	Serena Norte		Un (1) nuevo punto de monitoreo [OH]	

(*) Incorporar parámetros microbiológicos en monitoreo superficial (2 estaciones) y subterráneo (5 estaciones) en red hidrométrica DGA [MG].

Fuente: Elaboración propia.

Plataforma de Información Hídrica

Por otro lado, con la revisión realizada en el acápite 2.6 y considerando que, como pilar fundamental para las buenas prácticas de gobernanza, se reconoce el “derecho a la información”, que identifica la necesidad de contar con datos en línea que agrupe la información de la Red Hidrométrica DGA y otros monitoreos de carácter público y privado (por ejemplo, extracciones). Esta brecha supone una falta de herramientas para la toma de decisiones de actores de la cuenca que integre la información disponible actual y potencialmente futura sobre el estado del recurso hídrico en la cuenca.

En relación a esto, existen estaciones en la cuenca del río Elqui que presentan información en línea, las cuales corresponden a las estaciones de nivel de embalse “Embalse Puclaro Intendente Fuentealba” (BNA 4323014-K) y “Embalse La Laguna” (BNA 4301005-0), fluviométricas-meteorológicas-sedimentométricas y/o de calidad de aguas “Río Elqui en Algarrobal” (BNA 4320001-1), “Río Claro en Rivadavia” (BNA 4314002-7), “Río Turbio en Varillar” (BNA 4308001-6) y “Río Toro antes junta Río La Laguna” (BNA 4302001-3), “Paihuano” (BNA 4314008-6), “Glaciar Tapado en Los Corrales” (BNA 4300004-7) y “Embalse La Laguna” (BNA 4301005-0).

6.2.3.2 Acciones en cartera actual

A continuación, se entrega el conjunto iniciativas públicas y privadas de sistemas de información en la cuenca del río Elqui.

i. Iniciativas catastradas desde el sector público

De acuerdo a la información proporcionada por la inspección fiscal [IF]³⁴, a continuación, se enumeran las iniciativas para el año 2020 y 2021:

1. Durante el presente año (2020), se encuentra en construcción nueva estación fluviométrica Río Elqui entrada Embalse Puclaro financiada con fondos sectoriales MOP por M\$160.000.
2. Se incluirá en cartera de inversión DGA en el breve plazo la construcción de nueva estación fluviométrica Río Elqui en La Serena, se cuenta con diseño de ingeniería de detalles. Costo estimado M\$500.000.
3. Para finalizar, DGA programa a partir del año 2021 plan de modernización de red meteorológica con transmisión en línea.

ii. Iniciativas catastradas desde el sector privado

No se identifican acciones en cartera privada.

³⁴ Información proporcionada por inspección fiscal en noviembre de 2020.

6.2.3.3 Iniciativa(s). Ficha(s) resumen

A partir del diagnóstico y de la revisión de las acciones en cartera actual, se consideran estratégicas las iniciativas presentadas seguidamente; es preciso aclarar que este apartado resume aquellas iniciativas consideradas como inversión en "Medidas de gestión", de modo que las iniciativas que comprenden construcción de obras de la Red Hidrométrica de la DGA, se han considerado en el acápite 6.1.2:

- Monitoreo de parámetros microbiológicos en estaciones superficiales y subterráneas de calidad de aguas de la Red Hidrométrica de la DGA (MG-04).
 - Objetivo: Mantener un monitoreo constante de los parámetros microbiológicos más relevantes (*E. coli*, Coliformes Totales y Coliformes Fecales), utilizando la red Hidrométrica de monitoreo de calidad de aguas superficiales y subterráneas.
 - Descripción: Esta iniciativa busca incluir los parámetros microbiológicos en el monitoreo de calidad de aguas superficiales y subterráneas de la red hidrométrica de la DGA en la cuenca del río Elqui. La justificación es que se ha detectado la presencia de *E. coli* en diversas muestras del curso bajo de la subcuenca río Elqui o en el SHAC Elqui Bajo, las cuales son obtenidas a partir de los PR018002 de la SISS.

Resulta relevante incorporar dicho parámetro, además de los coliformes totales y fecales, al protocolo de análisis de algunas estaciones de la cuenca, de manera que se observe si las aguas están permanentemente contaminadas, y si pueden trazarse hasta su origen y remediarse. Algunas de las posibles estaciones superficiales serían "Río Elqui en Almendral" (BNA 4323001-8), "Río Elqui en La Serena" (BNA 4335001-3), y/o los pozos APR "Pelicana" (BNA 4331019-4), "Las Rojas" (BNA 4331020-8), "Gabriela Mistral" (BNA 4331022-4), "Coquimbo Altovalsol" (BNA 4331021-6) e "Islón" (BNA 4334003-4).

- Instancias de relación vinculadas: Es una iniciativa que se alinea con el objetivo general de la "Mesa Regional para la Emergencia Hídrica" (Anexo I acápite 4.3.4b) y los objetivos de la "Mesa Hídrica Elqui Bajo Alfalfares".

En la Tabla 6.2-7 se presenta la ficha resumen de esta iniciativa. El monto asociado a esta inversión se presenta en el acápite 7.2.1 y su detalle en el Anexo K.2.

Tabla 6.2-7 Ficha resumen Acción N°: MG-04

ACCIÓN N°:	MG-04
Nombre de la Acción:	
Inclusión de parámetros microbiológicos en Red Hidrométrica DGA de monitoreo de calidad de aguas superficiales y subterráneas de la cuenca del río Elqui.	
Brecha o problemática identificada:	
Se ha detectado la presencia de <i>E. coli</i> en diversas muestras del curso bajo de la subcuenca "Río Elqui" o en el SHAC "Elqui bajo", en el caso de las muestras de aguas superficiales o subterráneas respectivamente, las cuales son obtenidas a partir de los PR018002 de la SISS. De esta forma, resulta relevante incorporar dicho parámetro, además de los Coliformes Totales y Fecales, a la red de monitoreo constante de las estaciones de calidad de aguas de la DGA, de manera que se analicen a la par del resto de los contaminantes.	
Eje(s) del Plan:	
Eje 2. Monitoreo del recurso hídrico. Eje 4. Conservación y protección del recurso y del ecosistema hídrico.	
Objetivo(s) del Plan:	
Objetivo 2.1. Mejorar el monitoreo de las aguas de la cuenca (superficial, subterráneo, de montaña y glaciares). Objetivo 4.1. Conservar y/o mejorar el estado de la calidad de las fuentes superficiales y subterráneas.	
Objetivo(s) de la Acción:	
Mantener un monitoreo constante de los parámetros microbiológicos más relevantes (<i>E. coli</i> , Coliformes Totales y Coliformes Fecales), utilizando la red Hidrométrica de monitoreo de calidad de aguas superficiales y subterráneas, de manera de contar con suficiente información para estudiar su variación temporal y espacial en la cuenca.	
Características generales:	
Ámbito:	Agua Potable/Ecosistema
Ubicación:	Subcuenca "Río Elqui" (040303) y SHAC "Elqui Bajo"
Beneficiarios directos:	-
Tipo de acción:	Propuesta
Situación de la acción:	Perfil
Horizonte:	Corto plazo
Tipo de financiación:	Pública
Entidad(es) financiadora(s)	DGA
Entidad(es) responsable(s)	DGA
Observaciones:	
Se considera el uso de Red Hidrométrica DGA actual, siendo de mayor relevancia las estaciones de monitoreo cercanas a los puntos donde se detectó la presencia de <i>E. coli</i> . Algunas de las posibles estaciones superficiales serían "Río Elqui en Almendral" (BNA 4323001-8), "Río Elqui en La Serena" (BNA 4335001-3), y/o los pozos APR "Pelicana" (BNA 4331019-4), "Las Rojas" (BNA 4331020-8), "Gabriela Mistral" (BNA 4331022-4), "Coquimbo Altovalsol" (BNA 4331021-6) e "Islón" (BNA 4334003-4).	

Fuente: Elaboración propia.

- Creación de una "Plataforma de Información Hídrica" en la cuenca del río Elqui (MG-03).
 - Objetivo: Fortalecer la gestión sustentable del agua en la cuenca del río Elqui a través de la creación de una plataforma "en línea" que integre las diferentes fuentes de información hídrica pública y privada disponibles y/o potenciales.
 - Descripción: Esta iniciativa consiste en la creación de una "Plataforma de Información Hídrica" de la cuenca del río Elqui, que agrupe la información de la red hidrométrica de la DGA y otros monitoreos de carácter público y privado, y presente dichos datos "en línea". De esta forma, se genera una importante herramienta para la toma de decisiones de los distintos actores de la cuenca en base al estado de los recursos hídricos.

Esta plataforma puede ser generada por la DGA, o bien a través de otra configuración público-privada, la cual puede acordarse en instancias generadas a partir de la iniciativa de gobernanza relativa al "Servicio de Facilitación" a las buenas prácticas de gobernanza en la cuenca del río Elqui (MG-01).

Algunos de los datos que podrían ser presentados serían los recopilados por estaciones fluviométricas, estaciones de calidad de agua, monitoreo de niveles de aguas subterráneas, nivel de embalses, extracciones subterráneas (MEE, APR), extracciones superficiales (canales) y entre otros. Además, el éxito de esta medida está suscrito a la implementación del monitoreo de extracciones superficiales (canales) con telemetría y/o automatización de bocatomas, los cuales son apoyados económicamente mediante subsidios acogidos en la Ley 18.450, los cuales son gestionados por la Comisión Nacional de Riego (CNR).

Señalar que, a partir de los últimos lineamientos de la DGA respecto al monitoreo de extracciones, se recomienda encarecidamente incluir en la plataforma, cuando esté disponible, el Monitoreo de Extracciones Superficiales.

- Instancias de relación vinculadas: Es una iniciativa que se alinea con el objetivo general de la "Mesa Regional para la Emergencia Hídrica" (Anexo I acápite 4.3.4b) y los objetivos de la "Mesa Hídrica Elqui Bajo Alfalfares".

En la Tabla 6.2-8 se presenta la ficha resumen de esta iniciativa. El monto asociado a esta inversión se presenta en el acápite 7.2.1 y su detalle en el Anexo K.2.

Tabla 6.2-8 Ficha resumen Acción N°: MG-03

ACCIÓN N°: MG - 03	
Nombre de la Acción:	
Proyecto para la creación de una "Plataforma de Información Hídrica" de la cuenca del río Elqui.	
Brecha o problemática identificada:	
Actualmente la cuenca del río Elqui solo cuenta con datos "en tiempo real" de dos (2) estaciones de nivel de embalses, cuatro (4) estaciones fluviométricas, cuatro (4) de calidad de aguas, dos (2) de estaciones sedimentométricas y siete (7) estaciones meteorológicas. A pesar de esto, aun se considera que esta incompleta en relación al potencial de que agrupe la información de la red hidrométrica DGA y otros monitoreos de carácter público y privado (por ejemplo, extracciones, calidad de agua). Esta brecha supone una falta de herramientas para la toma de decisiones de actores de la cuenca que agrupe la información disponible actual y potencialmente futura sobre el estado del recurso hídrico en la cuenca.	
Eje(s) del Plan:	
Eje 2. Monitoreo del recurso hídrico. Eje 3. Gestión y gobernanza del agua.	
Objetivo(s) del Plan:	
Objetivo 2.1. Mejorar el monitoreo de las aguas de la cuenca (superficial, subterráneo, de montaña y glaciares). Objetivo 3.1. Promover y revitalizar la alianza público-privada en materia hídrica.	
Objetivo(s) de la Acción:	
Fortalecer la gestión sustentable del agua en la cuenca del río Elqui a través de la complementación de la plataforma "en tiempo real" que integre las diferentes fuentes de información hídrica pública y privada disponibles y/o potenciales como: estaciones fluviométricas; estaciones de calidad de agua; monitoreo de aguas subterráneas; nivel de embalses; extracciones subterráneas (MEE, APRs); extracciones superficiales (canales); otros de interés.	
Características generales:	
Ámbito:	Gobernanza
Ubicación:	Cuenca del río Elqui
Beneficiarios directos:	OUA, DGA, DOH y otros miembros de la comunidad relacionada a la toma de decisiones en temas hídricos.
Tipo de acción:	Propuesta
Situación de la acción:	Propuesta
Horizonte:	Corto/Mediano plazo
Tipo de financiación:	Pública
Entidad(es) financiadora(s)	CORFO
Entidad(es) responsable(s)	DGA
Observaciones:	
Para el éxito completo de la implantación de esta medida debe promoverse el monitoreo de las extracciones superficiales (canales) con telemetría y/o automatización de bocatomas. La Ley 18.450 puede apoyar este tipo de proyectos, por lo que se incide en la necesidad de seguir apostando por estos subsidios, los cuales gestiona la Comisión Nacional de Riego (CNR). Se propone considerar el Laboratorio PROMMRA como desarrollador del proyecto, considerando su trabajo en plataformas de información y su conocimiento del territorio.	

Fuente: Elaboración propia.

6.2.4 Fortalecimiento y Formalización de las Organizaciones de Usuarios

A continuación, se identifican aquellas herramientas necesarias para formar y fortalecer las Organizaciones de Usuarios de Agua presentes en la cuenca, incluyendo mejoras relacionadas a su desarrollo organizacional y su correcta organización legal.

6.2.4.1 Diagnóstico

Entre una de las problemáticas identificadas en el desarrollo del Plan es la dispar capacidad técnica y/o financiera de las Organizaciones de Usuarios de Agua. De acuerdo a lo establecido en el acápite 2.6, es posible concluir que las disparidades técnicas y organizacionales son más notorias, principalmente, en las Comunidades de Aguas Superficiales y Asociaciones de Canalistas³⁵, en donde las deficientes capacidades organizacionales pueden generar desconfianzas entre los usuarios y sus dirigentes, lo cual disminuye la participación de los usuarios en las actividades de las OUA y genera sensaciones de pesimismo frente a la situación hídrica en la zona. Esta situación de disparidad también genera problemas de coordinación y comunicación con autoridades y dificulta la formación de alianzas, aumentando la desconfianza en la labor que realizan las entidades públicas relacionadas a la gestión del recurso hídrico en la cuenca. Por ejemplo, durante la reunión PAC, los representantes APR expresan la falta de comunicación entre las organizaciones y algunas instituciones tales como la DOH, señalando la falta de voluntad de esta para trabajar en conjunto.

Debido a lo mencionado anteriormente, se considera necesario potenciar a las organizaciones de usuarios, generando instancias de fortalecimiento vinculados a su desarrollo organizacional y administrativo, en donde la DGA no sólo cumpla un rol de supervigilancia, sino que se convierta en una entidad de apoyo para el desarrollo integral de las OUA, con el objetivo de construir vínculos estables de confianza entre DGA y los usuarios de agua (acápites 6.2.1 Medidas de gestión para gobernanza). Finalmente, considerando que como pilar fundamental para el funcionamiento óptimo de una OUA es necesario que su operación dentro de los marcos legislativos existentes, en la cuenca del río Elqui se identifica la necesidad de apoyo legal en el saneamiento y regularización de derechos de aprovechamiento de aguas, en particular para el embalse Puclaro.

De acuerdo al análisis realizado en el acápite 2.6, respecto a la necesidad de priorizar el rol de las administraciones locales sobre gestión de acuíferos, actualmente en la cuenca, no existen Comunidades de Aguas Subterráneas que permitan la correcta gestión de recursos hídricos frente a los efectos del cambio climático y que, además, posean las capacidades técnicas, legales y organizacionales necesarias para ejecutar su rol de administración de los recursos hídricos e integrar de manera óptima la gestión del agua superficial y subterránea. También es importante mencionar que, no existe la información base recopilada necesaria para la conformación de Comunidades de Aguas Subterráneas en la cuenca, como, por ejemplo, la certificación de los DAA registrados en el RPOU.

³⁵ De acuerdo a lo mencionado por representantes de DOH Coquimbo en junio de 2020.

6.2.4.2 Acciones en cartera actual

i. Iniciativas catastradas desde el sector público

A continuación, se entrega el conjunto de iniciativas públicas identificadas en el Banco Integrado de Proyectos (BIP) del MIDESO, las que consideran dos (2) iniciativas de fortalecimiento, una (1) de saneamiento de DAA y una (1) de actualización de catastro público de aguas. En la Tabla 6.2-9 se entrega el detalle de las iniciativas.

Tabla 6.2-9 Iniciativas públicas para mejoras en fortalecimiento y formalización de OUA

Código BIP	Descripción	Subsector	Etapas actual	Institución formuladora	Costo total [M\$]
40007192	Saneamiento de Derechos de Aguas para la suscripción de acciones del embalse Puclaro año y etapa a Financiar: 2020-Ejecucion	Riego	Ejecución	CNR	189.089
30135814	Conservación inventario D° de agua afecto pago de patente por no uso año y etapa a financiar: 2020-ejecucion	Recursos Hídricos	Ejecución	DGA	917.437
30484687	Transferencia para mejorar la gestión de las OUA beneficiadas del plan de pequeños embalses año y etapa a financiar: 2020-ejecucion	Riego	Ejecución	CNR	407.700
40009730	Transferencia tecnológica adaptación cambio climático áreas vulnerables Atacama y Coquimbo año y etapa a financiar: 2020-ejecucion	Riego	Ejecución	CNR	174.437

Fuente: Elaboración propia en base a BIP (2020).

La justificación de cada uno de estos proyectos, según lo indicado en las Fichas IDI asociadas a cada iniciativa se indica a continuación, así como información complementaria al respecto obtenida de reuniones:

- Saneamiento de Derechos de Aguas para la suscripción de acciones del embalse Puclaro:** El problema principal que busca resolver el programa se relaciona con el limitado acceso a sanear y/o perfeccionar los derechos de aprovechamiento de aguas individuales, lo que afecta de preferencia a los pequeños agricultores y que podría ser una de las causas para no suscribir las acciones del embalse Puclaro.
- Conservación inventario Derechos de Agua afecto pago de patente por no uso, Interregional:** Es indispensable para el ejercicio de las atribuciones que el código de aguas, en los Artículos 129 bis 4 y siguientes, otorga a este

servicio, siendo a la vez la principal fuente de información para la elaboración del listado que fija cada año los derechos de agua afecto a pago de patente.

- **Transferencia para mejorar la gestión de las OUA beneficiadas del plan de pequeños embalses, Interregional:** El problema principal identificado se relaciona con la débil capacidad de gestión de los recursos hídricos por parte de los usuarios de las organizaciones beneficiadas la primera etapa del Plan de Pequeños Embalses de la DOH.
- **Transferencia tecnológica adaptación cambio climático áreas vulnerables, región de Atacama y Coquimbo:** El problema principal identificado corresponde a la disponibilidad del recurso hídrico en comunas de las regiones de Atacama y Coquimbo, que han sido declaradas de escasez hídrica como efecto del cambio climático que ha provocado disminución de la oferta hídrica y aumento de las temperaturas. Además, la existencia de un bajo desarrollo de la gestión técnica, legal y organizacional de las OUAs, la falta de inscripción de los DAA, la baja postulación de proyectos de riego a la Ley 18.450 y solo un 43% de la superficie total regada cuenta con riego tecnificado en el territorio a intervenir, por lo anterior, es fundamental la ejecución de un programa de transferencia para disminuir estas brechas identificadas en el territorio.

ii. Acciones en cartera del sector privado

No se identifican propuestas desde privados en torno a gobernanza en la cuenca.

6.2.4.3 Iniciativa(s). Ficha(s) resumen

A partir del diagnóstico y de la revisión de las acciones en cartera actual, se consideran estratégicas las iniciativas siguientes:

- Programa de capacitación para la conformación de Comunidades de Aguas Subterráneas en la cuenca del río Elqui (MG-02).
 - Objetivo: Aumentar la eficiencia en la gestión de los recursos hídricos subterráneos de la cuenca del río Elqui.
 - Descripción: Esta iniciativa pretende mejorar la gestión de los recursos hídricos subterráneos de la cuenca, que actualmente no cuenta con Comunidades de Aguas Subterráneas, las cuales permiten efectuar una administración local y un manejo sustentable de los acuíferos. Se propone desarrollar lo anterior a través de la capacitación de futuros directores, organización legal de las siete (7) Comunidades de Agua Subterránea en los SHAC Elqui Bajo, Santa Gracia, Serena Norte, Elqui Alto, Elqui Medio, Claro, Turbio.

Estas zonas fueron seleccionadas de acuerdo a los artículos 63 y 65 del Código de Aguas y 39 del Decreto N°203, de 2014, las que contemplan

el surgimiento, por el sólo ministerio de la ley, de comunidades de aguas subterráneas cuando se declare zona de prohibición o área de restricción en un acuífero o sector hidrogeológico de aprovechamiento común.

A través de esta iniciativa también se refuerza la operatividad de la recarga artificial en el SHAC Elqui Bajo, implementada en un escenario de gestión del modelo hidrológico incluido en el presente estudio, entre cuyos beneficiarios se encuentran usuarios asociados al abastecimiento de agua potable rural y urbana, además de sectores productivos como minería y agricultura.

De acuerdo a lo establecido como referencia de los Programas CNR de este tipo, entre las actividades necesarias a ejecutar la iniciativa, se incluye:

Para la organización legal de las CAS:

- Recopilación de información legal y sensibilización territorial.
- Inicio y seguimiento del proceso judicial o voluntario para organizar CAS en los Juzgados de letras competentes, o en Notaría de ser voluntario.
- Solicitud y seguimiento del registro de las CAS en el libro de RPOU del CPA, considerando su publicación en el Diario Oficial.

Para el saneamiento y la regularización de DAA:

- Levantamiento del registro de comuneros de las CAS, su diagnóstico legal respecto a su inscripción en CBR.
- Saneamiento de los DAA hasta su inscripción en CBR y registro en CPA.

Para la capacitación de dirigentes:

- Diseño y ejecución de una estrategia de formación para futuros directores.
- Capacitación de directores provisorios o potenciales futuros directores de las CAS.

- o Instancias de relación vinculadas: Es una iniciativa que se alinea con el objetivo general de la “Mesa Regional para la Emergencia Hídrica” (Anexo I acápite 4.3.4b).

En la Tabla 6.2-10 se presenta la ficha resumen de esta iniciativa. El monto asociado a esta inversión se presenta en el acápite 7.2.1 y su detalle en el Anexo K.2.

Tabla 6.2-10 Ficha resumen Acción N°: MG-02

ACCIÓN N°:	MG - 02
Nombre de la Acción:	
Programa de capacitación para la conformación de Comunidades de Aguas Subterráneas en la cuenca del río Elqui.	
Brecha o problemática identificada:	
Actualmente en la cuenca no existen Comunidades de Aguas Subterráneas que permitan una administración local y un manejo sustentable de los acuíferos, lo que impide la correcta integración de la gestión de recursos hídricos superficiales y subterráneos; además, no existe la información base recopilada necesaria para la conformación de Comunidades de Aguas Subterráneas en la cuenca, como, por ejemplo, la certificación de los DAA registrados en el RPOU. Además, la ausencia de SHAC dificulta ciertas iniciativas de gestión, específicamente la recarga artificial de acuíferos.	
Eje(s) del Plan:	
Eje 1. Uso estratégico del recurso hídrico: brechas entre oferta y demanda. Eje 3. Gestión y gobernanza del agua.	
Objetivo(s) del Plan:	
Objetivo 1.1. Reducir las brechas entre oferta y demanda de agua considerando cambio climático, sequía e inundaciones. Objetivo 3.1. Promover y revitalizar la alianza público - privada en materia hídrica.	
Objetivo(s) de la Acción:	
Aumentar la eficiencia en la gestión de los recursos hídricos subterráneos de la cuenca del río Elqui, a través de la capacitación de futuros directores, saneamiento y regularización de la inscripción en CBR de los DAA del sector y; organización legal de las siete (7) Comunidades de Agua Subterránea en los SHAC Elqui Bajo, Santa Gracia, Serena Norte, Elqui Alto, Elqui Medio, Claro, Turbio.	
Características generales:	
Ámbito:	OUA
Ubicación:	SHAC Elqui Bajo, Santa Gracia, Serena Norte, Elqui Alto, Elqui Medio, Claro, Turbio.
Beneficiarios directos:	SHAC Elqui Bajo, Santa Gracia, Serena Norte, Elqui Alto, Elqui Medio, Claro, Turbio: 566 Usuarios con DAA otorgados.
Tipo de acción:	Propuesta
Situación de la acción:	Propuesta
Horizonte:	Corto plazo
Tipo de financiación:	Pública
Entidad(es) financiadora(s):	DGA
Entidad(es) responsable(s):	DGA
Observaciones:	
La zonas fueron seleccionadas de acuerdo a los artículos 63 y 65 del Código de Aguas y 39 del Decreto N°203, de 2014, las que contemplan el surgimiento, por el sólo ministerio de la ley, de comunidades de aguas subterráneas cuando se declare zona de prohibición o área de restricción en un acuífero o sector hidrogeológico de aprovechamiento común. A través de esta iniciativa también se refuerza la operatividad de la recarga artificial en el SHAC Elqui Bajo, implementada en un escenario de gestión del modelo hidrológico incluido en el presente estudio, entre cuyos beneficiarios se encuentran usuarios asociados al abastecimiento de agua potable rural y urbana, además de sectores productivos como minería y agricultura.	

Fuente: Elaboración propia.

6.2.5 Tecnologías habilitantes

Se presenta seguidamente el diagnóstico respecto tecnologías que permiten y/o favorecen una mejor gestión y distribución del recurso hídrico, enfocándose en la medición y mecanismos automáticos de distribución de las extracciones de agua. Ejemplos de estas tecnologías son: la automatización de compuertas en bocatomas de canales, monitoreo en redes y pozos, etc. Seguidamente, se analizan las acciones en cartera actual, para posteriormente abordar las iniciativas de gestión en este tema.

6.2.5.1 Diagnóstico

Automatización de compuertas y telemetría de canales

En la distribución del recurso hídrico, se tiene un potencial de mejora incorporando herramientas automáticas que permiten ajustar el flujo captado por cada canal. Según información de CNR (2020), se contabilizan un total de 184 captaciones superficiales en la cuenca del río Elqui. De acuerdo a la información proporcionada por CNR³⁶ (2020), los puntos de control con automatización existentes en la cuenca se presentan en Tabla 6.2-11, identificando 82 puntos de automatización.

Tabla 6.2-11 Compuertas automáticas y puntos de automatización

Nº puntos automatización	Nº compuertas automáticas	Beneficiario	Comuna
18	19	Junta de Vigilancia Río Elqui y sus Afluentes	La Serena
5	5	Junta de Vigilancia Río Elqui y sus Afluentes	Coquimbo
15	15	Junta de Vigilancia Río Elqui y sus Afluentes	Paihuano
24	24	Junta de Vigilancia Río Elqui y sus Afluentes	Vicuña
10	30	Asociación de Canalistas Canal Bellavista	La Serena
10	11	Comunidad de Aguas Canal El Romero	La Serena

Fuente: Elaboración propia basada en CNR (2020).

Según la información entregada por la CNR, estas obras fueron ejecutadas entre los años 2010 a 2019, periodo continuo y con proyectos recientes, que demuestra el interés de las OUA en la automatización de compuertas a través de la Ley de Fomento al Riego N° 18.450. Si bien en los últimos años la CNR ha apostado por la línea de apoyo a estas tecnologías, en ocasiones el logro en la implantación es un proceso lento debido al interés de diversas OUA por este tipo de instalaciones, las cuales deben competir por los fondos concursables.

³⁶ Información relativa a automatización de compuertas en el marco de proyectos subsidiados por la Ley 18.450.

El número de puntos de control en bocatomas en la cuenca del río Elqui es relativamente elevado, teniendo en cuenta que ciertos puntos contabilizados en la Tabla 6.2-11 corresponden a compuertas de entregas laterales.

Dado el valor que supone el recurso hídrico superficial en el valle del río Elqui, se establece necesaria la promoción de estos sistemas de forma conjunta en la cuenca, observando que estos sistemas no están implementados en la subcuenca Río Claro o Estero Derecho. Además de suponer una mejora en la eficiencia de distribución, contribuye a la transparencia de información a todos los regantes, los cuales podrían visualizar los flujos entregados en tiempo real. Adicionalmente, este tipo de iniciativas podría ser de interés para la DGA, ya que presenta la oportunidad de tener medición de caudales en tiempo real en diferentes puntos de cuenca.

Por último, si bien actualmente existen algunos canales unificados, otro aspecto a considerar antes de la implantación de compuertas automáticas en bocatomas tiene relación con la unificación de bocatomas, lo que contribuye a disminuir la inversión y mejorar el reparto.

Monitoreo de extracciones subterráneas

En la actualidad, no existen Comunidades de Aguas Subterráneas conformadas en la cuenca del río Elqui, por lo que no se cuenta con información del nivel de equipamiento de telemetría de las extracciones a escala de SHAC.

6.2.5.2 Acciones en cartera actual

En cartera privada, se identificaron ciertas obras vinculadas a sistemas de automatización de compuertas y/o telemetría en canales de riego.

- La Junta de Vigilancia del río Elqui cuenta actualmente con 77 compuertas automatizadas a lo largo de la cuenca del río Elqui, actualmente instaladas -o en proceso de instalación-. Esto significa que aproximadamente el 60% de los canales del río están regulados automáticamente, aportando eficiencia, rapidez y efectividad en la entrega del recurso hídrico a las agrupaciones de Canalistas (JVRE, 2020).

En lo que respecta a telemetría de las aguas subterráneas, la DGA está implantando el Monitoreo de Extracciones Efectivas, medida dirigida a los titulares de DAA, que en el caso específico de la cuenca del río Elqui, está normado por la Resolución D.G.A. Región de Coquimbo N° 543 (Exenta) de 27 de diciembre de 2019, para titulares de DAA cuyos puntos de captación se encuentran ubicados, entre otros, en los distintos SHAC de la provincia de Elqui.

Los plazos para la instalación de los sistemas de medición y registro de la Obra de Captación en el Software DGA de MEE y para la instalación de los sistemas de transmisión y comienzo de transmisiones se detallan en la Tabla 6.2-12, los cuales se contabilizan a partir de la publicación de la Resolución DGA en el Diario Oficial (15 de enero de 2020).

Tabla 6.2-12 Estándares para los DAA subterráneas del MEE – SHAC de la provincia de Elqui

Componente	Estándar			
	Caudales muy pequeños	Menor	Medio	Mayor
Rango de caudales (l/s)	≤ 2	$2 < x \leq 10$	$10 < x < 30$	≥ 30
Sistema de medición	Para caudales muy pequeños	Básico	General	General
Frecuencia de medición	1 medición/año	1 medición/mes	1 medición/día	1 medición/hora
Sistema de transmisión	Formulario	Formulario	Archivo Excel	Online
Frecuencia de transmisión	1 transmisión/año	1 transmisión/mes	1 vez al día o cada 15 días	1 transmisión/medición
Desfase entre la medición y la transmisión	Máx. 1 mes	Máx. 1 mes	Máx. 15 días	Máx. 7 días
Plazo para instalación sist. medición y registro de la Obra de Captación en Software DGA MEE	24 meses	20 meses	10 meses	4 meses
Plazo para instalación sist. Transmisión y comienzo de transmisiones	30 meses	26 meses	12 meses	5 meses

Fuente: DGA (2020f).

6.2.5.3 Iniciativa(s). Ficha(s) resumen

A partir del diagnóstico y de la revisión de las acciones en cartera actual, se considera estratégica la iniciativa siguiente:

- Proyecto de telemetría y automatización de compuertas en la subcuenca del río Claro (MG-05).
 - Objetivo: Instalar mecanismos para el monitoreo de caudal superficial y la automatización de compuertas en las bocatomas y/o compuertas principales de los canales de riego, incluyendo las adecuaciones pertinentes en las obras civiles implicadas (aforadores).
 - Descripción: Esta iniciativa busca implementar sistemas de telemetría y automatización de compuertas en las bocatomas y/o compuertas principales de los canales de riego, incluyendo las adecuaciones pertinentes en las obras civiles implicadas (aforadores), de forma de contar con información en tiempo real de los caudales en los principales canales de riego de la subcuenca del río Claro, al igual como se a implementado en el resto de la cuenca del río Elqui.

De esta forma, dado el alto valor que representan los recursos hídricos en esta cuenca, se hace necesario contar con estas tecnologías que permiten mejorar la eficiencia en la distribución del recurso hídrico. Además, se debe considerar que número de puntos de control y/o número de compuertas se automatizaran, siguiendo una priorización técnica y de gestión establecida por la JV del Estero Derecho, y que tenga cobertura espacial a nivel de las subcuencas objetivo y que cubra la mayor proporción de caudal entregado.

Señalar que esta iniciativa guarda una estrecha relación con las últimas directrices de la DGA respecto al Monitoreo de Extracciones Superficiales.

- Instancias de relación vinculadas: Esta iniciativa no se relaciona con algún eje u objetivo de instancias de relación o mesas de trabajo actualmente vigente en la cuenca. Esto se debe a que las instancias actualmente activas (Anexo I acápite 4.3.4b), tienen como objetivo iniciativas a corto plazo o iniciativas relacionadas a la parte baja de la cuenca del río Elqui.

En la Tabla 6.2-13 se presenta la ficha resumen de esta iniciativa. El monto asociado a esta inversión se presenta en el acápite 7.2.1 y su detalle en el Anexo K.2.

Tabla 6.2-13 Ficha resumen Acción N°: MG-05

ACCIÓN N°:	MG - 05
Nombre de la Acción:	
Proyecto de telemetría y automatización de compuertas en la subcuenca del río Claro.	
Brecha o problemática identificada:	
Actualmente no existen compuertas automáticas que permitan gestionar la distribución de las aguas en los canales de riego de la subcuenca del río Claro o estero Derecho, a diferencia del resto de la cuenca del río Elqui, en que se encuentra avanzada en la implantación de estos sistemas. Dado el valor que supone el recurso hídrico superficial en el territorio, se hace necesaria la promoción de estos sistemas de forma de mejorar la eficiencia en la distribución del recurso hídrico y contar con información en tiempo real en entrada de canales y puntos críticos de la red en la subcuenca indicada.	
Eje(s) del Plan:	
Eje 1. Uso estratégico del recurso hídrico: brechas entre oferta y demanda. Eje 2. Monitoreo del recurso hídrico.	
Objetivo(s) del Plan:	
Objetivo 1.4 Conservar y/o mejorar el estado de la infraestructura hidráulica actual. Objetivo 2.1 Mejorar el monitoreo de las aguas de la cuenca (superficial, subterráneo, de montaña y glaciares).	
Objetivo(s) de la Acción:	
Instalar mecanismos para el monitoreo de caudal superficial y la automatización de compuertas en las bocatomas y/o compuertas principales de los canales de riego, incluyendo las adecuaciones pertinentes en las obras civiles implicadas (aforadores), de forma de contar con información en tiempo real de los caudales en los principales canales de riego de la subcuenca del río Claro.	
Características generales:	
Ámbito:	OUA
Ubicación:	Subcuenca río Claro o estero Derecho
Beneficiarios directos:	JV Estero Derecho
Tipo de acción:	Propuesta
Situación de la acción:	Propuesta
Horizonte:	Mediano/Largo plazo
Tipo de financiación:	Público-Privada
Entidad(es) financiadora(s)	CNR-JVED
Entidad(es) responsable(s)	CNR
Observaciones:	
Se debe definir el número de puntos de control y/o número de compuertas a automatizar según una priorización técnica y de gestión establecida por la Junta de Vigilancia del Estero Derecho, cubriendo la mayor proporción de caudal entregado (canales principales y/o unificados).	

Fuente: Elaboración propia.

6.3 NUEVAS FUENTES DE AGUA

Las medidas relativas a nuevas fuentes comprenden iniciativas que repercuten positivamente sobre la oferta hídrica en la cuenca, tal como la recarga artificial de acuíferos, la desalinización o el uso de aguas servidas tratadas.

6.3.1 Recarga de acuíferos

Los acuíferos ofrecen capacidades potenciales de almacenaje con magnitudes similares a los embalses, pero con una menor inversión de capital y menores impactos sociales y medioambientales. La recarga artificial de acuíferos, incorporando el concepto de gestión como componente clave, se identifica con el término “Recarga de Acuíferos Gestionada” (RAG), el cual designa el conjunto de métodos utilizados para recargar agua adicional a los acuíferos de manera intencional para su recuperación y uso posterior o con el propósito de generar un beneficio ambiental (CNR, 2020).

A continuación, se presenta el diagnóstico de la situación actual de la cuenca río Elqui respecto a la implementación de obras de recarga de acuíferos, así como también la identificación de acciones en cartera actual, y potenciales iniciativas de esta naturaleza.

6.3.1.1 Diagnóstico

En la cuenca del río Elqui no se identifican actualmente obras o infraestructuras existentes en torno a nuevas fuentes de agua asociadas a recarga artificial de acuíferos.

6.3.1.2 Acciones en cartera actual

Actualmente se encuentra la iniciativa Gestión Integrada y Uso Eficiente del Recurso Hídrico (GIRAGua), llevado a cabo por la CRDP en conjunto con el instituto holandés Deltares y la empresa Arcadis Chile, y en la cual también participa la CNR. Uno de los ejes de esta iniciativa corresponde a la recarga de acuíferos, en el marco del cual se pretende desarrollar un proyecto piloto para tal fin en el Elqui Bajo (sector costero) y Pan de Azúcar, cuyos resultados servirán para impulsar experiencias similares en otras cuencas. El objetivo de esta iniciativa es implementar una solución robusta que permita mejorar el suministro de agua dulce mediante el uso del concepto de recarga artificial de acuíferos. Esta iniciativa, de acuerdo a lo indicado por el SEREMI de Obras Públicas de la Región de Coquimbo, en instancia PAC asociada al presente estudio, “no ha tenido continuidad”, por lo que actualmente se identifica como pausada.

A la iniciativa antes indicada se suma la presentada por la Universidad Católica del Norte (UCN), aprobada por el Concejo Regional en el marco del proceso concursal del Fondo de innovación para la Competitividad Regional (FIC-R) 2019. El detalle de esta iniciativa se presenta en la Tabla 6.3-1.

Tabla 6.3-1 Iniciativa de recarga artificial en cartera año 2020

Código identificación	40014348-0
Institución beneficiada con la transferencia	Universidad Católica del Norte
Nombre iniciativa	Investigación piloto de recarga artificial en acuífero de Elqui (Estudio)
Productos del convenio	Selección y caracterización de la localización del piloto, análisis de las técnicas de recarga artificial factibles de implementar. Diseño ingenieril de un sistema piloto de recarga artificial. Difusión y transferencia de resultados a partes interesadas.
Aplicación a nivel regional de la transferencia	Como proyecto contribuye a la solución del problema en el largo plazo. Desarrollar conocimiento y tecnología para una gestión integrada y uso eficiente de los recursos hídricos en la región de Coquimbo
Etapas	Ejecución
Monto devengado al 30 de junio M\$	25.870
Estado avance de ejecución	19%
N° acuerdo CORE	10065
Fecha acuerdo CORE	14-05-2019
Valor aprobado acuerdo CORE Total M\$	134.950

Fuente: Elaboración propia en base a Ord. N°2089 del 17 de julio de 2020.

6.3.1.3 Iniciativa de gestión modelada

En el marco del presente estudio, se ha modelado una zona infiltración en el SHAC Elqui Bajo, de acuerdo al escenario de gestión E3 (detalle en acápite 5.4.2). Con esta medida, a través de la modelación, la recarga presenta un beneficio local, obteniendo un volumen recuperado al año 2050 de 6,8 Mm³.

Los resultados de la modelación de este escenario de gestión se presentan en el apartado 5.4.2.

6.3.1.4 Iniciativa(s). Ficha(s) resumen

A partir del diagnóstico, de la revisión de las acciones en cartera actual y de la modelación de un escenario de gestión con recarga artificial del acuífero de Elqui, se considera estratégica la iniciativa siguiente:

- Implementación de recarga artificial del acuífero en el sector Elqui Bajo (NF-01).
 - Objetivo: Implementar una solución que permita mejorar el suministro de agua dulce en el SHAC Elqui Bajo del acuífero de Elqui, mediante recarga artificial a través de pozos de inyección.

- Descripción: Esta iniciativa consiste en la implementación de recarga artificial del acuífero en la zona baja de la cuenca del río Elqui, lo cual busca hacer frente al déficit hídrico actual. Se pretende mejorar el suministro de agua en el SHAC Elqui Bajo del acuífero de Elqui.

Dentro de esta propuesta se considera la implementación de pozos de inyección como metodología de recarga, para así gestionar la recuperación de los niveles subterráneos en el sector objetivo.

- Instancias de relación vinculadas: Es una iniciativa que se alinea con el objetivo general de la “Mesa Regional para la Emergencia Hídrica” (Anexo I acápite 4.3.4b) y los objetivos de la “Mesa Hídrica Elqui Bajo Alfalfares”.

En la Tabla 6.3-2 se presenta la ficha resumen de esta iniciativa. El monto asociado a esta inversión se presenta en el acápite 7.2.1 y su detalle en el Anexo K.2.

Tabla 6.3-2 Ficha resumen Acción N°: NF-01

ACCIÓN N°:	NF-01
Nombre de la Acción:	
Recarga artificial del acuífero en el sector Elqui Bajo.	
Brecha o problemática identificada:	
En la actualidad existe un déficit hídrico importante que se potenciará con el pasar del tiempo. Por causa de lo anterior, se gesta la necesidad de diseñar e implementar nuevas estrategias para resolver los efectos que este fenómeno tiene sobre las comunidades y las actividades productivas que se desarrollan en el territorio. Se requieren actuaciones encaminadas a la sustentabilidad del acuífero; la recarga de acuífero gestionada es una medida que repercute positivamente en la recuperación de los niveles subterráneos.	
Eje(s) del Plan:	
Eje 1. Uso estratégico del recurso hídrico: brechas entre oferta y demanda. Eje 4. Conservación y protección del recurso y del ecosistema hídrico.	
Objetivo(s) del Plan:	
Objetivo 1.1. Reducir las brechas entre oferta y demanda de agua considerando cambio climático, sequía e inundaciones. Objetivo 4.2. Proteger funciones ecosistémicas críticas relacionadas con los cuerpos de agua en el	
Objetivo(s) de la Acción:	
Implementar una solución robusta que permita mejorar el suministro de agua dulce en el SHAC Elqui Bajo del acuífero de Elqui, mediante recarga artificial del acuífero.	
Características generales:	
Ámbito:	Riego
Ubicación:	SHAC Elqui Bajo
Beneficiarios directos:	Titulares de DAA subterráneos de SHAC Elqui Bajo
Tipo de acción:	Propuesta
Situación de la acción:	Propuesta
Horizonte:	Mediano plazo
Tipo de financiación:	Pública
Entidad(es) financiadora(s)	JVRE-CNR-GORE Coquimbo
Entidad(es) responsable(s)	JVRE-CAS SHAC Elqui Bajo (no conformada legalmente en la actualidad)
Observaciones:	
Esta propuesta considera la recarga del acuífero mediante la implementación pozos de inyección.	

Fuente: Elaboración propia.

6.3.1 Desalinización

La desalinización de agua de mar se contempla como una nueva fuente de agua, con un potencial generalmente para uso de abastecimiento de agua potable y usos industrial y/o minero. A continuación, se expone la situación de esta posible solución para acortar la brecha entre oferta y demanda en la cuenca del río Elqui.

6.3.1.1 Diagnóstico

En la cuenca del río Elqui no se identifican actualmente obras o infraestructuras existentes en torno a nuevas fuentes de agua asociadas a plantas de desalinización.

6.3.1.2 Acciones en cartera actual

A partir de lo señalado en instancia PAC desarrollada en el marco del presente estudio por la empresa de servicios sanitarios Aguas del Valle, actualmente se encuentra en etapa de estudio la construcción de una planta desalinizadora que se espera abastezca de agua potable a las comunas de La Serena y Coquimbo y, en caso extremo, pueda llegar a Ovalle a través de una conducción de más de 70 kilómetros. Esta iniciativa cuenta con estudios preliminares y otros en proceso de desarrollo.

Esta iniciativa corresponde al proyecto “Planta Desalinizadora Región de Coquimbo”, el cual podría construirse mediante el sistema de concesiones. Este proyecto fue declarado de interés público en el año 2019 mediante oficio por la Dirección de Concesiones del MOP. Los estudios están siendo llevados a cabo por la empresa privada CKC³⁷ en conjunto con AAEGES. La empresa CKC estima que la inversión podría ser de US\$200 millones, monto que considera la construcción de una planta de ósmosis inversa multipropósito en la zona, que produzca agua para asegurar el consumo humano, así como proveer a la agricultura y otros usos. El modelo parte con una capacidad de producción de 1.200 l/s.

Respecto al proyecto antes indicado, en reunión PAC del estudio, la SISS indicó que este proyecto corresponde a una instancia privada que se encuentra en fase de estudio y sin definiciones a la fecha. Así mismo destaca que corresponde a un proyecto cuyos beneficiados podrían ser la minería, APR u otros, y serán ellos quienes deberán asumir el costo de la distribución, dado que la empresa solo produciría y vendería el agua desalada.

6.3.1.3 Iniciativa de gestión modelada

En el marco del presente estudio, se ha modelado a través de un escenario de gestión (E2) el efecto de contar con una planta desalinizadora que aporta nuevos recursos hídricos a la cuenca del río Elqui. Como resumen, a través de la modelación, se estima que el efecto de esta medida se refleja por la recuperación de un volumen aproximadamente de 12 y 4 Mm³ en los SHAC de Elqui Bajo y de Serena Norte.

³⁷ En consulta a CKC por vía electrónica a petición de la Inspección Fiscal DGA, la consultora no ha respondido ni facilitado detalles de la planta desaladora en estudio.

Los resultados de la modelación de este escenario de gestión se presentan en el apartado 5.4.1.

6.3.1.4 Iniciativa(s). Ficha(s) resumen

A partir del diagnóstico y de la revisión de las acciones en cartera actual, no se considera estratégica la inclusión en el Plan de Acción de iniciativas de desalinización, puesto que ya se encuentra en cartera privada el desarrollo de la Planta Desalinizadora Región de Coquimbo. Se enfatiza la apuesta por este tipo de nuevas fuentes de agua para el presente caso de la cuenca del río Elqui.

6.3.2 Uso aguas servidas tratadas

En los últimos años, debido a la creciente presión que las actividades humanas ejercen sobre los recursos hídricos, sumado a los efectos del cambio climático, surge la necesidad de buscar nuevas fuentes de agua. Dentro de las alternativas, el aprovechamiento de las aguas residuales tratadas se ha convertido en una opción para la planificación y manejo del recurso hídrico.

A continuación, se presenta el diagnóstico de la situación actual de la cuenca río Elqui respecto al reúso de aguas servidas tratadas, así como también la identificación de acciones en cartera actual, y potenciales iniciativas de esta naturaleza.

6.3.2.1 Diagnóstico

En la actualidad no se tienen registros que den cuenta de la reutilización de aguas servidas en la cuenca del río Elqui. Sin embargo, la condición actual de este recurso cuenta con antecedentes generados por entidades tanto públicas como privadas que permiten dimensionar la factibilidad de implementar sistemas de reúso de aguas servidas. La oferta de aguas servidas en la cuenca del río Elqui está constituida por la sumatoria de los aportes de los tres sistemas de tratamiento que existen en ella: emisarios submarinos, plantas de tratamiento de aguas servidas urbanas y plantas de tratamiento de aguas servidas rurales.

Respecto a las aguas servidas provenientes de emisarios submarinos se tiene que en la zona existen dos emisarios submarinos, uno en la ciudad de La Serena y otro en la ciudad de Coquimbo, los que descargan al mar las aguas residuales tratadas provenientes del sistema sanitario. Durante el año 2018, ambos emisarios descargaron mil metros cúbicos por segundo de aguas servidas tratadas al mar. Si se hubieran acumulado esta cantidad en un embalse, hubieran sido cerca de 31 millones de metros cúbicos en un año, es decir, el 10% del requerimiento de la cuenca de Elqui en esa época (Jenkins G., 2020).

La SISS, por su parte, estimó que durante el año 2019 1.500 litros de aguas residuales por segundo fueron vertidas al mar desde La Serena y Coquimbo, lo que equivaldría al riego de 4 mil hectáreas. Esto significa que al año son 49 millones de metros cúbicos generados que se podría comparar con la capacidad que tiene el embalse El Bato de 25 millones de metros cúbicos, es decir en 6 meses se podría llenar un embalse de ese tamaño (SISS, 2019).

De acuerdo a Fundación Chile (2018), el reúso de 1 m³/s podría ser aprovechado para el cultivo de 3.400 hectáreas de palto. Lo anterior, significaría una ganancia anual de 37,8 millones de dólares por venta de paltas. La inversión total (CAPEX) de un sistema de lodos activados y un sistema de conducción, para llevar las aguas desde los emisarios submarinos hasta su tratamiento y luego al punto de entrega en el embalse Puclaro, es de 100 millones de dólares mientras que el costo de operación (OPEX) es USD 0,36/m³.

Respecto a las aguas generadas en plantas de tratamiento de aguas servidas rurales, Fundación Chile en el año 2017 seleccionó las comunas de la región de Coquimbo donde existiera mayor factibilidad de instalar el sistema de reúso, considerando tres componentes críticos dentro de la línea base regional: demanda hídrica, zonas de estrés hídrico y número de PTAS rurales. Con base en los criterios antes indicados, se determinó que, en la provincia de Elqui, la comuna de Vicuña presenta el mayor potencial y factibilidad para evaluar la instalación de sistemas de reúso de aguas residuales tratadas.

El estudio concluye que el reúso del efluente rural descargado por las PTAS rurales se presenta como una alternativa que permite aprovechar un recurso cada vez más escaso en la región como lo es el agua y a la vez generar recursos financieros a través del aprovechamiento de esta fuente de agua en una actividad productiva. Así mismo, concluye que las proyecciones demuestran que la inversión para implementar este tipo de sistemas se puede recuperar en un corto periodo de tiempo. Tomando las consideraciones de inocuidad, el reúso de aguas residuales puede instaurarse como una real alternativa de nueva fuente de agua para la región de Coquimbo y el resto del país, contribuyendo a ser una solución al problema del déficit hídrico regional y nacional (FCH, 2018).

6.3.2.2 Acciones en cartera actual

No se identifican acciones públicas y/o privadas en cartera actual. No obstante lo anterior, como parte los desafíos para el periodo comprendido entre los años 2019-2022, la SISS tiene la misión de impulsar los proyectos que liderará el sector sanitario de cara al año 2030. Se trata de iniciativas que serán desarrolladas para impactar en un plazo máximo de 11 años y dentro de las cuales se encuentra la reutilización de aguas servidas tratadas (SISS, 2019).

6.3.2.3 Iniciativa(s). Ficha(s) resumen

A partir del diagnóstico y de la revisión de las acciones en cartera actual, se considera estratégico avanzar en el conocimiento detallado del reúso de aguas servidas procedentes de las PTAS de La Serena y Coquimbo, por lo que se identifica un estudio de factibilidad como iniciativa del Plan de Acción (acápito 6.4).

6.4 OTRAS MEDIDAS

El resto de las medidas estratégicas del Plan de Acción corresponden a estudios propuestos que ayudan a generar nueva información relativo a los recursos hídricos de la cuenca del río Elqui, y que disminuyen las brechas observadas en la caracterización de la misma. La generación de conocimiento e investigación propuesta se centra en cuatro ejes:

- ✓ Información del estado de glaciares y su evolución. Existe una brecha temporal de casi 10 años en la información generada por DGA relativa a glaciares a nivel de cuenca, quedando indeterminada la evolución que estos han tenido durante los últimos años. Señalar que, para alcanzar una buena gestión en los recursos, el primer paso es tener conocimiento sobre el mismo.
- ✓ Humedales y otros cuerpos de agua. Únicamente existe información oficial sobre la cobertura espacial de humedales y otros cuerpos de agua a nivel de cuenca. Sin embargo, no hay mayor detalle a través de información sistematizada sobre su importancia ecosistémica, especies presentes o su estado de conservación, debido principalmente a que solo el sector "Estero Derecho" cuenta con protección oficial (Santuario de la Naturaleza, WDPA-162), mientras que el resto solo son Sitios Prioritarios para la conservación.
- ✓ Contaminación de las aguas. Deben generarse las herramientas para que en fase posterior se materialicen las inversiones priorizadas en saneamiento rural, dada la contaminación de origen fecal identificada en la cuenca.
- ✓ Reúso de aguas servidas tratadas. Este tema se abordó dentro del análisis de nuevas fuentes de agua (acápite 6.3.2).

En el caso de los glaciares, no se considera una iniciativa estratégica asociada al Plan de Acción, debido a que existe actualmente un Plan de Gestión de Glaciares para la región de Coquimbo, el cual comenzó en 2017 y es financiado por el gobierno regional y llevado a cabo por el Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA), mediante el cual se pretende entregar un inventario de glaciares actualizado y mostrar metodologías de estudio sobre glaciares blancos, cubiertos y rocosos para conocer, monitorear y gestionar su rol hídrico en la región, así como sus aportes hídricos a la cuenca. Se deberá considerar entonces los resultados de dicho estudio, los cuales aún no se encuentran disponibles, para formular un Plan de Acción orientado en los glaciares de la cuenca.

De la misma forma, en el caso de los humedales, no se considera una iniciativa estratégica asociada al Plan de Acción en la actualidad, ya que el MMA tiene en sus labores la elaboración y ejecución de estudios y programas de investigación, protección y conservación de la biodiversidad, así como la administración y actualización de una base de datos sobre biodiversidad.

6.4.1 Conocimiento e investigación sobre reúso de aguas tratadas

6.4.1.1 Diagnóstico

El diagnóstico sobre el estado del reúso de aguas tratadas en la cuenca del río Elqui se ha presentado en el acápite 6.3.2.1.

6.4.1.2 Acciones en cartera actual

Las acciones en cartera actual sobre el estado del reúso de aguas tratadas en la cuenca del río Elqui se ha presentado en el acápite 6.3.2.2.

6.4.1.3 Iniciativa(s). Ficha(s) resumen

A partir del diagnóstico y de la revisión de las acciones en cartera actual, se considera estratégica la iniciativa siguiente:

- Diagnóstico de factibilidad para la implementación de sistemas de reúso de aguas residuales generadas en la PTAS del sistema La Serena-Coquimbo (OM-01).
 - Objetivo: Generar un diagnóstico que permita evaluar la factibilidad de intercepción, reúso, acumulación y aprovechamiento local de las aguas servidas tratadas de la PTAS de La Serena-Coquimbo que actualmente se descargan por los emisarios submarinos.
 - Descripción: Esta iniciativa consiste en un estudio que permita evaluar las alternativas para reúso de las aguas servidas tratadas de la PTAS de La Serena-Coquimbo que actualmente descargan al mar por emisario y que, por tanto, suponen un flujo de salida de recurso hídrico de la cuenca. A su vez, este estudio debe definir los posibles escenarios de reúso teniendo en consideración atributos técnico-económicos como capacidad de acumulación, distancia entre la fuente de aguas residuales a zona de abastecimiento, consumo de agua, entre otros; y atributos sociopolíticos como voluntad política para establecer normativa correspondiente y capacidad de pago (pública o privada).
 - Instancias de relación vinculadas: Es una iniciativa que se alinea con el objetivo general de la “Mesa Regional para la Emergencia Hídrica” (Anexo I acápite 4.3.4b).

En la Tabla 6.4-1 se presenta la ficha resumen de esta iniciativa. El monto asociado a esta inversión se presenta en el acápite 7.2.1 y su detalle en el Anexo K.2.

Tabla 6.4-1 Ficha resumen Acción N°: OM-01

ACCIÓN N°:	OM-01
Nombre de la Acción:	
Diagnóstico de factibilidad para la implementación de sistemas de reúso de aguas residuales generados en la PTAS del sistema La Serena-Coquimbo.	
Brecha o problemática identificada:	
En la actualidad existe un déficit hídrico importante que se potenciará con el pasar del tiempo. Por causa de lo anterior, se gesta la necesidad de diseñar e implementar nuevas estrategias para resolver los efectos que este fenómeno tiene sobre las comunidades y las actividades productivas que se desarrollan en el territorio. Dentro de las alternativas, el aprovechamiento de las aguas residuales tratadas se plantea como una parte esencial de la planificación y manejo del recurso hídrico.	
Eje(s) del Plan:	
Eje 1. Uso estratégico del recurso hídrico: brechas entre oferta y demanda. Eje 4. Conservación y protección del recurso y del ecosistema hídrico.	
Objetivo(s) del Plan:	
Objetivo 1.1. Reducir la brecha entre oferta y demanda de aguas considerando cambio climático, sequía e inundaciones. Objetivo 4.2. Proteger funciones ecosistémicas críticas relacionadas con los cuerpos de agua en el	
Objetivo(s) de la Acción:	
Generar un diagnóstico que permita evaluar la factibilidad de intercepción, reúso, acumulación y aprovechamiento local de las aguas servidas tratadas de la PTAS de La Serena-Coquimbo que actualmente se descargan por los emisarios submarinos. A su vez definir los posibles escenarios de reúso teniendo en consideración atributos técnico-económicos como capacidad de acumulación, distancia entre la fuente de aguas residuales a zona de abastecimiento, consumo de agua, entre otros; y atributos sociopolíticos como voluntad política para establecer normativa correspondiente y capacidad de pago (pública o privada).	
Características generales:	
Ámbito:	Riego
Ubicación:	Cuenca del río Elqui
Beneficiarios directos:	Sector agrícola, industrial y minería (potenciales beneficiarios)
Tipo de acción:	Propuesta
Situación de la acción:	Propuesta
Horizonte:	Corto plazo
Tipo de financiación:	Pública
Entidad(es) financiadora(s)	SISS
Entidad(es) responsable(s)	SISS-DOH
Observaciones:	
Esta iniciativa se encuentra en concordancia con los desafíos que tiene la SISS para el periodo comprendido entre los años 2019-2022, periodo en el que se plantea impulsar los proyectos que liderará el sector sanitario de cara al año 2030 y dentro de los cuales se encuentra el reúso de aguas servidas tratadas.	

Fuente: Elaboración propia.

6.4.2 Conocimiento e investigación sobre origen de contaminantes

En el presente acápite, se presentan las herramientas de información necesarias para la toma de decisiones sobre futuras acciones en torno a la contaminación microbiológica en la cuenca.

6.4.2.1 Diagnóstico

En diferentes puntos ubicados en el curso medio de la cuenca del río Elqui se ha detectado presencia de Coliformes Totales y *Escherichia coli* en las fuentes de agua cruda de abastecimiento de agua potable, de manera persistente en el tiempo (acápite 4.2.4.1). La presencia de la bacteria *E. coli* es atribuida principalmente a la contaminación por aguas residuales; considerando que las zonas rurales no cuentan en su totalidad con red de alcantarillado y sistemas de tratamiento de aguas servidas, eventualmente los contaminantes derivan a cuerpos hídricos receptores.

Dado el origen de contaminación microbiológica fecal, debe abordarse un plan de inversiones que impulse las obras de saneamiento y tratamiento de aguas servidas de los APR de la cuenca.

6.4.2.2 Acciones en cartera actual

No se identifican acciones en cartera pública o privada.

6.4.2.3 Iniciativa(s). Ficha(s) resumen

A partir del diagnóstico y de la revisión de las acciones en cartera actual, se considera estratégica la iniciativa siguiente:

- Análisis para Plan de Inversión Pública en saneamiento rural de la cuenca del río Elqui (OM-02).
 - Objetivo: Elaborar una propuesta de Plan Estratégico de Inversiones en saneamiento rural para localidades concentradas de la cuenca del río Elqui.
 - Descripción: Esta iniciativa busca aportar información para en fases posteriores contrarrestar la contaminación de contaminantes microbiológicos (coliformes totales y *E. coli*) detectada en el curso medio de la cuenca del río Elqui, lo cual es atribuido a fuentes de aguas residuales de zonas rurales que no cuentan con un correcto sistema de manejo de las aguas servidas. Debido a esto, actualmente se evalúa a nivel de perfil el Estudio Básico "Análisis Plan de Inversión Pública en Saneamiento Rural para 20 Localidades Concentradas", en el cual se escogerán 20 localidades de un total de 205 estudiadas, en las regiones de Coquimbo y Atacama, y se entregará un Plan Estratégico de Inversiones en saneamiento rural, a partir del cual se seleccionarán las APR prioritarias.

El alcance de la presente iniciativa considera complementar el citado estudio básico, de forma de cubrir el 100% de las APR de la cuenca del río Elqui, y la definición de un Plan de Saneamiento propio a nivel de cuenca.

Como se menciona anteriormente, este estudio es habilitante para la iniciativa OH-03 "Implementación de sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas servidas para sistemas APR en localidades concentradas de la cuenca del río Elqui".

- o Instancias de relación vinculadas: Es una iniciativa que se alinea con el objetivo general de la "Mesa Regional para la Emergencia Hídrica" (Anexo I acápite 4.3.4b).

En la Tabla 6.4-2 se presenta la ficha resumen de esta iniciativa. El monto asociado a esta inversión se presenta en el acápite 7.2.1 y su detalle en el Anexo K.2.

Tabla 6.4-2 Ficha resumen Acción N°: OM-02

ACCIÓN N°: OM-02	
Nombre de la Acción:	
Análisis para Plan de Inversión Pública en saneamiento rural para localidades concentradas en la cuenca del río Elqui.	
Brecha o problemática identificada:	
En diferentes puntos ubicados en el curso medio de la cuenca del río Elqui, se ha detectado presencia de Coliformes Totales y <i>Escherichia coli</i> en las fuentes de agua cruda de abastecimiento de agua potable, de manera persistente en el tiempo. La presencia de la bacteria <i>E. coli</i> es atribuida principalmente a la contaminación por aguas residuales; considerando que las zonas rurales no cuentan en su totalidad con red de alcantarillado y sistemas de tratamiento de aguas servidas, eventualmente los contaminantes derivan a cuerpos hídricos receptores.	
Eje(s) del Plan:	
Eje 1. Uso estratégico del recurso hídrico: brechas entre oferta y demanda. Eje 4. Conservación y protección del recurso y del ecosistema hídrico.	
Objetivo(s) del Plan:	
Objetivo 1.2. Restaurar condiciones de abastecimiento y calidad de las fuentes de agua potable urbana, tanto para fuentes superficiales como subterráneas. Objetivo 1.3. Restaurar condiciones de abastecimiento y calidad de las fuentes de agua potable rural, tanto para fuentes superficiales como subterráneas. Objetivo 4.1. Conservar y/o mejorar el estado de la calidad de las fuentes superficiales y subterráneas.	
Objetivo(s) de la Acción:	
Elaborar una propuesta de Plan Estratégico de Inversiones en saneamiento rural para localidades concentradas de la cuenca del río Elqui.	
Características generales:	
Ámbito:	Saneamiento
Ubicación:	Cuenca río Elqui
Beneficiarios directos:	Sistemas APR
Tipo de acción:	Propuesta
Situación de la acción:	Perfil
Horizonte:	Corto plazo
Tipo de financiación:	Público
Entidad(es) financiadora(s)	DIRPLAN
Entidad(es) responsable(s)	DIRPLAN
Observaciones:	
Esta iniciativa se enmarca en el "Análisis para Plan de Inversión Pública en saneamiento rural para 20 localidades concentradas en las regiones de Atacama y Coquimbo" (código BIP 40005219-0). De acuerdo a lo señalado por DIRPLAN para la postulación de este estudio, el objetivo del proyecto se enmarca en el lineamiento estratégico del MOP de abordar las desigualdades en infraestructura entre sector urbano y rural, presentándose actualmente en este último solo un 12% de cobertura de evacuación y tratamiento de aguas servidas.	
*localidades rurales con una población mínima de 150 habitantes y una densidad de al menos 15 viviendas por kilómetro de red de agua potable (DIRPLAN-IFARLE, 2018).	

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 7 CARTERA DE INICIATIVAS PROPUESTAS

El presente capítulo entrega la cartera de iniciativas para el PEGH de la cuenca del río Elqui, con la evaluación económica, social y ambiental, así como la priorización, valorización y cronograma propuesto para la implementación.

7.1 SÍNTESIS DE LA SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

La identificación y la priorización de las iniciativas y acciones que componen el PEGH se ha definido en base a: el diagnóstico de la cuenca; los aportes del proceso de PAC; y, la opinión experta del equipo consultor.

El diagnóstico tuvo una amplia caracterización técnica, mientras que el proceso de PAC tuvo un carácter cualitativo con los aportes que han realizado los distintos actores relevantes del territorio, recogidos a través de reuniones. La síntesis del diagnóstico, junto con la revisión de la cartera actual de acciones, se ha presentado en el Capítulo 6, derivando de ello las iniciativas estratégicas correspondientes; en el Anexo K.1 se compilan las fichas resumen, donde pueden examinarse los detalles identificativos de cada una.

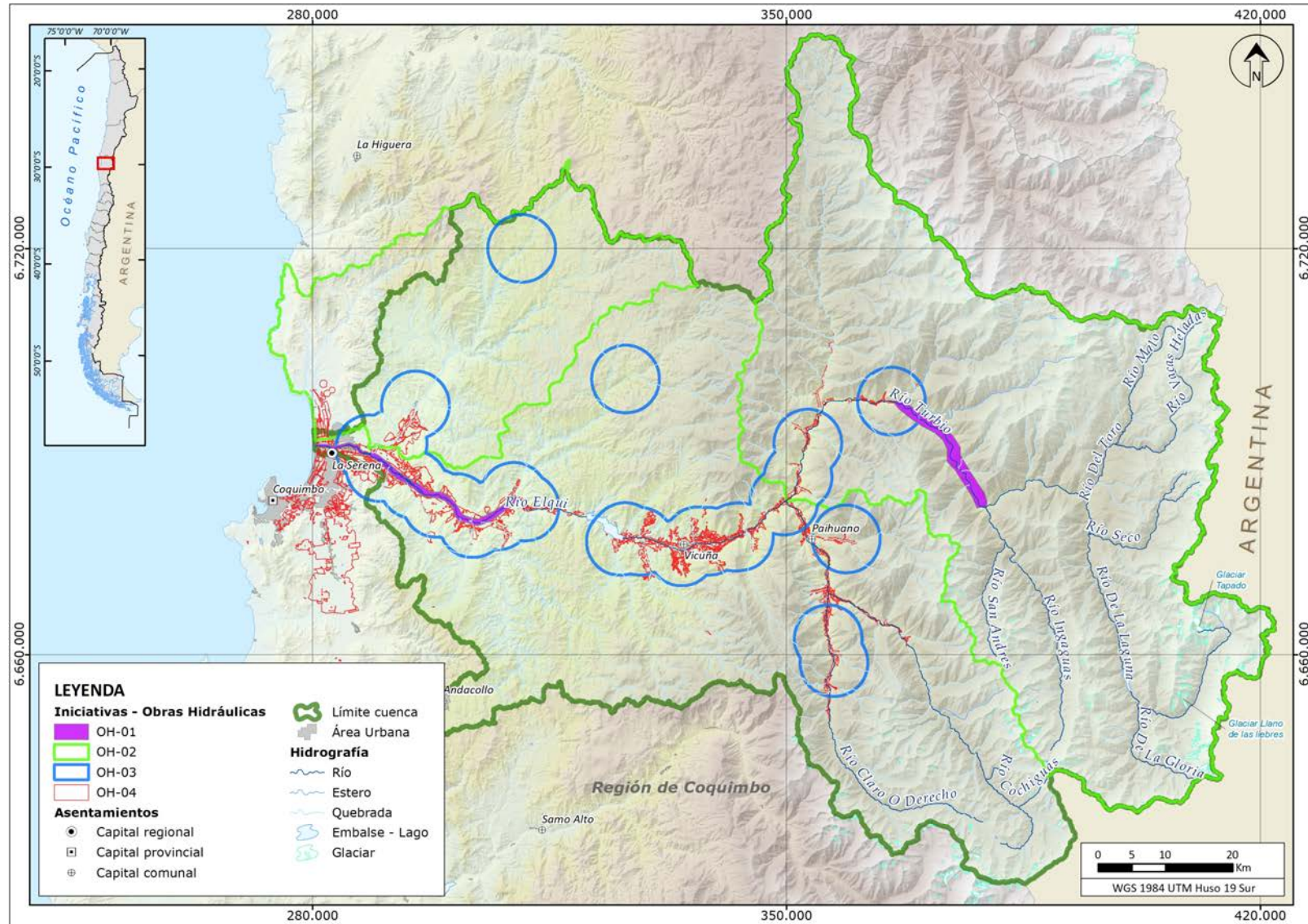
La síntesis de selección de alternativas se presenta a continuación, organizada en obras hidráulicas (Tabla 7.1-1), medidas de gestión (Tabla 7.1-2), nuevas fuentes de agua (Tabla 7.1-3) y otras medidas (Tabla 7.1-4), identificando la acción y su objetivo.

Tabla 7.1-1 Síntesis de acciones asociadas a Obras Hidráulicas (OH)

ID	Acción	Objetivo	Responsable
OH-01	Obras de ampliación y mejora de la Red Hidrométrica de la cuenca del río Elqui, mediante la construcción de nuevas estaciones fluviométricas.	Fortalecer la Red Hidrométrica DGA de la cuenca del río Elqui recuperando y mejorando infraestructura, de manera de incrementar la cantidad y la calidad de los datos de monitoreo de las aguas superficiales, a través de la construcción de tres (3) nuevas estaciones, una (1) en "Río Turbio entre Incahuaz y estero Huanta", una (1) en "Río Elqui aguas abajo Quebrada Marquesa" y una (1) en "Río Elqui aguas abajo quebrada Santa Gracia".	DGA
OH-02	Obras de ampliación y mejora de la Red Hidrométrica de la cuenca del río Elqui, mediante la incorporación de nuevos puntos de medición de niveles subterráneos.	Fortalecer la Red Hidrométrica DGA de la cuenca del río Elqui, mediante la incorporación de tres (3) nuevos puntos de medición de niveles subterráneos en los SHAC Turbio, Santa Gracia y Serena Norte, de manera de mejorar la información relativa a balances de agua subterránea.	DGA
OH-03	Implementación de sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas servidas para sistemas APR en localidades rurales concentradas de la cuenca del río Elqui.	Construcción de sistema de alcantarillado, tratamiento y disposición de aguas servidas en zonas rurales concentradas, para una adecuada disposición de éstas y evitar la potencial contaminación del acuífero.	Municipalidades
OH-04	Programa de tecnificación de riego en la parte baja de la cuenca del río Elqui.	Incrementar el grado de tecnificación de la superficie agrícola en riego, mediante fondos concursables específicos de tecnificación en la cuenca del río Elqui.	CNR

Fuente: Elaboración propia.

Gracias al espacio acotado donde estas iniciativas se emplazan, se presenta la Figura 7.1-1 con las áreas asociadas a cada una de las acciones presentadas en la tabla anterior.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 7.1-1 Iniciativas asociadas a Obras Hidráulicas

Tabla 7.1-2 Síntesis de acciones asociadas a Medidas de Gestión (MG)

ID	Acción	Objetivo	Responsable
MG-01	Proyecto para la creación del "Servicio de Apoyo a la Facilitación" a las buenas prácticas de gobernanza en la cuenca del río Elqui.	Fomentar la participación activa de diversos intereses productivos, sociales, culturales y económicos en la gestión hídrica y gobernanza entre actores relevantes en materia hídrica, a través de la disposición de facilitadores para guiar en la toma de decisiones conjunta y armónica en la cuenca del río Elqui.	DGA Región de Coquimbo
MG-02	Programa de capacitación para la conformación de Comunidades de Aguas Subterráneas en la cuenca del río Elqui.	Aumentar la eficiencia en la gestión de los recursos hídricos subterráneos de la cuenca del río Elqui, a través de la capacitación de futuros directores, saneamiento y regularización de la inscripción en CBR de los DAA del sector y; organización legal de las siete (7) Comunidades de Agua Subterránea en los SHAC Elqui Bajo, Santa Gracia, Serena Norte, Elqui Alto, Elqui Medio, Claro, Turbio.	DGA
MG-03	Proyecto para la creación de una "Plataforma de Información Hídrica" de la cuenca del río Elqui.	Fortalecer la gestión sustentable del agua en la cuenca del río Elqui a través de la complementación de la plataforma "en tiempo real" que integre las diferentes fuentes de información hídrica pública y privada disponibles y/o potenciales como: estaciones fluviométricas; estaciones de calidad de agua; monitoreo de aguas subterráneas; nivel de embalses; extracciones subterráneas (MEE, APRs); extracciones superficiales (canales); otros de interés.	DGA
MG-04	Inclusión de parámetros microbiológicos en Red Hidrométrica DGA de monitoreo de calidad de aguas superficiales y subterráneas de la cuenca del río Elqui.	Mantener un monitoreo constante de los parámetros microbiológicos más relevantes (<i>E. coli</i> , Coliformes Totales y Coliformes Fecales), utilizando la red Hidrométrica de monitoreo de calidad de aguas superficiales y subterráneas, de manera de contar con suficiente información para estudiar su variación temporal y espacial en la cuenca.	DGA
MG-05	Proyecto de telemetría y automatización de compuertas en la subcuenca del río Claro.	Instalar mecanismos para el monitoreo de caudal superficial y la automatización de compuertas en las bocatomas y/o compuertas principales de los canales de riego, incluyendo las adecuaciones pertinentes en las obras civiles implicadas (aforadores), de forma de contar con información en tiempo real de los caudales en los principales canales de riego de la subcuenca del río Claro.	CNR

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7.1-3 Síntesis de acciones asociadas a Nuevas Fuentes de agua (NF)

ID	Acción	Objetivo	Responsable
NF-01	Recarga artificial del acuífero en el sector Elqui Bajo.	Implementar una solución robusta que permita mejorar el suministro de agua dulce en el SHAC Elqui Bajo del acuífero de Elqui, mediante recarga artificial del acuífero.	JVRE-CAS SHAC Elqui Bajo (no conformada legalmente en la actualidad)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7.1-4 Síntesis de acciones asociadas a Otras Medidas (OM)

ID	Acción	Objetivo	Responsable
OM-01	Diagnóstico de factibilidad para la implementación de sistemas de reúso de aguas residuales generados en la PTAS del sistema La Serena-Coquimbo.	Generar un diagnóstico que permita evaluar la factibilidad de intercepción, reúso, acumulación y aprovechamiento local de las aguas servidas tratadas de la PTAS de La Serena-Coquimbo que actualmente se descargan por los emisarios submarinos. A su vez definir los posibles escenarios de reúso teniendo en consideración atributos técnico-económicos como capacidad de acumulación, distancia entre la fuente de aguas residuales a zona de abastecimiento, consumo de agua, entre otros; y atributos sociopolíticos como voluntad política para establecer normativa correspondiente y capacidad de pago (pública o privada).	SISS-DOH
OM-02	Análisis para Plan de Inversión Pública en saneamiento rural para localidades concentradas en la cuenca del río Elqui.	Elaborar una propuesta de Plan Estratégico de Inversiones en saneamiento rural para localidades concentradas de la cuenca del río Elqui.	DIRPLAN

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 7.1-5 se presentan las acciones del Plan de Acción, resumiendo de dónde surgen principalmente cada una de ellas.

Tabla 7.1-5 Identificación de iniciativas y su origen principal

ID	Acción	Origen principal
OH-01	Obras de ampliación y mejora de la Red Hidrométrica de la cuenca del río Elqui, mediante la construcción de nuevas estaciones fluviométricas.	Modelación hidrológica
OH-02	Obras de ampliación y mejora de la Red Hidrométrica de la cuenca del río Elqui, mediante la incorporación de nuevos puntos de medición de niveles subterráneos.	Modelación hidrológica
OH-03	Implementación de sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas servidas para sistemas APR en localidades rurales concentradas de la cuenca del río Elqui.	Diagnóstico (calidad de aguas subterráneas)
OH-04	Programa de tecnificación de riego en la parte baja de la cuenca del río Elqui	Diagnóstico (análisis eficiencia de riego)
MG-01	Proyecto para la creación del "Servicio de Apoyo a la Facilitación" a las buenas prácticas de gobernanza en la cuenca del río Elqui.	Diagnóstico (gobernanza)

ID	Acción	Origen principal
MG-02	Programa de capacitación para la conformación de Comunidades de Aguas Subterráneas en la cuenca del río Elqui.	Diagnóstico (gobernanza)
MG-03	Proyecto para la creación de una "Plataforma de Información Hídrica" de la cuenca del río Elqui.	Diagnóstico (sistemas de información)
MG-04	Inclusión de parámetros microbiológicos en Red Hidrométrica DGA de monitoreo de calidad de aguas superficiales y subterráneas de la cuenca del río Elqui.	Diagnóstico (calidad de aguas)
MG-05	Proyecto de telemetría y automatización de compuertas en la subcuenca del río Claro	Diagnóstico (infraestructura)
NF-01	Recarga artificial del acuífero en el SHAC Elqui Bajo de la cuenca del río Elqui	Reuniones PAC
OM-01	Diagnóstico de factibilidad para la implementación de sistemas de reúso de aguas residuales generados en la PTAS del sistema La Serena-Coquimbo	Reuniones PAC
OM-02	Análisis para Plan de Inversión Pública en saneamiento rural para localidades concentradas en la cuenca del río Elqui	Diagnóstico (calidad de aguas subterráneas)

Fuente: Elaboración propia.

7.2 EVALUACIÓN DE LAS MEDIDAS

La evaluación económica, social y ambiental se desarrolla conforme a la metodología expuesta en el acápite 3.6.4 del Anexo F. A continuación, se presentan los resultados de esta evaluación y la priorización de inversión del Plan de Acción.

7.2.1 Evaluación Económica

Gran parte de las medidas seleccionadas corresponden a medidas no estructurales, o habilitantes para la toma de decisiones, que son necesarias para la gestión de los recursos hídricos. No obstante, es importante resaltar que, para este tipo de acciones no es siempre posible atribuir beneficios directos o externalidades evaluables, a pesar de que sí contribuyen a obtener información de base o generen capacidades necesarias para los objetivos del Plan, su impacto está orientado principalmente a la gestión. Por ello, y para tener un indicador económico comparable entre las acciones, la evaluación económica se centra en el enfoque costo eficiencia, utilizando como indicador el valor actual de costos (VAC) y el costo anual equivalente (CAE).

La evaluación de cada medida se presenta en Anexo K.2, donde se indican los supuestos para determinar los elementos de costo, el flujo de evaluación y los resultados respectivos. Es importante considerar que la estimación de costos es una aproximación general, basada en referencias de licitaciones, gasto público y/o público-privado. La inversión exacta se debe determinar una vez que se definan los alcances específicos de cada iniciativa, y cuando se desarrollen los estudios de factibilidad y/o detalles correspondientes, lo que permitirá identificar los elementos de costos reales requeridos para la inversión. Las estimaciones acá presentadas son una aproximación referencial que permiten tener un primer acercamiento al costo del Plan. A modo de síntesis, en la Tabla 7.2-1 se entrega el VAC y CAE de cada acción.

Tabla 7.2-1 Resumen de evaluación económica de iniciativas

ID	Acción	VAC [UF]	CAE [UF]
OH-01	Obras de ampliación y mejora de la Red Hidrométrica de la cuenca del río Elqui, mediante la construcción de nuevas estaciones fluviométricas.	21.823,5	2.189,6
OH-02	Obras de ampliación y mejora de la Red Hidrométrica de la cuenca del río Elqui, mediante la incorporación de nuevos puntos de medición de niveles subterráneos.	9.720,4	975,3
OH-03	Implementación de sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas servidas para sistemas APR en localidades rurales concentradas de la cuenca del río Elqui.	1.331.296,0	133.569,3
OH-04	Programa de tecnificación de riego en la parte baja de la cuenca del río Elqui.	322.910,5	32.397,7
MG-01	Proyecto para la creación del "Servicio de Apoyo a la Facilitación" a las buenas prácticas de gobernanza en la cuenca del río Elqui.	34.751,0	3.486,6
MG-02	Programa de capacitación para la conformación de Comunidades de Aguas Subterráneas en la cuenca del río Elqui.	11.368,0	3.793,9
MG-03	Proyecto para la creación de una "Plataforma de Información Hídrica" de la cuenca del río Elqui.	7.823,2	654,5
MG-04	Inclusión de parámetros microbiológicos en Red Hidrométrica DGA de monitoreo de calidad de aguas superficiales y subterráneas de la cuenca del río Elqui.	2.455,4	246,3
MG-05	Proyecto de telemetría y automatización de compuertas en la subcuenca del río Claro.	48.269,2	4.842,9
NF-01	Recarga artificial del acuífero en el sector Elqui Bajo.	25.879,7	2.596,5
OM-01	Diagnóstico de factibilidad para la implementación de sistemas de reúso de aguas residuales generados en la PTAS del sistema La Serena-Coquimbo.	6.193,1	3.099,3
OM-02	Análisis para Plan de Inversión Pública en saneamiento rural para localidades concentradas en la cuenca del río Elqui.	7.545,8	2.518,3

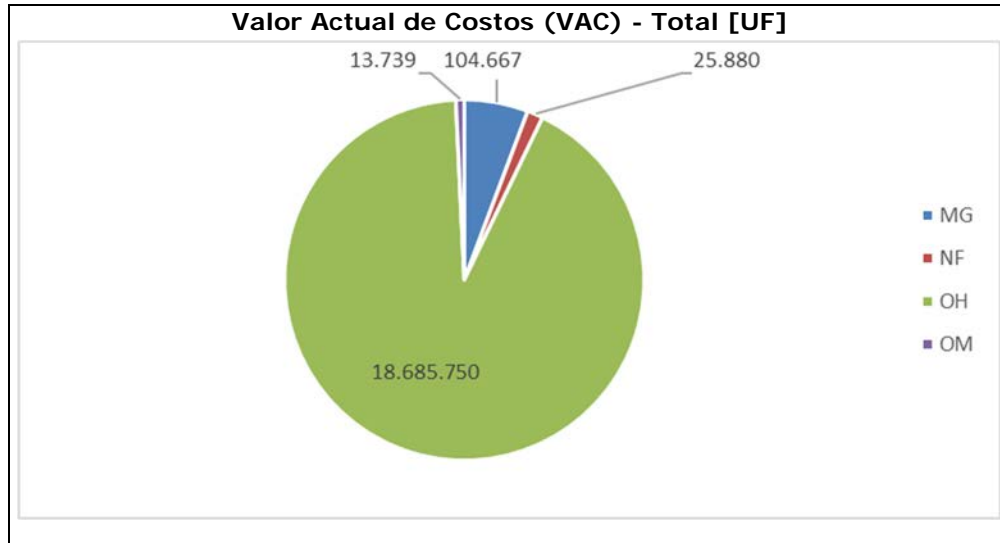
Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 7.2-2, la Figura 7.2-1 y la Figura 7.2-2 presentan los resultados agregados según línea de acción, donde se puede apreciar que el mayor porcentaje de costos totales evaluados a través del VAC están concentrados en las acciones de Obras Hidráulicas. Esto se debe al alto costo que significan estas acciones al contemplar medidas estructurales. Respecto a las acciones relativas a Medidas de Gestión, suponen un costo considerablemente inferior al conjunto de medidas OH; son de tipo no estructurales y algunas de ellas se consideran estratégicas porque son habilitantes para otras acciones del Plan de Acción. Las iniciativas relacionadas con la línea de acción denominada Nuevas Fuentes son de menor costo relativo, ya que, aun siendo también acciones estructurales, únicamente es una medida de costo relativamente bajo.

Tabla 7.2-2 Resumen evaluación económica por tipología de acciones

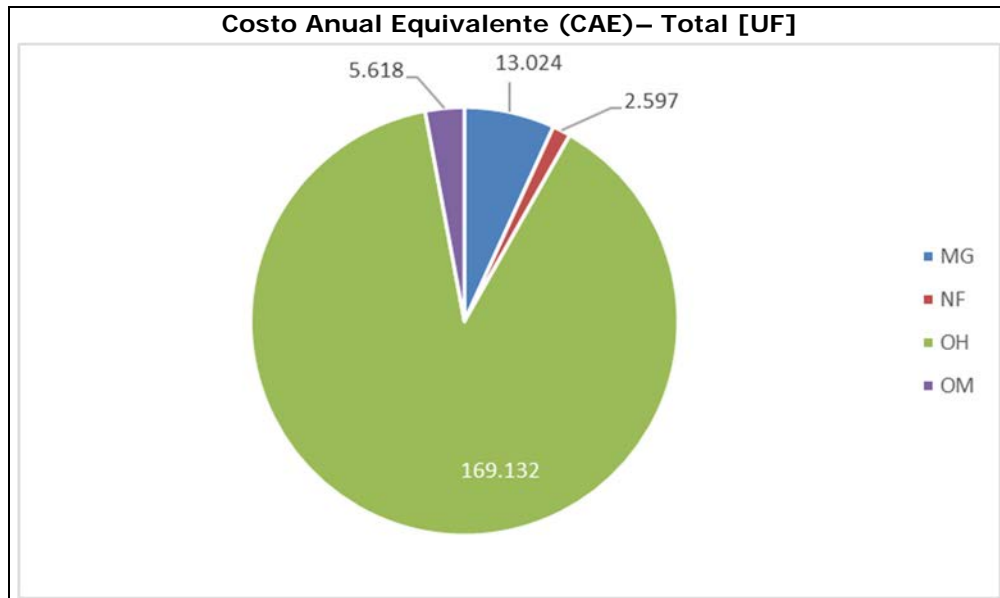
Tipología	VAC [UF]	CAE [UF]
OH	1.685.750	169.132
MG	104.667	13.024
NF	25.880	2.597
OM	13.739	5.618

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 7.2-1 VAC [UF] totales según línea de acción



Fuente: Elaboración propia.

Figura 7.2-2 CAE [UF] totales según línea de acción

Para efectos de la priorización, el indicador económico contemplado es el CAE categorizado como bajo, medio o alto, con una ponderación 1, 2 o 4, respectivamente. La ponderación se considera inversamente proporcional al costo, esto es a mayor costo es menor la ponderación de priorización. Así, La metodología se expone en el acápite 3.6.4.1 del Anexo F, y sus puntuaciones resultantes se presenta en la Tabla 7.2-5 del presente capítulo.

7.2.2 Evaluación Social

La evaluación social se basa en el trabajo desarrollado bajo la participación ciudadana liderado en el presente estudio. Este fue ampliamente presentado en el acápite 2.6 y específicamente en el Anexo I.4, siendo insumo para la presente sección.

Para esta evaluación se considera la opinión de los actores respecto de la identificación de problemas y brechas más relevantes, frente a aquellas soluciones que no consideran oportunas o que causan rechazo. Así, la evaluación social se basa en una validación de las medidas en función de si aporta o no en la solución de las problemáticas identificadas durante proceso de consulta ciudadana.

Según se desprende de la trazabilidad de los resultados de las entrevistas y reuniones del proceso de PAC, se elabora una tabla relacional (Tabla 7.2-3), donde se identifica el o los problemas (brechas) que se aborda a través de la medida identificada por su código ID, junto con la identificación de los actores que mencionan dichos problemas.

Tabla 7.2-3 Tabla relacional de evaluación social de iniciativas

ID	Problemas relacionados	Actores
OH-01	Insuficiente cobertura de monitoreo fluviométrico, de pozos y/o meteorológico.	- DGA Coquimbo - INDAP Coquimbo
OH-02	Insuficiente cobertura de monitoreo fluviométrico, de pozos y/o meteorológico.	- DGA Coquimbo - DOH Coquimbo - INDAP Coquimbo
OH-03	Deterioro en la calidad de agua superficial y/o subterránea.	S/A
OH-04	Descenso de caudales por incremento en la frecuencia de eventos críticos (sequía). Disminución de nivel de agua en acuíferos por su uso intensivo y creciente. Aumento de demanda debido a recambio en uso de agua (recambio agricultura-industria-minería y/o aumento de superficie plantada).	- INDAP Coquimbo - Academia - Público-Privado
MG-01	Deficiente coordinación entre usuarios en la gestión de aguas en la cuenca.	- DGA Coquimbo - DOH Coquimbo - Agua Potable Rural - INDAP Coquimbo
MG-02	Deficiente coordinación entre usuarios en la gestión de aguas en la cuenca.	- DGA Coquimbo - JV río Elqui
MG-03	Insuficiente cobertura de monitoreo fluviométrico, de pozos y/o meteorológico.	- JV río Elqui - INDAP Coquimbo

ID	Problemas relacionados	Actores
MG-04	Deficiente o insuficiente cobertura de monitoreo de calidad. Deterioro en la calidad de agua superficial y/o subterránea.	- DOH Coquimbo - INDAP Coquimbo - Aguas del Valle
MG-05	Insuficiente cobertura de monitoreo fluviométrico, de pozos y/o meteorológico.	- INDAP Coquimbo
NF-01	Disminución de la disponibilidad de aguas superficial y/o subterránea para el abastecimiento de agua potable. Disminución de la disponibilidad de aguas superficial y/o subterránea para el abastecimiento de agua potable rural. Disminución de nivel de agua en acuíferos por su uso intensivo y creciente.	- DGA Coquimbo - Público-Privado - Aguas del Valle
OM-01	Insuficientes o inexistentes fuentes alternativas de agua a escala relevante para abastecimiento de agua potable urbano y rural	- DOH Coquimbo - SISS Coquimbo - Academia - CNR Coquimbo
OM-02	Deterioro en la calidad de agua superficial y/o subterránea.	S/A

Fuente: Elaboración propia.

Para efectos de la priorización se traduce esta información a un indicador social, donde el puntaje asociado a cada iniciativa se asigna a partir de las problemáticas expresadas por los actores relevantes en las reuniones PAC. La puntuación va de 1 a 4, siendo la puntuación más alta cuando la iniciativa soluciona problemáticas mencionadas por dos o más actores; y la puntuación menor responde a una iniciativa no identificada por los actores. La metodología se expone en el acápite 3.6.4.2 del Anexo F, y sus puntuaciones resultantes se presentan en la Tabla 7.2-5 del presente capítulo.

7.2.3 Evaluación Ambiental

La evaluación ambiental recoge los aspectos principales en materia medioambiental del proyecto propuesto. Estos se han definido en dos indicadores de evaluación: la pertinencia de ingreso al SEA; y el impacto en la protección y conservación de los recursos, aportando al objetivo 4 del PEGH.

La puntuación en el primer indicador sobre ingreso al SEA se valoriza en 0 o 1, donde 0 se refiere a que requiere ingresar al SEA con mayores requerimientos de gestión, tiempo y recursos (metodología en acápite 3.6.4.3 del Anexo F), cuyos resultados se presentan en la Tabla 7.2-4.

Tabla 7.2-4 Indicador de evaluación ambiental según iniciativas

ID	Ingreso SEA	Justificación
OH-01	No	Tipología no listada en el Artículo 3 del RSEIA (D.S. N° 40)
OH-02	No	Tipología no listada en el Artículo 3 del RSEIA (D.S. N° 40)
OH-03	No	Tipología no listada en el Artículo 3 del RSEIA (D.S. N° 40) Artículo 3 del RSEIA (DS 40) o) Proyectos de saneamiento ambiental, tales como sistemas de alcantarillado y agua potable, plantas de tratamiento de agua o de residuos sólidos de origen domiciliario, rellenos sanitarios, emisarios submarinos, sistemas de tratamiento y disposición de residuos industriales líquidos o sólidos. Se entenderá por proyectos de saneamiento ambiental al conjunto de obras, servicios, técnicas, dispositivos o piezas que correspondan a: o.1. Sistemas de alcantarillado de aguas servidas que atiendan a una población igual o mayor a diez mil (10.000) habitantes. No corresponde ingreso al SEIA dado que "Se entiende como entidad rural un asentamiento humano con población menor o igual a 1.000 habitantes, o entre 1.001 y 2.000 habitantes donde más del 50% de la población que declara haber trabajado se dedica a actividades primarias". Total de habitantes no es superior o igual 10.000.
OH-04	No	Tipología no listada en el Artículo 3 del RSEIA (D.S. N° 40)
MG-01	No	Tipología no listada en el Artículo 3 del RSEIA (D.S. N° 40)
MG-02	No	Tipología no listada en el Artículo 3 del RSEIA (D.S. N° 40)
MG-02	No	Tipología no listada en el Artículo 3 del RSEIA (D.S. N° 40)
MG-03	No	Tipología no listada en el Artículo 3 del RSEIA (D.S. N° 40)
MG-04	No	Tipología no listada en el Artículo 3 del RSEIA (D.S. N° 40)
MG-05	No	Tipología no listada en el Artículo 3 del RSEIA (D.S. N° 40)
NF-01	No	Tipología no listada en el Artículo 3 del RSEIA (D.S. N° 40)
OM-01	No	Tipología no listada en el Artículo 3 del RSEIA (D.S. N° 40)
OM-02	No	Tipología no listada en el Artículo 3 del RSEIA (D.S. N° 40)

Fuente: Elaboración propia.

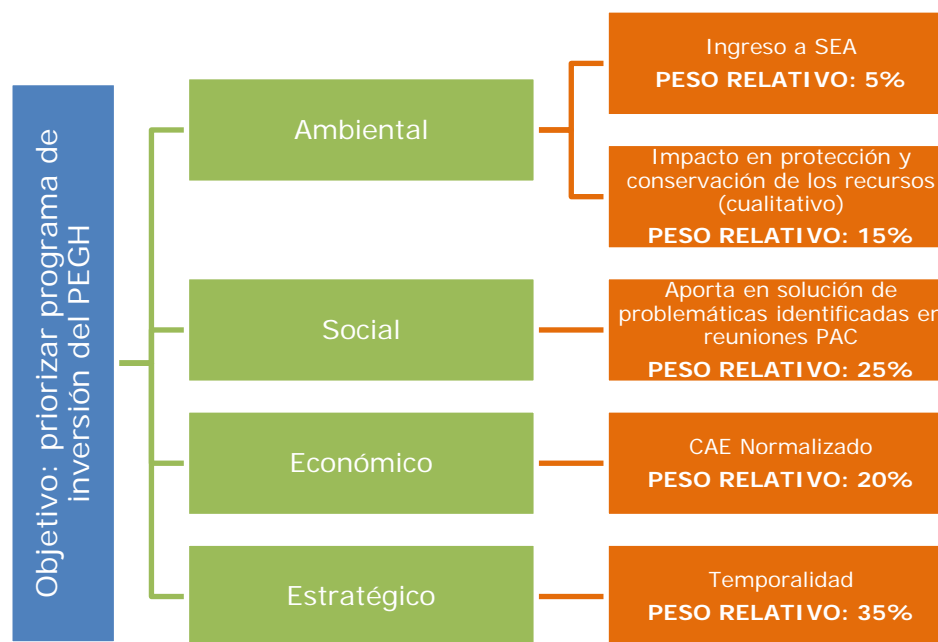
Para el análisis cualitativo del impacto en la protección y conservación de los recursos naturales, se recurre a la opinión experta, considerando una clasificación de impacto bajo, medio o alto, con puntuación 1, 2 y 4 respectivamente. Se asigna un mayor puntaje si se estima una mayor incidencia directa (positiva) en recursos naturales (metodología se presenta en acápite 3.6.4.3 del Anexo F).

El puntaje ambiental asociado a cada iniciativa, tanto por ingreso o no al SEA como por el impacto en la protección y conservación del recurso, se presenta en la Tabla 7.2-5.

7.2.4 Priorización de las medidas según líneas de acción

Dentro del conjunto de líneas de acción estratégicas y las iniciativas que las componen, se ha definido una planificación para su implementación, priorizando aquellas que requieren una especial atención por tratar temas que constituyen la base en la que se apoyarán otras acciones. Para ello se ha procedido a priorizar las acciones atendiendo a una secuencia estratégica de planificación, que a su vez se fundamenta en el diagnóstico realizado en la primera parte del Plan y en las entrevistas con actores relevantes.

El objetivo de la priorización es planificar la ejecución del PEGH en el horizonte previsto como corto, mediano y largo plazo. El Plan se ha definido en 10 años; no obstante, hay acciones contempladas en éste que podrían exceder dicho periodo, y que se consideran estratégicas por cuanto vienen a resolver problemas relevantes en términos de gestión hídrica. Es importante mencionar que la priorización se basa en un análisis multicriterio (detalle metodológico en acápite 3.6.5 del Anexo F), donde los criterios y ponderaciones han sido sugeridas desde la opinión experta del equipo consultor. Para aumentar la confiabilidad en este método, en futuras aplicaciones, se sugiere que tanto los criterios como las ponderaciones sean definidas en una mesa de trabajo ampliada a distintos actores de la cuenca. Para efectos del presente ejercicio y en base a la opinión experta del equipo consultor se ha seguido el esquema de la Figura 7.2-3.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 7.2-3 Esquema de priorización de iniciativas

Las puntuaciones asignadas y el resultado de priorización se presentan en la Tabla 7.2-5, organizadas de mayor prioridad a menor. Aquellas iniciativas con mayor puntaje son las que resultan prioritarias, lo que permite tener un orden referencial para orientar los esfuerzos requeridos para el Plan.

Tabla 7.2-5 Resultado de priorización de iniciativas

ID	Acción	Amb. (SEA)	Amb. (Imp.)	Social	Econ.	Estr.	Ptje. Prioriz.
MG-03	Proyecto para la creación de una "Plataforma de Información Hídrica" de la cuenca del río Elqui.	1	4	4	4	4	3,85
OH-01	Obras de ampliación y mejora de la Red Hidrométrica de la cuenca del río Elqui, mediante la construcción de nuevas estaciones fluviométricas.	1	2	4	4	4	3,55
OH-02	Obras de ampliación y mejora de la Red Hidrométrica de la cuenca del río Elqui, mediante la incorporación de nuevos puntos de medición de niveles subterráneos.	1	2	4	4	4	3,55
MG-04	Inclusión de parámetros microbiológicos en Red Hidrométrica DGA de monitoreo de calidad de aguas superficiales y subterráneas de la cuenca del río Elqui.	1	1	4	4	4	3,4
OM-01	Diagnóstico de factibilidad para la implementación de sistemas de reúso de aguas residuales generados en la PTAS del sistema La Serena-Coquimbo	1	2	4	2	4	3,15
OM-02	Análisis para Plan de Inversión Pública en saneamiento rural para localidades concentradas en la cuenca del río Elqui	1	4	1	4	4	3,1
MG-01	Proyecto para la creación del "Servicio de Apoyo a la Facilitación" a las buenas prácticas de gobernanza en la cuenca del río Elqui.	1	1	4	2	4	3
MG-02	Programa de capacitación para la conformación de Comunidades de Aguas Subterráneas en la cuenca del río Elqui.	1	1	4	2	4	3
NF-01	Recarga artificial del acuífero en el SHAC Elqui Bajo de la cuenca del río Elqui	1	2	4	4	1	2,5
OH-04	Programa de tecnificación de riego en la parte baja de la cuenca del río Elqui	1	2	4	1	2	2,25
MG-05	Proyecto de telemetría y automatización de compuertas en la subcuenca del río Claro	1	2	2	2	2	1,95
OH-03	Implementación de sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas servidas para sistemas APR en localidades rurales concentradas de la cuenca del río Elqui.	1	4	1	1	2	1,8

Fuente: Elaboración propia.

7.3 VALORIZACIÓN ECONÓMICA DEL PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA

Las medidas contempladas en el presente Plan ascienden a un valor actual de costos de **1.830.035,7 UF**, donde todas las acciones están evaluadas a un máximo de 10 años. El costo anual equivalente total asciende a **190.370,1 UF**, con las mismas consideraciones de horizonte de evaluación indicadas.

El modelo de negocio 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. Desde la perspectiva del financiamiento, algunos costos pueden ser atribuidos al sector público, otros al sector privado (inversión fiscal) y otros pueden ser pensados como una forma de financiamiento mixto (por ejemplo, medidas relacionadas con la tecnificación del riego, la automatización de bocatomas, entre otros).

La implementación de las iniciativas consideradas en el presente PEGH dependen principalmente de la inversión fiscal, por lo que toma especial relevancia la estrategia de financiamiento que permita implementar el Plan con éxito. Para ello, se debe tomar en consideración la posibilidad de que las iniciativas se acojan a subsidios y herramientas de política existente, o en su defecto se deberán definir programas específicos acorde a lo planteado en cada medida.

Así, la estrategia de financiamiento para la implementación de las medidas debe considerar las principales fuentes de financiamiento nacionales, pero también debe tener a la vista las fuentes internacionales. En particular, en materia internacional, existen fondos de acción climática que tienen una orientación a la adaptación, considerando temáticas adjudicables a la gestión de recursos hídricos, la construcción de obras adaptativas y la gestión del riesgo frente a desastres, como aluviones, inundaciones, entre otros. Por ello se considera una oportunidad observar la aplicabilidad de dichos fondos internacionales durante la implementación del presente Plan.

Por lo pronto, y en base al financiamiento nacional, a continuación, se resumen las acciones según el responsable de su ejecución, quien deberá asegurar la implementación de la iniciativa a través de la coordinación de distintos actores, asignando presupuesto público, y/o gestionando los fondos y/o programas relacionados.

7.3.1 Acciones según ejecutor o mandante DGA

La Tabla 7.3-1 presenta las iniciativas que se han identificado con la DGA como mandante principal.

Tabla 7.3-1 Iniciativas ejecutadas por DGA

ID	Acción	Mandante
OH-01	Obras de ampliación y mejora de la Red Hidrométrica de la cuenca del río Elqui, mediante la construcción de nuevas estaciones fluviométricas.	DGA
OH-02	Obras de ampliación y mejora de la Red Hidrométrica de la cuenca del río Elqui, mediante la incorporación de nuevos puntos de medición de niveles subterráneos.	DGA
MG-01	Proyecto para la creación del "Servicio de Apoyo a la Facilitación" a las buenas prácticas de gobernanza en la cuenca del río Elqui.	DGA
MG-02	Programa de capacitación para la conformación de Comunidades de Aguas Subterráneas en la cuenca del río Elqui.	DGA
MG-04	Inclusión de parámetros microbiológicos en Red Hidrométrica DGA de monitoreo de calidad de aguas superficiales y subterráneas de la cuenca del río Elqui.	DGA

Fuente: Elaboración propia.

7.3.2 Acciones ejecutadas por otras instituciones

La Tabla 7.3-2 presenta las iniciativas que se han identificado con otras instituciones ejecutoras.

Tabla 7.3-2 Iniciativas ejecutadas por otras instituciones

ID	Acción	Mandante
OH-03	Implementación de sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas servidas para sistemas APR en localidades rurales concentradas de la cuenca del río Elqui.	GORE-SUBDERE
OH-04	Programa de tecnificación de riego en la parte baja de la cuenca del río Elqui.	CNR-GORE-Privado
MG-03	Proyecto para la creación de una "Plataforma de Información Hídrica" de la cuenca del río Elqui.	CORFO
MG-05	Proyecto de telemetría y automatización de compuertas en la subcuenca del río Claro.	CNR-JVED
NF-01	Recarga artificial del acuífero en el SHAC Elqui Bajo de la cuenca del río Elqui.	JVRE-CNR-GORE
OM-01	Diagnóstico de factibilidad para la implementación de sistemas de reúso de aguas residuales generados en la PTAS del sistema La Serena-Coquimbo.	SISS
OM-02	Análisis para Plan de Inversión Pública en saneamiento rural para localidades concentradas en la cuenca del río Elqui.	DIRPLAN

Fuente: Elaboración propia.

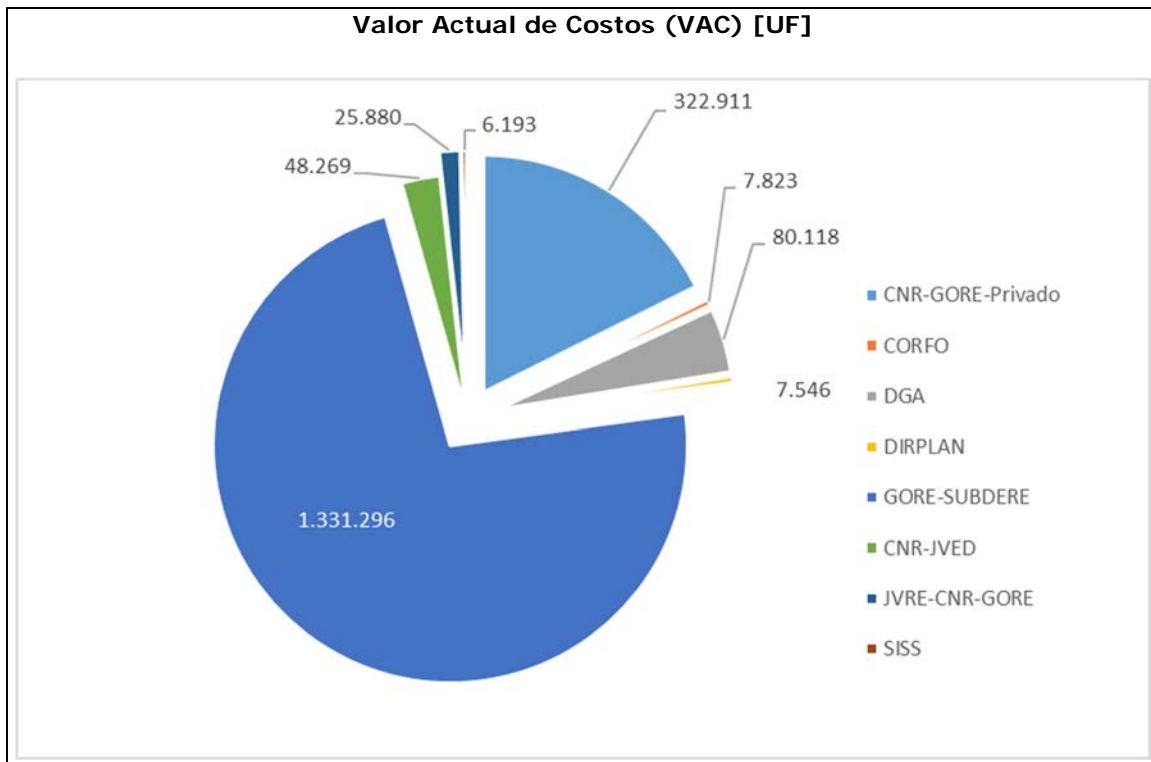
7.3.3 Distribución de costos por actores

En función de los resultados de la evaluación económica, y la responsabilidad en la ejecución de las iniciativas, se resume a continuación el VAC y CAE total por institución; se presentan los resultados en la Tabla 7.3-3, la Figura 7.3-1 y la Figura 7.3-2.

Tabla 7.3-3 Distribución de costos según ejecutor: VAC y CAE [UF]

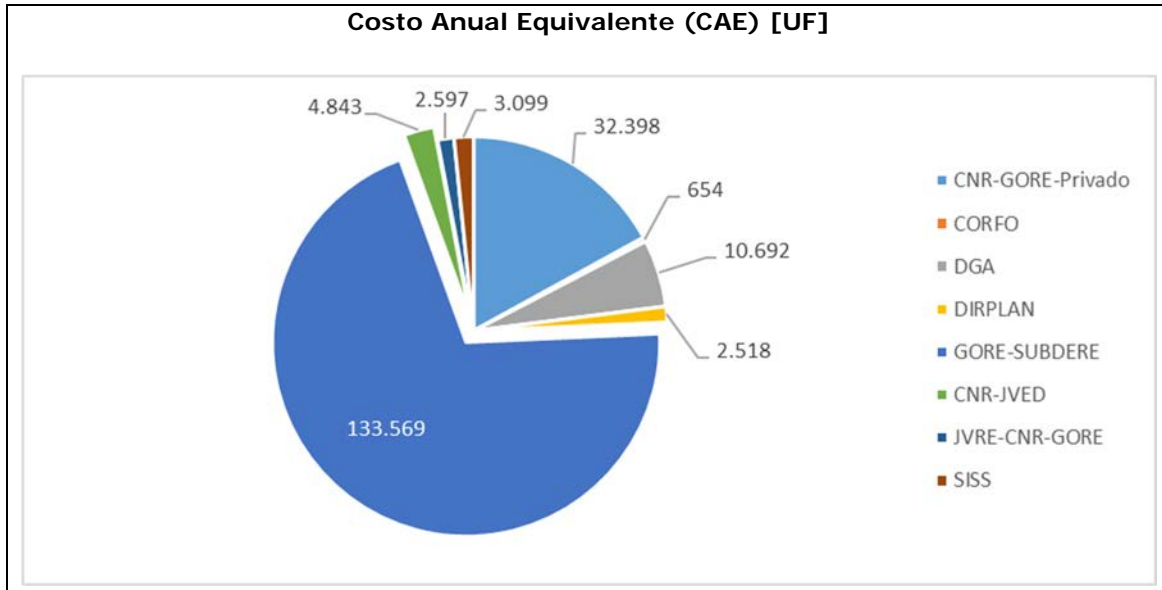
Institución	VAC [UF]	CAE [UF]
CNR-GORE-Privado	322.911	32.398
CORFO	7.823	654
DGA	80.118	10.692
DIRPLAN	7.546	2.518
GORE-SUBDERE	1.331.296	133.569
CNR-JVED	48.269	4.843
JVRE-CNR-GORE	25.880	2.597
SISS	6.193	3.099
Total	1.830.036	190.370

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 7.3-1 Distribución de VAC [UF] según institución

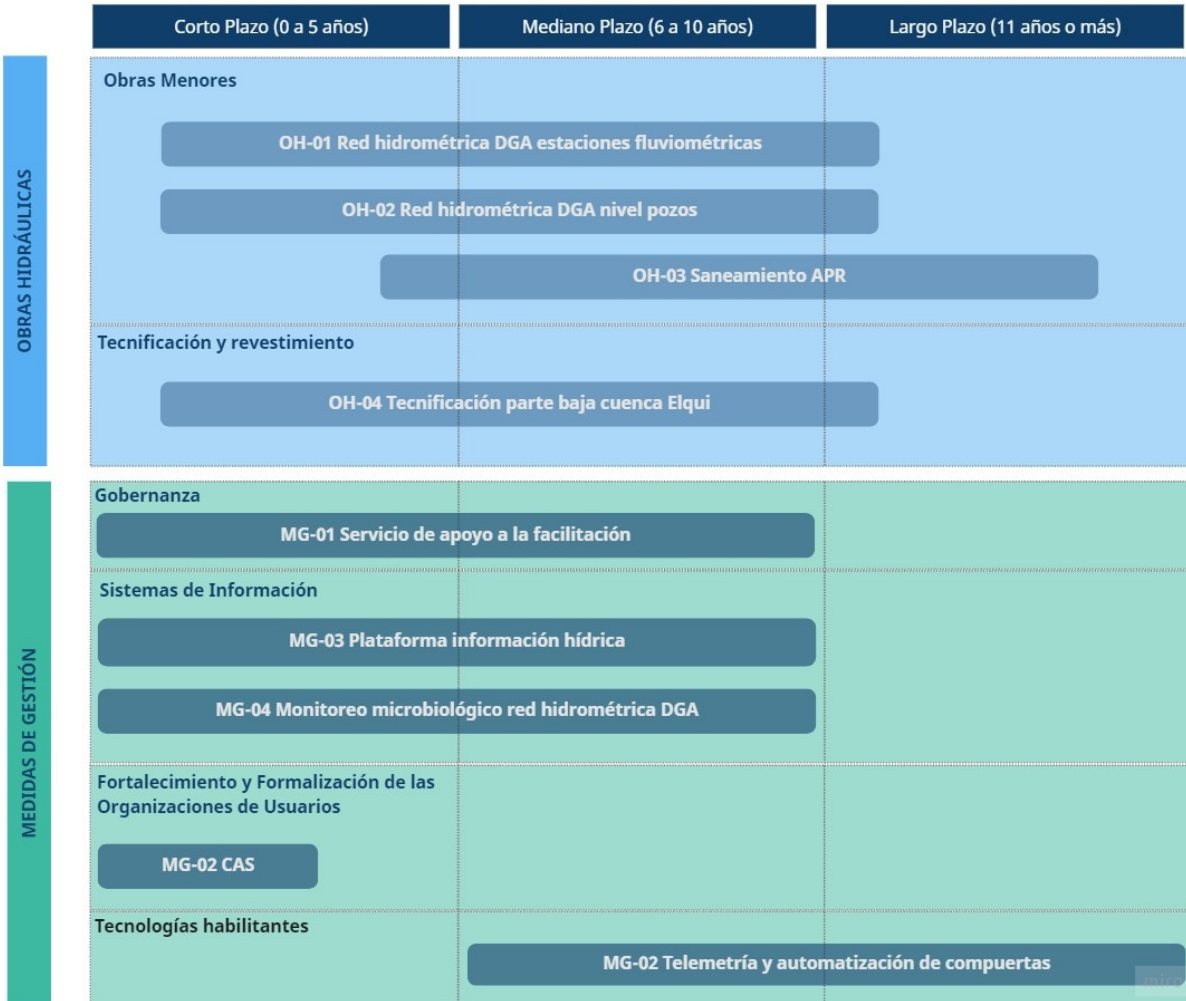


Fuente: Elaboración propia.

Figura 7.3-2 CAE [UF] según institución

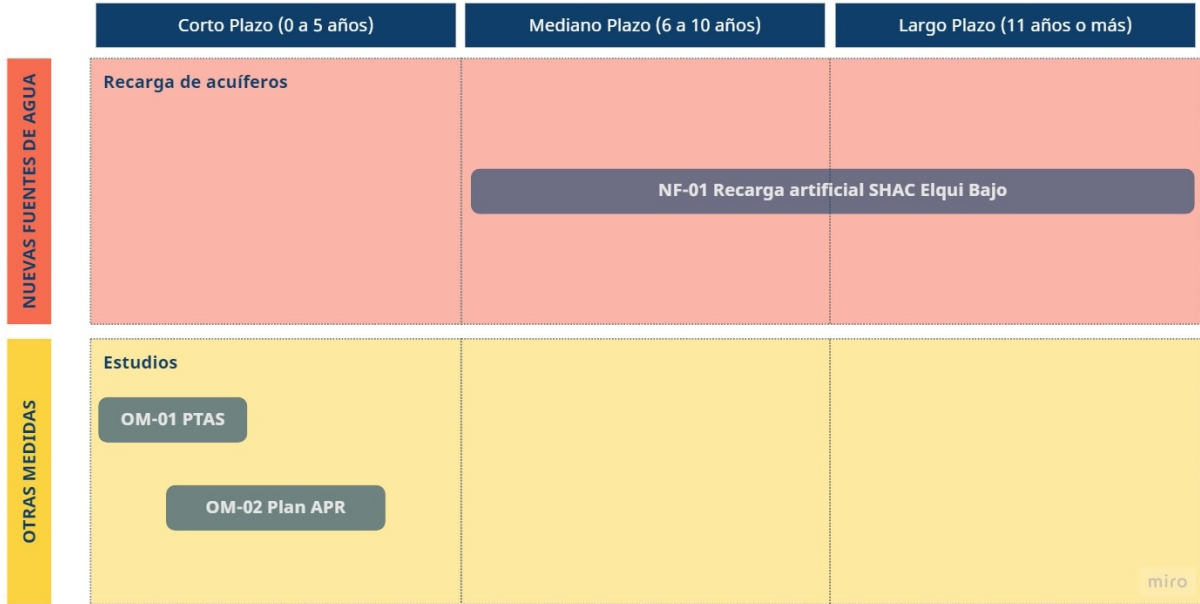
7.4 CRONOGRAMA DE LAS SOLUCIONES

En el esquema presentado en la Figura 7.4-1 y la Figura 7.4-2 se representa una versión extendida de la hoja de ruta del PEGH de la cuenca del río Elqui. 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 las cuatro líneas de acción que fueron priorizadas, con un total de 12 iniciativas, tomando además en consideración su temporalidad orientativa en el corto, mediano y largo plazo.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 7.4-1 Hoja de ruta del Plan de Acción



Fuente: Elaboración propia.

Figura 7.4-2 Hoja de ruta del Plan de Acción (continuación)

CAPÍTULO 8 IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN

En el presente capítulo se presentan los principales hitos identificados en la implementación del Plan de Acción, atendiendo a su horizonte (corto, mediano o largo plazo). Seguidamente, se exponen algunas directrices a considerar para el éxito del Plan de Acción, tanto en lo relativa a la estrategia de su implementación como comunicacional. Finalmente, se incluye un resumen con la identificación de las fuentes de financiación previstas.

8.1 HITOS DE REFERENCIA EN LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN

A continuación, se expone un resumen de la estructura del PEGH y los principales hitos a considerar, en función de la temporalidad establecida para cada medida del Plan de Acción.

8.1.1 Estructura del Plan de Gestión

La estructura del PEGH se ha establecido de acuerdo a 4 ejes, alineados según los objetivos del presente estudio (acápite 3.6.1 del Anexo F):

- Eje 1) Uso estratégico del Recurso Hídrico: Brechas entre oferta y demanda;
- Eje 2) Monitoreo del Recurso Hídrico;
- Eje 3) Gestión y Gobernanza del Agua; y
- Eje 4) Conservación y Protección del Recurso y del Ecosistema Hídrico.

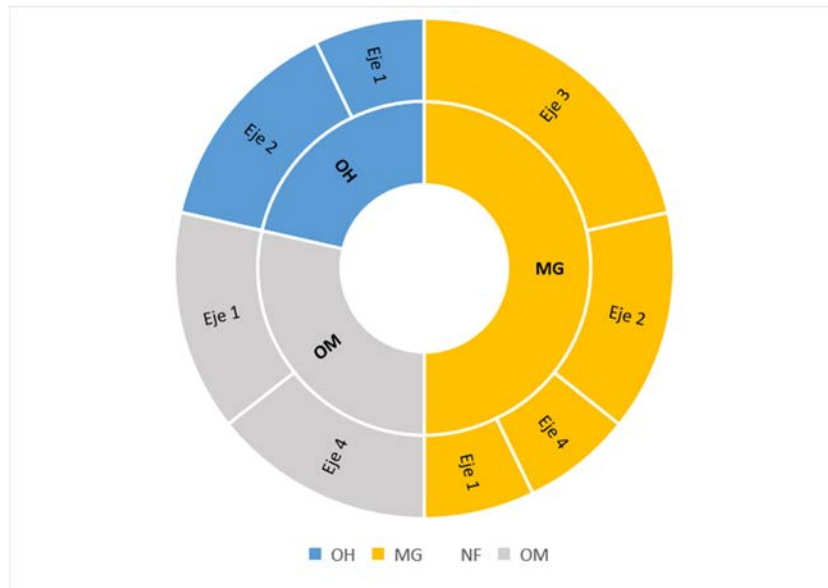
A su vez, en cuanto a su tipología, las iniciativas se clasifican en 4 tipos, siguiendo las recomendaciones indicadas por DGA:

- Obras Hidráulicas (OH);
- Medidas de Gestión (MG);
- Nuevas Fuentes (NF); y
- Otras Medidas (OM).

En los apartados siguientes se analiza el número de iniciativas que se aborda por Eje y por tipología (OH, MG, NF y/o OM) en cada horizonte (corto, mediano y/o largo), para tener una visión del tipo de acciones que se abordan.

8.1.2 Corto plazo

Cabe señalar que el mayor número de iniciativas del PEGH corresponden a medidas de intervención con un horizonte a corto plazo. Entre ellas, existen acciones de 3 de las 4 tipologías: obras hidráulicas (OH), medidas de gestión (MG) y otras medidas (OM). En cualquier caso, las iniciativas planteadas tienden a resolver brechas de los 4 Ejes establecidos en el PEGH (acápite 2.6.2). En la Figura 8.1-1 se presenta un resumen de lo anterior.



Fuente: Elaboración propia.

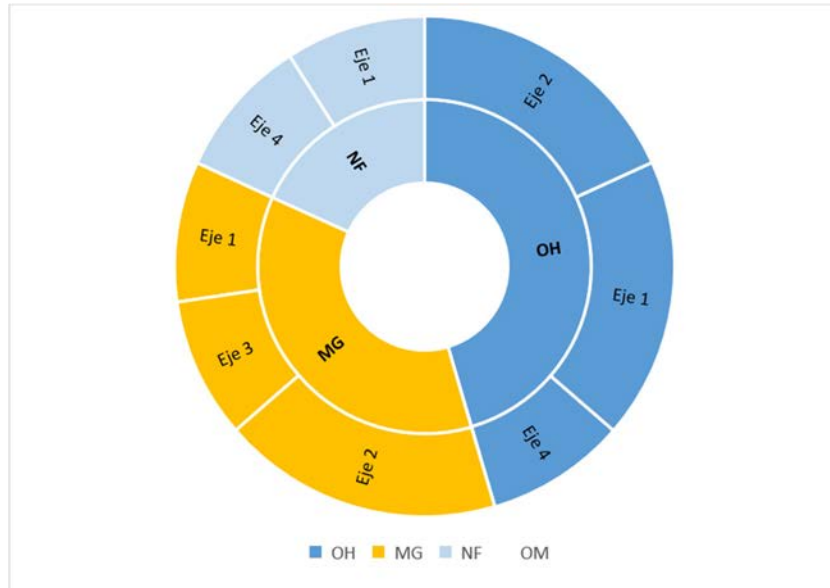
Figura 8.1-1 Distribución de iniciativas a corto plazo

Como hitos de referencia, cabría destacar la iniciativa MG-02 “Programa de capacitación para la conformación de Comunidades de Aguas Subterráneas en la cuenca del río Elqui”, la cual se considera muy relevante para la consecución de otras medidas de diferentes naturalezas. Por otra parte, la iniciativa OM-01 “Diagnóstico de factibilidad para la implementación de sistemas de reúso de aguas residuales generados en la PTAS del sistema La Serena-Coquimbo” también se considera relevante, ya que a partir de ella se contribuye a reforzar acciones que acorten la brecha entre oferta y demanda.

8.1.3 Mediano plazo

En la Figura 8.1-2 se presenta la distribución de iniciativas en un horizonte a mediano plazo, según tipología de la acción y su repercusión positiva sobre los ejes del PEGH; considerar que hay iniciativas que responden a más de un eje.

A mediano plazo, los hitos relevantes tienen relación con nuevas fuentes, siendo destacable la iniciativa NF-01 relativa a recarga artificial del acuífero.

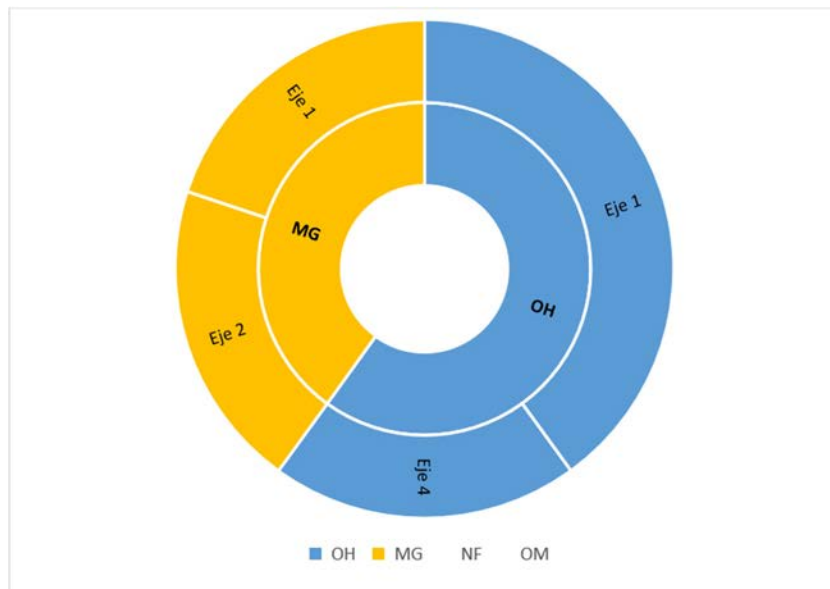


Fuente: Elaboración propia.

Figura 8.1-2 Distribución de iniciativas a mediano plazo

8.1.4 Largo plazo

En la Figura 8.1-3 se presenta la distribución de iniciativas en un horizonte a largo plazo, según tipología de la acción y su repercusión positiva sobre los ejes del PEGH.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 8.1-3 Distribución de iniciativas a largo plazo

A largo plazo, los hitos relevantes tienen relación con obras hidráulicas, OH-03 relativo a la "Implementación de sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas servidas para sistemas APR en localidades rurales concentradas de la cuenca del río Elqui" y OH-04 "Programa de tecnificación de riego en la parte baja de la cuenca del río Elqui", si bien estas medidas tienen diferentes horizontes.

8.2 ESTRATEGIA DE IMPLEMENTACIÓN

El éxito de la ejecución de las iniciativas del PEGH Elqui viene sujeto por determinadas condiciones del entorno que pueden facilitar o retardar la implementación de las acciones definidas, entre las cuales se encuentran temas institucionales, culturales, de financiamiento o legales. Seguidamente se exponen estos aspectos condicionantes que pueden afectar la aplicación de cada iniciativa y una propuesta sobre los pasos de implementación del PEGH.

Cabe señalar que los aspectos limitantes o condicionantes expuestos seguidamente son en muchos casos comunes a la realidad de otras cuencas, por lo que particularmente se sugiere enfocar los esfuerzos hacia su resolución a una escala mayor que la de la propia cuenca del río Elqui, viéndose beneficiados por ello otros territorios con situaciones similares, tanto a nivel regional (región de Coquimbo) como a escala nacional.

8.2.1 Aspectos institucionales

La institucionalidad existente en materia hídrica puede suponer un condicionante para la implementación de ciertas iniciativas del PEGH Elqui. Según FCh (2019), las condicionantes institucionales pueden ser:

- i) De diseño institucional: Corresponden a las limitaciones o facilidades derivadas de la estructura institucional o de las funciones asignadas (o ausentes) a las distintas instituciones. En esta categoría se consideran problemas tales como los de coordinación interinstitucional.
- ii) De capacidades institucionales: Se consideran aquellas limitaciones o facilidades que se originan en las políticas, funcionamiento, y en la disponibilidad de recursos humanos, orgánicos, financieros, logísticos, etc. de las instituciones que tienen la responsabilidad de aplicar los instrumentos incluidos en las normativas.

Seguidamente se exponen ciertas consideraciones de carácter institucional según tipología de las iniciativas o acciones:

- a. Infraestructura hidráulica de almacenamiento y/o captación de caudales. Existe una institucionalidad pública para el desarrollo de obras de acumulación mayores, las cuales se ejecutan de acuerdo a las estratégicas institucionales ministeriales, sus objetivos de gestión, indicadores de desempeño, cronograma de gastos y nivel de ejecución presupuestaria; la toma de decisiones con respecto al gasto público en materias de gestión hídrica (subsidios, fondos concursables, FNDR, entre otros), será en base a los lineamientos presentados anteriormente. Cabe señalar que el desarrollo de este tipo de institucionalidad pública se trabaja principalmente a nivel central, con herramientas a nivel cuenca limitadas o no existentes. Finalmente, su aplicación requiere del acuerdo de los potenciales

- beneficiarios, es decir, la realización de estas iniciativas dependerá de las capacidades técnicas-organizacionales de cada grupo de actores interesados y, de la presencia de *partners* estratégicos dentro de su jurisdicción territorial; por lo que un grupo de beneficiarios organizacionalmente débil tendrá más dificultades para acoger estas iniciativas o acceder a recursos sobre este tipo.
- b. Infraestructura hidráulica de conducción. Al igual que en el punto anterior, existe una institucionalidad pública para el desarrollo de mejora sobre canales. No obstante, dependiendo de la envergadura de la infraestructura a mejorar, para su aplicación será necesario un acuerdo entre los potenciales beneficiarios, en el caso de obras colectivas o; en el caso de obras particulares, serán iniciativas que podrán desarrollar los propietarios sin limitaciones institucionales.
 - c. Mejora de la eficiencia de riego a nivel predial. Existe una institucionalidad pública para el apoyo a este tipo de iniciativas, cuyas herramientas de ejecución se gestionan principalmente nivel central, con apoyo técnico a nivel regional o provincial, con limitadas o nula existencia de evaluación a escala cuenca. Sin embargo, pueden tratarse también de iniciativas que pueden ser aplicadas por los propietarios interesados, sin limitaciones institucionales.
 - d. Sistemas de tratamiento de aguas residuales en localidades rurales concentradas o semi-concentradas. En los casos pertinentes, la aplicación requiere de la existencia de un comité de APR. Además, será necesario el apoyo institucional público proveniente desde las Municipalidades en las que se emplacen estos sistemas, quienes actuarán como ejecutoras de estas iniciativas de inversión y contraparte técnica de dichas acciones. Debido a esto, una limitante es el catastro y conocimiento que tengan las Municipalidades sobre el estado de la infraestructura y procesos de saneamiento en su jurisdicción territorial.
 - e. Recarga artificial de acuíferos. En general se trata de actividades que debieran ser coordinadas y evaluadas a nivel de SHAC y/o cuenca. Este tipo de acción queda condicionada al actuar de privados, quienes, a través de instancias de relación con entidades públicas o convenios público-privados, pueden acceder a ejecutar este tipo de acciones, por lo que la realización de estas medidas dependerá de las capacidades técnicas-organizacionales de cada grupo de actores interesados.
 - f. Reúso de aguas residuales urbanas o rurales. Al igual que se mencionó en puntos anteriores, no existe una institucionalidad pública actual para este tipo de iniciativas, por lo que quedan supeditadas a la acción de actores privados interesados y sus capacidades de coordinación y gestión, ya que para la aplicación de estas medidas sería necesaria la intervención de entidades públicas pertinentes para el desarrollo local (GORE, SUBDERE, Municipalidades).
 - g. Manejo y restauración de cauces. Estas acciones requieren de una importante coordinación interinstitucional, central y/o regional. Se identifica como limitante la capacidad de coordinación e integración que posee la compleja estructura institucional existente para abordar estas iniciativas.
 - h. Protección directa de glaciares. En el sector público no se identifica una institucionalidad definida para desarrollar este tipo de actividades.

8.2.2 Aspectos de cultura del agua

La implementación de iniciativas se puede topar con condicionantes relativas a la falta de información y/o conocimiento técnico de los actores involucrados, tanto en el nivel de las entidades responsables como de los propios beneficiarios identificados. Por ello, cabe señalar la importancia de la componente social del PEGH, identificando para cada caso los actores implicados (apartado 2.6.1):

- Sector público nivel regional y local;
- Sector privado;
- Sector público-privado; y
- Sector comunidad.

El proceder individual de las personas, en relación con el aprovechamiento del agua, está influido culturalmente por las costumbres y los hábitos que se tienen en su uso, así como por el grado de conocimiento técnico y acceso a información disponible. La mayor parte (si no todas) de las iniciativas del PEGH tienen intrínsecamente una componente de relativa al aspecto cultural del agua.

Según FCh (2019), la principal fuente de información respecto de los temas relativos al agua lo constituyen los medios de comunicación de masas, los que frecuentemente entregan una visión excesivamente simple, parcial y descontextualizada de la compleja realidad de la gestión del agua, lo que hace más difícil la formación de una ciudadanía verdaderamente consciente de la naturaleza de los desafíos que presenta el tema en el país. Por lo anterior, las iniciativas del PEGH categorizadas dentro de la temática “Medidas de Gestión”, y explícitamente aquellas relativas a los sistemas de información, capital humano y fortalecimiento organizacional, influyen directamente en el éxito de la implementación de medidas de tipo estructural.

A continuación, se identifican algunas condicionantes culturales para la implementación de ciertas iniciativas:

- a. Mejora de infraestructura hidráulica de conducción. Los proyectos de entubamiento pueden causar un potencial rechazo de la comunidad, en tanto que existe una cultura arraigada relativa a la visualización del recurso hídrico circulante por la red de canales. Así mismo, el revestimiento de canales de tierra a mejoramientos con hormigón o geomembrana puede generar conflictos por su afectación a usuarios de aguas subterráneas, en mayor o menor medida según el conocimiento técnico, especialmente hidrogeológico, que tengan los actores involucrados.
- b. Mejora de la eficiencia de riego a nivel predial y a pequeña escala. En el caso de agricultores y especialmente de pequeños campesinos, las costumbres y los hábitos de riego dificultan la evolución hacia riegos con frecuencias y dosis más eficientes. El riego de tipo tradicional en población envejecida supone una dificultad añadida para la conversión hacia proyectos de tecnificación. Así mismo, la implementación de proyectos de tecnificación sin la adecuada transferencia tecnológica a los nuevos usuarios, guiándose por consejos de terceros usuarios en la misma situación, puede potencialmente provocar un uso ineficiente,

afectando a los rendimientos obtenidos y causando rechazo y/o desconfianza por este tipo de tecnologías.

- c. Sistemas de tratamiento de aguas residuales en localidades rurales concentradas o semi-concentradas. Algunos usuarios potenciales pudieran presentar limitaciones, no sólo por falta de recursos humanos capacitados para el uso de estas tecnologías (aspecto financiero), sino por la predisposición y la disponibilidad efectiva para su correcta formación, por la heterogeneidad en el personal al cargo técnico de los sistemas APR. Las dificultades en las implementaciones de estos sistemas guardan también relación con una escasez de dirigentes de comités de APR con capacidades de liderazgo y de gestión, y escasa renovación de cargos por falta de interés de la comunidad en asumir ese rol.
- d. Recarga artificial de acuíferos. En el diseño de proyectos de recarga en ocasiones se presentan limitaciones asociadas a la falta de información relativa a las características hidrogeológicas de los acuíferos, causando reticencias entre actores involucrados por la afectación sobre sus DAA. De igual forma, el desconocimiento del marco normativo dentro del cual se ejecuta, en especial en temas referentes a la asignación y titularidad de los DAA necesarios para su aplicación, puede dificultar su implementación; lo mencionado anteriormente puede limitar también las iniciativas de recarga de tipo privadas.

8.2.3 Aspectos de financiamiento

El financiamiento es, en general, un aspecto limitante en el desarrollo de iniciativas públicas. Las condicionantes financieras incluyen, por ejemplo, restricciones de financiamiento que podrían impedir la implementación de una o varias iniciativas en el año programado, aunque tenga evaluaciones económica, social y ambiental favorable.

A continuación, se identifican algunas condicionantes financieras para la implementación de ciertas iniciativas:

- a. Infraestructura hidráulica de almacenamiento y/o captación de caudales. Son iniciativas que pueden ser desarrollados por el Estado y hacer uso de incentivos mediante subsidios; algunas de las principales instituciones públicas dedicadas a generar herramientas de apoyo para este tipo de acciones son DOH, CNR e INDAP, a través de fondos propios de la entidad asignados de acuerdo a la "Ley de Presupuestos del Sector Público", o financiación proveniente de convenios con otras instituciones públicas como GORE, SUBDERE y MIDESO.
- b. Mejora de infraestructura hidráulica de conducción. Al igual que el punto anterior, son iniciativas que pueden ser desarrollados por el Estado y hacer uso de incentivos mediante subsidios, a través de algunas de las principales instituciones públicas dedicadas a generar herramientas de apoyo para este tipo de acciones como lo son DOH, CNR e INDAP. Dependiendo de la envergadura del proyecto a ejecutar y de las capacidades de gestión del grupo beneficiario, es posible generar alianzas entre privados para su financiación (minerías, agrícolas, entre otros).
- c. Mejora de la eficiencia de riego a nivel predial, y a pequeña escala. Como se mencionó anteriormente, estas acciones pueden ser desarrollados a través de fondos públicos pertenecientes a algunas de las principales instituciones

- dedicadas a generar herramientas de apoyo para este tipo de iniciativas, como lo son CNR e INDAP. También es posible optar a fondos por convenio con otras instituciones públicas como GORE, SUBDERE, MIDESO (CONADI) y CORFO, al igual que alianzas entre privados (minerías, agrícolas, entre otros).
- d. Prácticas de manejo a nivel predial con pequeñas infraestructuras y técnicas agronómicas para optimizar el aprovechamiento del agua. Estas acciones pueden ser desarrollados a través de fondos públicos, en el caso de pequeños propietarios y comunidades indígenas, pudiera accederse a subsidios (CONADI, INDAP).
 - e. Metodologías para optimizar el control de las pérdidas por conducción en las redes de APU. En teoría el sistema tarifario incentiva la aplicación de estas tecnologías en las redes de agua potable. Sin embargo, los resultados muestran que, en general, la regulación sanitaria no genera incentivos suficientes para su aplicación.
 - f. Sistemas de tratamiento de aguas residuales en localidades rurales concentradas o semi-concentradas. En ocasiones, se podrá contar con asistencia financiera desde el sector público, a través de fondos destinados para tales fines. Por ejemplo, SUBDERE, a través de la Unidad de Saneamiento Sanitario y en apoyo a la gestión del GORE, administra la "Provisión Saneamiento Sanitario", el cual permite cofinanciar los convenios de saneamiento GORE-Municipalidades.
 - g. Recarga artificial de acuíferos. Los incentivos económicos para la recarga artificial de acuíferos están en la legislación al autorizar el otorgamiento de derechos provisionales para la extracción de un caudal equivalente al caudal recargado. En cuanto a la financiación de las obras necesarias para su operación, estos fondos se pueden obtener a través convenios entre privados o público-privados.
 - h. Desalinización. Tratándose de una planta de desalinización para abastecer la demanda urbana, pudiera requerir de un financiamiento público, para lo cual se han establecido entidades concesionarias de servicios sanitarios propiedad del Estado de Chile (empresa CORFO), que también cumple las funciones de administrar y supervisar las obligaciones contractuales de las empresas operadoras.
 - i. Reúso de aguas residuales urbanas o rurales. A nivel urbano, no se identifican programas con incentivos financieros para la utilización de las aguas servidas tratadas. En cuanto a la financiación para zonas rurales, SUBDERE, a través de la Unidad de Saneamiento Sanitario y en apoyo a la gestión del GORE, administra la "Provisión Saneamiento Sanitario", acorde a lo establecido en la Ley de Presupuestos del Sector Público de cada año, lo cual le permite cofinanciar iniciativas de inversión relacionadas con sistemas de agua potable, alcantarillado sanitario, tratamiento de aguas servidas, disposición final de aguas tratadas, entre otras obras sanitarias.
 - j. Manejo y restauración de cauces. Se trata de actividades que requieren de la asignación de fondos públicos, sin embargo, no existe definido un destinatario para este tipo de iniciativas, ni presupuestos establecidos. Pudieran crearse mecanismos para favorecer e incentivar los aportes privados y la participación de las empresas interesadas.
 - k. Protección directa de glaciares. No existe un programa específico de financiamiento con este fin, por lo cual estas acciones quedarán condicionadas al

actuar de privados y, a las estratégicas institucionales de las entidades públicas interesadas y su cronograma de gastos y ejecución presupuestaria.

- I. Iniciativas para la restauración ambiental en espacios privados o en bienes nacionales. En bienes nacionales se requiere de la asignación de recursos públicos. Una limitación relevante es la inexistencia de una legislación que resuelva los problemas de financiamiento de los planes de restauración de los pasivos ambientales, los cuales debieran considerar recursos públicos y privados.

8.2.4 Aspectos normativos

Los aspectos normativos relevantes del PEGH guardan relación con las disposiciones existentes en las leyes y normativa vigente que pueden tanto facilitar y favorecer ciertas iniciativas como limitar y/o impedir otras. Actualmente, existen políticas y estrategias intersectoriales que promueven la coherencia entre políticas de agua (“Código de Aguas”) y áreas clave como, por ejemplo, medio ambiente (Ley 19.300 Bases Generales del Medio Ambiente), salud (Decreto 735 Reglamento de los Servicios de Agua Destinados al Consumo Humano), agricultura (Ley 18.450 Normas Para el Fomento de la Inversión Privada en Obras de Riego y Drenaje), planificación territorial (Decreto 458 Ley General de Construcciones y Urbanización), entre otros.

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 correspondientes 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.

8.2.5 Pasos en la implementación

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

- la identificación de responsabilidades institucionales;
- la buena acogida de la acción por parte de los beneficiarios;
- el financiamiento disponible;
- otras externalidades positivas o negativas propias de cada medida.

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

- El PEGH Elqui tiene un enfoque de gestión de cuenca; en ausencia de una institucionalidad pública de esta escala, la figura más próxima corresponde a la Dirección Regional de Aguas de la región de Coquimbo.
- DGA Regional es conocedora de la realidad territorial de una forma más próxima que, por ejemplo, podría tener DGA Nivel Central.
- DGA Regional mantiene vínculos con los actores territoriales, tanto públicos de otros servicios (DOH, CNR u otros) como actores.

Considerando la gobernanza como herramienta para gestionar la interacción de los sistemas políticos, sociales y económicos involucrados en la gestión de los recursos hídricos y la provisión de servicios de agua a diferentes niveles de la sociedad, resulta clave la generación de procesos interactivos que impliquen diversas formas de asociatividad, colaboración y negociación entre estos sectores (y actores).

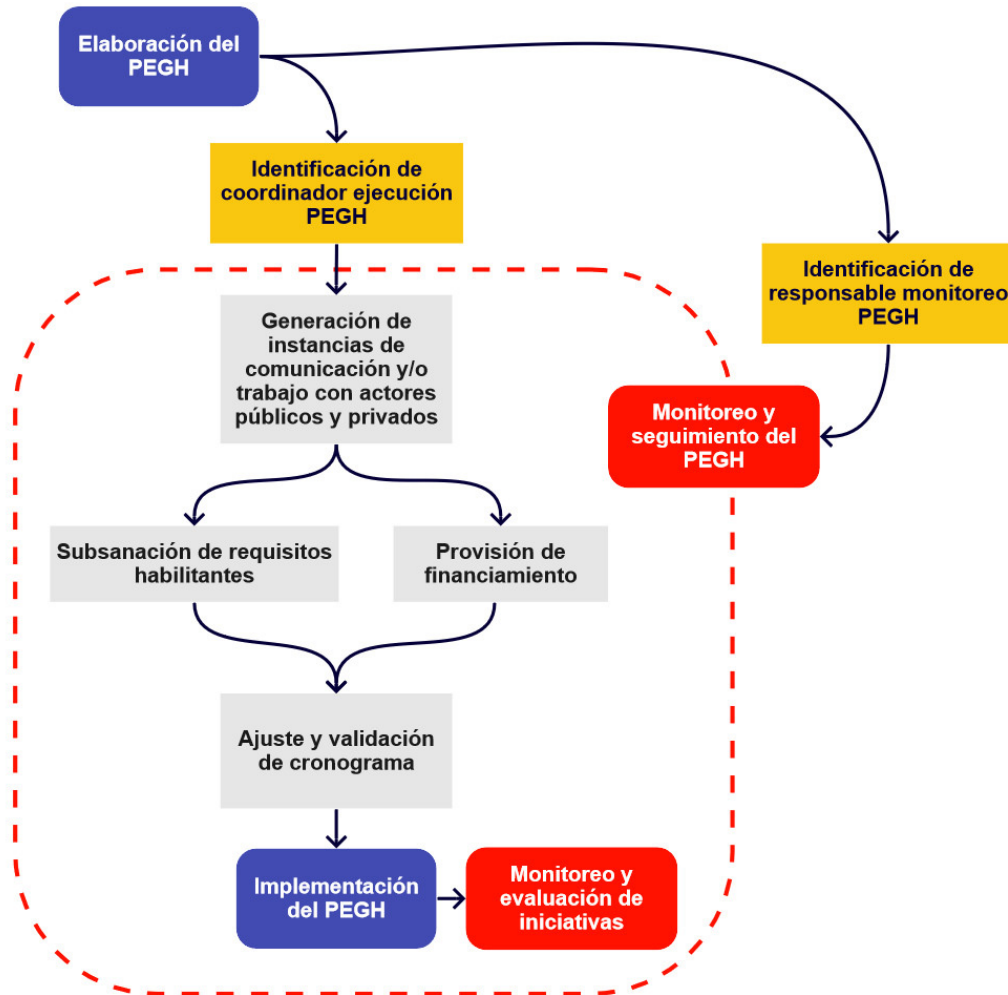
Respecto de la aceptación y la acogida de las medidas por parte de los diferentes actores, se debe considerar que las interacciones entre ellos (no conflicto, colaboración y confianza, u otra situación) pueden cambiar según el tema que los una o relacione y, en consecuencia, también pueden cambiar sus voluntades para hacerse partícipes de las acciones del Plan. No obstante, cabe señalar las consideraciones indicadas en la estrategia de comunicación definida y llevada a cabo posterior a la elaboración del presente PEGH, y expuesto en el acápite 8.3.2. Se pretende con ello asegurar que el proceso planificador sea cercano a los *stakeholders* y que pueda contribuir a una mejora continua.

La obtención del financiamiento, en general, irá de la mano con los lineamientos estratégicos de cada institución (principalmente pública) involucrada; para ello, se sugiere que DGA regional establezca una reunión inicial de trabajo invitando a los servicios públicos involucrados en el PEGH, con la finalidad de informar sobre los montos estimados por iniciativa para cada institución.

En relación a externalidades que puedan afectar la correcta ejecución de las iniciativas según la hoja de ruta propuesta (Figura 7.4-1 y Figura 7.4-2), es relevante considerar los aspectos institucionales, de cultura del agua, de financiamiento y normativo presentados en los acápites de 8.2.1 a 8.2.4.

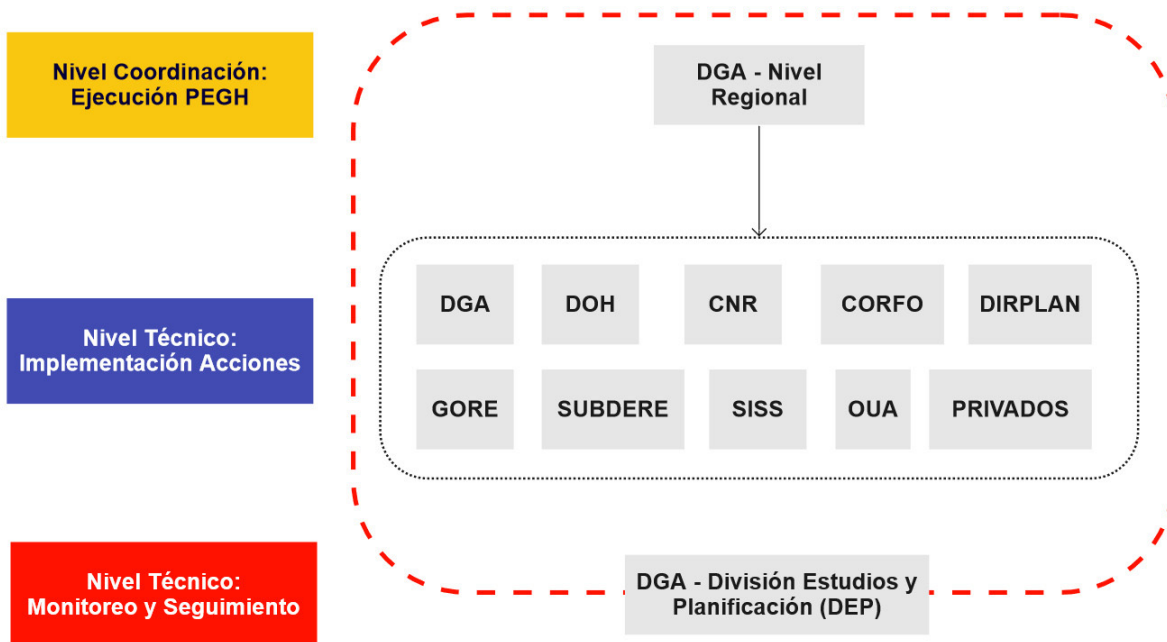
En paralelo a la implementación de las iniciativas del PEGH, el Plan de Monitoreo asociado permitirá un seguimiento y mejora de la pertinencia de las propuestas identificadas y su adaptación a lo largo del tiempo en caso oportuno; dicho Plan se describe en el acápite 9.1. Se sugiere que el monitoreo general del Plan podría realizarse desde DGA Nivel Central (por ejemplo, la División de Estudios y Planificación o quien designe el Director General), así como la evaluación de las iniciativas ejecutadas (acciones que aborda la propia DGA). Para el caso de acciones cuyo responsable sea otra institución diferente a la DGA, la evaluación de las iniciativas quedará supeditada a la información facilitada por esta, para lo cual será importante reforzar el diálogo interinstitucional.

En la Figura 8.2-1 se presenta un esquema básico de los pasos propuestos a seguir en la implementación de las iniciativas del PEGH, mientras que en la Figura 8.2-2 se presenta el modelo de gobernanza asociado.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 8.2-1 Esquema simplificado de los pasos de implementación de PEGH



Fuente: Elaboración propia.

Figura 8.2-2 Modelo de gobernanza del PEGH Elqui

Además, y con la finalidad de evitar duplicidades de las iniciativas propuestas debido a otros planes en acción o abordables en los próximos años por parte de otros servicios públicos, el coordinador PEGH deberá solicitar a los actores implicados en la implementación de acciones la cartera actualizada de sus medidas planificadas relacionada con los recursos hídricos en las instancias de trabajo indicadas en la Figura 8.2-1, con especial atención a aquellos organismos que manejan presupuestos propios (por ejemplo, GORE).

Por otra parte, y en el marco del cambio climático, el PEGH es un instrumento de adaptación, ya que permite ajustarse a la proyección de escasez que se ve altamente presionada por los cambios del clima futuros. Actualmente los PEGH son parte de los compromisos de Chile ante Naciones Unidas en el eje de adaptación del actual NDC (sigla en inglés de Contribución Nacional Determinada), específicamente en la variable de agua y saneamiento. Por ello se considera pertinente y necesario que el financiamiento e implementación del PEGH vaya en consonancia con la Estrategia Nacional Financiera frente al Cambio Climático (EFCC) elaborado por el Ministerio de Hacienda el 2019, y la Estrategia Climática de Largo Plazo actualmente en ejecución, coordinado a través del Ministerio del Medio Ambiente. En este contexto, el coordinador del PEGH Elqui y el responsable de cada iniciativa debe coordinar posibles accesos a financiamiento a través del Ministerio de Hacienda y la Oficina de Cambio Climático del Ministerio del Medio Ambiente.

Es importante mencionar que este desafío se ve acentuado por el nuevo escenario que enfrenta Chile al salir de la lista de países elegibles del Comité de Ayuda al Desarrollo (CAD) de la OECD; por lo que aumenta la presión por fortalecer la capacidad del Estado para coordinar financiamientos públicos, privados e internacionales.

8.3 ESTRATEGIA DE COMUNICACIÓN

La estrategia comunicacional del PEGH tiene que contemplar el universo de actores del territorio relacionados con materia hídrica en la cuenca del río Elqui. Para establecer esta estrategia, se presentan las actividades llevadas a cabo durante la consultoría, seguido de las propuestas futuras en este aspecto.

8.3.1 Comunicación y difusión durante el desarrollo del estudio

Los mecanismos de participación ciudadana utilizados en el estudio correspondieron a:

- i) la recopilación de antecedentes desde fuentes de información secundaria sobre actividades de participación realizadas anteriormente;
- ii) un proceso de información y consulta a través de reuniones con actores relevantes en la toma de decisiones sobre el recurso hídrico en la cuenca; y
- iii) un 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.

Por último, al finalizar el seminario de cierre, se enviará a los actores interesados la consolidación de los resultados presentados en dicha actividad a través de correo electrónico.

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 Plan de Acción en la cuenca del río Elqui. La presente estrategia corresponde a una pauta de interacciones con actores relevantes, así como otros actores del territorio identificados en el acápite 2.6.1.1.

La estrategia propuesta está conformada por dos objetivos:

- 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.

Respecto al primer objetivo, y dado que el público general es amplio, se sugiere que la DGA genere un correo electrónico institucional de contacto, el cual quede disponible para que el público general pueda hacer seguimiento, consultas o aportes, con el objetivo de transparentar el avance de las iniciativas del Plan. Así mismo, se recomienda la identificación de una persona referencial del servicio a nivel local (DGA Región Coquimbo) con conocimiento íntegro del PEGH que pueda resolver dudas o consultas de terceros sobre el avance de implantación 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 segundo 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 relevantes 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 preciso la coordinación de las reuniones pertinentes para aunar lineamientos interinstitucionales.

Cabe indicar que las actividades de participación ciudadana en el PEGH Elqui se limitaron a una reunión con actores relevantes y un seminario final; por lo anterior, y dado que no se generaron talleres grupales de trabajo, se reitera la conveniencia de mantener una comunicación fluida en instancias participativas, que pueda reforzar la visión recopilada hasta la fecha respecto de las soluciones estratégicas planteadas.

8.4 IDENTIFICACIÓN DE FUENTES DE FINANCIAMIENTO DEL PLAN

Las instituciones públicas y privadas implicadas en el financiamiento de las iniciativas del PEGH se han descrito en el acápite 7.3. En la Tabla 8.4-1 se presenta un resumen de los costos del Plan de Acción, según sea el mandante DGA u otras instituciones.

Tabla 8.4-1 Distribución de costos según mandante DGA u otros

Mandante	VAC [UF]	CAE [UF]
DGA	80.118	10.692
Otras instituciones	1.749.917	179.678
Total	1.830.036	190.370

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 9 MONITOREO Y EVALUACIÓN DEL PLAN

En este capítulo se detalla el Plan de Monitoreo del PEGH Elqui, así como los mecanismos para análisis y toma de decisiones asociados.

9.1 PLAN MONITOREO

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

La cartera de acciones del PEGH considera un total de 12 iniciativas, de las cuales ninguna está catastrada y las 12 corresponden a propuestas. El PM centrará como índice de cumplimiento, la implementación tanto las iniciativas propuestas como las catastradas; si bien estas últimas poseen sus propios tiempos de implementación establecidos y el PEGH no tiene injerencia directa sobre ellas, se considera fundamental, por coherencia del plan en su conjunto, aplicar el seguimiento correspondiente. Lo anterior supone un esfuerzo de coordinación entre los diferentes servicios públicos, pero justificando entendiendo que el recurso hídrico es un tema transversal y atañe a un amplio abanico de actores del territorio.

En la Tabla 9.1-1 se muestra la distribución de las iniciativas contenidas en el PEGH, considerando el tipo de acción (catastradas o propuestas) y los porcentajes en cada caso según su periodo de implementación.

Tabla 9.1-1 Distribución de iniciativas del PEGH según tipo de acción y horizonte de implementación

Horizonte	N° Iniciativas catastradas	Porcentaje iniciativas catastradas (%)	N° Iniciativas propuestas	Porcentaje iniciativas propuestas (%)
Corto plazo	-	-	8	66,7
Mediano plazo	-	-	3	25
Largo plazo	-	-	0	-
Total	0	0	12	100

Fuente: Elaboración propia.

El PM se centrará en dar seguimiento anualmente a los indicadores establecidos para los primeros 5 años, debido al elevado número de iniciativas recogidas en ese horizonte, y sobre todo considerando potenciales reformulaciones futuras del PEGH al final de dicho periodo. Por lo anterior, para el periodo posterior (mediano y largo plazo), el PM asociado deberá ser evaluado, actualizado y rediseñado según lo indicado en el punto 9.2 relativo a los mecanismos para el análisis y toma de decisiones.

Se propone, de acuerdo a lo establecido en el acápite 8.2.5 y reflejado en la Figura 8.2-1, que la responsabilidad de la coordinación para la ejecución general del PEGH sea de la DGA regional, a través de la figura del coordinador PEGH establecido por el propio servicio, mientras que el monitoreo y control se realice desde DGA nivel central, por quien designe el Director General (se sugiere, como opción, la División de Estudios y Planificación). Se resalta la importancia de mantener instancias periódicas de reunión entre estas dos figuras para alcanzar los resultados esperados de implementación del PEGH.

A continuación, se presentan los indicadores y el seguimiento definido en el PM.

9.1.1 Indicadores de evaluación de las iniciativas

En cada una de las iniciativas identificadas en el PEGH se ha identificado uno o varios indicadores de evaluación de las acciones, con el objetivo de analizar de forma particular los resultados obtenidos con su implantación respecto el objetivo esperado y su problemática original. Estos indicadores se presentan en el Anexo K.3.

9.1.2 Indicadores del PEGH

La metodología para la definición de los indicadores del Plan de Monitoreo asociado al PEGH Elqui se exponen en el acápite 3.6.7 del Anexo F; seguidamente se particularizan dichos indicadores:

- **Indicadores Generales:** PIC, PICa, PIF y PIFa.
- **Indicadores Específicos:** Porcentaje de avance de la implementación de las 2 iniciativas propuestas de gobernanza que poseen efecto directo y estratégico en el éxito de ejecución de otras iniciativas de diferentes tipologías (OH, MG, NF y/u OM) y del instrumento en su conjunto: a) Programa de capacitación para la conformación de Comunidades de Aguas Subterráneas en la cuenca del río Elqui (MG-02) (iniciativa 1), y b) Implementación de sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas servidas para sistemas APR en localidades rurales concentradas de la cuenca del río Elqui (OH-03) (iniciativa 2). Lo anterior se refuerza con el hecho de que la participación de los potenciales beneficiarios en cada medida del PEGH refuerza el éxito de las mismas, y que las instancias generadas en un marco de buenas prácticas derivadas del servicio de facilitación son necesarias para dicho objetivo.

En el apartado 9.1.3 se detalla el seguimiento del PEGH Elqui con los indicadores presentados anteriormente, así como el Plan de Acción.

9.1.3 Seguimiento del PEGH

El seguimiento del PEGH Elqui se expone en la Tabla 9.1-2, detallando los indicadores generales y específicos, los parámetros de referencia en cada caso y el umbral establecido.

Tabla 9.1-2 Seguimiento del PEGH Elqui

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 finalizadas 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	Iniciativa N° 1: MG-01 100% año i
		Iniciativa N° 2: OH-03 50% año $i+5$

Fuente: Elaboración propia.

Según lo establecido en el apartado 9.1.2, se presenta seguidamente el Plan de Acción a considerar en el supuesto que no se hayan cumplido con los umbrales fijados en la Tabla 9.1-2, teniendo en cuenta que el PM se divide en dos periodos. los primeros 4 años y el año 5:

- **Primer periodo (año i hasta $i+4$):** El objetivo del Plan de Acción en este periodo consiste en reprogramar o replanificar las iniciativas que se encuentren atrasadas para el año siguiente al originalmente programado. Su valor corresponderá al número de iniciativas mínimas programadas para un determinado año (PIC, 80% anual) más las iniciativas retrasadas acumuladas.
- **Segundo periodo (año $i+5$):** El objetivo del Plan de Acción en este periodo es analizar si el PEGH ha cumplido en un 100% con su planificación. En caso negativo, el PM entregará el número de iniciativas que no fueron ejecutadas, información que será una variable de entrada en la evaluación, actualización y rediseño del PEGH, a través de los mecanismos para el análisis y toma de decisiones (apartado 9.2).

9.2 MECANISMOS PARA EL ANÁLISIS Y TOMA DE DECISIONES

La planificación tiene una componente dinámica, más aún 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). 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:

- a) Actualización del diagnóstico en la cuenca del río Elqui 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.
- b) Actualización de la cartera actual de acciones, tanto a nivel público como privado.
- c) 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.
- d) Evaluación de las condiciones habilitantes de las iniciativas no ejecutadas.
- e) Evaluación del resultado del Plan de Monitoreo el año $i+4$, mediante la cuantificación de las iniciativas no comenzadas/finalizadas del PEGH.

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

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