



**GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS**

**DIRECCIÓN REGIONAL DE AGUAS –
REGIÓN DE COQUIMBO**

PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA EN LAS CUENCAS DE LIGUA, PETORCA Y QUILIMARÍ

CUENCA RÍO QUILIMARÍ

INFORME FINAL

REALIZADO POR:

**UTP PLATAFORMA DE INVESTIGACIÓN EN
ECOHIDROLOGÍA Y ECOHIDRÁULICA LIMITADA
ECOHD Y UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO UV**

S.I.T N°458

SANTIAGO, AGOSTO 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 Estudios y Planificación
Ingeniero Civil Sr. Mauricio Lorca Miranda**

**Inspectora Fiscal
Ingeniera Civil Sra. Andrea Osses Vargas**

**Inspectores Fiscales Subrogantes
Ingeniero Civil Sr. Paul Dourojeanni Schlotfeldt
Ingeniero Civil Agrícola Sr. Héctor Neira Opazo**

**Especialista SIG
Cartógrafo Sr. Guillermo Tapia Molina**

**Asesor Modelación Integrada
Pedro Sanzana Cuevas**

**UTP PLATAFORMA DE INVESTIGACIÓN EN ECOHIDROLOGÍA Y
ECOHIDRÁULICA LIMITADA – ECOHYD Y UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO UV
(UTP ECOHYD-UV)**

**Jefe de Proyecto
Ingeniero Civil Sr. Matías Peredo Parada**

**Profesionales Equipo Especialistas
Bióloga Sra. Rafaela Retamal Díaz
Ingeniero Civil Sr. David Poblete López
Ingeniera Civil Sra. Diana Quevedo Tejada
Ingeniera Ambiental Sra. Anahí Ocampo Melgar
Ingeniera Civil Sra. Pilar Barría Sandoval
Ingeniero Civil Alonso Arriagada Monreal
Ingeniero Civil Sr. Oscar Melo Contreras**

**Profesionales Equipo Complementario
Biólogo Marino y Ambiental Sr. Shaw Nozaky Lacy
Ingeniero Civil Sr. Felipe Figueroa Barrientos
Ingeniero Civil Sr. Diego Soto Rodríguez
Socióloga Sra. Camila Donoso Acosta
Antropólogo Social Sr. Mauricio Cortez
Ingeniero Civil Sr. Juan Pablo Herane
Ingeniero Forestal Sr. Raúl Díaz Vasconcellos
Ingeniero Civil Sr. Felipe Aguilar Morales
Geógrafo Sr. Carlos Olivares Gómez
Licenciado en Recursos Naturales Sr. Cristián Soto Moya**

ESTRUCTURA DEL INFORME FINAL EMPASTE Y DOCUMENTOS ANEXOS

- **Informe final**
- **Resumen ejecutivo**
- **Anexo A - Abreviaturas**
- **Anexo B - Referencias**
- **Anexo C - Glosario**
- **Anexo D- Figuras**
- **Anexo E - Antecedentes recopilados**
- **Anexo F – Aspectos metodológicos del plan de cuenca**
- **Anexo G - Proyecto SIG**
- **Anexo H - Modelo hidrológico acoplado**
- **Anexo I – Detalles procesos participativos**
- **Anexo J – Descripción y diagnóstico de la cuenca**
- **Anexo K - Plan de acción**

ÍNDICE

Página

1. INTRODUCCIÓN	9
1.1. OBJETIVOS	11
1.1.1. Objetivo general.....	11
1.1.2. Objetivos específicos.....	11
2. CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA	13
2.1. Dimensión física y económica	15
2.1.1. Geomorfología	15
2.1.2. Geología e hidrogeología	17
2.1.3. Edafología	20
2.1.4. Red de drenaje y acuífero.....	22
2.1.5. Aspectos políticos-administrativos	24
2.1.6. Demografía.....	27
2.1.7. Actividad económica	31
2.2. Clima	35
2.2.1. Caracterización climática	35
2.2.2. Recursos hídricos	37
2.2.3. Valores extremos	38
2.2.4. Escenarios de cambios climáticos	39
2.3. Infraestructura Hídrica	40
2.3.1. Obras hidráulicas y de riego.....	40
2.3.2. Redes de monitoreo.....	44
2.3.3. Captaciones de agua potable	51
2.3.4. Plantas de tratamiento de aguas servidas.....	51
2.4. Nuevas fuentes de agua.....	52
2.4.1. Acuíferos profundos	52
2.4.2. Recarga de acuíferos.....	52
2.4.3. Desalinización	52
2.4.4. Cosecha de aguas lluvia y captación de humedad en el aire	53
2.4.5. Uso aguas servidas tratadas	53
2.5. Dimensión ambiental	54
2.5.1. Calidad del agua.....	54
2.5.2. Unidades Ecosistémicas.....	55
2.6. Gobernanza del agua a nivel de Cuenca	60
2.6.1. Mapa de agentes	60
2.6.2. Débil presencia y actividad de Organizaciones de Usuarios de Agua	64
2.6.3. Brechas de coordinación	66
2.6.4. Modelo de gobernanza propuesto	68
3. DEMANDA	74
3.1. Consumo Humano rural	74

3.1.1. Histórico y actual.....	76
3.1.2. Proyectado	77
3.1.3. Eficiencia del uso.....	78
3.2. Demandas Ambientales	78
3.2.1. Demanda Evapotranspiración.....	78
3.2.2. Caudal Ecológico	79
3.2.3. Diagnóstico y brechas identificadas en demandas ambientales	80
3.3. Demanda Agrícola.....	81
3.3.1. Demanda actual	81
3.3.2. Demanda agrícola Histórica	82
3.3.3. Demanda Proyectada	83
3.3.4. Eficiencia del uso.....	83
3.4. Demanda de otros usos	84
<u>4. OFERTA HÍDRICA.....</u>	<u>84</u>
4.1. Agua superficial.....	84
4.1.1. Oferta de agua	85
4.1.2. Restricciones de uso	87
4.1.3. Calidad de Aguas.....	88
4.1.4. Derechos concedidos en aguas superficiales.....	90
4.2. Agua subterránea	91
4.2.1. Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común	91
4.2.2. Restricciones de uso	93
4.2.3. Stock, recarga y calidad actual.....	93
4.2.4. Stock, recarga y calidad histórica y proyectada	94
4.2.5. Derechos concedidos en aguas subterráneas.....	95
<u>5. BALANCE DE AGUA (OFERTA Y DEMANDA).....</u>	<u>97</u>
5.1. Modelo de simulación	97
5.2. Situación actual	103
5.2.1. Balance hídrico.....	103
5.2.2. Balance hidrogeológico.....	103
5.3. Situación proyectada	105
5.3.1. Balance hídrico.....	105
5.3.2. Balance hidrogeológico.....	106
5.4. Brechas (desbalance, eficiencia, gestión OUA)	108
5.4.1. Brecha histórica	108
5.4.2. Brecha futura.....	110
5.4.3. Brecha de medio ambiente	111
5.4.4. Brechas de información	112
5.5. Sustentabilidad.....	114
5.5.1. Resultados de los criterios	115
5.6. Indicadores hídricos de la cuenca.....	118
5.6.1. Indicadores bajo condición histórica.....	118
5.6.2. Indicadores bajo condición futura	120
5.7. Análisis de sensibilidad.....	121
5.7.1. Descripción escenarios de simulación	121

5.7.2. Resultados obtenidos y comparación de escenarios.....	123
5.8. Mercado de aguas.....	125
5.8.1. Aspectos generales.....	125
5.8.2. Descripción de la dinámica del mercado de aguas en la cuenca del río Quilimarí	126
<u>6. ACCIONES DEL PLAN</u>	<u>127</u>
6.1. Gobernanza e institucionalidad.....	128
6.2. Recuperación de Acuíferos.....	130
6.3. Nuevas fuentes de agua.....	132
6.4. Mejoras de eficiencia	134
6.5. Sistemas de Información	136
6.6. Capital humano.....	139
6.7. Fortalecimiento y Formación de Organizaciones de Usuarios de Agua	141
6.8. Medio Ambiente	143
<u>7. CARTERA DE INICIATIVAS.....</u>	<u>145</u>
7.1. Impacto sobre la brecha	147
7.2. Evaluación económica.....	149
7.3. Plazos de implementación de las acciones	151
7.4. Beneficio percibido por los actores locales	153
7.5. Alternativas seleccionadas	154
7.6. Evaluación conjunta.....	157
7.7. Líneas de acción	161
<u>8. IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN.....</u>	<u>162</u>
8.1. Hitos de referencia en la implementación del Plan	162
8.2. Estrategia de implementación	163
8.2.1. Aspectos institucionales	164
8.2.2. Aspectos de cultura del Agua	165
8.2.3. Aspectos de financiamiento.....	167
<u>9. MONITOREO Y EVALUACIÓN DEL PLAN.....</u>	<u>168</u>
9.1. Plan de Monitoreo.....	168
9.1.1. Indicadores de déficit hídrico	168
9.1.2. Indicadores de gestión	169
9.1.3. Indicadores de información.....	169
9.1.4. Indicadores de inversión	169
9.1.5. Seguimiento	169
9.2. Mecanismos para el análisis y toma de decisiones.....	170
<u>10. BRECHAS E INSTANCIAS DE MEJORAS.....</u>	<u>170</u>
10.1. Información y conocimiento de la cuenca	170
10.2. Implementación del modelo hidrológico acoplado	170
10.3. Efectividad de las iniciativas propuestas	171

ÍNDICE DE FIGURAS

Página

Figura 1-1. Mapa conceptual metodológico del Plan Estratégico de Gestión Hídrica en la cuenca Río Quilimarí.	10
Figura 2-1. Área de estudio.....	14
Figura 2-2. Geomorfología de la cuenca.....	16
Figura 2-3. Geología de la cuenca.....	19
Figura 2-4. Edafología de la cuenca.....	21
Figura 2-5. Red de drenaje y acuífero en la cuenca.	23
Figura 2-6. División político-administrativa de la cuenca.	25
Figura 2-7. Pirámide poblacional por sexo y edad.	28
Figura 2-8. Distribución porcentual de la población comunal por unidad administrativa..	30
Figura 2-9. Distribución porcentual de las actividades económicas en la comuna.	34
Figura 2-10 Clasificación climática de Köppen-Geiger escala 1:1.500.000.	36
Figura 2-11. Climograma estación meteorológica Los Cóndores operada por DGA para el periodo 1977-2019.	37
Figura 2-12. Media móvil caudales Río Quilimarí.	38
Figura 2-13. Ubicación del embalse Culimo.	41
Figura 2-14. Canales presentes en la cuenca del río Quilimarí.	43
Figura 2-15. Estaciones meteorológicas presentes en la cuenca del río Quilimarí.	46
Figura 2-16. Estaciones de calidad del agua superficial y subterránea presentes en la cuenca del río Quilimarí.....	47
Figura 2-17. Estaciones de niveles de pozos presentes en la cuenca del río Quilimarí. ...	48
Figura 2-18. Estaciones meteorológicas operadas por INIA, CEAZA y DMC.....	50
Figura 2-19. Diagrama Piper y figuras de la conductividad eléctrica y pH para la estación "Río Quilimarí en Los Condores" (04901001-K).	55
Figura 2-20. Humedales presentes en la cuenca de Quilimarí, basada en los datos del inventario de humedales del MMA.....	57
Figura 2-21. Localización Áreas Silvestres Protegidas del Estado SNASPE en la cuenca Río Quilimarí.	59
Figura 2-22. Mapa principales actores en la cuenca de Quilimarí.....	61
Figura 2-23. Mapa de interacción de los principales actores en la cuenca de Quilimarí. ..	62
Figura 2-24. Estado de las OUAs en Quilimarí.....	63
Figura 2-25. Autoevaluación de las organizaciones de usuarios de agua en la cuenca de Río Quilimarí.	67
Figura 2-26. Modelo de gobernanza propuesto.	72
Figura 3-1. Sistemas SSR en la cuenca Río Quilimarí.....	75
Figura 3-2. Evolución histórica de consumo de agua potable (1979-2018).	76
Figura 3-3. Evolución de consumo de agua potable entre 2019-2050.	77
Figura 3-4. Demanda ambiental de la vegetación en estado natural para un año medio hidrológico.....	79

Figura 3-5. Caudal ecológico mensual, SHACs en la cuenca del río Quilimarí	80
Figura 3-6. Evolución histórica de la demanda agrícola para la cuenca del río Quilimarí. 83	
Figura 3-7. Evolución histórica de la eficiencia de uso para demanda agrícola en la cuenca del río Quilimarí.....	84
Figura 4-1. Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común (SHAC) en la cuenca Río Quilimarí.	92
Figura 4-2. Distribución de los derechos de aprovechamiento de aguas subterráneos	97
Figura 5-1 Topología entre modelos WEAP-MODFLOW y flujos de intercambio para cada paso de tiempo	98
Figura 5-2. Dirección de flujos que se tienen entre las distintas unidades de modelación de la cuenca del río Quilimarí.	98
Figura 5-3. Diagrama de flujo de acuíferos de WEAP que hace la interacción con MODFLOW en la cuenca del río Quilimarí.	99
Figura 5-4. Semáforo de indicadores de eficiencia caudales superficiales – KGE.....	101
Figura 5-5. Indicador de eficiencia Sesgo en pozos monitoreados por DGA.	102
Figura 5-6. Balance hídrico anual en la cuenca del río Quilimarí.....	103
Figura 5-7. Demanda insatisfecha para riego en la cuenca del río Quilimarí.....	108
Figura 5-8. Demanda insatisfecha para agua potable rural en la cuenca del río Quilimarí.	109
Figura 5-9. Brecha hídrica en cuenca del río Quilimarí.	110
Figura 5-10 Déficit hídrico medio proyectado para la década 2040-2050 en la cuenca del río Quilimarí considerando escenario MIROC	111
Figura 7-1. Distribución del impacto de reducción de la brecha en cada eje definido....	148
Figura 7-2 Comparación de la evolución temporal de la brecha agrícola bajo la condición histórica, futura y con la activación del Plan de la cuenca del río Quilimarí	160
Figura 7-3 Comparación de la evolución temporal de la brecha de agua potable bajo la condición histórica, futura y con la activación del Plan de la cuenca del río Quilimarí ...	160

ÍNDICE DE TABLAS

Página

Tabla 2-1. División hidrológico-administrativa de la cuenca.....	26
Tabla 2-2. División hidrogeológico-administrativa de la cuenca.....	26
Tabla 2-3. Distribución de la población de la cuenca por unidad administrativa.....	29
Tabla 2-4. Indicadores del ámbito educación levantados en el Censo 2017.	31
Tabla 2-5. Número de trabajadores según las principales actividades económicas en la comuna Los Vilos 2017-2019.	32
Tabla 2-6. Número de empresas según las principales actividades económicas en la comuna Los Vilos 2017-2019.	33
Tabla 2-7. Factores para la precipitación mensual [mm].....	39
Tabla 2-8. Características del Embalse Culimo.....	42
Tabla 2-9. Catastro de estaciones de monitoreo de la red hidrométrica DGA, incluyendo estaciones vigentes y suspendidas.....	45
Tabla 2-10. Ubicación de las estaciones meteorológicas que no pertenecen a la Dirección General de Aguas	49
Tabla 2-11. Captaciones de agua potable presentes en la cuenca.	51
Tabla 2-12. Número y área de superficie asociado a humedales distintos en la cuenca Río Quilimarí	56
Tabla 2-13. Áreas de restricción definidas por la DGA en la cuenca del río Quilimarí.....	65
Tabla 2-14. Escalas de intervención en los diferentes modelos de gobernanza.....	69
Tabla 3-1. Población de 2018 abastecida por SSR.....	74
Tabla 3-2. Demanda hídrica actual de consumo de agua potable por SHAC (Mm ³ /año), año 2020.....	76
Tabla 3-3 Demanda hídrica proyectada de consumo de agua potable rural y urbana por SHAC (Mm ³ /año), años 2030-2050	78
Tabla 3-4. Demanda agrícola neta en 2018 por SHAC.	81
Tabla 4-1. Valores medios decadales de la disponibilidad natural en la cuenca del río Quilimarí.	86
Tabla 4-2. Los decretos históricos de zonas de escasez que han afectado la cuenca Río Quilimarí.	88
Tabla 4-3. Derechos de aprovechamiento de aguas superficiales en la cuenca del río Quilimarí.	91
Tabla 4-4. Resoluciones de área de restricción y zona de prohibición para extracciones de aguas subterráneas dentro de la cuenca Río Quilimarí.	93
Tabla 4-5. Recarga directa promedio decadal proyectado en la cuenca.	95
Tabla 4-6 Derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en la cuenca Río Quilimarí	95
Tabla 5-1. . Balance hídrico subterráneo, situación histórica	104
Tabla 5-2. . Balance hídrico subterráneo, situación histórica	107
Tabla 5-3 Carencia de cantidad de estaciones de monitoreo en la cuenca del río Quilimarí	112

Tabla 5-4. Criterio de sustentabilidad 1 dividido por SHAC	115
Tabla 5-5. Caudales de oferta y demanda por SHAC.	117
Tabla 5-6 Indicadores de brecha, cobertura de la demanda y variación del acuífero para la condición histórica en la cuenca del río Quilimarí.	119
Tabla 5-7 Indicadores de brecha, cobertura de la demanda y variación del acuífero para la condición futura en la cuenca del río Quilimarí.....	120
Tabla 5-8. Escenarios generados para simulación de efectividad de las medidas.	121
Tabla 5-9 Escenarios generados para simulación de efectividad de las medidas	122
Tabla 5-10 Resultados de la simulación futura en la cuenca del río Quilimarí como promedio decadal 2040-2050.....	124
Tabla 5-11 Información de transacciones de DAA en la comuna de los Vilos	126
Tabla 5-12 Información de transacciones de DAA en la cuenca del río Quilimarí.....	127
Tabla 6-1 Resumen de las acciones necesarias para disminuir las brechas identificadas sobre la gobernanza en el río Quilimarí.....	129
Tabla 6-2 Resumen de las acciones necesarias para disminuir las brechas identificadas sobre la recuperación de acuíferos en el río Quilimarí	131
• Tabla 6-3 Resumen de las acciones necesarias sobre la incorporación de nuevas fuentes identificadas sobre la demanda insatisfecha en la cuenca del río Quilimarí	133
Tabla 6-4 Resumen de las acciones necesarias sobre el aumento en la eficiencia de riego identificadas sobre la demanda insatisfecha en la cuenca del río Quilimarí	135
Tabla 6-5 Resumen de las acciones necesarias para disminuir las brechas identificadas sobre los sistemas de información en el río Quilimarí	137
Tabla 6-6 Resumen de las acciones necesarias para disminuir las brechas identificadas sobre el capital humano en la gestión del recurso hídrico en el río Quilimarí.....	140
Tabla 6-7 Resumen de las acciones necesarias para disminuir las brechas identificadas sobre las OUA en la cuenca del río Quilimarí	142
Tabla 6-8 Resumen de las acciones necesarias para disminuir las brechas identificadas sobre las unidades ambientales y sus servicios ecosistémicos en la cuenca del río Quilimarí	144
Tabla 7-1. Regla de priorización utilizada en la cuenca del río Quilimarí.	147
Tabla 7-2. Plazos de implementación de las acciones.	151
Tabla 7-3. Priorización de las acciones definidas	155
Tabla 7-4. Resultados de la simulación del plan PEGH en la cuenca Río Quilimarí y su comparación con el escenario futuro.	159
Tabla 8-1 Hitos de referencia en cada plazo de tiempo de implementación del PEGH...	162
Tabla 8-2. Rol de las instituciones sectoriales y regionales en la implementación del Plan.	165

1. INTRODUCCIÓN

La Dirección General de Aguas (DGA) es el organismo del Estado de Chile que se encarga de planificar el desarrollo del recurso agua en las fuentes naturales, con el fin de formular recomendaciones para su aprovechamiento, promoviendo su gestión y administración en un marco de sustentabilidad, interés público y asignación y uso eficiente, tanto para el consumo humano, como la producción de bienes y servicios y la conservación del medio ambiente.

Actualmente, dicho contexto es complejo. Se combina la necesidad de información para apoyar una gestión integrada del agua a nivel de cuenca con una alta presión de uso sobre los recursos hídricos en sus diferentes formas y un clima cambiante con pronósticos poco alentadores a nivel mundial de acuerdo al *Intergubernamental Panel for Climate Change* (IPCC, 2014), que acentúan procesos como la megasequía que se vive en Chile desde 2010 (Núñez y Verbist, 2018).

Considerando lo anterior, la DGA inició un plan a nivel país para llevar a cabo el desarrollo de planes estratégicos de gestión hídrica para todas las cuencas del territorio nacional, priorizando la ejecución de estos según la alta presión de uso y la ubicación de la cuenca o cuencas en estudio en zonas afectadas por la crisis climática global y el efecto de la megasequía.

Es así como la cuenca Río Quilimarí entró en proceso de ser estudiada desde una visión integral, a escala de cuenca y en un horizonte de tiempo de 30 años al futuro, que permita a los tomadores de decisiones gestionar el recurso hídrico de la cuenca considerando las necesidades de todos los actores relevantes.

El presente informe muestra el trabajo realizado para la elaboración del Plan Estratégico de Gestión de la cuenca Río Quilimarí, buscando ser un referente para la Dirección General de Aguas al permitirle conocer la oferta, la demanda actual de agua, determinar un balance hídrico y sus proyecciones futuras.

Este plan consideró diversas actividades que interactuaron entre sí, de tal forma que permitieron el diseño de un plan estratégico de gestión hídrica en la cuenca, PEGH *ad hoc* para la cuenca (ver Figura 1-1). Las principales actividades desarrolladas fueron:

1. Recopilación y sistematización de antecedentes.
2. Descripción de la cuenca.
3. Diagnóstico de la cuenca.
4. Modelación hidrológica integrada.
5. Participación ciudadana.
6. Plan de acción.
7. Proyecto de Sistema de Información Geográfica SIG.

Es así como se inició con la caracterización o descripción de la cuenca en ámbitos como aspectos físicos y geográficos, clima, recursos superficiales y subterráneos, infraestructura, calidad de agua y medio ambiente y gobernanza en institucionalidad.

A continuación, se llevará a cabo el diagnóstico de la cuenca a hoy día y a 30 años más, pudiendo determinar la brecha existente entre un estado ideal de la cuenca o para no

perder el estado actual diagnosticado. Para el desarrollo del diagnóstico fue fundamental el desarrollo de las entrevistas, reuniones sectoriales y talleres de diagnóstico, actividades de Participación Ciudadana.



Figura 1-1. Mapa conceptual metodológico del Plan Estratégico de Gestión Hídrica en la cuenca Río Quilimarí.

Fuente: Elaboración propia a partir de los requerimientos planteados en las Bases Técnicas 1019-68-LQ19 (Resolución D.G.A. Exenta 1582, 21 de agosto de 2019).

De forma simultánea se desarrollaron la modelación superficial en la plataforma WEAP, la modelación hidrogeológica en MODFLOW, y la integración de ambos modelos; las actividades de participación ciudadana y la elaboración del sistema de información geográfica del PEGH.

Los productos obtenidos de la modelación son fundamentales para el PEGH ya que apoyaron en el análisis de las estrategias de desarrollo, con el fin de tomar las decisiones en función

de la mejor información disponible permanentemente. Por su parte, las instancias de participación ciudadana fueron fundamentales en tanto nos acercaron al territorio y permitieron conocer desde la fuente las problemáticas locales tanto acerca del recurso hídrico como de gobernanza e institucionalidad. Finalmente, el sistema de información geográfica facilitó la presentación de la información territorial, su actualización, manipulación y modificaciones futuras, dando trazabilidad y permanencia al conocimiento generado a nivel espacial.

En conjunto, todas estas actividades dieron soporte al diseño del PEGH a 30 años, iniciando por la creación de un portafolio de acciones cuyo objetivo es cerrar las brechas identificadas en los ámbitos de coordinación, información y balance hídrico; priorizando estas en términos económicos, temporales y de impacto en la brecha y la definición de las instituciones y actores involucrados; y, finalmente, poniendo a disposición una hoja de ruta realizable y medible a corto, mediano y largo plazo.

Este PEGH está dirigido principalmente a la DGA, de acuerdo a las funciones otorgadas en el Art. 299 del DFL 1122 (29-Oct-1981, Ministerio de Justicia, Fija Texto del Código de Aguas), y a todas las instituciones del Estado de Chile vinculadas con el uso y gestión del recurso hídrico: Dirección de Obras Hidráulicas DOH, Ministerio de Medioambiente, Ministerio de Agricultura, Ministerio de Energía, Ministerio de Minería, Gobiernos Regionales, entre otras. Así mismo, se privilegia y potencia la participación de Organizaciones de Usuarios de Aguas, Empresas privadas, Sociedad Civil, y todos los usuarios finales en la generación de alianzas público-privadas conducentes a la gestión eficiente del agua y la adaptación de las diversas actividades de desarrollo socioeconómico y medioambiental al cambio climático para así poder satisfacer las necesidades actuales y de futuras generaciones.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo general

Proponer un plan estratégico indicativo para la cuenca del río Quilimarí para que en su realidad se pueda conocer oferta y demanda actual de agua, establecer balance hídrico y sus proyecciones a 30 años, diagnosticar el estado de información, infraestructura e instituciones que toman decisiones respecto al recurso hídrico, y proponer cartera de acciones DGA y público-privado, que permitan suplir la demanda de agua y adaptación al cambio climático, con un portafolio de acciones que aseguren su abastecimiento en cantidad y calidad.

1.1.2. Objetivos específicos

1. Conocer el estado actual de la cuenca Río Quilimarí en cuanto a oferta, demanda, balance de agua y sus respectivas herramientas de cálculo (modelos), control de extracciones, calidad fisicoquímica de fuentes de agua superficiales y subterráneas, gobernanza y red hidrométrica superficial y subterránea de calidad.

2. Actualizar los modelos de simulación hidrológicos, e integrarlos a nivel superficial-subterráneo.
3. Definir acciones para restaurar condiciones de abastecimiento y calidad de las fuentes de agua potable rural y urbana, por tipo de usuario, tanto para fuentes superficiales como subterráneas
4. Diagnosticar estado de la calidad de agua de las fuentes superficiales y subterráneas. Definir acciones para proteger funciones ecosistémicas críticas relacionadas con los cuerpos de agua en el tiempo.
5. Diagnosticar el estado de infraestructura hidráulica actual y proponer acciones para mejorar el monitoreo de las aguas de la cuenca (superficial y subterráneo)
6. Identificar brechas entre la oferta y la demanda de agua en distintos escenarios de cambio climático, sequía e inundaciones, estableciendo un portafolio de acciones (estrategias de gestión) para reducirlas. Se deberá establecer un caso base y distintos escenarios para la evaluación.
7. Entregar estrategias para mejorar la toma de decisiones, mediante la utilización de modelos operativos de gestión, los cuales deben tener escenarios planificación a corto, mediano y largo plazo, y ser adaptativos en el tiempo.
8. Entregar estrategias para promover y revitalizar la alianza público-privada ay así incrementar cualitativamente la inversión requerida en infraestructura.

2. CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA

En el presente capítulo se describen las principales características de la cuenca Río Quilimarí, tanto a nivel geográfico, como de aspectos político-administrativos, demográficos y relativos a su actividad económica. Asimismo, se recopilieron 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 (obras de riego, agua potable, extracciones, red hidrométrica de la DGA).

La cuenca Río Quilimarí se ubica en el extremo sur de la Región de Coquimbo, en la comuna de Los Vilos (ver Figura 2-1). Esta cuenca exorreica, de forma alargada y orientación este-oeste, tiene un tamaño de 783,4 km² (DGA, 2019d), siendo el principal curso el Río Quilimarí que le da su nombre, el cual desemboca al mar junto al balneario de Pichidangui.

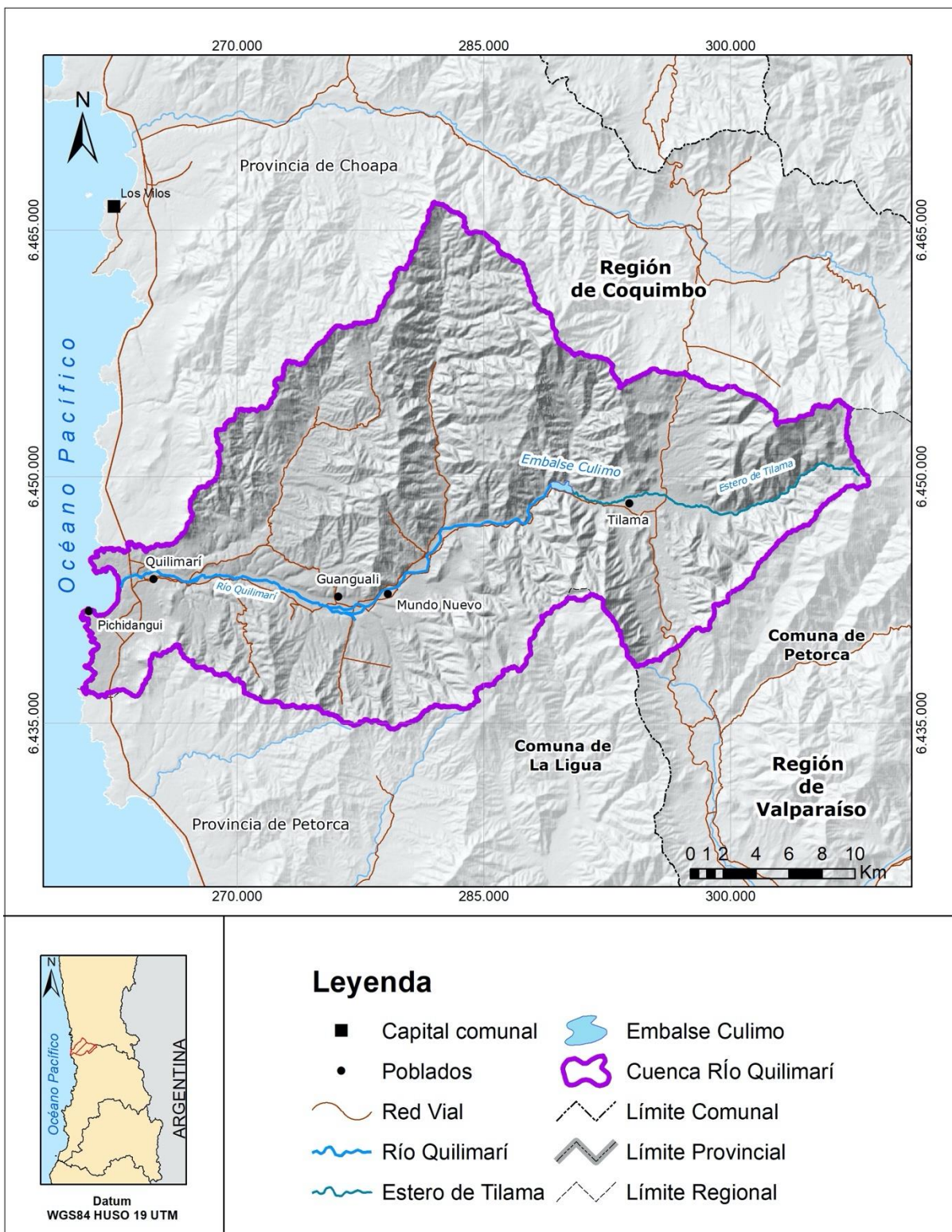


Figura 2-1. Área de estudio.

Fuente: Elaboración propia a partir de información contenida en la Mapoteca Digital DGA (DGA, 2019d).

2.1. Dimensión física y económica

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

2.1.1. Geomorfología

En la cuenca Río Quilimarí no se desarrolla la unidad geomorfológica de Depresión Central (la cual se reconoce en el resto de Chile) lo cual impide hacer una posible diferenciación entre la Cordillera de la Costa y la Cordillera principal (Charrier *et al.*, 2007).

Sin embargo, de acuerdo a la geomorfología desarrollada por R. Börgel en 1983 en I. M. de Los Vilos (2019a), para el segmento comprendido entre los 30° S y 33° S, están presentes dos grandes unidades de relieve (ver Figura 2-2):

- Franja Litoral o planicie marina o fluvio-marina: unidad de altura y ancho variable, fluctuando este último parámetro entre algunos centenares de metros y decenas de kilómetros. Se caracteriza por la presencia de una serie de terrazas marinas (generalmente tres), labradas sobre rocas de diversos tipos (metamórficas, granitos y areniscas recientes poco consolidadas).
- Cordones transversales: los cuales comprenden la Cordillera de la Costa, como la cadena montañosa más próxima al mar, compuesta por cerros que rara vez sobrepasan los 2.000 m s.n.m.; la Media Montaña, como la cadena discontinua con cumbres que alcanzan alturas variables entre los 1000 y 3000 m s.n.m. Se desarrolla aproximadamente hasta los 70°45' W, dando paso a la alta cordillera hacia el este; y los Valles principales, conformados por los valles del Río Quilimarí (máxima elevación de 2.400 m s.n.m.) y la Quebrada Seca.

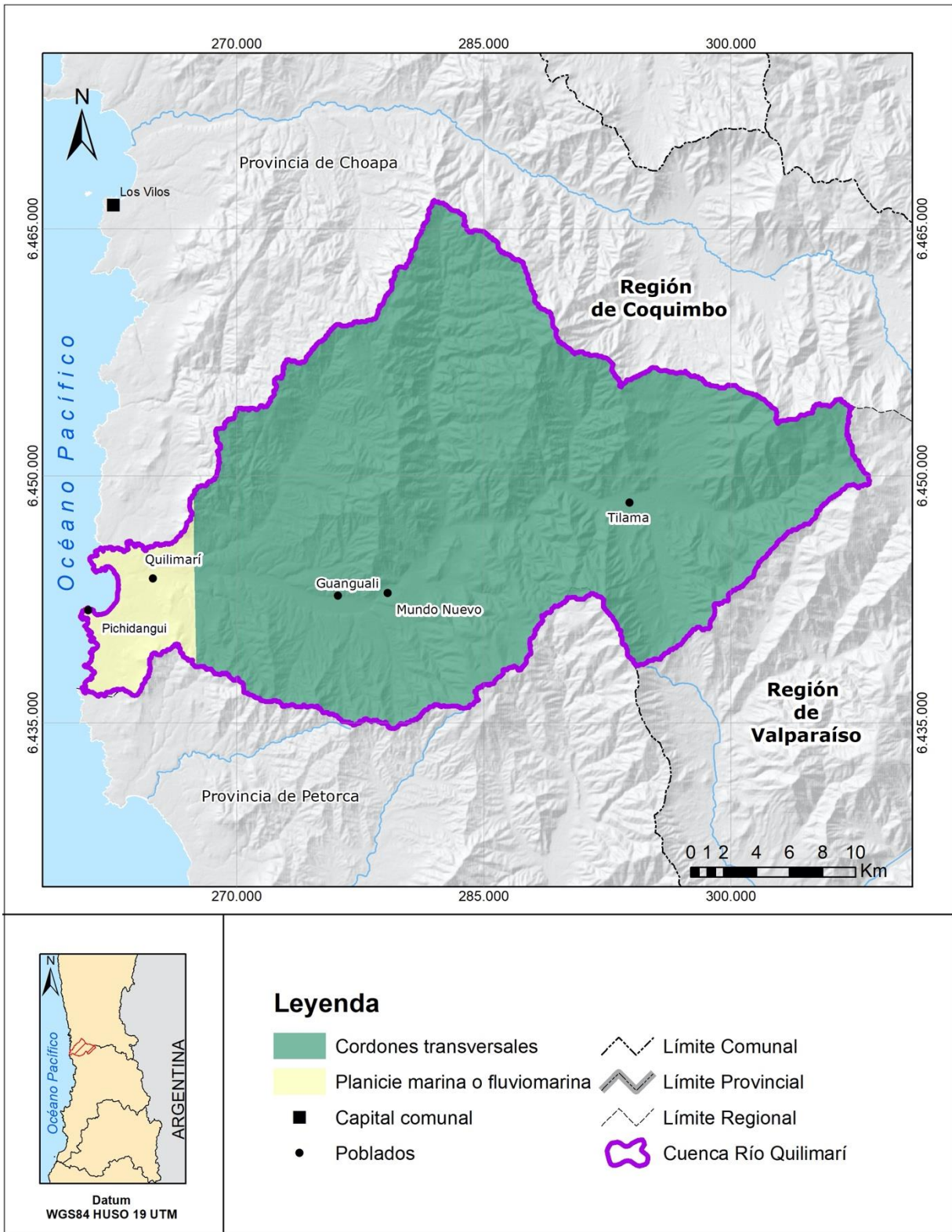


Figura 2-2. Geomorfología de la cuenca.

Fuente: Elaborado a partir de cartografía disponible en el portal CEDEUS (2021a).

2.1.2. Geología e hidrogeología

Los antecedentes geológicos de la cuenca Río Quilimarí fueron recopilados del Estudio "Evaluación de la Explotación Máxima Sustentable de Aguas Subterráneas Cuenca del Río Quilimarí", SIT N° 152 (DGA, 2008b), y del informe "Diagnóstico de la Calidad de las Aguas Subterráneas de la Región de Coquimbo" (DGA, 2017c). Los antecedentes describen lo siguiente:

La cuenca Río Quilimarí exhibe dos unidades intrusivas del periodo Cretácico y Jurásico, una secuencia de rocas estratificadas pertenecientes al Triásico, Jurásico y Cretácico, y depósitos Terciarios y Cuaternarios (DGA, 2008b; 2017c).

Las Rocas Intrusivas, correspondientes a granitoides mesozoicos, se distribuyen en tres franjas de orientación N-S: la occidental, central y oriental. Pertenecientes a la franja occidental afloran en la cuenca dos unidades plutónicas, estas son unidad Puerto Oscuro (Jmi4) y unidad Chalinga (Kiag), las que describen a continuación:

- Unidad Puerto Oscuro (Jmi4), compuesta por rocas dioritas cuarcíferas de piroxeno y anfíbola, monzodioritas de hiperstena y biotita; gabros de piroxeno y olivino.
- Unidad Chalinga (Kiag), constituida por dioritas y monzodioritas de piroxeno y hornblenda, granodioritas, monzogranitos de hornblenda y biotita.

Las Rocas Estratificadas del área, están compuestas por una secuencia Mesozoica, que forma parte de la Cordillera de la Costa, y que consiste en una unidad volcánica ácida intercalada por depósitos marinos. Estos depósitos se disponen como franjas continuas y elongadas de orientación N-O, que principalmente afloran de más recientes a más antiguas en sentido oeste:

- Formación Pichidangui (Trp, Triásico superior), compuesta por rocas volcánicas y marinas.
- Formación Los Molles (Llm, Triásico Superior-Liásico), volcanoclástica y marina transicional.
- Formación Ajial (Ji), Cerro Calera, constituida por rocas volcanoclásticas y sedimentarias, indiferenciadas.
- Formación Horqueta (Js2c), constituida por secuencias sedimentarias y volcánicas continentales.
- Formación Lo Prado (Ki2m, Cretácico inferior), la conforman rocas de origen marino y volcánico.
- Formación Veta Negra (Ki2c, Cretácico inferior), rocas volcanoclásticas y continentales.
- Formación Las Chilcas (Kla2, Cretácico inferior), volcanoclástica y continental-lagunar.

En términos de Depósitos Terciarios y Cuaternarios, se reconoce la Formación Confluencia (Tc), la que pertenece al periodo Terciario y está compuesta por conglomerados, areniscas, brechas y limonitas poco consolidadas, distribuyéndose en la parte oeste a lo largo de la cuenca. El relleno cuaternario está constituido por depósitos aluviales y coluviales (Q1) que se encuentran conteniendo al río, hacia la desembocadura de éste se encuentran depósitos eólicos y litorales (Q1) y depósitos eólicos más antiguos (Qe).

En cuanto a Estructuras, en el sector del valle del Quilimarí, la principal estructura es la Falla de la Silla del Gobernador (N14°E / 80°E). Ella es producto de la inversión de la cuenca en el Cretácico superior, esta zona de cizalle tiene un largo reconocido de cercano a 50 km y un ancho variable de hasta 900 m. El protolito asociado corresponde principalmente a rocas tobáceas de la Formación Pichidanguí y a lutitas de la base de la Formación Los Molles.

Desde el punto de vista hidrogeológico, en el estudio DGA (2012) se identificaron cinco unidades:

- La primera unidad hidrogeológica y la más superficial está constituida por sedimentos secos, de diferentes granulometrías, donde predominan las gravas con un espesor variable entre 5 y 20 m.
- La segunda unidad posee un espesor entre 5 y 10 m, y se encuentra conformada un sedimento húmedo o saturado, que se observa principalmente en la parte media y baja del valle del Río Quilimarí.
- La tercera unidad posee un espesor aproximado de 25 m, conformado por sedimentos de muy baja permeabilidad, que se concentran en la zona media y baja de la cuenca.
- La cuarta unidad posee un espesor de 25 a 30 m, y se ubicaría entre los 50 y 80 m de profundidad
- La quinta unidad identificada correspondería a la roca basal y se ubicaría a profundidades mayores a los 50 m en la zona media y baja de la cuenca, y a profundidades entre 20 y 30 m en la zona más cercana al embalse Culimo.

La Figura 2-2 presenta la geología de la cuenca Río Quilimarí.

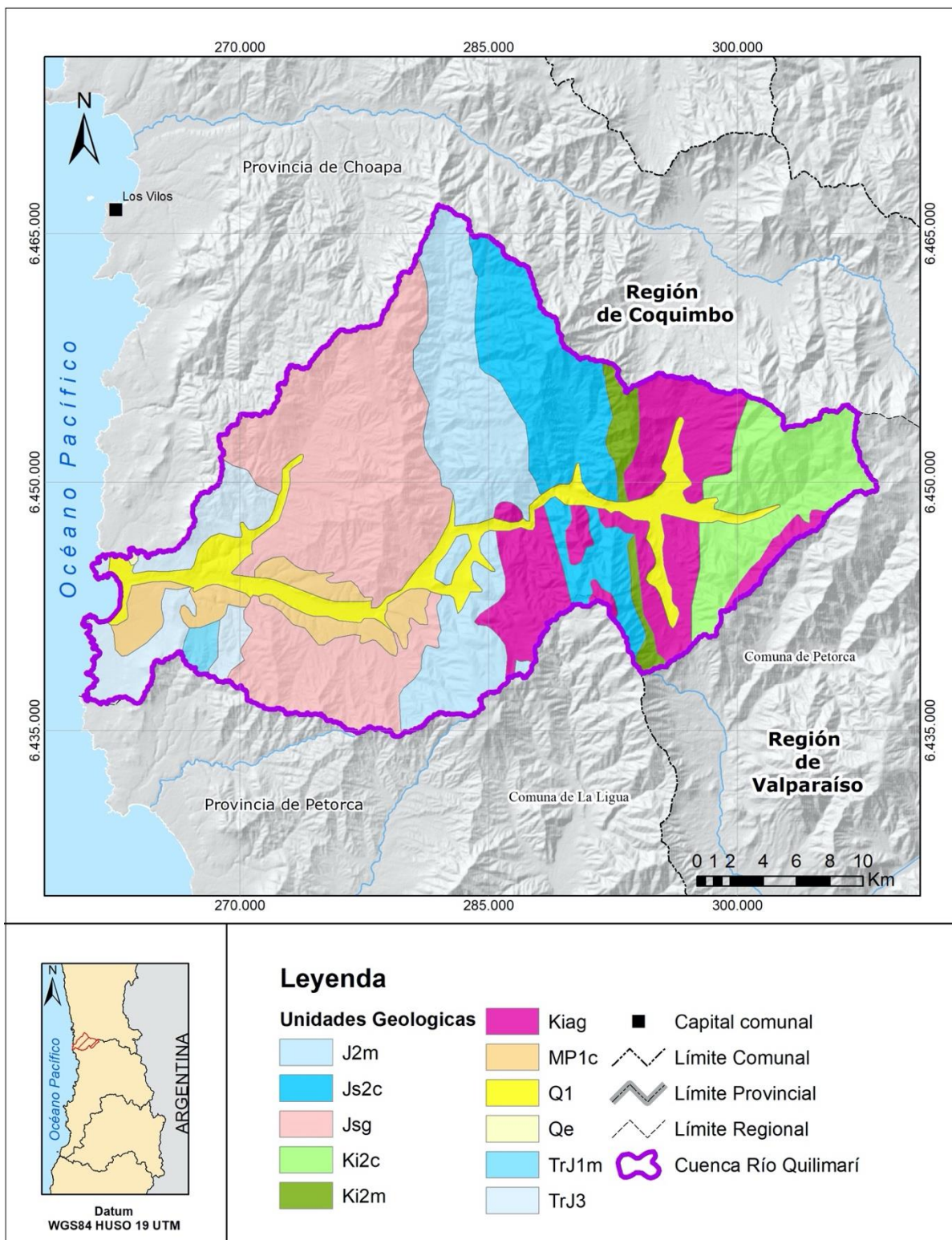


Figura 2-3. Geología de la cuenca.

Fuente: Elaboración propia a partir de SERNAGEOMIN (2003).

2.1.3. Edafología

Las grandes unidades taxonómicas presentes en la cuenca Río Quilimarí corresponden a suelos de serranías áridas y semiáridas (ver Figura 2-4) característicos de la Región de Coquimbo (CIREN, 2020). Dentro de esta unidad se distinguen los siguientes tipos de suelos (Morales *et al.*, 2006):

- Aridisoles: presentes en sectores interiores. Suelos poco evolucionados debido a la aridez. En la vertiente poniente de la Cordillera de La Costa estos suelos se han desarrollado a partir de roca granítica, con un incremento en el contenido de arcilla en profundidad.
- Entisoles: situados preferentemente en la costa. Suelos de desarrollo incipiente que forman inclusiones en toda la región, generalmente derivados de terrazas marinas altas y de relieve plano a ligeramente inclinado, de colores pardo.

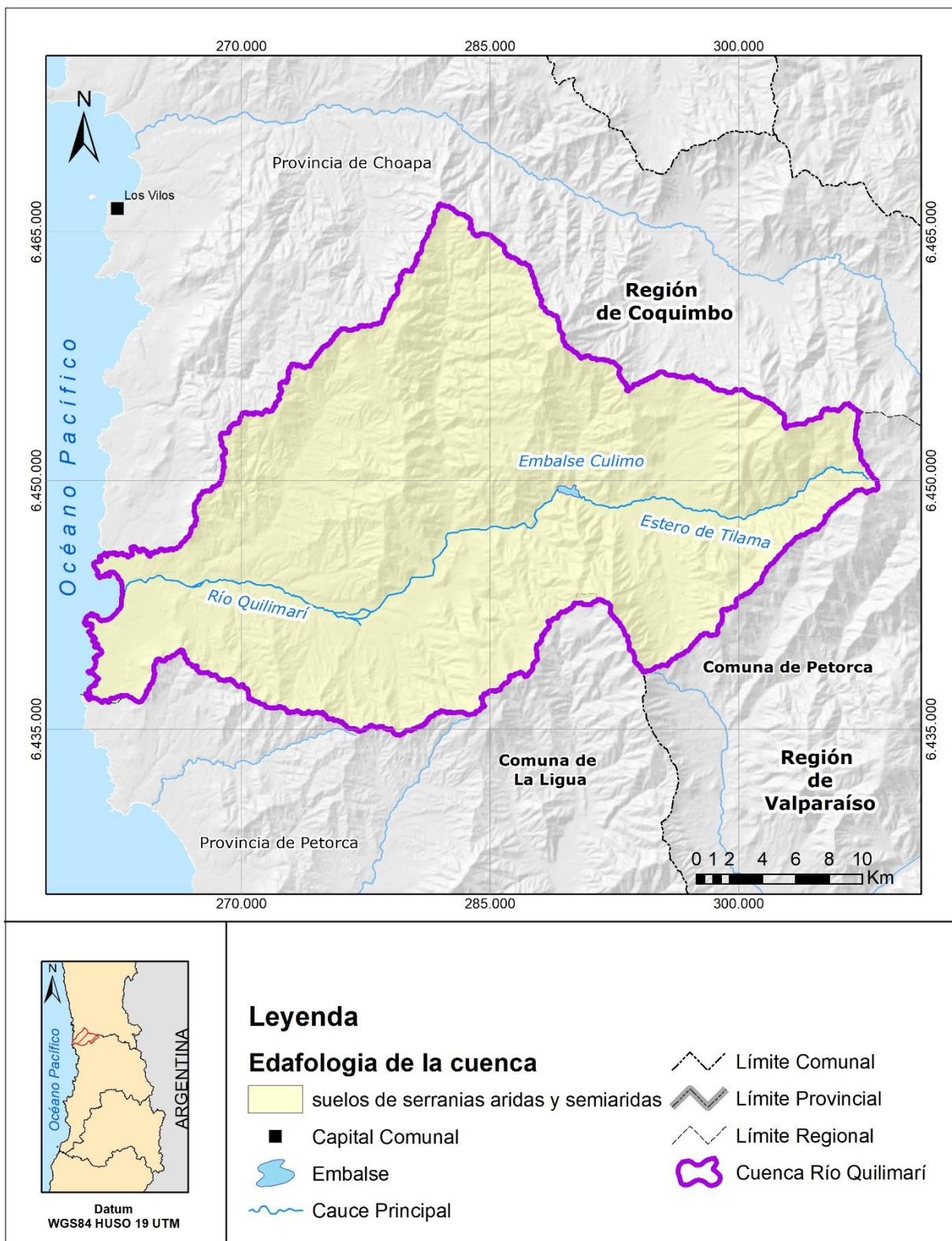


Figura 2-4. Edafología de la cuenca.

Fuente: Elaborado a partir de cartografía disponible en el portal CEDEUS (2021b).

2.1.4. Red de drenaje y acuífero

El río Quilimarí nace de la confluencia del Estero Tilama y la Quebrada Cristales, presenta una extensión aproximada de 48 km, y una dirección y sentido oriente a poniente, desde su nacimiento hasta su desembocadura en el mar, junto al balneario de Pichidangui (Figura 2-5).

Durante su recorrido el Río Quilimarí recibe aportes de varias quebradas con escurrimientos sólo en los meses de temporada de lluvias, ya que todo el sistema tiene un régimen netamente pluvial, lo cual la hace estar en una condición muy deficitaria (DGA, 2012). Con esto, sus principales escurrimientos son en los meses de mayo a septiembre y casi no presenta crecidas de importancia, debido al efecto regulador del embalse Culimo, el cual, además de proveer del agua necesaria a todo el sector meridional, es la principal reserva de recursos hídricos que abastece la agricultura del valle.

El valle del Río Quilimarí aguas abajo del embalse es bastante estrecho, con un cauce no muy desarrollado y numerosos angostamientos que generan pequeños acuíferos independientes que, cuando hay agua disponible, afloran al encontrarse con los macizos rocosos que se acercan a la superficie, incluso quedando a la vista en varios de ellos.

A nivel subterráneo, la cuenca Río Quilimarí conecta con el acuífero que lleva su mismo nombre y de acuerdo a DGA (2017d) con un área igual a 741,7 km² (ver Figura 2-5). Los sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común presentes en el acuífero Quilimarí son nueve (9): Aguas Arriba Embalse Culimo, El Ajial, El Llano, Guangualí, Infiernillo, Los Cóndores, Los Maquis, Pangalillo, Quilimarí.

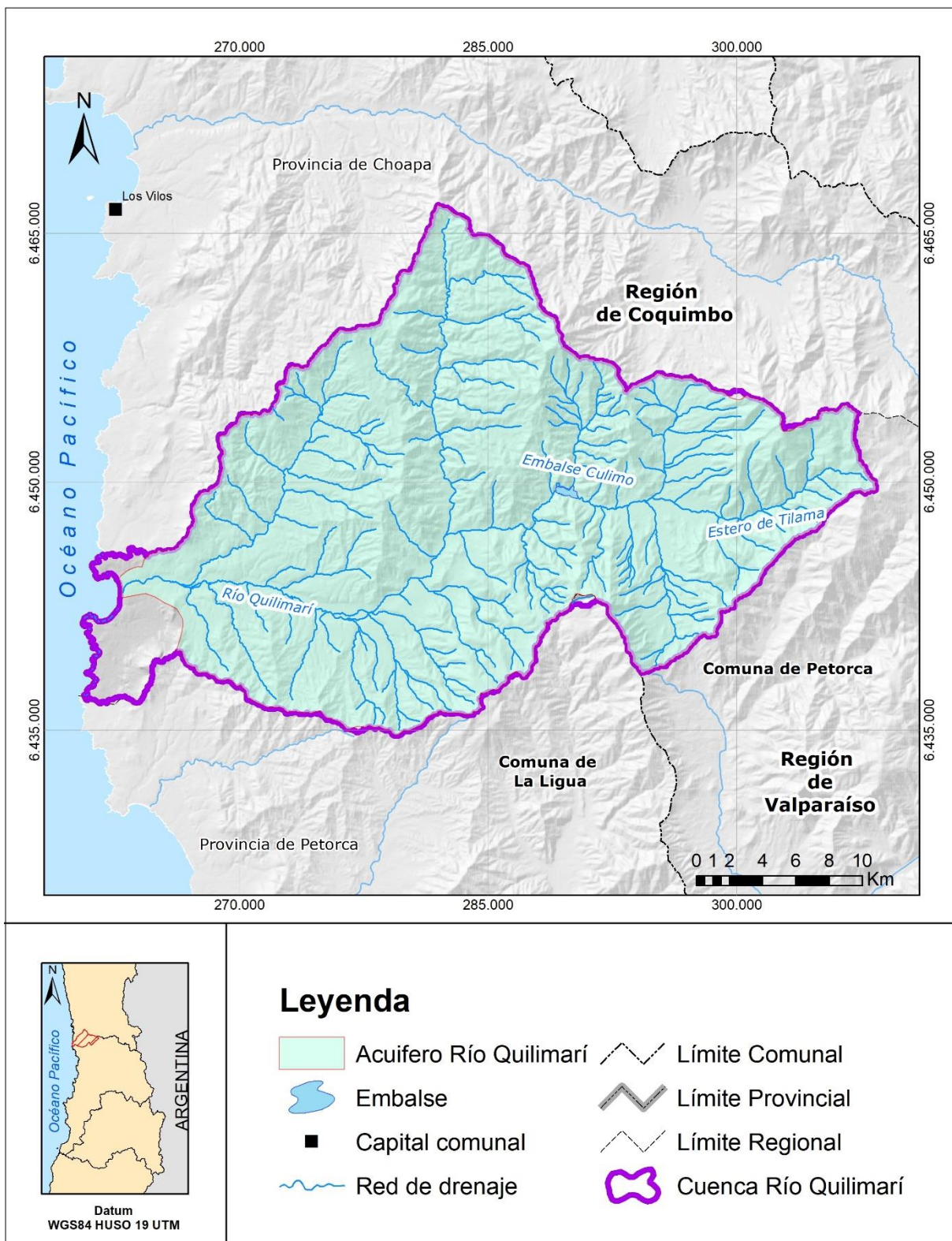


Figura 2-5. Red de drenaje y acuífero en la cuenca.

Fuente: Elaboración propia a partir de Mapoteca Digital DGA (2019d).

2.1.5. Aspectos políticos-administrativos

La cuenca hidrográfica del río Quilimarí, se ubica en el extremo sur de la Región de Coquimbo, en la comuna de Los Vilos, provincia de Choapa. La provincia de Choapa tiene una extensión de 10.137 km², limita por el norte con la provincia de Limarí y por el sur con las provincias de Petorca y San Felipe. Por otra parte, la comuna de Los Vilos tiene una extensión de 1.860 km², limita al sur con las comunas de La Ligua y Petorca, al este con la comuna de Salamanca, y al norte con las comunas de Illapel y Canela.

De acuerdo a los microdatos censados en 2017 y disponibles en la plataforma INE (2019b), a nivel de cuenca, se encuentran 17 localidades y 47 entidades¹, principalmente bajo la categoría de Parcela-Hijuela (30), Parcela de Agrado (4), Caserío (3), Fundo-Estancia-Hacienda (2), Aldea (1) e Indeterminada (7). En la Figura 2-6 se presenta la distribución espacial de las localidades censadas en 2017.

¹ Se conoce como entidad un asentamiento humano dentro de una localidad, con nombre propio reconocido por sus habitantes (INE, 2019b). La entidad puede ser: aldea, caserío, asentamiento minero, asentamiento pesquero, fundo-estancia-hacienda, parcela-hijuela, parcela de agrado, comunidad indígena, campamento, veranada-majada-aguada, otros o indeterminada (INE, 2019b).

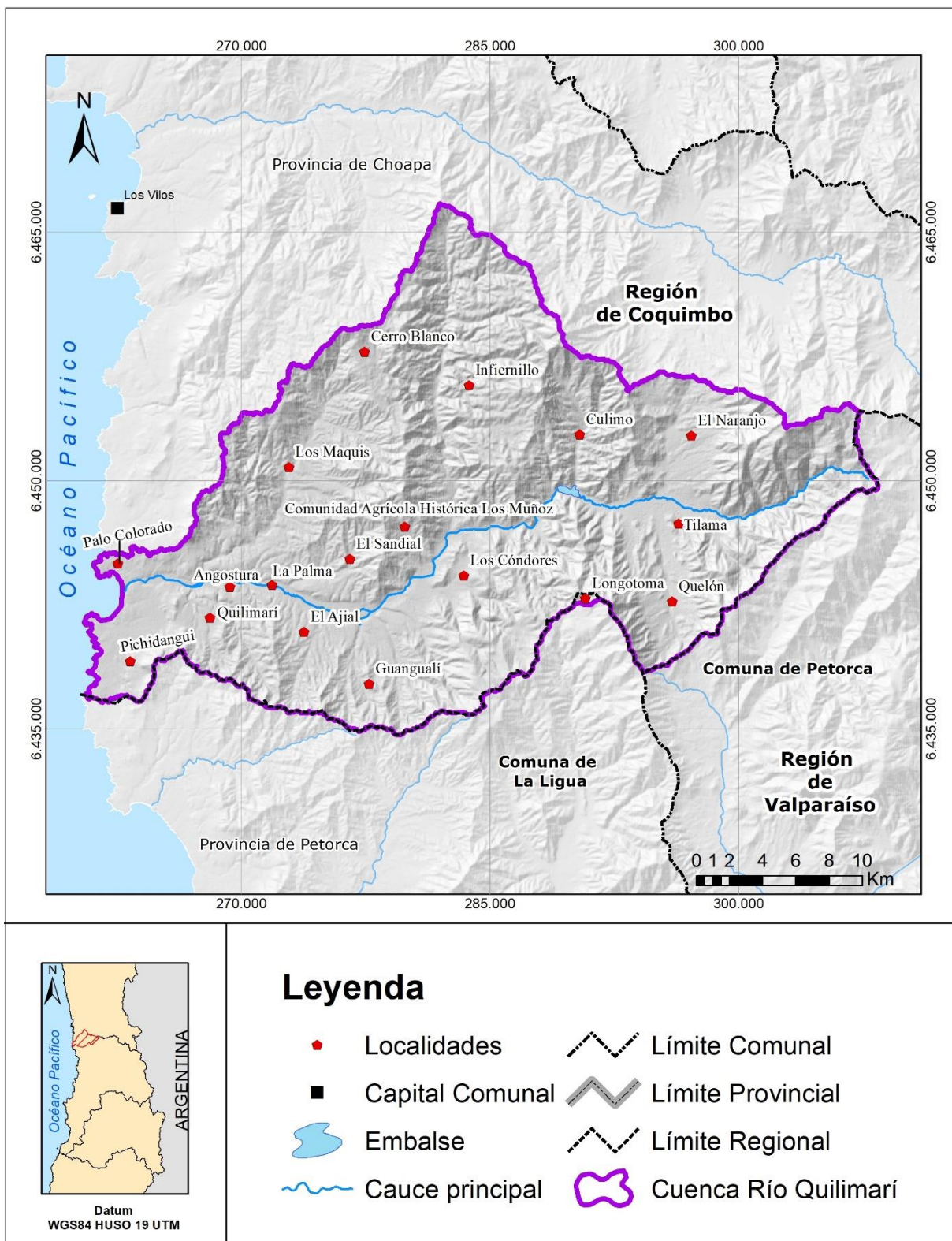


Figura 2-6. División político-administrativa de la cuenca.

Fuente: Elaboración propia a partir de información obtenida de INE (2019).

A nivel hidrológico y administrativo, la cuenca río Quilimarí (código 049) con un área de 783,4 km², representa el 42% del área de la comuna Los Vilos. A nivel de subcuenca (código 0490), se tiene la subcuenca Río Quilimarí hasta Muro Embalse Culimo con la misma superficie que la cuenca. Finalmente, a nivel de subsubcuenca, se tienen tres divisiones, Río Quilimarí hasta Muro Embalse Culimo (código 04900), Río Quilimarí entre muro Embalse Culimo (código 04901) y Bajo Cajón Ingienillo y Río Quilimarí entre Cajón Ingienillo y Desembocadura (código 04902), que representan el 27%, 25% y 45% de la cuenca, respectivamente (Tabla 2-1).

Tabla 2-1. División hidrológico-administrativa de la cuenca.

Código	Área [km ²]	Nombre cuenca	Nombre subcuenca	Nombre subsubcuenca
049	773,4	Río Quilimarí		
0490	773,4		Río Quilimarí hasta Muro Embalse Culimo	
04900	229,4			Río Quilimarí hasta Muro Embalse Culimo
04901	194,6			Río Quilimarí entre muro Embalse Culimo y Bajo Cajón Ingienillo
04902	359,1			Río Quilimarí entre Cajón Ingienillo y Desembocadura

Fuente: Elaboración propia a partir de DGA (2014c).

Finalmente, respecto a la división hidrogeológica-administrativa, se tienen 9 Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común (SHAC) presentes en el acuífero Río Quilimarí (ver Tabla 2-2). Es importante resaltar que la superficie total del acuífero y por ende de los SHAC's en los cuales se subdivide es de 741,7 km² (DGA, 2017d), inferior al área de la cuenca 783,4 km², ya que no considera los SHAC's Pichidanguí (SHAC-04-27-112, 25,3 km²) y Quebrada El Boldo (SHAC-04-33-118, fracción de área dentro de la cuenca de 3,2 km²) pertenecientes al acuífero Cuencas Costeras IV Sur. El área restante de 3,2 km², corresponde a no coincidencias entre la línea divisoria de la cuenca y el contorno de todos los SHAC's y por ende el contorno del acuífero mismo.

Tabla 2-2. División hidrogeológico-administrativa de la cuenca.

Código SHAC	Nombre	Área [km ²]
SHAC-04-85-170	Aguas Arriba Embalse Culimo	225,4
SHAC-04-92-177	Pangalillo	47,0

Código SHAC	Nombre	Área [km²]
SHAC-04-87-172	El Llano	7,8
SHAC-04-90-175	Los Cóndores	51,3
SHAC-04-89-174	Infiernillo	145,4
SHAC-04-93-178	Quilimarí	131,7
SHAC-04-88-173	Guangualí	62,3
SHAC-04-86-171	El Ajial	52,1
SHAC-04-91-176	Los Maquis	18,7

Fuente: Elaboración propia a partir de DGA (2017d).

2.1.6. Demografía

La cuenca Río Quilimarí está contenida dentro de la división comunal Los Vilos, cuya población total según el censo 2017 (INE, 2019a), era de 21.382 habitantes, de los cuales el 52% son hombre y el 48% mujeres (ver Figura 2-7). Alrededor del 86% de la población total tiene entre 0 y 65 años. Sin embargo, se observa una distribución uniforme en los grandes grupos de edades, oscilando alrededor del 20%, excepto para la población mayor a 66 años, donde solo representa el 13%. La población con edades entre 18 y 65 años representa cerca del 63%, es decir, en edad adulta. El porcentaje restante se divide entre 25% por debajo de los 15 años y el 13% por encima de los 65 años.

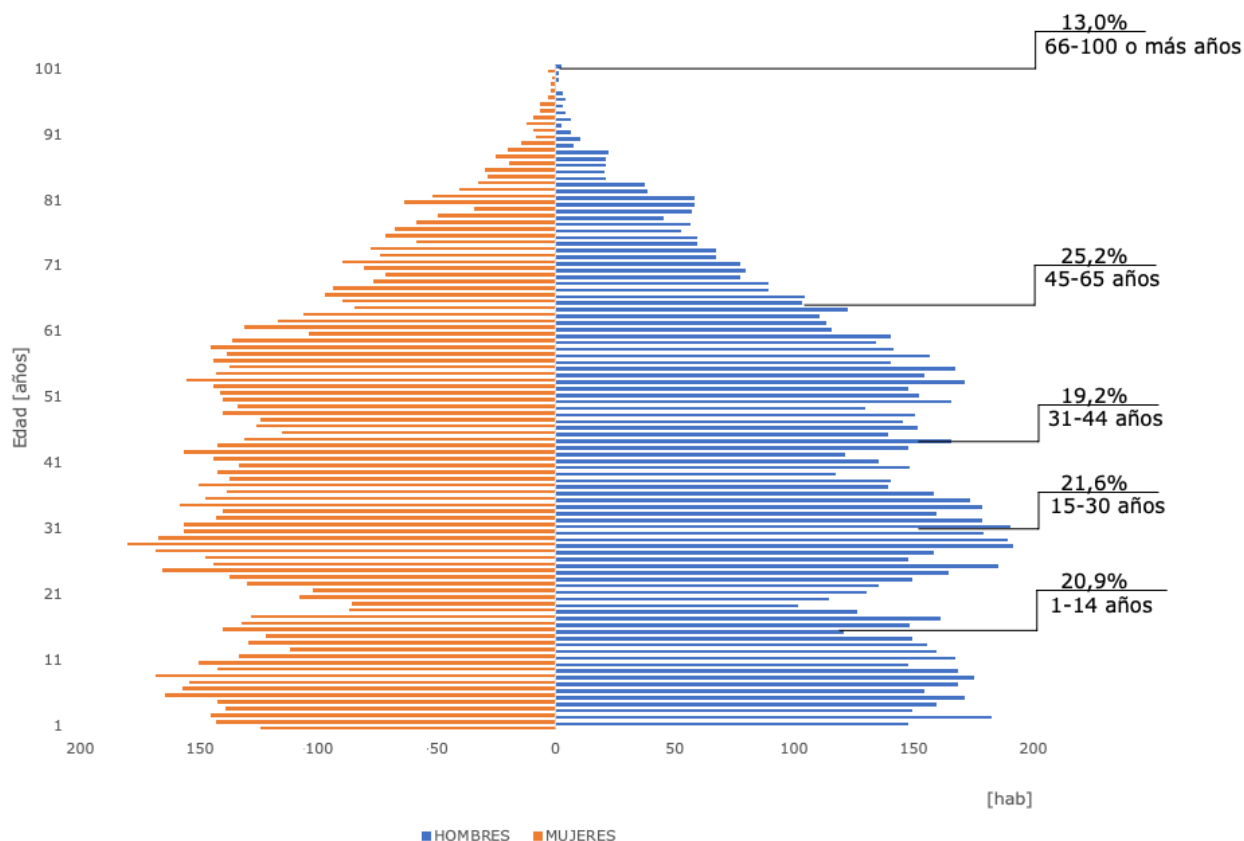


Figura 2-7. Pirámide poblacional por sexo y edad.

Fuente: Elaboración propia a partir de información INE (2020).

La población total que habita en la cuenca es de 5.655 habitantes. Dado que la cuenca está contenida por la división comunal, es necesario hacer el análisis de la población a una escala menor, la localidad para conocer su distribución. En la Tabla 2-3, se presenta la relación de la población total por localidad, distribuida por hombres y mujeres, y su respectivo porcentaje a esta escala. Cabe destacar que el pueblo de Quilimarí es la unidad administrativa con mayor población dentro de la cuenca, seguida de Pichidangui (ver Figura 2-8). Sin embargo, se tienen localidades como Palo Colorado, donde no se censó población. Respecto a la distribución por género, en general la población masculina es levemente mayor, alrededor de 52% de la población total, destacando la mayor diferencia entre ambos sexos en las localidades de El Sandial y Cerro blanco, donde los hombres representan el 69% y las mujeres el 31%.

Tabla 2-3. Distribución de la población de la cuenca por unidad administrativa.

Nombre unidad administrativa	Total habitantes por unidad administrativa [hab]	Total hombres [hab]	Total mujeres [hab]	Porcentaje hombres [%]	Porcentaje mujeres [%]
ANGOSTURA	15	8	7	53	47
CERRO BLANCO	70	48	22	69	31
COMUNIDAD AGRÍCOLA HISTÓRICA LO MUÑOZ	82	46	36	56	44
CULIMO	69	37	32	54	46
EL AJIAL	29	14	15	48	52
EL NARANJO	99	56	43	57	43
EL SANDIAL	13	9	4	69	31
GUANGUALÍ	456	239	217	52	48
INDETERMINADA	135	75	60	56	44
INFIERNILLO	281	158	123	56	44
LA PALMA	34	17	17	50	50
LOS CÓNDORES	774	394	380	51	49
LOS LOROS	41	19	22	46	54
LOS MAQUIS	156	85	71	54	46
PALO COLORADO	0	0	0	0	0
PICHIDANGUI	1454	739	701	51	48
QUELÓN	68	37	31	54	46
QUILIMARÍ	1725	901	802	52	46
TILAMA	154	80	74	52	48

Fuente: Elaboración propia a partir de datos INE (2019a).

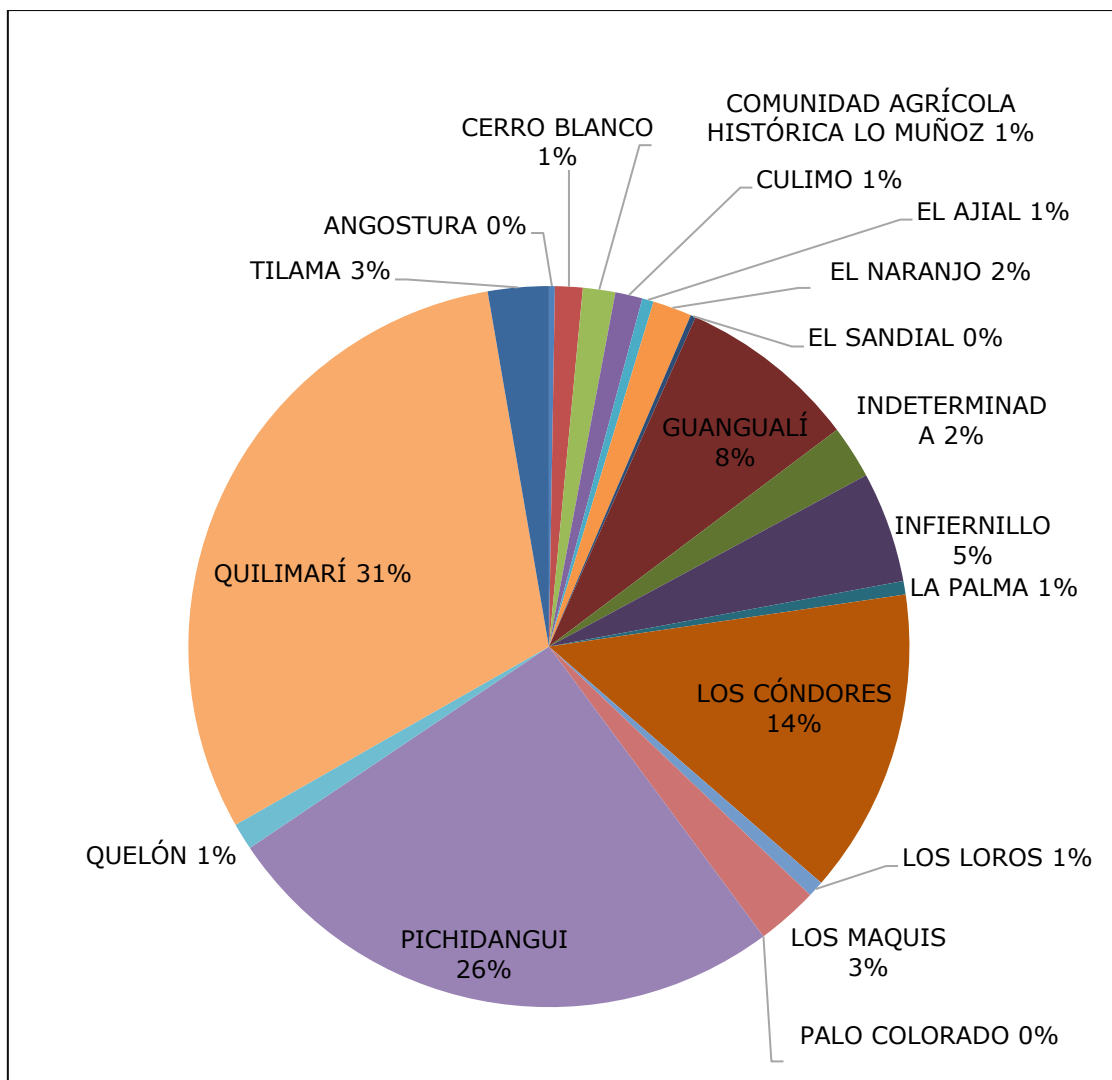


Figura 2-8. Distribución porcentual de la población comunal por unidad administrativa.

Fuente: Elaboración propia a partir de información INE (2019a).

El nivel educacional en la cuenca no es factible determinarlo a partir de la información disponible en el INE (2019a), donde solo se puede disponer de datos a nivel comunal, poco representativos de la cuenca. En la Tabla 2-4 se presentan los principales resultados levantados en este ámbito en el Censo 2017 (INE, 2020). Respecto a los índices de escolaridad, el 94% de los niños y las niñas en edad escolar (6-13 años) son asistentes a educación escolar, el 76% asisten a educación media (14-17 años) y solo el 19% de la población ingresa a la educación superior (mayor a 17 años); sin embargo, de este 19% se rescata el hecho de que el 83% finaliza sus estudios superiores.

Respecto al 24% de no participación en la educación media, este valor es superior a lo reportado por Dussailant (2017) basada en la encuesta CASEN de 2015 realizada a jóvenes

entre 15 y 19 años, donde señala que el valor de deserción para la Región de Coquimbo es de. 15,8%. La investigadora resalta el carácter multifactorial sobre la deserción: pertenencia a sectores vulnerables, composición del núcleo familiar, carencias en el hogar en diversas dimensiones.

Tabla 2-4. Indicadores del ámbito educación levantados en el Censo 2017.

Descriptor	Valor
Escolaridad jefe/a de hogar	9,4
Asistencia educación escolar	94%
Asistencia a preescolar	52%
Asistencia a educación media	76%
Ingreso a educación superior	19%
Educación superior terminada	83%
Escolaridad pueblos originarios	9,3

Fuente: Elaboración propia a partir de información INE (2020).

Desde el punto de vista de acceso a los recursos hídricos por parte de la población, la cuenca cuenta solo con siete servicios sanitarios de agua potable rural establecidos en las localidades de Quilimarí, Guangualí, Pichidangui, Los Cóndores, Tilama, El Manzano y Los Maquis los cuales abastecen el 88% de la población de estas localidades (4.719 habitantes en total en el año 2017), y quedando desprovista el 22% de la población de la cuenca (5.655 habitantes en el año 2017).

2.1.7. Actividad económica

La caracterización de la actividad económica de la cuenca se logró hasta el nivel de comuna de Los Vilos, abordando la descripción de las principales actividades económicas y empleo. El valor de producción se caracterizó a escala regional. De acuerdo a PLADECO (2017), en la comuna Los Vilos las actividades productivas tales como comercio local, la agricultura extensiva y pesca artesanal son las que más contribuyen al desarrollo local, destacándose el turismo como el sector que está cobrando mayor desarrollo.

Respecto al sector agrícola, de acuerdo a PLADECO (2017), este sector atraviesa por un periodo de crisis debido a la megasequía, lo cual impacta a las familias más pobres debido a la pérdida de la actividad agrícola o a la falta de forraje y agua para sus animales. Pese a lo anterior, según el censo agropecuario, en la comuna de Los Vilos se censaron 629 explotaciones correspondientes a 178.310 ha, donde la propiedad ejercida por personas naturales asciende al 95%, sin embargo, el 5% restante cuya propiedad recae sobre personas jurídicas, estas poseen el 65% de las hectáreas totales censadas (PLADECO, 2017).

2.1.7.1. Valor de producción regional

El PIB de la Región de Coquimbo consignado por el Banco Central de Chile (BC, 2019) al año 2019, corresponde a \$5.475 mil millones de pesos, representando el 5,8% a nivel nacional (\$196.379 mil millones de pesos). En 2019, términos sectoriales se destaca en la región la actividad minera (24%), seguida del sector de servicios personales (15%), servicios de vivienda e inmobiliarios, servicios financieros y empresariales y construcción (10%). Respecto al sector agropecuario-silvícola, este alcanza un 7% de participación. En último lugar se encuentra el sector pesquero, el cual corresponde al 0% del PIB regional.

2.1.7.2. Empleo regional por sector económico

Respecto al número de personas empleadas por rama de actividad económica, se obtiene que, en 2019, la mayor cantidad de trabajos se encuentra en la actividad de comercio, representando un 20,3% del total de personas ocupadas; le sigue las actividades en el sector silvoagropecuario y pesca con un 10,6%, construcción con un 8,8% (ver Tabla 2-5). Los sectores de minería e industria manufacturera representan un 8,7% y 7,1% de empleabilidad respectivamente (SENCE, 2020).

Tabla 2-5. Número de trabajadores según las principales actividades económicas en la comuna Los Vilos 2017-2019.

Rubro	2017	2018	2019
Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca	162	122	102
Explotación de minas y canteras	20	5	13
Industria manufacturera	346	267	207
Suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado	2	5	4
Suministro de agua evacuación de aguas residuales, gestión de desechos y descontaminación	25	19	27
Construcción	478	195	373
Comercio al por mayor y al por menor, reparación de vehículos automotores y motocicletas	618	599	585
Transporte y almacenamiento	217	317	310
Actividades de alojamiento y de servicio de comidas	326	382	420
Información y comunicaciones	15	57	57
Actividades financieras y de seguros	0	1	1
Actividades inmobiliarias	9	10	22
Actividades profesionales, científicas y técnicas	41	121	79
Actividades de servicios administrativos y de apoyo	60	93	58
Administración pública y defensa, planes de seguridad social de afiliación obligatoria	0	767	679

Enseñanza	261	308	315
Actividades de atención de la salud humana y de asistencia social	241	258	280
Actividades artísticas, de entretenimiento y recreativas	5	13	13
Otras actividades de servicios	798	32	26
Sin información	0	1	1
Total	3.624	3.572	3.572

Fuente: elaboración propia (SENCE, 2020)

2.1.7.3. Principales actividades económicas en la cuenca

Según las estadísticas del SII recopiladas en BCN (2020), el número de empresas del sector agrícola ha disminuido entre 2017 (117 empresas) y 2019 (93 empresas), efecto contrario en el sector del comercio, transporte y almacenamiento, y actividades de alojamiento y de servicios de comidas (ver Tabla 2-6).

Tabla 2-6. Número de empresas según las principales actividades económicas en la comuna Los Vilos 2017-2019.

Rubro	2017	2018	2019
Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca	117	99	93
Explotación de minas y canteras	17	15	14
Industria manufacturera	84	81	87
Suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado	6	7	8
Suministro de agua evacuación de aguas residuales, gestión de desechos y descontaminación	8	9	13
Construcción	69	60	66
Comercio al por mayor y al por menor, reparación de vehículos automotores y motocicletas	495	526	519
Transporte y almacenamiento	102	110	111
Actividades de alojamiento y de servicio de comidas	180	239	254
Información y comunicaciones	11	13	21
Actividades financieras y de seguros	6	7	7
Actividades inmobiliarias	20	31	34
Actividades profesionales, científicas y técnicas	34	31	39
Actividades de servicios administrativos y de apoyo	35	40	41
Administración pública y defensa, planes de seguridad social de afiliación obligatoria	1	1	1
Enseñanza	15	23	19

Actividades de atención de la salud humana y de asistencia social	13	12	11
Actividades artísticas, de entretenimiento y recreativas	17	26	27
Otras actividades de servicios	75	80	61
Sin información	24	10	6
Otros	183	215	235
Total	1.512	1.635	1.667

Fuente: Elaboración propia a partir de BNC (2020).

En el año 2019, la distribución de empresas en la comuna contaba con un 36% dedicada al comercio al por mayor y al por menor, seguido por un 18% en actividades de alojamiento y de servicios de comidas y un 16% en otras actividades. El sector agrícola, preponderante en la cuenca solo cuenta en este año con un 7% (ver Figura 2-8).

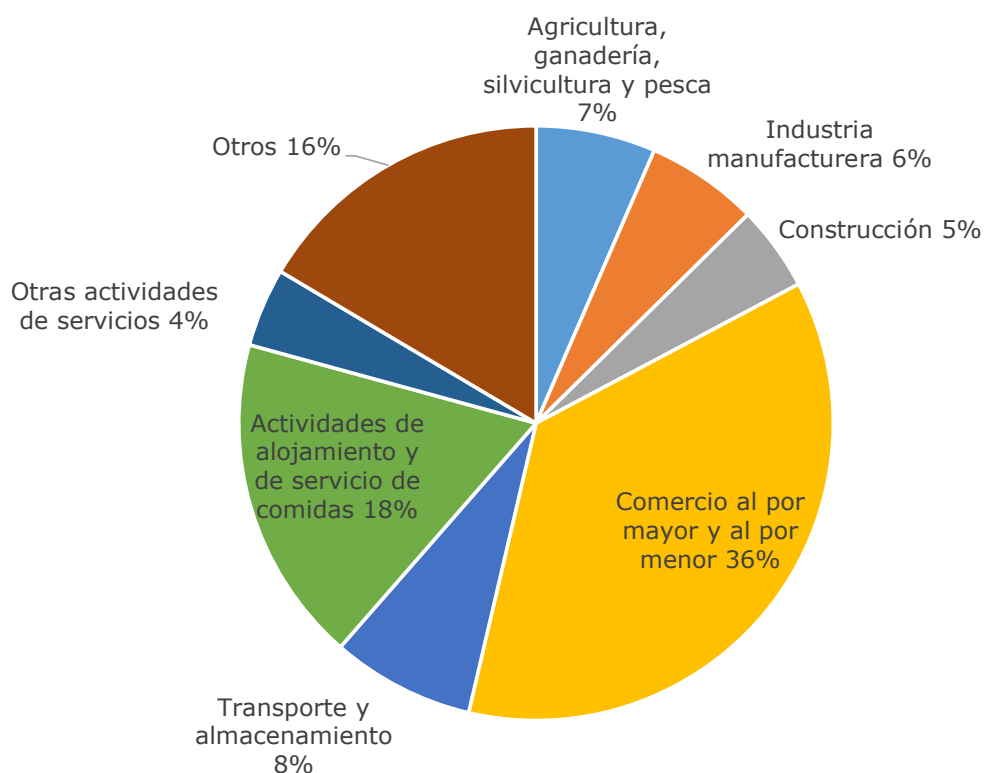


Figura 2-9. Distribución porcentual de las actividades económicas en la comuna.

Fuente: Elaboración propia a partir de información INE (2019a).

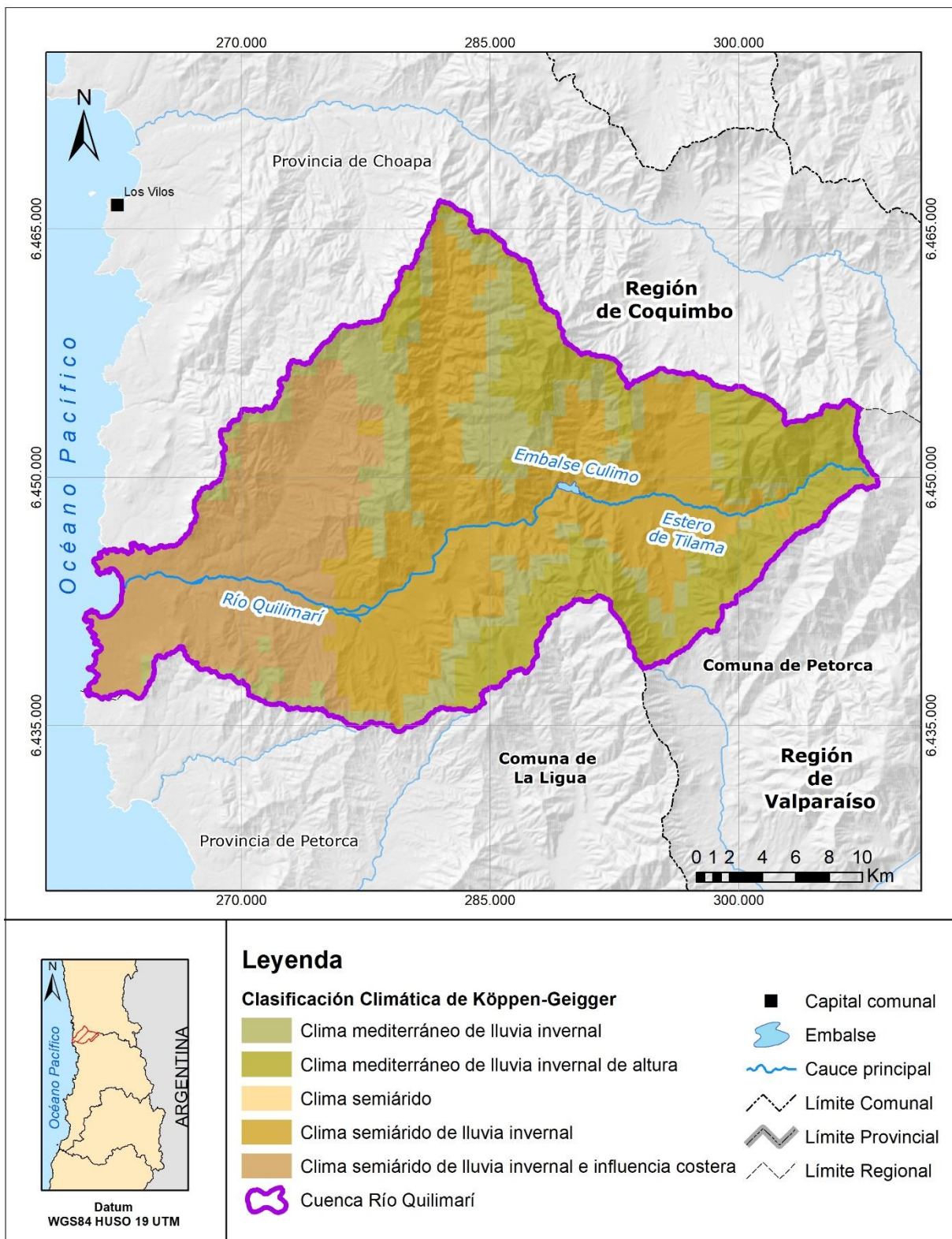
2.2. Clima

2.2.1. Caracterización climática

De acuerdo a DGA (2008b), la cuenca presenta un clima de Estepa con Nubosidad Abundante, característico de la zona costera. Se identifica por abundante nubosidad baja, localmente intensificada que se manifiesta con frecuentes nieblas y lloviznas que tienden a disipar al mediodía. Este rasgo se asocia también a gran cantidad de días nublados, pocos días despejados y alta humedad relativa. Estas características se extienden hacia el interior de los valles transversales, alcanzando algunas decenas de kilómetros. Las temperaturas son moderadas, con máximas en enero de 23,4°C y mínima en julio de 7,4°C evaluadas entre 1980 y 2015 (FIA, 2017) y las precipitaciones anuales tienen un promedio de 228 mm, evaluada entre 1982 y 2019 en la estación Los Vilos DMC. Estas últimas presentan un régimen frontal, con máximos en el invierno (junio, julio y agosto) donde precipita cerca del 80% del total anual. La cercanía al mar produce amplitud térmica diaria baja, con cero heladas al año (FIA, 2017).

Otro clima que se presenta con menos fuerza es el de Estepa Cálido con Precipitaciones Invernales, ubicado en la parte interior de la cuenca, sobre los 800 m s.n.m. Se caracteriza por ausencia de nubosidad y sequedad del aire, con temperaturas mayores a la de la costa, oscilando entre temperaturas promedio mínimas de 7°C y promedio máximas de 26°C, . Las precipitaciones no son muy abundantes (precipitación media anual de 231 mm en la estación Los Cóndores 1977-2019) y posee característicos periodos de sequía.

Según la clasificación de Köppen modificada (Figura 2-10), la cuenca del Río Quilimarí, se inscribe mayoritariamente en el tipo climático BSk (s) (i), semiárido de lluvia invernal e influencia costera. Con un pequeño sector, franja intermedia, incluido en el tipo Csb, clima mediterráneo de lluvias invernales, culminando en el extremo oriental con los tipos Csc (h), de clima mediterráneo de lluvia invernal de altura (IDE, 2021a).



2.2.2. Recursos hídricos

Las condiciones climáticas de la cuenca Río Quilimarí se definen como semiáridas, donde el aporte de caudal está referido principalmente a precipitación del tipo pluvial.

A continuación, en la Figura 2-11 se presenta el climograma para la cuenca obtenido a partir de los registros de la estación meteorológica Los Cóndores para el periodo 1977-2019.

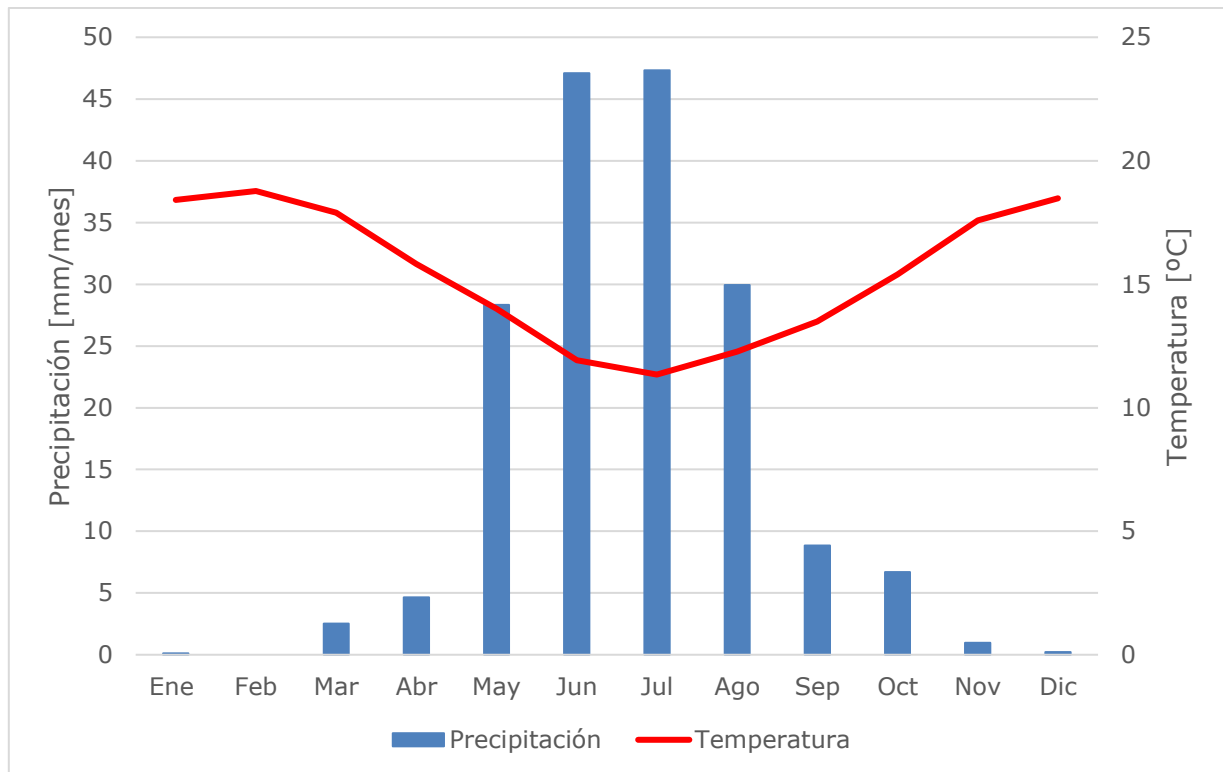


Figura 2-11. Climograma estación meteorológica Los Cóndores operada por DGA para el periodo 1977-2019.

Fuente: Elaboración propia a partir de información DGA (2019b).

Se aprecia que la escasa precipitación en la cuenca ocurre entre el periodo invernal, presentando una época seca durante el periodo estival.

Finalmente, de acuerdo al Atlas Agroclimático (FIA, 2017), la evapotranspiración potencial en la cuenca está entre 1.000 mm/año para los sectores bajo, mientras que en los sectores altos alcanza los 1.400 mm/año.

2.2.3. Valores extremos

Cabe señalar que el suceso de eventos extremos como son las olas de calor, sequías, inundaciones e incendios forestales están conectados con el clima y sus impactos generan alteraciones a los ecosistemas, producción de alimentos, suministro de agua, daños a la infraestructura (incluyendo infraestructuras para el riego, salud y bienestar humano (CNR, 2016).

De acuerdo a lo señalado por el MMA (2014), dentro de los eventos extremos se ha encontrado un marcado aumento en la probabilidad de eventos de sequía considerado, especialmente a partir de la segunda mitad del siglo XXI (como referencia se señala la ocurrencia de más de 10 veces en 30 años). No obstante, se ha identificado el aumento de eventos de precipitaciones de alta intensidad asociada a temperaturas elevadas. Una temperatura atmosférica elevada provoca una elevación de la isoterma cero, aumentando así el riesgo de inundaciones, crecidas violentas de los caudales y aluviones.

Con respecto a los eventos climáticos extremos y como estos han afectado la cantidad de agua presente en la cuenca. Utilizando las series de precipitación generados por el Balance Hídrico Nacional del año 2019, se registra una disminución del 11% en los últimos 10 años del promedio de precipitaciones anuales, (disminuyó a 0.52 mm de un promedio anual histórico de 0.59 mm)

Respecto al caudal medio anual evaluado entre 1979 y 2018 es de 0.94 m³/s, disminuyendo a 0.49 m³/s para los 10 últimos años, y 0.46 m³/s para los 5 últimos años.

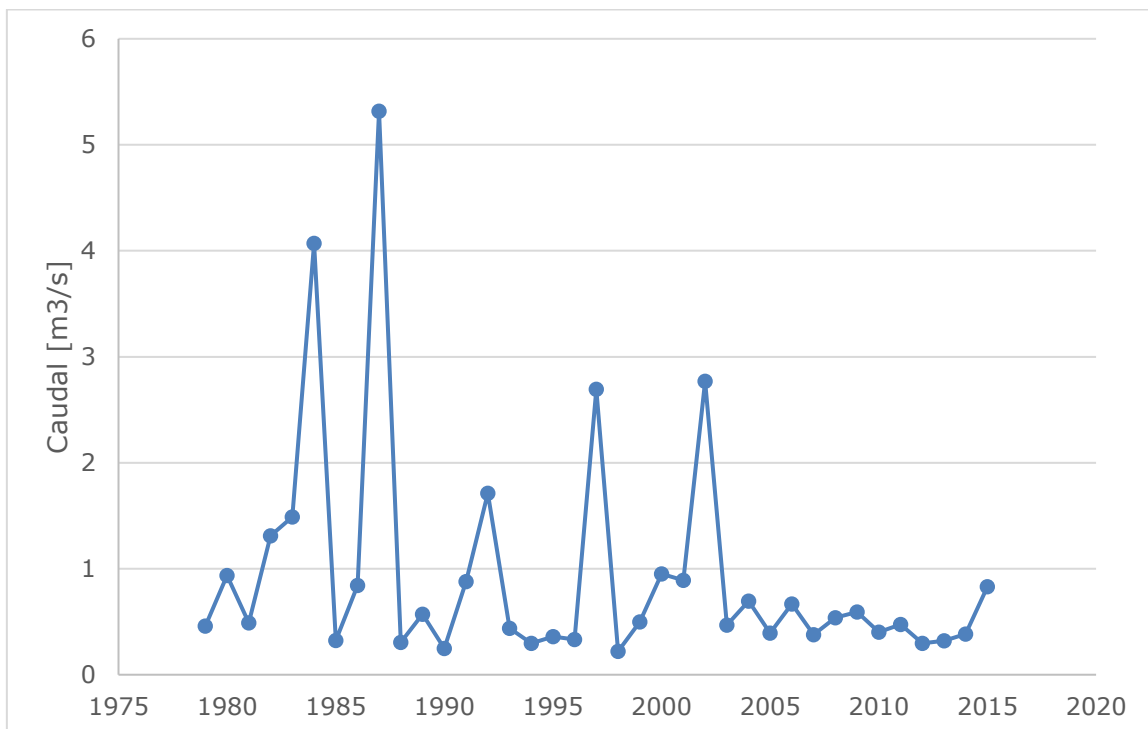


Figura 2-12. Media móvil caudales Río Quilimarí.

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos del Balance Hídrico Nacional DGA (2018b).

2.2.4. Escenarios de cambios climáticos

Los modelos de circulación general (GCM por sus siglas en inglés) con proyecciones de cambio climático seleccionados para el estudio fueron CSIRO-Mk3-6-0, CCSM4, IPSL-CM5A y MIROC-ESM. Estos modelos fueron elegidos a partir del estudio desarrollado por la DGA en 2017 sobre la actualización del Balance Hídrico Nacional, donde se estudió la respuesta regional a modos globales de variabilidad climática (ENSO y SAM); sensibilidad climática y cambios regionales, además de evaluar los cambios de temperatura y precipitación en Chile entre el periodo 2030-2060 y el período histórico 1985-2015, según el escenario RCP8.5 (DGA, 2017b). El RCP8.5 representa la trayectoria representativa alta, con forzamiento radiativo superior a 8,5 W/m² en 2100 y que continúa aumentando durante un lapso de tiempo, asumiendo que sean constantes las emisiones y las concentraciones de gases de efecto invernadero y aerosoles y gases químicamente activos después de 2250 (IPCC, 2014b).

Teniendo en cuenta las simulaciones climáticas globales que se realizaron en el marco de la preparación del quinto reporte del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2014a), la simulación utilizada en el presente estudio y que fue estimada sobre los periodos históricos y escenario RCP8.5 fue MIROC-ESM y CSIRO-Mk3-6-0, aplicando el Factor para la precipitación y el Sesgo para la temperatura (ver Tabla 2-7), según se detalla en el Anexo F – Aspectos metodológicos, acápite 1.2.3.

Tabla 2-7. Factores para la precipitación mensual [mm]

Mes	Precipitación mensual [mm]		Temperatura [°C]	
	MIROC-ESM	CSIRO-Mk3-6-0	MIROC-ESM	CSIRO-Mk3-6-0
1	106,4	114,2	1	1
2	66,5	110,8	1,1	1,6
3	80,6	68,2	2,1	1
4	59,2	103,4	1,4	1,2
5	112,2	105,2	1	1
6	87,3	86,9	0,7	0,7
7	77,9	85,1	1,4	0,6
8	87,3	109	1	0,9
9	72	52,1	0,5	1
10	66,7	169	1,1	0,6
11	65,9	34,7	1,1	1
12	66,6	72,7	1,6	1

Fuente: Elaboración propia partir de datos CR2 (2018).

2.3. Infraestructura Hídrica

2.3.1. Obras hidráulicas y de riego

En esta cuenca se encuentra el embalse Culimo en la parte de cabecera (ver Figura 2-13), construido en 1930 por privados, razón por la cual la Dirección de Obras Hidráulicas no tiene antecedentes de su construcción. El embalse operó a volumen máximo con una capacidad de regulación de 10 hm³ hasta 1999, a partir de este año solo operó a 7 millones de m³ dada la mala condición estructural del embalse (CNR, 2003). En 2007 la DOH reparó el muro de presa, restituyéndose la capacidad máxima del embalse, dicha inversión fue de \$1.684.752.000 (DOH, 2006). El embalse tiene una seguridad de riego del 50%, beneficiando 1.000 ha (CNR, 2016) o 350 ha con 80% de seguridad (CNR, 2011), áreas ubicadas principalmente aguas abajo del embalse en los SHAC's Pangalillo, El Llano, Los Cóndores, Guangualí, El Ajial, Los Maquis.

.

En la Tabla 2-8 se presentan las características técnicas del embalse.

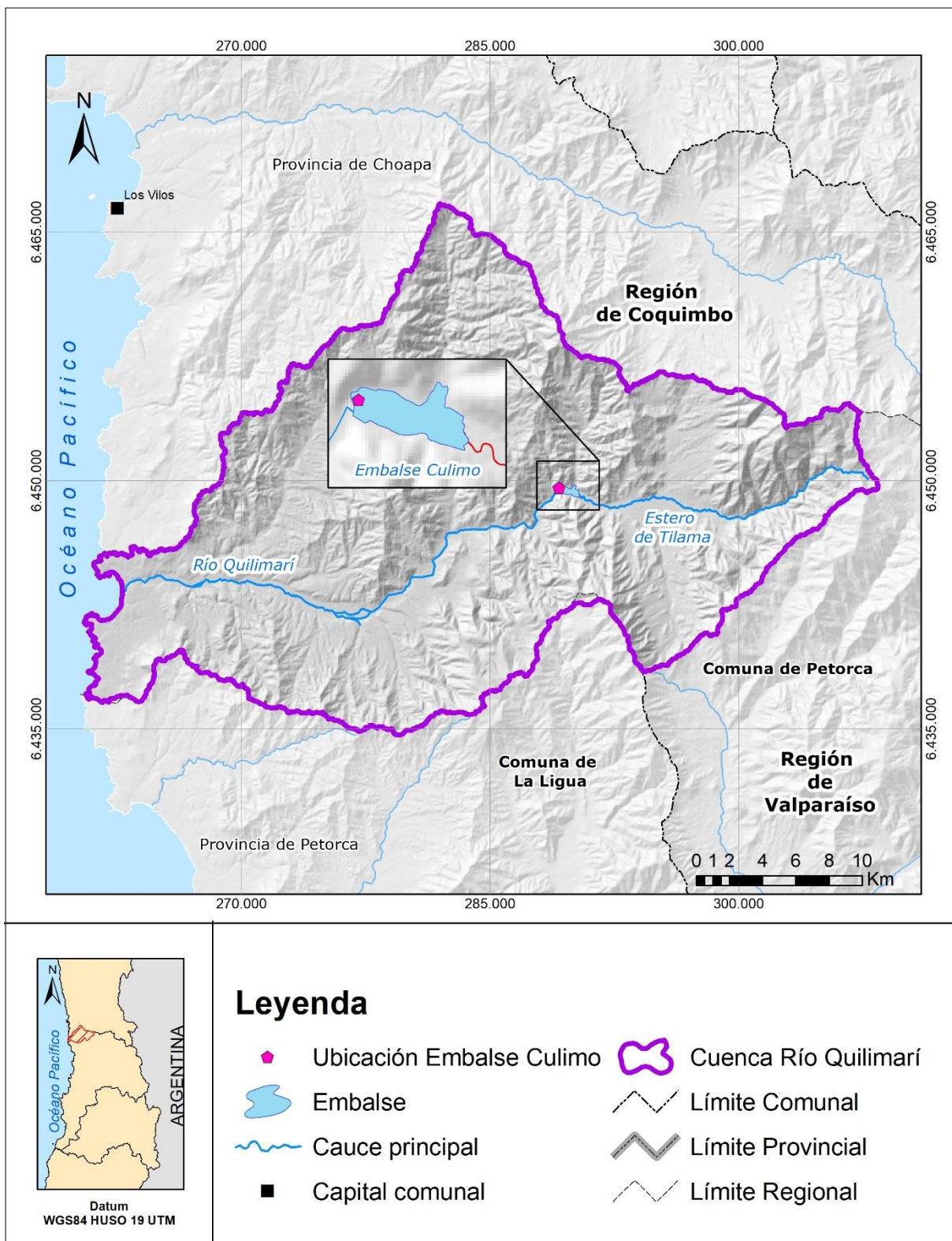


Figura 2-13. Ubicación del embalse Culimo.

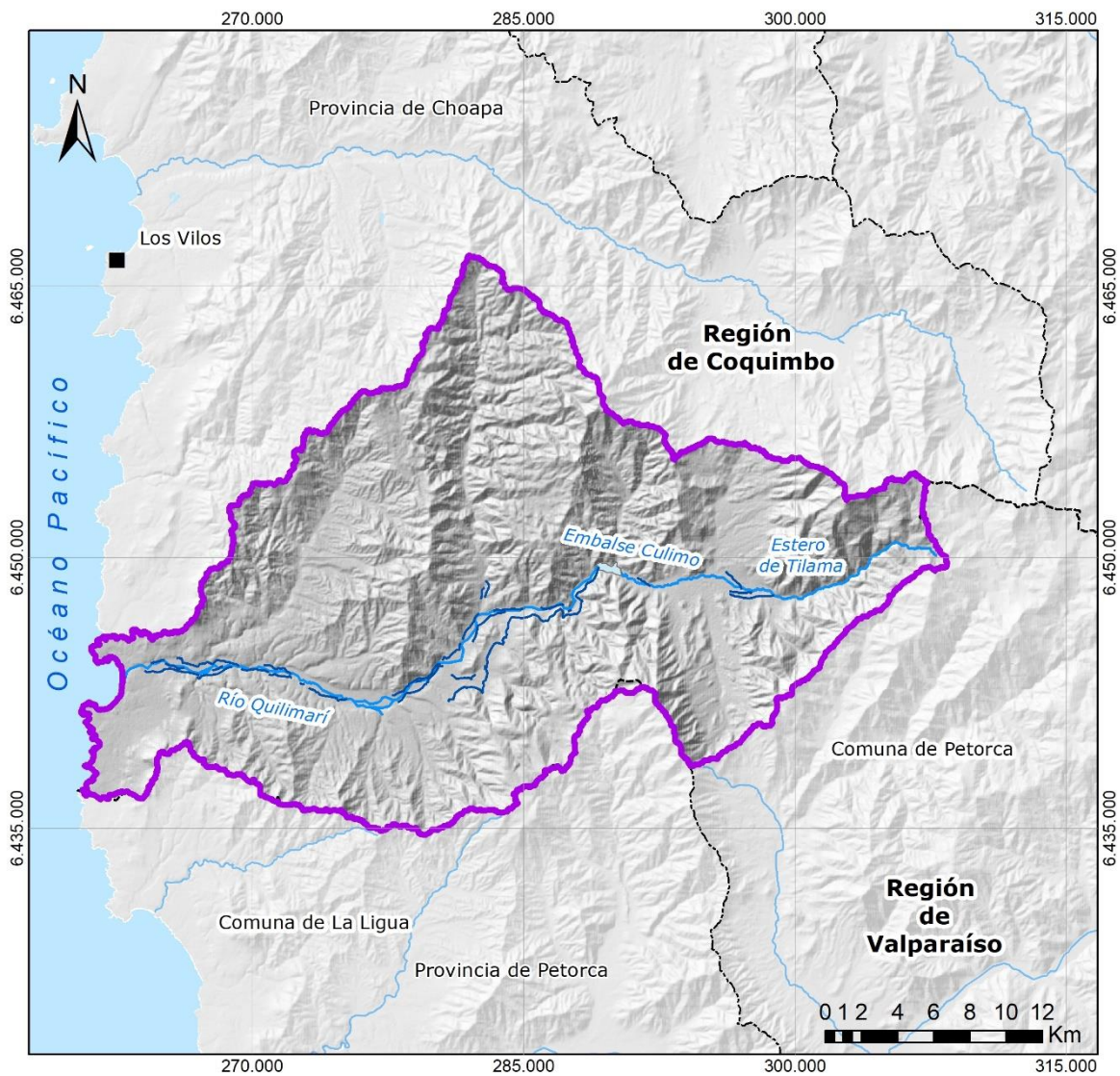
Fuente: Elaboración propia a partir de Mapoteca Digital DGA (2019d).

Tabla 2-8. Características del Embalse Culimo.

Nombre del embalse	Coordenadas Datum WGS84 Huso 19 (Muro Embalse)		Volumen bruto máximo [Hm ³]	Volumen bruto muerto [Hm ³]	Volumen bruto inicial [Hm ³]
	Este	Norte			
Culimo	289175	6449547	10	0,10	4
Cota coronamiento [m s.n.m.]	Longitud del muro de vertedero [m]	Capacidad de evacuación del vertedero [m ³ /s]	Longitud de coronamiento [m]	Ancho de muro de coronamiento [m]	Talud
250	50	370	220	8	2:1

Fuente: Elaboración propia a partir de CNR (2003).

En la cuenca del Quilimarí existen 37 canales, 18 funcionan de hecho, 16 poseen derechos y 3 son unipersonales (CNR, 2016). De los 37 canales, 11 están vinculados a la Asociación de Canalistas del Embalse Culimo. Dentro de esta red de canales, el canal matriz Los Cóndores está abierto y obstruido en algunos sectores, mientras que el canal Quilimarí ha desaparecido en ciertos tramos debido a la extracción de áridos. De acuerdo a la CNR (2016) los canales se encuentran en una situación precaria, puesto que la mayoría de ellos no están revestidos y se encuentran inhabilitados. No poseen obras civiles de toma, ni tampoco un sistema de medición del caudal.



Leyenda

- | | | | |
|--|-----------------|--|----------------------|
| | Cauce principal | | Límite Comunal |
| | Canales | | Límite Provincial |
| | Embalse Culimo | | Límite Regional |
| | Capital Comunal | | Cuenca Río Quilimarí |

Figura 2-14. Canales presentes en la cuenca del río Quilimarí.

Fuente: Elaboración propia a partir de IDE (2021b).

2.3.2. Redes de monitoreo

En la cuenca existen solo 11 estaciones de monitoreo vigentes de las cuales 9 son administradas y operadas por la Dirección General de Aguas. Del total de estaciones, 6 corresponden a estaciones meteorológicas, 3 a calidad del agua y 2 de nivel de pozo. Importante destacar que esta cuenca no cuenta con estaciones fluviométricas ni fluviosedimentológica, así como tampoco con rutas de nieve.

Durante este año (2020) la DGA desarrolló una única plataforma de visualización en Línea (HIDROLínea) de la totalidad de las estaciones que administra y que cuenta con un sistema de telemetría (<https://snia.mop.gob.cl/sat/site/informes/mapas/mapas.xhtml>). Sin embargo, ninguna de las estaciones emplazadas en esta cuenca cuentan con envío de información en línea y por lo tanto, no es posible acceder mediante esta plataforma.

2.3.2.1. Redes de monitoreo DGA

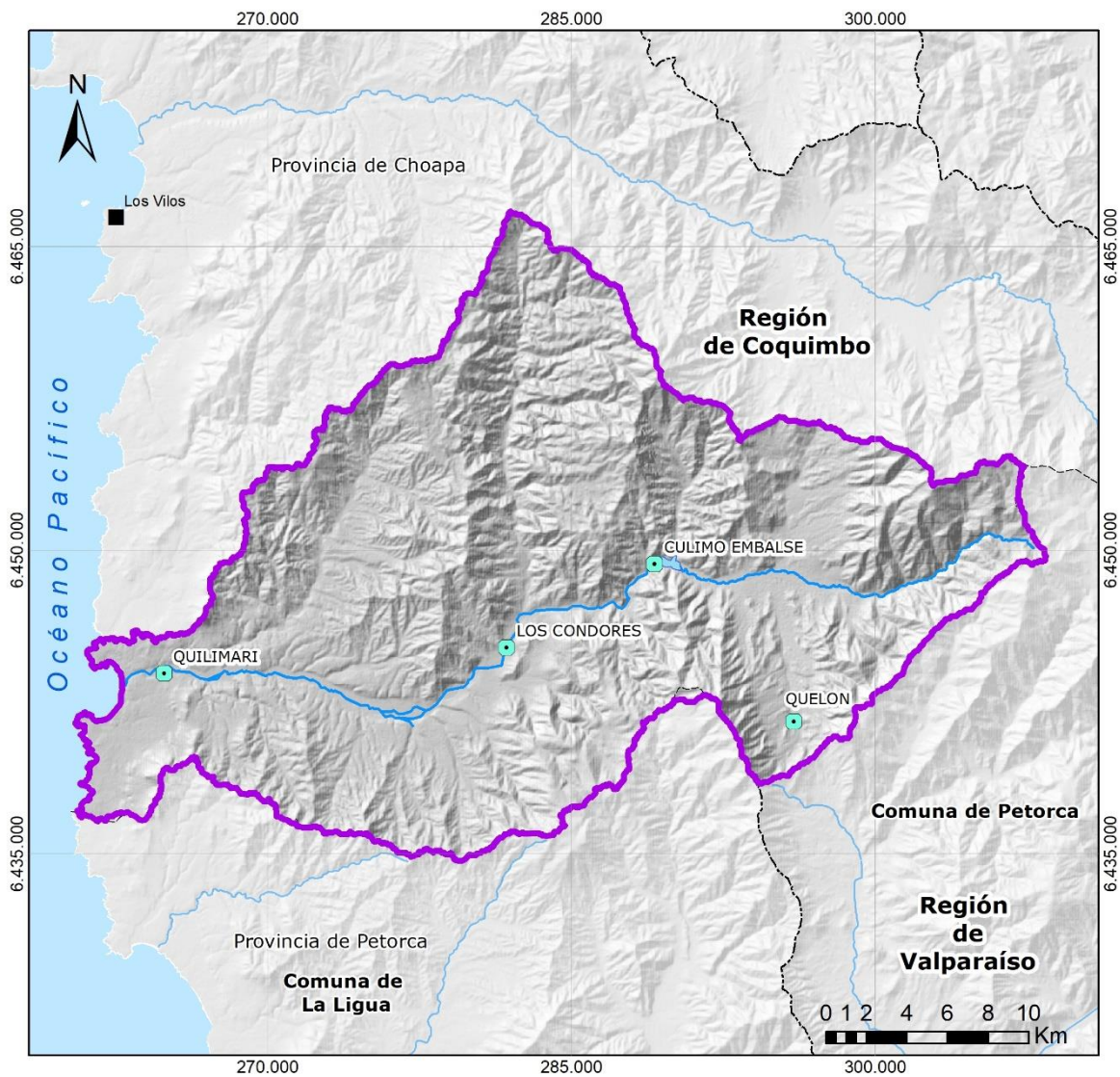
En la cuenca Río Quilimarí, del total de 9 estaciones vigentes, de las cuales 4 son meteorológicas (ver Figura 2-15), 3 de calidad del agua (Figura 2-16) y 2 de niveles de pozos (Figura 2-17). Respecto a las 8 estaciones suspendidas, estas corresponden a 4 meteorológicas, 1 de calidad del agua y 3 fluviométricas (ver Tabla 2-9).

Dada la suspensión de las estaciones fluviométricas es imposible determinar el caudal en la cuenca en el pasado reciente. Tampoco cuenta con estaciones sedimentológicas, lo cual es importante, debido a las actividades de extracción de áridos que se realizan en este río.

Tabla 2-9. Catastro de estaciones de monitoreo de la red hidrométrica DGA, incluyendo estaciones vigentes y suspendidas.

Nombre estación	Código BNA	UTM Norte	UTM Este	Altitud	Fecha inicio	Fecha último registro	Estado	Tipo de estación
El Naranja	04900004-9	6454006	296750	720	01-01-77	29-04-89	Suspendida	Meteorológica
Infiernillo	04901002-8	6450439	282179	300	01-01-77	30-04-89	Suspendida	Meteorológica
Culimo Embalse	04900002-2	6449316	289116	390	01-01-72	30-11-20	Vigente	Meteorológica
Quebrada Seca	04902005-8	6449372	272860	140	01-01-76	28-02-89	Suspendida	Meteorológica
Los Cóndores	04902002-3	6445187	281813	190	01-01-77	30-11-20	Vigente	Meteorológica
Quilimarí	04902003-1	6443916	264892	25	01-04-79	30-11-20	Vigente	Meteorológica
Quelón	04900003-0	6441528	296000	890	01-10-72	30-11-20	Vigente	Meteorológica
Quebrada El Manzano	04902004-K	6437892	276314	300	01-01-77	28-02-89	Suspendida	Meteorológica
Río Quilimarí en Los Cóndores	04901001-K	6446144	284527	200	01-01-68	23-07-02	Suspendida	Calidad de agua
APR Guanguali	04902008-2	6443493	278787	2032	28-09-16		Vigente	Calidad de agua
APR Los Cóndores	04902009-0	6445655	281861	0	28-09-16		Vigente	Calidad de agua
APR Quilimarí	04902010-4	6443620	265198	0	28-09-16		Vigente	Calidad de agua
Río Quilimarí en Chivato	04900001-4	6440819	295257	0	01-12-28	15-01-30	Suspendida	Fluviométrica
Río Quilimarí en Los Cóndores	04901001-K	6446144	284527	200	01-01-68	23-07-03	Suspendida	Fluviométrica
Río Quilimarí en Retama	04902001-5	6442208	273597	0	01-12-29	01-08-31	Suspendida	Fluviométrica
Fundo Santa Inés	04902007-4	6441475	263151	0	01-01-59		Vigente	Niveles de pozos
Pueblo Quilimarí	04902006-6	6444054	265217	0	01-07-67		Vigente	Niveles de pozos

Fuente: elaboración propia a partir de DGA (2019b).



Datum
WGS84 HUSO 19 UTM

Leyenda

- Estaciones Meteorológicas DGA
- Capital comunal
- ~ Cauce principal
- Embalse Culimo
- Cuenca Río Quilimarí

Figura 2-15. Estaciones meteorológicas presentes en la cuenca del río Quilimarí.

Fuente: Elaboración propia a partir de DGA (2019db).

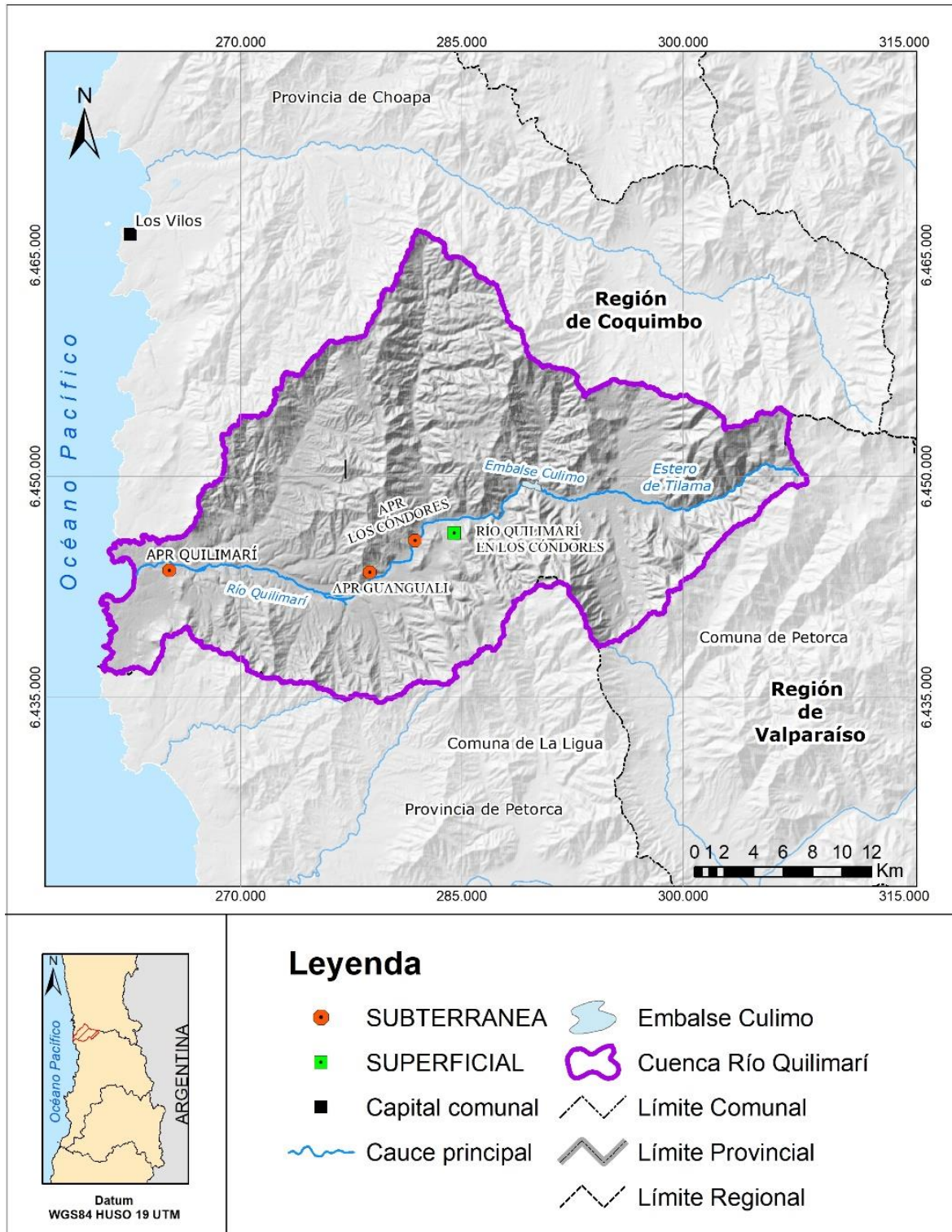
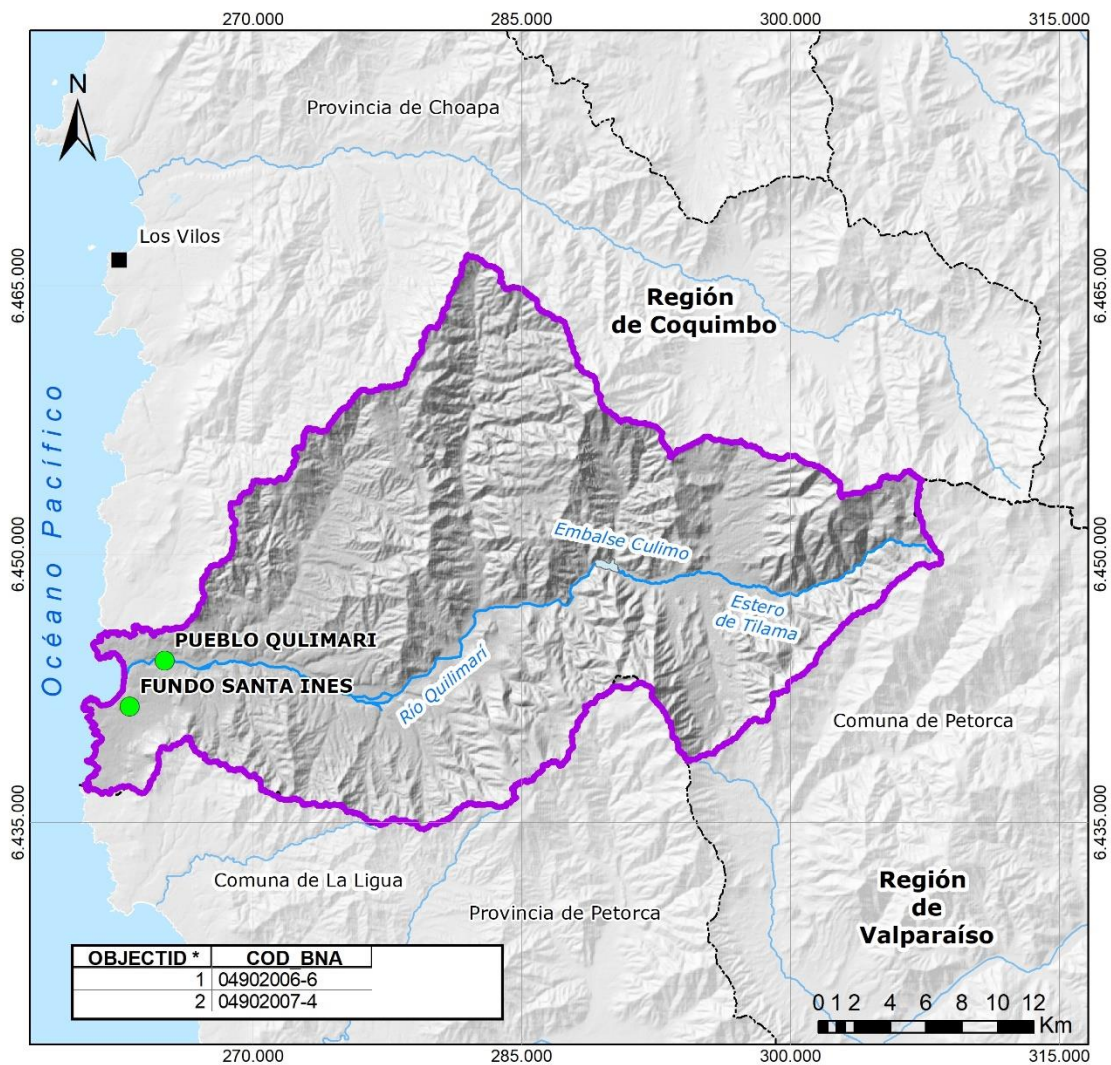


Figura 2-16. Estaciones de calidad del agua superficial y subterránea presentes en la cuenca del río Quilimarí.

Fuente: Elaboración propia a partir de DGA (2019db).



Datum
WGS84 HUSO 19 UTM

Leyenda

- Estaciones de Niveles de Pozo
- ~ Cauce principal
- Embalse Culimo
- Capital comunal
- Límite Comunal
- Límite Provincial
- Límite Regional
- Cuenca Río Quilimarí

Figura 2-17. Estaciones de niveles de pozos presentes en la cuenca del río Quilimarí.

Fuente: Elaboración propia a partir de DGA (2019db).

2.3.2.2. Redes de monitoreo de otras instituciones

Solo cinco estaciones no pertenecen a la red hidrométrica de la DGA. Dichas estaciones realizan registro monitoreo meteorológico, estando dos vigentes y tres suspendidas. La primera de ella se ubica en los Vilos y es administrada por el INIA. La segunda se ubica en Tilama y es administrada por el CEAZA. Los registros de ambas estaciones pueden accederse desde la plataforma Agrometeorología.cl desarrollada por el INIA (pudiendo acceder a los registros de dicha estación mediante la plataforma AGROMET (<https://agrometeorologia.cl/#>))

Tabla 2-10. Ubicación de las estaciones meteorológicas que no pertenecen a la Dirección General de Aguas

Nombre estación	Longitud	Latitud	Altitud [m snm]	Institución	Estado
Quilimarí	-32.190981	-71.460005	27	INIA	Vigente
Tilama	-32.081625	-71.162773	499	CEAZA	Vigente
Fundo Los Cóndores	-32.127221	-71.316943	214	DMC	Suspendida
Quilimarí, Colegio Agrícola E-386	-32.11943	-71.490833	15	DMC	Suspendida
Retén Los Cóndores	-32.116666	-71.316666	200	DMC	Suspendida

Fuente: Elaboración propia basado en CEAZA (2020), DMC (2020) e INIA (2020).

En la Figura 2-18 se presenta la ubicación espacial de las estaciones operadas por INIA, CEAZA y DMC, cuya distribución facilita conocer la precipitación a lo largo de la cuenca.

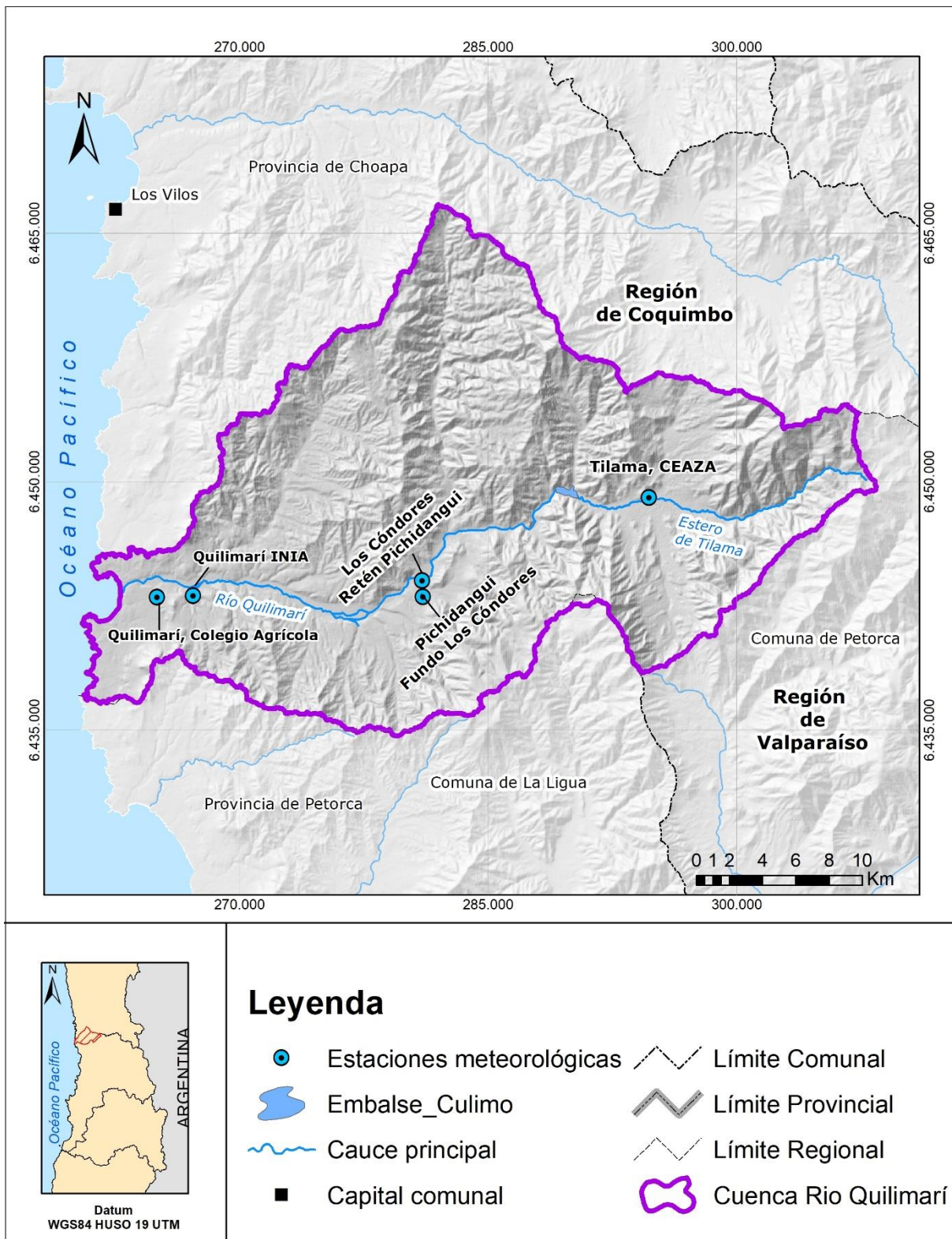


Figura 2-18. Estaciones meteorológicas operadas por INIA, CEAZA y DMC.

Fuente: Elaboración propia a partir CEAZA (2020), DMC (2020) e INIA (2020).

2.3.3. Captaciones de agua potable

En la cuenca no existen captaciones de agua superficial (DGA, 2020). Respecto a las APR existentes que actualmente se denominan Servicios Sanitarios Rurales SSR, sus captaciones son subterráneas; aunque no se conocen las características físicas de cada sondaje, si se conoce el caudal asignado por derecho de aprovechamiento, tal como se muestra en la Tabla 2-11. Para las APR Quilimarí, desde DGA (2020) se conoce que este derecho está en proceso y corresponde a 18,6 y 6,10 l/s en dos de sus tres pozos. Para la APR Los Maquis no se declara en este estudio su caudal de captación.

Los SSR con mayor población (Quilimarí y El Esfuerzo) cuentan con pozos profundos, mientras que los demás SSR tienen pozos someros. Respecto a la operatividad de los pozos pertenecientes a cada sistema, sólo la APR Pangalillo cuenta con su pozo deshabilitado.

Tabla 2-11. Captaciones de agua potable presentes en la cuenca.

Nombre	Tipo de captación	Cantidad de captaciones	Caudal aprobado con DAA [l/s]	Volumen [m ³ /año]
El Esfuerzo	Pozo/Noria/DOH	4	25,4	801.014,40
Guangualí	Pozo	4	10,1	269.632,4
Los Cóndores	Pozo	3	3,0	94.608,0
El Manzano Lo Claudio	Pozo	1	1,2	37.843,2
Quilimarí	Pozo	3	-	-
Los Maquis	Pozo	1	-	-
Junta Tilama	Pozo	2	2,0	63.072,0
Pangalillo	Pozo inhabilitado	-	-	-

Fuente: Elaboración propia a partir de DGA (2020).

2.3.4. Plantas de tratamiento de aguas servidas

Las APR su objetivo principal es proveer agua potable no teniendo jurisdicción sobre el tratamiento y disposición de las aguas posterior a su uso (CNR, 2016). Sin embargo, con la entrada en vigencia de la Ley 20.998 que Regula los Servicios Sanitarios Rurales el 14 de febrero de 2017, todas las ex APR o SSR deben incorporar dentro de sus servicios el saneamiento de las aguas servidas. A 2019, la localidad de Quilimarí no cuenta con tratamiento de aguas servidas, siendo el sistema de eliminación mediante fosas sépticas o pozos negros particulares el método de manejo. De acuerdo a I. M. Los Vilos (2019b), para

la implementación de un sistema de tratamiento de aguas servidas, requiere la mejora integral del sistema de abastecimiento de agua potable. Respecto a los demás SSR, aún no se implementa el servicio de tratamiento de aguas servidas de acuerdo a la Ley.

2.4. Nuevas fuentes de agua

La identificación de nuevas fuentes de agua en la cuenca da cuenta del dinamismo –o la ausencia de este– con que los usuarios locales han enfrentado los procesos de escasez del recurso en el tiempo.

En general, y según lo observado en el territorio, las fuentes de agua principales se remiten principalmente al uso de aguas superficiales corrientes o embalsadas, y pozos de distintos niveles de profundidad y materialidad.

A continuación, se describe cada una de las fuentes alternativas de agua y su desarrollo en la cuenca.

2.4.1. Acuíferos profundos

No existe a la fecha estudios que avalen la presencia de acuíferos profundos como posibles nuevas fuentes de agua.

2.4.2. Recarga de acuíferos

Estudios previos realizados por la DGA (2012) concluyen que la recarga de acuíferos no resultante rentables ni competitivos, en parte por los limitados caudales superficiales en la cuenca dependientes de los vertidos del embalse Culimo, y además de una geomorfología de la cuenca constituida por pequeños acuíferos independientes producto de los numerosos angostamientos y afloramientos rocosos. De acuerdo con este estudio, proyectos de recargas de acuíferos en la cuenca del Río Quilimarí requerirían alta inversión para un beneficio local, siendo poco competitivos.

2.4.3. Desalinización

La desalinización es una alternativa que está siendo evaluada en todas las ciudades costeras como fuente alternativa de agua potable, pero también como mecanismo de compensación por uso de derechos de aprovechamiento de aguas en zonas de alta cordillera, como es el caso de los sistemas de intercambios de agua o Swaps Hídricos que se han desarrollado en Copiapó entre el sector minero y el sanitario. Dentro del proceso de desalinización existe una diversidad de tecnologías (*flash* de múltiples etapas, la compresión de vapor, la osmosis inversa, osmosis reversa, la destilación de membrana y la electrodiálisis), asociadas a distintas calidades de agua de entrada/salida deseada, y costos de inversión. Además de los costos de inversión, los costos de operación, especialmente la energía eléctrica requerida, es que ha abierto el mercado a la desalinización con energía fotovoltaica. Proyectos sobre desalinización portátil y fotovoltaica se han llevado a cabo por

centros de innovación como la Fundación Chile en Arica e Isla de Pascua², y diversas empresas privadas.

En la cuenca Río Quilimarí, específicamente en la caleta de pescadores de Chigualoco SUBPESCA implementó una planta desalinizadora de inversión \$50 millones y una capacidad de producción de 5 mil litros diarios de agua potable, parte de un programa de 23 plantas de desalinización que se instalarán en toda la costa de la Región de Coquimbo³. La planta Chigualoco está hoy día en funcionamiento.

En Puerto Punta Chungo, también en la comuna Los Vilos, la minera Los Pelambres recibió la Resolución de Calificación Ambiental del proyecto INCO el cual contempla instalar una planta desalinizadora de osmosis inversa de capacidad de producción de 400 l/s de agua y un sistema de impulsión-conducción entre la estación de bombeo ubicada en las instalaciones industriales de Minera Los Pelambres en Puerto Punta Chungo y la estación de recirculación El Mauro (RCA 0016 19 de febrero 2018⁴). Sin embargo, esta planta desalinizadora no contempla el uso para consumo humano ni para riego agrícola de la cuenca.

2.4.4. Cosecha de aguas lluvia y captación de humedad en el aire

En la cuenca aledaña a Quilimarí, la Comunidad Agrícola de Majada Blanca (ubicada en pan de Azúcar) lleva una iniciativa de producción de cerveza artesanal de agua de niebla en reserva ecológica Cerro Grande⁵, y producción de olivas⁶. La factibilidad de esta tecnología los volúmenes recuperados de la niebla dependen de parámetros que deben ser estudiados caso a caso. En el caso de la cuenca de Quilimarí, el estudio "Agua de Niebla" (Cereceda *et al.*, 2014) encontró que en la Región de Coquimbo hay lugares de alta captación de agua de niebla que pueden estar distantes a 20 kilómetros del mar, como el cordón Cavilolén, en las cercanías de los Vilos, que al tener un valle fluvial que asciende lentamente hasta los 700 – 800 metros de altitud atrapa las nubes que puedan ser una fuente de agua. En la zona de Comcarbalá, Provincial de Limarí, Coquimbo se midió la colecta de neblina y lluvia en techos llegando a máximos de 15 l/día en 36 m² de techo, pudiendo solventar 8% de las necesidades de agua de un hogar con ambas fuentes (Carvajal *et al.*, 2018).

2.4.5. Uso aguas servidas tratadas

En la región de Coquimbo se han realizado algunos estudios para determinar el potencial uso de agua residual. Dando una priorización de las plantas de tratamiento que pueden ser evaluadas.

² <https://fch.cl/noticia/inauguran-primera-planta-desalinizadora-que-funciona-con-energia-solar-en-isla-de-pascua/>

³ <http://www.subpesca.cl/portal/617/w3-article-105586.html>

⁴ http://web.pelambres.cl/media/4251/minera-los-pelambres_rca-inco.pdf

⁵ <http://atrapaniebla.cl>

⁶ <http://www.laserenaonline.cl/2017/05/10/comunidad-agricola-cosecha-las-primeras-aceitunas-100-regadas-con-agua-de-niebla/>

Aunque la cuenca de Quilimarí no estuvo en esta priorización, futuros estudios podrían identificar las brechas y posibilidades existentes para el uso de agua residual tratada en la producción agrícola de la zona. Este estudio menciona que la región de Coquimbo cuenta con tres emisarios submarinos, uno de ellos en Los Vilos, con un 4% del volumen de descarga de un total 0,78 m³/s, lo cual a futuro pudiese ser una fuente para la producción agrícola local.

2.5. Dimensión ambiental

2.5.1. Calidad del agua

En la cuenca del Río Quilimarí, existen 4 estaciones de calidad de agua (3 subterránea y una superficial), solo hay una con datos, con 8 años de datos disponibles y 27 faltantes. Además de que la única estación de calidad de agua con datos disponibles es Río Quilimarí en Los Cóndores (04901001-K), se suma que fue suspendida en 2002. Entre las estaciones con datos disponibles, la tasa promedio de toma de muestras es 1.75 muestras/estación/año). Con este análisis se identifica un problema adicional al de estaciones declaradas "vigentes" pero sin datos, porque esta tasa de toma muestras no responde a una evaluación estacional (sino que tampoco es mensual). Debido a esta forma de tomar muestras, es importante evaluar si los meses de toma de muestras responden o no al régimen de caudales característico del río Quilimarí, el que posee flujos más altos durante los inviernos.

En la estación "Río Quilimarí en Los Cóndores" (04901001-K, Figura 2-19), tiene 14 días muestreados. El diagrama Piper indica que el agua es de tipo bicarbonatado (catión: tipo bicarbonatado, anión: sin tipo dominante). La tendencia temporal de conductividad eléctrica, basada en 13 días muestreados, indica un valor promedio de 741.54 mohs/cm y que había una tendencia marcada de bajada de conductividad eléctrica dentro del plazo de los datos de monitoreo (entre 1968 y 1979). En el caso de la caracterización del tipo de agua y la evaluación de la conductividad eléctrica, no es posible evaluar las condiciones más recientes, debido a una falta de datos durante los últimos años. Considerando que esta estación fue suspendida, es la única estación con datos de calidad de agua disponibles dentro de la cuenca entera de Quilimarí. El hecho que no se puede decir nada de la calidad de las aguas recientes dentro de la cuenca Quilimarí es problemático en la evaluación de la condición de esta cuenca a con especial relación a los datos públicos.

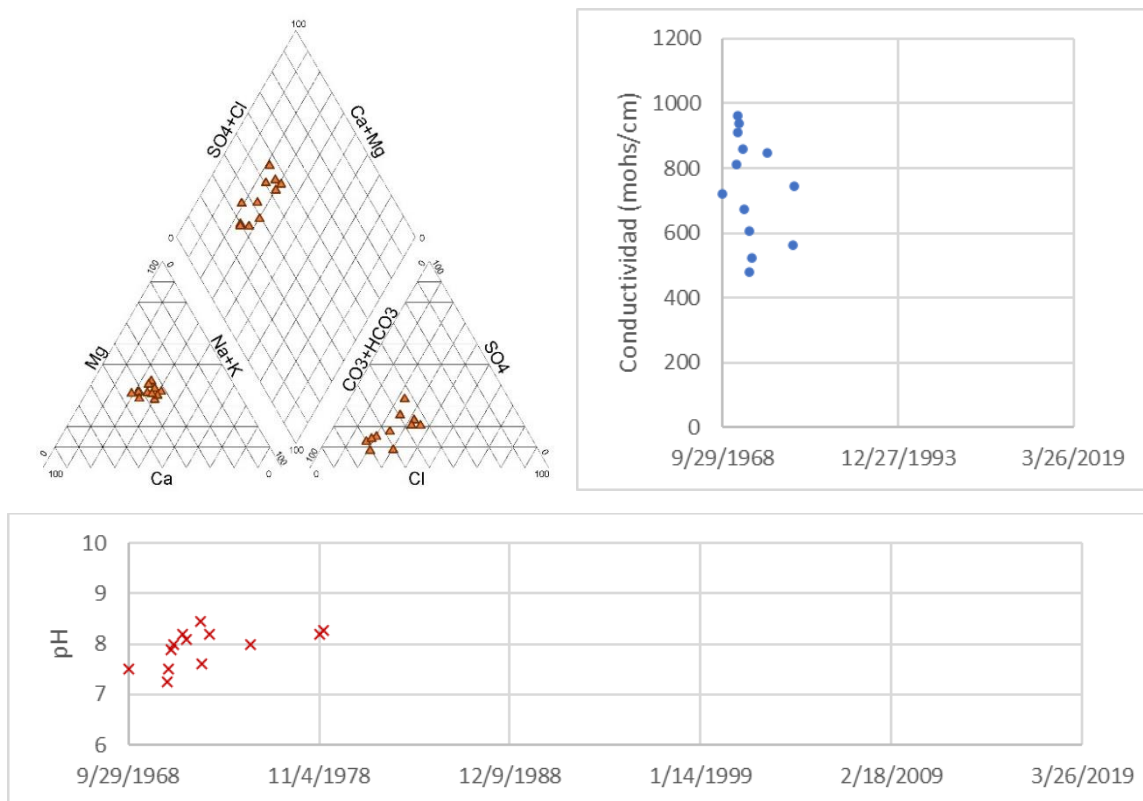


Figura 2-19. Diagrama Piper y figuras de la conductividad eléctrica y pH para la estación "Río Quilimarí en Los Condores" (04901001-K).

Fuente: Elaboración propia basado en información DGA visitada en enero 2020.

2.5.2. Unidades Ecosistémicas

2.5.2.1. Ecosistemas terrestres

La "Sinopsis bioclimática y vegetal de Chile", de Federico Luebert y Patricio Pliscoff (2006), en la que combina variables bioclimáticas y de altitud con las formaciones vegetacionales, la composición florística y la fisonomía de la vegetación permite distinguir 03 formaciones y 05 pisos vegetacionales en la cuenca del río Quilimarí.

En la cuenca del río Quilimarí las comunidades vegetales tipo son: matorral espinoso y matorral arborescente (zona alta), bosque esclerófilo (en el valle) y matorral arborescente (en el valle y desembocadura del río). El bosque de Quilimarí posee un valor muy importante porque se encuentra en la Diagonal Árida de Sudamérica y en pasado favoreció la adaptación de especies vegetales a la escasa niebla y precipitaciones características de la zona. Actualmente, las presiones son mayores debido a la megasequía y efectos sinérgicos con otras actividades que se desarrollan en la cuenca.

Dado que es una cuenca costera, se han identificado individuos de Becacina (*Nycticryphes semicollaris*), Cururo (*Spalacopus cyanus*), Pato Cuchara (*Spatula platalea*), Cisne

Coscoroba (*Coscoroba coscoroba*), Cisne Cuello Negro (*Cygnus melancoryphus*). La fauna de interior se caracteriza por la presencia de Llaca (*Thylamys elegans*), varias especies de lagartijas *Liolaemus spp*, así como zorros (*Lycalopex culpaeus*).

Tanto las especies faunísticas como vegetales de la cuenca están sometidas a fuertes presiones, desde la agricultura y ahora más recientemente el desarrollo de proyectos inmobiliarios que se localizan en zonas de valor paisajístico por su valor ecológico, pero que al mismo tiempo lo ponen en riesgo.

2.5.2.2. Ecosistemas acuáticos

Desde una perspectiva de ecología acuática del paisaje y según el Inventario Nacional de Humedales (2011), en la cuenca del río Quilimarí se encuentran 11 humedales, que abarcan 145 ha de la totalidad de la cuenca. Se distinguen tres tipos de humedales en la cuenca: cuerpos de agua o laguna costera, ríos, y humedales antropizados que incluyen embalses y estanques. En la Tabla 2-12 se presenta el número de humedales por tipología y el área asociada, siendo el tipo Río el humedal más presente en la cuenca con 109.9 ha, ya que considera toda la caja o cauce del río y sus tributarios (ver Figura 2-20).

Tabla 2-12. Número y área de superficie asociado a humedales distintos en la cuenca Río Quilimarí

Tipo de humedal	Número	Área (ha)
Antropizado	4	25.00
de Ríos	6	109.94
Laguna costera	1	10.10

Fuente: Elaboración propia basado en inventario de Nacional de Humedales (MMA, 2019a).

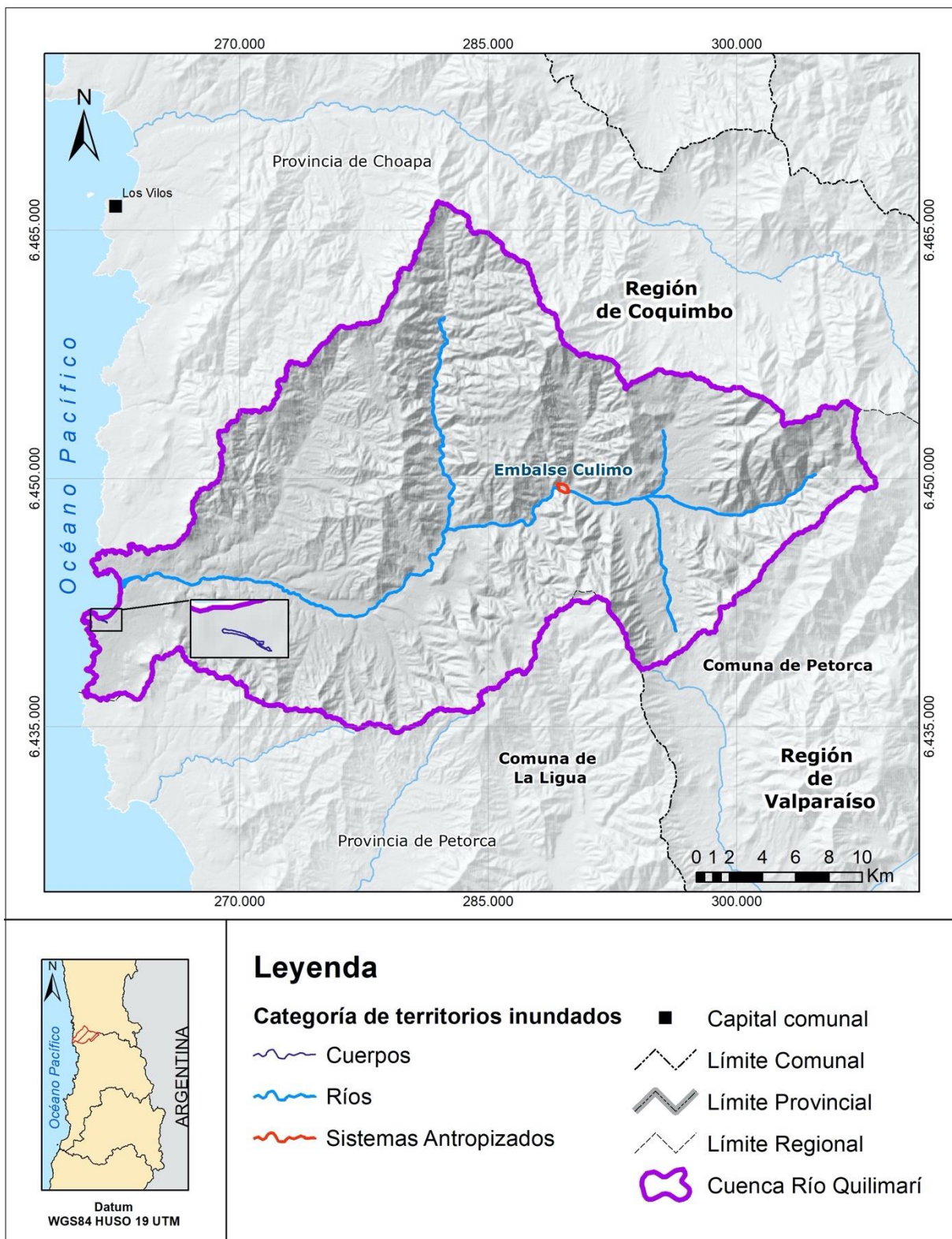


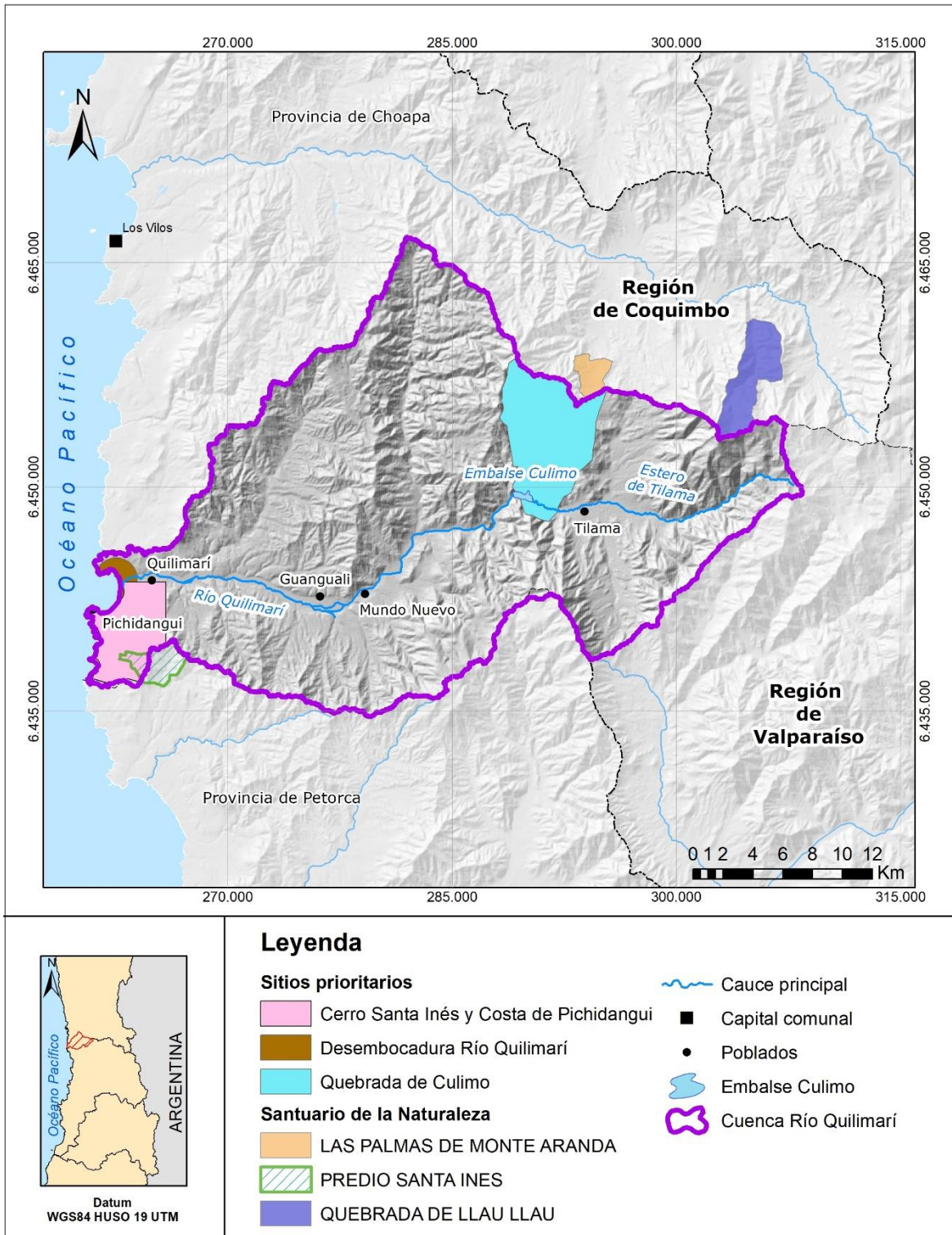
Figura 2-20. Humedales presentes en la cuenca de Quilimarí, basada en los datos del inventario de humedales del MMA

Fuente: Elaboración propia

2.5.2.3. Áreas silvestres protegidas

Las áreas silvestres protegidas pueden estar bajo protección estatal o privada, en distintos regímenes de protección. Para la cuenca del río Quilimarí se encuentran categorías dentro del **Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE)**, las cuales son tres (03) Santuarios de la Naturaleza: Área de Palma Chilena de Monte Aranda (designado en 2017), Quebrada Llau-llau (designado en 2017) y Cerro Santa Inés (designado en 2020). Todas ellas en total abarcan 548 ha (ver Figura 2-21). Por su parte, no existen a la fecha iniciativas Áreas Privadas o Comunitarias de Conservación.

En la cuenca del río Quilimarí se encuentran dos tipos de **Sitios Prioritarios de conservación de la biodiversidad (SP)**, aquellos que poseen una línea base y que poseen efecto sobre el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA), y, aquellos que no poseen línea base y consecuentemente, no tienen efecto en el SEA. Respecto a los primeros, la cuenca presenta dos SP: Cerro Santa Inés y Costa de Pichidangui (97% de la superficie contenida en la cuenca) y Quebrada de Culimo (45% de la superficie contenida en la cuenca). En relación a los SP sin efecto en el SEA, la cuenca del Quilimarí presente un único SP denominado Desembocadura Río Quilimarí, la cual considera un 59% de superficie dentro de la cuenca.



2.6. Gobernanza del agua a nivel de Cuenca

Se entiende por Institucionalidad y Gobernanza a la estructura y articulación de instituciones políticas en los distintos niveles de gestión (gobernanza vertical), con las organizaciones privadas y ciudadanas (gobernanza horizontal), que apoyan la adecuada gestión, fiscalización, protección y gestión de los recursos hídricos en la cuenca. La institucionalidad pública con injerencia en la gestión de los recursos hídricos en Chile ha sido evaluada como amplia, compleja, centralista (Akmouch, 2012), y con atribuciones superpuestas en ciertos temas, como el de la protección de la calidad de las aguas (Gobierno de Chile, 2012). El análisis del desempeño de las 102 funciones relacionadas con el agua en Chile ha mostrado la no existencia de una estructura clara que defina políticas y objetivos sectoriales que aglutine esfuerzos, financiamiento, información, capacidad y coordinación institucional (CCG, 2016). Especialmente la no claridad en la priorización de objetivos en el territorio y en el uso del agua ha sido nombrado una razón para la imposibilidad de llegar a consensos colectivos sobre qué hacer en un territorio (Dourejanni, et al., 2010). Este diagnóstico nacional se manifiesta en la institucionalidad y gobernanza de la cuenca del río Quilimarí (CNR, 2011; CNR, 2016a,b; DGA, 2018; CAZALAC, 2016; CCG, 2015).

2.6.1. Mapa de agentes

2.6.1.1. Institucionalidad pública de la gestión del agua

A escala nacional, la Estrategia Nacional de Recursos Hídricos (ENRH) 2012-2025 y el Banco Mundial (2013) reconocen la multiplicidad de organismos públicos con injerencia en algún aspecto relacionado a la gestión del agua. Además de este levantamiento realizado para la ENRH, actualmente se ha creado el Ministerio de Ciencia y Tecnología, con el objetivo de asesorar y colaborar con el presidente de la República en el diseño, formulación, coordinación, implementación y evaluación de las políticas, planes y programas orientados a contribuir al desarrollo sostenible del país y a la generación de conocimiento como resultado de investigación de base científico-tecnológica. Está también en proceso de Ley lo que será el Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas que se encuentra en la Comisión de Medio Ambiente y Recursos Naturales de la Cámara de Diputados. El servicio estará encargado de la promoción y protección de los ecosistemas acuáticos como ríos, lagos y humedales. Actualmente, este rol es parte de las atribuciones del Ministerio de Medio Ambiente.

Representantes de la institucionalidad nacional asociada a la gestión del agua tienen sede en la región de Coquimbo, y a nivel Provincial en Choapa. La DOH, tiene una función además con la gestión de los embalses en la cuenca, como es el embalse Culimo. INDAP, el SAG y el INIA están presentes a nivel provincial, con oficinas regionales de programas como PRODESAL en Los Vilos. Un análisis de instituciones relevantes en Quilimarí menciona también a la Corporación de Fomento (CORFO), la agencia del Gobierno de Chile, dependiente del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo a cargo de apoyar el emprendimiento, la innovación y la competitividad en el país junto con fortalecer el capital

humano y las capacidades tecnológicas. En cuanto a la gestión del recurso hídrico CORFO en conjunto a la Comisión Nacional de Riego, han otorgado recursos económicos para la tecnificación predial y la eficiencia del riego en la actividad agrícola (CNR, 2016b).

Además de las instituciones mencionadas, dado que esta es una cuenca costera, el Servicio Nacional de Pesca (SERNAPESCA) también es un ente importante en la aplicación de normativas como lo son las vedas, la comercialización legal de los productos, el registro estadístico de la extracción de los productos, entre otros cuya SERNAPESCA cuenta con una oficina en la Caleta Pichidangui por el sur a Caleta Limarí en la comuna de Ovalle.

Con esta información se actualizó un mapa de actores (Figura 2-22) para Quilimarí⁷.

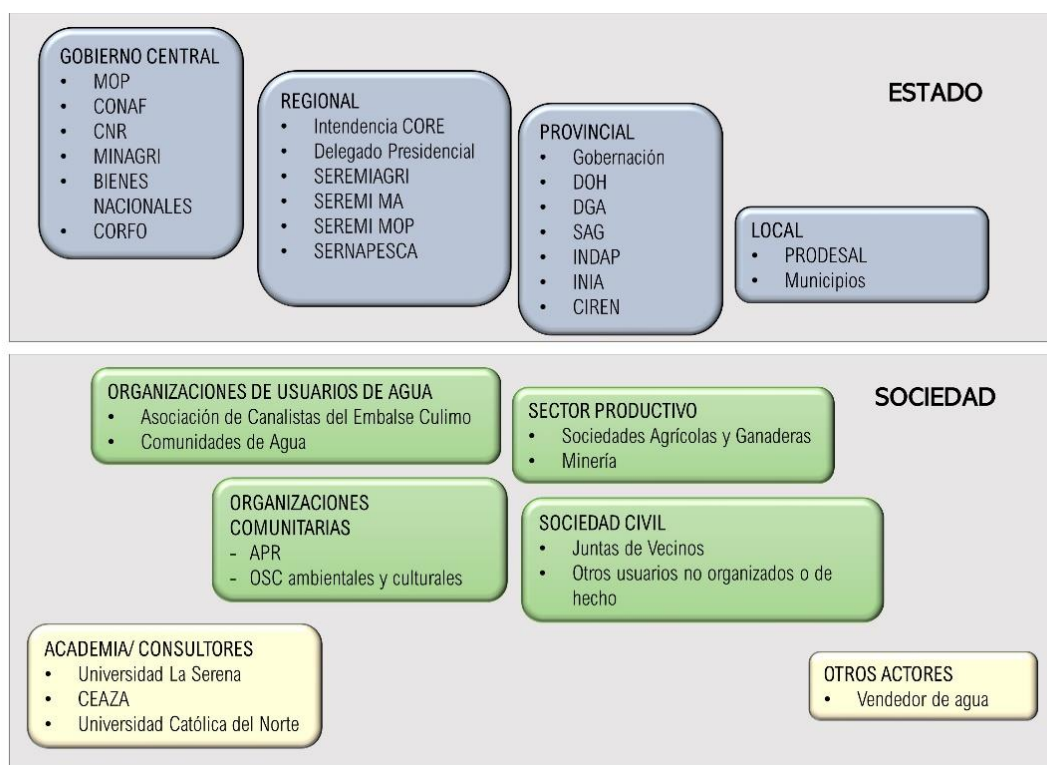


Figura 2-22. Mapa principales actores en la cuenca de Quilimarí.

Fuente: Elaboración propia en base CNR 2016 y entrevistas a actores de la zona.

Estos actores se involucran de distinta manera en el territorio y dependiendo de la contingencia. Estos actores tienen también distintos grados de interés e influencia. El *grado de influencia* se relaciona con la capacidad de incidir en el comportamiento de otros actores de la cuenca, ya sea a través de incentivos como de diversas formas de cooperación y/o

⁷ Debido a la emergencia sanitaria, con la consiguiente imposibilidad de realizar talleres presenciales, se estableció una estrategia de consulta a actores clave a través de formularios online (enviados a **31** correos electrónicos y mensajes a **29** números de WhatsApp) y llamadas telefónicas. (ver Reporte PAC en Anexos)

conflicto; mientras que el *grado de interés*, expone sus objetivos y preocupación sobre la gestión del agua. Como se ve en la Figura 2-23, a pesar de la escasez hídrica existen actores que están menos sensibilizados y no tienen actualmente un grado de influencia, es el caso de las organizaciones sociales, que no cuentan con el nivel de organización para influir en las decisiones (Figura 2-23):

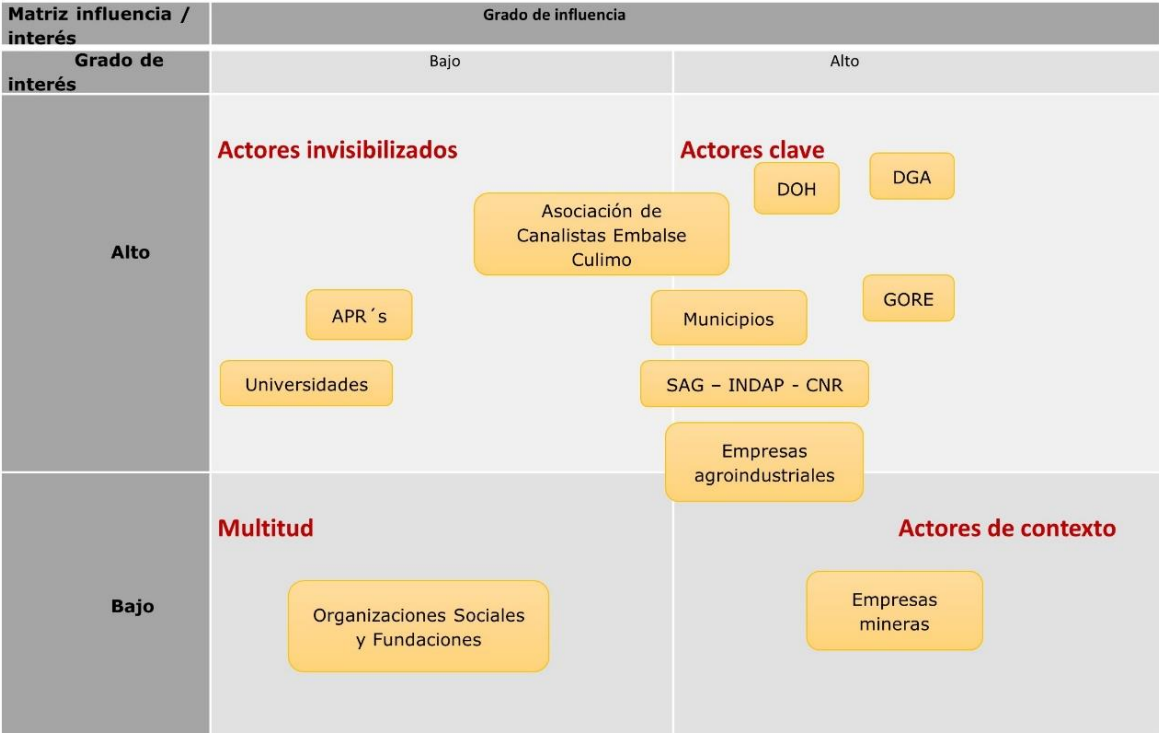


Figura 2-23. Mapa de interacción de los principales actores en la cuenca de Quilimarí.

Fuente: Elaboración propia a partir del análisis de interés e influencia de los actores.

2.6.1.2. Organizaciones de Usuarios de Agua

De acuerdo con el Registro Público de Organizaciones de Usuarios del Catastro Público de Aguas el estudio de OUAs de Chile (DGA 2018), en la cuenca del río Quilimarí existen 28 Organizaciones de Usuarios de Agua, de las cuales 16 están legalizadas (todas ellas ingresadas en 1992) y 39% funcionan de hecho (Figura 2-24). Entre las que funcionan de hecho se encuentra una Junta de Vigilancia del río Quilimarí, y 9 comunidades de agua (Ver Anexo J. Descripción y diagnóstico, capítulo 5). El caudal otorgado a estas comunidades de agua *Aprobadas*, es de 445,65 l/s.

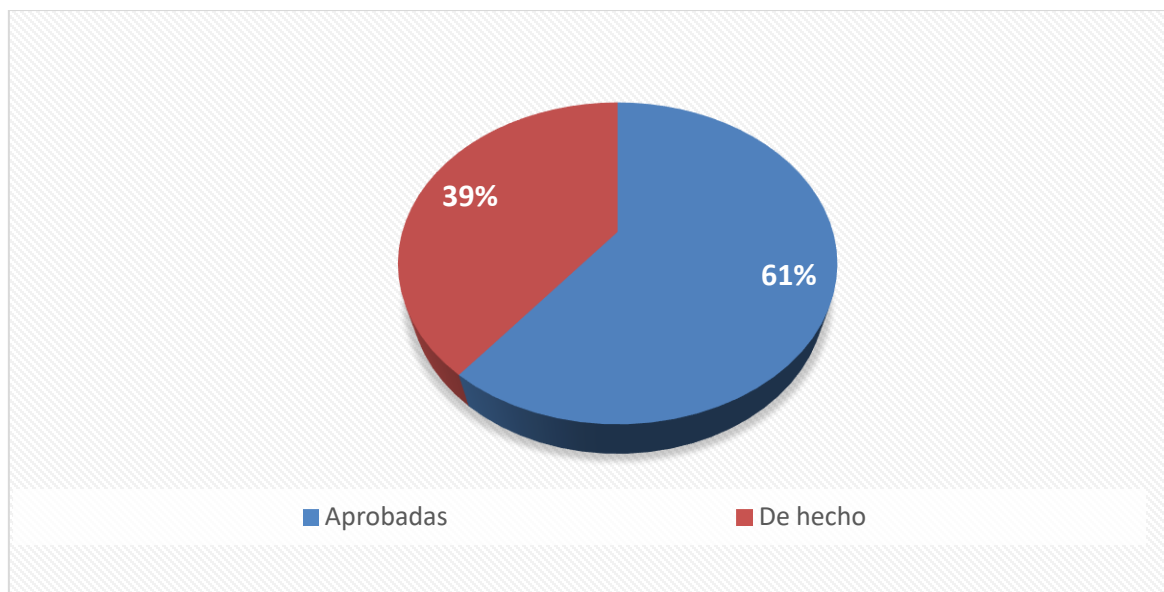


Figura 2-24. Estado de las OUs en Quilimarí.

Fuente: elaboración propia con datos CPA (DGA).

El análisis de la información muestra una débil presencia y actividad de Organizaciones de Usuarios de Agua en la cuenca del río Quilimarí:

Junta de Vigilancia. La Junta de Vigilancia del Río Quilimarí estaba con sentencia judicial, y en proceso de inscripción en el Registro de Organizaciones de Usuarios de la DGA el 2011 (CNR, 2011). Representantes de la DGA Provincial indicaron que el proceso es largo y complejo y los participantes van abandonando. De acuerdo con un diagnóstico de OUs del 2016 (CNR, 2016c) la capacidad de coordinación y gestión es baja debido a un distanciamiento entre los grandes y pequeños agricultores, donde los pequeños agricultores no se sienten representados y muchos habían dejado de ser agricultores producto de la sequía. Actualmente la JdV no funciona de forma activa.

Asociaciones de canalistas del embalse Culimo: La principal OUA es la Asociación de canalistas del embalse Culimo (ACECU), que gestiona la principal fuente de agua para la agricultura en el valle. Su función principal es administrar las aguas del embalse, principal reserva de recursos hídricos que abastece la agricultura del valle (CNR, 2016c). Está compuesta por 255 regantes de 11 canales, y a pesar de contar con una directiva que coordina con la DOH, no ha estado muy activa los últimos años. El Programa de Transferencia de Capacidades para el fortalecimiento de las Organizaciones de Regantes en el río Quilimarí (CNR, 2011), implementó capacitación y apoyo en la conformación de la Directiva, pero problemas internos que deben ser estudiados, no han resultado en los objetivos esperados. En este sentido, hay que mencionar que el análisis demográfico de la cuenca de Quilimarí mostro una tendencia al envejecimiento poblacional que debe ser considerada en futuros Programas de fortalecimiento de organizaciones de usuarios (ver Anexo 1-5).

Comunidades de Agua Subterránea: No existe CASUB en la cuenca del Río Quilimarí. Estaban en proceso de organización 5 comunidades de aguas subterráneas arriba del Embalse Culimo, una organizada y las otras en vías de formalización (CNR, 2016b). Entrevistas con actores locales informaron que, aunque había interés, éstas todavía no se habían constituido. Es importante identificar los motivos para que estas iniciativas no hayan prosperado. Una posible razón es la sobre explotación del acuífero que tiene en Áreas de Restricción a gran parte de la cuenca (DGA, 2014).

2.6.1.3. Organizaciones sociales

En Quilimarí se han identificado diversas organizaciones sociales relacionadas directa o indirectamente con el recurso hídrico, como la Junta de Vecinos/as El Manzano, Consejo Regional Campesino, o el Consorcio por los Derechos Ciudadanos y Derechos Sustentables.

Importante también son en la Región de Coquimbo los centros de investigación como el Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA), la Corporación Minera de Coquimbo (CORMINCO) y el Centro del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y El Caribe (CAZALAC).

A nivel regional también existen varias organizaciones que trabajan temas ambientales, especialmente dado la importancia de la minería en la zona, como Defensa Ambiental, Elqui Sin Mineras, Andacotttearlallo Vive y Resiste, y Salud Digna Para Todos, Comité de Defensa del Valle de Pupío y otros. MODATIMA también ha trabajado en la región de Coquimbo, así como El Observatorio Latinoamericano de Conflictos Ambientales.

2.6.2. Débil presencia y actividad de Organizaciones de Usuarios de Agua

- a. Inexistencia de Junta de Vigilancia. La Junta de Vigilancia del Río Quilimarí estaba con sentencia judicial, y en proceso de inscripción en el Registro de Organizaciones de Usuarios de la DGA el 2011 (CNR 2011). En un estudio del CNR 2016, la Junta todavía en trámite mostraba tener problemas de escasez hídrica y poco visibilizados por las autoridades. En las visitas y consultas realizadas durante este proyecto, la Junta de Vigilancia del río Quilimarí seguía sin estar legalizada y operativa. Representantes de la DGA Provincial indicaron que el proceso es largo y complejo y los participantes van abandonando. Además de los problemas puntuales que hayan debilitado los esfuerzos del Programa de Transferencia de Capacidades para el fortalecimiento de las Organizaciones de Regantes en el río Quilimarí (CNR, 2011), es importante mencionar que el análisis demográfico de la cuenca mostro una tendencia al envejecimiento poblacional que debe ser considerada en los Programas de fortalecimiento de organizaciones (ver Anexo X).
- b. Debilidad y falta de mecanismos el fortalecimiento de las Asociaciones de canalistas del embalse Culimo: La principal OUA es la Asociación de canalistas del embalse Culimo (ACECU), que gestiona la principal fuente de agua para la agricultura en el valle. Sin embargo, sus Directivos indican que ésta no ha estado operativa debido en parte a la poca vinculación con los

usuarios. El diagnóstico realizado por la CNR (2016b) levantó serios problemas de escasez hídrica e invisibilidad frente a la autoridad. PRODESAL Los Vilos indica un alto porcentaje de pequeños agricultores sin DAA (aproximadamente 30%), lo que les imposibilita pertenecer a alguna asociación. El Programa de Transferencia de Capacidades para el fortalecimiento de las Organizaciones de Regantes en el río Quilimarí (CNR, 2011), implementó capacitación y apoyo en la conformación de la Directiva, pero problemas internos que deben ser estudiados, no han resultado en los objetivos esperados. En este sentido, hay que mencionar que el análisis demográfico de la cuenca mostro una tendencia al envejecimiento poblacional que debe ser considerada en futuros Programas de fortalecimiento de organizaciones de usuarios (ver Anexo X).

- c. Debilidad y falta de mecanismos para la conformación y fortalecimiento de las CAS. No existe CAS en la cuenca del Río Quilimarí. Estaban en proceso de organización 5 comunidades de aguas subterráneas arriba del Embalse Culimo, una organizada y las otras en vías de formalización (CNR 2016b). Entrevistas con actores locales informaron que, aunque había interés, éstas todavía no se habían constituido. Es importante identificar los motivos para que estas iniciativas no hayan prosperado. Una posible razón es la sobre explotación del acuífero que tiene en Áreas de Restricción a gran parte de la cuenca (DGA 2014).

Tabla 2-13 Áreas de restricción definidas por la DGA en la cuenca del río Quilimarí

Sector	Resolución	Fecha de Resolución
Aguas arriba Embalse Culimo	DGA 150	11-08-2009
Aguas arriba Embalse Culimo	DGA 150	11-08-2009
El Ajjal	DGA 48	31-07-2013
Guanguali	DGA 150	11-08-2009
Los Cóndores	DGA 150	11-08-2009
Los Maquis	DGA 48	31-07-2013
Pangalillo	DGA 150	11-08-2009
Quilimarí	DGA 150	11-08-2009

Fuente: DGA, 2014b.

- d. Debilidad de las asociaciones de agua potable rural. De acuerdo con de estudio CAZALAC (2015), un 75% de las APRs de la región de Coquimbo mantienen registros escritos de su información, no tienen computadores y por tanto no tienen capacidades de gestión computacional que apoye su operación. Las APRs de la Provincia requieren apoyo constante de la DOH, la Asociación de Canalistas del Embalse Culimo y el Municipio de Los Vilos. Entrevistas con funcionarios de la Municipalidad de Los Vilos muestran el apoyo constante que realizan en proyectos de estanques y habilitación del pozo. Asimismo, encargados DOH explican como el Embalse es una de las

fuentes más importantes de agua para la población de la cuenca. Al estar el acuífero sobre explotado, la recarga de acuíferos desde el embalse se ha transformado en algo esencial para el funcionamiento de las APRs

2.6.3. Brechas de coordinación

El Gobierno Regional de Coquimbo (División de Planificación y Desarrollo Regional) cuenta con un "Plan Estratégico para enfrentar la Escasez Hídrica hasta el año 2025" con medidas específicas para aplacar la brecha existente entre la demanda y oferta de agua. Además, la región cuenta la Estrategia Regional de Recursos Hídricos por Cuenca 2014-2030 que también propone estrategias para el desarrollo de un sistema sustentable en materia del uso de los recursos hídricos, ordenado y sostenible en las dimensiones territorial, ambiental, social, económica e institucional. En este documento se propone una "institucionalidad hídrica regional empoderada, incluyendo una coordinación corporativa público privada, a nivel provincial y de cuencas, de modo que actúen en forma cohesionada, con capacidad de impulsar, monitorear y evaluar la ejecución de planes, programas y proyectos que promuevan el manejo eficiente e integrado de los recursos hídricos en las cuencas de la región" (CAZALAC, 2013). Sin embargo, actualmente no existe una instancia de coordinación entre Estado, usuarios y sociedad en la cuenca.

De manera global, se identificaron una serie de debilidades y dificultades que generan brechas de coordinación, que puedan derivar en problemas en la gestión hídrica y conflictividad.

La situación con las OUAs y la coordinación con otros usuarios del agua, el Estado y la sociedad civil muestra las siguientes brechas:

Desiguales capacidades de gestión y adaptación entre usuarios. Estudios muestran que la capacidad de coordinación y gestión de la Junta de Vigilancia del Río Quilimarí es baja debido a un distanciamiento entre los grandes y pequeños agricultores, donde los pequeños agricultores no se sienten representados por la Junta y muchos habían dejado de ser agricultores producto de la sequía (CNR, 2016c). La estructura demográfica de la población (ver Anexo 1-5) es también un aspecto que se debe considerar como motivo para la falla de las iniciativas de capacitación anteriores. Esta disímil capacidad, se observa también en el acceso a infraestructura y escasos proyectos futuros. La desigualdad de capacidades impacta en la conformación de OUAs, y por ende en la búsqueda de soluciones integradas para la cuenca.

Entrevistas con representantes de las tres organizaciones de usuarios (canalistas y cooperativas de agua) más importantes de la cuenca Quilimarí, señalan también el diferenciado acceso a recursos o apoyo técnico, así como el financiamiento (Figura 2-25). Esto afecta el fortalecimiento de las OUA y la gestión integrada de la cuenca.

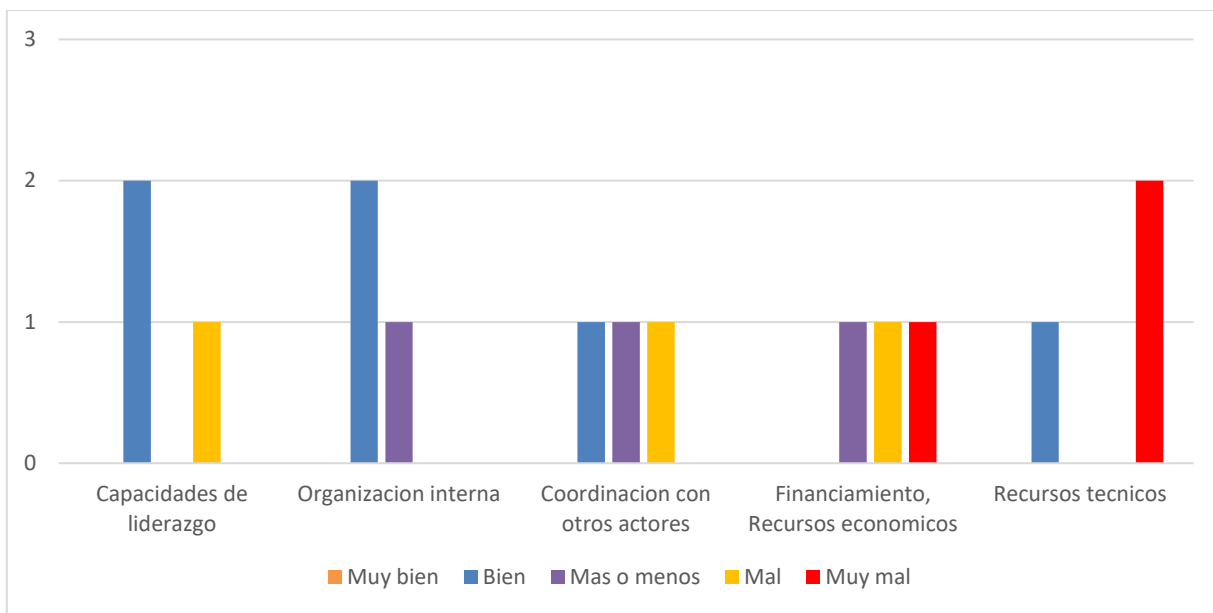


Figura 2-25. Autoevaluación de las organizaciones de usuarios de agua en la cuenca de Río Quilimarí.

Fuente: Encuestas online marzo-abril 2020.

Escasas instancias de articulación público - privado. En la cuenca del río Quilimarí no existen Mesas del Agua; aunque si algunas iniciativas en otras cuencas de Coquimbo como la Mesa Hídrica Elqui Bajo Alfarez. De acuerdo a representantes CNR en la Provincia, existe también colaboración entre la Asociación de Canalistas de Culimo y APR, y se identificaron algunas iniciativas coordinadas por la Municipalidad para mejorar el acceso al agua, ambas sin embargo surgen debido a emergencias y la necesidad de apoyar a la población abastecida por camiones aljibes. A pesar de que existe un apoyo desde el nivel Municipal a las APRs durante época de escasez hídrica, una encuesta a actores de la cuenca de Quilimarí (7 personas, 43% productores, 28% Estado y 28% APR) respecto a la coordinación interinstitucional muestra que con quién más coordinan son la DOH Regional y Provincial, la SEREMI de Salud. Por otro lado, mencionan que no existe coordinación con el nivel local Municipal, con el INDAP y con el Consejo Regional. Cabe destacar que en el caso de INDAP, las organizaciones de productores entrevistadas corresponden a las relacionadas con el Embalse Culimo, y el INDAP coordina con agricultores pequeños. Con las organizaciones les gustaría vincularse más son la DGA, DOH y CNR.

Riesgo de conflictos socioambientales.

La región de Quilimarí no aparece en los mapas de conflictos socioambientales, sin embargo, es una zona con conflictos latentes por la tierra y el agua. Según el diagnóstico de la Municipalidad de Los Vilos existirían un total de 615 familias, 437 familias en calidad de ocupantes, es decir que no son dueños de la tierra que habitan.

Por otro lado, la Región de Coquimbo es una de las que históricamente han concentrado la mayor parte de las transacciones del mercado de aguas (CNR 2016b). El estudio de la Universidad de Concepción para la CNR (2016) muestra que el 2004 no hubo transacciones de DAA subterráneos, mientras que un tercio de los derechos transados en el año 2014 fueron de norias y pozos, reflejo del agotamiento de las fuentes superficiales.

Existe presión también por el agua debido a la instalación de empresas agrícolas en la parte alta del Valle de Quilimarí (Tilama) y empresas inmobiliarias en la parte baja (Quilimarí), que afecta según los usuarios al embalse Culimo y los nivel y recuperación de los pozos aledaños. La condición de escasez hídrica ha influido en que la Junta de Vigilancia del Río Quilimarí no esté conformada, generando baja participación, liderazgos y desconfianzas. El robo de agua es también una problemática que se menciona en los diagnósticos municipales (Astudillo y Riquelme, 2008).

La calidad del agua es también un posible foco de conflictos, donde el Plan de Desarrollo Comunal Los Vilos 2008-2012 menciona la preocupación de la población por los focos de contaminación de los residuos sólidos, minera artesanal, plantas de áridos, y actividades agrícolas. A pesar de que actualmente se observa solo pequeña minería, siempre existe la preocupación que el emprendimiento de nuevos proyectos mineros en la región genere transferencia de derechos de aprovechamiento desde sectores productivos como el agrícola hacia la minería (Astudillo y Riquelme, 2008).

2.6.4. Modelo de gobernanza propuesto

La actual normativa chilena requeriría cambios a nivel de Constitución Política del Estado y de Código de Aguas para poder integrar los principios ambientales y sociales a la priorización del uso del agua, así como generar los mecanismos que permitan la gestión hídrica del agua a nivel de cuencas. Sin embargo, con lo que se cuenta actualmente en las cuencas se puede avanzar hacia una institucionalidad más diversa y coordinada que pueda a futuro fortalecerse con los roles que requiere una adecuada GIRH. De acuerdo con Dourejanni et al., 2010, la institucionalidad para la gestión de cuencas en Chile puede basarse: i) en la articulación de las funciones de las instituciones existentes, en forma público-privada, para intervenir en forma coordinada en las cuencas sin crear una nueva organización, ii) en la reorganización de las instancias de gestión existentes y en la modificación de sus estructuras para ejecutar las acciones necesarias, sin crear nuevas organizaciones, o iii) en la creación de nuevas instituciones específicas tanto a nivel del estado como de los actores participantes. En este sentido, vemos que es posible articular organizaciones locales, en un nivel horizontal de la gobernanza, basadas en procesos de diálogo multi-actor, con capacidad de construir soluciones adaptativas, generalmente rápidas en el territorio; con un nivel vertical, a nivel estatal, que facilite estos procesos mientras mantiene su rol fiscalizador e impulsor de procesos de inversión, tal como se muestra en la Tabla 2-14.

Tabla 2-14. Escalas de intervención en los diferentes modelos de gobernanza.

Escala	Tipo de organismos	Propuesta III Región de Valparaíso (Política Hídrica Regional, 2019)	Propuesta IV Región de Coquimbo (CAZALAC, 2015)	Propuesta IV Región de Coquimbo (CCG-PUC, 2016)	Propuesta amalgama
Regional (GORE)	Político estratégico, deliberativo	Comité Estratégico	Directorio Regional del Agua	Instituto Regional para Gestión de Recursos Hídricos	Comité Estratégico o Directorio Regional
	Técnico operativo	Secretaría Técnica			Secretaría Técnica/
	Técnico de asesoramiento	Consejo Consultivo de Expertos			Consejo Consultivo de Expertos/ o Instituto de Recursos Hídricos
Provincial	Político estratégico		Mesas Provinciales del Agua		Mesas Provinciales del Agua o
	Técnico operativo	Dirección Provinciales (DOH, DGA, etc.)			Dirección Provinciales (DOH, DGA, etc.)
Cuenca	Político estratégico, deliberativo		Comité de Cuencas		Comité de Cuencas
	Técnico operativo		Comité Técnico de Cuencas		Oficina de Asuntos Hídricos
Sectorial					Mesas del agua (Agua, Productiva, Social)

Fuente: Elaboración propia a partir de Política Hídrica Regional (2019), Cazalac (2015) y CCG-PUC (2016).

El sistema de gobernanza que se propone se adhiere de la propuesta realizada para Coquimbo por CAZALAC (2015) y CCG (2016). Por lo tanto, toma instituciones y sistemas que ya están funcionando en las cuencas pero que necesitan fortalecimiento, y sugiere la creación de dos nuevas instituciones o niveles de gobernanza a partir de la literatura revisada. En ese sentido la gobernanza de cuencas está apoyada desde el nivel sectorial hasta el Regional en una estructura multinivel que podría fácilmente adaptarse y tomar nuevos roles, en el caso que se generen cambios en el Código de Aguas actual.

Escala cuenca: En este nivel se proponen dos organismos, uno deliberativo y otro técnico:

- **Comité de cuencas/Unión de Mesas del Agua:** En el espíritu de un Comité de Cuenca es necesario un espacio deliberativo en el que las mesas existentes (o las que se vayan a crear), puedan compartir desafíos y soluciones entre ellas y con las organizaciones de usuarios y organizaciones civiles que no son actualmente parte de una Mesa del Agua. A diferencia de las Corporaciones o Confederaciones hidrográficas que han sido propuestas en otras cuencas, este ente debiese: 1) abrir el espacio de deliberación y consulta a actores que no cuentan con Derechos de Aprovechamiento de Aguas, pero que pertenecen a algunas de las Mesas locales (por ejemplo, de la sociedad civil), 2) abrir la discusión a temas que no son solo agua y derechos de agua, por ejemplo, planificación del territorio, conservación, etc. En esta Unión de Mesas, la presencia de representación del Estado sería a nivel de los municipios, los cuáles, tienen una mayor cercanía con las realidades locales, además de la solicitud de representantes de otros organismos según la agenda del día. Es esencial que este ente sea horizontal y transversal para generar estrategias en conjunto y posiblemente resolver conflictos a nivel de cuenca que no solo estén relacionados con la gestión del agua y que puedan después ser llevados a consideración del nivel Regional, si así lo requiriese. Idealmente esta organización debiese contar con financiamiento y mecanismos para promocionar la participación de las distintas organizaciones, que en principio sería voluntario y carácter deliberativo y propositivo. En otros análisis se han propuesto crear sistemas de cobranza para cubrir el costo de todas las actividades (Dourejanni, et al., 2010), sin embargo, la experiencia de las OUA muestra que esto tampoco funciona. En un futuro, idealmente esta organización a nivel de Cuenca debiese ser de carácter legal obligatorio, con un rol de toma de decisión local territorial (agua, suelos, etc.), y por lo tanto contar con mecanismos de incentivos y resolución de conflictos, como los propuestos en otros mecanismos de gestión a nivel de cuenca. Dadas las limitaciones actuales, como un primer avance es que se propone un sistema más flexible que pueda en un futuro tomar atribuciones de decisión integrada sobre el territorio.
- **Oficina de Asuntos Hídricos para la Cuenca/ Comité Técnico de Cuencas:** Simulando el Comité Técnico de Cuencas propuesto en CAZALAC (2015) y utilizando un ente que ya existe en una de estas cuencas, se propone una institución del Estado que tenga el objetivo de levantar las necesidades técnicas y legales de las organizaciones a nivel de cuenca y derivarlas a la Secretaría Técnica o a su vez

recoger necesidades de las organizaciones a nivel de cuenca y derivarlas a la Secretaría Técnica.

Precisamente con el objetivo de abordar los problemas de coordinación e integración de las políticas públicas sectoriales en materia territorial y del agua especialmente con las APR, promover la participación comunitaria, proporcionar información y orientación para la gestión y el desarrollo de acciones que permitan asegurar el acceso al agua, tanto en cantidad como en calidad, en la Municipalidad de Petorca se creó la *Oficina de Asuntos Hídricos*. Esta oficina fue el resultado del proyecto "Sistemas Participativos de Gestión del Agua y Desarrollo Socio-Económico Sustentable de la cuenca alta del río Petorca", ejecutado por la Universidad de Playa Ancha con financiamiento de la Fundación de Asistencia Internacional (FAI). Esta oficina es entonces el vínculo de las APR con el estado a nivel local. Actualmente esta oficina se encarga de recibir consultas y derivarlas a los organismos del Estado correspondiente. Además, cuenta con un equipo fijo de dos personas, encargadas de los Asuntos Hídricos y del área medioambiental del municipio (residuos domiciliarios, gestión áreas verdes, denuncias ambientales, entre otras), como también se evidencia la existencia de voluntaria de profesionales jóvenes y estudiantes que identifican proyectos que puedan ser parcialmente financiados para solventar dificultades de distintas APR, muchas de las cuáles no pueden acceder a las ayudas oficiales de la Dirección de Obras Públicas. Actualmente el Programa de Unidad técnica para APR de la DOH presta atención técnica a las APR parte del sistema MOP. De acuerdo con entrevistas con personas clave, esta coordinación no es suficiente para toda la provincia, ni abarca a todas las APR existentes. La CNR y las oficinas de PRODESAL también cumplen similar función en cuanto a inversión en eficiencia hídrica; de igual manera este apoyo está supeditado muchas veces a los derechos de agua y estatus legal de los usuarios. Por otro lado, existen fundaciones privadas que también generan estudios para distintos sectores y buscan financiamiento privado para distintos problemas, pero estos no suelen hacerse públicos.

Escala Sectorial: a escala de cuenca, pero dividido por sectores existen ya diversas Mesas del Agua que podrían ser fortalecidas y vinculadas entre sí, una de las cuáles aglutina a las cooperativas y APRs, otra que aglutine al sector productivo agrícola y empresarial (actualmente parcialmente representado en la Mesa Provincial), y otra de la sociedad civil (los cuales también cuentan con espacios de discusión actualmente). Las actuales Mesas del Agua requieren individualmente de fortalecimiento e inversión de manera de facilitar su labor y hacerla permanente. En cuanto al aspecto técnico, estas mesas podrían fortalecerse con la creación de la Oficina de Asuntos Hídricos para la Cuenca con las capacidades técnicas para generar la información necesaria para los distintos tipos de usuarios.

Además, estas organizaciones actuales requieren de lineamientos y apoyo para lograr credibilidad y legitimidad entre los usuarios en la cuenca que les permite expandir su accionar. Este desafío está relacionado con la historia de conflictividad en la cuenca (ver desafíos más adelante), la desconfianza (interna y entre sectores) por falta de información sobre los usos, pero también con la debilidad de muchas de las Organizaciones de Usuarios

de Agua que no han sido conformadas y por lo tanto no son parte de las decisiones (por ejemplo, las Juntas de Vigilancia). A escala sectorial es que se proponen estrategias para fortalecer el actuar, pero también promocionar lazos de acuerdos público-privado y privado-comunitario para disminuir los desafíos identificados.

En la Figura 2-26 se muestra la estructura de la gobernanza propuesta, en amarillo las entidades que actualmente no existen, en blanco las que están en estudio o reglamentación y en gris las que actualmente existen, pero deben ser fortalecidas:

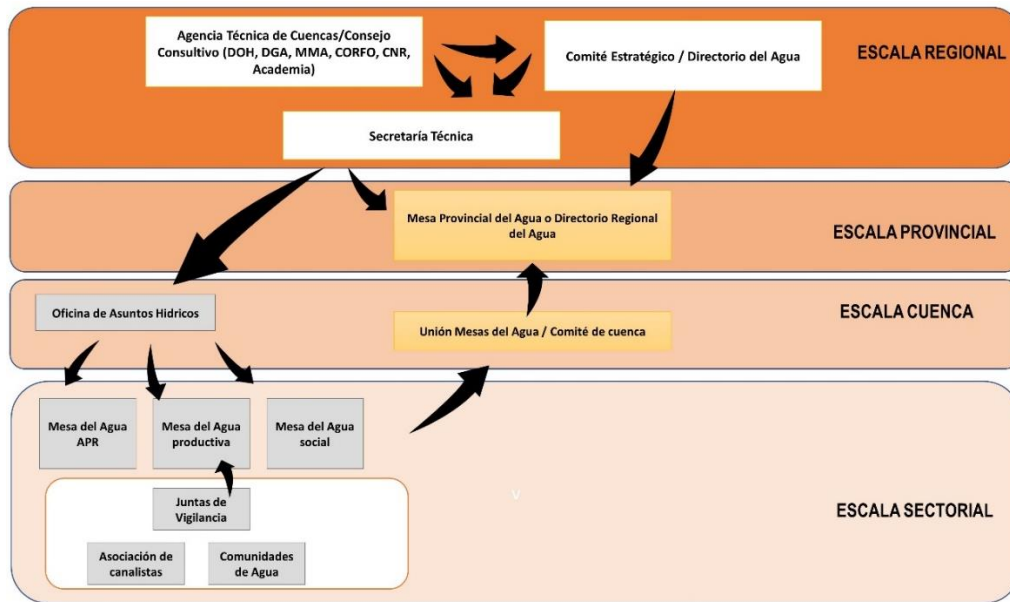


Figura 2-26. Modelo de gobernanza propuesto.

Fuente: Elaboración propia a partir del análisis del modelo de gobernanza.

2.6.4.1. Desafíos para una gobernanza en las cuencas

La gestión integrada no necesariamente se puede lograr a través de la participación y la colaboración solo, ya que puede conducir al establecimiento de coaliciones de individuos y organizaciones de ideas afines, a menudo a expensas de la colaboración entre coaliciones (García *et al.*, 2019). No solo hay necesidad de fortalecer la institucionalidad de gobernanza hídrica, generar masa crítica especializada en recursos hídricos, sino también promover acciones que aseguren la transparencia en la gestión hídrica institucional (CAZALAC, 2015).

Los esfuerzos realizados para la formación de organismos a nivel de cuencas en Chile han sido diversos, y todos han tenido dificultades legales, teóricas y prácticas para funcionar. Las organizaciones de cuenca en Chile, cualesquiera que ellas fueran, se enfrentan a varios desafíos. La mayor dificultad es la limitada facultad que tienen estas organizaciones, sin recurrir a modificaciones legales en el Código de Aguas, es decir que sean solo voluntarias y sin una estructura financiera y rol en las decisiones que sea clara. Esto conlleva a los siguientes desafíos específicos:

- Lograr representatividad y participación amplia de los sectores relevantes indistintos de sus derechos de uso de agua y bajo la modalidad voluntaria actual.
- Lograr legitimidad y credibilidad a nivel local, pero también regional y nacional, consolidando a las Mesas del Agua como el ente al que acudir a debatir y buscar acuerdos a nivel de cuenca.
- Consensuar visiones en común para la gestión del agua, más allá de los indicadores económicos, y de la orientación productiva del Código de Aguas actual.
- Generar cambios hacia la sustentabilidad y adaptación en las cuencas, con el desafío de no contar con mecanismos de incentivos o regulación institucionalizados.
- Lograr un sistema de financiamiento y relacionamiento interinstitucional que mantenga la operatividad de sus miembros.
- Mantener la cohesión de sus miembros incluso durante los conflictos, dada la voluntariedad de su institucionalidad, o en su defecto, disponer de instrumentos legales y procedimientos para la resolución de conflictos amparados en las leyes.

3. DEMANDA

La cuenca del río Quilimarí presenta un marcado uso agrícola y en menor medida consumo de agua potable rural. Si bien existen otros usos como el minero y el industrial, estos presentan consumos bastante menores respecto a los dos primeros. En adelante se detallarán las demandas levantadas en este estudio.

3.1. Consumo Humano rural

La cuenca del río Quilimarí solo es abastecida de agua potable desde fuente subterránea a través de cooperativas de Agua Potable Rural, en consecuencia, en esta cuenca no hay presencia de APU y solo de SSR (ex APR). Para determinar el consumo de agua potable se multiplicó la población rural por la dotación de 79 m³/año/hab definida en el Decreto 743 de 16 de diciembre de 2005 que fija la tabla de equivalencias entre caudales y usos.

El consumo actual se estimó para la población de 2018, mientras que el proyectado para la población entre los años 2020 y 2050 (Ver Anexo F Aspectos metodológicos, capítulo 2.1.2). En la Figura 3-1 se muestra un mapa con las 7 APR perteneciente a la zona de estudio y en la Tabla 3-1, se presenta la población actual y a 2050 a ser abastecida por los SSR presentes en la cuenca.

Tabla 3-1. Población de 2018 abastecida por SSR.

Nombre APR	Población abastecida 2018 [hab]	Población abastecida 2050 [hab]
El Esfuerzo	823	1.153
Guangualí	518	726
Los Cóndores	621	870
El Manzano Lo Claudio	83	116
Quilimarí	1.761	2.468
Los Maquis	161	226
Junta Tilama	222	311

Fuente: Elaboración propia a partir de DGA (2020).

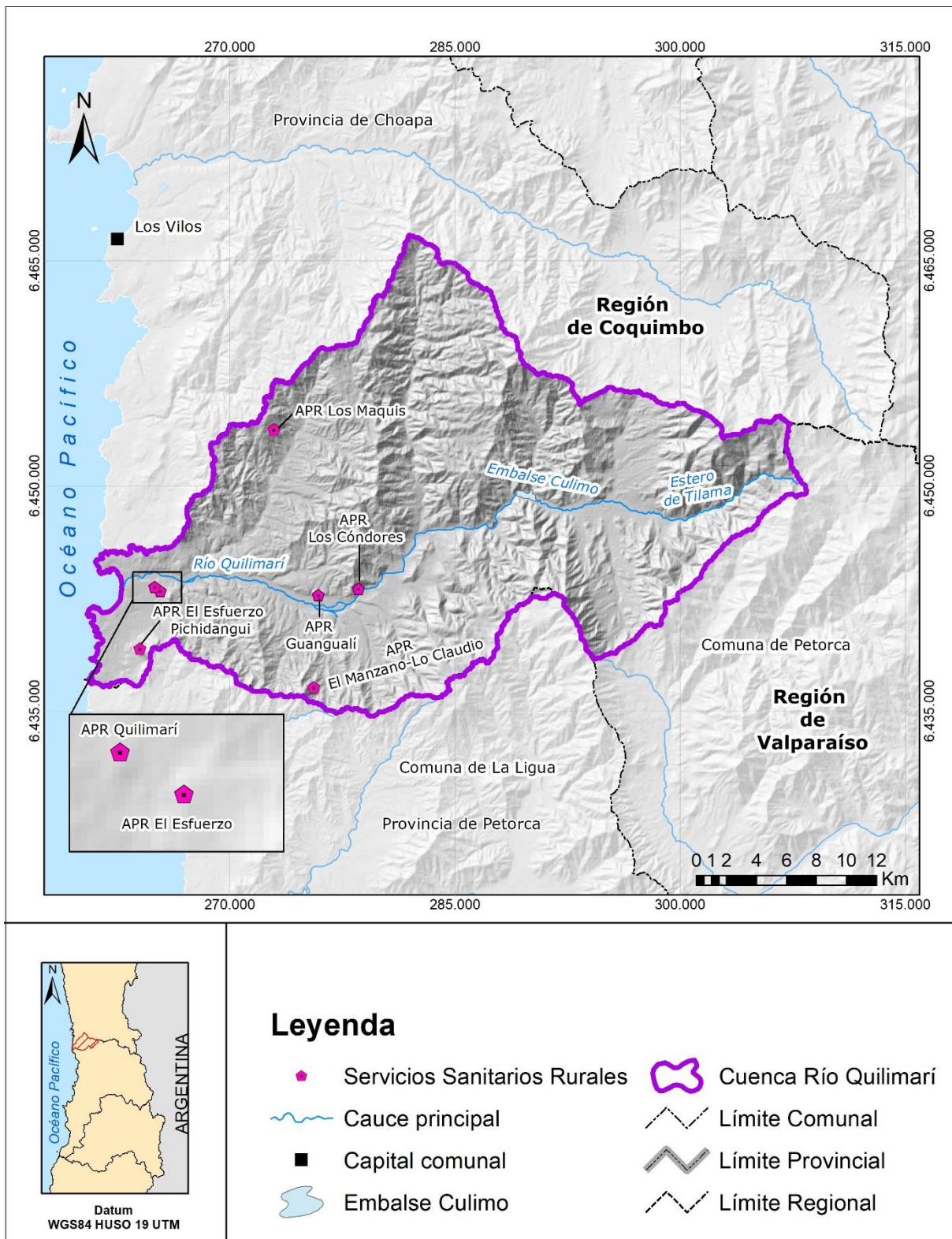


Figura 3-1. Sistemas SSR en la cuenca Río Quilimarí.

Fuente: elaboración propia a partir de DGA (2019d; 2020).

3.1.1. Histórico y actual

La Figura 3-2 presenta la evolución histórica del consumo de agua potable abastecida por cada SSR, a partir de crecimiento poblacional histórico (DGA, 2019a). El SSR de Quilimarí y El Esfuerzo, son los de mayor demanda, abasteciendo a 2018 el 42% y 20% de la población, respectivamente. El consumo total de agua potable en 2018 es de 0,33 hm³.

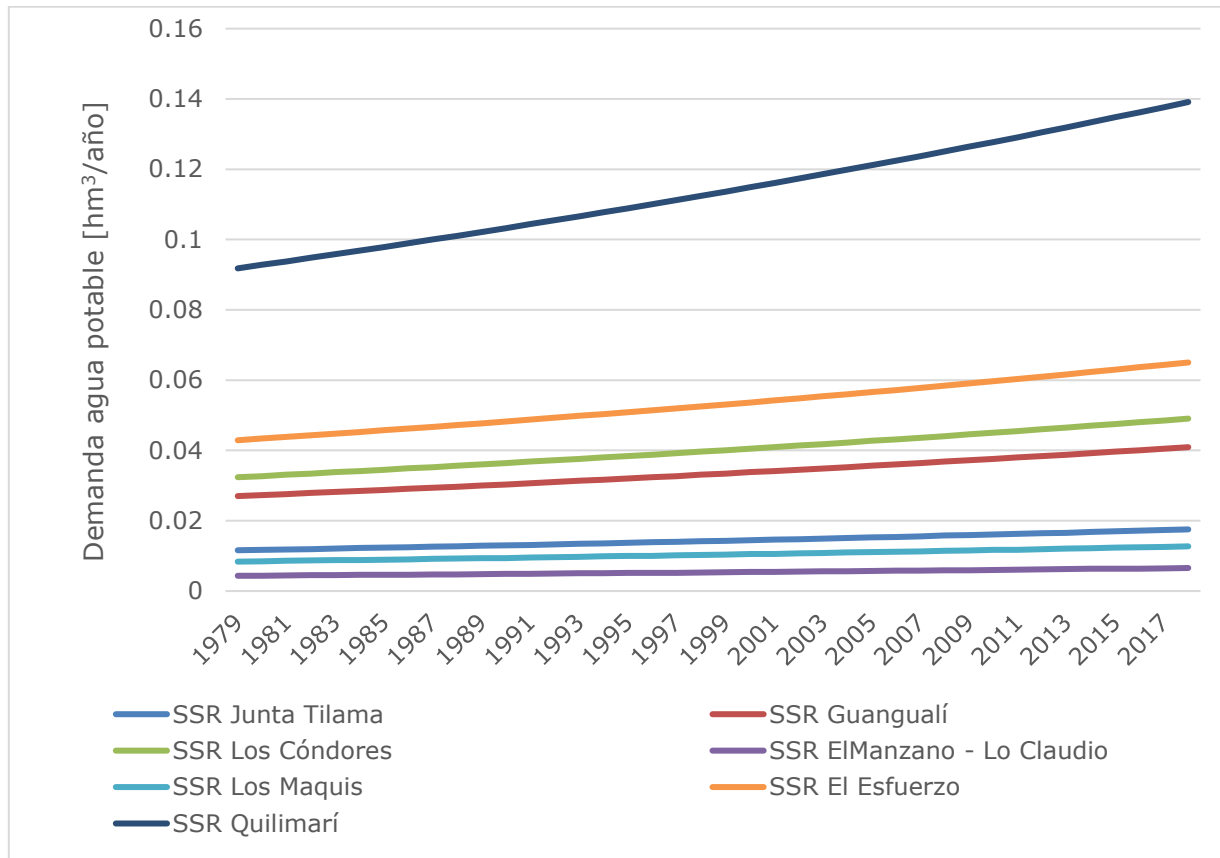


Figura 3-2. Evolución histórica de consumo de agua potable (1979-2018).

Fuente: Elaboración propia en base a datos DOH (2020).

A nivel de SHAC, cabe mencionar que los SSR solo están presentes en los SHAC's Aguas arriba embalse Culimo, Los Cóndores, Guangualí y Quilimarí tal como se muestra en la Tabla 3-2, siendo el SHAC Quilimarí el que tiene mayor demanda de agua potable

Tabla 3-2. Demanda hídrica actual de consumo de agua potable por SHAC (Mm³/año), año 2020.

SHAC	Rural
Aguas Arriba Embalse Culimo	0,017
Pangalillo	N/A
El Llano	N/A

SHAC	Rural
Infiernillo	N/A
Los Cóndores	0,041
Guangualí	0,056
EL Ajial	N/A
Los Maquis	N/A
Quilimarí	0,217
Total (Mm³/año)	0,331

Fuente: elaboración propia en base a datos DOH 2020.

3.1.2. Proyectado

La evolución de la demanda de agua para consumo humano proyectada entre los años 2020 y 2050, se presenta en la Figura 3-3. La tendencia de crecimiento poblacional es igual al periodo histórico.

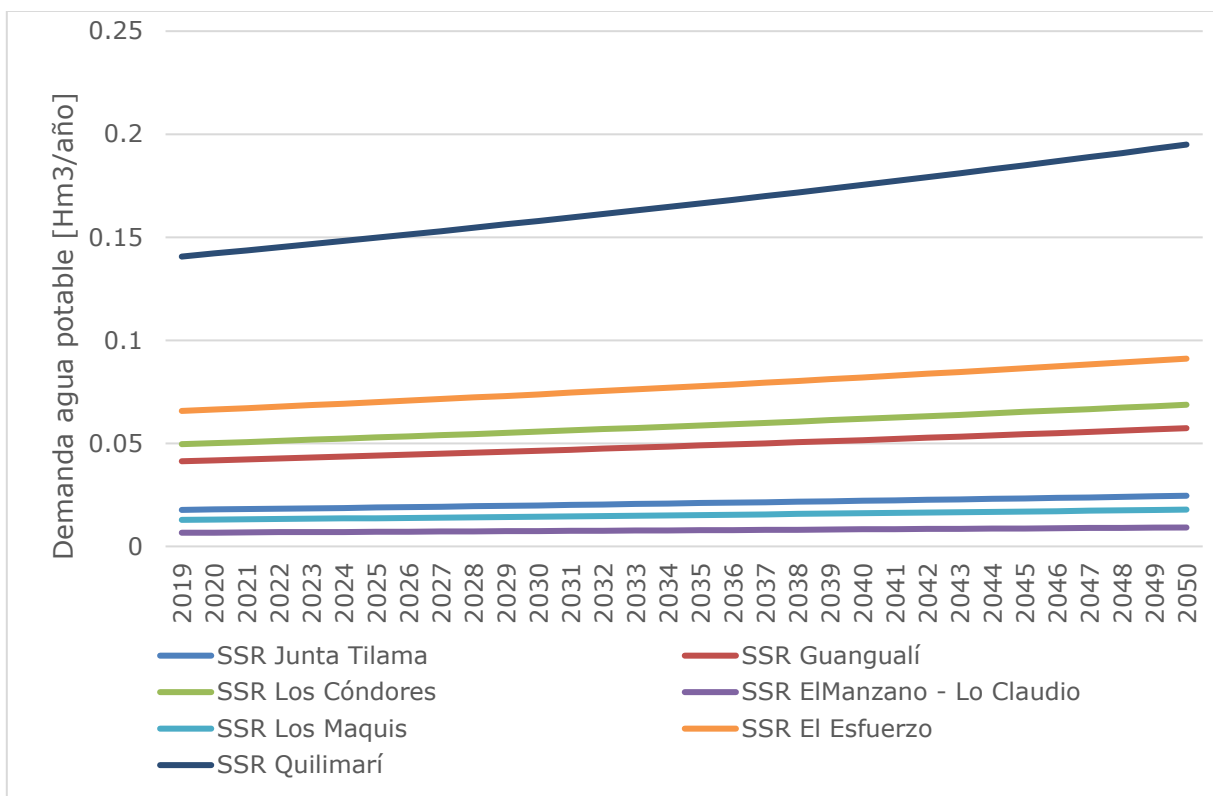


Figura 3-3. Evolución de consumo de agua potable entre 2019-2050.

Fuente: Elaboración propia en base a datos DOH (2020).

En relación a la distribución del consumo por SHAC, se espera un crecimiento marginal del consumo rural, desde 0,39 hm³/año en 2030, hasta casi 0,52 hm³/año el año 2050.

Tabla 3-3 Demanda hídrica proyectada de consumo de agua potable rural y urbana por SHAC (Mm³/año), años 2030-2050

SHAC	Rural	
	2030	2050
Aguas Arriba Embalse Culimo	0,021	0,028
Pangalillo	N/A	N/A
El Llano	N/A	N/A
Infiernillo	N/A	N/A
Los Condores	0,048	0,065
Guangualí	0,066	0,088
EL Ajial	N/A	N/A
Los Maquis	N/A	N/A
Quilimarí	0,255	0,344
Total (Mm³/año)	0,39	0,52

Fuente: Elaboración propia en base a datos DOH, 2020.

3.1.3. Eficiencia del uso

Actualmente, no se dispone de estudios que reporten la eficiencia del uso del recurso hídrico por parte de las APR presentes en la cuenca del río Quilimarí. En estudios de esta índole, se han reportado eficiencias promedio de 30% y 20% para las cuencas vecinas de Ligua y Petorca, respectivamente.

3.2. Demandas Ambientales

En esta demanda se identifican dos tipos de demandas ambientales, la demanda por ecosistema terrestre y la demanda por ecosistema acuático.

Las demandas terrestres fueron obtenidas mediante la modelación hidrológica integrada WEAP-MODLFW, donde se estimó la demanda evapotranspirativa de la vegetación a partir de la ecuación de Penman-Monteith, mientras que la demanda de sistemas acuáticos fue estimada como el caudal ecológico mínima según la Minuta 14 (DGA, 2014).

3.2.1. Demanda Evapotranspiración

El comportamiento de la demanda potencial evapotranspirativa de la vegetación en estado natural para un año hidrológico medio, presenta un máximo en invierno donde hay mayor aporte proveniente de la precipitación, alcanzando valores muy bajo en el verano donde este aporte pluvial se hace cero. Esta demanda se estima a partir de la modelación hidrológica integrada WEAP-MODLFW empleando la ecuación de Penman-Monteith aplicada en los sectores de la cuenca donde está presente esta vegetación (ver Anexo H – Modelación hidrológica, acápite 5.2.1.1).

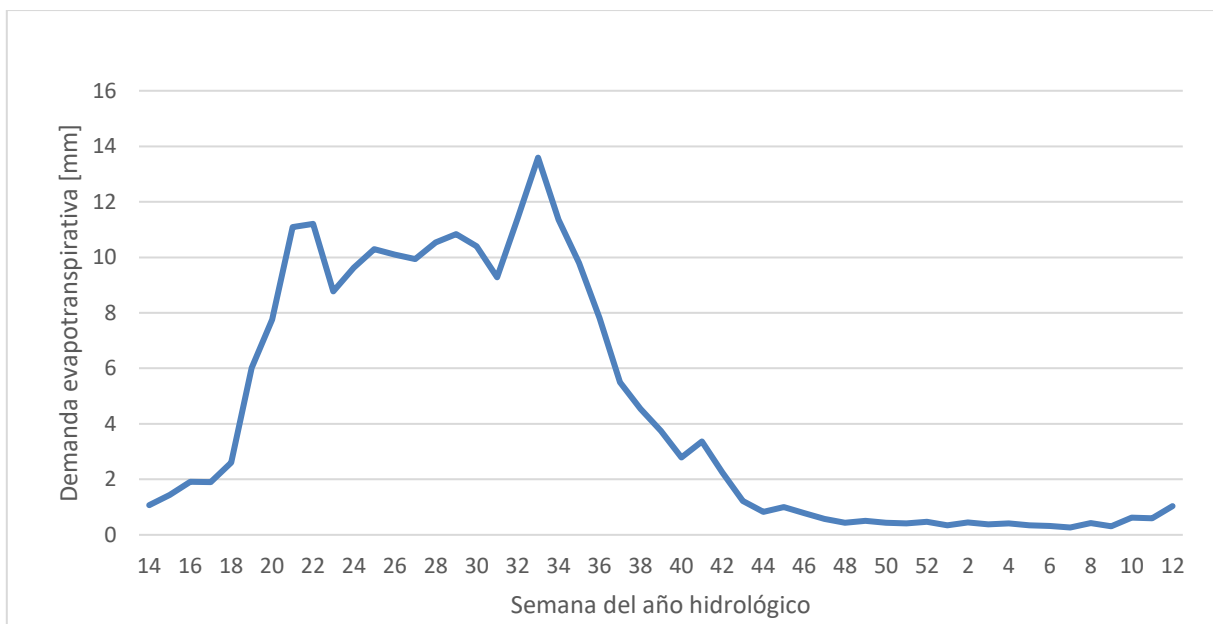


Figura 3-4. Demanda ambiental de la vegetación en estado natural para un año medio hidrológico.

Fuente: Elaboración propia a partir de la modelación hidrológica integrada WEAP-MODFLOW.

3.2.2. Caudal Ecológico

Para determinar el caudal ecológico se consideró la determinación de su valor siguiendo los criterios estipulados en el DS N°14 del Ministerio del Medio Ambiente, "Reglamento para la determinación del Caudal Ecológico Mínimo" del año 2013 y actualizado en el año 2015 por el DS N°71.

Considerando la situación de derechos de aprovechamiento de aguas de la cuenca y de acuerdo a DGA (2014a), donde se indica que "Para aquellos cauces donde se constituyeron derechos con un caudal ecológico mínimo del menor 50% del caudal con 95% de probabilidad de excedencia, se considerará como caudal ecológico mínimo el 50% del caudal con 95% de probabilidad de excedencia para cada mes, con las restricciones siguientes:

- I. Para aquellos meses, en los cuales el 50% del caudal con 95% de probabilidad de excedencia es menor al 20% del caudal medio anual, el caudal ecológico mínimo será el 50% del caudal con probabilidad de excedencia del 95%
- II. Para aquellos meses, en los cuales el 50% del caudal con 95% de probabilidad de excedencia es mayor al 20% del caudal medio anual, el caudal ecológico mínimo, en esos meses, será el 20% del caudal medio anual."

Debido a la escasez de información fluviométrica en este río, en el cual no hay estaciones fluviométricas que monitoreen el caudal, el caudal ecológico mínimo se obtuvo a partir de

las series hidrológicas resultantes del Balance hídrico, de esta forma el caudal ecológico puede ser entendido que fue determinado considerando el régimen hidrológico natural.

Estas series fueron determinadas a la salida de cada SHAC pertenecientes a la cuenca en análisis y se determinó la Curva de Variación Estacional (CVE).

El caudal ecológico resultante para la salida de los SHACs de esta cuenca se presenta a continuación en la Figura 3-5. Se aprecia que el régimen de caudal ecológico mínimo sigue el régimen esperado, con mayores caudales en invierno (entre julio y agosto) y un periodo de estiaje entre marzo y mayo.

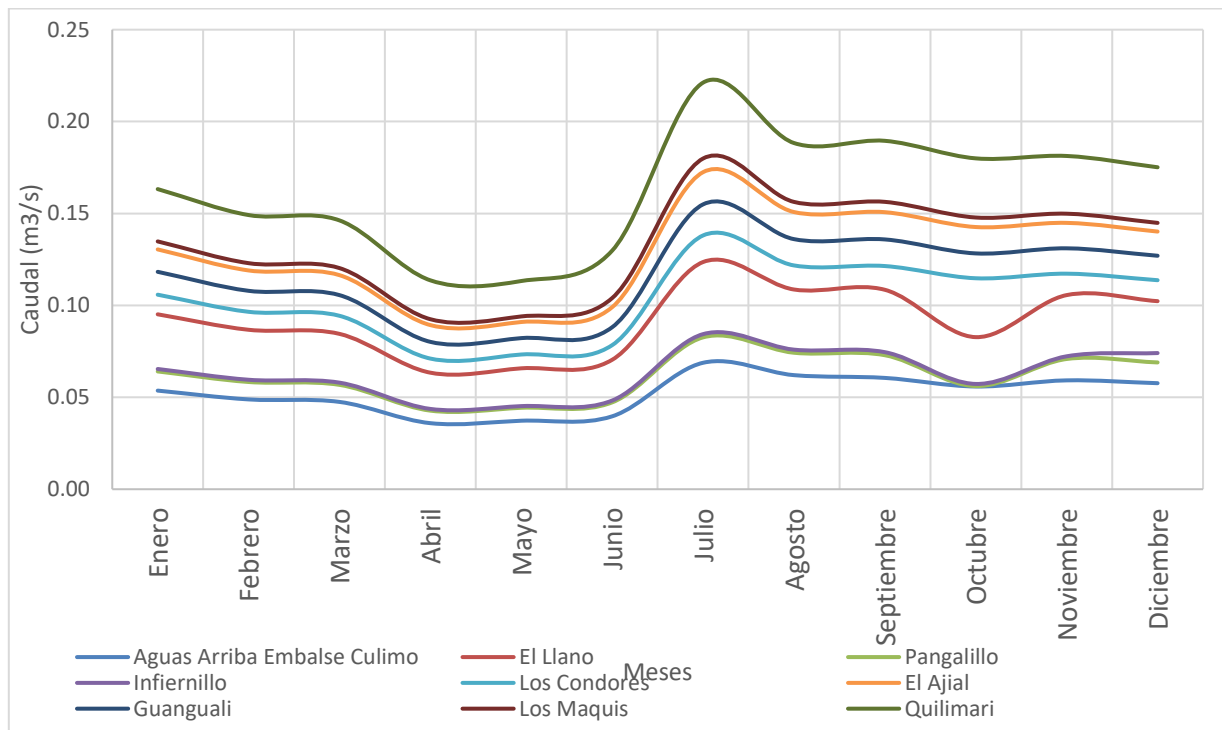


Figura 3-5. Caudal ecológico mensual, SHACs en la cuenca del río Quilimarí

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del balance hídrico nacional 2019.

3.2.3. Diagnóstico y brechas identificadas en demandas ambientales

La información disponible respecto de unidades ecosistémicas muestra un desconocimiento sobre los ecosistemas terrestres y acuáticos. Para los ecosistemas terrestres la información es escasa y se ha recolectado por medio de unidades territoriales diferentes a la cuenca hidrográfica, por ejemplo, para la región o para todas las cuencas costeras de la región. En el caso de los ecosistemas acuáticos la información es mucho más reducida y centrada en especies conspicuas como los peces. Este diagnóstico pone de relevancia el valor del eje estratégico a 10 años de este componente, el cual es la de conservar, proteger y

posiblemente restaurar la calidad del agua y los ecosistemas acuáticos que de ella dependen, promoviendo un desarrollo sostenible.

Producto de todo lo anterior, es que se desconocen las relaciones de flujo de servicios ecosistémicos a escala reducida del territorio, por ejemplo, se desconoce el aporte en provisión hídrica producto del aumento de superficies dedicadas a la conservación. Asociado a la conservación. Existen esfuerzos en esta cuenca por **conservar las fuentes de producción hídrica** a través de los santuarios de la naturaleza y sitios prioritarios, no obstante se refuerza que se desconocen los organismos fotosintéticos, macroinvertebrados, peces que son parte de esos sitios de alto valor en diversidad biológica que se busca conservar en el futuro y de la relación entre su dinámica y la mantención de fuentes de agua o zonas de recarga o de provisión de servicios ecosistémicos hídricos. En el anexo J se encuentra la descripción en detalle del diagnóstico y las brechas y brechas específicas identificadas para esta sección.

3.3. Demanda Agrícola

La demanda agrícola se entiende por la necesidad de agua que requieren los diferentes cultivos en la zona de estudio. La demanda agrícola se calculó en función de la demanda evapotranspirativa de cada uno los cultivos presentes en la cuenca determinados a partir de la actualización del uso del suelo a 2018 (ver Anexo J Descripción de la cuenca, capítulo 3 Uso del suelo) usando la ecuación de Penman-Montieth modificada (Anexo F - Aspectos Metodológicos, acápite 2.1.1). Esta ecuación está incorporada en la modelación hidrológica integrada WEAP-MODFLOW, requiere información climática como temperatura, velocidad del viento y humedad relativa, y el coeficiente de cultivo o kc, que varía a lo largo del año y depende de cada cultivo.

La superficie agrícola total a 2018 es de 1.251 ha, siendo los cultivos modelados los siguientes: arándano, camellón frutales, camellón paltas, cítricos, invernadero, nogales, olivos, palto, barbecho, huerto casero y rotación de cultivo.

3.3.1. Demanda actual

La demanda neta agrícola estimada para el año 2018, es de 20,44 hm³ promedio para toda la cuenca del Quilimarí, distribuida en los SHAC's en estudio según se presenta en la Tabla 3-4.

Tabla 3-4. Demanda agrícola neta en 2018 por SHAC.

SHAC	Demanda Neta [hm ³]
Aguas Arriba Embalse Culimo	6,26
Pangalillo	0,90

SHAC	Demanda Neta [hm³]
El Llano	0,51
Infiernillo	1,10
Los Cóndores	1,97
Guangualí	3,08
El Ajial	3,42
Los Maquis	1,28
Quilimarí	1,91
TOTAL [hm³]	20,44

Fuente: elaboración propia en base a datos obtenidos de la actualización del uso del suelo al año 2018 (anexo J. Descripción y diagnóstico, capítulo).

3.3.2. Demanda agrícola Histórica

La demanda histórica se obtuvo considerando como base los catastros frutícolas de 2005, 2008, 2011, 2015, 2018, 2017. Es a partir de 2005 donde se evidencia un incremento en la explotación de aguas subterráneas (ver Figura 3-6) con la consecuente alza en las áreas de riego. Entre 1980 y 2005 no se disponía de información base con el suficiente nivel de detalle del uso del suelo que permitiera una estimación real de la demanda en este periodo, razón por la cual se asumió una dinámica constante alrededor de 5 hm³ anuales.

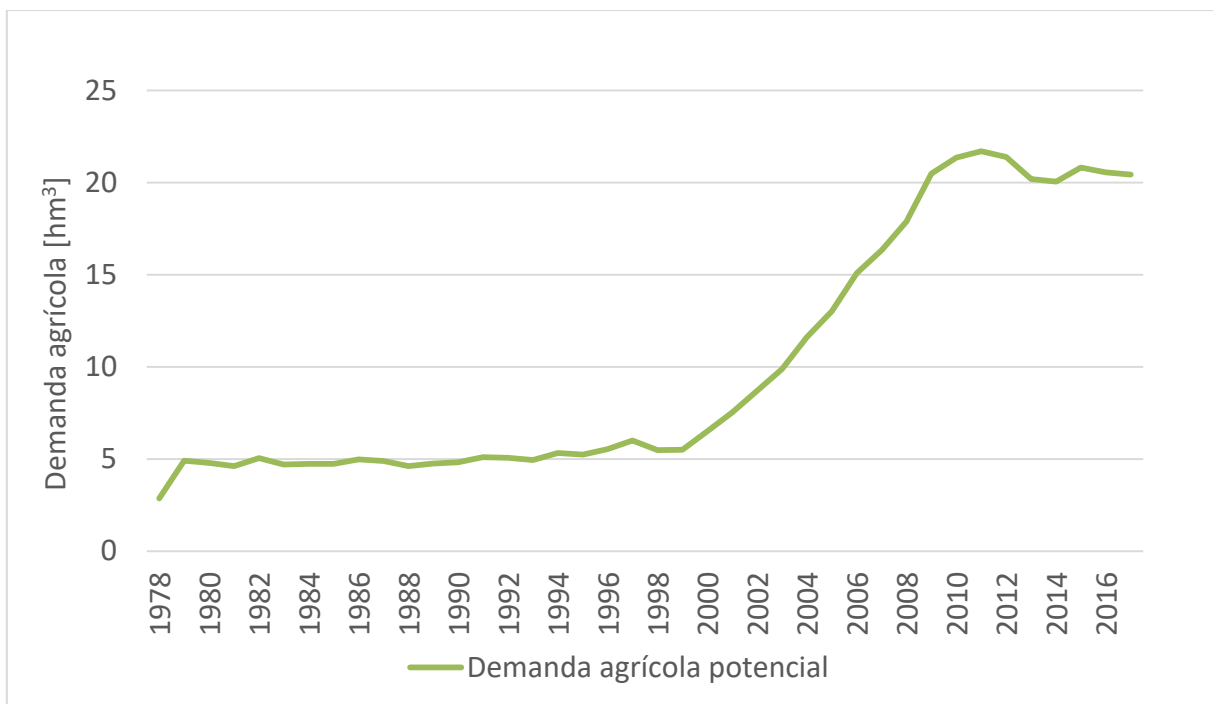


Figura 3-6. Evolución histórica de la demanda agrícola para la cuenca del río Quilimarí.

Fuente: elaboración propia a partir de la modelación hidrológica integrada WEAP-MODFLOW.

3.3.3. Demanda Proyectada

La demanda proyectada se asumió estable alrededor del valor promedio determinado para el año hidrológico 2017/18 de 20,5 hm³, dado que se consideró que dadas las condiciones hídricas superficiales y subterráneas de la cuenca no se prevé mayor aumento en la zona agrícola, tal vez si un cambio de uso del suelo.

3.3.4. Eficiencia del uso

La eficiencia de uso del recurso hídrico en términos de satisfacer demanda agrícola involucra dos componentes: 1) la eficiencia propia de la tecnología de riego y 2) la consideración de optimizar el agua disponible para riego y evitar su pérdida vía escorrentía superficial. En este estudio, dicha eficiencia fue considerada como un resultado de la modelación hidrológica integrada WEAP-MODFLOW que depende de dichas componentes. En la Figura 3-7 se representa la evolución histórica de la eficiencia promedio resultante para cada año y el promedio anual para todo el periodo de estudio (69%). Se puede observar un sistema más ineficiente entre 1980 y 2005.

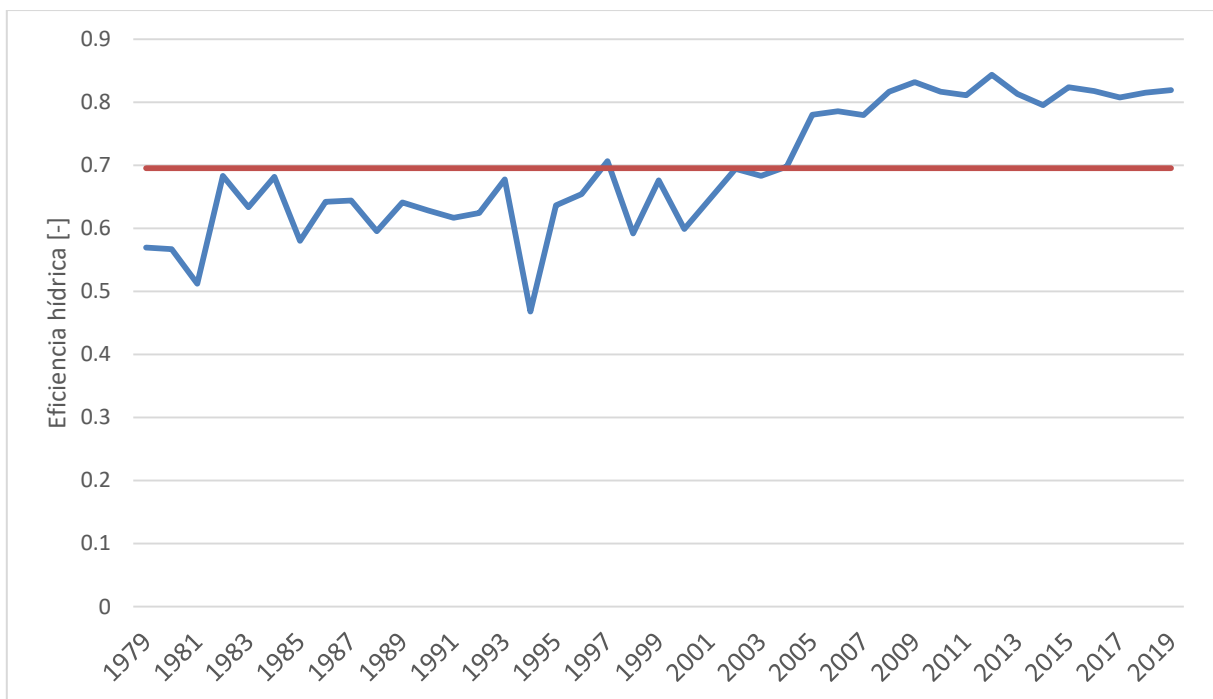


Figura 3-7. Evolución histórica de la eficiencia de uso para demanda agrícola en la cuenca del río Quilimarí.

Fuente: elaboración propia a partir de los resultados del modelo acoplado WEAP-MODFLOW.

3.4. Demanda de otros usos

En la cuenca del río Quilimarí no se registran otro tipo de demandas como demanda minera, agroindustria o consumo agua potable urbano.

4. OFERTA HÍDRICA

4.1. Agua superficial

Es importante señalar que la oferta hídrica superficial es prácticamente nula, puesto que el escurrimiento superficial es intermitente, existiendo sectores del río y épocas del año donde el escurrimiento es nulo.

A esto hay que agregar la carencia de estaciones fluviométricas vigentes en esta cuenca, mencionando que la única estación suspendida tiene ya 16 años de haber entrado en desuso, con lo cual un análisis de caudal superficial sobre esta no sería representativo de la realidad. En resumen, dadas estas condiciones, no es posible conocer en la actualidad el caudal circulante en la cuenca ni la época en la cual ocurre.

4.1.1. Oferta de agua

Para determinar la oferta hídrica en las cuencas, se realiza una comparación entre los flujos naturales, tanto entrantes como salientes. Como principal flujo de entrada se encuentra la precipitación en forma de lluvia y nieve, ya que otros flujos como la neblina u otras fuentes no se consideran en el modelo dado su bajo aporte relativo. Por otro lado, el principal flujo de egresos naturales de agua desde cuencas semi-áridas es por medio de la evapotranspiración de las zonas no agrícolas, que puede llegar a ser del orden de un 80% de las precipitaciones anuales.

De esta manera la diferencia anual de los volúmenes de agua que ingresan versus los que salen de la cuenca sin intervención antrópica permiten definir el concepto de Disponibilidad Natural. Esta Disponibilidad Natural es el agua que queda disponible para infiltrar agua en los acuíferos, alimentar ríos y otros cuerpos de agua y también para ser usada por los distintos actores humanos en el territorio.

La Figura 4-1 muestra la evolución tanto de las precipitaciones como de las evapotranspiraciones desde la zona natural y por tanto definiendo la disponibilidad natural. En este caso, se muestran promedios decadales de manera de simplificar la evaluación y evolución del agua disponible.

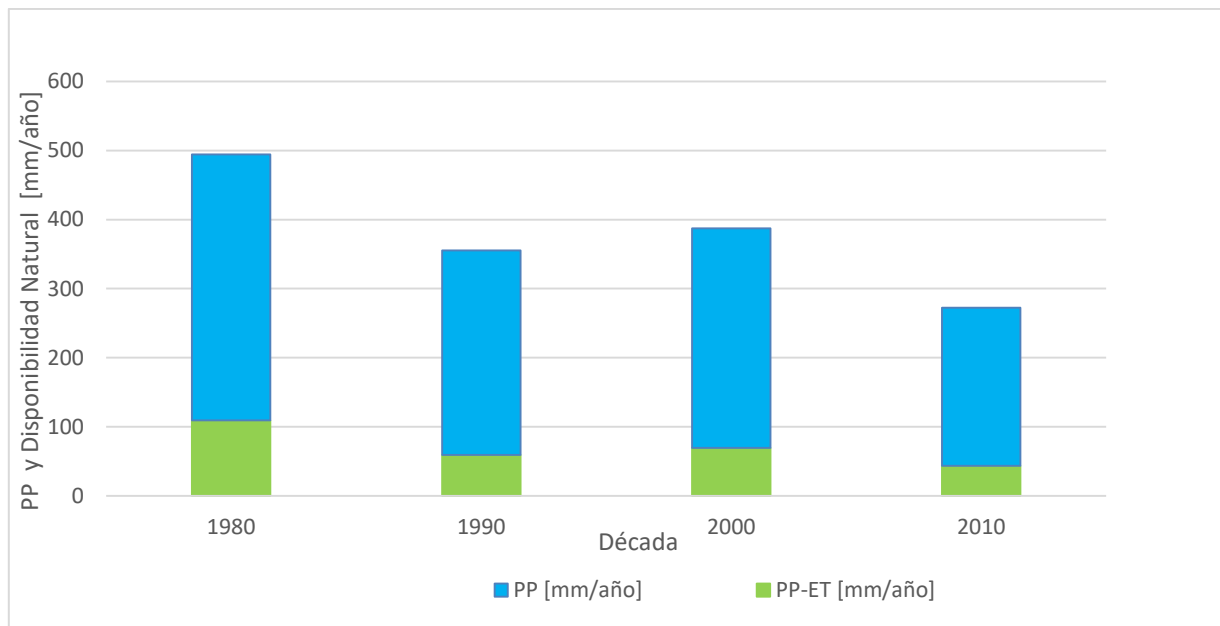


Figura 4-1. Disponibilidad natural decadal en la cuenca Río Quilimarí.

Fuente: elaboración propia a partir de resultados obtenidos del modelo WEAP-MODFLOW.

La precipitación anual promedio para cada década se muestra en las barras completas y la evapotranspiración como la porción de color celeste. De esta forma se obtiene la disponibilidad natural, mostrada en color verde claro. La Tabla 4-1 muestra estos valores,

en los que se ve claramente como la precipitación en la década de los años '80 fue la más alta de las últimas 4 décadas y eso influyó positivamente en la disponibilidad natural. En la última década la precipitación disminuyó alrededor de un 35% pero la disponibilidad natural, un 56%. Esto se explica porque en cuencas con alta demanda evapotranspirativa como en Quilimarí, las pocas precipitaciones que caen en años secos se ven afectadas por la demanda evapotranspirativa que tiende a no variar mucho con los años (concepto de evapotranspiración potencial).

Tabla 4-1. Valores medios decadales de la disponibilidad natural en la cuenca del río Quilimarí.

Década	Precipitación Anual [mm/año]	Evapotranspiración Annual [mm/año]	Disponibilidad Natural [mm/año]
1980	385.0	-278.2	109.2
1990	296.3	-239.4	59.0
2000	317.7	-251.6	69.54
2010	228.9	-189.6	43.16

Fuente elaboración propia basado en modelación hidrológica acoplada (ver anexo H modelación hidrológica acoplada).

Sobre esta disponibilidad natural se aplican las demandas tanto naturales como antrópicas en el modelo WEAP. Las demandas naturales como ya se explicó estarían explicadas como los flujos de percolación hacia los acuíferos (que dependen de la humedad almacenada en los suelos) y los flujos hacia los ríos de las cuencas (que también permiten interacción con el acuífero para alimentar o ser alimentados).

Si en un año cualquiera los usos del agua son mayores a la disponibilidad natural, se entiende que se está extrayendo más agua de la disponible, por lo tanto, disminuyendo las reservas de agua acumuladas, principalmente en los acuíferos. También podrían usarse otras fuentes disponibles como embalses, pero no existe ninguno en la cuenca con capacidad de regulación interanual.

4.1.1.1. Capacidad física de la cuenca

Debido a la inexistencia de estaciones fluviométricas en esta cuenca, la estimación del régimen hidrológico en el río Quilimarí se realizó tomando los valores de la escorrentía resultante de la modelación VIC desarrollado para el Balance Hídrico Nacional (DGA, 2019). Se tomaron 9 estaciones ficticias a lo largo del río Quilimarí y se estimó el escurrimiento en este río bajo condiciones naturales.

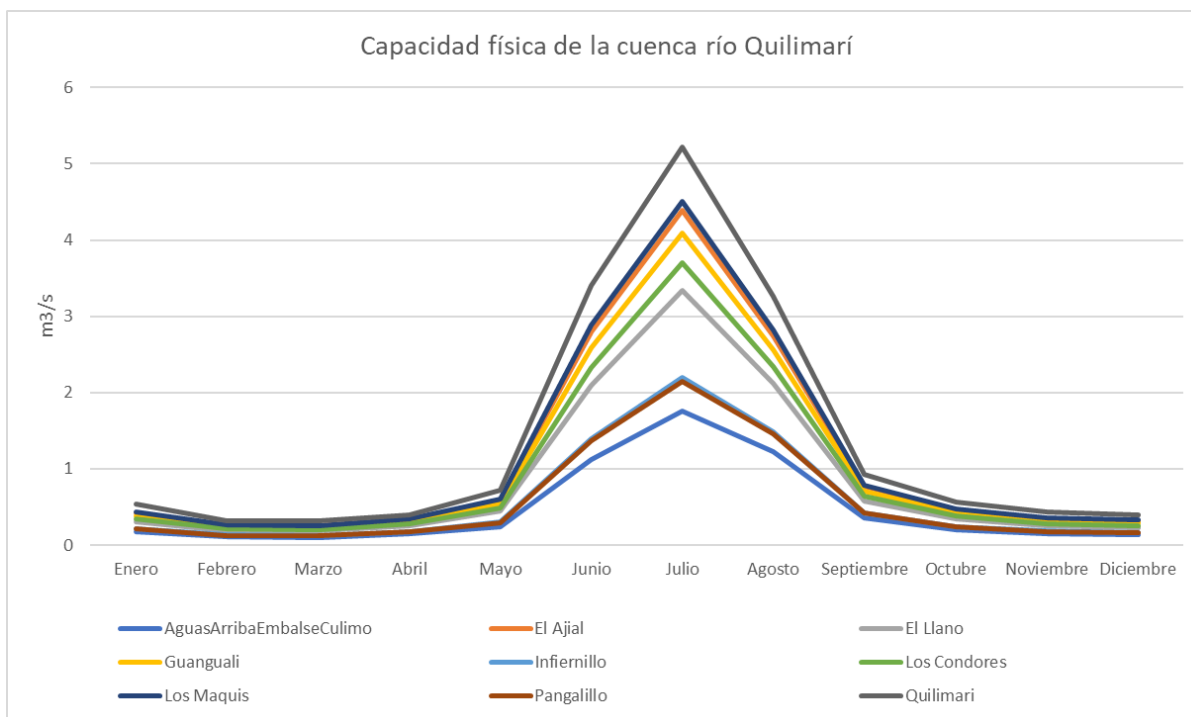


Figura 4-2. Caudal natural en la cuenca del río Quilimarí asociado a estaciones ficticias sobre cada SHAC

Fuente: elaboración propia.

En la Figura anterior se aprecia que, para condiciones naturales de escurrimiento, la totalidad de los SHAC que componen esta cuenca, presentan un escurrimiento superficial con un marcado componente pluvial alcanzando caudales máximos mensuales en Julio variando entre 1.6 m³/s a 5 m³/s. En época estival es el periodo de estiaje del río Quilimarí.

4.1.2. Restricciones de uso

A partir de la información espacial disponible en la Mapoteca Digital DGA (DGA, 2019d), se han declarado zonas de escasez en la cuenca por ocho veces, a partir del año 2009 en adelante (Tabla 4-2). Dos de estos ocho decretos de escasez han cubierto la totalidad de la superficie de la cuenca y son decretos con 6 meses de vigencia que se han ido renovando en la misma zona ya sea decretados a nivel de la Provincia de Choapa (dos decretos) o de la Región de Coquimbo (4 decretos). Cabe destacar que en todo el periodo comprendido en los años 2010, 2012, 2014, 2015 y 2017 la cuenca no fue afectada a ningún decreto de escasez.

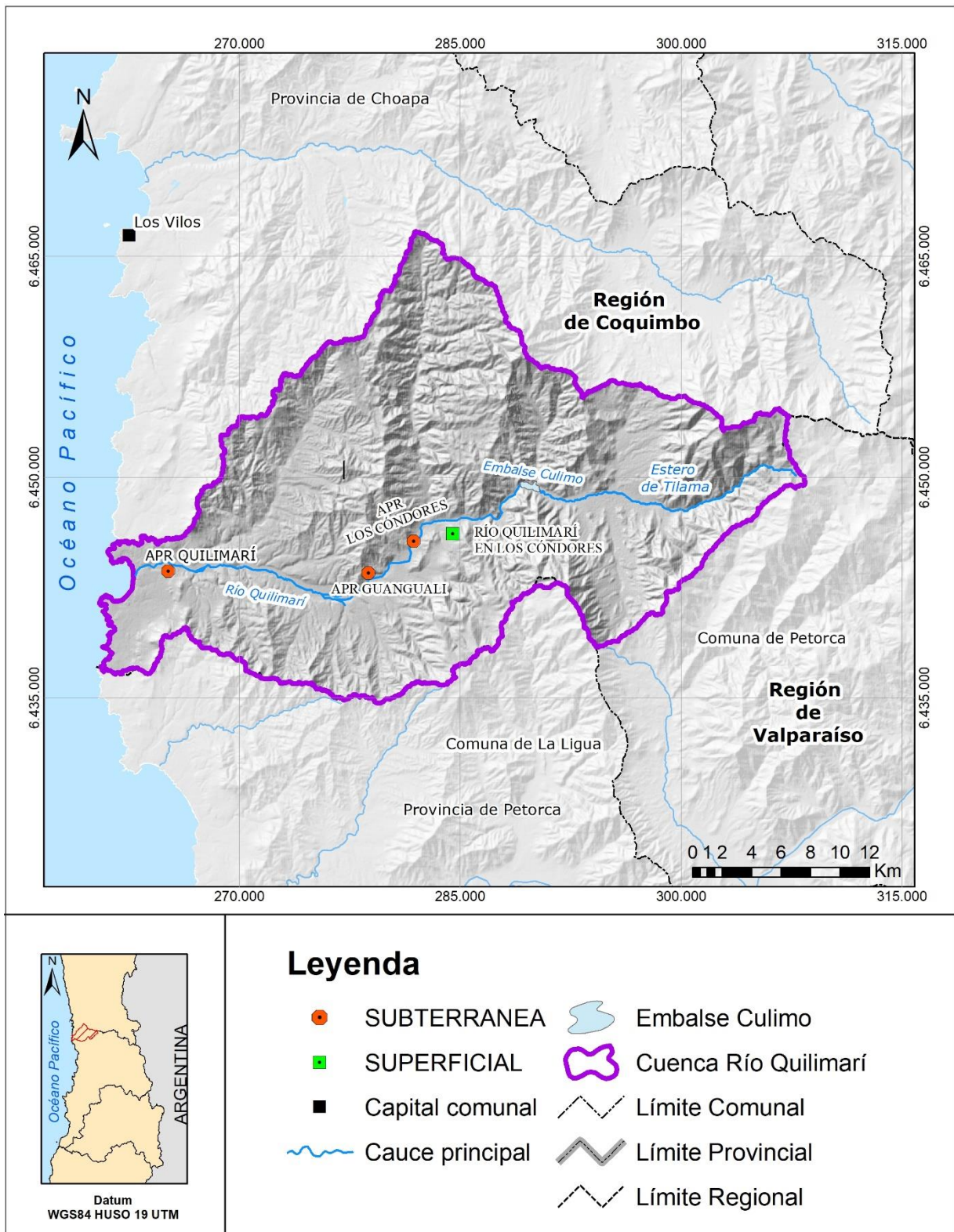
Tabla 4-2. Los decretos históricos de zonas de escasez que han afectado la cuenca Río Quilimarí.

Año	Decreto	Fecha de caducidad	Zona afectada
2009	Nº 88, Santiago 9 de febrero de 2009	09/08/2009	Provincia de Choapa
2011	Nº 415, Santiago 7 de diciembre de 2011	07/05/2012	Cuenca Río Quilimarí
2013	Nº 158, Santiago 21 de marzo de 2013	21/09/2013	Cuenca Río Quilimarí
2016	Nº 180, Santiago 05 de noviembre de 2016	11/11/2016	Provincia de Choapa
2018	Nº 150, Santiago 27 de noviembre de 2018	27/05/2019	Región de Coquimbo
2019	Nº 156, Santiago 28 de junio de 2019	28/12/2019	Región de Coquimbo
2019	Nº 156, Santiago 31 de diciembre de 2019	30/06/2020	Región de Coquimbo
2020	Nº 72, Santiago 01 de julio de 2020	01/01/2021	Región de Coquimbo

Fuente: Elaboración propia a partir de Mapoteca Digital DGA (2019d).

4.1.3. Calidad de Aguas

En la cuenca del río Quilimarí se inició el monitoreo de calidad del agua en el año 1968, con la estación "Río Quilimarí en Los Cóndores", la cual fue suspendida en el año 2002. En 2010, se aumentó la red de monitoreo incluyendo a 3 estaciones de APR. Entonces, se presentan en total 4 puntos de monitoreo, de los cuales uno es de aguas superficiales y 3 de aguas subterráneas asociadas a APR.



Fuente: Elaboración propia a partir de DGA (2019b).

El diagrama de Piper, para la calidad del agua superficial, indica que el agua es de tipo bicarbonatado. La tendencia temporal de conductividad eléctrica, indica un valor promedio de 741.54 mohs/cm y que había una tendencia marcada a la disminución de la conductividad eléctrica dentro del plazo de los datos de monitoreo (entre 1968 y 1979).

En el caso de la caracterización del tipo de agua y la evaluación de la conductividad eléctrica, no es posible evaluar las condiciones más recientes, debido a una falta de datos durante los últimos años. Considerando que esta estación fue suspendida, es la única estación con datos de calidad de agua disponibles dentro de la cuenca entera de Quilimarí. el no poder realizar un análisis con información de calidad del agua reciente en esta cuenca refleja una carencia importante en la evaluación de la condición fisicoquímica de las aguas de esta cuenca a con especial relación a los datos públicos.

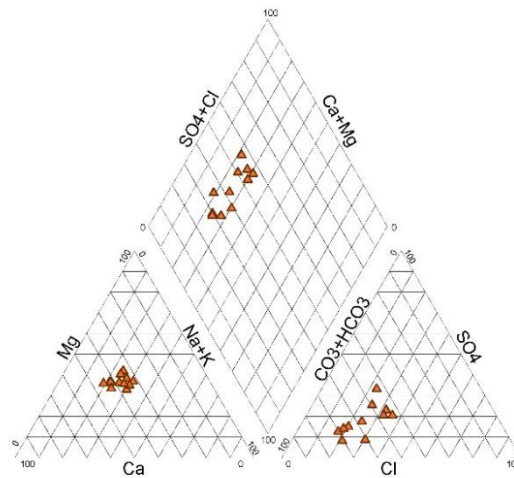


Figura 4-4. Diagrama Piper para la estación "Río Quilimarí en Los Cóndores", cuenca Río Quilimarí

Fuente: elaboración propia a partir de DGA (2019b).

4.1.3.1. Calidad del agua proyectada

Debido a la escasez de datos de calidad del agua en esta cuenca, en donde solo existe una estación de calidad del agua superficial, la cual ha presentado intermitencia en sus registros, no es posible realizar la calidad proyectada.

4.1.4. Derechos concedidos en aguas superficiales

Del total de 755 l/s otorgados a 2020, 125 l/s son de tipo consuntivo (permanente y eventual), mientras que los 630 l/s restantes son no consuntivos, permanente y continuo. La categoría "Vacíos" en la Tabla 4-3 quiere decir sin ubicación específica vía coordenadas

UTM o referencias que permitan determinar su localización. Lo anterior, impide saber realmente el lugar de intervención en el río.

Tabla 4-3. Derechos de aprovechamiento de aguas superficiales en la cuenca del río Quilimarí.

Subcuenca	Total	Tipo Derecho	Ejercicio del Derecho	Total	I/s	
					Cantidad	Suma
					N° de DAA	I/s
Río Quilimarí hasta Muro Embalse Culimo	2	Consuntivo	Eventual	1	1	86,25
			Permanente	1	1	13,75
Sin información	3	Consuntivo	Permanente	1	1	25
		No Consuntivo	Permanente	2	2	630

Fuente: elaboración propia en base a datos DGA, 2020.

4.2. Agua subterránea

4.2.1. Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común

El acuífero de la zona de estudio está compuesto por un conjunto de 9 sectores acuíferos (), los cuales han sido denominados Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común (SHAC). Según lo establecido por la DGA, un SHAC es acuífero o parte de un acuífero, cuyas características hidrológicas espaciales y temporales permiten una delimitación para efectos de su evaluación hidrogeológica o gestión de forma independiente (DGA, 2016). Esta subdivisión se utiliza en el proyecto para presentare resultados y evaluar la situación hídrica subterránea.

Siete SHACs de la cuenca corresponden a áreas restringidas para nuevas extracciones de agua subterránea (Quilimarí, Pangalillo, Los maquis, Los Cóndores, Guangualí, El Ajial y Aguas arriba del Embalse Culimo), cinco de ellos identificados por las DGA con sobre - otorgamiento de derechos.

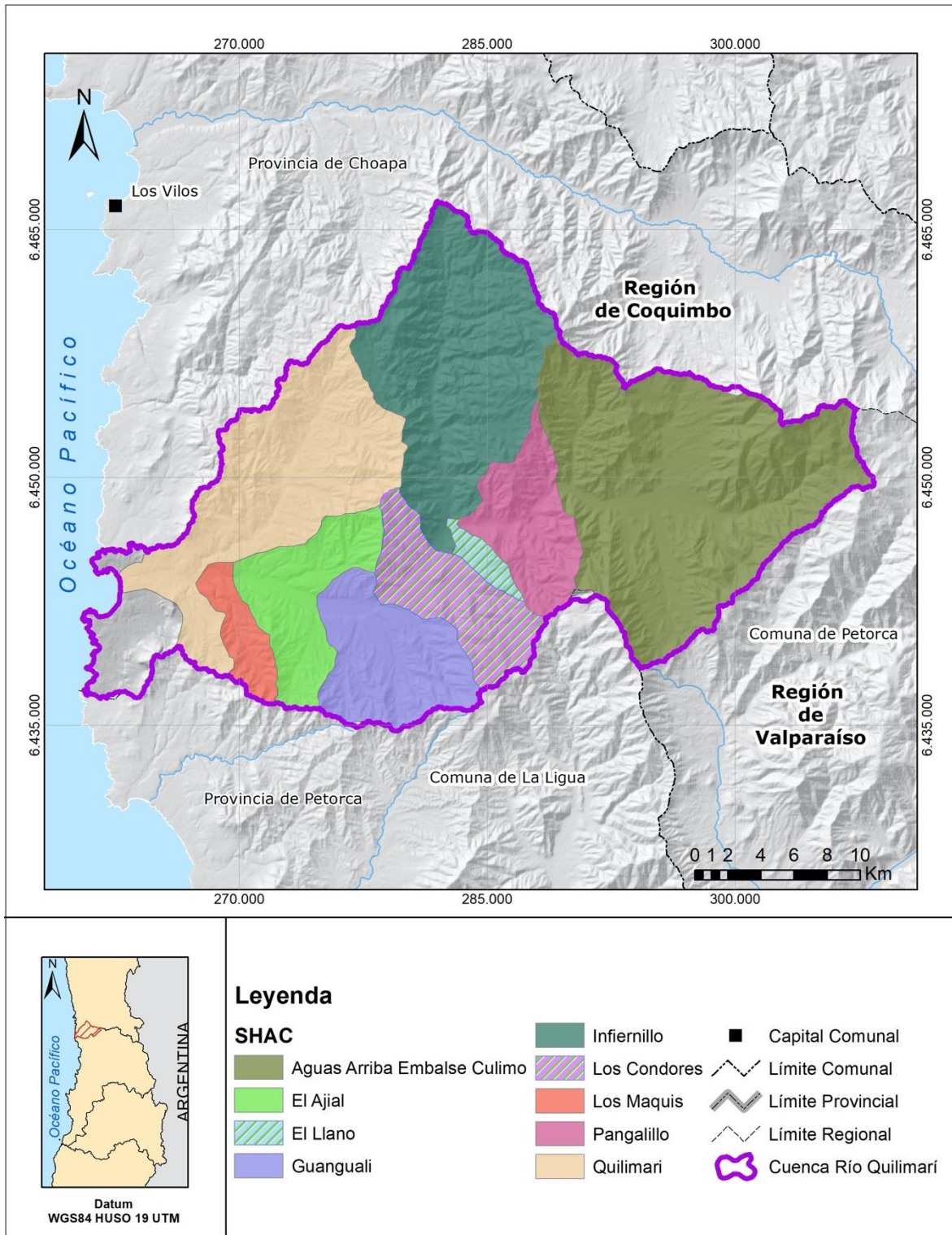


Figura 4-1. Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común (SHAC) en la cuenca Río Quilimarí.

Fuente: elaboración propia a partir de Mapoteca Digital DGA (2019d).

4.2.2. Restricciones de uso

Desde el año 2009, todos los SHAC de la cuenca Río Quilimarí (excepto Infiernillo y El Llano) han estado bajo alguna categoría de restricción de uso del agua subterránea (Tabla 4-4). La única área SHAC en el área del estudio no declarada como zona de prohibición es declarada área de restricción. Actualmente, los SHAC's Infiernillo y El Llano se encuentran abiertos, El Ajial en categoría de Área de Restricción y el resto de sectores declarados como Zona de Prohibición.

La declaración de área de restricción de aguas subterráneas es un instrumento de la DGA para proteger los SHAC que tienen graves riesgos de descenso en los niveles de aguas subterráneas. En comparación, la declaración de zona de prohibición es otro instrumento de la DGA, que es declarado cuando la disponibilidad de agua subterránea se encuentra totalmente comprometida y no es posible asignar nuevos derechos de aprovechamiento. Ninguna de los dos tipos de declaración posee fechas de caducidad

Tabla 4-4. Resoluciones de área de restricción y zona de prohibición para extracciones de aguas subterráneas dentro de la cuenca Río Quilimarí.

Tipo de Declaración	Año	Nº de Resolución	Fecha de Resolución	SHACs afectados
Área de Restricción	2009	150	11 de agosto de 2009	Aguas Arriba Embalse Culimo Pangalillo Los Cóndores Guangualí Quilimarí
Área de Restricción	2013	48	31 de julio de 2013	El Ajial Los Maquis
Zona de Prohibición	2019	19	19 de noviembre de 2019	Aguas Arriba Embalse Culimo Pangalillo Los Cóndores Guangualí Quilimarí Los Maquis

Fuente: Elaboración propia a partir de Mapoteca Digital DGA (DGA 2019d).

4.2.3. Stock, recarga y calidad actual

La recarga se ha conceptualizado considerando su dependencia de la precipitación directa sobre la zona aluvial, los aportes laterales desde cuencas de cabecera y en menor medida

de los aportes de las zonas cultivadas, debido a los excedentes de riego. Su desarrollo en el tiempo depende de la distribución temporal de la lluvia y la distribución espacial de los aportes laterales. En la siguiente figura se presenta la recarga directa general para la cuenca, donde se observa que un descenso de la última década evaluada (2010 – 2017) respecto a la década anterior (2000 – 2009), influenciada por la sequía identificada en la literatura en Chile en los últimos años (Núñez y Verbist, 2018).

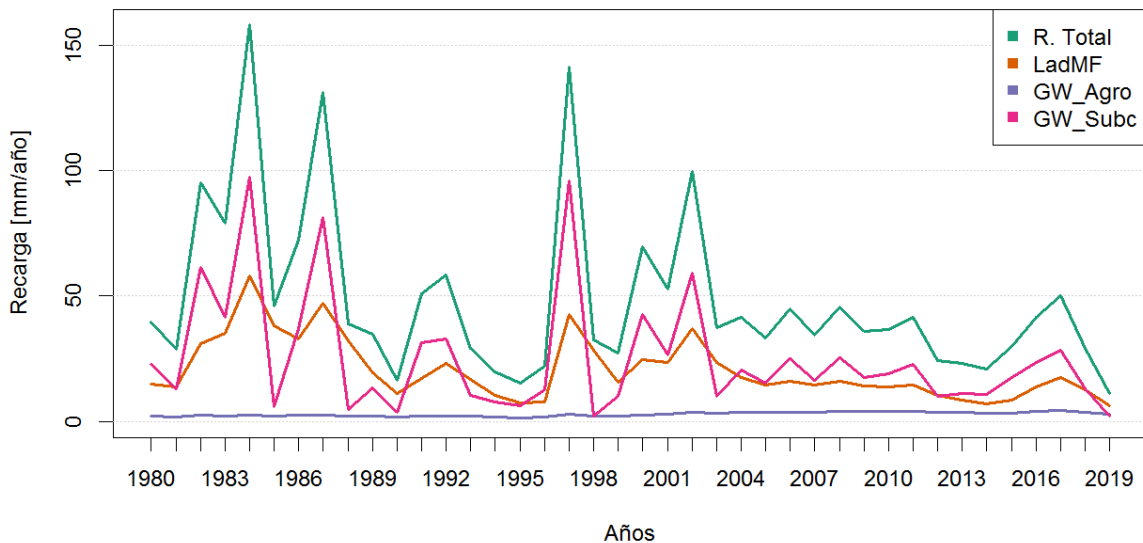


Figura 4-5. Recarga cuenca Río Quilimarí.

Donde:

LadMF= Recarga lateral del sector que no está dentro del acuífero hacia el dominio MODFLOW, recarga sobre la precipitación en porcentaje.

GW_Agro= Recarga del sector agrícola sobre el dominio MODFLOW (acuífero modelado), recarga sobre la precipitación en porcentaje.

GW_Subc= Recarga del sector no agrícola sobre el dominio MODFLOW (acuífero modelado), recarga sobre la precipitación en porcentaje.

Recarga TOT= Recarga total sobre el dominio MODFLOW (acuífero modelado), recarga sobre la precipitación en porcentaje.

Fuente: elaboración propia a partir de la modelación integrada (Anexo H Modelación integrada).

4.2.4. Stock, recarga y calidad histórica y proyectada

De acuerdo a las proyecciones realizadas en el escenario "Sin Plan" (Ver Anexo H, modelación hidrológica integrada), se ha estimado que las recargas disminuyan respecto al histórico debido a la disminución de la precipitación

Tabla 4-5. Recarga directa promedio decadal proyectado en la cuenca.

Decada	LadMF	GW_Agro	GW_Subc	Recarga TOT mm	Recarga TOT l/s
1980	32.26	2.23	37.88	72.37	1.629
1990	18.08	2.00	21.28	41.36	931
2000	20.22	3.50	25.83	49.54	1.115
2010	11.27	3.71	15.86	30.84	694

Donde:

LadMF= Recarga lateral del sector que no está dentro del acuífero hacia el dominio MODFLOW, recarga sobre la precipitación en porcentaje.

GW_Agro= Recarga del sector agrícola sobre el dominio MODFLOW (acuifero modelado), recarga sobre la precipitación en porcentaje.

GW_Subc= Recarga del sector no agrícola sobre el dominio MODFLOW (acuifero modelado), recarga sobre la precipitación en porcentaje.

Recarga TOT= Recarga total sobre el dominio MODFLOW (acuifero modelado), recarga sobre la precipitación en porcentaje.

Fuente: elaboración propia a partir de la modelación integrada (Anexo H Modelación integrada).

Según la Tabla 4-5, los cambios decadales en la recarga por precipitaciones han variado desde 931l/s en la década de 1990, a 1.155 l/s en la década de 2000 y 694 l/s en la última década (2010 a 2017).

4.2.5. Derechos concedidos en aguas subterráneas

Al año 2020 se registran 285 derechos de aprovechamiento subterráneos otorgados en su mayoría a partir de 2005, todo del tipo permanente y continuo, representando en total 1130 l/s. El SHAC más intervenido es Guangualí con 63% del total de derechos (Tabla 4-6).

Tabla 4-6 Derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en la cuenca Río Quilimarí

SHAC	Número derechos	Caudal (l/s)
Aguas Arriba Embalse Culimo	132	234.39
Pangalillo	0	0
El Llano	0	0
Infiernillo	0	0
Los Condores	5	17
Guangualí	88	710.07
El Ajial	1	2
Los Maquis	0	0
Quilimarí	59	166.83

Fuente: elaboración propia a partir del DGA (2019d) e información entregada por DGA sobre el catastro de derechos de aprovechamiento.

En la Figura 4-2 se muestra la distribución espacial de los derechos de aprovechamiento de agua subterránea, los cuales están localizados a los largo de los cauces principales.

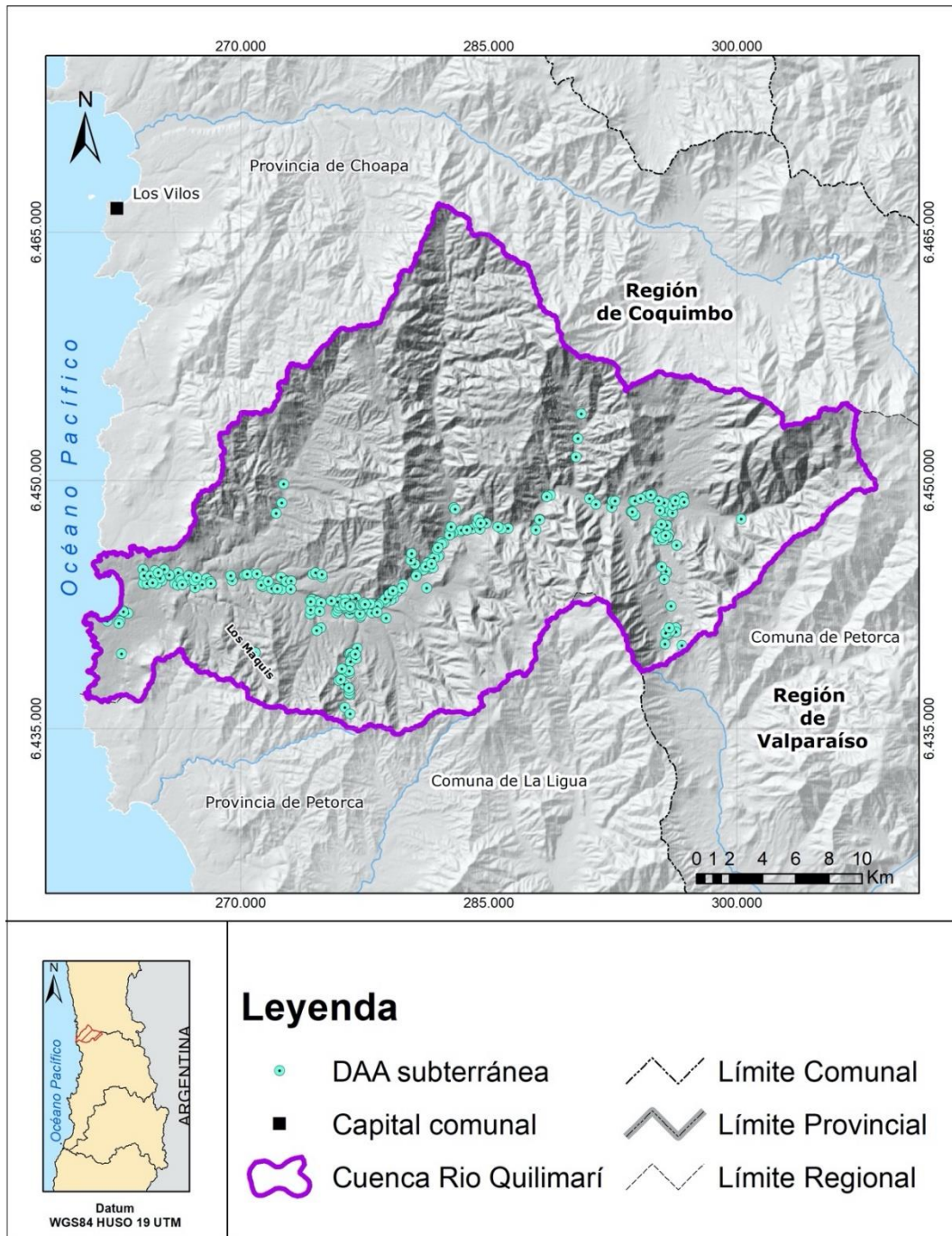


Figura 4-2. Distribución de los derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas

Fuente: Elaboración propia a partir de información entregada por DGA sobre el catastro de derechos de aprovechamiento.

5. BALANCE DE AGUA (OFERTA Y DEMANDA)

5.1. Modelo de simulación

Los modelos de agua subterránea en MODFLOW y WEAP son muy diferentes. Mientras que un nodo de agua subterránea WEAP se representa como un gran "cubo" sin parámetros para caracterizar los flujos internos, MODFLOW representa el agua subterránea como una red multicapa de celdas independientes, cada una con sus propios parámetros de flujo y ecuaciones que se utilizan para modelar flujos entre celdas, y a través de los límites del acuífero (SEI, 2016).

Cuando se vinculan correctamente, los datos y los resultados fluyen de un lado a otro entre WEAP y MODFLOW para cada paso de tiempo, permitiendo así determinar el balance hídrico de la cuenca o subcuencas determinadas en WEAP considerando el flujo subterráneo modelado en MODFLOW. Desde WEAP los resultados hacia MODFLOW como datos de entrada para sus cálculos son infiltración de agua subterránea (recarga), extracciones (bombeo), nivel del agua en tramos de un río y escorrentía de aguas superficiales, y desde MODFLOW hacia WEAP como datos de entrada el nivel de aguas subterráneas, variación de nivel, flujos laterales entre acuíferos, interacciones agua superficial – agua subterránea. Para mayor claridad sobre el proceso de integración, ver el Anexo H Modelación Integrada.

La Figura 6-1 presenta un esquema del acople de los modelos en uno operacional WEAP-MODFLOW.

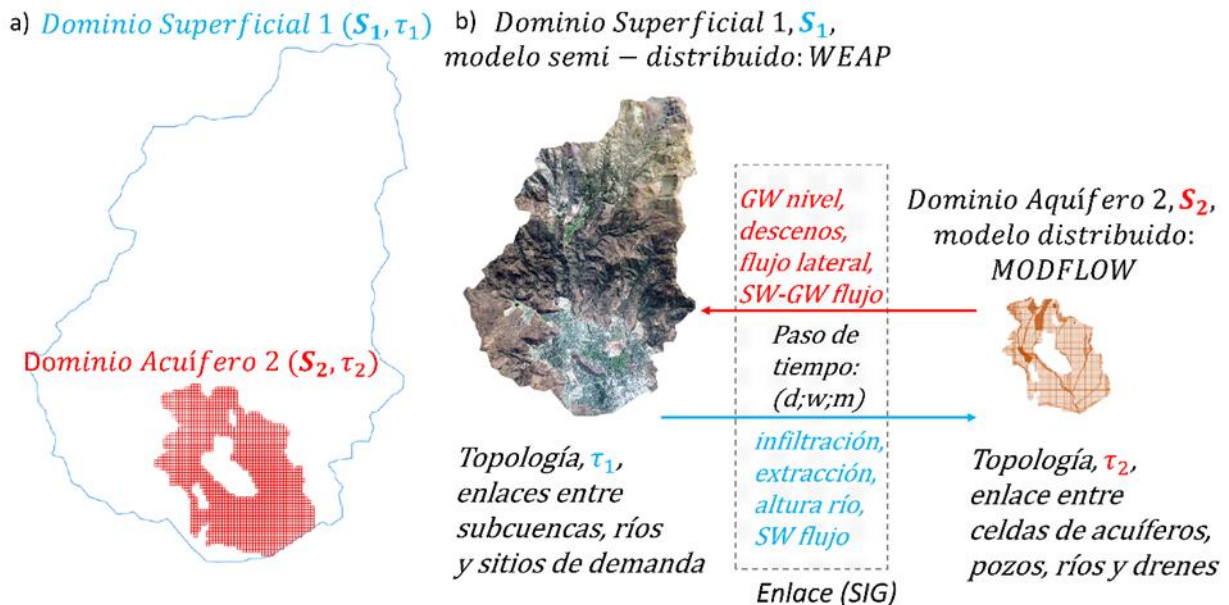


Figura 5-1 Topología entre modelos WEAP-MODFLOW y flujos de intercambio para cada paso de tiempo

Fuente: DICTUC S.A., SEI (2019).

En la Figura 6-2 se muestra la relación que se da entre los distintos nodos debido a la distribución espacial de las unidades de modelación.

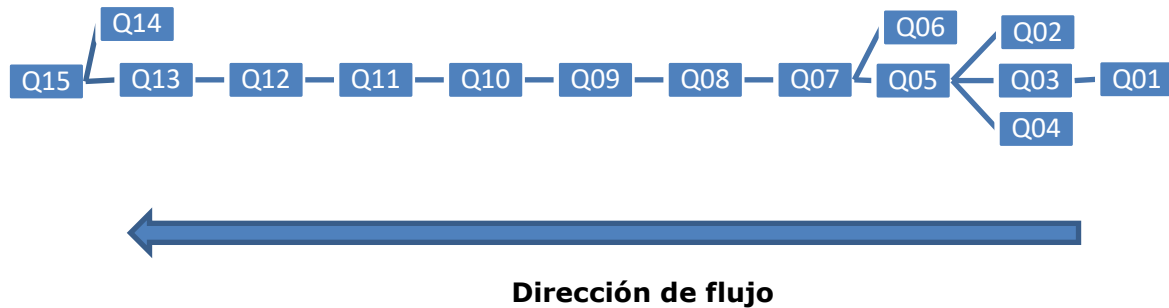


Figura 5-2. Dirección de flujos que se tienen entre las distintas unidades de modelación de la cuenca del río Quilimarí.

Fuente: elaboración propia.

En la Figura 6-3 se muestra el nombre de cada acuífero considerado en los modelos. Cabe mencionar que los acuíferos "MF" se conectan directamente con Modflow a partir del archivo Linkeage.shp.

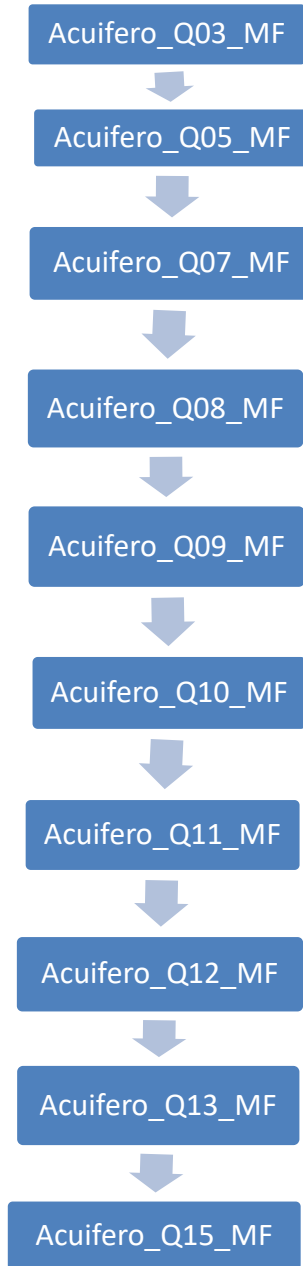


Figura 5-3. Diagrama de flujo de acuíferos de WEAP que hace la interacción con MODFLOW en la cuenca del río Quilimarí.

Fuente: elaboración propia.

El detalle de la descripción del modelo se encuentra en el Anexo H de modelación integrada, acápite 3.2.

El modelo WEAP Acoplado puede ser evaluado con respecto a caudales superficiales y los niveles de pozos en el caso de las aguas subterráneas. A continuación, se muestran los indicadores de desempeño que dan una idea de la capacidad representativa del modelo respecto a caudales superficiales y niveles de pozos, ver Figura 5-4 y Figura 5-5, respectivamente.

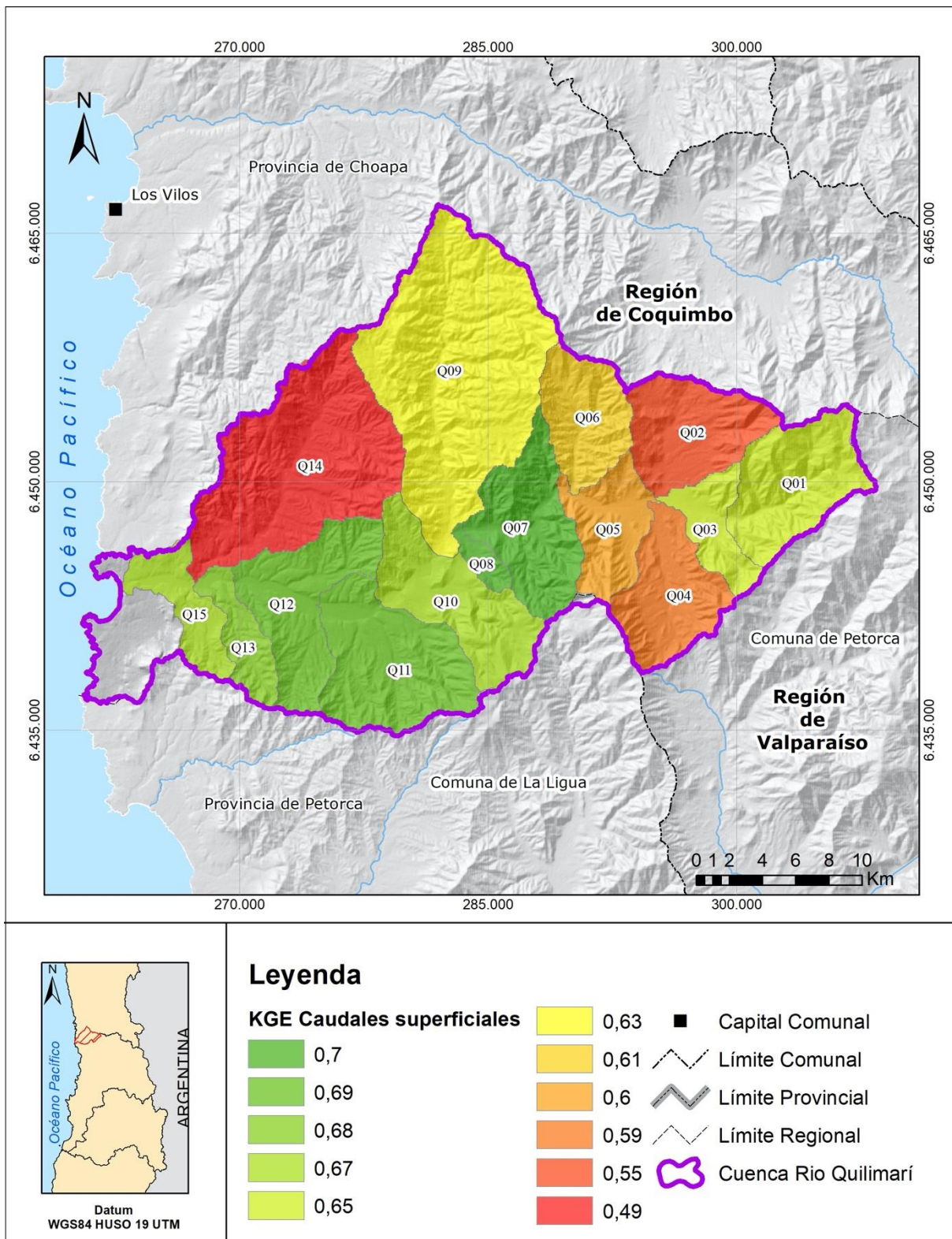
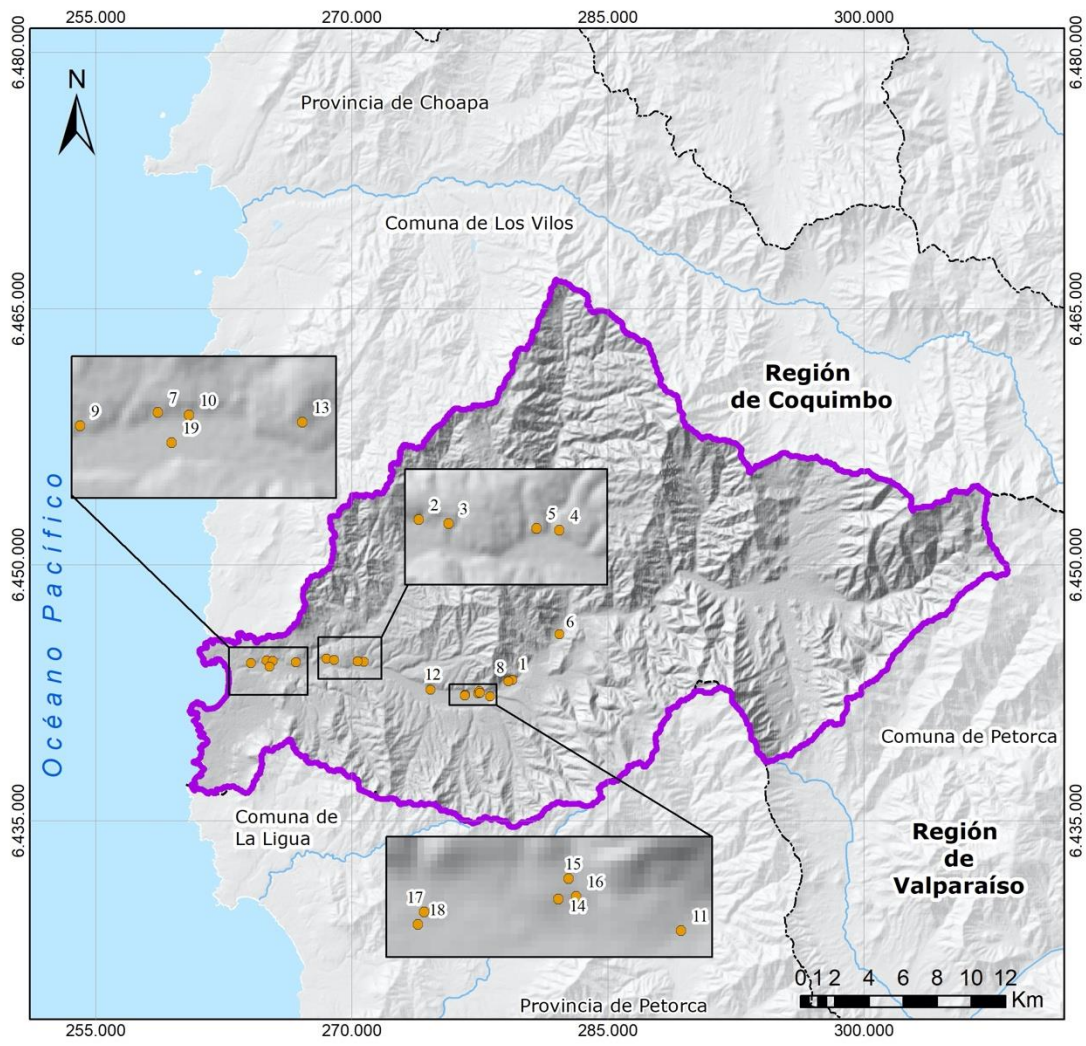


Figura 5-4. Semáforo de indicadores de eficiencia caudales superficiales – KGE

Fuente: elaboración propia.



Leyenda

- Eficiencia de Pozos
- Cuenca Río Quilimarí
- Límite Comunal
- Límite Provincial
- Límite Regional

ID *	Pozo	BIAS
1	AGR_ABEDUL	0,43
2	AGR_QUILIMARI1	4,53
3	AGR_QUILIMARI2	6,6
4	AGROMOL1	3,47
5	AGROMOL2	1,92
6	APR_CONDORES	4,01
7	APR_ESFUERZO	20,66
8	APR_GUANGUALI	5,16
9	APR_PICHIDANGUI	11,82
10	APR_QUILIMARI	9,25
11	E_TORTORA	-9,61
12	F_HOCHSCHILD	-0,72
13	H_PONS	2,64
14	J_NAVARRO1	-3,85
15	J_NAVARRO2	-4,11
16	J_NAVARRO3	-3,53
17	J_SERRANO1	-1,96
18	J_SERRANO2	-0,81
19	PUEBLO_QUILIMARI	9,65

Figura 5-5. Indicador de eficiencia Sesgo en pozos monitoreados por DGA.

Fuente: elaboración propia.

El detalle de los resultados de la modelación acoplada se encuentra en el Anexo H de modelación integrada, acápite 5.1

5.2. Situación actual

5.2.1. Balance hídrico

A partir de los resultados de la modelación conjunta del modelo implementado, se obtuvo el balance histórico a partir de flujos de entrada (precipitación) y flujos de salida como el consumo agrícola, de agua potable y de las salidas al mar, tanto superficial como subterránea.

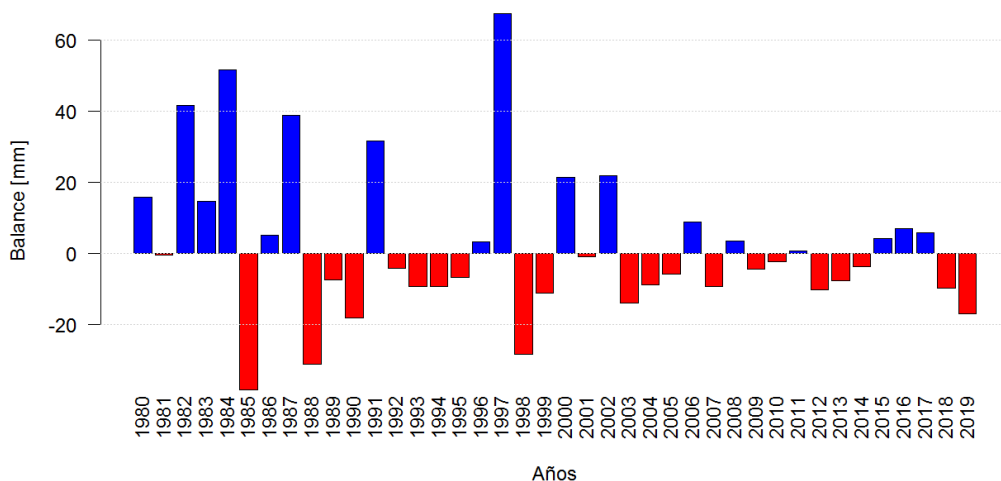


Figura 5-6. Balance hídrico anual en la cuenca del río Quilimarí

Fuente: elaboración propia basado en resultados de la modelación integrada

Del balance se aprecia que a partir del año 2003 en adelante la cuenca presenta un déficit relativamente constante en torno a los 10 Hm³. Particularmente el año 2018-2019 el año con déficit en torno a los 18 Hm³.

5.2.2. Balance hidrogeológico

En la Tabla 5-1, se presenta el balance hídrico subterráneo de la situación histórica. Se observa que en las entradas, que en la mayoría de los SHACs la recarga desde el río representa más del 50% de éstas. La excepción es en el SHAC Aguas Arriba del Embalse Culimo, en donde las entradas principalmente están centradas en la recarga por precipitaciones y laterales.

Con relación a las salidas, el río es el predominante en todos los SHACs.

De los resultados de almacenamiento, se debe indicar que el balance es casi nulo en todos los SHACs, por lo que el modelo está bien balanceado.

Tabla 5-1. . Balance hídrico subterráneo, situación histórica

	Aguas arriba Embalse Culimo	Pangalillo	El Llano	Infiernillo	Los Condores	Guangali	El Ajial	Los Maquis	Quilimari
Entradas (L/s)									
Flujo Subterráneo	0,0	0,1	1,3	1,1	2,0	0,8	4,4	0,1	0,5
Recarga	8,9	0,5	0,2	0,4	1,0	1,0	0,7	0,3	2,2
Recarga desde río	5,6	11,8	1,8	2,7	15,0	27,1	14,1	8,7	9,6
Recarga desde almacenamientos	3,3	1,5	0,4	0,5	1,8	2,1	1,8	0,9	1,6
Entrada Lateral	8,0	3,4	0,4	15,6	5,5	2,3	1,6	0,6	6,9
Total	25,7	17,4	4,1	20,3	25,3	33,3	22,6	10,5	20,8
Salidas (L/s)									
Flujo Subterráneo	0,0	0,7	1,2	1,2	0,1	4,2	0,7	2,1	0,1
Descarga hacia carga constante	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8
Drenes	6,5	0,8	0,1	10,2	3,7	1,2	0,7	0,3	3,2
Salidas río	13,2	14,1	2,4	7,0	17,6	25,3	18,6	7,1	14,3
Almacenamiento	4,3	1,5	0,3	0,5	2,3	2,2	1,8	0,8	1,8
Pozos de bombeo	1,7	0,4	0,0	1,3	1,7	0,3	0,7	0,2	0,7
Total	25,7	17,4	4,1	20,3	25,3	33,3	22,6	10,5	20,8
Balance (L/s)									
Variación de almacenamiento	-2,8,E-06	-2,4,E-06	-1,8,E-07	-4,6,E-07	-4,0,E-07	-2,6,E-08	-5,6,E-07	-7,6,E-07	-2,1,E-06

Fuente: elaboración propia basado en resultados de la modelación integrada

5.3. Situación proyectada

5.3.1. Balance hídrico

Se proyectó el balance hídrico para la cuenca considerando las proyecciones de cambio climático con los escenarios MIRO y CSIRO y el mismo patrón de la serie histórica que se proyectó hasta el 2050.

El Balance hídrico proyectado al año 2050 del río Quilimarí (Figura 5-1) muestra que solo un 30% de los años el balance es positivo, lo cual se traduce en una condición más crítica que la condición actual.

Por otra parte, es posible indicar que los años en los cuales el acuífero será recargado en mayor niveles a los cuales están siendo extraído, se traducen en 45% de los años simulados.

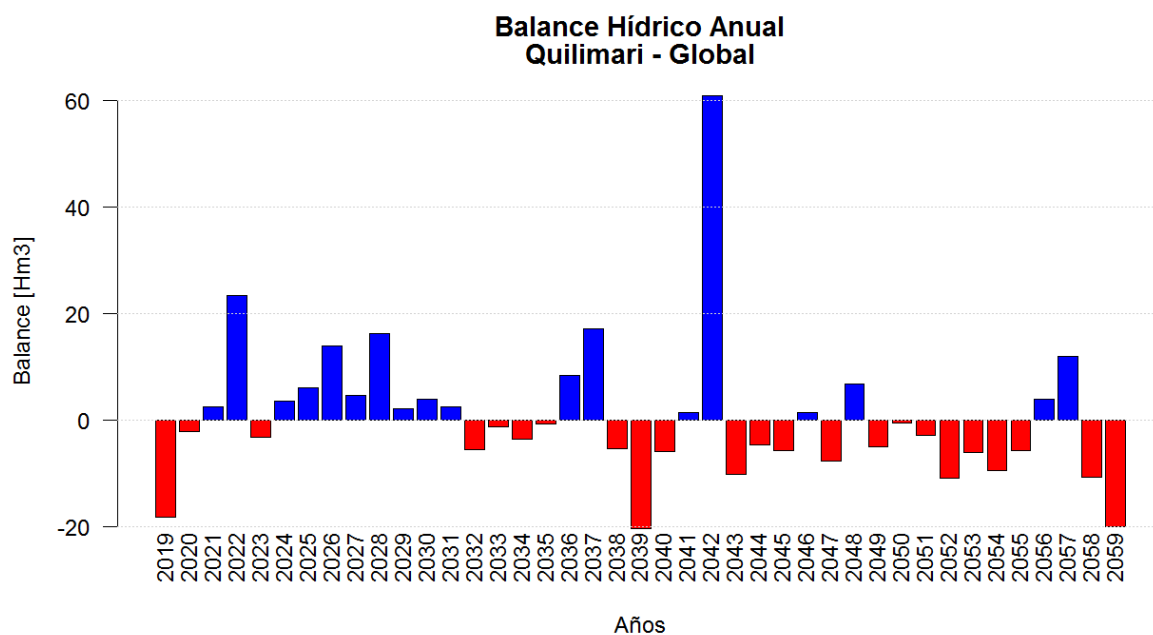


Figura 5-1. Balance hídrico proyectado hasta el año 2060 para el río Quilimarí basado en escenario MIROC.

Fuente: elaboración propia a partir de la modelación hidrológica superficial (ver Anexo H Modelación hidrológica acoplada)

5.3.2. Balance hidrogeológico

En la Tabla 5-2, se presenta el balance hidrológico de la situación futura, se observa que, al igual que en el período histórico, en las entradas predomina la recarga desde el río en todos los SHACs. Siendo ésta más del 50% del total de las entradas.

Con relación a las salidas, se observa que el afloramiento por parte del río predomina en éstas, con excepción del SHAC Infiernillo, en donde los drenes presentan el mayor valor.

Finalmente, la variación de volumen, valor que cierra el balance, es casi nula en todos los SHACs, de lo que se concluye que el modelo está bien balanceado.

Tabla 5-2. . Balance hídrico subterráneo, situación histórica

	Aguas arriba Embalse Culimo	Pangalillo	El Llano	Infiernillo	Los Condores	Guangali	El Ajial	Los Maquis	Quilimari
Entradas (L/s)									
Flujo Subterráneo	0,0	0,0	1,1	1,0	1,8	0,7	4,3	0,1	0,5
Recarga	5,6	0,7	0,3	0,7	1,5	1,5	1,2	0,3	2,3
Recarga desde río	6,4	12,4	1,8	2,7	15,5	25,6	13,8	8,5	9,1
Recarga desde almacenamientos	4,2	1,7	0,3	0,6	2,5	2,7	2,3	1,2	2,1
Entrada Lateral	3,0	2,2	0,2	12,5	3,1	2,2	0,9	0,2	6,0
Total	25,7	17,4	4,1	20,3	25,3	33,3	22,6	10,5	20,8
Salidas (L/s)									
Flujo Subterráneo	0,0	0,6	1,0	1,2	0,0	4,1	0,7	1,9	0,1
Descarga hacia carga constante	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8
Drenes	2,7	0,6	0,1	7,6	2,3	1,1	0,5	0,1	2,6
Salidas río	9,4	12,8	2,2	6,1	14,6	23,9	17,5	6,0	13,2
Almacenamiento	4,0	1,8	0,3	0,7	2,5	2,9	2,4	1,2	2,2
Pozos de bombeo	3,1	1,2	0,1	1,9	4,9	0,8	1,5	0,9	1,2
Total	19,3	17,0	3,7	17,5	24,4	32,8	22,6	10,2	19,9
Balance (L/s)									
Variación de almacenamiento	-4,0,E-06	-2,4,E-06	-1,0,E-07	-1,2,E-06	-3,4,E-07	-3,5,E-07	-2,6,E-06	-9,3,E-07	-2,3,E-06

Fuente: elaboración propia basado en resultados de la modelación integrada

5.4. Brechas (desbalance, eficiencia, gestión OUA)

5.4.1. Brecha histórica

Respecto a la simulación histórica del balance hídrico se muestra que la cuenca presenta una alternancia de déficit y superávit. A partir del año 2003 en adelante, la cuenca presentó mayormente déficit en torno a los $0,2 \text{ Hm}^3$

La brecha asociada al déficit generado para poder satisfacer las demandas evidenciadas en la cuenca, fueron abordadas mediante el concepto de demanda insatisfecha y por el déficit anual en el recurso subterráneo.

La demanda insatisfecha, fue determinada a partir de los resultados del modelo acoplado (WEAP y MODFLOW, Anexo H Modelo hidrológico acoplado). En primer lugar, se identifica la demanda insatisfecha en riego, definida como la diferencia entre la Evapotranspiración potencial y la evapotranspiración real. Además, se define la demanda insatisfecha de agua potable como la demanda potencial (estimada a partir de la dotación) y el consumo real de agua. La demanda insatisfecha anual promedio de la última década es de $8,1 \text{ Hm}^3/\text{año}$.

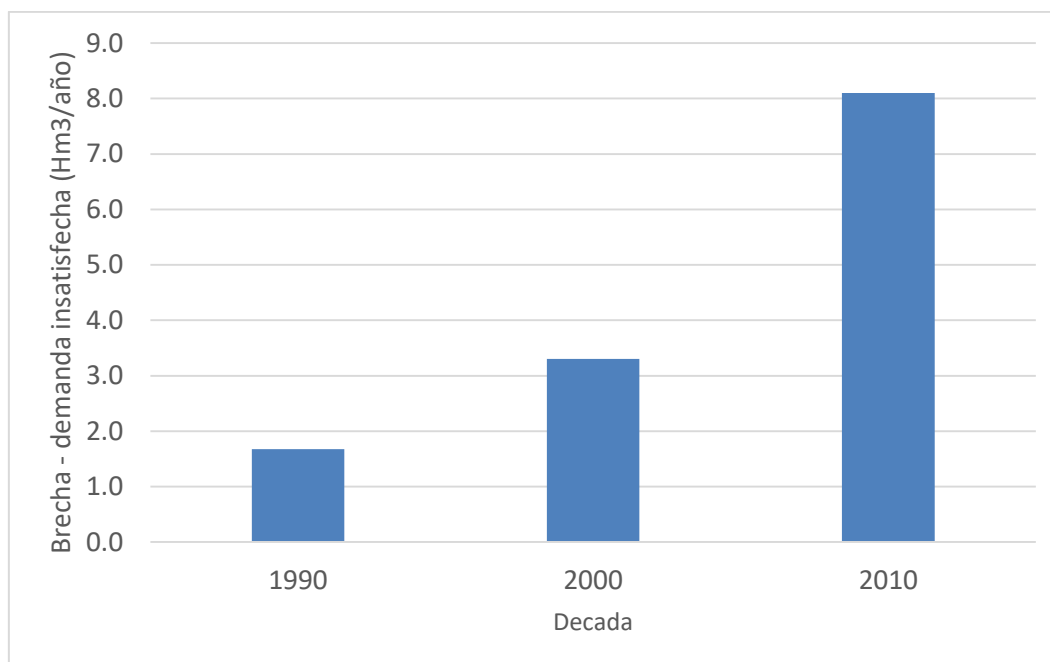


Figura 5-7. Demanda insatisfecha para riego en la cuenca del río Quilimarí.

Fuente: elaboración propia basado en resultados de la modelación hidrológica acoplado (Anexo H, capítulo 5).

En 2019 a escala de SHAC, los sectores con mayor demanda agrícola insatisfecha son Aguas arriba Embalse Culimo con $3,68 \text{ Hm}^3/\text{año}$, seguido de El Ajial con $1,76 \text{ Hm}^3/\text{año}$, Guangualí con $1,26 \text{ Hm}^3/\text{año}$ y Quilimarí con $1,05 \text{ Hm}^3/\text{año}$

La demanda insatisfecha del agua potable es de $0,003 \text{ Hm}^3/\text{año}$ como promedio de la última década, evidenciando problemas de abastecimiento de agua en los últimos años. En la

Figura 5-8, se muestra la evolución temporal de la demanda insatisfecha para agua potable rural

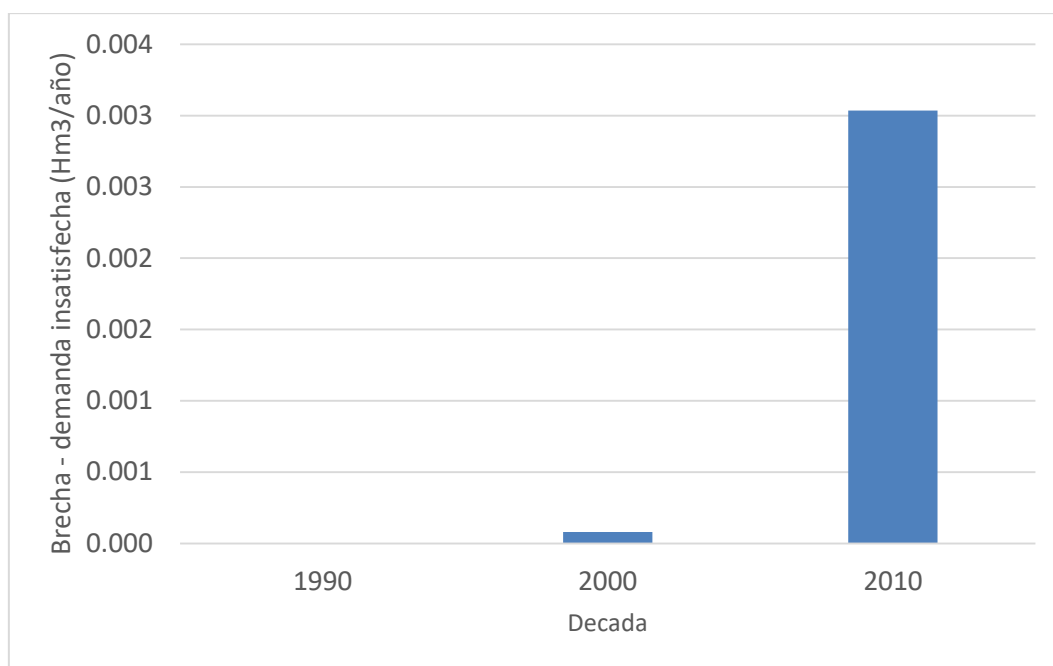


Figura 5-8. Demanda insatisfecha para agua potable rural en la cuenca del río Quilimarí.

Fuente: elaboración propia basado en resultados de la modelación integrada.

Si se considera la totalidad de la demanda insatisfecha y además el déficit medio decadal del acuífero, es posible determinar el déficit hídrico total de cada cuenca, el cual fue considerado como la brecha hídrica en cada cuenca. En este sentido, la brecha hídrica para la cuenca del río Quilimarí es igual a 8,83 Hm³.

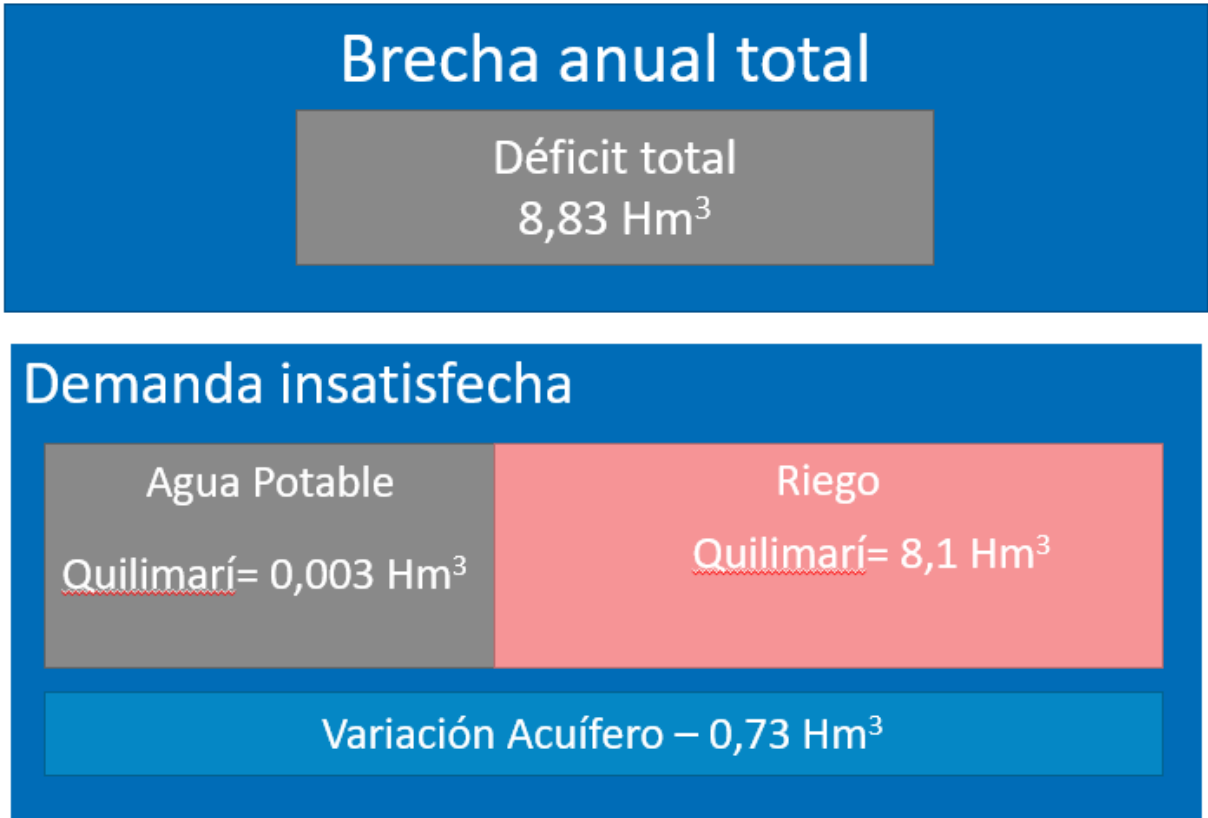


Figura 5-9. Brecha hídrica en cuenca del río Quilimarí.

Fuente: elaboración propia (anexo H, modelación hidrológica acoplada, capítulo 5).

5.4.2. Brecha futura

Las brechas proyectadas muestran una tendencia similar a la tendencia actual. Considerando un escenario de cambio climático MIROC, el déficit hídrico anual proyectado entre los años 2040 y 2050 es de 9,2 Hm³/año (Figura 5-10)

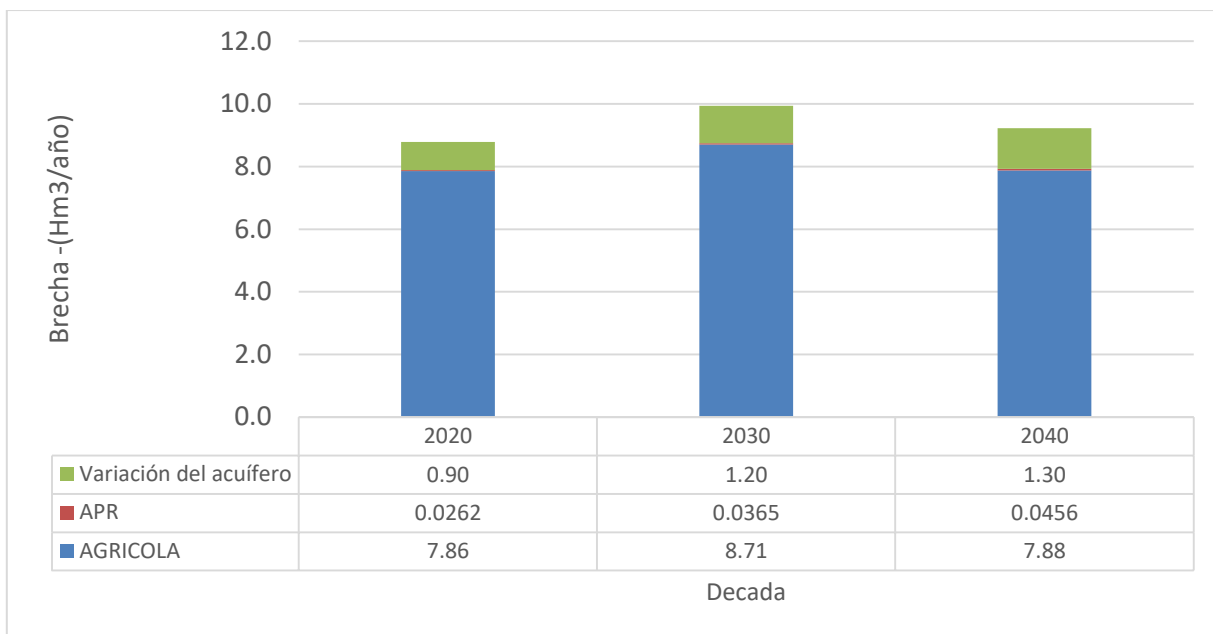


Figura 5-10 Déficit hídrico medio proyectado para la década 2040-2050 en la cuenca del río Quilimarí considerando escenario MIROC

Fuente: elaboración propia a partir de la modelación hidrológica superficial (ver Anexo H Modelación hidrológica acoplada).

Se aprecia que para la condición proyectada la condición hídrica de la cuenca será más desfavorable que la condición, aumentando en un 4% el déficit hídrico para la década del año entre los años 2040 y 2050.

5.4.3. Brecha de medio ambiente

La información base biológica, ecológica, hidrológica, cultural, social, entre otras, en cada cuenca es muy escasa, lo que dificulta diagnosticar los servicios ecosistémicos presentes en ambas cuencas mediante un enfoque de gestión integrada del recurso hídrico. Producto de ello las brechas identificadas son para diferentes niveles del conocimiento y disciplinas, transitando a la interdisciplina que permite estimar los beneficios de la provisión de los bienes y servicios ecosistémicos hídricos.

Bajo este contexto, se hace necesario abordar las brechas:

- Aumentar el nivel de entendimiento de los humedales presentes en ambas cuencas.
- Aumentar la información y conocimiento sobre la biodiversidad y funcionamiento de los ecosistemas terrestres y acuáticos a través de diferentes escalas espaciales y territoriales.

Estudiar la pérdida de superficie de vegetación nativa y su consecuente pérdida de los servicios ecosistémicos de provisión y regulación del recurso hídrico.

5.4.4. Brechas de información

5.4.4.1. Brechas de información de monitoreo

Dispersión de información registrada y diversidad de plataformas de acceso y visualización.

Sin bien INIA y el Ministerio de Agricultura han hecho esfuerzos por poner unificar información y ponerla disposición de interesados, esta sigue estando dispersa para el usuario poco habituado a plataformas tecnológicas.

En la cuencas existen cuatro redes de medición, aquellas que agrupan información de las estaciones administradas por el INIA, CEAZA, la Dirección Meteorológica de Chile y la misma DGA. Además existe una plataforma web desarrollada y operada por el Ministerio de Agricultura que agrupa estaciones meteorológicas de la Fundación de la Sociedad Agrícola y de la Dirección Meteorológica de Chile. Ambas redes despliegan información en línea a tiempo real.

La existencia de estas redes, si bien entregan una cantidad de información que es importante para los niveles de estrés hídrico a los cuales están sometidas, genera confusión en los usuarios, ya que deben acceder a tres redes distintas para poder obtener la información retenida en ellas. Además, la forma de despliegue de los datos es distintas, lo cual genera experiencias de usuarios distintas.

Calidad y cantidad de estaciones de monitoreo deficiente.

Un análisis sencillo de las estaciones de monitoreo presentes en esta cuenca permite determinar la carencia de estaciones. Debido a esta no es posible cuantificar, estimar ni predecir los volúmenes de agua que podrían ser almacenados en el embalse Culimo en una época de deshielo y/o precipitación.

Para una cuenca como la de Quilimarí es importante conocer los aportes pluviales de la cuenca, así como el aporte nival, por lo tanto, es necesario aumentar la cantidad de estaciones meteorológicas en puntos estratégicos de la cuenca.

Por otra parte, esta cuenca no presenta estaciones fluviométricas ni tampoco sedimentológicas. La ausencia de las primeras imposibilita el desarrollo de una gestión del recurso y tampoco de su planificación a corto plazo. Dadas las particularidades de la cuenca y considerando al embalse Culimo como eje central. Las estaciones sedimentológicas cobran importancia debido a que los canales presentan un mal estado de mantención debido a la cantidad de sedimentos que estos tienen.

Tabla 5-3 Carencia de cantidad de estaciones de monitoreo en la cuenca del río Quilimarí

Cuenca	Tipo de estación	Sector
Quilimarí	Fluviométricas	Es necesario instalar al menos 3 estaciones fluviométricas en el río Quilimarí en: <ul style="list-style-type: none">• Aguas arriba del embalse Culimo• Sección media de la cuenca• Aguas abajo del embalse Culimo

Quilimarí	Meteorológicas	Es necesario instalar al menos 4 estaciones meteorológicas <ul style="list-style-type: none"> • Dos en las zonas altas de la cuenca • Una en la cuenca aportante del embalse Culimo
Quilimarí	Nivel de pozo	Es necesario instalar al menos 5 estaciones de nivel de pozo en la cuenca: <ul style="list-style-type: none"> • Aguas abajo del embalse Culimo • Dos en la zona media de la cuenca • Una en la zona baja de la cuenca
Quilimarí	Calidad del agua	Instalar al menos 6 estaciones de medición de calidad del agua 2 superficiales y cuatro subterránea.

Fuente: elaboración propia

Así mismo, del análisis exploratorio de los datos de las estaciones de medición de calidad de agua, se evidencia una inconsistencia en la cantidad de estaciones de monitoreo "vigentes" con datos, en la cantidad de días muestreados y la cantidad de parámetros medidos en el tiempo. Esta inconsistencia en la información imposibilita una evaluación estacional o el establecimiento de una relación entre el régimen hidrológico del río Quilimarí y los parámetros evaluados en cada toma de muestras; lo anterior, trae como consecuencia el desconocimiento de la calidad de agua real en los usos por SHAC y en cada cuenca, así como la dinámica temporal y espacial de los parámetros medidos.

5.4.4.2. Brechas de información de conocimiento

Caracterización de la hidrogeología del territorio y acceso a dicha información por parte de actores:

Respecto a la información sobre caracterización del territorio, se evidencia la carencia de información hidrogeológica a una escala local, puesto que las APR tienen desconocimiento sobre la litología en los pozos donde extraen agua, con lo cual, no solo no cuentan con los recursos necesarios para realizar profundizaciones de sus pozos, sino que además tienen la incertidumbres sobre la efectividad de la profundización en caso de realizarla

Conocimiento desactualizado de la infraestructura civil hidráulica:

Si bien existen estudios realizados por parte de la DGA o CNR sobre la infraestructura hidráulica asociada al riego o acumulación de agua, no se cuenta con un conocimiento acabado y actualizado de información sobre los canales destinados a riego como (ubicación, material, longitud, usuarios vinculados, caudal, entre otros) dificultando la estimación de pérdidas/ganancias y su caracterización dentro de un modelo hidrológico superficial.

Conocimiento desactualizado de las superficies agrícolas sin tecnificar:

Los catastros frutícolas y censos agropecuarios representan un esfuerzo significativo por mantener actualizadas las estadísticas en torno al sector agrícola (especies cultivadas, tecnificación, entre otros). Sin embargo, no se dispone información concreta sobre los predios no tecnificados, área, eficiencia de riego, cultivos asociados y localización, dificultando la modelación hidrológica superficial. Así mismo, dicho conocimiento facilitaría la priorización los esfuerzos económicos y de apoyo logístico por parte de la CNR orientados al apoyo dirigido a los agricultores para tecnificar sus sistemas de riego.

5.4.4.3. Brechas de acceso a la información

En esta cuenca, si bien la cantidad de estaciones de monitoreos es escasa, se aprecia que el acceso a dicha información es complejo para los usuarios, debido a que existen dos plataformas de acceso a información en línea y otra con acceso a información en la red.

Un análisis detallado en la experiencia de navegación demuestra que la información desplegada, y probablemente contenida, en cada red es distinta, lo que disminuye las posibilidades de uso conjunto de la información contenida en cada red, debido a que cada usuario deberá realizar una homologación de la información de estas redes.

5.4.4.4. Brechas de información de capacidades

Otro aspecto importante, es indicar que en esta cuenca diversas instituciones estatales han realizado estudios sobre la disponibilidad hídrica como por ejemplo el estudio de catastro de riego realizado por la CNR.

Sin embargo, no se han desarrollado estudios específicos para la implementación y/o desarrollo de planes de gestión de recursos hídricos, ante lo cual no hay claridad sobre las capacidades técnicas con las que disponen las OUA.

Sumado a la escasa coordinación entre los actores e instituciones en esta cuenca, dificulta que el capital humano se establezca en esta cuenca. La generación de información técnica en distintas iniciativas realizadas por las instituciones públicas genera información de calidad, pero que no es entendible por los actores de la cuenca, así como tampoco utilizable por ellos.

5.5. Sustentabilidad

La presente sección tiene como objetivo describir los criterios de sustentabilidad desarrollados por la DGA, con el objetivo de evaluar el estado del acuífero considerando diferentes aspectos.

Estos criterios son definidos en 5 subcriterios orientados a:

Criterio 1: Evaluar descensos generales en cada SHAC. Si los descensos del nivel del acuífero son sostenidos en el tiempo y mayores al 5% del Volumen inicial, entonces se considera que el sistema no es sustentable

Criterio 2: Este criterio busca no afectar los recursos superficiales ya comprometidos. El grado de interacción debe ser menor que 10% de los flujos superficiales pasantes en cada una de las zonas, evaluados como el caudal promedio anual de 85% de probabilidad de excedencia.

Criterio 3: Para cada sector hidrogeológico, el modelo debe permitir una extracción mínima de un 95% de caudal ingresado como demanda y la oferta estará dada por el caudal de los pozos que el modelo indica que son factibles de obtener.

Criterio 4: En cada sector hidrogeológico no debe haber más de un 5% de pozos desconectados o colgados. En caso contrario el sector quedará cerrado.

Criterio 5: Verificar que el aumento de extracciones desde un sector no afecte la disponibilidad sustentable de otro sector aguas abajo o aguas arriba. El cumplimiento de este criterio estará dado porque ninguno de los sectores abiertos en que se aumente la demanda provoque el no cumplimiento de los criterios para los otros sectores abiertos, o para los sectores cerrados.

Los criterios 4 y 5 no pudieron ser implementados por no disponer de la información necesaria para incorporarla a la modelación hidrológica acoplada

5.5.1. Resultados de los criterios

A continuación, se presentará la evaluación de los criterios de sustentabilidad que fue posible evaluar; en el apéndice H.1 Criterios de Sustentabilidad, se encuentra el respaldo de la evaluación de los mismos.

Criterio de sustentabilidad 1:

En este criterio, se debía analizar la disminución del almacenamiento del acuífero, este análisis se desarrollará para cada SHAC definido.

En la Tabla 5-4, se presenta el resultado del criterio de sustentabilidad 1 para la cuenca del río Quilimarí, en los diferentes SHACs. Se observa, que 5 de los 9 SHACs son no sustentables, sin embargo, la cuenca si es sustentable para el criterio 1, esto debido a que el volumen almacenado en los 4 SHACs sustentables representan el 66% del total de la cuenca, por lo que dominan el comportamiento de ésta.

Tabla 5-4. Criterio de sustentabilidad 1 dividido por SHAC

SHAC	V_0 [Hm ³]	V_{50} [Hm ³]	Variación [Hm ³]	Límite mínimo permitido [Hm ³]	Evaluación
Tilama	78,0	76,1	-1,9	74,0	Sustentable
El Ajial	14,0	12,2	-1,8	13,3	No sustentable

SHAC	V _o [Hm ³]	V ₅₀ [Hm ³]	Variación [Hm ³]	Límite mínimo permitido [Hm ³]	Evaluación
El Llano	2,5	2,6	0,1	2,4	Sustentable
Guangualí	17,0	12,5	-4,5	14,5	No sustentable
Infiernillo	3,2	2,2	-1,0	3,0	No sustentable
Los Cóndores	27,9	29,3	1,4	26,5	Sustentable
Los Maquis	4,9	5,5	0,6	4,6	Sustentable
Pangalillo	10,8	9,3	-1,0	10,2	No sustentable
Quilimarí	13,1	11,2	-1,9	12,4	No sustentable
Total	171,4	160,9	-10	160,9	No sustentable

Fuente: elaboración propia, (Anexo H modelación hidrológica acoplada, capítulo 6)

Criterio de sustentabilidad 3:

En la Tabla 5-5, se presentan los caudales de oferta, caudales de demanda y satisfacción de ésta. Se observa que el mayor valor de satisfacción se encuentra en el SHAC infiernillo con un 77,8% de la demanda satisfecha, por el contrario el SHAC que presenta una menor satisfacción es Los Maquis con un valor de 1,0%. Se concluye que la cuenca no es sustentable con el criterio de sustentabilidad 3. Por lo que, en general la cuenca del río Quilimarí se clasifica como no sustentable.

Tabla 5-5. Caudales de oferta y demanda por SHAC.

	Tilama	El Ajial	El Llano	Guangualí	Infiernillo	Los Cóndores	Los Maquis	Pangalillo	Quilimarí	Total
Caudal de demanda [Hm ³ /año]	2,8	0,09	0,1	1,1	0,9	0,3	0,6	0,2	1,2	7,29
Caudal de oferta [Hm ³ /año]	0,5	0,03	0,004	0,09	0,7	0,07	0,006	0,02	0,7	2,12
Porcentaje de satisfacción de demanda [%]	17,9	33,3	4,0	8,2	77,8	23,3	1,0	10,0	58,3	29.1
Clasificación	No sustentable	No sustentable	Sustentable	No sustentable	No sustentable	No sustentable	No sustentable	No sustentable	No sustentable	

Fuente: elaboración propia, (Anexo H modelación hidrológica acoplada, capítulo 6)

5.6. Indicadores hídricos de la cuenca

Para evaluar el comportamiento de la cuenca ante las demandas de agua por parte de los usuarios, se utilizaron tres indicadores. Estos indicadores dan cuenta del déficit hídrico en la cuenca, el nivel de sobreexplotación del acuífero y de la satisfacción de la demanda, dando así una mirada más global sobre el comportamiento hídrico de la cuenca y de la efectividad de las iniciativas que componen el PEGH. Los tres indicadores son: Brecha hídrica (Hm^3), Cobertura de la demanda (%) y variación del almacenamiento del acuífero (Hm^3)

La brecha hídrica es el déficit de agua expresado en volumen en un periodo de tiempo, ya sea mensual, anual, decadal, etc.

La cobertura de la demanda puede entenderse como el porcentaje de la demanda que se cumple para un cierto porcentaje del tiempo en el año. Se calcula comparando la demanda con el agua efectivamente entregada en cada paso de tiempo. Esta se calcula como $\text{Entregas}_t / \text{Demanda}_t$ (ambos términos calculados por el modelo hidrológico acoplado). De esta manera se genera una serie de tiempo en el que los valores tienen un rango entre 0 y 1, siendo 0 una satisfacción nula de la demanda y 1 como una satisfacción completa de la demanda. A esta serie se le calculan los percentiles de 99% para la demanda de agua potable y de 85% para la demanda agrícola y se obtienen las confiabilidades APR y Agro que es satisfecha un 99% de las veces y un 85%, respectivamente. Estos porcentajes fueron elegidos porque son los que comúnmente se asocian a satisfacción de demandas en ambos sectores, aunque podrían ser usados otros valores.

Las demandas agrícolas se calcularon como la demanda evapotranspirativa de todos los cultivos presentes en la cuenca (m^3) y las entregas que dependen de la disponibilidad del recurso, pero también de aspectos tecnológicos como profundidad de pozos y restricciones de infraestructura para obtener agua de fuentes superficiales. Las demandas APR se calculan simplemente como la multiplicación de la población de cada APR por la dotación diaria definida por sus derechos de agua.

Si bien para este Plan, se ha elaborado en demanda completamente antrópicas, se podría ampliar a otros requerimientos ecológicos, como cumplimiento de un caudal ambiental, humedad para bosque nativo, etc.

El tercer indicador es la variación del volumen almacenado en el acuífero. Este indicador no solo está relacionado con la sustentabilidad del acuífero (Criterio 1), sino que es un complemento a la estimación de la brecha a partir de la demanda insatisfecha. Por ejemplo, la demanda de un uso puede estar satisfaciéndose completamente y por tanto, la brecha será nula (entendida como demanda insatisfecha) y la cobertura será de un 100%. Sin embargo, si la demanda es satisfecha por agua subterránea entonces el volumen de agua subterránea debe ser considerada como parte del déficit hídrico asociado a dicho uso

5.6.1. Indicadores bajo condición histórica

Evaluando los indicadores (brecha, variación del acuífero y cobertura demanda) para la condición histórica, nos dará un diagnóstico del estado de la cuenca para estos tres

indicadores. Este diagnóstico será usado como punto de partida para evaluar las mejoras que propone el PEGH en la situación hídrica de la cuenca

El promedio decadal de los 3 indicadores para la cuenca del río Quiimarí se muestra en la Tabla 5-6.

Tabla 5-6 Indicadores de brecha, cobertura de la demanda y variación del acuífero para la condición histórica en la cuenca del río Quilimarí.

Década	Brecha (Hm ³ /año)		Cobertura (%)		Variación del acuífero (Hm ³ /año)
	Agrícola	Agua potable Rural	Agrícola	Agua potable Rural	
1990	1,68	0,0000	69,84	100,00	1,1
2000	3,30	0,0001	76,22	100,00	1,9
2010	8,10	0,0030	63,07	99,07	-0,7

Fuente: elaboración propia a partir de la modelación hidrológica superficial (ver Anexo H Modelación hidrológica acoplada, acápite 5.2.1.5a).

Para la última década (2010-2019), se aprecia la existencia de una brecha tanto para la agricultura como para el agua potable rural. La primera de esta es de una magnitud relativamente importante para la cantidad de superficie regada (cercano a 1250 ha). Para el consumo del agua potable, la brecha es considerablemente menor, ya que es de 0,003 Hm³, pero es necesario recordar que en esta cuenca solo habitan de forma permanente 4500 personas, aprox.

En cuanto a la cobertura de la demanda agrícola y APR, es menor al 100%, esto significa que no se satisfacen las demandas. Particularmente, la agricultura solo se satisface un 63,01% del tiempo, el agua potable un 99,07% de la demanda.

La alta cobertura del APR puede no ser representativo de la situación actual, puesto que aquí solo se hace alusión a la disponibilidad de recurso hídrico para satisfacer dicha demanda, sin embargo, hay otras circunstancias por las cuales no puede ser satisfecha dicha demanda que no son posible de incorporar en este modelo, como por ejemplo la capacidad del sistema de impulsión y distribución, cantidad de arranques, etc. La inclusión de estas variables, puede estar más acorde a la situación actual de la cuenca en donde se debe abastecer con camiones aljibes, ya sea porque localidades no cuentan con un sistema APR o bien porque este no tiene la infraestructura en buen estado.

La situación descrita anteriormente para la cuenca del río Quilimarí, muestra una disminución temporal de los tres indicadores desde la década de 1990 en adelante, en donde se produce un aumento de la brecha, una disminución de la cobertura.

5.6.2. Indicadores bajo condición futura

Los indicadores ya descritos anteriormente fueron evaluados bajo la condición futura desarrollada para este Plan. Esta condición se basa considerando las proyecciones de cambio climático con los escenarios MIROC. Cabe mencionar que se utilizó el mismo patrón de la serie histórica para proyectar las series climáticas hasta 2050.

El promedio de la década 2040-2050 de los 3 indicadores para la cuenca del río Quilimarí se muestra en la Tabla 5-7.

Tabla 5-7 Indicadores de brecha, cobertura de la demanda y variación del acuífero para la condición futura en la cuenca del río Quilimarí

Década	Brecha (Hm ³ /año)		Cobertura (%)		Variación del acuífero (Hm ³ /año)
	Agrícola	Agua potable Rural	Agrícola	Agua potable Rural	
2020	7,86	0,0262	63,08	92,67	-1,9
2030	8,71	0,0365	59,87	90,84	-2,0
2040	7,88	0,0456	63,04	89,68	-2,0

Fuente: elaboración propia a partir de la modelación hidrológica superficial (ver Anexo H Modelación hidrológica acoplada, acápite 5.2.1.5a).

Se aprecia que la condición de los 3 indicadores muestra que la situación hídrica desfavorable en el río Quilimarí irá aumentando, particularmente, se hace evidente el aumento de la brecha respecto a la condición histórica y la disminución de la cobertura, llegan a niveles en torno el 60% en la agricultura y los problemas de abastecimiento de agua potable rural irán en aumento disminuyendo su cobertura a un 90% en la década del 2040.

Realizando un análisis conjunto de la brecha, de las coberturas y además de la variación del volumen de almacenamiento del acuífero, se aprecia que esta cuenca presentan un déficit de agua, y que el problema se ha ido acrecentando con el tiempo, teniendo como promedio decadal (2010 al 2019) un déficit hídrico de 8,8 Hm³. Esto indica claramente que es una cuenca deficitaria, y que dicho déficit no es exclusivamente estacional, y por tanto, esta situación no se subsana exclusivamente con redistribuir temporalmente el recurso, sino que complementando con una mejora en eficiencias de uso, permitiendo la recarga del acuífero y eventualmente la incorporación de nuevas fuentes.

Las proyecciones a futuro muestran un escenario agravado a la condición actual, debido a la disminución de precipitación en ambas cuencas en torno a un 20%. En caso de mantener la condición actual de gestión y aprovechamiento del recurso hídrico, el déficit de hídrico de esta cuenca aumentaría un 4% ambas cuencas aumentaría en 18% respecto a la condición, llegando a un déficit hídrico 9,1 Hm³ en la década de 2040-2050.

De acuerdo a estos resultados, el objetivo hídrico de esta cuenca se debe orientar a disminuir el déficit hídrico, aumentar la cobertura en la satisfacción de la demanda, todo

esto bajo la condición de asegurar una sustentabilidad del acuífero. En este contexto, se hace poco probable planificar un aumento de la demanda, por el contrario, es factible que sea necesario reducirla en el futuro.

5.7. Análisis de sensibilidad

5.7.1. Descripción escenarios de simulación

Como una forma de evaluar la eficacia de las alternativas para mejorar los indicadores de Confiabilidad y Sustentabilidad de acuíferos, y por tanto disminuir las brechas identificadas, se simulan en el modelo WEAP algunas de las acciones definidas en el Capítulo 7. . Las iniciativas seleccionadas fueron aquellas que efectivamente puedan ser implementadas según las hipótesis y limitaciones del propio modelo. En las Tabla 5-8. y Tabla 5-9 se muestran los escenarios definidos por las acciones correspondientes. Todos los escenarios se listan y describen a continuación:

Tabla 5-8. Escenarios generados para simulación de efectividad de las medidas.

Escenario o WEAP	Descripción	Código de la acción o iniciativa
Reference	<p>Simulación de la condición climática y de demanda histórica de la cuenca:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El clima usado proviene de los modelos engrillados del CR2MET desde 1979 a 2020. Los valores de cada grilla se extraen para cada HRU a simular a nivel semanal. • La demanda agronómica está definida por las superficies agrícolas y sus coeficientes de cultivos en un catchment agrícola de WEAP. Sus áreas son variables y se generan a partir de información histórica de Censos Agropecuarios e imágenes satelitales. • La demanda legal está definida por los DAA otorgados por DGA en un nodo de demanda WEAP, pero con consumo cero. Estos nodos de demanda se unen con nodos de demanda agronómica en cada zona de riego. • Si en un paso de tiempo, la demanda agronómica es menor a la demanda legal (en invierno generalmente), la demanda insatisfecha es cero y el remante entre la demanda legal y la agronómica es devuelta al acuífero; caso contrario, en ese paso de tiempo se genera un valor mayor a cero de demanda insatisfecha. 	No aplica
Futuro Base (FB)	<ul style="list-style-type: none"> • Clima histórico modificado con factores de cambio climático para Precipitación y Temperatura con el modelo MIROC. 	No aplica

Escenario o WEAP	Descripción	Código de la acción o iniciativa
	<ul style="list-style-type: none"> • El horizonte de tiempo de simulación corresponde desde el año 2020 a 2050 • Las condiciones históricas de uso de suelo, así como las proporciones de los diferentes cultivos se mantienen constantes a partir del año 2020. <p>Las demandas de agua potable tienen un incremento anual según crecimiento poblacional (la dotación se mantiene), sin embargo, los derechos de aprovechamiento se mantienen constantes desde el año 2020</p>	

Fuente: elaboración propia (Anexo H modelación integrada, cap.4.4).

Es importante recalcar que todos los escenarios Futuro Base se generan en el mismo período histórico, pero con modificaciones en las series climáticas (de acuerdo a cada GCM). Se realizó así de manera de hacer más comparables los resultados de todos los escenarios y bajo las mismas condiciones iniciales y de demandas por lo que solo se evalúan cambio en base a clima y no a otras consideraciones puntuales o incluso distintas series sintéticas que pudieran usarse desde los GCMs directamente.

Bajo los dos escenarios de Cambio Climático descritos, se simulan algunas de las acciones descritas en el Capítulo 7. Es decir, para cada una de las series climáticas de los escenarios Futuro Base (FB) y las condiciones iniciales y de demandas del escenario Reference, se agregan en el modelo WEAP los distintos elementos que simulan las acciones a modelar. De esta manera, estas acciones pueden compararse entre sí y también evaluar la mejora en los indicadores con respecto a sus escenarios base de cambio climático. La Tabla 5-9 describe estos escenarios:

Tabla 5-9 Escenarios generados para simulación de efectividad de las medidas

Escenario WEAP	Descripción	Código de la acción
(FB)+ Impulsión APR	<p>Aducción desde acuíferos costeros a infiernillo - Los cóndores. Impulsión de un caudal de 5 l/s.</p> <p>Supuesto: Estas acciones van orientadas exclusivamente a dotar de agua a APR que estén conectada a dichas aducciones (3 APR)</p>	NF-02
(FB) + desalación	Bajo condición de Futuro Base se considera la incorporación de agua externa mediante desalación por un caudal total igual a 0,3 m ³ /s	NF-03

	Supuesto: el caudal se asigna exclusivamente a nodos agrícolas conectadas	
(FB)+Eficiencia	En este escenario se propone mejorar el uso del agua en la zona agrícola en base a dos acciones: i) disminuir las pérdidas en el riego intrapredial, y ii) disminuir las pérdidas por conducción en los canales de riego del sistema Supuesto: se espera una eficiencia a un nivel de 85%	ME-01 y ME-02
(FB) + Organización	Se considera la operatividad del comité del agua que reparte de acuerdo a proporcionalidad del derecho. Supuesto: se le asignó máxima prioridad al consumo humano, simulado en nodos de demanda para APR, los cuales se les asignó prioridad 1 y al resto de los usos, prioridad 2	FO-01; FO-02; AG-03; CH-01
(FB) + Prorratio	Se considera la operatividad del comité del agua que limita la extracción en un 30% de los derechos de agua. Supuesto: Solo consideraría para los nodos agrícolas. La demanda APR no se ve afectada por este prorratio	FO-01; FO-02; AG-03; CH-01
(FB) Piscinas de infiltración	Se simulan piscinas de infiltración sobre el río Quilimarí capaces de infiltrar un 10% sobre la crecida de banca llena (Bankfull). Supuesto: Todo lo infiltrado recarga al acuífero sin retornar al río	RA-02
(FB) aumento de capacidad Embalse Culimo	Se aumentó en un 50% la capacidad de almacenamiento del Embalse Culimo con un total de 15 Hm ³ . Supuesto: el volumen embalsado se asigna exclusivamente a nodos agrícolas conectados al embalse bajo una determinada regla de operación	No acción del plan

Fuente: elaboración propia

5.7.2. Resultados obtenidos y comparación de escenarios

A continuación, se muestran los resultados de los escenarios: histórico y Futuro Base usando como base el modelo MIROC. Esta comparación solo se realiza para la década de 2010 de manera de evaluar el comportamiento de los escenarios con los datos más actuales de superficie agrícola, población y clima (Tabla 5-10).

Tabla 5-10 Resultados de la simulación futura en la cuenca del río Quilimarí como promedio decadal 2040-2050.

Escenario	Brecha (Hm ³ /año)		Cobertura (%)		Variación del acuífero (Hm ³ /año)
	Agrícola	Agua potable Rural	Agrícola	Agua potable Rural	
Futuro	7,88	0,05	63,04%	89,8%	-2,0
Aducciones APR	7,92	0,04	62,90%	91,04%	-8,4
Nuevas fuentes	3,47	0,04	84,25%	90,6%	-23,8
Organización	6,86	0,05	67,98%	89,47%	-6,8
Prorratio	9,65	0,03	54,83%	92,42%	-25,5
Mejora eficiencia	7,85	0,05	63,06%	89,58%	-11,4

Fuente: elaboración propia

En el escenario histórico, se aprecia que la brecha agrícola es cercana a los 8 Hm³/año y la cobertura de la demanda agrícola es levemente superior a 60%. En el caso del agua potable rural, la cobertura de la demanda de agua potable es igual a 99% de la demanda. En consecuencia, la cuenca del río Quilimarí presenta un déficit hídrico.

Se simularon distintos escenarios basados en una iniciativa en particular (definidas en el capítulo 7). Estos escenarios contemplan que cada iniciativa comienza en el año 0 del escenario futuro, es decir, en el año 2020. Es necesario indicar que el comienzo de esta iniciativa en estos escenarios independientes de simulación, no coincide necesariamente con el plazo de comienzo de la iniciativa propuesto en el Plan (PEGH).

Los resultados de cada escenario muestran el nivel de eficacia en mejorar la condición hídrica de la cuenca, la cual la expresamos a través de los tres indicadores: Brecha, cobertura de la demanda y variación del volumen almacenado en el acuífero.

Los escenarios, bajo sus supuestos, están orientados ya sea a disminuir la brecha agrícola y aumentar su cobertura (Desalación y mejora de eficiencia) o la brecha APR y su cobertura de la demanda (Aducción Infiernillos-Los Cóndores). Existen otros escenarios que involucran tanto a la demanda agrícola como a la demanda de agua potable rural, como lo son los escenarios organización y prorratio.

En el caso del agua potable rural, el escenario aducciones, hace alusión a la aducción Infiernillo Los Cóndores contemplada para esta cuenca. Dicho escenario no logra disminuir completamente la brecha, sino que la disminuye en un 0,01 Hm³/año. Detallando este escenario (ver Anexo H Modelación hidrológica acoplada, capítulo 5.2), se aprecia que dicha aducción no abastece a todas las APR, sino que a 3 de ellas (de un total de 7). Por lo tanto, la aducción, con un caudal de 5 l/s no es capaz de satisfacer completamente la demanda de dichas 3 APR. Al igual que la brecha hídrica, la cobertura para APR logra su mejor aumento en este escenario, sin embargo la cobertura de la demanda no es completa,

logrando porcentajes cercanos al 91%. Para el resto de los escenarios, no se visualizan mejoras sustanciales en los indicadores.

Para la demanda agrícola, los escenarios que logran mejores resultados son el prorrateo y la inclusión de nuevas fuentes de agua a través de la desalación. Este ingreso de 0,3 m³/s, permite que la brecha disminuya en 4,41 Hm³/año y la cobertura aumenta a 84,25%. Los restantes escenarios orientados a la agricultura, logran resultados similares disminuyendo la brecha hasta 0,5 Hm³/año, y la cobertura mejora hasta un 65%.

La variación del volumen almacenado en el acuífero muestra valores, en algunos casos, poco esperados, como por ejemplo un aumento de la variación del acuífero bajo las iniciativas de desalación o de prorrateo, en donde se esperaba que bajo estas medidas, el acuífero tendiera a recuperarse producto de la menor presión a la que estarían sometidos. La configuración hidrogeológica de la cuenca con una gran cantidad de acuíferos (SHAC) dispuesto espacialmente de una forma que configuran una red, pero que sin embargo la interconexión es leve, a esto se suma que estos acuíferos son relativamente pequeños, hace que la información hidrogeológica, así como el modelo conceptual hidrogeológico deban presentar alto nivel de precisión. Por lo que en un futuro, se plantea la necesidad de poder mejorar la información hidrogeológica que es parte del modelo hidrológico acoplado.

El escenario de aumento de la capacidad del embalse Culimo a 15 Hm³, puesto que si bien se logra mejorar la confiabilidad para la agricultura, la pérdida de cobertura para el agua potable rural es elevada. En este sentido, el aumento de la capacidad del embalse Culimo es una medida poco costo efectiva, puesto que no se aumentan considerablemente las coberturas en la cuenca y el costo de implementación es elevado. Es por eso que esta acción no fue incorporada como una acción del Plan.

5.8. Mercado de aguas

La caracterización del mercado de aguas en la cuenca del río Quilimarí se realizó a partir de la revisión bibliográfica del estudio básico de Diagnóstico para desarrollar plan de riego en cuenca de Choapa y Quilimarí (CNR, 2016). La cuenca del río Quilimarí no es parte del análisis presentado en el informe final de Análisis de Mercados de Derechos de Aprovechamiento de Aguas en Chile (DGA, 2018), por lo que sólo se cuenta con la descripción del Plan de Riego de la cuenca. Dado que el Plan de Riego sólo considera las transacciones hasta el año 2014, y sin incorporar un análisis de precio por caudal, es que se complementó dicha información con una revisión de las inscripciones de transacciones de DAA del CBR de Los Vilos entre los años 2014 y 2018.

5.8.1. Aspectos generales

Algunos aspectos generales sobre el mercado de aguas en Chile han sido descritos por Donoso (2018) quien indica éstos han madurado durante los últimos 40 años desde la promulgación del Código de Aguas del año 1981. Sin embargo, se observa mayor movimiento en años secos y con mayor concentración en el sector agrícola. Los precios de

las transacciones tienen gran variabilidad, la que se puede asociar en parte a asimetrías de información.

5.8.2. Descripción de la dinámica del mercado de aguas en la cuenca del río Quilimarí

Respecto de la cuenca del río Quilimarí, se utilizó el estudio CNR (2016), el cual analizó transacciones de dos años: 2004 (antes de las modificaciones al Código de Aguas promulgadas en el año 2005) y 2014 (año muy seco parte de la megasequía). De acuerdo con los resultados de CNR (2016), el número de transacciones en la cuenca de Quilimarí aumentó en un 34% entre los años 2004 y 2014, aumento correspondiente principalmente a DAA subterráneos, ver Tabla 6-1. Debido a la falta de información sobre la unidad volumétrica de los caudales transados, sólo se contó con información de los montos totales transados en la cuenca, los que disminuyeron en un 31% durante el tiempo consultado.

Dada la falta de información específica sobre variabilidad espacial y temporal del mercado de aguas en la cuenca del río Quilimarí. Se realizó una actualización revisando las inscripciones de transacciones de derechos de aguas del CBR de los Vilos publicadas en la base de datos de la DGA, considerando el período entre los años 2014 y 2018.

Se recopilaron 62 inscripciones de compraventas en el CBR de los Vilos correspondientes a la cuenca del río Quilimarí, a las cuales se aplicaron los filtros indicados en la metodología del estudio SIT 437, DGA (2019). De acuerdo a los resultados presentados en el Gráfico 6-1 y en la Tabla 6-2, se observa un aumento apreciable del número de transacciones, las que aumentan desde 5 a 40 por año en el período consultado. Sin embargo, los precios de transacciones no siguen el mismo patrón, sino que muestran una gran variabilidad. En efecto, se observa una reducción en el precio en el año 2018, lo cual puede deberse a un efecto de escala, los precios tienden a ser mayores para caudales pequeños que para grandes volúmenes. Por lo demás en el año de mayor precio por l/s, sólo hay dos transacciones que se ajustan a los requerimientos.

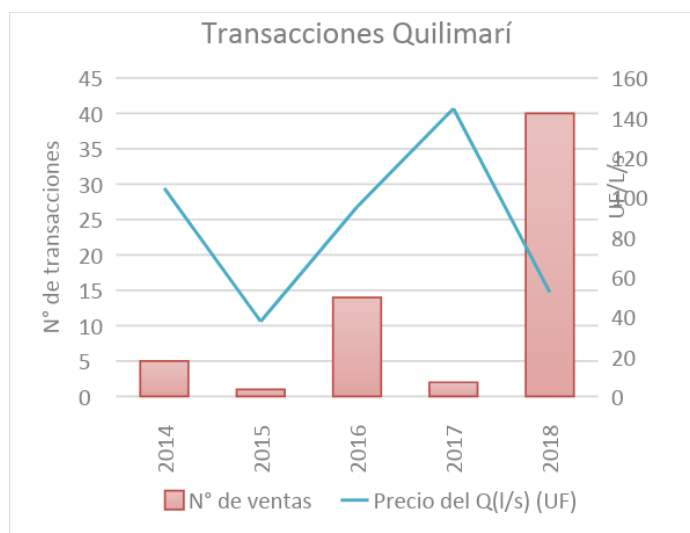
Finalmente, considerando la mediana de los 62 registros de operaciones obtenidas desde el CBR de Los Vilos, se obtiene que el precio de los DAA tanto superficiales como subterráneas transado en la cuenca del río Quilimarí en el período 2014 y 2018 es de 52.33 UF/l/s.

Tabla 5-11 Información de transacciones de DAA en la comuna de los Vilos

Categoría	Año 2004	Año 2014
Transacciones realizadas	23	31
Transacciones de DAA superficiales	23	21
Transacciones de DAA subterráneos	0	10
Titulares de derechos de agua personas jurídicas	10	9
Montos transados (UF)	22367.37	15407.8
Número de compraventas	20	29

Fuente CNR (2016)

Figura 5-2 Transacciones de DAA en la cuenca del río Quilimarí



Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-12 Información de transacciones de DAA en la cuenca del río Quilimarí.

Categoría	Año 2014	Año 2015	Año 2016	Año 2017	Año 2018
Transacciones realizadas	5	1	14	2	40
Transacciones de DAA superficiales	0	0	2	2	0
Caudal total DAA superficiales transados (l/s)	0	0	0.94	5.38	0
Transacciones de DAA subterráneos	5	1	12	0	40
Caudal total DAA subterráneos transados (l/s)	41.5	5	27.56	0	139.04
Mediana de Precio (uf/l/s)	104.67	37.7	95.26	144.61	52.33

Fuente: Elaboración propia a partir de registros CBR Los Vilos

Considerando el número y caudal total otorgado como DAA en la cuenca del río Quilimarí, que asciende a 1225 l/s de DAA subterráneos y 755 l/s de DAA superficiales, el % del mercado total de DAA transado en la cuenca del río Quilimarí fluctúa entre un 2.2% y 11% en el caso de los DAA subterráneos y entre 0.1% y 0.7% en el caso de los DAA superficiales, lo que indica que el mercado de DAA subterráneos es más dinámico que el de los DAA superficiales.

6. ACCIONES DEL PLAN

Las acciones a llevar a cabo en el plan buscar mejorar los indicadores definidos para la cuenca. Como ya se explicó anteriormente, es necesario desarrollar acciones o iniciativas que favorezcan la eficiencia en el uso, su redistribución temporal, recuperación de acuíferos e incluso la incorporación de nuevas fuentes de agua.

Sin duda las iniciativas orientadas a estas acciones no mejoran por si sola la situación hídrica de las cuencas, sino que es necesario implementar medidas orientadas a mejorar la gestión del recurso, las capacidades técnicas, la información disponible para la toma de decisiones, todo en un marco de sostenibilidad de acuífero del ecosistema de la cuenca. En este sentido, cobra gran interés desarrollar una gestión integrada de cuencas.

Según la estrategia Nacional de Recursos Hídricos (2012-2025), la gestión hídrica requiere el perfeccionamiento en la institucionalidad del agua a nivel nacional y regional, específicamente en:

- Aumentar las facultades de fiscalización y sanciones
- Mejorar los sistemas de información
- Simplificar los procedimientos para la regularización de derechos de aprovechamiento
- Integrarla gestión de las aguas de la cuenca y asegurar una participación de todos los usuarios en el manejo de éstas a largo plazo
- Mejorar el marco normativo para evitar la existencia de especuladores
- Considerar los usos no extractivos

Bajo este concepto, las acciones del Plan Estratégico de Gestión Hídrica abarcarán, entre otros, los siguientes puntos:

6.1. Gobernanza e institucionalidad

La gestión hídrica sustentable requiere de instituciones y organizaciones fortalecidas, pero flexibles a los cambios. Esto implica pasar de una predicción y control a un enfoque de aprendizaje continuo en base a la prueba y error, y la capacidad o flexibilidad para responder a diferentes cambios que se vayan generando (Pahl-Wostl, 2006). Esto también requiere de una gobernanza policéntrica, análisis e integración multi-escala, que reconoce que una gran cantidad de actores en diferentes entornos institucionales, pueden contribuir a la gestión de un recurso (Pahl-wostl et al., 2007). De esta manera, si una deja de funcionar, las otras puedan tomar ciertos roles (Garcia et al., 2016; Olsson et al., 2007; Pahl-Wostl, 2006; Rijke et al., 2012). En esta gobernanza multi-actor, multi-escala, es clave la búsqueda de objetivos en común y priorización de usos en el territorio, falencia que ha sido identificada en el sistema de gestión hídrica en Chile (Dourejanni, et al., 2010). En este sentido, la cartera de acciones desarrolladas para el Eje Institucionalidad y Gobernanza apunta a dos objetivos: 1) crear, fortalecer y modernizar las organizaciones de usuarios de agua (incluyendo agrupaciones y cooperativas de agua potable rural) y 2) crear paulatinamente una organización deliberativa a nivel de cuenca que aglutine esfuerzos e incluya a todos los actores de la cuenca.

Tabla 6-1 Resumen de las acciones necesarias para disminuir las brechas identificadas sobre la gobernanza en el río Quilimarí

Código	Acción	Objetivo	Brecha	Posible organismo encargado
AG-01	Creación y fortalecimiento de las Oficinas de Asuntos Hídricos como ente técnico a nivel Municipal	Crear un ente que permita acercar la gestión municipal, a los requerimientos hídricos de las comunas.	Desvinculación con el Municipio y desiguales capacidades de las organizaciones de usuarios en cuanto al acceso a recursos económicos y técnicos.	GORE
AG-02	Apoyo a la creación de Mesas del Agua de la Sociedad Civil	Incentivar la conformación de una Mesa del Agua que aglutine a todas las iniciativas existentes de la sociedad civil en cada cuenca.	Desvinculación de iniciativas de gestión hídrica con la sociedad civil organizada.	GORE
AG-03	Creación y promoción de un ente coordinador a nivel de cuencas	Incentivar la conformación de una organización deliberativa a nivel de cuencas.	Brecha de coordinación entre OUA's con otros actores en la cuenca.	GORE

Fuente: elaboración propia

6.2. Recuperación de Acuíferos

Uno de los principales resultados obtenidos en la brecha hídrica es la sobreexplotación del agua subterránea, lo cual se ha ido acrecentando en el tiempo, además, las proyecciones de precipitación por el cambio climático, no son auguriosas e intensificarán esta brecha.

Ante la escasa temporalidad de lluvia en ambas cuencas y la inexistencia de glaciares en la cuenca, la principal fuente de abastecimiento. Es por eso que es necesario proteger y gestionar todas las instancias posibles para realizar la infiltración y recarga al acuífero.

Teniendo en cuenta que la precipitación es escasa en la cuenca, se favorecieron acciones contempladas como parte de las soluciones basadas en la naturaleza en donde se favorezca la infiltración mediante sistemas y procesos naturales. Normalmente este tipo de solución tiene alta eficiencia, fácil de implementar y mantener.

Las zonas de ladera es donde se produce la mayor infiltración, debido a la presencia de vegetación natural que favorece dicho propósito, recargando "lateralmente" los acuíferos.

Por otra parte, los excedentes de escurrimiento superficial de las crecidas se propone que sean inducidos naturalmente para recarga directa a acuíferos que están altamente presionados. Estas medidas se basan en construir y mantener pequeñas lagunas de infiltración en las llanuras de inundación. Se propone que estas lagunas sean construidas en los tramos medios del río Quilimarí (la ubicación propuesta puede verse en detalle en Anexo K, Plan de Acción, capítulo 2.4.2).

Por ello las acciones propuestas son:

- Promover la conversión de sitios prioritarios existentes y creación de nuevas superficies a territorios bajo la protección legal para la conservación biológica y provisión de fuente hídrica
- Construcción de piscinas de infiltración en llanura de inundación en el río Quilimarí.

Tabla 6-2 Resumen de las acciones necesarias para disminuir las brechas identificadas sobre la recuperación de acuíferos en el río Quilimarí

Código	Acción	Objetivo	Brecha	Posible organismo encargado
RA-01	Promover la conversión de sitios prioritarios existentes y creación de nuevas superficies a territorios bajo la protección legal para la conservación biológica y provisión de fuente hídrica	Aumentar la superficie para conservación biológica y para asegurar la recarga del acuífero	Pérdida de superficie de vegetación nativa que presta servicios ecosistémicos de provisionamiento y regulación. Escasez de superficie orientada a la conservación	MMA
RA-02	Piscinas de infiltración en llanuras de inundación	Aumentar los niveles de los acuíferos	Suplir demanda insatisfecha de 8,8 Hm ³ en la cuenca y posibilitar el aumento de la sostenibilidad del sistema	DOH

Fuente: elaboración propia

6.3. Nuevas fuentes de agua

Esta cuenca es altamente deficitaria en el recurso hídrico, en donde dicho déficit no se debe exclusivamente a un desfase entre la oferta y la demanda, sino que además se evidencia una sobredemanda del recurso. En este sentido es de vital importancia realizar acciones que vayan orientadas a dichos déficit.

Para ello se tomaron en cuenta las acciones que ya tiene considerando el Estado de Chile a distintos nivel de desarrollo o acciones que han salido de las distintas instancias de participación ciudadana.

Se ha considerado la aducción de impulsión de agua desde zonas costeras a los sectores de Infiernillo y Los Cóndores

Se consideró la incorporación de agua desalada.

No se consideró factible la carretera hídrica (ninguna de sus versiones) debido al horizonte de tiempo de plan.

- Reutilización de aguas servidas tratadas
- Aducción APR- Infiernillo - Los Cóndores
- Aporte de agua proveniente de desalación

- **Tabla 6-3 Resumen de las acciones necesarias sobre la incorporación de nuevas fuentes identificadas sobre la demanda insatisfecha en la cuenca del río Quilimarí**

Código	Acción	Objetivo	Brecha	Posible organismo encargado
NF-01	Reutilización de aguas servidas de APR	Promover e implementar el tratamiento y reuso de aguas servidas para aumentar oferta hídrica a nivel local (SHAC) y para prevenir contaminación a fuentes de agua	Suplir demanda insatisfecha de 8,8 Hm ³ en la cuenca y posibilitar el aumento de la sostenibilidad del sistema	DOH
NF-02	Aducción Infiernillo Los Cóndores	Impulsar agua desde acuíferos de la zona baja de la cuenca hacia los sectores de Infiernillo y Los Cóndores	Suplir demanda insatisfecha de 8,8 Hm ³ en la cuenca y posibilitar el aumento de la sostenibilidad del sistema	DOH
NF-03	Desalación	Aportar recursos hídricos por planta desaladoras por un caudal total igual a 0,3 m ³ /s	Suplir demanda insatisfecha de 8,8 Hm ³ en la cuenca y posibilitar el aumento de la sostenibilidad del sistema	DOH

Fuente: elaboración propia

6.4. Mejoras de eficiencia

Debido al estado deficitario de ambas cuencas y la importancia que presenta la agricultura en ambas cuencas, es necesario mejorar la eficiencia de riego, tanto en su conducción como en la tecnología de riego.

Las acciones propuestas son:

- Mejora eficiencia en la conducción de canales de regadío
- Mejora de la tecnología de riego de superficies agrícolas sin tecnificar

Tabla 6-4 Resumen de las acciones necesarias sobre el aumento en la eficiencia de riego identificadas sobre la demanda insatisfecha en la cuenca del río Quilimarí

Código	Acción	Objetivo	Brecha	Posible organismo encargado
ME-01	Mejora eficiencia en la conducción de canales de regadío	Disminuir las pérdidas actuales que presenta el sistema de canales primarios y secundarios, mediante el revestimiento de dichos canales, garantizando un 85% de eficiencia en conducción.	Suplir demanda insatisfecha de 8,8 Hm ³ de riego en la cuenca y posibilitar el aumento de la sostenibilidad del sistema	CNR
ME-02	Mejora de la tecnología de riego de superficies agrícolas sin tecnificar	Incrementar a un 80% la eficiencia del uso del agua mediante la tecnificación de los mecanismos de riego	Suplir demanda insatisfecha de 8,8 Hm ³ de riego en la cuenca y posibilitar el aumento de la sostenibilidad del sistema	CNR

Fuente: elaboración propia

6.5. Sistemas de Información

Para poder realizar una correcta gestión de recursos, es necesario contar con información oportuna y confiable. En este sentido destaca que existen brechas de información en variados aspectos de ambas cuencas, por ejemplo hay desconocimiento de la calidad de las aguas, de los tipos de ecosistemas presentes en la cuenca y su estado de conservación, carencia de conocimiento hidrogeológico a nivel local de cada APR, estado de conservación de los canales de riego, etc.

Por otra parte, hay información sobre aspectos meteorológicos, y particularmente, hay varias instituciones que tienen estaciones meteorológicas en monitoreo continuo. Cada institución tiene su propia plataforma de visualización de la información, lo que genera confusión en los usuarios. Por lo tanto, es necesario desarrollar una única plataforma que unifique y simplifique el acceso a la información.

Es por ello, que las acciones mostradas a continuación apuntan a disminuir dichas brechas, con el objetivo de implementar una gestión de recursos hídricos con capacidades de toma de decisión.

Las acciones propuestas, se muestran a continuación:

- Creación plataforma única de visualización de datos en cada cuenca
- Estándares de medición y envío de datos por terceros de acuerdo con requerimientos DGA
- Ampliación de la red de monitoreo para la caracterización del recurso hídrico
- Programa de monitoreo ciudadano
- Catastro de canales de conducción y distribución de agua para riego
- Catastro de tecnificación del tipo de riego de la superficie agrícola
- Estudios hidrogeológicos locales en APR
- Plan de Monitoreo de Calidad del Agua

Tabla 6-5 Resumen de las acciones necesarias para disminuir las brechas identificadas sobre los sistemas de información en el río Quilimarí

Código	Acción	Objetivo	Brecha	Posible organismo encargado
AI-01.	Creación plataforma única de visualización de datos en cada cuenca	El objetivo es agrupar y homologar en una sola plataforma toda la información de monitoreo generada en la cuenca, facilitando su acceso y disponibilidad de información generada.	Complejo acceso a la información existente	DGA
AI-02	Estándares de medición y envío de datos por terceros de acuerdo a requerimientos DGA	Generar y difundir documentos y manuales que permitan homologar las variables de medición, los estándares de los equipos y de telemetría que puedan incorporar terceros en sus propias redes de monitoreo.	Carencia de estaciones de monitoreo que permita caracterizar los recursos hídricos en la cuenca	DGA
AI-03	Ampliación de la red de monitoreo para la caracterización del recurso hídrico	Instalación de 3 estaciones fluviométricas, 3 estaciones meteorológicas, 1 ruta de nieve, 5 niveles de pozo y 6 estaciones de calidad del agua	Carencia de estaciones de monitoreo que permita caracterizar los recursos hídricos en la cuenca	DGA
AI-04	Programa de monitoreo ciudadano	Esta acción apunta a aumentar el conocimiento e información sobre los recursos hídricos en la cuenca, democratización del conocimiento y empoderamiento de las asociaciones civiles en la cuenca	Desvinculación de iniciativas de gestión hídrica con la sociedad civil organizada.	Soc Civil
AI-05	Catastro infraestructura de conducción y distribución de agua para riego	Realizar un levantamiento del estado de los canales destinados a riego y su tasa de eficiencia.	Suplir demanda insatisfecha de 8,8 Hm ³ en la cuenca y posibilitar el aumento de la sostenibilidad del sistema	CNR

AI-06	Catastro superficies agrícolas sin tecnificar	Realizar un levantamiento de información relevante sobre las áreas agrícolas sin tecnificar y los cultivos presentes en esta cuenca	Suplir demanda insatisfecha de 8,8 Hm ³ en la cuenca y posibilitar el aumento de la sostenibilidad del sistema	CNR
AI-07	Diseño e implementación de un plan de monitoreo de calidad de aguas	Aumentar el conocimiento sobre la calidad de agua de las cuencas y reducir la brecha de inconsistencia en la cantidad de estaciones de monitoreo "vigentes" con datos, en la cantidad de días muestreados y la cantidad de parámetros medidos en el tiempo	Inconsistencia en la cantidad de estaciones de monitoreo "vigentes" con datos, en la cantidad de días muestreados y la cantidad de parámetros medidos en el tiempo	DGA
AI-08	Estudio hidrogeológicos locales en APR	Conocer aspectos relevantes de la litología y del acuífero en donde se emplazan las APR, con de fin de aumentar la certeza sobre la seguridad de recurso hídrico al profundizar el pozo	Suplir demanda insatisfecha de agua potable de 0,03 Hm ³ en la cuenca y posibilitar el aumento de la sostenibilidad del sistema	DOH

Fuente: elaboración propia

6.6. Capital humano

La gestión integrada es uno de los pilares principales para mejorar la seguridad hídrica en ambas cuencas, para ello es necesario que cada OUA tenga profesionales con capacidades técnicas que permitan abordar los nuevos desafíos que esto conlleva.

En este sentido, las acciones que se proponen son:

- Programa de fortalecimiento de la Asociación de Canalistas del Embalse Culimo
- Generación de un fondo concursable provincial, regional y/o nacional para mejoramiento de infraestructura y capacidades de APR
- Creación de programa de acompañamiento continuo a OUA y APR

Tabla 6-6 Resumen de las acciones necesarias para disminuir las brechas identificadas sobre el capital humano en la gestión del recurso hídrico en el río Quilimarí

Código	Acción	Objetivo	Brecha	Posible organismo encargado
CH-01	Programa de apoyo a Asociación de Canalistas del Embalse el Culimo (ACECU)	Fortalecer la capacidad de organización y de gestión interna en la Asociación	Falta de mecanismos para el fortalecimiento homogéneo de las asociaciones de agua potable rural	DGA
CH-02	Creación de programa de acompañamiento continuo con a OUA y especialmente a APR	Falta de mecanismos para el fortalecimiento homogéneo de las OUAs y asociaciones de agua potable rural	Brecha de coordinación entre OUAs con otros actores en la cuenca.	DOH
CH-03	Creación de un fondo provincial/regional para mejoramiento infraestructura y capacidades APR	Falta de mecanismos para el fortalecimiento homogéneo de las asociaciones de agua potable rural	Bajas capacidades técnicas y organizacionales	DOH

Fuente: elaboración propia

6.7. Fortalecimiento y Formación de Organizaciones de Usuarios de Agua

Los Organismos Usuarios del Agua históricamente han participado o llevado a cabo instancias de gestión de recursos hídricos. Siendo principalmente las juntas de vigilancias quienes mayormente han realizado la gestión del recurso hídrico.

En este sentido fortalecer las capacidades de dichas instituciones cumplirá un rol fundamental en la gestión del recurso hídrico.

El fortalecimiento de las OUA no debe ser pensado en capacidades internas exclusivamente, sino en capacidades e instancias de coordinación entre ellas. Esto es importante, puesto que se persigue una gestión integrada de recurso hídrico.

En este sentido, y de acuerdo a las brechas identificadas en este aspecto, se proponen 3 acciones a implementar en el plan:

- Programa de apoyo legal y técnico para la conformación y operación de las Juntas de Vigilancia
- Programa de apoyo legal y organizativo para la conformación de comunidades de Aguas superficiales y Subterráneas (CAS)

Tabla 6-7 Resumen de las acciones necesarias para disminuir las brechas identificadas sobre las OUA en la cuenca del río Quilimarí

Código	Acción	Objetivo	brecha	Posible organismo encargado
FO-01	Programa de apoyo legal y técnico para la conformación y operación de la Junta de Vigilancia	Su objetivo es continuar el trabajo realizado por varias instituciones para diagnosticar dificultades y transferir capacidades a los usuarios de aguas para el fortalecimiento de la Junta de Vigilancia del río Quilimarí que fortalezca la gestión de sus recursos hídricos.	Necesidad de fortalecimiento y Formación de Organizaciones de Usuarios de Agua	DGA
FO-02	Programa de apoyo legal y organizativo para la conformación de comunidades de Aguas superficiales y Subterráneas (CAS)	Apoyar individual, organizacional y legalmente a las Organizaciones de Usuarios de Agua con dificultades en cada cuenca, especialmente en la regularización y perfeccionamiento de sus Derechos de Aprovechamiento de Agua, así como en el proceso de organización y coordinación con los usuarios	Necesidad de fortalecimiento y Formación de Organizaciones de Usuarios de Agua	DGA

Fuente: elaboración propia

6.8. Medio Ambiente

Las acciones que se detallan a continuación se estructuran principalmente por el desconocimiento existente sobre la calidad y tipo de ecosistemas acuáticos existentes, la biodiversidad potencial y actual, así como la delimitación de los humedales y sus demandas hídricas.

- Actualización del inventario Nacional de Humedales a nivel local
- Estudios técnicos sobre funcionamiento ecológico y social de los humedales
- Estudios e investigaciones holísticas para evaluar y valorar los servicios ecosistémicos de la cuenca
- Estudio valoración flujo de servicios ecosistémicos a diversas escalas

Tabla 6-8 Resumen de las acciones necesarias para disminuir las brechas identificadas sobre las unidades ambientales y sus servicios ecosistémicos en la cuenca del río Quilimarí

Código	Acción	Objetivo	Brecha	Posible organismo encargado
EC-01	Actualización del inventario Nacional de Humedales a nivel local	Incrementar el conocimiento sobre la dinámica espacio-temporal de los ecosistemas acuáticos mediante la delimitación de los humedales de manera histórica	Reducido entendimiento sobre la dinámica espacio temporal de los ecosistemas acuáticos, con énfasis en límites fijos y estáticos de los humedales	MMA
EC-02	Estudios técnicos sobre funcionamiento ecológico y social de los humedales	Incrementar el conocimiento sobre la dinámica espacio-temporal de los ecosistemas acuáticos mediante la caracterización del funcionamiento físico y ecológico de los humedales, así como los servicios ecosistémicos que prestan y su bienestar social	Carencia de información y desconocimiento sobre la biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas	MMA
EC-03	Estudios e investigaciones holísticas para evaluar y valorar los servicios ecosistémicos de la cuenca	Desarrollar estudios e investigaciones holísticas con el objetivo de cuantificar las relaciones de causalidad entre el ecosistema y la generación de bienestar social	Carencia de conocimiento sobre los servicios ecosistémicos que genera el ecosistema en la cuenca.	MMA
EC-04	Estudios que valoren y relacionan el flujo de servicios ecosistémicos a diversas escalas.	Aumentar el conocimiento y entendimiento sobre la relación entre ecosistemas acuáticos, flujo de servicios ecosistémicos a través escalas diversas	Carencia de conocimiento sobre los servicios ecosistémicos que genera el ecosistema en la cuenca.	MMA

Fuente: elaboración propia

7. CARTERA DE INICIATIVAS

Las acciones mencionadas en este PEGH son una selección de acciones identificadas a partir del trabajo interdisciplinario de los investigadores del proyecto con los actores del territorio, todas importantes para la mejora de la gestión hídrica en las cuencas. Sin embargo, su implementación en el territorio requiere de una hoja de ruta que establezca la prioridad en el tiempo de cada una de ellas.

La priorización de acciones en el territorio en un contexto de escasez hídrica es altamente compleja debido a la necesidad de comparar criterios muy distintos, para los cuáles no siempre se tiene el mismo tipo de información, o en algunos casos el impacto es inconmensurable (Dodgson et al. 2000). En la mayoría de los casos el costo económico de la acción es el criterio utilizado para decidir su implementación. En otros métodos de evaluación utilizados, la imprecisión, la incertidumbre y los aspectos arbitrarios de los datos se agregan en un número o puntaje para cada alternativa, lo que enmascara valoraciones muy negativas generalmente en los aspectos sociales y ambientales (Roy & Vincke 1981; Vincke 1986). Sin embargo, en un contexto de escasez hídrica y conflictos socioambientales, se hace fundamental la priorización de la sostenibilidad social y ambiental de las propuestas traducida ya sea en la ponderación a los criterios sociales por encima de los económicos, o en la incorporación de la opinión de los principales actores en alguna etapa de selección de las propuestas (Banco Mundial, 2018). Involucrar a los principales afectados en la toma de decisiones puede generar impactos positivos en la sustentabilidad de las decisiones (Dietz & Stern 2008). En este sentido en esta etapa, además del costo, tiempo de implementación e impacto en la brecha, se levantó la opinión de los principales actores en las cuencas sobre cada una de las propuestas (criterio Importancia para los actores locales) para ayudar en la distribución de las acciones en el tiempo.

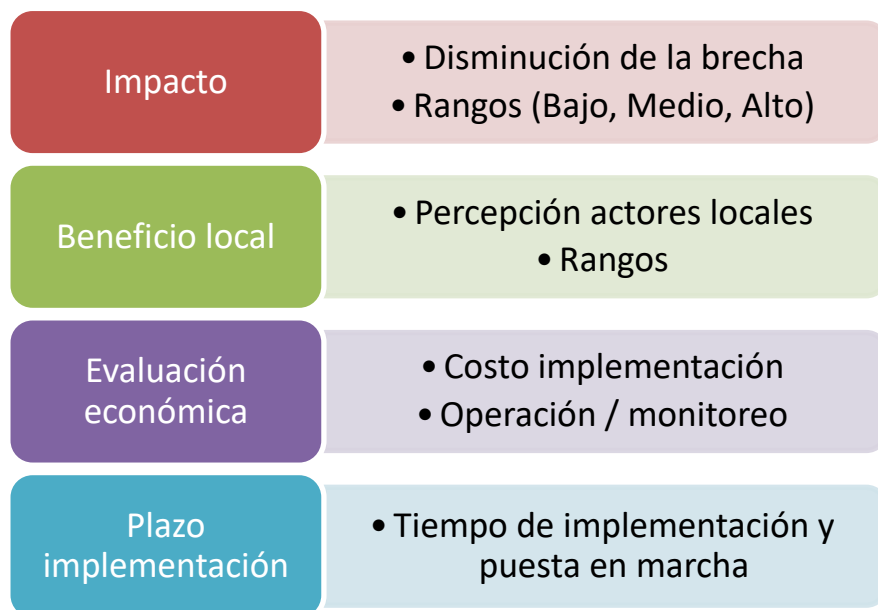


Figura 7-1. Criterios considerados para la priorización de las actividades a implementar en el Plan Estratégico

Fuente: elaboración propia

A continuación, se describen las variables utilizadas en la priorización de propuestas de acciones:

- **Acciones:** Propuesta de estrategias de gestión, infraestructura e información que apuntan a cerrar brechas específicas de las categorías: gobernanza, fortalecimiento de organizaciones, mejora de la eficiencia, búsqueda de nuevas fuentes, sistemas de información, capital humano y medio ambiente.
- **Brecha que aborda:** Descripción de la brecha específica dentro de cada categoría que va a ser abordada por la acción. La brecha no hace referencia a la brecha hídrica de la cuenca (diferencia entre oferta y demanda), si no a objetivos específicos dentro de cada categoría.
- **Impacto esperado en la brecha (cuantitativo):** Traduce el impacto de cada acción en una métrica cuantitativa lo más aproximada posible (metros cúbicos, hectáreas, personas, etc.)
- **Criterios de evaluación:**
 - **Impacto en la brecha específica (bajo, medio, alto):** Traducción del impacto cuantitativo de cada acción en su brecha específica, en una escala cualitativa que va de bajo, medio a alto. Si la acción cierra la brecha, el impacto es alto. Si la acción requiere de una o más acciones para cerrar la brecha, el impacto puede ser de medio a bajo (ver contenido fichas en anexo). En el caso de las acciones que cierran la brecha en demanda hídrica, se consideró
 - Bajo: si cierra del 0%-30% de la demanda
 - Medio: si cierra 30%-60% de la demanda
 - Alto: si cierra 60%-100% de la demanda
 - **Beneficio percibido por los actores locales (bajo, medio, alto):** El beneficio de cada acción según la percepción de los actores en el territorio fue levantado con encuestas online a los principales actores en cada cuenca. La encuesta fue enviada a todos los actores, pero respondida por 10 personas representantes de Asociación de canalistas, y municipio de Los vilos. Para cada acción o grupo de acciones (por ejemplo, en el caso de eficiencia hídrica se tenía una sola alternativa) se preguntó como evaluaban el beneficio de la acción en una escala de 'Beneficio alto', 'Medio, o 'Bajo'. La evaluación final de la acción es resultado de lo que respondió más del 60% de los entrevistados. En el caso que no hubiese una mayoría del 60% por alguna de las opciones, la evaluación final es "medio", por ejemplo: 50% Alto, 40% Medio, 10% bajo, en ese caso la evaluación es beneficio 'medio'.
 - **Costo de implementación y operación:** El costo fue estimado o levantado de bibliografía, para luego ser traducido a una escala de Alto, Medio y Bajo. Donde Alto >999999 UF, 9999 < Medio <= 99999UF y Bajo <= 9999 UF.

- **Tiempo de implementación:** información estimada en las fichas en una escala de corto, medio y largo plazo de implementación, que en algunos casos incluye también la operación de la acción.
- **Prioridad:** La prioridad de la acción se establece de la combinación del Impacto esperado en la brecha, Beneficio percibido por los actores locales, costo de implementación y operación y el tiempo de implementación. La combinación da tres posibles resultados de Prioridad.
 - ALTA: se debe implementar lo antes posible
 - MEDIA: se puede implementar a mediano plazo
 - BAJA: se puede implementar a más largo plazo

La combinación de escalas en los 4 criterios anteriores se estableció según **Reglas De Criterio Experto**, donde son más importantes, e igualmente relevante entre ellas, el impacto en la brecha y la importancia para los actores, seguidas por el costo y el tiempo de implementación. De esta manera si una acción tiene un alto impacto en la brecha y es altamente valorada (beneficio), el tiempo y costo se consideran como irrelevantes. En cambio, si los primeros criterios tienen menor valoración, se evalúa el costo (menor costo mejor) y el tiempo (menor tiempo mejor) en la evaluación general de la acción. De esta manera se incorpora la opinión local sobre el beneficio de las acciones en las cuencas, dando como resultado la siguiente tabla:

Tabla 7-1. Regla de priorización utilizada en la cuenca del río Quilimarí.

Impacto en la brecha específica (bajo, medio, alto)	Costo de implementación y operación (alto, medio, bajo)	Tiempo de implementación (corto, medio, largo)	Importancia para los actores locales (beneficio alto, moderado, bajo)	Prioridad
ALTO	ALTO	LARGO	ALTO, MEDIO	ALTA
ALTO	ALTO	CORTO, MEDIO	no se considera	ALTA
ALTO	ALTO	LARGO	BAJO	MEDIA
ALTO	MEDIO, BAJO	no se considera	no se considera	ALTA
MEDIO	ALTO	LARGO	BAJO	BAJA
MEDIO	ALTO	LARGO	ALTO, MEDIO	MEDIA
MEDIO	ALTO	CORTO, MEDIO	no se considera	MEDIA
MEDIO	BAJO, MEDIO	no se considera	no se considera	ALTA
BAJO	ALTO	no se considera	no se considera	BAJA
BAJO	MEDIO, BAJO	CORTO, MEDIO	BAJO	BAJA
BAJO	MEDIO, BAJO	CORTO, MEDIO	ALTO, MEDIO	MEDIA

Fuente: elaboración propia.

7.1. Impacto sobre la brecha

El impacto sobre la brecha se entiende como el aporte cuantitativo de disminución que significa cada acción sobre aquella brecha asociada a las acciones.

Del total de las 27 acciones consideradas, 5 de ellas (19%) consideran que tienen un impacto bajo sobre la disminución de la brecha, 15 (56%) presentan un impacto medio y finalmente 7 (26%) acciones presentan un impacto alto sobre la brecha.

Esto representa que pocas acciones presentan un bajo impacto sobre las brechas y particularmente estas acciones son necesarias para la implementación de otras acciones con mayor impacto. Por ejemplo, la acción "catastro de canales de riego" presenta un bajo impacto para disminución de la brecha de demanda insatisfecha, sin embargo, es un paso fundamental para poder aplicar la acción "mejora de eficiencia de conducción".

La mayoría de las acciones presenta un impacto medio, es decir, que cada una por sí sola no es capaz de disminuir considerablemente las brechas, con lo cual queda de manifiesto la necesidad de incorporar una combinación de ellas para lograr la disminución de la brecha asociada (Figura 7-1).

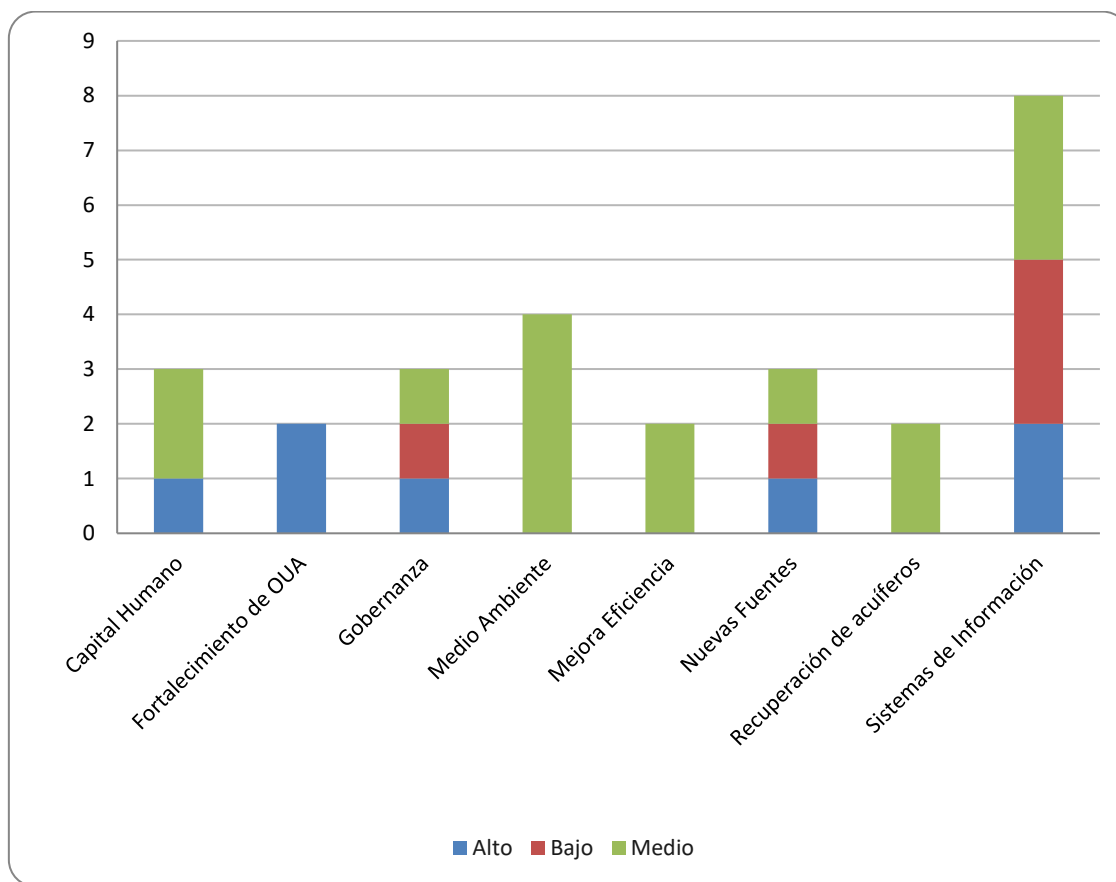


Figura 7-1. Distribución del impacto de reducción de la brecha en cada eje definido.

Fuente: elaboración propia

7.2. Evaluación económica

Tal como se comentó anteriormente la inversión necesaria para implementar la acción (CAPEX) y el costo de operación de ellas (OPEX) es uno de los criterios para priorizar la ejecución de las acciones.

Como parte de la descripción de las medidas consideradas en este estudio se realizó una estimación del CAPEX y OPEX de cada una. CAPEX (abreviación del inglés *capital expenditure*) se refiere a la inversión de capital necesaria para llevar a cabo la medida, es decir gasto que no son recurrentes. En cambio OPEX (abreviación del inglés *operational expenses*), se refiere a los gastos recurrentes y necesarios para el funcionamiento de la medida.

La evaluación de estas dos medidas se realizó a partir de la descripción o definición de las medidas. Para esto se tomó en cuenta la duración de la medida, las necesidades de inversión y las actividades y gastos necesarios para su funcionamiento. La cuantificación económica de estos costos se hizo a partir de estudios existentes. De estos se obtuvieron costos unitarios que fueron utilizados para estimar los costos de la medida de interés. Se debe tener en cuenta que estas evaluaciones buscan entregar una aproximación gruesa del costo asociado a la implementación de las medidas por lo que no se deben interpretar como una evaluación económica detallada de las mismas.

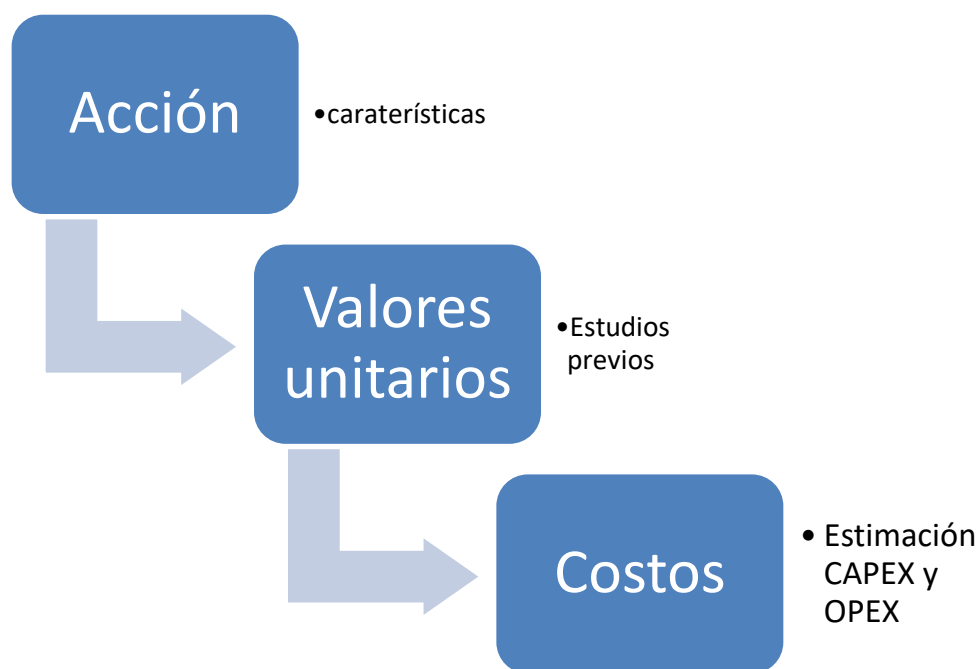


Figura 7-2. Metodología de obtención del CAPEX (Capital Expenditure) y OPEX (Operational Expenses).

Fuente: elaboración propia

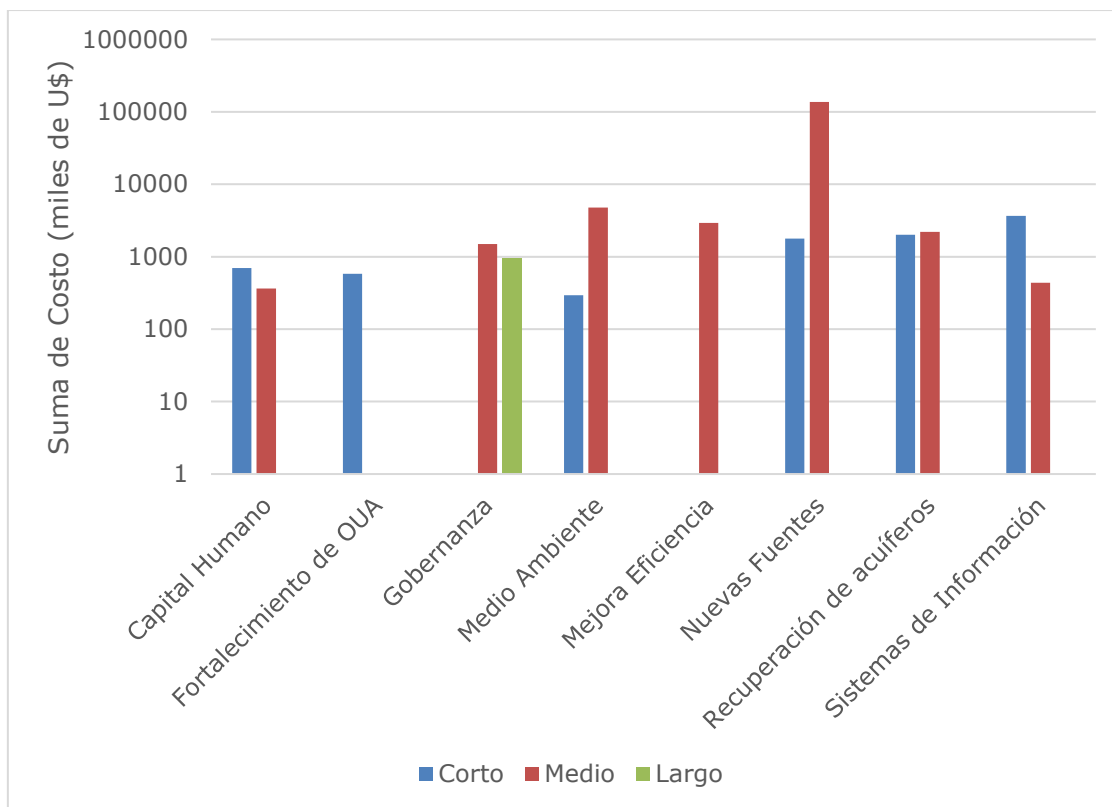


Figura 7-3. Distribución de los costos de implementación y operación de las acciones evaluadas en la cuenca del río Quilimarí.

Fuente: elaboración propia

De la se aprecia que los mayores costos están asociadas a las nuevas fuentes de agua, lideradas por la compra de volúmenes de agua mediante desalación y a la construcción de la aducción Infiernillo – Los Cóndores.

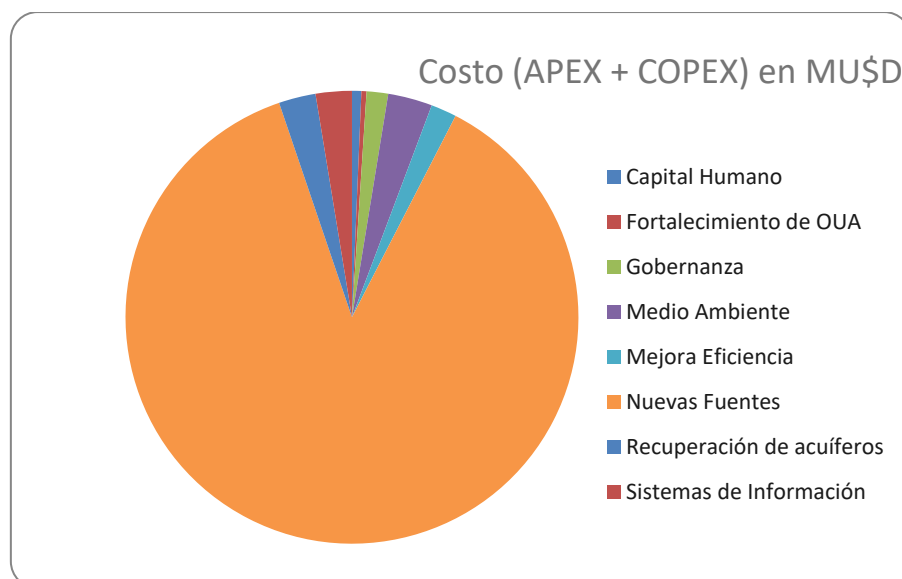


Figura 7-4. Distribución de los costos (MU\$D) de las acciones.

Fuente: elaboración propia.

7.3. Plazos de implementación de las acciones

La priorización de las acciones se traduce en iniciativas que deben implementarse en el corto plazo (prioridad alta), mediano plazo (prioridad media) y largo plazo (prioridad baja). El plazo de implementación responde entonces a la efectividad en cerrar alguna brecha identificada, el beneficio identificado por los actores, el costo y el tiempo de cada acción, lo da como resultado la Tabla 7-2:

Tabla 7-2. Plazos de implementación de las acciones.

PLAZO DE IMPLEMENTACIÓN			
EJE	CORTO	MEDIANO	LARGO
RECUPERACIÓN DE ACUÍFERO	RA-02.- Piscinas de infiltración en llanuras de inundación	RA-01.- Promover la conversión de los Sitios Prioritarios existentes a territorios bajo protección legal para la conservación biológica	

GOBERNANZA	.	AG-01. Creación y fortalecimiento de las Oficinas de Asuntos Hídricos como ente técnico a nivel Municipal AG-02. Apoyo a la creación de Mesas del Agua de la Sociedad Civil.	AG-03. Creación y promoción de un Comité coordinador a nivel de cuencas.
FORTALECIMIENTO OUA	FO-01. Programa de apoyo legal y técnico para la conformación y operación de las Juntas de Vigilancia en la cuenca de Quilimarí. FO-02. Programa de apoyo legal y organizativo para la conformación de CASUB.		
NUEVAS FUENTES	NF-02. Aducción desde acuíferos costeros a sector Los Cóndores / Infiernillo.	NF-01. Reutilización de aguas servidas tratadas NF-03 Aporte de agua proveniente de desalación	
MEJORAS DE EFICIENCIA		ME-01. Mejora eficiencia en la conducción de canales de regadío ME-02. Mejora riego intrapredial	
CAPITAL HUMANO	CH-01. Programa de apoyo a Asociación de Canalistas del Embalse el Culimo (ACECU). CH-02. Programa de mentorías para el fortalecimiento y modernización de APR.	CH-03. Generación de un fondo provincial, regional y/o nacional para mejoramiento de infraestructura y capacidades de APR.	
SISTEMAS DE INFORMACIÓN	AI-01. Creación plataforma única de visualización de datos en cada cuenca. AI-02. Estándares de medición y envío de	AI-03. Ampliación de la red de monitoreo para la caracterización del recurso hídrico.	

	<p>datos por terceros de acuerdo a requerimientos DGA.</p> <p>AI-04. Plan de Monitoreo ciudadano.</p> <p>AI-05. Catastro infraestructura de conducción y distribución de agua para riego.</p> <p>AI-06. Catastro superficies agrícolas sin tecnificar.</p> <p>AI-07.- Plan de monitoreo de calidad del agua.</p> <p>AI-08.- Estudios hidrogeológicos locales en APR</p>		
MEDIO AMBIENTE	<p>EC1-0. Actualización del inventario Nacional de Humedales a nivel local.</p>	<p>EC-02.- Estudios técnicos sobre funcionamiento ecológico y social de los humedales.</p> <p>EC3.- Desarrollar estudios e investigaciones holísticas con el objetivo de cuantificar las relaciones de causalidad entre el ecosistema y la generación de bienestar social.</p> <p>EC-04.- Iniciar estudios que valoran y relacionan el flujo de servicios ecosistémicos a diversas escalas.</p>	

Fuente: elaboración propia.

7.4. Beneficio percibido por los actores locales

De igual forma que la evaluación del impacto y del costo asociado, se desarrolló la percepción de la aceptación de las medidas por parte de los actores locales. Esta se obtuvo a través de formularios online enviadas vía mail a dichos actores.

De las 27 acciones, un 59% presenta un alto valor de aceptación por parte de los actores locales, un 41% una aceptación media. Para el territorio de esta cuenca, ninguna de las

acciones propuestas en el Plan tiene un beneficio bajo. Este alto nivel de aceptación obedece principalmente al trabajo conjunto con la comunidad en la determinación de las acciones.

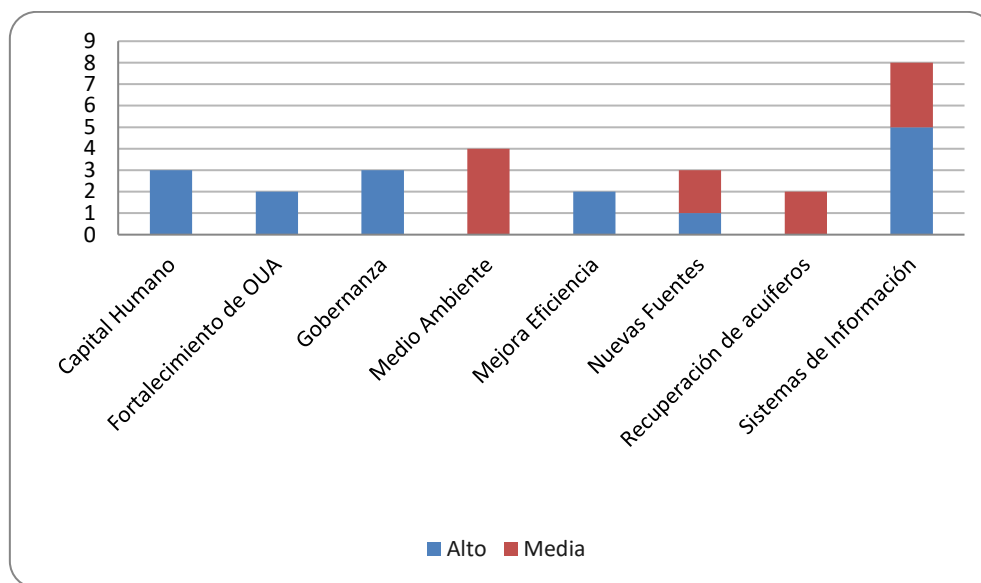


Figura 7-5. Distribución de la aceptación por parte de actores locales de las acciones propuestas

Fuente: elaboración propia.

7.5. Alternativas seleccionadas

Todas las alternativas identificadas provienen de una selección de ideas del territorio que además fueron evaluadas con mayoría de aceptación por los actores locales. Por lo tanto, la totalidad de las acciones fueron seleccionadas para ser incorporadas como parte del Plan Estratégico.

Como ya se comentó anteriormente, se realizó una priorización de las acciones basados en la combinación de 4 criterios: Impacto, percepción local, costo y plazo de implementación.

La validación de la priorización de las alternativas con la ciudadanía debe tomarse con cautela, puesto que la participación en este proceso fue bajo (solo una persona respondió el formulario, ver Anexo I, participación ciudadana). Ante ello, el equipo consultor actuó a criterio de experto para la verificación de la priorización resultante. En este sentido, se aconseja realizar una validación participativa para cada aspecto del Plan que requiera ser profundizado en cuanto a las acciones priorizadas

Los resultados de la priorización de cada una de las acciones se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 7-3. Priorización de las acciones definidas

CÓDIGO	ACCIONES	PRIORIDAD
AG-01	Creación y fortalecimiento de las Oficinas de Asuntos Hídricos como ente técnico a nivel Municipal	MEDIA
AG-02	Apoyo a la creación de Mesas del Agua de la Sociedad Civil	ALTA
AG-03	Creación y promoción de un Comité coordinador a nivel de cuencas	ALTA
CH-01	Programa de apoyo a Asociación de Canalistas del Embalse el Culimo (ACECU)	ALTA
CH-02	Programa de mentorías para el fortalecimiento y modernización de APRs	ALTA
CH-03	Creación de un fondo provincial/regional para mejoramiento infraestructura y capacidades APR	ALTA
FO-01	Programa de apoyo legal y técnico para la conformación y operación de las Juntas de Vigilancia en la cuenca de Quilimarí	ALTA
FO-02	Programa de apoyo legal y organizativo para la conformación de CASUB	ALTA
NF-01	Reutilización de aguas servidas tratadas	MEDIA
NF-04	Aporte de agua proveniente de desalación	ALTA
RA-02	Piscinas de infiltración en llanuras de inundación	ALTA
NF-03	Aducción desde acuíferos costeros a infernillo - Los cóndores	ALTA
ME-01	Mejora eficiencia en la conducción de canales de riego	ALTA
AI-01	Creación plataforma única de visualización de datos en cada cuenca	ALTA
AI-02	Estándares de medición y envío de datos por terceros de acuerdo a requerimientos DGA	ALTA
AI-03	Ampliación de la red de monitoreo para la caracterización del recurso hídrico	ALTA
AI-04	Programa de Monitoreo ciudadano	ALTA
ME-02	Mejora riego intrapredial	ALTA
AI-05	Catastro infraestructura de conducción y distribución de agua para riego	MEDIA

AI-06	Catastro superficies agrícolas sin tecnificar	MEDIA
AI-08	Diseño e implementación de un plan de monitoreo de calidad de aguas	ALTA
EC-01	Actualización del inventario Nacional de Humedales a nivel local	ALTA
EC-02	Estudios técnicos sobre funcionamiento ecológico y social de los humedales	ALTA
EC-03	Desarrollar estudios e investigaciones holísticas con el objetivo de cuantificar las relaciones de causalidad entre el ecosistema y la generación de bienestar social.	ALTA
EC-04	Iniciar estudios que valoran y relacionan el flujo de servicios ecosistémicos a diversas escalas.	ALTA
AI-07	Estudios hidrogeológicos locales en APR	MEDIA
RA-01	Protección legal a los sitios prioritarios en la cuenca del río Quilimarí	ALTA

Fuente: elaboración propia.

Un alto porcentaje de las acciones (81%) presenta una alta prioridad de implementación y un 19% presenta una prioridad media. De las acciones con alta prioridad predominan las acciones asociadas a carencia de información, capital humano y medio ambiente (Figura 7-6).

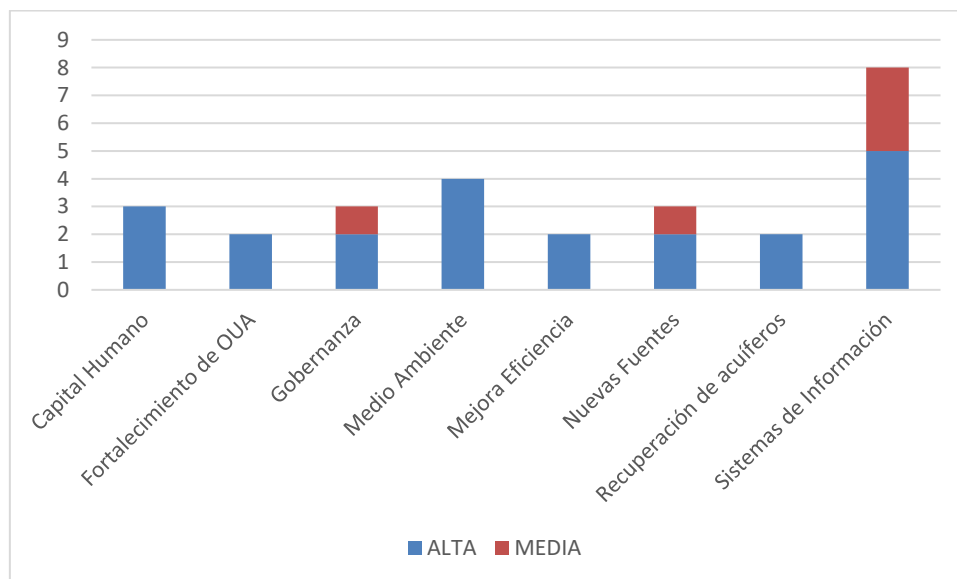


Figura 7-6 Distribución de la priorización de acciones

Fuente: elaboración propia

7.6. Evaluación conjunta

Para evaluar las mejores condiciones que generan las iniciativas planteadas anteriormente, se simularon estas en conjunto en el modelo integrado. Para ello se generó un único escenario por cuenca en el cual se incorporaron las iniciativas definidas en los distintos escenarios. Estas iniciativas fueron puestas en marcha de acuerdo a los plazos de implementación expresados anteriormente.

Se consideraron los escenarios: Aducción Infiernillo – Los Cóndores, Prorratio, Desalación, organización, eficiencia. En la Figura 7-7 se puede apreciar los escenarios considerados y su fecha propuesta para su puesta en marcha en el PEGH.

El escenario del PEGH fue comparado con la situación futura de la cuenca, en caso de no implementar el PEGH. Esta condición futura considera que se mantienen los derechos de agua otorgados al 2019, así como la superficie de riego.

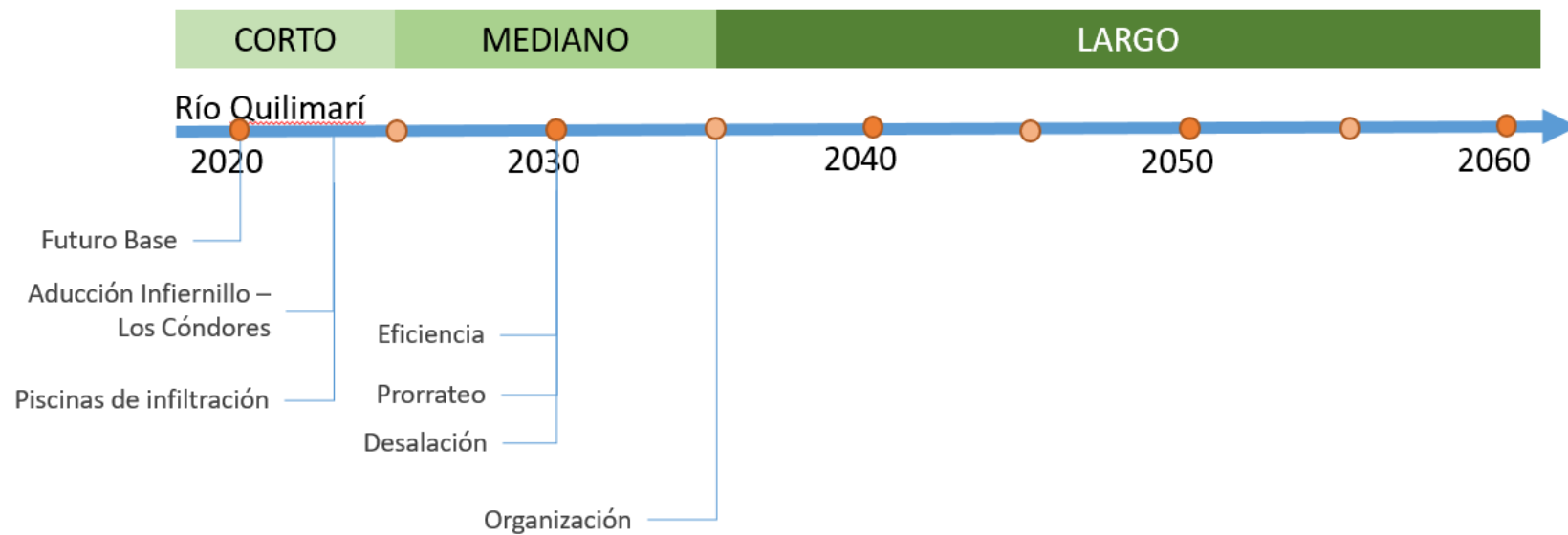


Figura 7-7. Esquema temporal de la simulación del PEGH para el río Quilimarí.

Fuente: elaboración propia

Tabla 7-4. Resultados de la simulación del plan PEGH en la cuenca Río Quilimarí y su comparación con el escenario futuro.

Escenario	Brecha (Hm ³ /año)		Cobertura (%)		Variación del acuífero (Hm ³ /año)
	Agrícola	Agua potable Rural	Agrícola	Agua potable Rural	
Futuro	7,88	0,05	63,04%	89,68%	
PEGH 2040-2050	3,52	0,04	84,10%	92,77%	-12,2

Fuente: elaboración propia basado en resultados de modelación (anexo H. modelo hidrológica acoplado)

Se aprecia que la implementación del plan mejora considerablemente los indicadores al 2050 para el sector agrícola aumentando a un 84% la cobertura de la demanda y disminuyendo la brecha a un 3,52 Hm³ (mayor a un 50% de la brecha histórica). Respecto a la demanda de agua potable, se aprecia un aumento de a cobertura a 93%, sin embargo, aun es necesario realizar otras iniciativas a evaluar a futuro para lograr el 100% de cobertura. Además, si bien se refleja una disminución de la sobreexplotación que está sometido el acuífero, esta no es suficiente para que el acuífero presente condiciones de sostenibilidad a futuro.

En la Figura se aprecia la evolución temporal de disminución de la brecha agrícola debido a la implementación del PEGH Quilimarí, en donde la puesta en marcha en el plazo establecido de cada una de las iniciativas modelada logran disminuir le brecha respecto a la condición futura

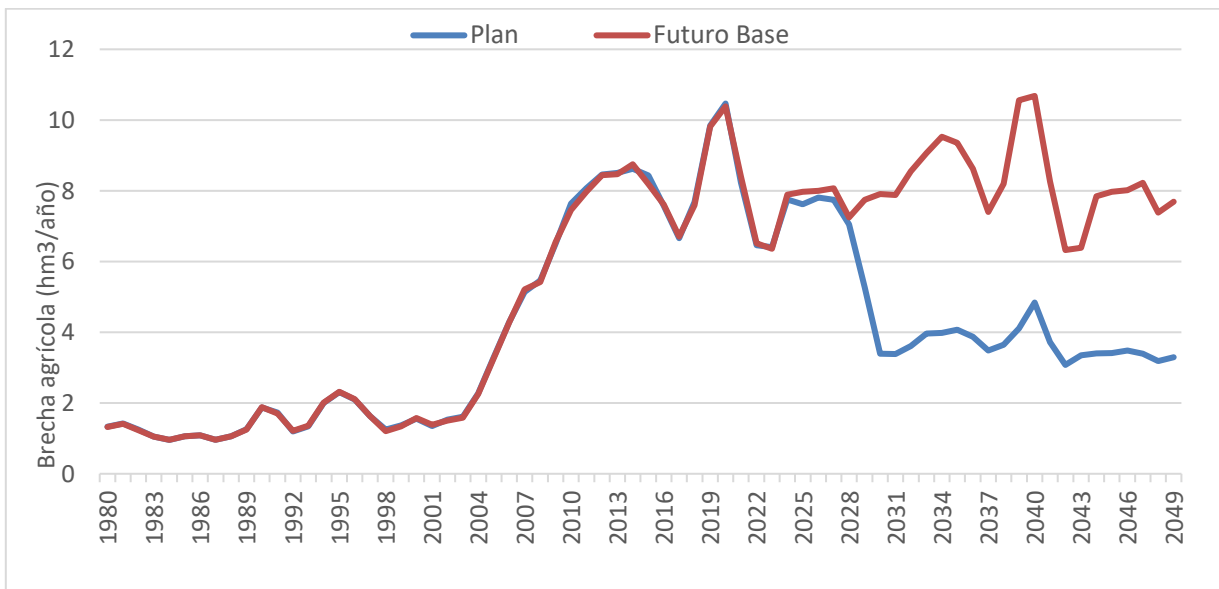


Figura 7-2 Comparación de la evolución temporal de la brecha agrícola bajo la condición histórica, futura y con la activación del Plan de la cuenca del río Quilimarí

Fuente: elaboración propia (Anexo H, modelación hidrológica acoplada, capítulo 5.2)

En forma análoga es posible apreciar la evolución temporal de disminución de la brecha de agua potable rural debido a la implementación del PEGH Quilimarí, en donde la puesta en marcha en el plazo establecido de cada una de las iniciativas modelada logran disminuir le brecha respecto a la condición futura

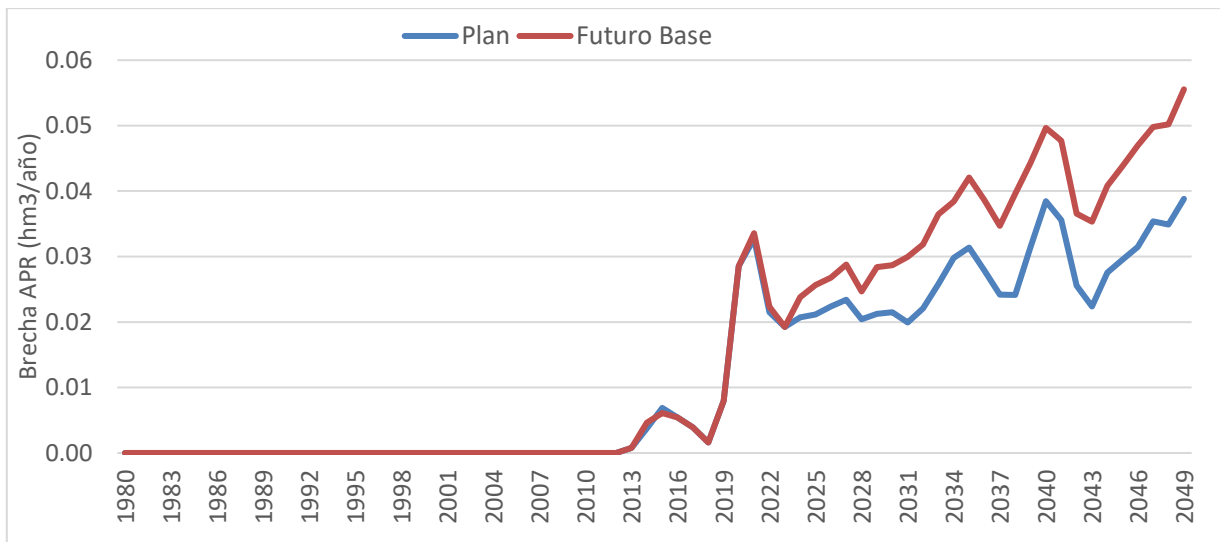


Figura 7-3 Comparación de la evolución temporal de la brecha de agua potable bajo la condición histórica, futura y con la activación del Plan de la cuenca del río Quilimarí

Fuente: elaboración propia (Anexo H, modelación hidrológica acoplada, capítulo 5.2)

Como se aprecia, la implementación del PEGH logra importantes resultados en la disminución de la brecha y el aumento de la cobertura, acercando a una cobertura al 100% de agua potable rural, y disminuyendo en más de 50% la brecha hídrica para el sector agrícola. Sin embargo, no es posible satisfacer completamente la demanda de ambos usos, por lo que es necesario evaluar otras alternativas en el abastecimiento de agua potable que no pueden ser modeladas, pero que sí están incorporadas como una iniciativa de este Plan, como es el reemplazo de infraestructura y posteriormente evaluar la profundización de pozos de acuerdo a los resultados de los estudios hidrogeológicos.

Desde el punto de vista de la agricultura, aun quedan brechas por suplir y por lo tanto, es necesario plantear la posibilidad de realizar una reducción de la demanda agrícola, ya sea disminuyendo la superficie regada o bien orientando a cultivo con menor demanda.

7.7. Líneas de acción

- **Ejecutora o mandante DGA**

Las siguientes acciones tendrían como principal ejecutor o mandante a la DGA:

- CH-01. Programa de apoyo a Asociación de Canalistas del Embalse el Culimo (ACECU)
- FO-01. Programa de apoyo legal y técnico para la conformación y operación de las Juntas de Vigilancia.
- FO-02. Programa de apoyo legal y organizativo para la conformación de comunidades de Aguas superficiales y Subterráneas (CAS)
- AI-01. Creación plataforma única de visualización de datos en cada cuenca.
- AI-02. Estándares de medición y envío de datos por terceros de acuerdo con requerimientos DGA.
- AI-03. Ampliación de la red de monitoreo para la caracterización del recurso hídrico.
- AI-07. Diseño e implementación de un plan de monitoreo de calidad de aguas.

- **Otras instituciones**

Aunque las siguientes acciones se visualizan en coordinación y/o con el apoyo de la DGA, el ejecutor principal son otras instituciones Nacionales descentralizadas y Regionales, e incluso lideradas por OUA's y otras organizaciones de usuarios de agua.

<p>Dirección de Obras Hidráulicas</p> <ul style="list-style-type: none"> - NF-01. Reutilización de aguas servidas tratadas. - NF-02. Aducción desde acuíferos costeros a Infiernillo y Los Cóndores. - NF-03. Proyecto desalinización. - AI-08. Estudios hidrogeológicos locales en APR. - CH-02 Programa de mentorías para el fortalecimiento y modernización de APRs - CH-03. Generación de un fondo concursable provincial, regional y/o nacional para mejoramiento de infraestructura y capacidades de APR (con Unión APR). - RA-02 Piscinas de infiltración en llanuras de inundación.
<p>Comisión Nacional de Riego</p> <ul style="list-style-type: none"> - ME-01. Mejora eficiencia en la conducción de canales de regadío. - ME-02. Mejora riego intrapredial. - AI-05. Catastro infraestructura de conducción y distribución de agua para riego. - AI-06. Catastro superficies agrícolas sin tecnificar.
<p>Gobierno Regional</p>

- AG-01. Creación y fortalecimiento de las Oficinas de Asuntos Hídricos como ente técnico a nivel Municipal.
- AG-02. Apoyo a la creación de Mesas del Agua de la Sociedad Civil.
- AG-03. Creación y promoción de un Comité coordinador a nivel de cuencas.

Ministerio de Medio Ambiente

- EC-01. Actualización del inventario Nacional de Humedales a nivel local.
- EC-02. Estudios técnicos sobre funcionamiento ecológico y social de los humedales.
- EC-03. Estudio relaciones de causalidad entre el ecosistema y la generación de bienestar social.
- EC-04. Estudio valoración flujo de servicios ecosistémicos a diversas escalas.
- RA-01 Protección legal a los sitios prioritarios como provisión hídrica.

Sociedad Civil

- AI-04.- Programa de monitoreo ciudadano

8. IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN

8.1. Hitos de referencia en la implementación del Plan

Una vez seleccionadas las iniciativas que componen el Plan y su efectividad en la disminución del déficit hídrico, es necesario realizar la implementación de una forma organizada y coordinada entre las distintas instituciones, para así lograr la máxima eficiencia en la aplicación del PEGH

En la Tabla 8-1 se indican las actividades e iniciativas a realizar en cada plazo definido y los hitos de cada acción que permita coordinar las acciones entre ellas

Tabla 8-1 Hitos de referencia en cada plazo de tiempo de implementación del PEGH

Corto Plazo

- Se está realizando el diagnóstico de necesidades para conformar Juntas de Vigilancia en la cuenca del Quilimarí (FO-01).
- Se cuenta con un Programa de apoyo a Asociación de Canalistas del Embalse el Culimo (ACECU) (CH-01).
- Programa de apoyo legal y organizativo para la conformación de CASUB (FO-02).
- Se han desarrollado 7 estudios hidrogeológicos para las APRs (AI-07).
- Se ha generado un programa de fortalecimiento de las Mesas del Agua APR y se cuentan con dos Unión de APR fortalecidas.
- Se está trabajando en las bases para la creación de un Comité coordinador a nivel de cuencas (AG-04).
- Se está implementando el diagnóstico de las necesidades de mejorar de revestimiento de canales y riego intrapredial (ME-01, ME-02).

<ul style="list-style-type: none"> - Se han construido las piscinas para infiltración (RA-02) para aumentar la disponibilidad de agua subterráneas. - Se realizaron los primeros estudios para conocer los ecosistemas existentes, particularmente los humedales (EC-01). - Está construida y operativa la aducción de agua hacia Infiernillo y Los Cóndores (NF-03). - A nivel de información, se desarrolló la plataforma única de visualización de monitoreo hídrico (AI-01), se generaron los manuales para homologar la medición (AI-02), se implementó y comenzó de operación del Plan de Monitoreo de Aguas Subterráneas (AI-08) y del monitoreo Participativo (AI-04).
<p>Mediano Plazo</p> <ul style="list-style-type: none"> - Se ha creado y fortalecido la oficina de asuntos hídricos a nivel municipal (AG-01) y de las mesas del agua de la sociedad civil (AG-02). - Está en funcionamiento el fondo para mejoramiento infraestructura y capacidades técnicas de las APR (CH-03). - Están en funcionamiento el Sistema Sanitario Rural que permite la reutilización de las aguas servidas tratadas (NF-01) y las estaciones de monitoreo (AI-03). - Existe un conocimiento más acabado del ecosistema (EC-02, EC-03 y EC-04), lo cual permitirá dar un diagnóstico real de la situación de estos ecosistemas, particularmente definir nuevas acciones para disminuir las brechas identificadas en esta etapa. - Está disponible la aducción de desalación (NF-04). - La puesta en marcha del plan de monitoreo de calidad fisicoquímica del agua subterránea y superficial (AI-07) permitirán mejorar el diagnóstico y definir nuevas brechas, las cuales deberán ser subsanadas con acciones específicamente definidas. - Se ha aumentado la eficiencia de riego, mejorando la conducción y distribución en canales (ME-1), así como en la tecnificación del riego propiamente tal (ME-02). - Entra en vigencia, la protección oficial de sitios prioritarios de la recarga como fuente hídrica (RA-01).
<p>Largo Plazo</p> <ul style="list-style-type: none"> - Se encuentra operativo el comité de cuenca (AG-03).

8.2. Estrategia de implementación

La estrategia de implementación del plan obedece a la priorización realizada anteriormente y al plazo de ejecución de dichas acciones, tal como se muestra en la Figura 8-1.

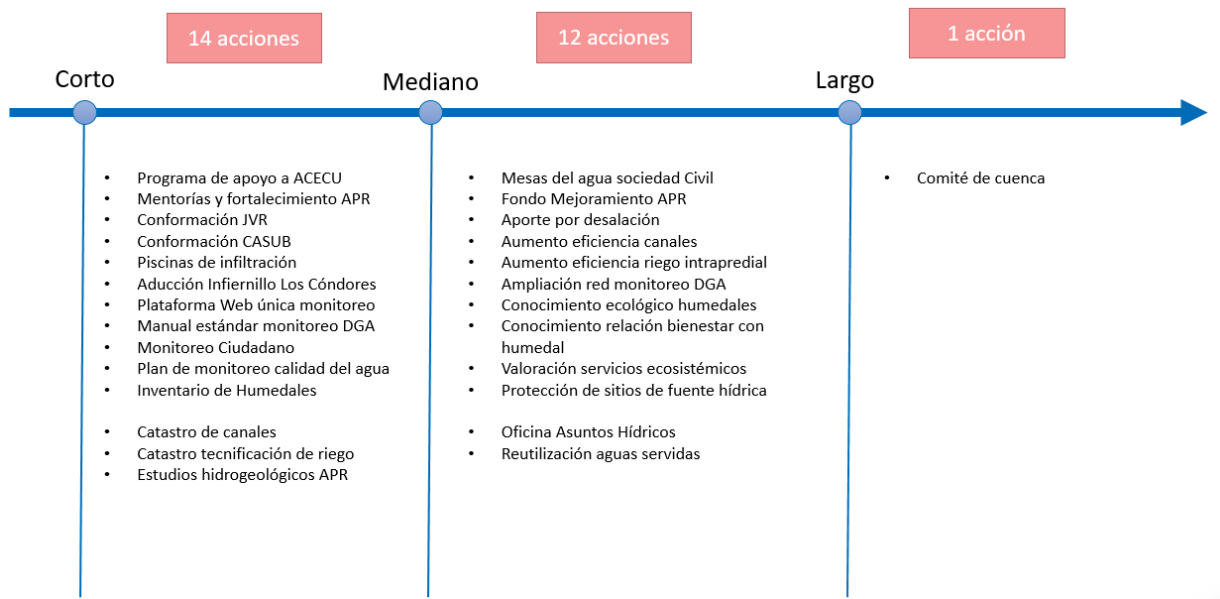
En ella se observa que para el corto plazo (2020-2025) 14 son las acciones que deben ser implementadas. En términos generales, estas acciones obedecen a la infraestructura de aducción de acuíferos costeros al sector de Infiernillo y Los Cóndores y a la construcción de piscinas de infiltración en las llanuras de inundación, a la conformación y legalización de Organismos Usuarios del Agua y a la generación de información para el monitoreo.

En el mediano plazo, se implementan fuertemente las acciones que permiten conocer los humedales existentes en la cuenca, su funcionamiento y servicios ecosistémicos existentes,

y finalmente su relación entre dichos servicios ecosistemas y provisión de recursos hídricos. Dentro de esto mismo, se consideró la protección oficial de sitios prioritarios existentes en la cuneca como sitios de provisión hídrica y el fortalecimiento de instancias coordinadoras en asuntos hídricos.

Finalmente en el largo plazo se espera que el comité de cuencas se encuentre operativo y permita llevar a cabo la gestión de cuencas. Como una última medida, se implementa la compra de agua a sistemas de trasvase como la carretera hídrica.

Figura 8-1. Línea de tiempo de implementación de las acciones y su prioridad de implementación.



Fuente: elaboración propia.

8.2.1. Aspectos institucionales

En la implementación del Plan, deben participar activamente diversas instituciones estatales y privadas, a distintas escalas espaciales y administrativas. De esta forma se velará por la correcta implementación y ejecución de este Plan.

A continuación se muestran el rol de las instituciones, tanto públicas como privadas en las respectivas acciones.

Tabla 8-2. Rol de las instituciones sectoriales y regionales en la implementación del Plan.

Institución	Rol	Inversión Millones de U\$D
Dirección General de Aguas	Definición de acciones orientadas a la obtención de información y a la conformación de las mesas del agua y el comité del agua. y fortalecimiento y modernización de Juntas de vigilancia y Comunidades de Agua	2,2
Dirección de Obras Hidráulicas	Mejoramiento de la infraestructura de las APR, así como sus capacidades técnicas y estudios hidrogeológicos asociados. Construcción de las aducciones de Infiernillo-Los Cóndores, además de la desalación.	143,73
Comisión Nacional de Riego	Catastro y Mejoramiento de eficiencia en el riego.	3,5
Ministerio de Medio Ambiente	Aumento del conocimiento y caracterización de los humedales existentes. Participación activa en la generación de figuras de protección oficial de zonas como fuentes de provisión de recursos hídricos.	7,2
Gobierno Regional	Implementación de medidas no estructurales (soluciones basadas en la naturaleza) y apoyo en la conformación de las mesas del agua y del comité de cuencas.	2,4
Sociedad civil	Conformación y participación en mesas de la sociedad civil y en el monitoreo ciudadano.	0,3

Fuente: elaboración propia

8.2.2. Aspectos de cultura del Agua

Los principales aspectos relacionados con la cultura del agua que deben ser incorporados en la implementación del Plan son los siguientes.

8.2.2.1. Gobernanza y Gestión Integrada de Recursos Hídricos

La definición de una gobernanza para la gestión integrada de los recursos hídricos en la cuenca del río Quilimarí es sin lugar a duda una de las actividades con mayor relevancia.

Si bien en la cuenca hay interés de participar activamente en la gestión del agua, en donde se han realizado programas de conformación y fortalecimiento de Comunidades de agua, la Junta de Vigilancia del río Quilimarí y programa de fortalecimiento enfocado principalmente a la ACECU, lamentablemente el nivel de gestión es bajo, debido principalmente a la inexistencia de un escurrimiento superficial en la cuenca.

El nivel organizacional fuera de los límites de las OUA tradicionales es bajo, como por ejemplo en las APR u otra instancia, más aún teniendo de ejemplo a su cuenca vecina Ligua, en donde el nivel organizacional y participativo es a distintas esferas.

Otro aspecto que dificulta la organización en torno al agua es la ausencia de un municipio que físicamente esté en la cuenca y que represente los intereses de Quilimarí. Esta cuenca pertenece a la Municipalidad de Los Vilos, y cualquier proceso público-administrativo se realiza en dicha localidad.

En este sentido, lograr una gobernanza del agua en esta cuenca trae desafíos importantes como lo son: lograr un empoderamiento de la gestión por parte de los actores de la cuenca, facilitar canales de comunicación y coordinación entre actores locales y actores de instituciones públicas, como la municipalidad, seremi, etc.

El modelo de gobernanza presentado se basa en la conformación de un comité de cuenca que agrupa instituciones públicas, OUA y organizaciones sociales organizadas mediante "mesas del agua".

Es importante que la conformación de este comité sea autónomo y cuente con financiamiento propio. Las funciones de este comité no solo deben ser monitorear y gestionar el recurso hídrico, sino que debe contar con facultades que permitan prevenir y solucionar potenciales conflictos en torno al agua, su calidad y medio ambiente, y además deberá ser la entidad de monitorear el cumplimiento del Plan.

8.2.2.2. Eficiencia en el uso del recurso

La acción con mayor aceptación por parte de los actores participantes del proceso de elaboración del Plan Estratégico es el aumento de eficiencia en el uso del agua, y principalmente asociada al uso agrícola de la misma.

Actualmente se realiza una inversión permanente en esta materia, pero se requiere un plan específico, con objetivos, metas e indicadores que permitan evaluar el cumplimiento de las mismas. En complemento, se requiere la definición de responsabilidades respecto de la implementación del Plan.

8.2.2.3. Sustentabilidad del recurso

La sustentabilidad del recurso hídrico en estas cuencas es crítica, por lo que la sociedad y los usuarios deben entender que esta es una brecha en sí y que muchas de las acciones orientadas a tener mayor disponibilidad del recurso hídrico disponible, como aumento de la eficiencia en el uso, no debe ir exclusivamente a aumentar la productividad, sino que gran parte debe orientarse a mejorar los niveles de sostenibilidad del recurso hídrico como también permitir el establecimiento de un caudal ambiental.

8.2.3. Aspectos de financiamiento

El costo del Plan es de 159 MMUSD para las 27 acciones definidas, en donde un 87% de dicho monto es considerando las acciones clasificadas como nuevas fuentes.

De acuerdo a la estrategia de implementación del Plan y a la cartera de acciones a implementar en el corto, mediano y largo plazo, la inversión a realizar en dichos plazos se distribuye según se muestra en la

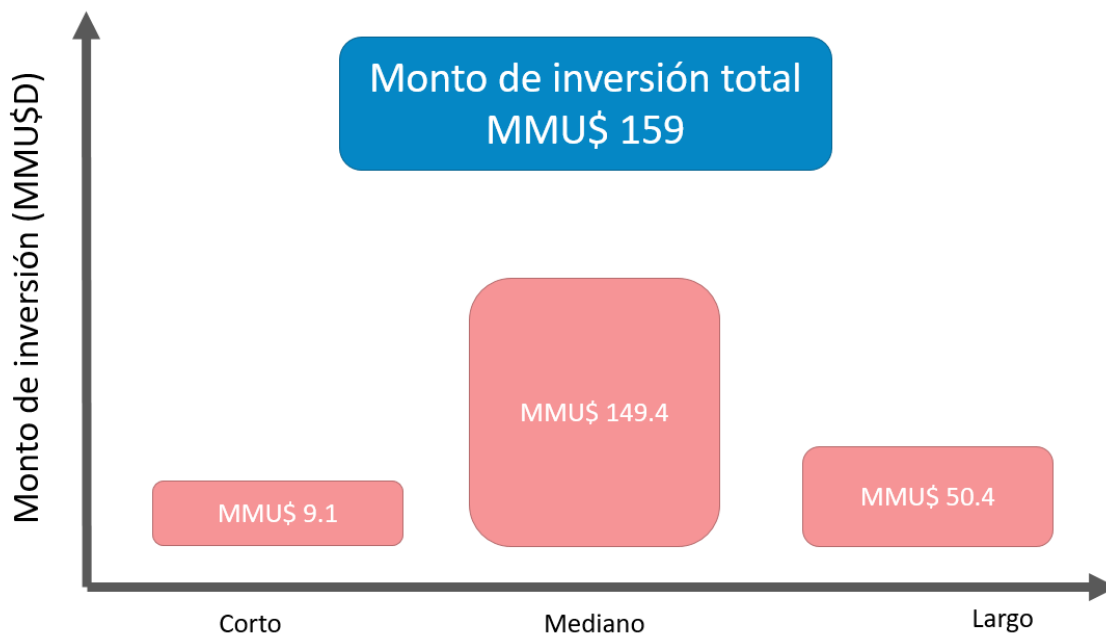


Figura 8-2. Distribución de los costos de implementación y operación del Plan Estratégico de Gestión Hídrica de la cuenca del río Quilimarí.

Fuente: elaboración propia.

El financiamiento es variado, y proviene principalmente de las instituciones que participan en la implementación de las acciones. La DOH es la principal fuente de financiamiento, en conjunto con el MMA para recuperación y protección legal de ecosistemas que son parte de las fuentes hídricas.

Durante la ejecución de la elaboración del Plan se evidenciaron algunas instancias en donde es posible llevar a cabo algunas alianzas público-privada, ya sea para el financiamiento como para la operación de las acciones. Estas se refieren principalmente a 1) la compra de agua proveniente de desalación, 2) reutilización de aguas residuales y 3) instalación y operación de estaciones de monitoreo.

9. MONITOREO Y EVALUACIÓN DEL PLAN

Un parte importante del Plan es el seguimiento, pues permitirá evaluar si: 1) se están llevando a cabo las acciones definidas, y 2) la eficacia en la disminución de las brechas. Además es importante que el Plan sea adaptativo, por lo que es relevante que se puedan tomar las medidas correspondientes en una etapa temprana.

La acción del seguimiento es una actividad técnica, permanente y que debe evaluar el plan en forma periódica, por ejemplo en forma anual. Se propone que el seguimiento sea llevado a cabo por una secretaría técnica que esté comprendida por el comité de cuenca, sin embargo, esto solo se logrará en los últimos años del Plan, ya que el comité de cuenca esté completamente implementado en el largo plazo. Por este motivo es necesario que el seguimiento los primeros años lo lleve adelante una secretaría técnica de transición. Esta secretaría debe estar alojada en un espacio de gobernanza que ya esté operativo en la cuenca. Esta secretaría debería estar compuesta por profesionales provinciales de la DGA, DOH y CNR, MMA y Gobierno Regional. Posteriormente, esta secretaria deberá ir migrando hacia una secretaría técnica que quede comprendida en el comité de cuenca

9.1. Plan de Monitoreo

El plan de monitoreo considera la evaluación del nivel de cumplimiento y eficacia del Plan en la disminución de las brechas. Para ello se propone la implementación de 4 tipos de indicadores de acuerdo al tipo de seguimiento a implementar:

- Indicadores de déficit hídrico
- Indicadores de gestión
- Indicadores de información
- Indicadores de inversión

9.1.1. Indicadores de déficit hídrico

Este indicador corresponde a variables de estado de los recursos hídricos y usos del agua. En este sentido, los indicadores debieran considerar aspectos de confiabilidad, sustentabilidad de acuífero, volumen embalsado, volumen de acuífero, entre otros.

1. Volumen embalsado $m(Hm^3)$: Volumen almacenado en forma superficial previa a la temporada de riego
2. Volumen almacenado en acuífero (Hm^3) : Volumen almacenado en el año hidrológico y variación del volumen respecto al año anterior
3. Hectáreas regadas (há): Evaluar la variación de hectáreas de riego respecto al año anterior
4. Volumen de agua potable provisto por camiones aljibes (Hm^3) : Volumen de agua que es transportado por camiones aljibes para consumo de agua potable, principalmente rural

9.1.2. Indicadores de gestión

Este indicador considera el seguimiento de la implementación de las acciones asociadas a la gobernanza y gestión del recurso hídrico.

- a) Conformación oficial de OUA: Tener un registro de la OUA, tanto como junta de vigilancia como CASUB conformadas oficialmente como personalidad jurídica y reportar el nivel de organización de cada una de ellas
- b) Organismos de gestión: Generar un registro de las otras instancias de gobernanza, como las mesas del agua, oficinas hídrica y el propio comité de cuenca.

9.1.3. Indicadores de información

La carencia de información es una de las principales brechas en estas cuencas, lo cual impidió incorporar acciones en el plan orientadas a restaurar la calidad del agua o ecosistemas de estas cuencas. Es por eso que la generación de información en torno a estos acápite y su temprano análisis y evaluación necesariamente replanteará algunas acciones o bien se desarrollarán nuevas acciones. Es aquí donde la características de un Plan adaptativo cobra gran importancia.

- a) Conocimiento sobre ecosistemas, mediante la cantidad de estudios realizados y el porcentaje de humedales abordado en dichos estudios
- b) Conocimiento sobre calidad de agua: Cantidad de estaciones del año con medición realizada
- c) Conocimiento sobre sistema de riego: Cantidad de hectáreas de riego y canales catastrados
- d) Conocimiento hidrogeológico: Cantidad de APR con estudios realizados litológicos realizados
- e) Conocimiento hidrometeorológico: Mínimo porcentaje de días en un año con registros fluviométricos y meteorológicos en la cuenca

9.1.4. Indicadores de inversión

Estos corresponden al seguimiento de las acciones promocionadas en el plan, tanto en su inversión, puesta en marcha y operación.

- f) Inversión: Cumplimiento de los montos de inversión programada para el periodo
- g) Operación: Cumplimiento de los montos de operación programados para el periodo

9.1.5. Seguimiento

Tal como se mencionó anteriormente, el seguimiento debe ser llevado a cabo por profesionales capacitados que pertenezcan a la secretaría técnica del comité de cuenca. Los resultados de este seguimiento deben ser transparentadas en las distintas instancias de la gobernanza de la cuenca, tanto a nivel público como privado.

9.2. Mecanismos para el análisis y toma de decisiones

El plan, para que cumpla los objetivos planteados, es necesario que no solo se lleve a cabo el proceso de seguimiento, sino que además, se realice una evaluación para una actualización considerando los procesos adaptativos para ello.

En este sentido, la actualización del modelo integrado, permitirá ir subsanando las limitaciones propias por la carencia de información y además ajustarse a particularidades del territorio que no pudieron ser advertidas en esta primera implementación. La actualización del modelo integrado debiera ser llevado por personal capacitado perteneciente a la secretaría técnica que realiza el seguimiento del Plan.

10. BRECHAS E INSTANCIAS DE MEJORAS

10.1. Información y conocimiento de la cuenca

A pesar que es un cuenca con un gran nivel de presión del recurso hídrico, el nivel de información es escaso comparado con otras cuencas del país. Durante el estudio que dio origen al PEGH se evidenció la carencia de estaciones de medición del recurso hídrico, así como su calidad, tanto superficial como subterránea. Se evidencian sectores de la cuenca con nula información hidrometeorológica o de fluviometría, como por ejemplo en la zona alta, quebradas afluentes. Es particularmente de interés la falta de estaciones fluviométricas en la zona media de la cuenca. Particularmente, y ante la carencia de información, la estimación del agua superficial para el desarrollo de este Plan tuvo que realizarse mediante estimación de la escorrentía natural y no sobre monitoreo continuo.

La carencia de información no solo es nivel de cuantificar el recurso hídrico, sino que también en calidad del agua, tanto subterránea como superficial y aspectos relevantes del medio ambiente, los cuales pueden aportar en la seguridad hídrica de la cuenca.

Sumado a la carencia de información es aspectos fisicoquímicos del agua, hay una carencia de información y desconocimiento del ecosistema acuático y sus humedales. Esto impide el poder desarrollar una estrategia de conservación de ecosistemas o la mantención de un caudal ambiental, demanda ambiental, entre otros.

10.2. Implementación del modelo hidrológico acoplado

El modelo hidrológico acoplado presenta un comportamiento correcto y cumple con el objetivo para este Plan. Sin embargo, dada la complejidad de la situación hídrica de esta cuenca, es necesario afinar lo más que sea posible la implementación de este modelo.

En este sentido, sería importante contar con información medida sobre las tasas de evaporación real tanto en zonas agrícolas como en zonas de vegetación natural ya que es un componente muy relevante en el balance hídrico total de las cuencas semi-áridas.

Por otra parte, el modelo hidrogeológico presenta una buena calibración en términos generales en la cuenca, presenta una calibración mediana en algunos SHAC. Realizando un

análisis de la información disponible en la cual se basó la implementación del modelo. Se debe indicar que el fondo de acuífero fue obtenido a partir del estudio de RHODOS (2011) desarrollado para el modelo MAGIC.

Se recomienda revisar o actualizar la información generada en el estudio, con el fin de comprobar que el volumen almacenado esté bien definido.

10.3. Efectividad de las iniciativas propuestas

Se ha demostrado que las acciones implementadas en el PEGH disminuyen la brecha hídrica, aumentando su seguridad hídrica. Sin embargo, la totalidad de las acciones puestas en marcha no son capaces de disminuir completamente la brecha, evidenciando que el problema en esta cuenca es más complejo debido a la disminución de precipitación futura, a la poca capacidad de almacenamiento de sus acuíferos y a la sobreexplotación de ellos. Pareciera que la solución más evidente y radica es lograr un prorrateo superior al 30% de los derechos de agua actualmente otorgados, pero para ello será necesario el entendimiento de todos los actores de la cuenca sobre la delicada situación de esta y la implementación de un organismo de cuenca, al cual hemos llamado comité de cuenca, que apoye y administre la gestión del recurso hídrico.

El PEGH para esta cuenca tiene un costo de U\$ 159 millones, en donde un 87% corresponde a nuevas fuentes, como la desalación y la construcción de la aducción hacia Infiernillo y los Cóndores.

Por el monto económico que requiere las iniciativas de aumento de la capacidad del embalse Culimo, y la baja efectividad en mejorar las coberturas, no fue implementado en como una acción del PEGH.

Otro punto importante, es que ninguna acción logra una cobertura superior al 85%, a excepción de la desalación, lo cual hace aumentar el costo por metro cúbico. Esto induce a concluir que la cuenca se encuentra en un estado deficitario y que la solución a futuro no será sencilla, ni a corto, mediano ni largo plazo en caso que continúe con estos niveles de demanda. Solo se podría mejorar la condición de la cuenca una gestión de la cuenca que vaya orientada al uso organizado del agua y aumento de la eficiencia en su uso.