



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

PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA ESTERO CASABLANCA

INFORME FINAL

REALIZADO POR:

**PLATAFORMA DE INVESTIGACIÓN EN ECOHIDROLOGÍA
Y ECOHIDRÁULICA LIMITADA - ECOHYD**

S.I.T N° 487

SANTIAGO, DICIEMBRE 2021

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

**Ministro de Obras Públicas
Ingeniero Civil Sr. Alfredo Moreno Charme**

**Director General de Aguas
Ingeniero Comercial Sr. Óscar Cristi Marfil**

**Jefe División Estudios y Planificación
Ingeniero Civil Sr. Mauricio Lorca Miranda**

**Inspectora Fiscal
Ingeniera Agrícola Sra. Pamela García Serrano**

**Inspector/as Fiscales Subrogantes
Ingeniera Civil Sra. Andrea Osses Vargas
Geógrafa Sra. Ximena Molina Tudesca
Ingeniero Civil Agrícola Sr. Héctor Neira Opazo**

**PLATAFORMA DE INVESTIGACIÓN EN ECOHIDROLOGÍA Y ECOHIDRÁULICA
LIMITADA - ECOHYD**

**Jefa de Proyecto
Ingeniera Civil Sra. Diana Quevedo Tejada**

**Profesionales Equipo Especialistas
Bióloga Sra. Rafaela Retamal Díaz
Ingeniero Civil Sr. David Poblete López
Licenciada en Historia Sra. Viviana Chávez Mancilla
Ingeniera Civil Sra. Cecilia Urrutia Román
Ingeniero Civil Sr. Oscar Melo Contreras
Cartógrafo Sr. Pablo Jara Rodríguez**

**Profesionales Equipo Complementario
Biólogo Marino y Ambiental Sr. Shaw Lacy
Ingeniero Civil Sr. Felipe Figueroa Barrientos
Ingeniera Civil Sr. Macarena Casanova Torres
Ingeniero Civil Sr. Tomás Cabrera Oradines
Antropólogo Sr. Rodrigo Guerrero R.
Trabajador Social Sr. Lucas Rabí Blondel
Ingeniero Civil Sr. José Martínez Retamal
Ingeniero Civil Sr. Juan Pablo Herane Espinosa
Ingeniero Civil Sr. Manuel Carvalho Arrau
Ingeniero Civil Sr. Lenín Henríquez Dole
Geógrafo Sr. Carlos Olivares Gómez
Ingeniero Civil Sr. Matías Peredo Parada
Bióloga Marina Sra. Constanza Meriño Aburto
Bióloga Sra. Diana Bendek Quintero
Ingeniero en Recursos Naturales Sr. Marcelo Soto Moya**

ESTRUCTURA DEL INFORME FINAL 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 Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO	15
1.1	INTRODUCCIÓN	15
1.2	OBJETIVOS.....	17
1.2.1	Objetivo general.....	17
1.2.2	Objetivos específicos.....	17
2	CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA.....	19
2.1	UBICACIÓN	19
2.2	DIMENSIÓN FÍSICA Y ECONÓMICA	21
2.2.1	Geomorfología	21
2.2.2	Geología.....	23
2.2.3	Red de drenaje superficial y acuíferos	25
2.2.4	División político-administrativa.....	27
2.2.5	Demografía	29
2.2.6	Actividad económica	32
2.2.7	Uso de suelo	36
2.3	Clima.....	39
2.3.1	Caracterización climática	39
2.3.2	Eventos extremos y variabilidad climática	42
2.3.3	Escenarios de cambio climático	43
2.4	Dimensión ambiental	46
2.4.1	Ecosistemas terrestres	46
2.4.2	Ecosistemas de aguas continentales o ecosistemas dulceacuícolas.....	49
2.4.3	Áreas bajo protección oficial y otras figuras de conservación	51
2.4.4	Glaciares	54
2.5	Infraestructura hídrica.....	54
2.5.1	Obras hidráulicas.....	54
2.5.2	Red medición DGA.....	61
2.5.3	Redes de medición de otras instituciones	69
2.6	Nuevas fuentes	71
2.6.1	Acuíferos profundos	71
2.6.2	Recarga de acuíferos.....	71
2.6.3	Desalinización	72
2.6.4	Cosecha de aguas lluvias.....	72
2.6.5	Usos de aguas servidas tratadas.....	72
2.7	Gobernanza del agua a nivel de cuenca.....	72
2.7.1	Mapa de actores.....	74
2.7.2	Brechas.....	77

3	<u>DEMANDA FÍSICA Y LEGAL DIFERENTES USOS</u>	<u>83</u>
3.1	Uso humano	83
3.1.1	Agua potable urbana	83
3.1.2	Agua potable rural	86
3.1.3	Derechos de agua para uso humano	89
3.1.4	Consumo de agua potable por camiones aljibes	90
3.2	Necesidades mínimas ambientales	92
3.2.1	Consideración de sistemas protegidos	92
3.2.2	Derechos de agua para el medio ambiente	93
3.3	Demanda agrícola	94
3.3.1	Zonas de riego modeladas	95
3.3.2	Cultivos modelados	97
3.3.3	Evapotranspiración y Demanda Hídrica	100
3.3.4	Estimación demanda	101
3.3.5	Eficiencia de métodos de riego	102
3.3.6	Ineficiencia de conducción/canales	103
3.4	Demanda industrial y derechos	103
3.5	Otras demandas	105
3.6	Resumen demandas	106
4	<u>OFERTA HÍDRICA</u>	<u>111</u>
4.1	Agua superficial	111
4.1.1	Fuentes	111
4.1.2	Oferta en la fuente actual	114
4.1.3	Oferta en la fuente proyectada	116
4.1.4	Calidad actual	118
4.1.5	Fuentes de contaminación	122
4.1.6	Derechos de concedidos	124
4.2	Agua subterránea	124
4.2.1	Sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común SHAC	125
4.2.2	Stock, recarga y niveles	130
4.2.3	Fuentes de contaminación	139
4.2.4	Derechos concedidos	142
5	<u>BALANCE DE AGUA</u>	<u>146</u>
5.1	Modelo de simulación	146
5.1.1	Situación actual, escenario <i>Reference</i> (1980-2020)	149
5.1.2	Situación proyectada, escenario Futuro Base (2020-2050)	152
5.1.3	Balance histórico actual	158
5.1.4	Balance hídrico proyectado	163
5.2	Brechas de balance de agua	166
5.3	Sustentabilidad	169
5.3.1	Criterio de sustentabilidad 1	169
5.3.2	Criterio de sustentabilidad 2	170
5.3.3	Criterio de sustentabilidad 3	172
5.3.4	Resumen de criterios	172
5.4	Indicadores hídricos de la cuenca	173

5.4.1	Cobertura de demanda [%]	173
5.4.2	Variación de la profundidad de pozos de APRs	180
5.5	Análisis de sensibilidad de Escenarios Futuros (2020-2050)	186
5.5.1	Brechas.....	188
5.5.2	Coberturas de la demanda [%]	194
5.5.3	Análisis de sensibilidad de profundidad de pozos de APRs.....	195
5.6	Mercado de Aguas	198
5.6.1	Evolución histórica.....	199
5.6.2	Análisis de transacciones depuradas.....	201
5.6.3	Caudales transados	202
6	<u>ACCIONES DEL PLAN</u>	<u>206</u>
6.1	Medidas de gestión	207
6.1.1	Gobernanza	207
6.1.2	Fortalecimiento de Organizaciones de Usuarios de Agua.....	211
6.1.3	Sistemas de Información	214
6.1.4	Mejoras de eficiencia.....	217
6.1.5	Capital humano.....	219
6.2	Nuevas fuentes de agua	221
6.3	Infraestructura hidráulica	223
6.4	Otras medidas.....	225
7	<u>CARTERA DE INICIATIVAS PROPUESTAS.....</u>	<u>228</u>
7.1	Impacto sobre la brecha	231
7.2	Beneficio percibido por los actores locales.....	232
7.3	Evaluación económica	233
7.4	Alternativas seleccionadas.....	234
7.5	Evaluación conjunta del plan.....	237
7.6	Líneas de acción.....	239
7.6.1	Ejecutora o mandante DGA.....	239
7.6.2	Otras instituciones.....	240
7.7	Valorización económica del Plan Estratégico de Gestión Hídrica	241
7.7.1	Distribución de costos por actores.....	244
7.8	Cronograma de las soluciones.....	245
8	<u>IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN.....</u>	<u>247</u>
8.1	Hitos de referencia en la implementación del Plan	247
8.2	Estrategia de implementación	248
8.2.1	Estructura del Plan de Gestión.....	248
8.2.2	Aspectos de cultura del agua.....	252
8.2.3	Aspectos de financiamiento.....	253
8.3	Estrategia de comunicación.....	254
8.3.1	Público objetivo.....	254
8.3.2	Contenidos a comunicar	254
8.3.3	Medios de comunicación	254
8.4	Identificación de fuentes de financiamiento del PEGH.....	255
9	<u>MONITOREO Y EVALUACIÓN DEL PLAN.....</u>	<u>258</u>
9.1	Plan de monitoreo	258

9.1.1	Indicadores	258
9.1.2	Seguimiento	262
9.2	Mecanismos para el análisis y toma de decisiones	262
10	<u>ASPECTOS NORMATIVOS</u>	<u>263</u>

ÍNDICE DE FIGURAS

Página

Figura 1-1. Mapa conceptual metodológico del Plan Estratégico de Gestión Hídrica en la Cuenca Estero Casablanca.	16
Figura 2-1. Área de estudio.	20
Figura 2-2. Geomorfología de la zona de estudio.	22
Figura 2-3. Geología de la zona de estudio.	24
Figura 2-4. Red de drenaje y acuífero en la cuenca.	26
Figura 2-5. Curva hipsométrica cuenca Estero Casablanca.	27
Figura 2-6. División político-administrativa de la cuenca.	28
Figura 2-7. Comparación Índice de Desarrollo Comunal, Comuna de Casablanca y Región de Valparaíso, 2020.	31
Figura 2-8. Distribución del uso de suelo no urbano de la comuna de Casablanca al año 2013 según la Corporación Nacional Forestal.	33
Figura 2-9. Distribución de usos de suelo reclasificado al año 2019 para la cuenca.	38
Figura 2-10. Climograma representativo cuenca Estero Casablanca. Estación AGROMET “Casablanca”, intervalo 2010-2020.	40
Figura 2-11. Precipitaciones totales anuales (1980-2019) en estaciones DGA en la zona de estudio.	41
Figura 2-12. Eventos extremos de tipo climático (1970-2020) en la cuenca Estero Casablanca.	42
Figura 2-13. Variación de eventos extremos (1970-2019) en la cuenca Estero Casablanca.	43
Figura 2-14. Precipitación anual para los períodos histórico (1985-2015) y escenarios futuros (2020-2050). ...	44
Figura 2-15. Temperatura media anual los período histórico (1985-2015) y escenarios futuros (2020-2050)...	44
Figura 2-16. Gráficos de caja para los valores anuales de precipitación para escenario histórico y cuatro GCMs. La línea negra punteada indica el promedio del periodo histórico.	45
Figura 2-17. Gráficos de caja para los valores anuales de temperatura para escenario histórico y cuatro GCMs. La línea negra punteada indica el promedio del periodo histórico.	46
Figura 2-18. Los pisos vegetacionales según Pliscoff potenciales en la cuenca Estero Casablanca.	48
Figura 2-19. Tipos de territorios inundados dentro de la cuenca Estero Casablanca.	50
Figura 2-20. Áreas protegidas dentro de la cuenca Estero Casablanca.	53
Figura 2-21. Canales principales de la cuenca Estero Casablanca.	56
Figura 2-22. Ubicación de los Servicios Sanitarios Rurales (SSR) y la Empresa Sanitaria ESVAL.	58
Figura 2-23. Ubicación de las estaciones meteorológicas DGA ubicadas en la cuenca y alrededores.	62
Figura 2-24. Ubicación de estaciones de niveles en pozos DGA.	64
Figura 2-25. Distribución geográfica de las estaciones de calidad de agua subterránea.	68
Figura 2-26. Ubicación estaciones meteorológicas de la red AGROMET.	70
Figura 2-27. Mapa de actores vinculados a la gestión del agua en la cuenca Estero Casablanca.	76
Figura 2-28. Total de caudales otorgados acumulados en la cuenca de Casablanca entre los años 1993 y 2013.	79
Figura 3-1. Esquema general de la metodología para estimación de demanda actual y futura de agua potable urbana.	84
Figura 3-2. Proyección de la población y demanda de agua potable urbana.	85
Figura 3-3. Diagrama general de la metodología para uso agua potable rural.	87
Figura 3-4. Proyección de la población y demanda rural.	88

Figura 3-5. Nodo de demanda de camión aljibe.....	92
Figura 3-6. Caudal ecológico mensual por SHAC, Estero Casablanca.	94
Figura 3-7. Diagrama general de la metodología para uso agrícola.	95
Figura 3-8. Distribución en porcentaje de las categorías de uso de suelo por SHAC para el año 2019.....	97
Figura 3-9. Cobertura vegetal usada en la modelación hidrológica integrada.....	99
Figura 3-10. Demanda agrícola por cultivo.	100
Figura 3-11. Evolución demanda industrial.....	104
Figura 3-12. Serie de demandas forestales en la cuenca Estero Casablanca (1979-2019).....	106
Figura 3-13. Demanda anual del sector agrícola bajo riego [hm ³ /año] en la cuenca Estero Casablanca durante el periodo 1980-2050.....	107
Figura 3-14. Demanda anual en SSR/APU [hm ³] en la cuenca Estero Casablanca durante el periodo 1980-2050.	108
Figura 3-15. Comparación de las demandas hídricas estimadas por uso para la cuenca Estero Casablanca, en hm ³	109
Figura 3-16. Demanda agrícola bajo riego a 2019 en [hm ³].	110
Figura 4-1. Cantidad histórica de decretos de escasez en la cuenca Estero Casablanca.	113
Figura 4-2. Precipitación y evapotranspiración histórica, cuenca Estero Casablanca.	114
Figura 4-3. Curvas de variación estacional, producto CR2MET y GCM MIROC, escenarios histórico y futuro.	116
Figura 4-4. Precipitación y evapotranspiración proyectada (2020-2050), cuenca Estero Casablanca.	117
Figura 4-5. Distribución geográfica de los puntos de muestreo de calidad de agua superficial en la cuenca Estero Casablanca.....	120
Figura 4-6. Sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común SHAC en la cuenca Estero Casablanca.	126
Figura 4-7. Zonificación hidrogeológica en la cuenca Estero Casablanca.	127
Figura 4-8. Áreas de restricción y zonas de prohibición para extracciones de aguas subterráneas en la cuenca Estero Casablanca.....	129
Figura 4-9. Volumen extraíble de subcuenca La Vinilla-Casablanca.....	131
Figura 4-10. Volumen extraíble de subcuenca Lo Orozco.	132
Figura 4-11. Volumen extraíble de subcuenca Lo Ovalle.	133
Figura 4-12. Volumen extraíble de subcuenca Los Perales.	134
Figura 4-13. Hidrograma Plaza Peaje Zapata.....	135
Figura 4-14. Diagramas Piper (izquierdo) y Stiff (derecho) de las estaciones SSR dentro de la cuenca Estero Casablanca para estaciones SSR La Playa (código 05520031-9), SSR Lo Ovalle (05520032-7), SSR Mundo Nuevo (05520033-5), SSR Tapihue (05520034-3) y SSR Paso Hondo Casa Blanca (05520035-1).....	137
Figura 4-15. Usos del suelo por SHAC y localización de estaciones de monitoreo de calidad de agua subterránea.....	141
Figura 4-16. Serie temporal de caudales otorgados por DGA.	145
Figura 5-1. Esquema de representación de los elementos WEAP.	148
Figura 5-2. Resultados de calibración pozos monitoreados por DGA, promedio histórico 1980-2020 simulado vs. observado.	150
Figura 5-3. Resultados de caudales simulados en Estero Casablanca en sector Las Dichas, 1980-2020.	151
Figura 5-4. Resultados de caudales simulados en estero Lo Orozco en Santa Rita, periodo 1980-2020.....	152
Figura 5-5. Escenarios modelados en WEAP.	153
Figura 5-6. Demanda anual simulada para el sector agrícola bajo riego [hm ³ /año] en la cuenca Estero Casablanca durante el periodo 1980-2050.	156

Figura 5-7. Demanda anual en APR/APU [hm ³] en la cuenca Estero Casablanca durante el periodo 1980-2050.	157
Figura 5-8. Variables consideradas en el balance hídrico por cuenca o SHAC.	160
Figura 5-9. Balance Hídrico anual para el período 1980-2019 en la cuenca Estero Casablanca.	162
Figura 5-10. Brecha anual en el sector agrícola hm ³ /año en la cuenca Estero Casablanca durante el período 1980-2050.	167
Figura 5-11. Brecha anual de las APRs (hm ³ /año) en la cuenca Estero Casablanca durante el período 1980-2050.	168
Figura 5-12. Definición del concepto de cobertura de la demanda.	174
Figura 5-13. Cobertura de la demanda en el sector agrícola bajo riego en la cuenca Estero Casablanca durante el período 1980-2050.	175
Figura 5-14. Cobertura de la demanda decadal en el sector Agrícola bajo riego en la cuenca Estero Casablanca durante el período 2000-2050.	176
Figura 5-15. Cobertura de la demanda en el sector SSR en la cuenca Estero Casablanca durante el período 1980-2050.	177
Figura 5-16. Cobertura de la demanda decadal en las APRs en la cuenca Estero Casablanca durante el período 1980-2050.	178
Figura 5-17. Variación decadal de la cobertura de demanda agrícola (p85%) y agua potable (p99%) para la cuenca Estero Casablanca durante el período 1980-2050.	179
Figura 5-18. Comparación entre las demandas agregadas de APRs sobre las celdas activas (línea segmentada amarilla) y las brechas generadas con los pozos a profundidades de 30m, 15m, 10m y 7m.	181
Figura 5-19. Cobertura de la demanda bajo el escenario de pozos de 30m de profundidad.	182
Figura 5-20. Cobertura de la demanda bajo el escenario de pozos de 15m de profundidad.	182
Figura 5-21. Cobertura de la demanda bajo el escenario de pozos de 10m de profundidad.	183
Figura 5-22. Cobertura de la demanda bajo el escenario de pozos de 7m de profundidad.	183
Figura 5-23. Serie de tiempo de las brechas anuales en todas las APRs simuladas bajo el escenario del Plan y pozos de extracción de 7m de profundidad.	185
Figura 5-24. Brecha agrícola anual para distintos escenarios, basados en el Futuro Base, periodo 1980-2050.	189
Figura 5-25. Brecha agrícola para escenarios Futuro Base y Plan, periodo 1980-2050.	189
Figura 5-26. Cobertura de la demanda agrícola para escenarios Futuro Base y Plan, periodo 1980-2050.	190
Figura 5-27. Brecha APR anual para distintos escenarios, basados en el Futuro Base, periodo 1980-2050.	191
Figura 5-28. Brecha anual SSR para escenarios Futuro Base y Plan.	192
Figura 5-29. Cobertura anual para el Futuro Base y el escenario PLAN.	192
Figura 5-30. Diferencia en la brecha de Agua Potable entre el escenario Futuro Base y de Parcelaciones, suponiendo pozos de extracción de 7m de profundidad.	195
Figura 5-31. Comparación entre las demandas agregadas de APRs sobre las celdas activas (línea segmentada amarilla) y las brechas generadas con los pozos a profundidades de 7m con y sin PLAN.	196
Figura 5-32. Cobertura de la demanda bajo el escenario de PLAN con pozos de APRs de 7m de profundidad.	197
Figura 5-33. Distribución anual del número de DAA transados en Estero Casablanca, periodo de Fecha de Inscripción en CBR entre 1982-2017.	200
Figura 5-34. Distribución anual del caudal promedio transado en Estero Casablanca, periodo de Fecha de Inscripción en CBR entre 2005-2016.	203
Figura 6-1. Estructura temática de las iniciativas propuestas en el PEGH.	206

Figura 7-1. Criterios considerados para la priorización de las actividades a implementar en el Plan Estratégico.	229
Figura 7-2. Metodología de obtención del CAPEX (Capital Expenditure) y OPEX (Operational Expenses).	233
Figura 7-3. Distribución de la priorización de acciones.....	237
Figura 7-4. Distribución de los costos de implementación y operación en USD por área temática de las acciones pertenecientes al Plan.....	242
Figura 7-5. Distribución de los costos de implementación y operación del PEGH.	243
Figura 7-6. Distribución del costo anual del Plan en USD.	244
Figura 7-7. Línea de tiempo de ingreso de las iniciativas en el Plan.....	246
Figura 8-1. Estructura del Plan Estratégico.	249
Figura 8-2. Gobernanza del agua propuesto.	251

ÍNDICE DE TABLAS

Página

Tabla 2-1. Superficie de las comunas en la cuenca de estudio para estimación de la población rural.	29
Tabla 2-2. Población rural de la cuenca Estero Casablanca.	30
Tabla 2-3. Población urbana de la cuenca Estero Casablanca.	30
Tabla 2-4. Índice de Desarrollo Comunal para Casablanca, año 2020.	31
Tabla 2-5. Ventas anuales, en UF, por rubro económico en la comuna de Casablanca durante los años 2018 y 2019.	33
Tabla 2-6. Número de trabajadores y empresas por rubro en la comuna de Casablanca, año 2018.	34
Tabla 2-7. Número de trabajadores por tamaño de empresa en la comuna de Casablanca, años 2014-2016.	36
Tabla 2-8. Esquema de clasificación del IGBP, superficie al 2019 y correspondencia con categoría reclasificada en el Plan en cuenca Estero Casablanca.	36
Tabla 2-9. Tasa de decaimiento precipitaciones anuales (1979-2019).	41
Tabla 2-10. Tipos de pisos vegetacionales y sus extensiones geográficas dentro de la cuenca Estero Casablanca.	47
Tabla 2-11. Evaluación de las extensiones de áreas inundados dentro de la cuenca hidrográfica del Estero Casablanca.	49
Tabla 2-12. Tipos de áreas bajo protección oficial y otras figuras de conservación del paisaje dentro de la cuenca Estero Casablanca.	52
Tabla 2-13. Características de los embalses presentes en la cuenca Estero Casablanca.	54
Tabla 2-14. Detalle SSR y APU en la cuenca Estero Casablanca.	59
Tabla 2-15. Registro de estaciones de control DGA en la cuenca Estero Casablanca.	61
Tabla 2-16. Estaciones meteorológicas administradas por DGA.	63
Tabla 2-17. Estaciones niveles de pozos DGA.	65
Tabla 2-18. Estaciones de monitoreo de calidad de agua subterránea de la DGA dentro de la cuenca Estero Casablanca.	67
Tabla 2-19. Estaciones meteorológicas AGROMET.	69
Tabla 2-20. Total de caudal asignado en el año 2015, por subcuenca en la Cuenca Estero Casablanca.	79
Tabla 3-1. Demanda urbana actual y proyectada el SHAC La Vinilla-Casablanca.	85
Tabla 3-2. Demanda rural actual y proyectada por SHAC.	88
Tabla 3-3. Derechos de agua subterráneos asociados al consumo humano.	89
Tabla 3-4. Cuadro de reparto semanal de agua por camión aljibe.	90
Tabla 3-5. Área superficial de riego por SHAC cuenca Estero Casablanca en base a imágenes MODIS.	96
Tabla 3-6. Porcentaje de la superficie cultivada, respecto del área total de riego modelada por SHAC.	98
Tabla 3-7. Evolución histórica para diferentes superficies cultivadas entre 2001-2050.	102
Tabla 3-8. Eficiencias por método de riego.	103
Tabla 3-9. Caudal otorgado a DGA por Derechos por rubro.	104
Tabla 3-10. Estimación demanda forestal productiva y no productiva, promedios decadales.	105
Tabla 3-11. Demanda agrícola media anual en la cuenca Estero Casablanca.	107
Tabla 3-12. Demanda de agua potable media anual en la cuenca Estero Casablanca.	108
Tabla 4-1. Los decretos históricos de zonas de escasez que habían afectado la cuenca Estero Casablanca.	112
Tabla 4-2. Valores medios decadales de la disponibilidad natural en la cuenca Estero Casablanca.	115
Tabla 4-3. Disponibilidad natural SHAC's Estero Casablanca, año 2019.	115

Tabla 4-4. Valores medios decadales de la disponibilidad natural en la cuenca Estero Casablanca.	118
Tabla 4-5. Disponibilidad natural proyectada por SHAC.....	118
Tabla 4-6. Resumen del cumplimiento de los parámetros de calidad de agua superficial en el Humedal Tunquén con NCh 409/1 y NCh 1333.....	121
Tabla 4-7. Resumen DAA superficiales, cuenca Estero Casablanca.....	124
Tabla 4-8. Las resoluciones de área de restricción y zona de prohibición para extracciones de aguas subterráneas dentro de la cuenca Estero Casablanca.....	128
Tabla 4-9. Volumen acuífero en los SHACs La Vinilla, Lo Ovalle, Lo Orozco y Los Perales.....	130
Tabla 4-10. El número de muestras anuales de cada estación de calidad de agua subterránea dentro de la cuenca hidrográfica del Estero Casablanca.....	136
Tabla 4-11. Parámetros no cumplidos o sobrepasados entre las estaciones de calidad de agua subterráneas de la cuenca hidrográfica del Estero Casablanca.	138
Tabla 4-12. Evaluación de ICA general en cada estación de la cuenca Estero Casablanca para cada año con datos disponibles.	139
Tabla 4-13. Número de estaciones de calidad de agua subterránea que no cumplen con las normativas de calidad del agua para los parámetros superados.	139
Tabla 4-14. Porcentaje de uso del suelo agrícola por SHAC para el año 2019.	142
Tabla 4-15. Caudales sustentables sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común en la cuenca Estero Casablanca.	143
Tabla 4-16. Derechos de aprovechamiento de agua subterránea otorgados.	143
Tabla 4-17. Factor de sobre otorgamiento por SHAC.	144
Tabla 5-1. Demanda agrícola media anual en la cuenca Estero Casablanca, décadas 1980-2040.	156
Tabla 5-2. Demanda de agua potable media anual en la cuenca Estero Casablanca durante el periodo 1980- 2050.	157
Tabla 5-3. Balance histórico hidrogeológico en. [l/s] en el periodo 1979-2019.....	158
Tabla 5-4. Variables de interacción WEAP-MODFLOW.....	161
Tabla 5-5. Balance Hídrico decadal 1980-2010 en la cuenca Estero Casablanca [mm/año].	163
Tabla 5-6. Balance proyectado hidrogeológico en [l/s], periodo 2020-2050.	164
Tabla 5-7. Brecha promedio anual del sector agrícola presentada en forma de promedios decadales ($\text{hm}^3/\text{año}$).....	167
Tabla 5-8. Brecha promedio decadal de agua potable ($\text{hm}^3/\text{año}$).	168
Tabla 5-9. Evaluación del criterio de sustentabilidad 1.	170
Tabla 5-10. Evaluación del criterio de sustentabilidad 2.	171
Tabla 5-11. Caudales de demanda y oferta por SHAC, año 2050.	172
Tabla 5-12. Resumen de criterios de sustentabilidad por SHAC	173
Tabla 5-13. Cobertura de la demanda agrícola presentada en forma de promedios decadales [%].	178
Tabla 5-14. Cobertura de la demanda de Agua Potable presentada en forma de promedios decadales [%]. .	179
Tabla 5-15. Brechas APR estimadas de las APR sobre el acuífero modelado con MODFLOW suponiendo distintas profundidades de pozos ($\text{hm}^3/\text{año}$)	184
Tabla 5-16. Escenarios generados para simulación de efectividad de las medidas.	186
Tabla 5-17. Escenarios base generados para simulación de efectividad de las medidas.	187
Tabla 5-18. Promedio decadal de brechas agrícolas [$\text{hm}^3/\text{año}$].	193
Tabla 5-19. Promedio decadal de brechas APR [$\text{hm}^3/\text{año}$].	193
Tabla 5-20. Promedio decadal de cobertura de la demanda agrícola [%].	194
Tabla 5-21. Promedio decadal de cobertura de la demanda APR [%].	194

Tabla 5-22. Brechas calculadas de las APR sobre el acuífero (S01 a S04) suponiendo distintas profundidades de pozos (hm ³ /año).....	198
Tabla 5-23. Tabla comparativa de la Cobertura de la Demanda entre los escenarios con pozos de 7m de profundidad considerando la proyección climática (Futuro Base) pero también las acciones del Plan (PLAN).....	198
Tabla 5-24. Número de transacciones totales y por características no indicadas según naturaleza del DAA en la cuenca Estero Casablanca, años 1982 – 2017.	199
Tabla 5-25. Aplicación incremental de criterios de depuración para transacciones en Estero Casablanca.	201
Tabla 5-26. Transacciones depuradas por tipo de ejercicio del DAA.....	202
Tabla 5-27. Comparación entre el caudal total concedido y el caudal total de transacciones depuradas en la cuenca Estero Casablanca.....	204
Tabla 5-28. Resultado de las transacciones de los DAA en Estero Casablanca.	204
Tabla 5-29. Ofertas de venta de DAA en plataformas digitales.	205
Tabla 6-1. Resumen de las acciones necesarias para disminuir las brechas identificadas sobre la gobernanza en cuenca Estero Casablanca.	209
Tabla 6-2. Resumen de las acciones necesarias para disminuir las brechas identificadas en las OUA en el Estero Casablanca.....	212
Tabla 6-3. Resumen de las acciones identificadas sobre la carencia de información para la caracterización del recurso hídrico en el Estero Casablanca.	215
Tabla 6-4. Resumen de la acción necesaria sobre el aumento en la eficiencia de riego identificada sobre la demanda insatisfecha en el Estero Casablanca.	218
Tabla 6-5. Resumen de las acciones identificadas sobre las debilidades en capital humano asociadas a OUA el Estero Casablanca.....	220
Tabla 6-6. Resumen de las acciones necesarias sobre la incorporación de nuevas fuentes identificadas sobre la demanda insatisfecha en el Estero Casablanca.	222
Tabla 6-7. Resumen de la acción necesaria sobre el desarrollo de infraestructura hidráulica que permita disminuir la demanda insatisfecha en el Estero Casablanca.	224
Tabla 6-8. Resumen de las acciones identificadas sobre las debilidades asociadas a medio ambiente y normatividad, entre otros en el Estero Casablanca.	226
Tabla 7-1. Regla de priorización de las acciones.....	231
Tabla 7-2. Brechas y cobertura de la demanda determinadas en la cuenca para los escenarios Futura Base MIROC y PLAN, valores promedio década 2040.	232
Tabla 7-3. Priorización de las iniciativas definidas.	234
Tabla 7-4. Brecha promedio determinada para el periodo histórico 1980-2020 y escenarios Futuro Base MIROC y PLAN en el periodo 2020-2050.	238
Tabla 7-5. Cobertura de la demanda promedio determinada para el periodo histórico (1980-2020) y escenarios Futuro Base MIROC y PLAN en el periodo 2020-2050.....	239
Tabla 7-6. Distribución de costos por actores y plazos.	244
Tabla 8-1. Hitos del Plan de acuerdo con el plazo de ejecución.....	247
Tabla 8-2. Rol de las instituciones sectoriales y regionales en la implementación del Plan.....	249
Tabla 8-3. Fuentes de financiamiento para la ejecución del PEGH.	255
Tabla 9-1. Indicadores del PEGH.....	259
Tabla 9-2. Descripción de los indicadores de impacto.....	260

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO

A continuación, se presenta la introducción al Plan Estratégico de Gestión Hídrica en la cuenca Estero Casablanca (en adelante PEGH), y los objetivos general y específicos abordados en el desarrollo de este Plan.

1.1 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 (IPCC, 2014), que acentúan procesos como la megasequía que se vive en Chile desde 2010 (Núñez y Verbist, 2018).

Considerando lo anterior, la Dirección General de Aguas dio paso a una iniciativa a nivel país, para llevar a cabo el desarrollo de planes estratégicos en 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 Estero Casablanca 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.

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 SIG.

Se inició con la caracterización y descripción de la cuenca en aspectos físicos, geográficos, clima, recursos superficiales y subterráneos, infraestructura, calidad de agua, medio ambiente y gobernanza en institucionalidad.

A continuación, se mostrará el diagnóstico de la cuenca al momento del estudio y a 30 años adelante, pudiendo determinar la brecha existente entre un estado ideal de la cuenca y el estado actual diagnosticado. Para el desarrollo del diagnóstico fue fundamental la aplicación de entrevistas, reuniones sectoriales y talleres de diagnóstico, actividades de Participación Ciudadana.

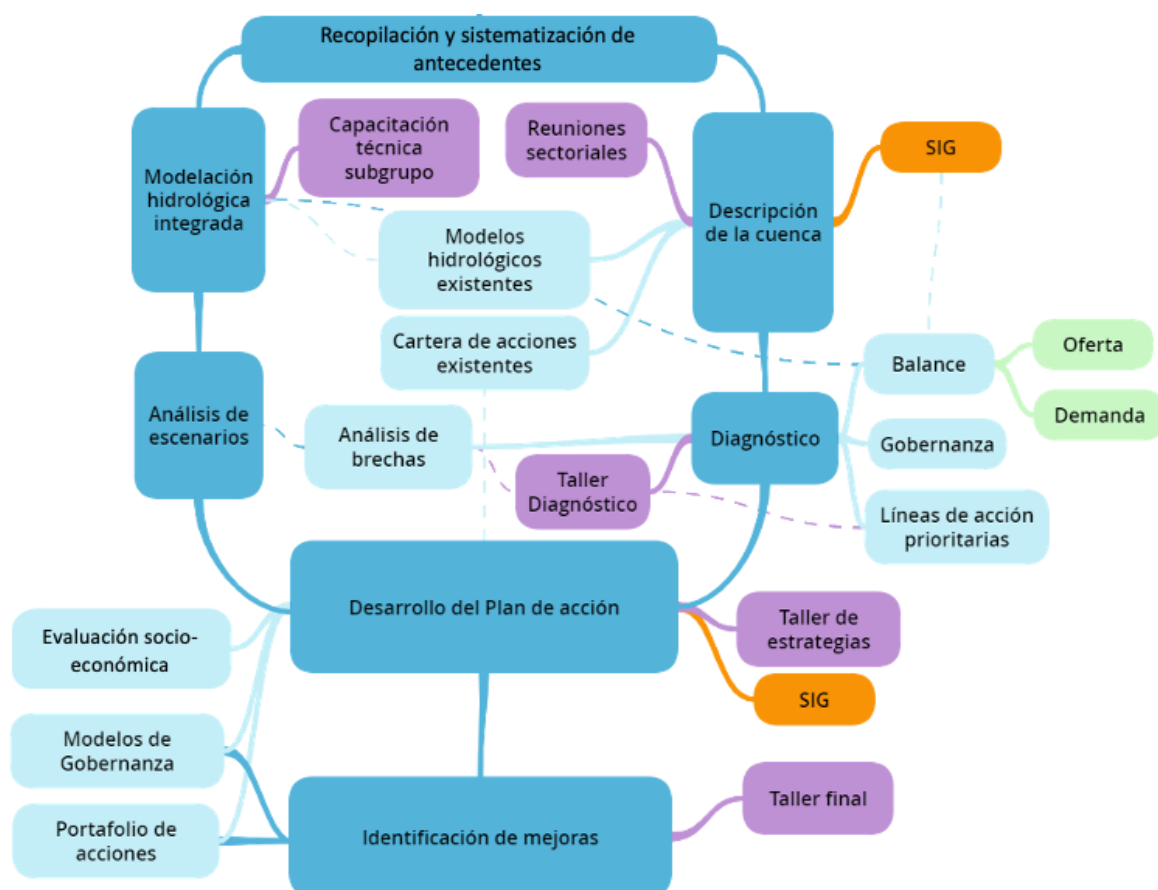


Figura 1-1. Mapa conceptual metodológico del Plan Estratégico de Gestión Hídrica en la Cuenca Estero Casablanca.

Fuente: Elaboración propia a partir de los requerimientos planteados en las Bases Técnicas 1019-72-LQ20 (Resolución D.G.A. Exenta 1554, 03 de septiembre de 2020).

De forma simultánea se desarrolló la modelación superficial en la plataforma WEAP, la modelación hidrogeológica en MODFLOW, y la integración de ambos modelos y la elaboración del sistema de información geográfica del PEGH.

Los productos obtenidos de la modelación fueron 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. Por su parte, las instancias de participación ciudadana fueron fundamentales, 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, iniciando por la creación de un portafolio de acciones que pretenden cerrar las brechas identificadas, su priorización en términos económicos, temporales y de impacto en la brecha y la definición de las instituciones y actores involucrados, para finalmente disponer de una hoja de ruta realizable y medible a corto, mediano y largo plazo, dirigido a DGA, DOH, Ministerio de Medioambiente, Ministerio de Agricultura, Ministerio de Energía, Ministerio de Minería, Organizaciones de Usuarios de Aguas, Gobiernos Regionales, Empresas privadas, sólo para mencionar los principales actores involucrados en la gestión eficiente del agua y la adaptación de las diversas actividades de desarrollo socioeconómico y medioambiental al cambio climático.

Este PEGH evalúa la cantidad y calidad de los recursos hídricos necesarios para todas las actividades y usos presentes en la cuenca, priorizando el consumo humano, otorgando un uso sustentable del recurso para así poder satisfacer las necesidades actuales y de futuras generaciones.

1.2 OBJETIVOS

A continuación, se presentan los objetivos general y específicos de este estudio:

1.2.1 Objetivo general

Proponer un plan estratégico indicativo para la cuenca Estero Casablanca, que considere las particularidades de sus recursos hídricos, para así (i) conocer oferta y demanda histórica, actual y potencial de agua, (ii) establecer balance hídrico y sus proyecciones a 30 años, (iii) diagnosticar el estado de información, infraestructura e instituciones que toman decisiones respecto al recurso hídrico, y (iv) proponer cartera de acciones DGA y de terceros público-privados, que permitan suplir la demanda de agua y adaptación al cambio climático, con un portafolio de acciones que aseguren la sustentabilidad en cantidad y calidad, y mejoren la gestión u gobernanza de las aguas a nivel de cuencas.

1.2.2 Objetivos específicos

1. Conocer el estado actual de la cuenca Estero Casablanca en cuanto a oferta hídrica, demanda hídrica, balance de agua (tanto en cuanto a sus derechos de aprovechamiento de aguas, como a sus demandas de agua) y sus respectivas herramientas de cálculo y estimación (modelos), control de extracciones, calidad bio-físico-química de fuentes de agua superficiales y subterráneas, gobernanza y

- gestión del agua a nivel de la cuenca y red hidrométrica superficial, subterránea, de calidad, de glaciología y nieves.
2. Construir y/o actualizar los modelos de simulación hidrológicos de la cuenca, y su integración a nivel superficial-subterráneo.
 3. Determinar 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 el 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 superficiales y acuíferos en el tiempo.
 5. Diagnosticar el estado de infraestructura hidráulica presente (estado de funcionamiento, antigüedad y confiabilidad de los sistemas) y proponer acciones tendientes a mejorar el monitoreo de las aguas de la cuenca (superficial, subterránea, de montaña y glaciares).
 6. Identificar brechas entre oferta y demanda de agua en distintos escenarios de cambio climático, sequía e inundaciones, estableciendo un portafolio de acciones (estrategias de gestión) para reducirlas, estableciendo 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 deberán tener escenarios de planificación a corto, mediano y largo plazo, y ser adaptativos en el tiempo.
 8. Entregar estrategias para promover la conformación de las organizaciones de usuarios y fortalecer las existentes, promover y revitalizar la alianza público-privada, contemplando aspectos de gobernanza, plataformas de servicios de información y mercados de derechos de agua, para así incrementar cualitativamente la inversión requerida en infraestructura e investigación

2 CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA

La creación de un plan estratégico de gestión hídrica PEGH implicó un conjunto de etapas con una lógica estructural que permitió a lo largo de su consecución obtener esta hoja de ruta que facilite y promueva la gestión integrada. La primera etapa para avanzar hacia el PEGH, tuvo como objetivo determinar el conjunto de actores involucrados de forma pasiva o activa en el proceso de gestión. La segunda etapa tuvo como objetivo realizar un inventario del territorio lo más detallado posible a través de información secundaria, tal que, permitió al desarrollador del PEGH conocer al momento del desarrollo del estudio la cuenca en términos del entorno físico y su clima, calidad y cantidad del recurso hídrico actual y potencial, componente medio ambiental vinculada al potencial hídrico y su función ecosistémica e infraestructura hídrica existente y su estado.

A partir de esta caracterización del entorno físico y de los actores, es posible avanzar en la etapa siguiente de evaluación: la determinación de la oferta (capítulo 3) y la demanda hídrica (capítulo 4).

Es así como en el presente capítulo, se describen las principales características de la cuenca Estero Casablanca, tanto a nivel geográfico, como de aspectos político-administrativos, demográficos y relativos a su actividad económica. Asimismo, se recopilan las principales obras de infraestructura en materia hídrica existentes en la cuenca, con el fin de disponer de una visión del estado de inversión actual en diferentes ámbitos (obras de riego, agua potable, extracciones, red hidrométrica de la DGA). Se caracteriza a su vez, el conjunto de actores presentes en la cuenca, y su grado de interés e influencia entorno a la componente hídrica en la cuenca.

2.1 UBICACIÓN

La cuenca Estero Casablanca se ubica en la región de Valparaíso al sureste de la provincia de Valparaíso, principalmente en la comuna de Casablanca y una pequeña fracción en la comuna de Algarrobo. De forma alargada y orientación este-oeste, tiene un tamaño de 698,6 km², siendo el principal curso el Estero Casablanca que le da su nombre. En la zona de estudio se incluye la cuenca del estero el Jote que por proximidad hidrosociocultural se aborda en conjunto en junto con el Estero Casablanca. La Figura 2-1 presenta la localización de la zona de estudio compuesta por la cuenca Estero Casablanca y la cuenca del estero El Jote.

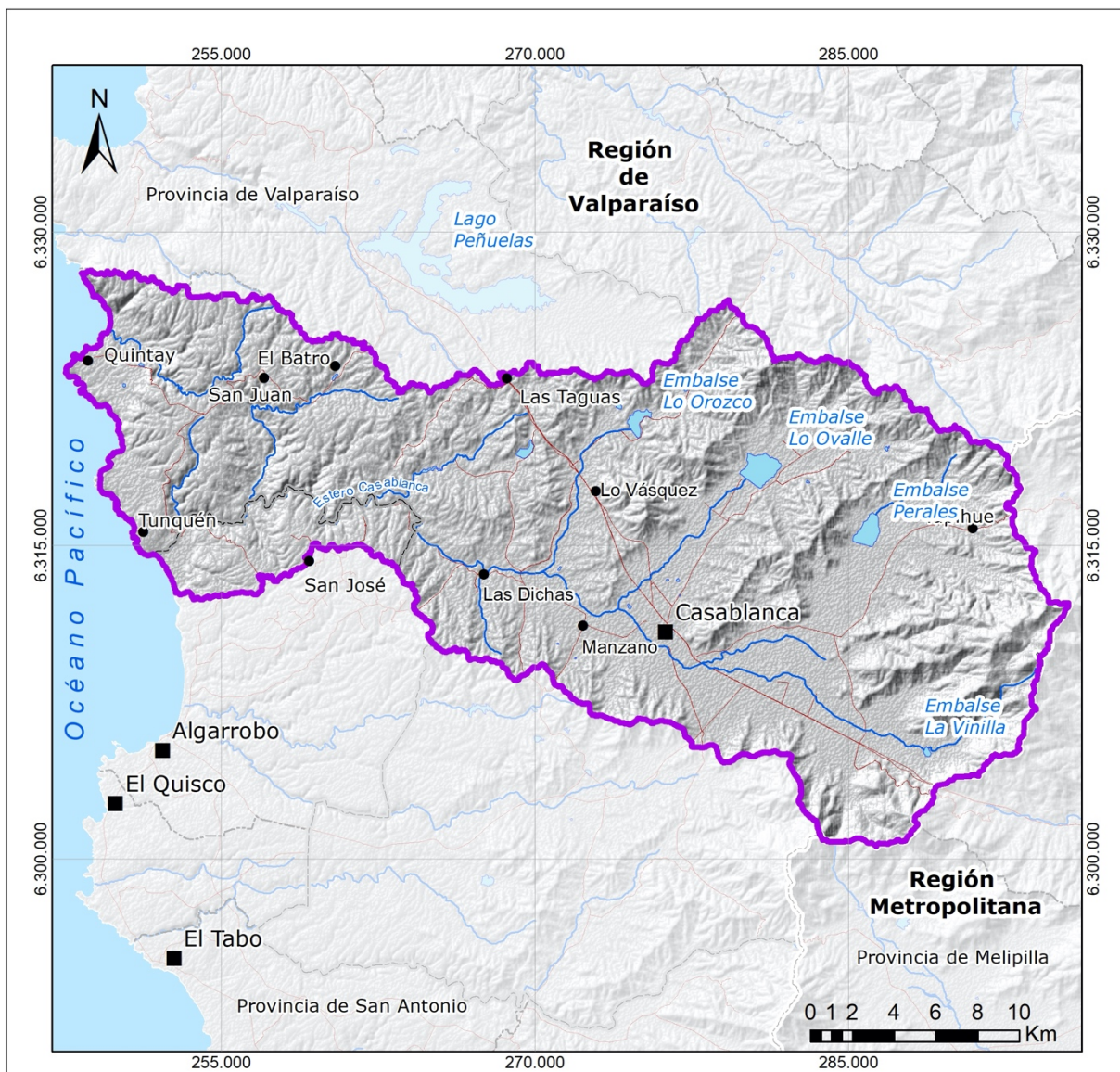


Figura 2-1. Área de estudio.

Fuente: Elaboración propia a partir de Mapoteca Digital DGA (DGA,2021f).

2.2 DIMENSIÓN FÍSICA Y ECONÓMICA

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

2.2.1 Geomorfología

La cuenca Estero Casablanca se emplaza en las unidades geomorfológicas definidas como Planicies Litorales y Batolito Costero, con límite natural al Este la Cordillera de la Costa, la cual se presenta como un macizo abrupto con pendientes superiores a 30° (ver Figura 2-2). El rango de altitudes en la cuenca varía de 0 a 1.500 m s.n.m., siendo el cerro Mauco de Vinilla la cumbre más alta con 1.421 m s.n.m. (Troncoso, 2006). En el rango de altitudes de 250 – 500 m s.n.m. se encuentran la mayoría de los poblados, unidad geomorfológica caracterizada por pendientes suaves (< 10°), a base de rellenos de fondos de valles, limitados por cordones montañosos de baja altitud (< 750 m s.n.m.).

La cuenca Estero Casablanca se ubica en la vertiente occidental de la Cordillera de la Costa a 240 m s.n.m., extendiéndose hasta las planicies litorales donde se ubican las localidades de Tunquén y Quintay. La cuenca está compuesta por la gran cuenca Casablanca-Vinilla caracterizada por una depresión tectónica asimétrica, y otras subcuencas menores, Los Perales de Tapihue, Lo Ovalle, Lo Orozco y Pitama, rellenadas de material sedimentario de diversas procedencias (Troncoso, 2006).

La unidad de planicies litorales se caracteriza por poseer superficies abrasivo-acumulativas, labradas sobre rocas metamórficas de la Formación Quintay y graníticas del Batolito costero. Hacia el sector de Quintay se distingue la unidad dunaria, la cual obstaculiza la salida al mar del estero Quintay (SEREMI-MINVU, 2013).

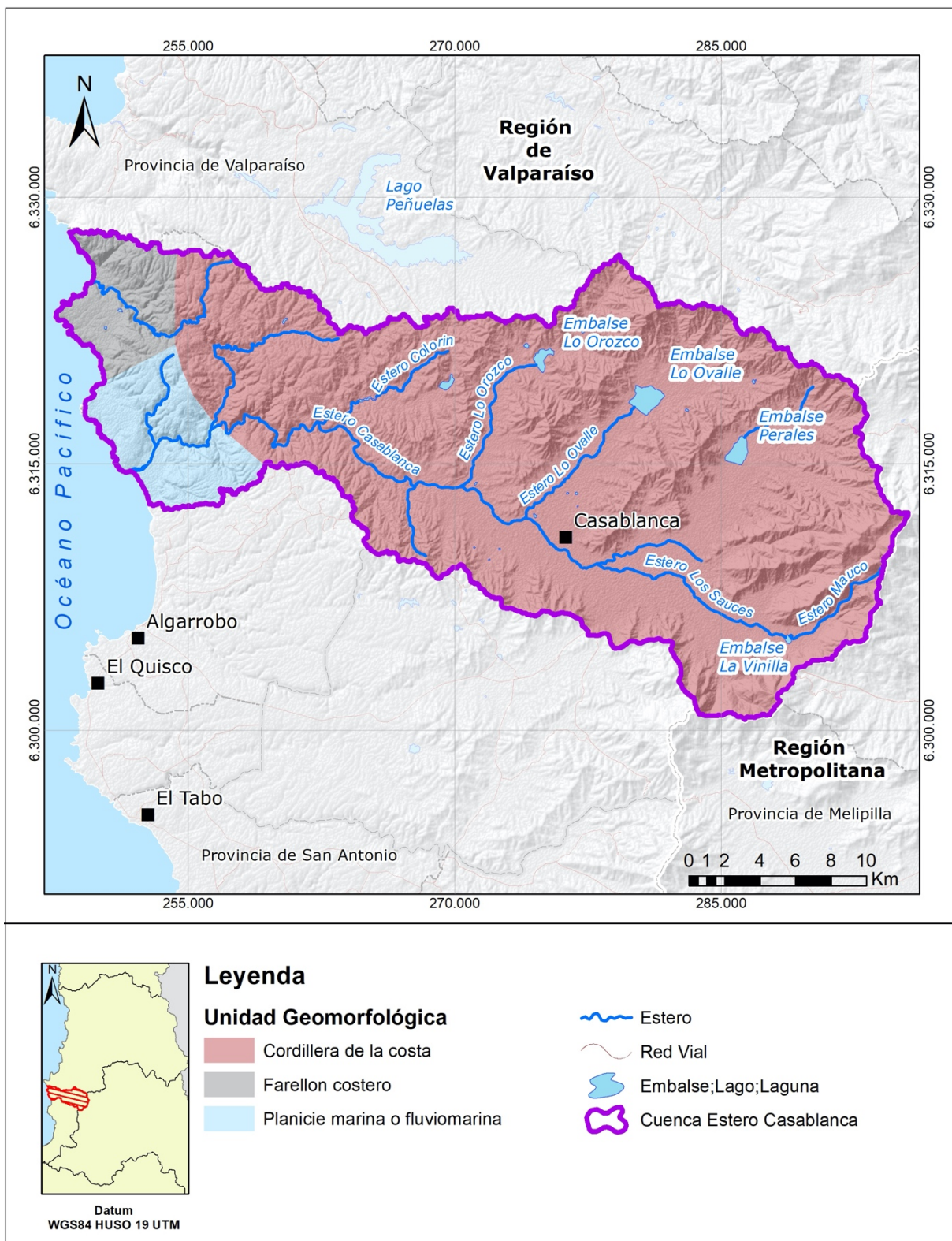
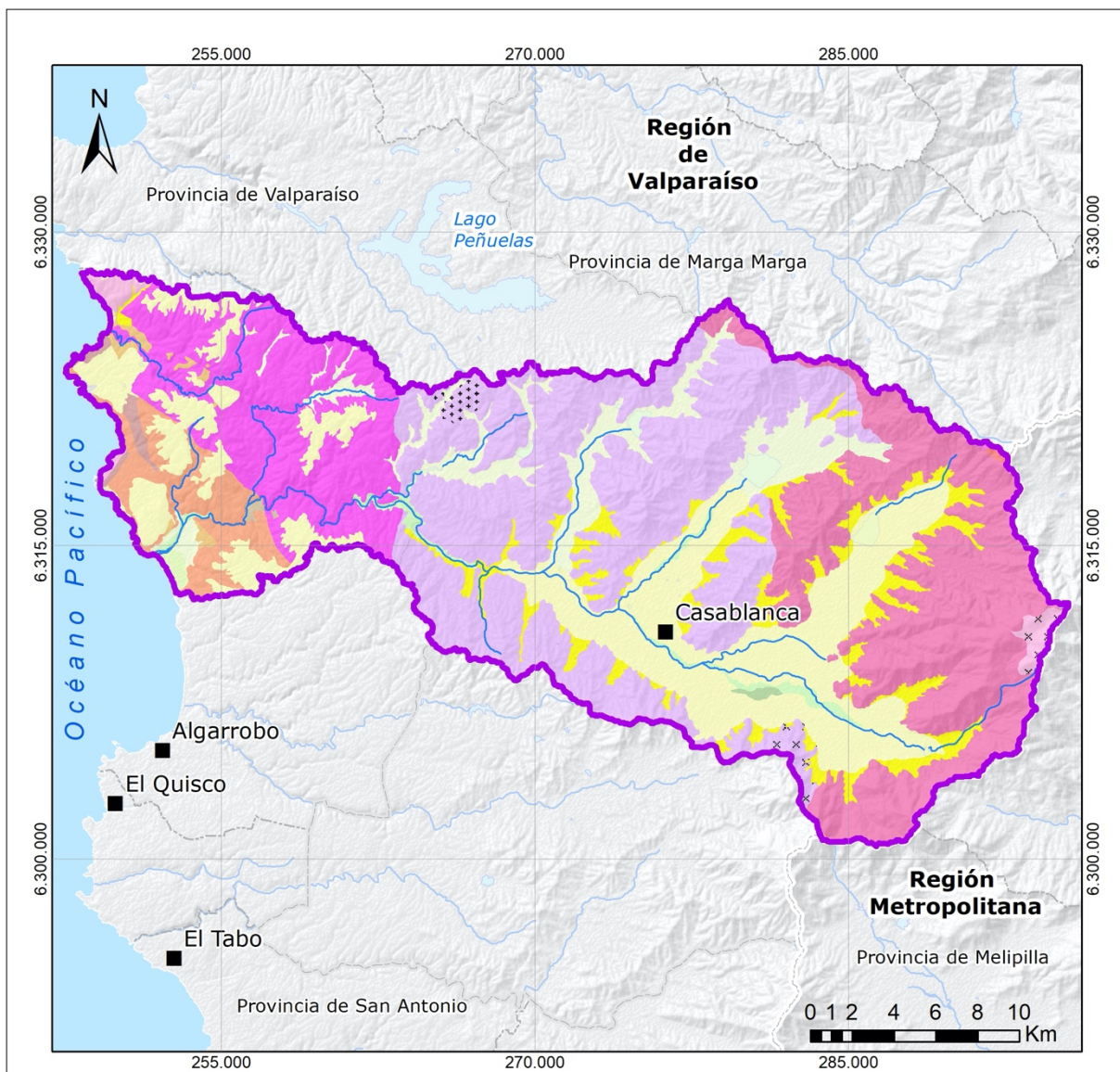


Figura 2-2. Geomorfología de la zona de estudio.
 Fuente: Elaboración propia a partir de información Red CEDEUS (2021).

2.2.2 Geología

Los materiales sobre los que se encaja la cuenca Estero Casablanca son, fundamentalmente rocas intrusivas del Jurásico, mientras que los materiales que rellenan la cuenca están formados en primer lugar por sedimentos coluviales, aluviales y fluviales pertenecientes al Cuaternario (DGA, 2015), dando lugar a varias unidades y formaciones geológicas según se observa en la Figura 2-3 (SEREMI-MINVU, 2013), se destacan a continuación las más significativas:

- Complejo Metamórfico Valparaíso (Pzmv): rocas metamórficas del Paleozoico Superior, ubicado en la costa de Quintay.
- Rocas Intrusivas del Paleozoica (Pzmg): rocas con textura de grano grueso a medio y colores gris medio a verdoso, formando terrazas de abrasión marina cubiertas por sedimentos más jóvenes poco consolidados.
- Rocas Intrusivas del Jurásico: con abundante contenido de cuarzo y feldespato, presente en la zona de Quintay y Cordillera de la Costa.
- Rocas Sedimentarias Marinas Semi-Consolidadas Terciaria – Formación Navidad (Tn): secuencia sedimentaria marina fosilífera.
- Terrazas de Abrasión Cuaternarias (QTt): asociada a terrazas de erosión marina del Plioceno -Pleistoceno, dispuesta sobre intrusivos Paleozoicos y Jurásicos, incluyendo terrazas de abrasión sin cubierta sedimentarias en el sector de Quintay. Se pueden observar en el entorno de las quebradas principales de Casablanca, La Vinilla, Tapihue y Lo Ovalle.
- Depósitos Aluviales (Qa): corresponden a sedimentos no consolidados de origen aluvial, compuestos por gravas, arenas y limos.
- Depósitos Fluviales Actuales del Holoceno (Qf): presencia de sedimentos no consolidados de cursos fluviales activos, con predominio de gravas clastosoportadas, bolones, lentes de arenas con estratificación plana-horizontal y cruzada y limos finamente laminados.
- Depósitos Coluviales del Holoceno (Qc): sedimentos no consolidados, ubicados en las cabeceras de las quebradas, o en pequeñas y afluentes de las quebradas principales de la comuna. Comprenden principalmente depósitos gravitacionales correspondientes a flujos en masa, que pueden incluir desde bloques hasta arcillas, interdigitados con lentes de arenas y gravas generados por pequeños cursos de agua, permanentes o esporádicos.



Leyenda



Datum
WGS84 HUSO 19 UTM

Unidad Geológica		Capital Comunal	
Ja-hm	Jp	■	Capital Comunal
Jlg	Js	—	Estero
Jll	Kdg	⊗	Cuenca Estero Casablanca
Jlt	Pzmg		
Jlv	Pzmv		
Jp	QTt		
Jpg	Qa		
	Qc		
	Qe		
	Qf		
	Qfs		
	Qrm		
	TQpa		
	Tn		
	mg		

Figura 2-3. Geología de la zona de estudio.

Fuente: Elaboración propia a partir de información oficial Mapoteca Digital DGA (2021f).

2.2.3 Red de drenaje superficial y acuíferos

La cuenca Estero Casablanca, debido a su ubicación espacial en el flanco occidental de la cordillera de la Costa, carece de cursos de agua principales como son ríos propiamente dichos, generándose una red tipo dendrítico caracterizada por ramificaciones irregulares (DGA, 2015). Sin embargo, dispone de un sistema hidrográfico compuesto por un estero principal, denominado Estero Casablanca que nace en el cerro Mauco con este mismo nombre; escurre en dirección Este-Oeste y a partir del embalse La Vinilla toma el nombre de Estero Casablanca. Este estero principal cuenta como tributarios con los esteros Los Perales-Tapihue, Lo Ovalle y Lo Orozco por el Norte, drenajes principales de cada subcuenca en la que se ha dividido el Valle. Cabe notar la presencia de 4 embalses de baja capacidad en cada subcuenca, los cuales hoy día se encuentran sin agua (Figura 2-4.).

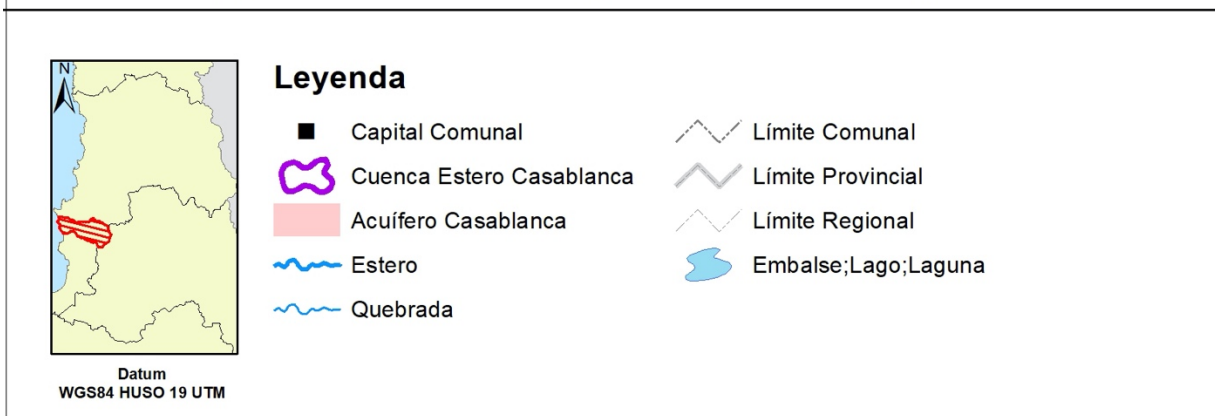
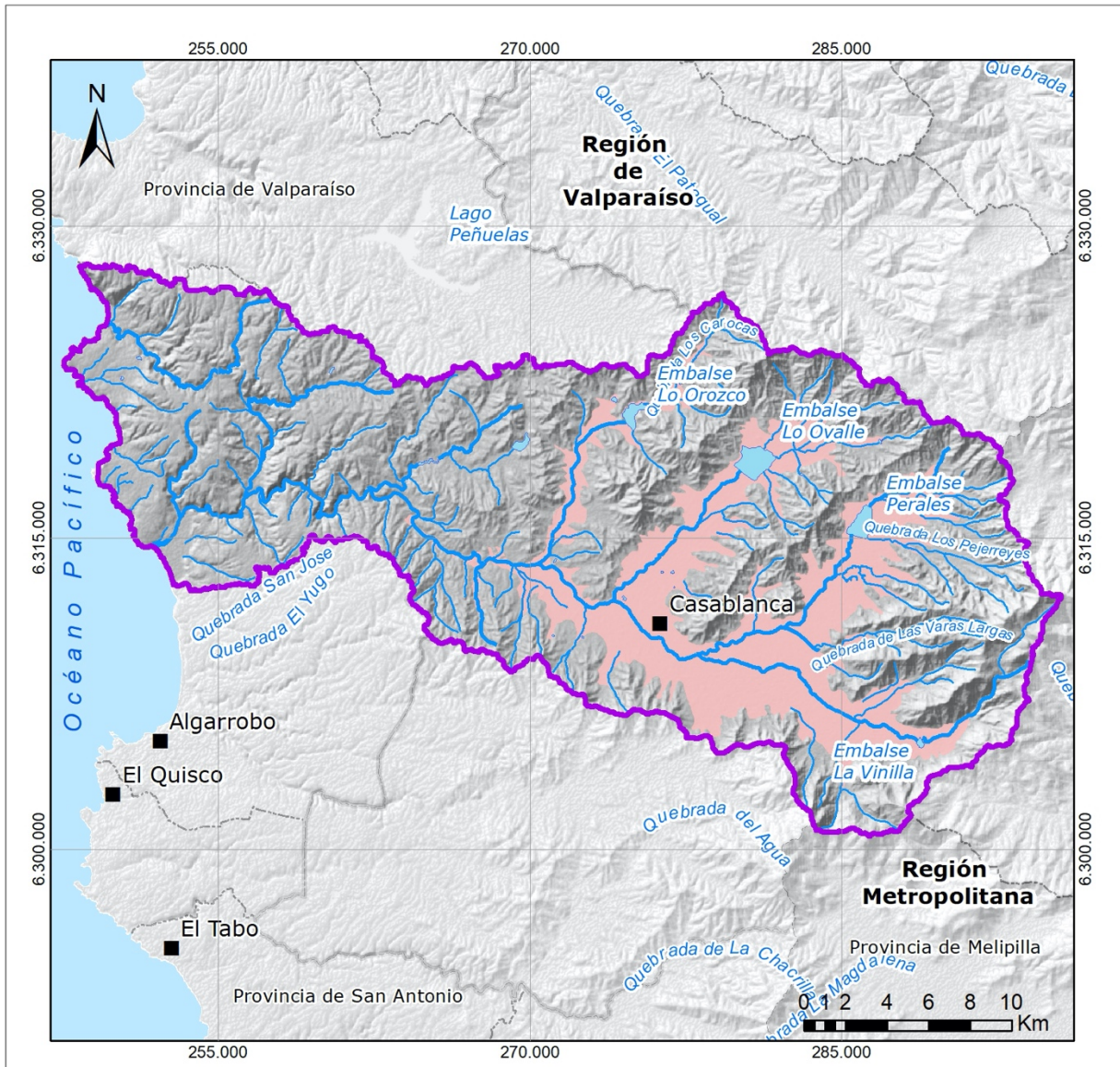


Figura 2-4. Red de drenaje y acuífero en la cuenca.

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

Las formaciones acuíferas presentes en la cuenca se vinculan a los cuatro valles mencionados, siendo los de mayor importancia hidrogeológica La Vinilla-Casablanca y Los Perales de Tapihue (DGA, 1991). Estas corresponden a materiales permeables de espesor variable, con intercalaciones de estratos de baja permeabilidad ubicados a diferentes profundidades, dándole un carácter lenticular y heterogéneo al sistema de aguas subterráneas (SEREMI-MINVU, 2013).

La cuenca Estero Casablanca es una cuenca erosionada típica de valle o planicie, con valles extensos. Del análisis de la curva hipsométrica se deduce que el 50 % de la cuenca se encuentra entre 300 y 400 m s.n.m. (Figura 2-5.).

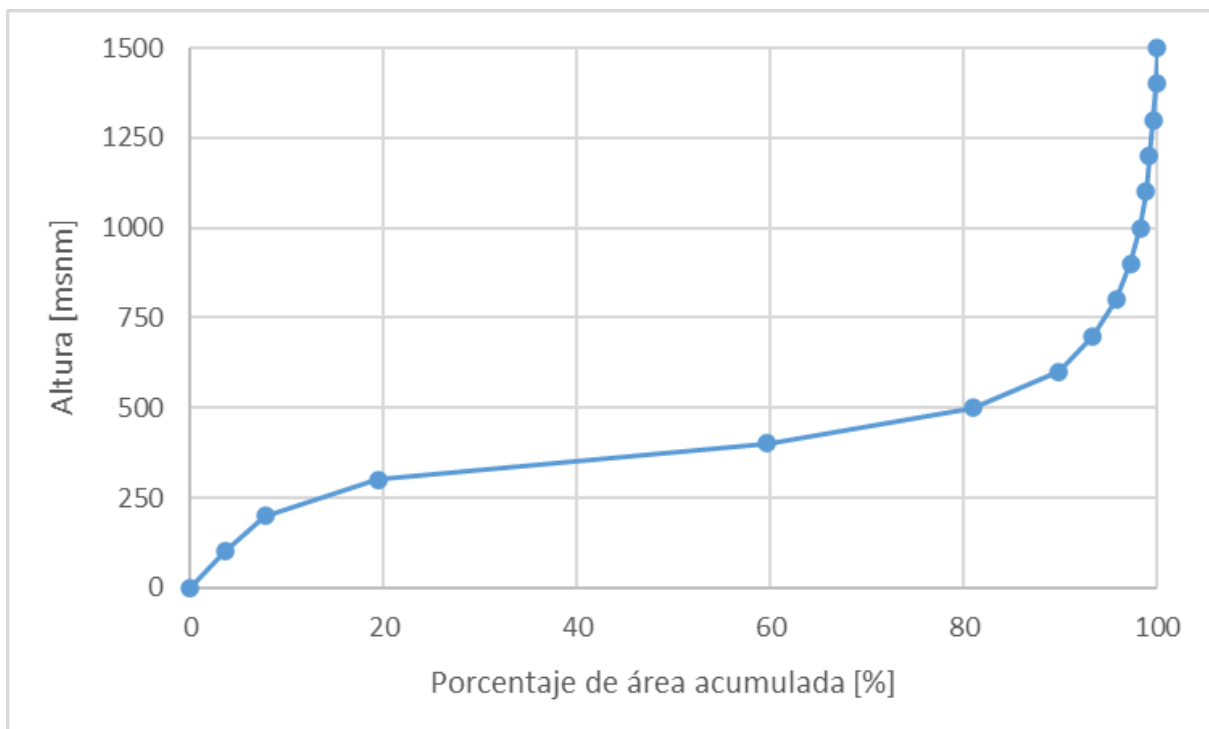


Figura 2-5. Curva hipsométrica cuenca Estero Casablanca.

Fuente: Elaboración propia a partir de DEM Alos Palsar, Mapoteca Digital DGA (2021f).

2.2.4 División político-administrativa

La cuenca Estero Casablanca se extiende a través de las provincias de Valparaíso y San Antonio, abarcando parcialmente las comunas de Casablanca, Algarrobo. La Figura 2-6. muestra la ubicación de dichas comunas dentro de la cuenca Estero Casablanca.

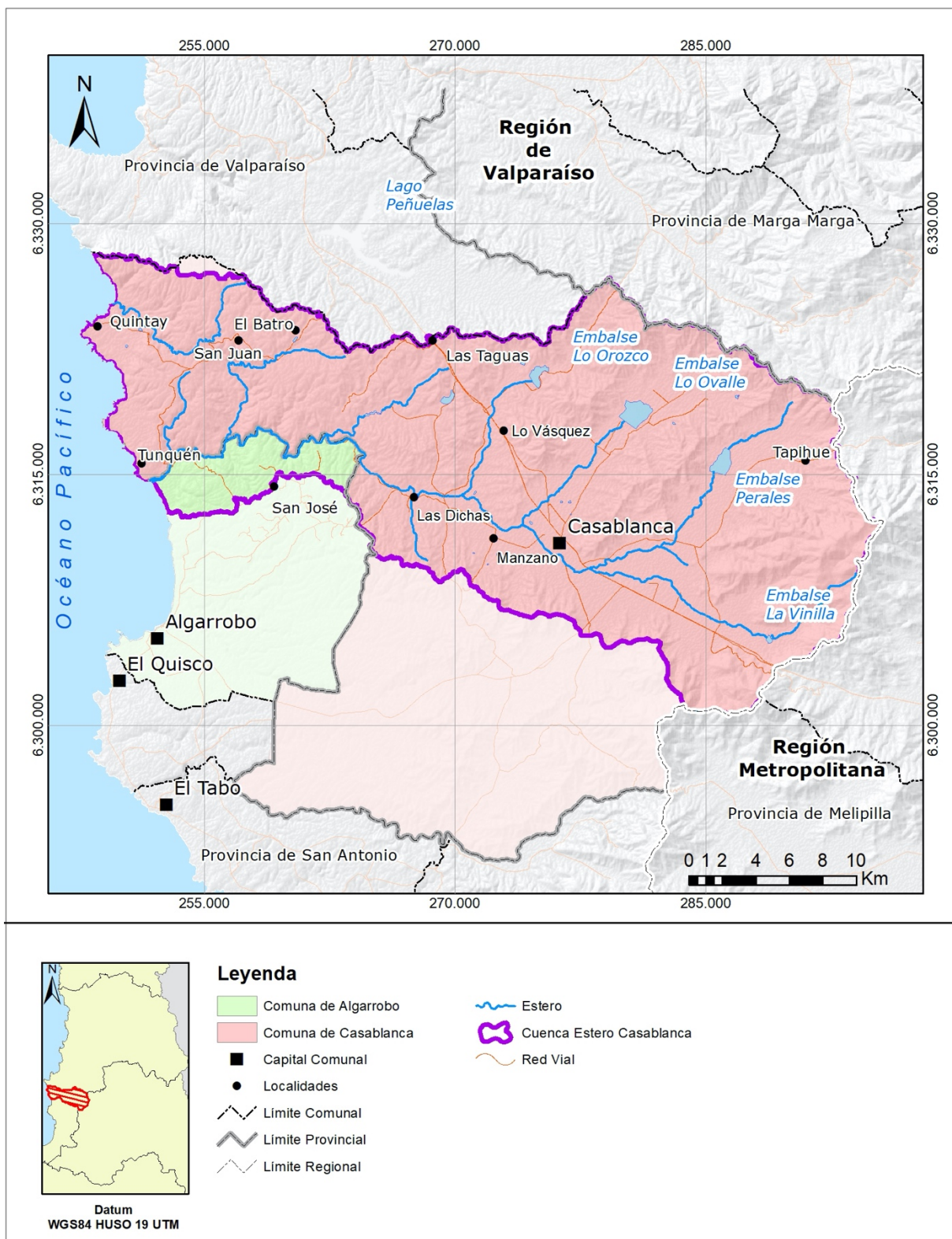


Figura 2-6. División político-administrativa de la cuenca.

Fuente: Elaboración propia a partir de información oficial Mapoteca Digital DGA (2021f).

2.2.5 Demografía

La cuenca Estero Casablanca está conformada por dos comunas, por una parte, se presenta la comuna de Casablanca que ocupa la mayor superficie con 65.725 ha en la cuenca y la comuna de Algarrobo, que ocupa solo una superficie de 3.574 ha. Esta particularidad es fundamental para conocer la distribución poblacional en la cuenca, dado que la estadística poblacional nacional elaborada por el Instituto de Estadística Nacional (INE), es realizada a nivel comunal en el país y la cuenca se subdivide en dos comunas.

La estadística poblacional del INE contiene proyecciones entre los años 2002 y 2035 para las comunas a nivel nacional. Para estimar los datos de los años 2040 y 2050 se realizó una estadística predictiva utilizando el método de Holt-Winters o bien "Método de Suavizado exponencial triple" que genera una predicción evaluando la temporalidad, tendencia y estacionalidad de los datos, con un intervalo de confianza definido de 95% (utilizado en este estudio).

El ajuste se realizó teniendo en consideración que siga la tendencia del crecimiento poblacional dado por el INE entre 2002 a 2035. Con lo cual se logra una curva de proyección de crecimiento poblacional con una tendencia similar entre 2020 a 2050.

Para estimar la población en la cuenca es necesario establecer que, la población rural se distribuye de manera homogénea en la superficie de la cuenca, y que la población urbana se concentra únicamente en los centros urbanos de las comunas. La Tabla 2-1 presenta la superficie de las comunas en la cuenca de estudio para la estimación de la población rural.

Tabla 2-1. Superficie de las comunas en la cuenca de estudio para estimación de la población rural.

Comuna	Superficie [ha]	Superficie en la cuenca [ha]	Porcentaje de área comunal dentro de la cuenca [%]
Algarrobo	17.702,2	3.574,9	20,2
Casablanca	95.370,2	65.728,6	68,9

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

De este modo, la Tabla 2-2 presenta el resultado de la población rural en la cuenca considerando la superficie comunal, mientras que, la Tabla 2-3 presenta el resultado de la población urbana en la cuenca de estudio, que considera únicamente a la comuna de Casablanca, debido a que la comuna de Algarrobo no cuenta con población urbana al interior de la cuenca.

Tabla 2-2. Población rural de la cuenca Estero Casablanca.

Comuna	Porcentaje de área comunal dentro de la cuenca [%]	Población rural [N° hab]				
		2010	2020	2030	2040	2050
Algarrobo	20,2	671	594	507	439	366
Casablanca	68,9	5.889	5.882	6.144	6.670	7.201
Total		6.560	6.476	6.651	7.109	7.567

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

Tabla 2-3. Población urbana de la cuenca Estero Casablanca.

Comuna	Población urbana [N° hab]				
	2010	2020	2030	2040	2050
Casablanca	16.699	20.635	23.536	25.984	28.440

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

2.2.5.1 Desarrollo humano en la comuna de Casablanca

En el año 2003, la comuna obtuvo un 0,712 en el Índice de Desarrollo Humano (IDH) el cual es una medida de la esperanza de vida, educación y PIB (PNUD, 2006), posicionándose en el lugar 105 a nivel nacional, mejorando de forma significativa respecto del año 1994, cuando Casablanca se ubicaba en el ranking N°153 (Anexo J. Descripción y Diagnóstico, acápite 1.1.2.1. Desarrollo Humano en la comuna de Casablanca).

De este modo, de acuerdo con PNUD (2006) se observa disminución en la brecha de un 44,8% en salud, un 28,7% en educación y un 5,2% en ingresos, lo cual se explica por el hecho, que de acuerdo con los principios que señala el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD, representa un avance en el desarrollo de políticas y habilidades conducentes al logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible y el enfoque en la gobernanza, sostenibilidad y resiliencia climática.

Por otro lado, el Índice de Desarrollo Comunal (IDC) 2020, instrumento destinado a monitorear y cuantificar el impacto de los procesos de desarrollo a través de diversos indicadores, que se organizan en tres dimensiones: salud y bienestar social, economía y recursos y educación, son medidos en cinco niveles de desarrollo Alto, Medio Alto, Medio, Medio Bajo y Bajo (Hernández *et al.*, 2020).

Considerando al IDC, la comuna de Casablanca, en el ranking nacional ocupa el número 95 y el número 15 a nivel regional, la comuna alcanza un Rango Medio del ranking de IDC (ver Tabla 2-4 y Figura 2-7).

Tabla 2-4. Índice de Desarrollo Comunal para Casablanca, año 2020.

Valor IDC	Bienestar	Educación	Economía
0,4346	0,8469	0,7241	0,1338

Fuente: Elaboración propia en base a Hernández et al. (2020).

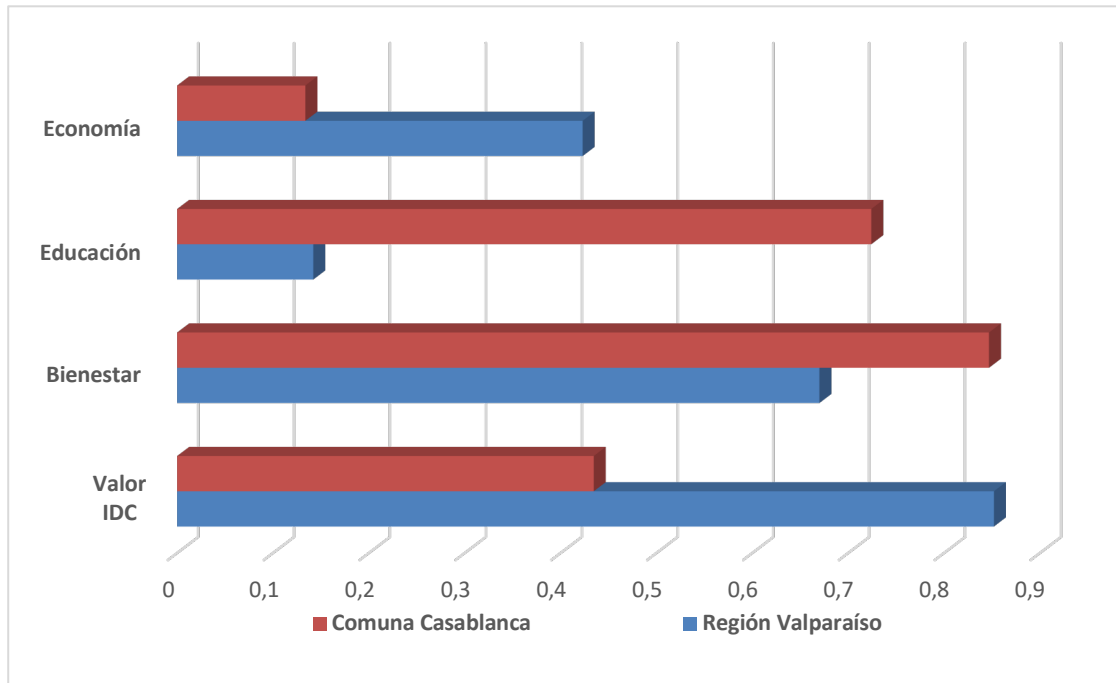


Figura 2-7. Comparación Índice de Desarrollo Comunal, Comuna de Casablanca y Región de Valparaíso, 2020.

Fuente: Elaboración propia en base a Hernández et al. (2020).

De la Figura 2-7 se puede comprender lo siguiente; en economía la comuna de Casablanca está ubicada en un rango medio al igual que en educación y bienestar lo que se ve representado en el Índice de Desarrollo Comunal con un valor de 0,43.

En el Anexo J. Descripción y Diagnóstico, acápite 1.1.2.1 Desarrollo Humano en la comuna de Casablanca, se presenta mayor desarrollo sobre las dimensiones IDC e IDH, así como otros aspectos demográficos tales como: el Índice de Desarrollo Humano en la comuna de Casablanca además de sus principales características (educación, salud y bienestar, economía y recursos) dentro de este instrumento y también de la región de Valparaíso.

2.2.6 Actividad económica

Junto a la ubicación estratégica de la comuna, sus condiciones edafoclimáticas han impulsado un pujante desarrollo vitivinícola. De hecho, en la actualidad, el valle de Casablanca es considerado la décima "Capital Mundial del Vino" (I. Municipalidad de Casablanca, 2014). Durante las últimas décadas los viñedos se han extendido desde Casablanca hacia los sectores de Lo Orozco, Lo Ovalle, Los Perales de Tapihue y La Vinilla, destacando el cultivo de las cepas Chardonnay, Sauvignon Blanc, Pinot Noir y Merlot (I. Municipalidad de Casablanca, 2018).

La comuna ha evidenciado una proliferación en la industria forestal, las que en conjunto con la vitivinicultura han tenido como consecuencia la reestructuración del uso del espacio y su régimen de propiedad, en la cual los pequeños agricultores históricos han vendido sus tierras. De este modo, mientras se produce un reemplazo en el paisaje, desde el cultivo de cereales, chacras y frutales a viñas y monocultivos forestales, se desencadena un proceso de concentración de la propiedad de la tierra (I. Municipalidad de Casablanca, 2014).

La expansión contemporánea de monocultivos forestales de *Pinus radiata* y *Eucaliptus globulus*, el cual tiene a la comuna de Casablanca como uno de los principales exponentes regionales (ODEPA, 2019). De este modo, según el Censo Nacional Agropecuario del año 2007, en el territorio existían 16.136,6 ha dedicadas a esta actividad. Por otra parte, 76.684,5 ha estuvieron dedicadas a explotaciones agropecuarias (SIT RURAL, 2019), mientras que, según el Catastro Vitícola (2014) del Servicio Agrícola y Ganadero, 5.863 ha están dedicadas al cultivo de vid (I. Municipalidad de Casablanca, 2018).

En consecuencia, la distribución del uso de suelo no urbano comunal, de acuerdo a la información disponible en la Corporación Nacional Forestal, para la Región de Valparaíso, la última actualización se realizó en 2013, y puede graficarse como aparece a continuación (Figura 2-8):

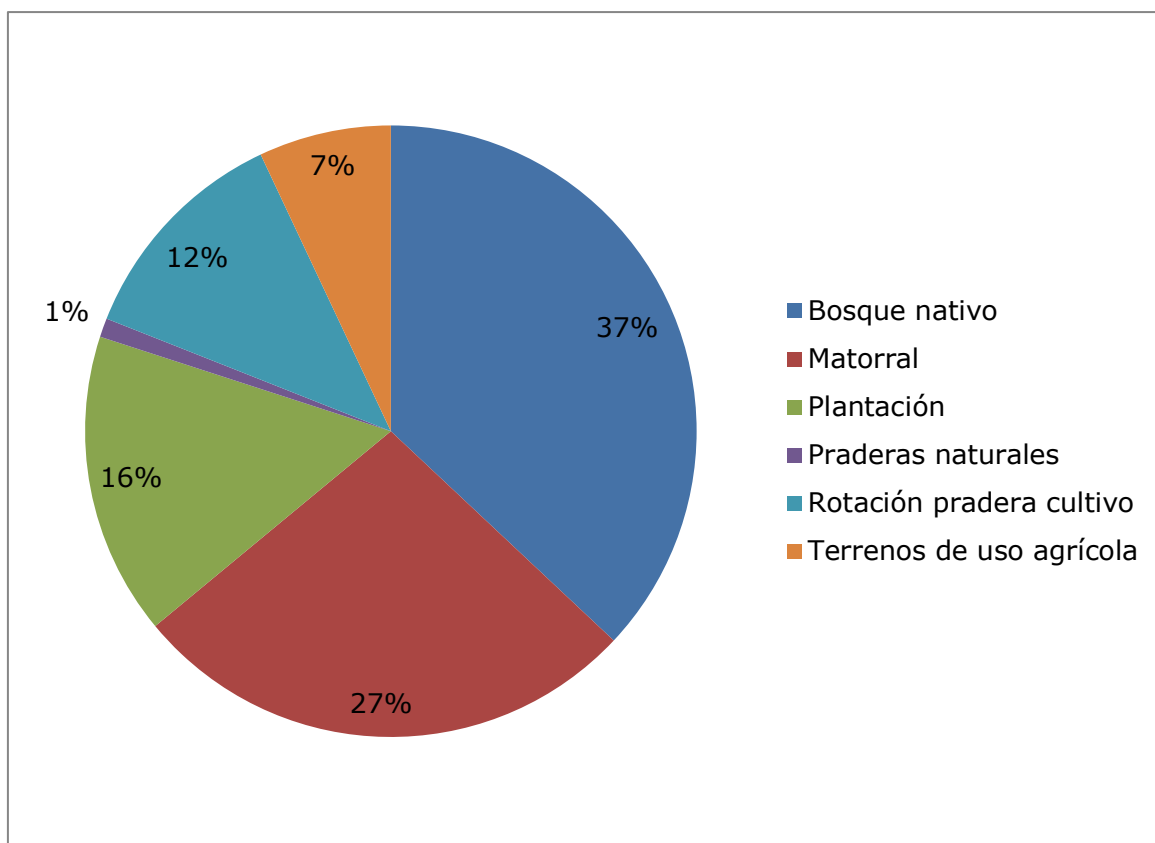


Figura 2-8. Distribución del uso de suelo no urbano de la comuna de Casablanca al año 2013 según la Corporación Nacional Forestal.

Fuente: Elaboración propia en base a SIT RURAL (2019).

Las ventas anuales de cada uno de los rubros económicos para los años 2018 y 2019 presentados en la comuna de Casablanca se presentan en la Tabla 2-5:

Tabla 2-5. Ventas anuales, en UF, por rubro económico en la comuna de Casablanca durante los años 2018 y 2019.

Rubro Económico	Ventas 2018 [UF]	Ventas 2019 [UF]	Variación [%]
A - Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca	1.978.011	2.046.572	3,5%
B - Explotación de minas y canteras	*	*	*
C - Industria manufacturera	1.126.692	1.829.007	62,3%
D - Suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado	*	*	*
E - Suministro de agua; evacuación de aguas residuales, gestión de desechos y descontaminación	15.446	20.350	31,8%
F - Construcción	1.073.834	617.611	-42,5%

Rubro Económico	Ventas 2018 [UF]	Ventas 2019 [UF]	Variación [%]
G - Comercio al por mayor y al por menor; reparación de vehículos automotores y motocicletas	1.017.567	576.373	-43,4%
H - Transporte y almacenamiento	3.077.952	3.257.479	5,8%
I - Actividades de alojamiento y de servicio de comidas	284.976	301.599	5,8%
J - Información y comunicaciones	*	*	*
K - Actividades financieras y de seguros	9.082.178	5.396.899	-40,6%
L - Actividades inmobiliarias	2.750.302	4.534.906	64,9%
M - Actividades profesionales, científicas y técnicas	64.386	348.210	440,8%
N - Actividades de servicios administrativos y de apoyo	69.597	119.366	71,5%
O - Administración pública y defensa; planes de seguridad social de afiliación obligatoria	*	*	*
P - Enseñanza	19.175	*	*
Q - Actividades de atención de la salud humana y de asistencia social	*	*	*
R - Actividades artísticas, de entretenimiento y recreativas	5.598	*	*
S - Otras actividades de servicios	37.777	39.822	5,4%
Sin información	*	7	*
Total general	20.603.492	19.088.200	-7,4%

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

De este modo, las actividades asociadas al rubro silvoagropecuario son las que concentran el mayor número de trabajadores en la comuna, como es descrito en la Tabla 2-6:

Tabla 2-6. Número de trabajadores y empresas por rubro en la comuna de Casablanca, año 2018.

Rubro de la empresa	Nº de trabajadores	Nº de empresas
Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca	2.851	322
Explotación de minas y canteras	21	14
Industria manufacturera	2.129	144
Suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado	50	7
Suministro de agua; evacuación de aguas residuales, gestión de desechos y descontaminación	14	13

Rubro de la empresa	N° de trabajadores	N° de empresas
Construcción	992	141
Comercio al por mayor y al por menor; reparación de vehículos automotores y motocicletas	1.528	586
Transporte y almacenamiento	2.327	492
Actividades de alojamiento y de servicio de comidas	501	134
Información y comunicaciones	19	20
Actividades financieras y de seguros	127	298
Actividades inmobiliarias	140	174
Actividades profesionales, científicas y técnicas	47	72
Actividades de servicios administrativos y de apoyo	432	72
Administración pública y defensa; planes de seguridad social de afiliación obligatoria	689	1
Enseñanza	606	24
Actividades de atención de la salud humana y de asistencia social	56	18
Actividades artísticas, de entretenimiento y recreativas	26	20
Otras actividades de servicios	69	96
Sin información	7	8
Total	12.631	2.656

Fuente: Elaboración propia en base a (BCN, 2020).

En el año 2003 la comuna de Casablanca albergaba 8.713 habitantes ocupados y, en el año 2009, 11.827. De este modo, se manifiesta una tendencia creciente respecto al empleo comunal. Desde la perspectiva de las remuneraciones, cabe resaltar la positiva situación de los trabajadores del sector "Agricultura, Caza, Silvicultura y Pesca" pues sus remuneraciones superan en 15,16% al promedio regional y en 7,95% al promedio nacional. En oposición a este caso, destacan los trabajadores del sector "Explotación de Minas y Canteras", cuyos salarios se encuentran por debajo del promedio regional en 35,35% y 40,54% respecto del promedio nacional (I. Municipalidad de Casablanca, 2018).

Por otra parte, durante los últimos años, la distribución de los trabajadores de la comuna de Casablanca, según envergadura de la empresa, se ha manifestado según lo indicado en la Tabla 2-7:

Tabla 2-7. Número de trabajadores por tamaño de empresa en la comuna de Casablanca, años 2014-2016.

Tamaño de empresa	N° de trabajadores 2014	N° de trabajadores 2015	N° de trabajadores 2016
Micro	1.383	1.472	1.432
Pequeña	2.628	2.847	3.132
Mediana	1.359	1.504	2.518
Grande	3.842	4.119	3.620
Sin ventas	159	200	350

Fuente: Elaboración propia en base a (SIT RURAL, 2020).

2.2.7 Uso de suelo

El uso del suelo en la cuenca Estero Casablanca se estableció a partir del uso conjunto de los productos MODIS Terra y Aqua (imágenes satelitales MC12Q1 v6), de donde se obtuvo la distribución espacial y temporal de los usos de suelo según *International Geo-Biosphere Program* IGBP para 15 usos del suelo; mediante técnicas de reclasificación y los datos de los censos agrícolas y catastros frutícolas disponibles a 2020, el uso del suelo fue reclasificado en 5 tipos de uso de suelo (bosques, vegetación natural, suelo agrícola, suelo sin vegetación y cuerpos de agua) según se aprecia en la Tabla 2-8.

Tabla 2-8. Esquema de clasificación del IGBP, superficie al 2019 y correspondencia con categoría reclasificada en el Plan en cuenca Estero Casablanca.

Valor	Categoría IGBP	Superficie al 2019 [ha]	Categoría Reclasificada para el PEGH	Superficie al 2019 [ha]
1	Bosque de coníferas perenne	4.175,3	Bosques	8.088,9
2	Bosque latifoliado perenne	3.913,6		
3	Bosque de coníferas caducifolio	0,0		
4	Bosque latifoliado caducifolio	0,0		
5	Bosque mixto	0,0		
6	Matorrales cerrados	108,8	Vegetación natural (arbustos y matorrales)	28.763,9
7	Matorrales abiertos	21,8		
8	Sabanas boscosas	28.633,3		
9	Sabanas	26.981,3	Suelo agrícola (cultivos, frutales,	31.737,8
10	Pastizales	3.387,8		

Valor	Categoría IGBP	Superficie al 2019 [ha]	Categoría Reclasificada para el PEGH	Superficie al 2019 [ha]
12	Tierras agrícolas	1.368,9	forestales y praderas)	
14	Mosaicos de vegetación natural y cultivos	0,0		
13	Suelo urbano o construido	661,2	Suelo sin vegetación	703,1
16	Suelo sin vegetación	41,9		
17	Nieve y hielo permanente	0,0	Cuerpos de agua	242,7
11	Humedales permanentes	173,6		
15	Cuerpos de agua	69,1		

Fuente: Elaboración propia a partir de clasificación del IGBP (ver Anexo.J.1.1.2. Estimación Superficies Uso Suelo Reclasificadas).

Por otro lado, en la Figura 2-9 se presenta las categorías reclasificadas y su distribución espacial, donde el uso agrícola es mayoritario, seguido de vegetación nativa. El detalle del proceso se presenta en el Anexo J Descripción y Diagnóstico acápite 1.1.1. Uso del suelo.

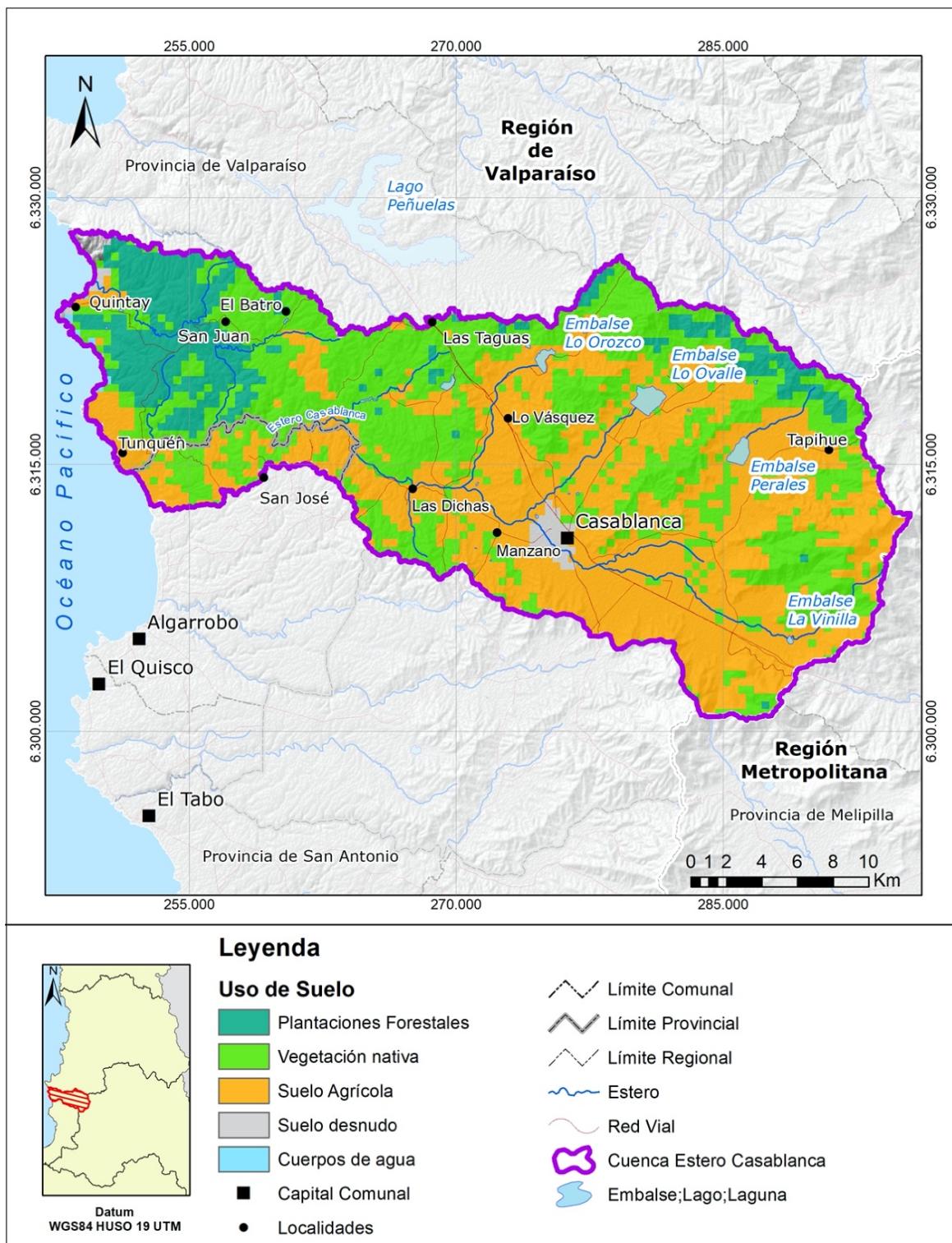


Figura 2-9. Distribución de usos de suelo reclasificado al año 2019 para la cuenca.

Fuente: Elaboración propia a partir de Sulla-Menashe & Friedl (2019), catastros frutícolas y censos agrícolas disponibles a 2020.

2.3 Clima

A continuación, se presenta la caracterización climática de la cuenca Estero Casablanca, a través de la información meteorológica disponible. Se presenta así mismo, la caracterización de los eventos extremos ocurridos en los últimos años y los escenarios de cambio climático que permitieron simular el clima futuro, es decir, próximos 30 años en la cuenca.

2.3.1 Caracterización climática

De acuerdo con el estudio DGA (2014b), la zona de estudio presenta un clima templado mediterráneo caracterizado por precipitaciones invernales, concentrando alrededor de un 80% de las precipitaciones anuales en 3 o 4 meses y con la estación seca que se extiende por 8 meses aproximadamente (desde septiembre hasta abril). Presenta de manera generalizada a lo largo del año una amplia cobertura de nubosidad baja matinal mayoritariamente de procedencia costera que entra a través de los valles y confiriendo al sector características particulares con rasgos del clima mediterráneo templado costero y el mediterráneo templado cálido propio de áreas interiores (DGA, 2014b).

Las precipitaciones son de origen ciclónico y son afectadas por la influencia del relieve que las incrementa proporcionalmente a la elevación del terreno, de este modo, el bloqueo que ejerce la cordillera de la costa con su altura ocasiona preferentemente precipitaciones en los faldeos occidentales de la misma. El promedio anual de las precipitaciones se estima del orden de 359 mm (DGA, 2021), sin embargo, en los últimos 10 años el promedio es menor a 300 mm.

Las temperaturas promedio son inferiores a los 18 °C en el mes más cálido y superiores a 3 °C en el mes más frío, con una temperatura media anual de 13,8°C. Una particularidad del clima es la caída de la temperatura en las noches estivales producto de la influencia marina (DGA, 2014b).

A continuación, en la Figura 2-10 se presenta el climograma representativo a la zona de estudio, donde se observan registros típicos de una estación ubicada en el semi-árido chileno de clima mediterráneo, con inviernos fríos y húmedos y veranos calurosos y secos y una alta variabilidad interanual tanto de precipitaciones como de temperaturas.

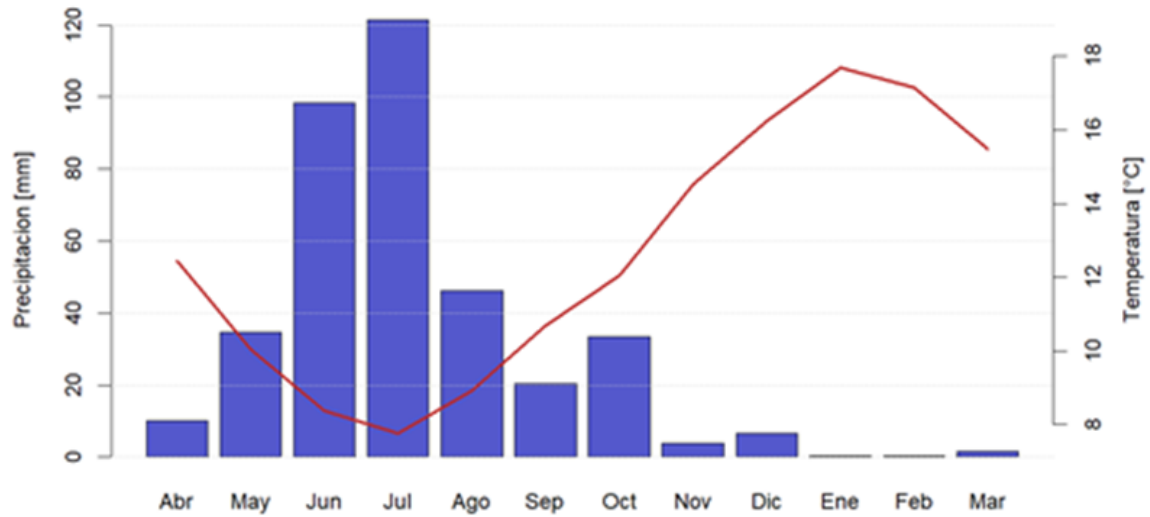


Figura 2-10. Climograma representativo cuenca Estero Casablanca. Estación AGROMET "Casablanca", intervalo 2010-2020.

Fuente: Elaboración propia en base a AGROMET (2021).

En la Figura 2-11 se presenta la tendencia anual histórica (1980-2019) de precipitaciones para las estaciones dentro y en los alrededores de la cuenca Estero Casablanca. se observa una tendencia a la baja tomando en cuenta los registros históricos desde el año 1980 hasta el año 2020. La última década es la que presenta menores valores en promedio como resultado de la sequía prolongada que afecta el país a partir del año 2010.

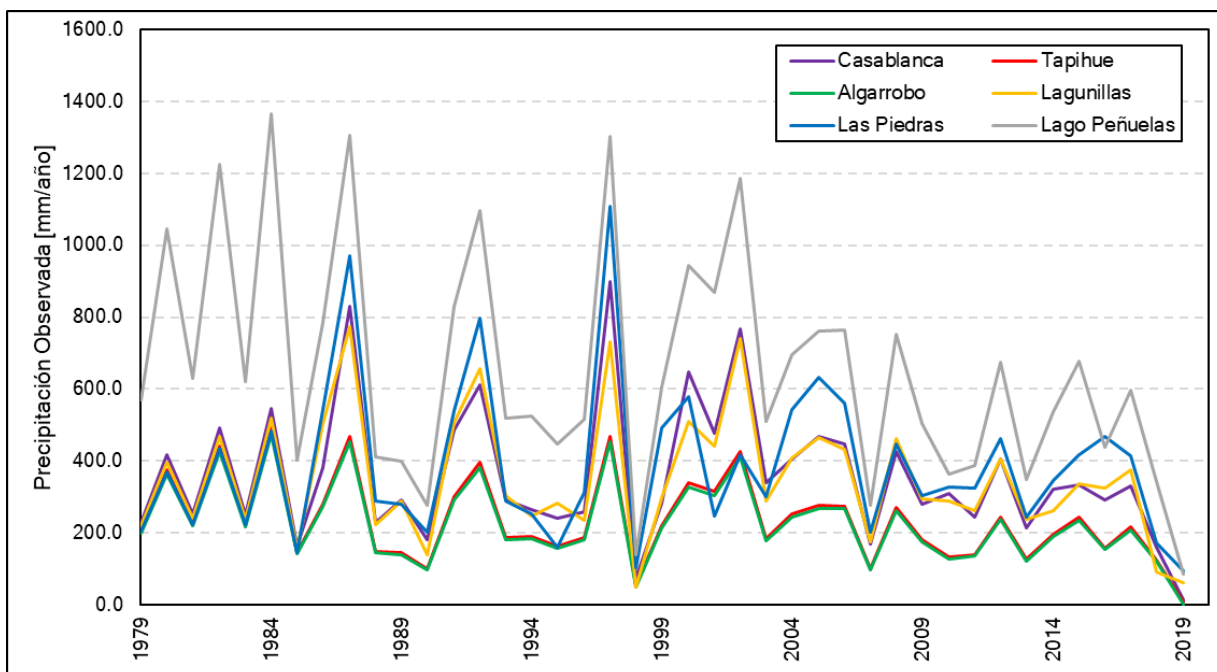


Figura 2-11. Precipitaciones totales anuales (1980-2019) en estaciones DGA en la zona de estudio.

Fuente: Elaboración propia, en base a DGA (2021a) y CR2 (2021a).

Si se aplica una regresión lineal simple, se puede determinar una tasa de disminución de las precipitaciones, las que se presentan en términos de decaimiento decadal de las precipitaciones y que se muestran en la Tabla 2-9 para las estaciones seleccionadas.

Tabla 2-9. Tasa de decaimiento precipitaciones anuales (1979-2019).

Estación DGA	Decaimiento [mm/década]
Casablanca	28,8
Tapihue	37,7
Algarrobo	36,7
Lagunillas	25,8
Las Piedras	11,7
Lago Peñuelas	103,3

Fuente: Elaboración propia, en base a (DGA, 2021a).

Según la Tabla 2-9, se señala que, el área de estudio presenta una disminución en las precipitaciones en los últimos años, lo que se traduciría en una menor disponibilidad de recursos hídricos para la cuenca Estero Casablanca. Situación que, conforme a los pronósticos asociados al cambio climático se podrían intensificar.

El desglose de esta información se puede encontrar en el Anexo J – Descripción y Diagnóstico, acápite 1.2 Clima.

2.3.2 Eventos extremos y variabilidad climática

El análisis de los eventos extremos se realizó considerando el tipo de eventos, es decir, eventos extremos tipo sequía, temporal y heladas, a escala diaria y para el periodo 1970-2020.

A continuación, se muestran los resultados asociados. Se identificó un total de 14 eventos diferentes de tipo climático. En la Figura 2-12 se muestra el resultado del total de eventos por tipo de eventos, siendo los eventos asociados a sequía los mayoritarios con un 67% del total, seguido por las tormentas y heladas, con un 24% y 10%, respectivamente.

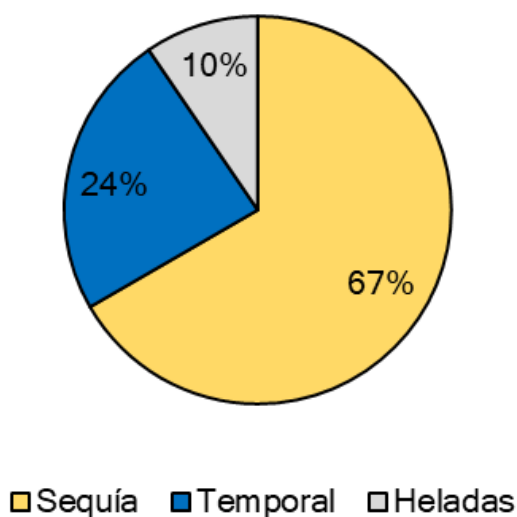


Figura 2-12. Eventos extremos de tipo climático (1970-2020) en la cuenca Estero Casablanca.

Fuente: Elaboración propia a partir de UNDRR (2021).

En la Figura 2-12 se muestra la variabilidad temporal, a nivel anual, en el que se aprecia una importante variabilidad de los eventos registrados, siendo el período 2010-2019 aquel con mayor número de eventos. Además, se verifica que la población ha sido afectada de manera aleatoria por los diferentes eventos. Este aspecto puede ser explicado por la aleatoriedad de los eventos extremos, y/o la capacidad de resiliencia de los habitantes de la región, aunque estos aspectos deben ser estudiados con mayor profundidad. Se destaca que no se han reportado eventos asociados a aluviones durante el período analizado ni tampoco el número de eventos extremos ha aumentado en el tiempo.

Hay que tener en cuenta de que, aunque no existan registros de eventos extremos o con potencial destructivo, no quiere decir que no hayan ocurrido. Esto se puede explicar porque:

(i) no hubo personas afectadas a pesar de que sí ocurrieron eventos del tipo analizado; (ii) que sí hubo personas afectadas, pero no se contabilizaron correctamente. De esta manera, la Figura 2-13 fue construida del registro de eventos que han generado alguna afectación a la población. El que exista o no exista correlación con otros fenómenos es una materia que requiere de otros análisis más profundos a la información recopilada.

La metodología y datos de esta figura pueden ser revisados en el inventario de desastres naturales de UNDRR (<https://db.desinventar.org/DesInventar/about.jsp>).

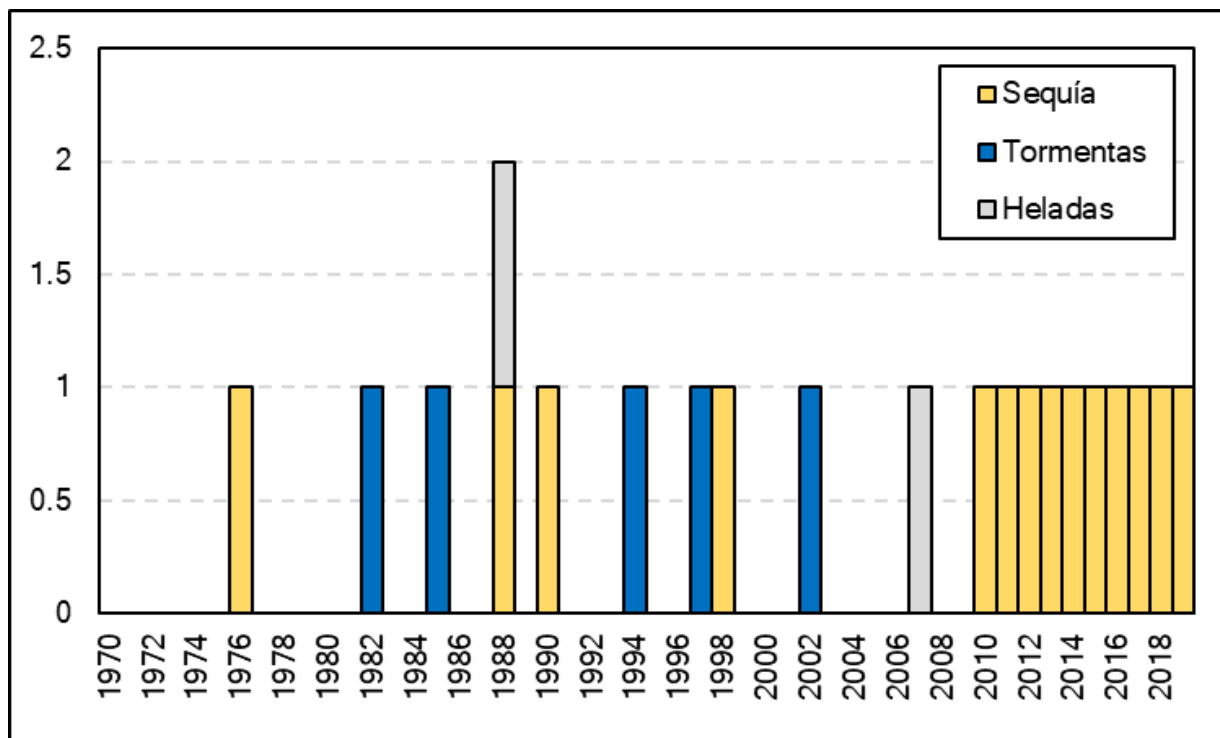


Figura 2-13. Variación de eventos extremos (1970-2019) en la cuenca Estero Casablanca.

Fuente: Elaboración propia a partir de UNDRR (2021).

2.3.3 Escenarios de cambio climático

Los modelos de circulación general (GCM por sus siglas en inglés) con proyecciones de cambio climático seleccionados para el estudio fueron CSIRO, CCSM4, CM5A y MIROC. 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 2020-2050 y el período histórico 1985-2015, según el escenario RCP8.5 (DGA, 2017b). En la Figura 2-14 y Figura 2-15 se muestran las series anuales con las proyecciones

de precipitaciones y temperaturas para los cuatro GCM mencionados. El detalle de la metodología aplicada se presenta en el acápite 4.5 del Anexo F – Aspectos metodológicos.

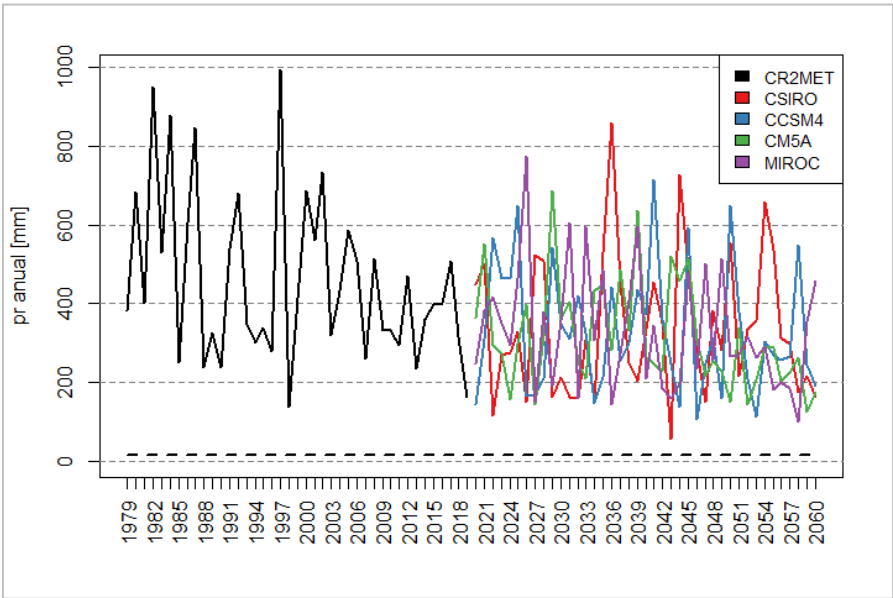


Figura 2-14. Precipitación anual para los períodos histórico (1985-2015) y escenarios futuros (2020-2050).

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

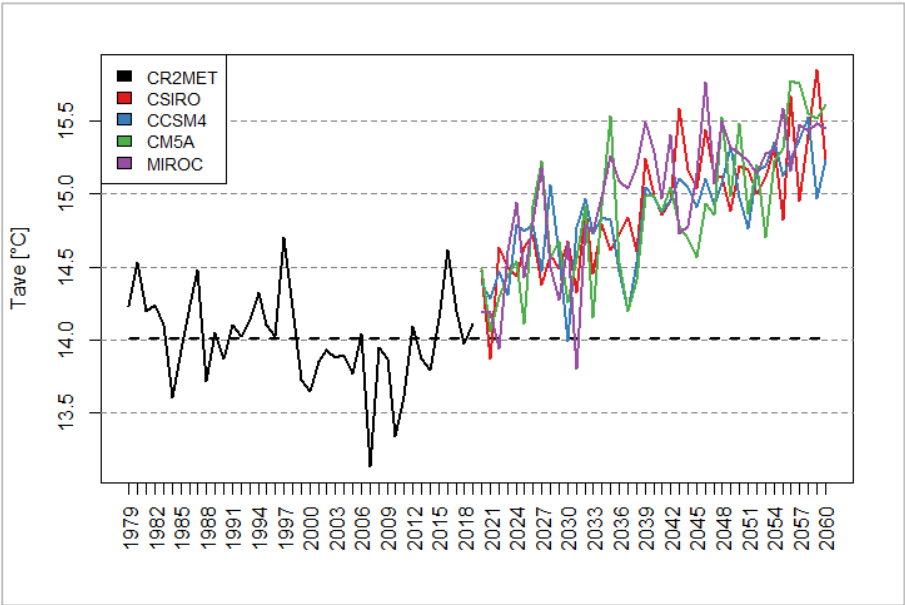


Figura 2-15. Temperatura media anual los períodos histórico (1985-2015) y escenarios futuros (2020-2050).

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

En las Figura 2-16 y Figura 2-17 se muestran los *boxplots* o gráficos de caja en donde se muestran las diferencias entre las distribuciones de los datos de precipitaciones y temperaturas para el período histórico y los cuatro GCMs mencionados. Solo el modelo MIROC fue seleccionado para su modelación hidrológica posterior, ya que presentó las mayores disminuciones en precipitaciones y aumentos de temperatura con respecto al período histórico.

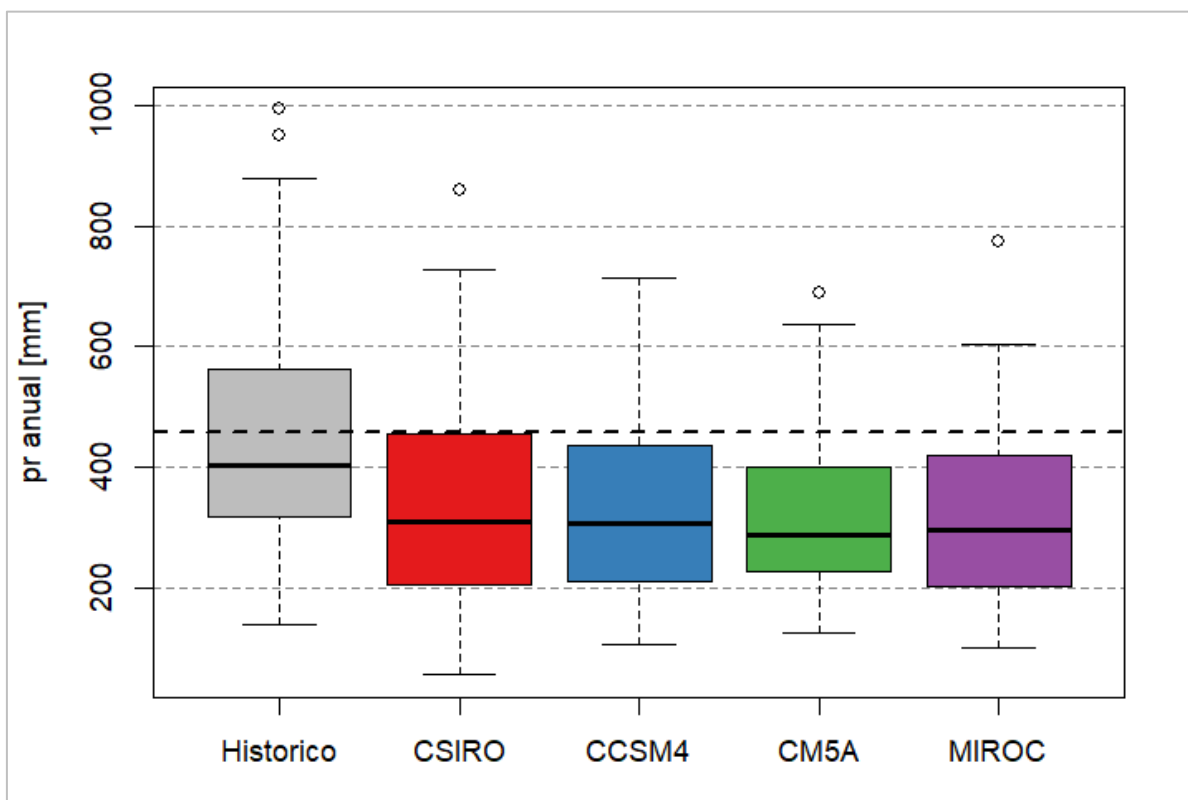


Figura 2-16. Gráficos de caja para los valores anuales de precipitación para escenario histórico y cuatro GCMs. La línea negra punteada indica el promedio del periodo histórico.

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

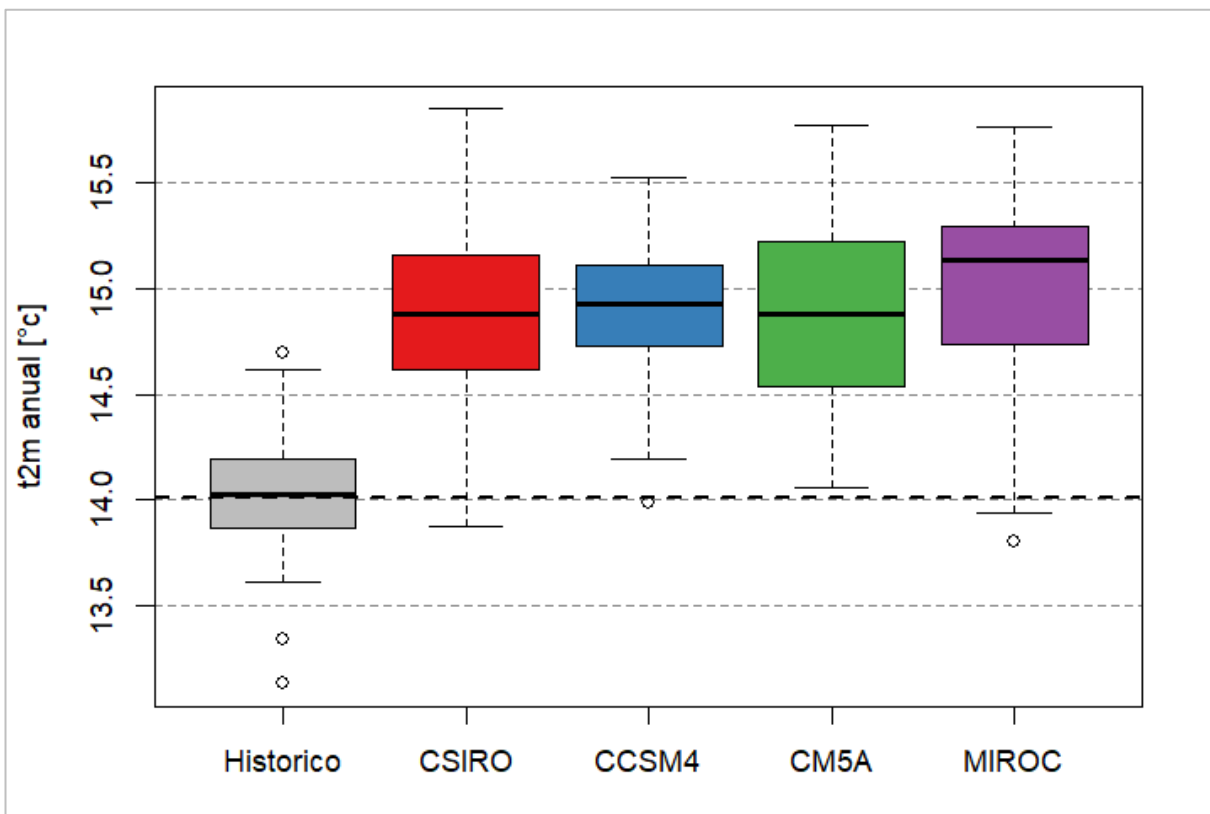


Figura 2-17. Gráficos de caja para los valores anuales de temperatura para escenario histórico y cuatro GCMs. La línea negra punteada indica el promedio del periodo histórico.

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

2.4 Dimensión ambiental

En esta sección se presentan los ecosistemas terrestres y acuáticos presentes en la cuenca Estero Casablanca, para los primeros se describe el ecosistema sin intervención a través de Luebert & Pliscoff (2020) y para los segundos se presenta el Inventario Nacional de Humedales (MMA, 2020a). Finalmente se presentan las áreas bajo protección oficial y otras, siempre evaluando la relación (si la hubiere) de cómo la conservación de ecosistemas terrestres impacta sobre la conservación de ecosistemas acuáticos y consecuentemente relacionarlas con las demandas y acciones que surgen de la participación ciudadana en el marco de este plan.

2.4.1 Ecosistemas terrestres

El ecosistema terrestre se define por la cobertura vegetal que posee – por ejemplo, bosque, matorral, pradera, etc. Los procesos dentro de cada tipo de ecosistema sostienen comunidades ecológicas distintas. Los pisos vegetacionales de Luebert & Pliscoff (2020)

incorporan las relaciones físicas, climáticas y ecológicas de plantas nativas de Chile con el medio para evaluar las distribuciones de comunidades florísticas que existirían en una condición no intervenida.

Debido al clima, topografía, hidrología y tipos de suelo, la cuenca se presenta con 3 tipos de pisos vegetacionales de comunidades potenciales en la cuenca Estero Casablanca. En la Tabla 2-10 y Figura 2-18 se observa los pisos vegetaciones y su distribución espacial en la cuenca. El 98,5% de toda la cuenca puede ser descrita por bosque esclerófilo, que se compone de dos pisos vegetacionales, que se distinguen por las especies florísticas características.

Tabla 2-10. Tipos de pisos vegetacionales y sus extensiones geográficas dentro de la cuenca Estero Casablanca.

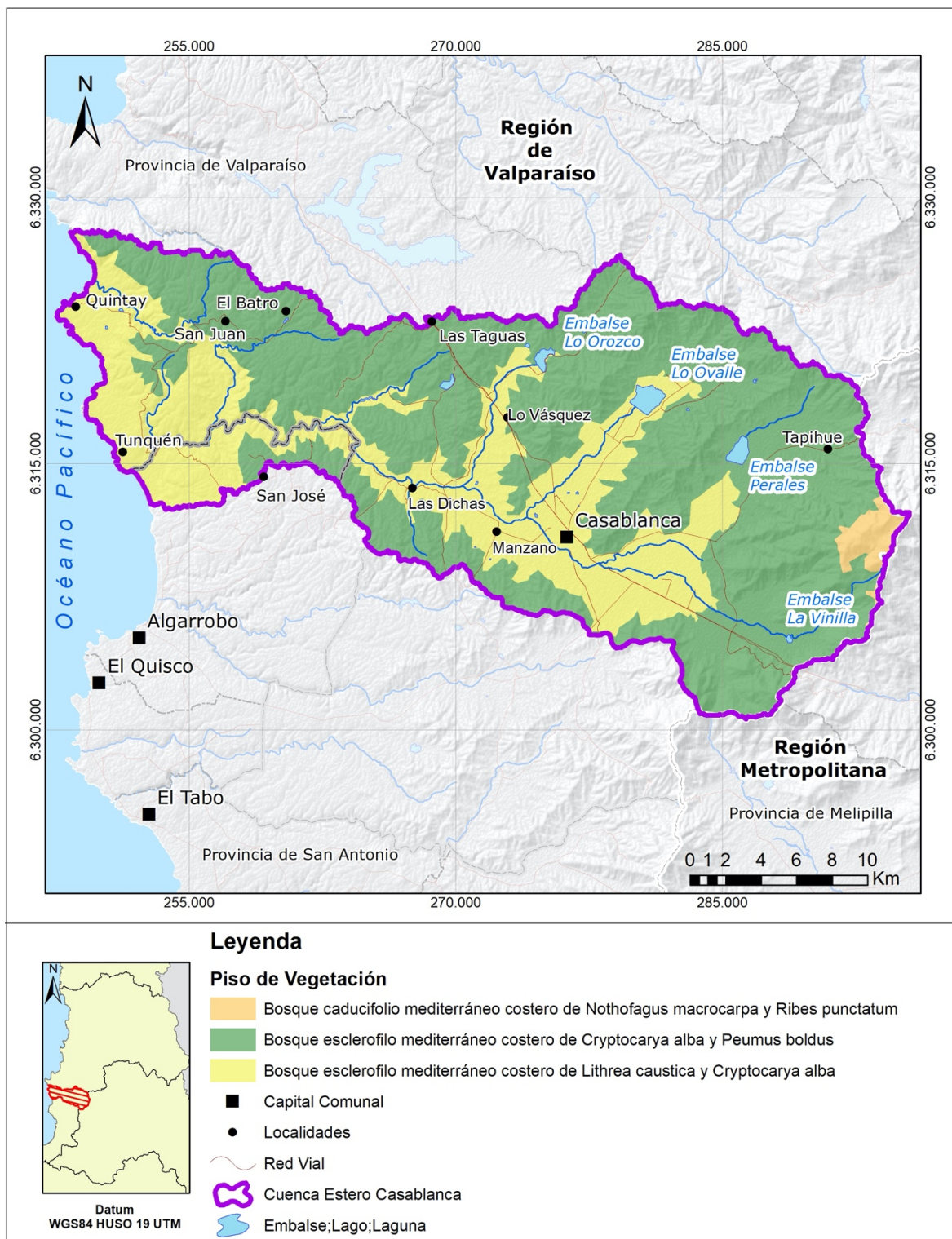
Piso vegetacional	Área total [ha]	Porcentaje de cuenca [%]
Bosque caducifolio mediterráneo costero de <i>Nothofagus macrocarpa</i> y <i>Ribes punctatum</i>	1.031,5	1,5
Bosque esclerófilo mediterráneo costero de <i>Cryptocarya alba</i> y <i>Peumus boldus</i>	46.331,7	66,7
Bosque esclerófilo mediterráneo costero de <i>Lithrea caustica</i> y <i>Cryptocarya alba</i>	22.087,3	31,8

Fuente: Elaboración propia a partir de datos SIG de Luebert & Pliscoff (2020).

A continuación, se describe brevemente cada uno de los pisos vegetacionales.

- El bosque esclerófilo mediterráneo es una formación con una escasa estratificación con sotobosque arbustivo herbáceo. Las especies que caracteriza a formación tiene característica xeromórfica que puede resistir las sequías de verano que caracterizan zonas mediterráneas.
- El bosque caducifolio mediterráneo es una formación muy puntual y existe primariamente en la zona alrededor de la cuenca del estudio más arriba de una elevación de 1.000 m s.n.m. y es definido geográficamente a los cerros La Campana, El Roble y Altos de Cantillana.

Estos pisos vegetacionales corresponden por su mayoría a los bosques xéricos que están asociados con zonas de poca precipitación y con sistemas fluviales con alto nivel de estacionalidad (Bonada & Resh, 2013). Por eso, es necesario tomar una mirada a los ecosistemas dulceacuícolas.



2.4.2 Ecosistemas de aguas continentales o ecosistemas dulceacuícolas

De acuerdo con el Inventario Nacional de Humedales (MMA, 2020), la cuenca Estero Casablanca es dominada por áreas inundadas en forma artificial, entre embalses (354,99 ha) y tranques (255,89 ha). Como se observa en la Tabla 2-11 y Figura 2-19 los humedales que poseen mayor superficie son los embalses, tranques, lagunas y lagos, que se ubican en la parte media-alta de la cuenca, asociada a acuíferos y debido a que son áreas inundadas de manera permanente pueden proveer de hábitat la biota acuática, con restricciones para la fauna íctica debido a que los embalses, principalmente, impiden el libre flujo. Los ríos o los canales de los ríos también constituyen humedales en esta cuenca, alcanzando 167,13 ha.

Tabla 2-11. Evaluación de las extensiones de áreas inundados dentro de la cuenca hidrográfica del Estero Casablanca.

Tipo de territorio inundado	Área inundada [ha]
Embalse	354,99
Lago	11,19
Laguna	6,46
Río	167,13
Sin Clasificación	0,81
Tranque	255,89

Fuente: Elaboración propia según datos SIG de Inventario Nacional de Humedales (MMA, 2020a).

Dentro de los humedales encontrados, el Humedal Tunquén se ubica en la desembocadura de la cuenca Estero Casablanca (Figura 2-19) se distingue, debido a que es una zona con importancia dulceacuícola y porque es parte significativa de un Santuario de la Naturaleza y dos Sitios Prioritarios (sección 2.4.3, Figura 2-20); además, es el único del cual se dispone información, contenida en la plataforma GloRIC *Global River Classification*, (WWF, 2018). En el Anexo J – Descripción y diagnóstico, acápite 1.3.1.3, se encuentra mayor detalle sobre las especies dulceacuícolas presentes en el humedal, a nivel de especie, abundancia, riqueza entre otros para fitoplancton, fitobentos, macroinvertebrados acuáticos o zoobentos y peces o ictiofauna.

A modo de resumen, se señala que las especies identificadas se encuentran localizadas en la parte baja de la cuenca, específicamente en el Humedal Tunquén, se ha identificado fitoplancton, fitobentos, macroinvertebrados y peces. Todos estos grupos son los esperados por el modelo GloRIC (mayor información en el Anexo J de Descripción y Diagnóstico, acápite 1.3.1.1.2. Caracterización de comunidades dulceacuícolas mediante GloRIC), pero también se presentan especies de fitoplancton y fitobentos típicos de ecosistemas intervenidos por acciones antrópicas y se observa la ausencia de macroinvertebrados asociados a buena calidad de agua. Bajo este análisis se indica que la desembocadura.

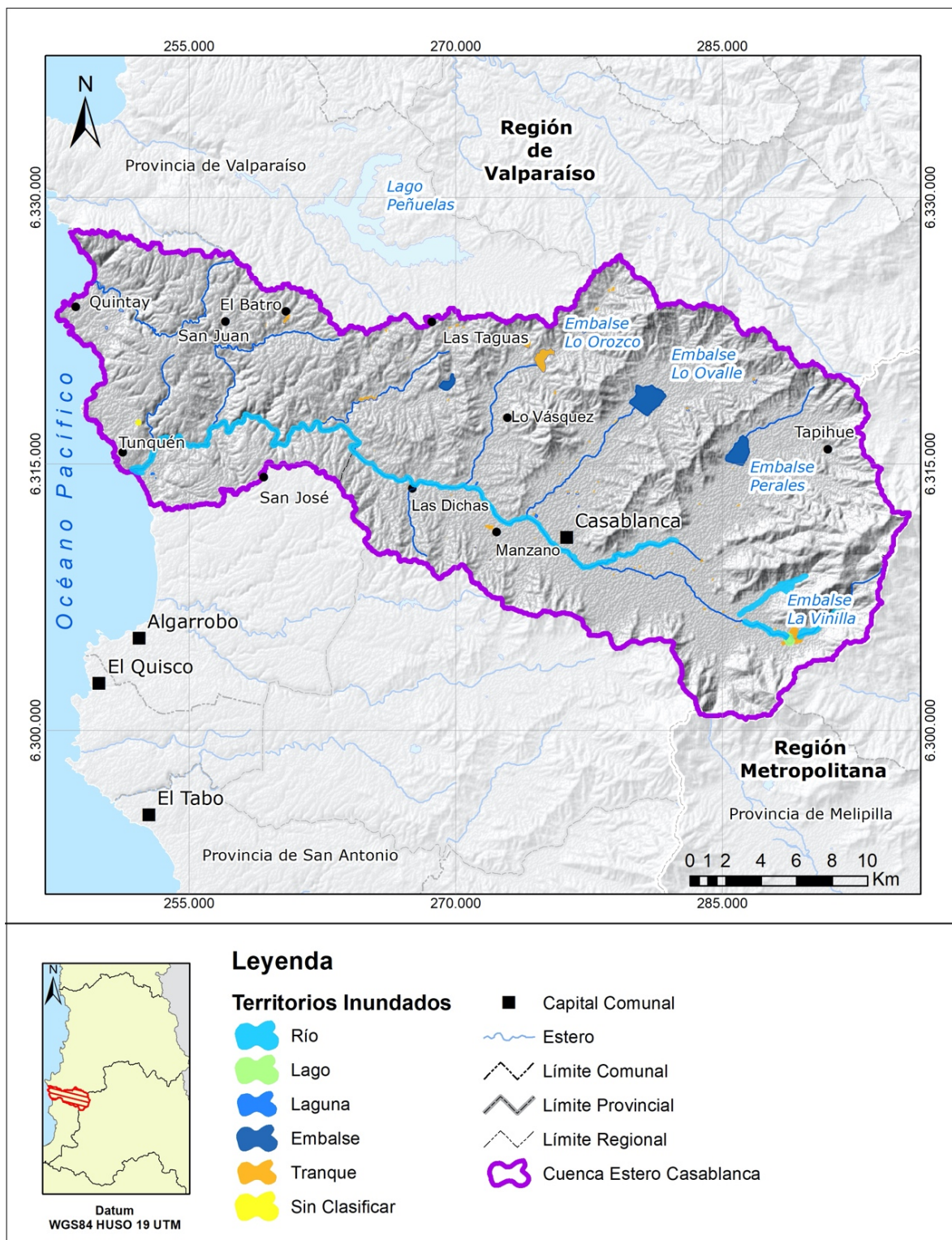


Figura 2-19. Tipos de territorios inundados dentro de la cuenca Estero Casablanca.

Fuente: Elaboración propia según datos SIG del Inventario Nacional de Humedales (MMA, 2020a).

2.4.3 Áreas bajo protección oficial y otras figuras de conservación

Para la conservación ecológica, existen varios marcos normativos con distintos niveles de protección y formas de gestión. La conservación del paisaje es importante en la mantención del régimen de caudales de cualquier río, debido a que sirve como una herramienta de conservación ecológica y posee implicancias a considerar en la planificación territorial (Lacy, 2020). Dentro de la cuenca se encuentran varias áreas con distintos niveles de conservación de los ecosistemas y del paisaje (Tabla 2-12 y Figura 2-20), se encuentran cuatro sitios prioritarios (SP) sin efecto sobre el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), un Santuario de la Naturaleza, la Reserva de la Biosfera y Subzona Borde Costero de Protección por Valor Natural y Paisajístico.

Como se observa en la Figura 2-20 se distingue que el Humedal Tunquén se encuentra en la desembocadura del Estero Casablanca y está constituido por el Santuario de la Naturaleza (Humedal de Tunquén), también por la "Zona de Protección por Cauces Naturales y Valor Paisajístico" que se ubica aguas arriba del humedal, que es un sitio prioritarios sin efecto en SEIA y por la "Subzona Borde Costero de Protección por Valor Natural y Paisajístico" localizada en la playa al sur del humedal y decretado como tal por el Plan Regulador Intercomunal de la Región de Valparaíso (MINVU, 2015). Esta última se encuentra contenida por el Sitio Prioritario sin efecto SEIA y por ello no se distingue en la Figura 2-20.

Como se menciona anteriormente, se encuentra cuatro SP sin efecto SEIA, uno de ellos asociado al Humedal Tunquén, los otros tres son: Cerro Águilas, Estero Casablanca y Punta Curaumilla -Las Docas-Quintay - Quebrada LI.

La Reserva de la Biosfera La Campana-Peñuelas, aunque está ubicada primariamente afuera de la zona del estudio, se presenta con zonas de núcleo, amortiguación y transición dentro de la cuenca Estero Casablanca.

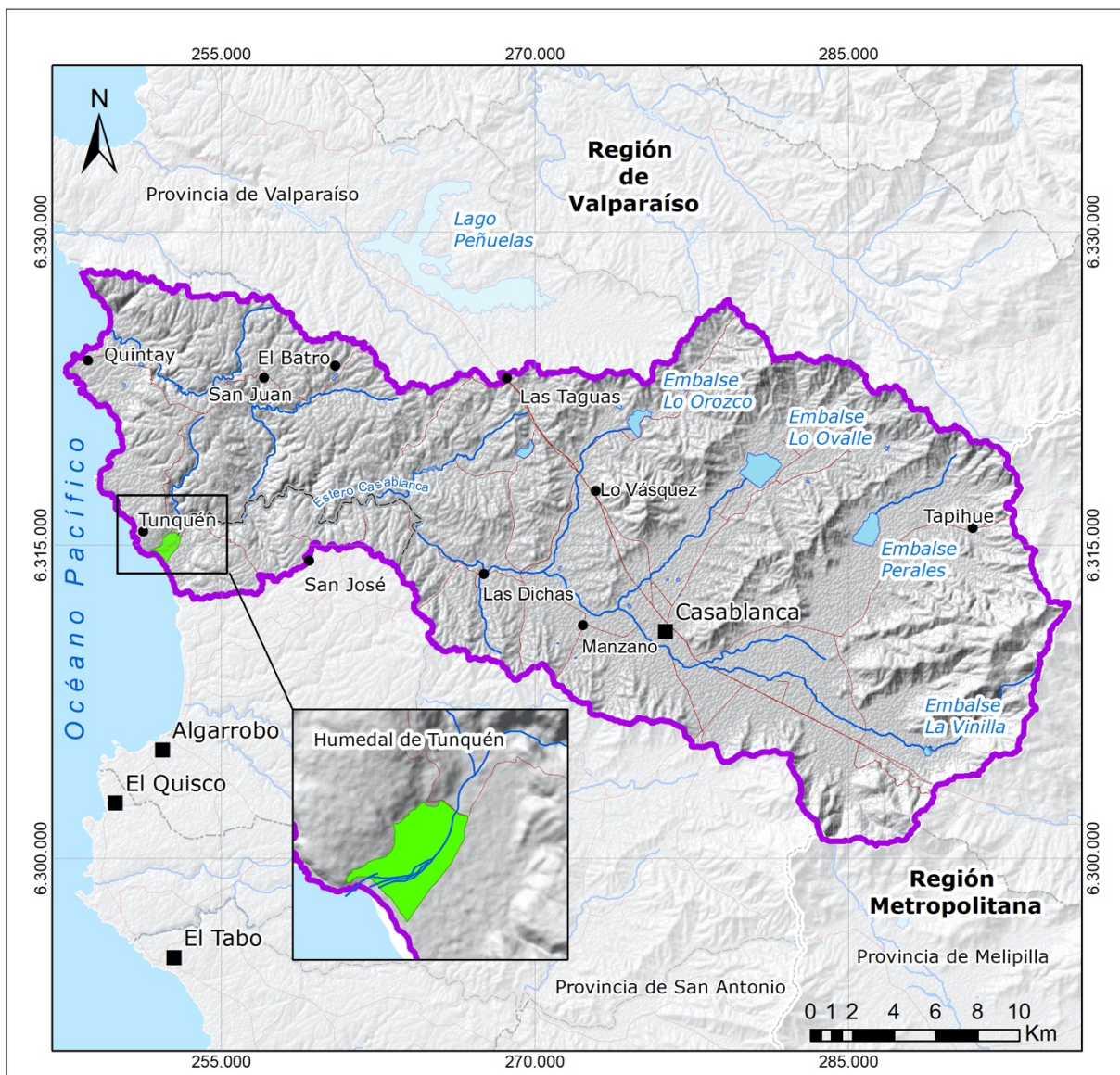
Se destaca que el 69% de la superficie de la cuenca posee una figura de conservación, lo que se explica por la zona de amortiguación y transición en el marco de la Reserva de la Biósfera, zonas que deben ser destinadas a uso racional del ecosistema. En el Anexo J – Descripción y Diagnóstico. sección 1.3.4., se presentan las fichas descriptivas de las áreas de protección oficial y otras figuras de conservación presentes en la cuenca Estero Casablanca.

Tabla 2-12. Tipos de áreas bajo protección oficial y otras figuras de conservación del paisaje dentro de la cuenca Estero Casablanca.

Área Protegida	Tipo de protección	Área Superficial [ha]	Área dentro de cuenca Estero Casablanca [ha]	Porcentaje dentro de cuenca Estero Casablanca [%]
Humedal de Tunquén	Santuario de la Naturaleza	96,0	95,9	99,9
Cerro Águilas	SP sin efecto SEIA	9.143,2	270,4	3,0
Estero Casablanca	SP sin efecto SEIA	470,1	470,1	100,0
Humedal Tunquén	SP sin efecto SEIA	544,6	480,3	88,2
Punta Curaumilla -Las Docas-Quintay - Quebrada LI*	SP sin efecto SEIA	3.588,0	1.923,3	53,6
La Campana-Las Peñuelas - Nucleo	Reserva de la Biosfera	5.938,1	40,8	0,7
La Campana-Las Peñuelas - Zona de Amortiguación	Reserva de la Biosfera	6.933,7	5.017,6	72,4
La Campana-Las Peñuelas - Zona de Transición	Reserva de la Biosfera	330.980,4	38.886,9	11,8
TOTAL			47.185,3	68,0

SP: Sitio Prioritario, ZPCP: Zona de Protección por Cauces Naturales y Valor Paisajístico, ZBC-2: Subzona Borde Costero de Protección por Valor Natural y Paisajístico

Fuente: Elaboración propia según datos de MMA (2020b) y SINIA (2020).



Datum
WGS84 HUSO 19 UTM

Leyenda

- Santuario de la Naturaleza
- Capital Comunal
- Localidades
- Límite Comunal
- Límite Provincial
- Límite Regional
- Estero
- Red Vial
- Cuenca Estero Casablanca
- Embalse;Lago;Laguna

Figura 2-20. Áreas protegidas dentro de la cuenca Estero Casablanca.

Fuente: Elaboración propia según datos de MMA (2020b) y SINIA (2020).

2.4.4 Glaciares

De acuerdo al Inventario Público de Glaciares (Mapoteca Digital DGA, 2021f), en la cuenca Estero Casablanca no se presentan glaciares.

2.5 Infraestructura hídrica

En este acápite se presenta la infraestructura hídrica presente en la cuenca como los son obras hidráulicas (embalses) y redes hidrométricas, administradas tanto por la DGA como por otras instituciones.

2.5.1 Obras hidráulicas

De acuerdo con lo dispuesto en el artículo 18 del Reglamento del Catastro Público de Aguas (CPA), el Inventario Público de Obras Hidráulicas está constituido, entre otros, por el Inventario Público de Obras Hidráulicas Mayores, y el Inventario Público de Obras Hidráulicas Menores. Entre las obras hidráulicas mayores, y de acuerdo al artículo 294 del Código de Aguas, se contemplan los embalses con capacidad superior a 50.000 m³ o con muros superiores a 5 m de altura. Por otra parte, dentro del presente punto relativo a acciones en torno a obras hidráulicas, se contemplan también aquellas relativas a infraestructura de riego, así como el detalle de los canales. También se hace la descripción de las obras de abastecimiento de agua potable y los pozos existentes en la zona de estudio.

2.5.1.1 Embalses y centrales hidroeléctricas

La zona de estudio cuenta con varios embalses de poca capacidad utilizados para el riego intrapredial que se listan en la Tabla 2-13, cada uno ubicado en un sector hidrogeológico de aprovechamiento común SHAC (más información sobre los SHAC's ver acápite 4.2.). En la cuenca, no existen centrales hidroeléctricas.

En la Tabla 2-13 se presentan algunas características de los embalses identificados en la zona de estudio.

Tabla 2-13. Características de los embalses presentes en la cuenca Estero Casablanca.

Nombre Embalse	SHAC	Uso	Capacidad [hm ³]	Altura Muro [m]	Modelados
La Vinilla	Vinilla - Casablanca	Riego	4,8	14	Si

Nombre Embalse	SHAC	Uso	Capacidad [hm³]	Altura Muro [m]	Modelados
Perales de Tapihue	Los Perales	Riego	11,64	15	Si
Lo Ovalle	Lo Ovalle	Riego	13	13	Si
Lo Orozco	Lo Orozco	Riego	5,5	16	Si
Pitama	Estero Casablanca Desembocadura	Riego	2,16	13	No

Fuente: Elaboración propia, en base a catastro Mapoteca Digital DGA (2021f) y CNR (2009b).

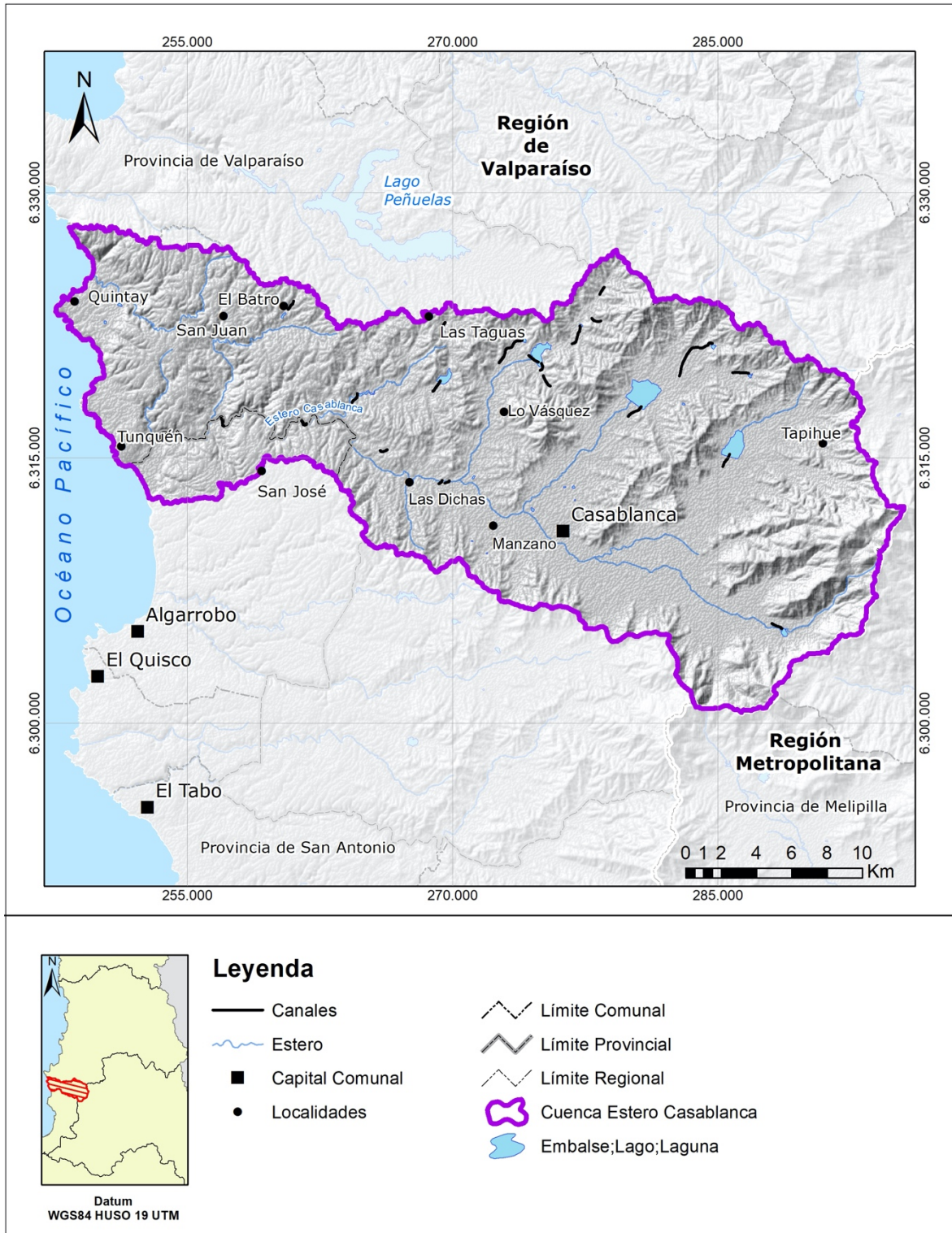
2.5.1.2 Infraestructura de riego

A continuación, se describe la red de canales según recopilación de estudios (DGA, 2015) para la cuenca Estero Casablanca.

La información recopilada en terreno según estudio (DGA, 2015) indica que la infraestructura superficial de riego existente en los SHACs, La Vinilla - Casablanca, Los Perales, Lo Ovalle y Lo Orozco ha sido construida fundamentalmente por particulares. Por ello al sistema de canales le falta cierta unidad de criterio, sobre todo en el SHAC de La Vinilla (Estero Casablanca). Es decir, el sistema hídrico superficial de los valles está asociado a los embalses mostrados en la Figura 2-21.

Respecto a las características físicas de los canales, estos son excavado en tierra, salvo pequeñas longitudes revestidas, con pendiente de acuerdo a la topografía del terreno que atraviesan, en general, relativamente bajas. La longitud total de los canales en la cuenca es igual a los 18.174 m.

En la Figura 2-21 se presentan los ríos principales del Estero Casablanca y los 22 canales identificados en capas SIG de la CNR facilitados por DGA (2021).



2.5.1.3 Obras de abastecimiento de agua potable y tratamiento

En la cuenca Estero Casablanca se pudo identificar una (1) concesionaria de agua potable correspondiente a la ciudad de Casablanca, una (1) planta de tratamiento de aguas servidas (PTAS), dieciséis (16) Servicios Sanitarios Rurales (SSR), antiguamente conocidos como Agua Potable Rural (o APR). La ubicación de las SSR se muestra en la Figura 2-22.

Los servicios de agua potable y alcantarillado (APU para efectos de este trabajo, o Agua Potable Urbana) de la ciudad de Casablanca están concesionados según la ley sanitaria a ESVAL S.A. El área concesionada corresponde a 372,56 ha y la población abastecida aproximada de 18.770 habitantes (MINVU, 2017). Cabe mencionar que la capacidad operativa actual corresponde a 147 l/s.

En cuanto al tratamiento de aguas servidas se cuenta con la planta de tratamiento de aguas servidas de Casablanca, una planta elevadora de aguas servidas con capacidad de impulsión igual a 130 l/s.

El detalle de las SSR y APU se muestra en la Tabla 2-14. De los 16 SSR, 2 no están adscritos al Ministerio de Obras Públicas y otros 2 son de privados. En total, los SSR abastecen un total de 9.864 habitantes, mientras que la concesionaria ESVAL Casablanca abastece 19.053 habitantes. Respecto a los Derechos de aprovechamiento de Aguas (DAA), 12 del total de SSR tienen 59,75 l/s asignados, mientras que para las SSR Callejón Los Barrera, El Batro, San Francisco de Tunquén y Santa Rosa Campomar, no se dispone información sobre el derecho otorgado. Respecto a los derechos de aprovechamiento de los SSR Las Dichas y Lo Orozco, el derecho se encuentra pendiente de aprobación. Mayor profundidad respecto de los derechos de aprovechamiento de aguas se puede encontrar en el Anexo J.2.3.1 - Análisis de DAA, pestaña "Sup" y "Sub".

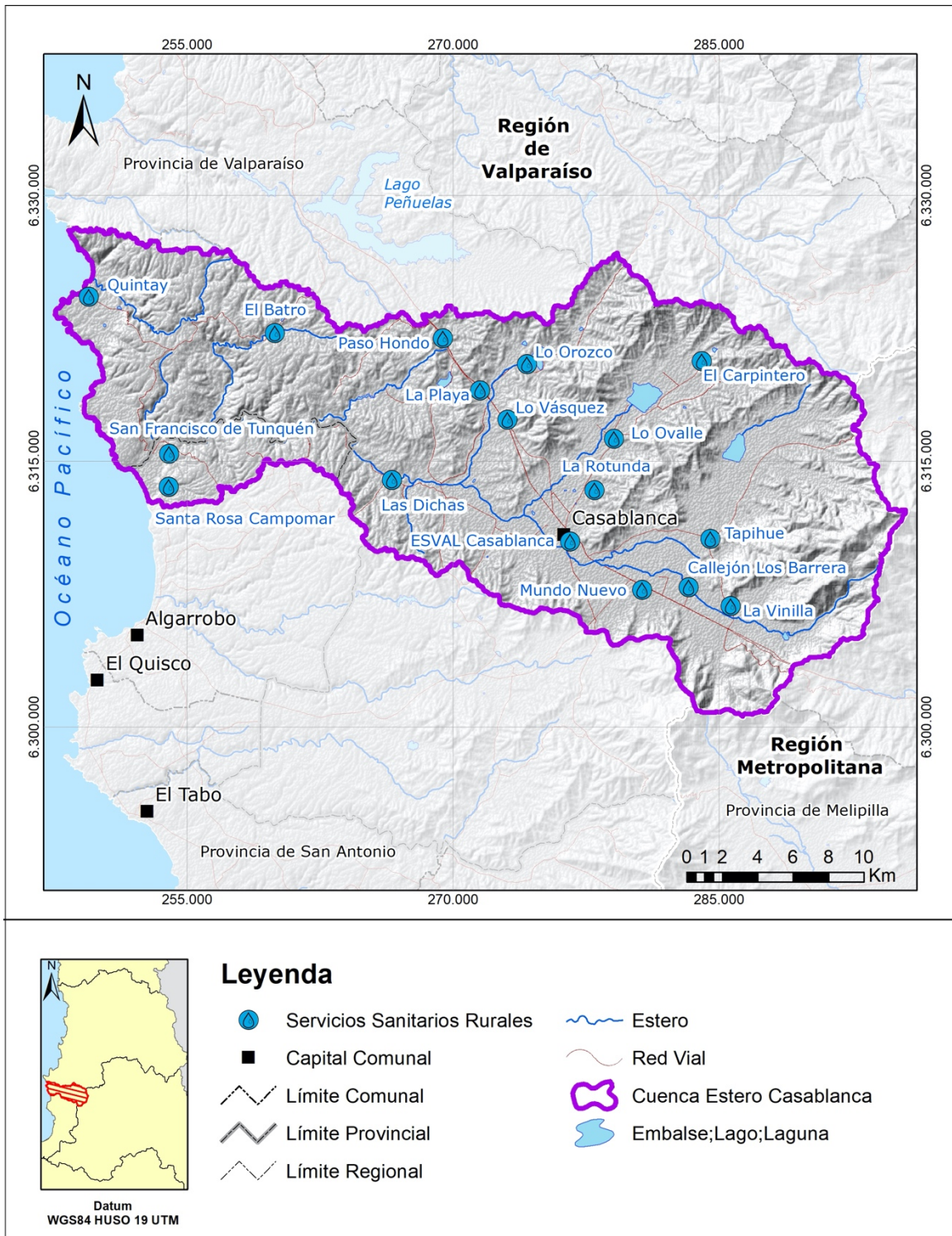


Figura 2-22. Ubicación de los Servicios Sanitarios Rurales (SSR) y la Empresa Sanitaria ESVAL.

Fuente: Elaboración propia en bases a datos entregados por Unidad de Gestión Ambiental y Territorial (UGAT), Valparaíso.

Tabla 2-14. Detalle SSR y APU en la cuenca Estero Casablanca.

Nombre SSR/APU	Tipo	Servicio	Tipo problema	DAA [l/s]	Arranques	Personas [hab]	Coordenadas Datum WGS84 Huso 19	
							Este	Norte
El Carpintero	Comité	MOP	Fuente	1,9	55	234	284.049	6.320.644
La Playa	Comité	MOP	Fuente	7	285	1.220	271.529	6.319.004
La Rotunda	Comité	MOP	Sin Problema	4	55	243	277.999	6.313.364
La Vinilla	Comité	MOP	Sin Problema	3,8	278	1.251	285.670	6.306.824
Las Dichas	Comité	MOP	Sin Problema	3,3*	164	734	266.569	6.313.949
Lo Orozco	Comité	MOP	Sin Problema	13,7*	148	585	274.185	6.320.479
Lo Ovalle	Comité	MOP	Sin Problema	1,25	79	342	279.101	6.316.279
Lo Vásquez	Comité	MOP	Fuente e infraestructura	1,8	157	702	273.089	6.317.349
Mundo Nuevo	Comité	MOP	Infraestructura	13	111	477	280.670	6.307.730
Paso Hondo	Comité	MOP	Sin Problema	1,4	84	378	269.439	6.321.944
Quintay	Comité	MOP	Fuente	6	404	1.746	249.445	6.324.291

Nombre SSR/APU	Tipo	Servicio	Tipo problema	DAA [l/s]	Arranques	Personas [hab]	Coordenadas Datum WGS84 Huso 19	
							Este	Norte
Tapihue	Comité	MOP	Fuente	2,6	159	675	284.530	6.310.619
Callejón Los Barrera	Comité	No MOP	Infraestructura	Sin información	35	124	283.300	6.307.892
El Batro	Comité	No MOP	Infraestructura	Sin información	7	28	259.963	6.322.247
San Francisco de Tunquén	Privado	Particular	Sin Problema	Sin información	-	225	253.982	6.315.423
Santa Rosa Campomar de Tunquén	Privado	Particular	Sin Problema	Sin información	-	900	253.961	6.313.559
ESVAL Casablanca	Privado	Particular	Sin Problema	20	-	19.053	276.605	6.310.475

**Derecho pendiente*

Fuente: Elaboración propia en bases a datos entregados por Unidad de Gestión Ambiental y Territorial (UGAT), Valparaíso.

2.5.2 Red medición DGA

La DGA cuenta con una red de monitoreo y control compuesta por un total de 36 estaciones vigentes y solo una suspendida según se muestra en la Tabla 2-15. Principalmente, se cuenta con estaciones de niveles de pozos (15 vigentes y 9 suspendidas), seguida de 6 estaciones de calidad de agua, y finalmente 2 meteorológicas, el detalle de estas estaciones se refleja en el Anexo J.1.3.1 Red de medición DGA y otras instituciones.

Tabla 2-15. Registro de estaciones de control DGA en la cuenca Estero Casablanca.

Cuenca	Tipo Estación	Vigentes	Suspendidas
Estero Casablanca	Calidad	6	0
	Fluviométrica	0	0
	Meteorológica	2	0
	Nivel de pozo	15	9
	Sedimentométrica	0	0
	Nivel lagos y embalses	0	0
	Glaciológica	0	0
	Ruta de nieve	0	0

Fuente: Elaboración propia en base a datos DGA (2021a).

A continuación, se describe cada red de medición por tipología.

2.5.2.1 Estaciones meteorológicas

Dentro de la cuenca Estero Casablanca se cuenta solo con dos estaciones meteorológicas DGA, Casablanca y Tapihue. No obstante, en este estudio se incorporaron cuatro estaciones meteorológicas ubicadas en las cercanías de la cuenca, con el objetivo de obtener información más detallada de las zonas extremas de la cuenca, particularmente las zonas norte, estaciones Las Piedras y Lago Peñuelas, zona sur, estación Lagunillas y zona costera, estación Algarrobo (ver Figura 2-23). El detalle de estas estaciones se encuentra en la Tabla 2-16, así como en el Anexo J.1.3.1 Red de medición DGA y otras instituciones, pestaña Estaciones meteorológicas.

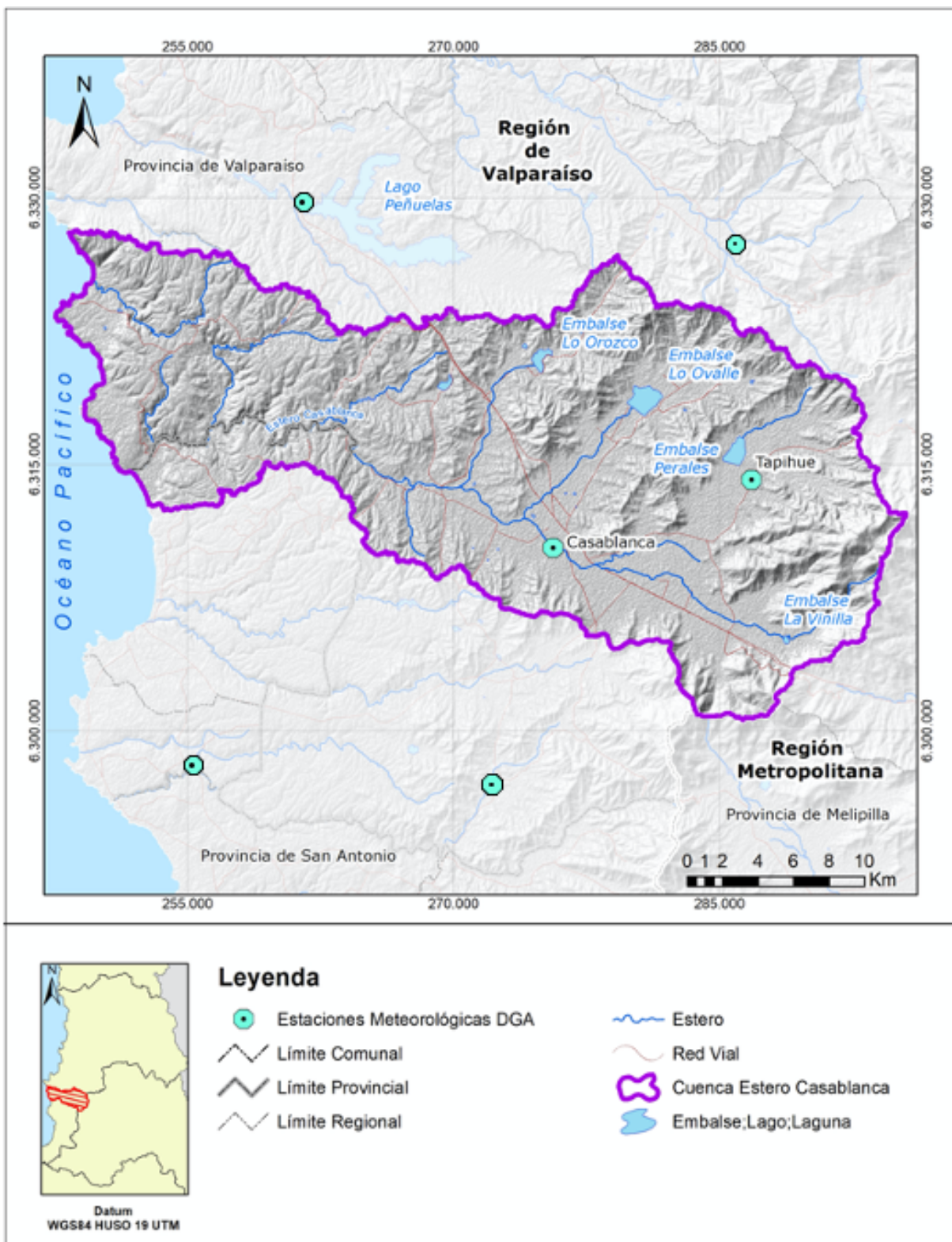


Figura 2-23. Ubicación de las estaciones meteorológicas DGA ubicadas en la cuenca y alrededores.

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

Tabla 2-16. Estaciones meteorológicas administradas por DGA.

Nombre estación	Código BNA	Fecha inicio	Fecha fin	Coordenadas Datum WGS84 Huso 19		Altitud [m s.n.m.]
				Este	Norte	
Casablanca	05520001-7	01/01/1986	Vigente	275.618	6.310.298	290
Tapihue	05520002-5	01/05/1989	Vigente	286.808	6.314.132	310
Algarrobo	05530005-4	25/04/2012	Vigente	256.066	6.296.960	130
Lagunillas	05530003-8	01/05/1986	Vigente	271.822	6.296.425	200
Las Piedras	05500001-8	01/01/1992	Vigente	284.375	6.329.079	225
Lago Peñuelas	05510002-0	01/01/1974	Vigente	261.586	6.329.722	360

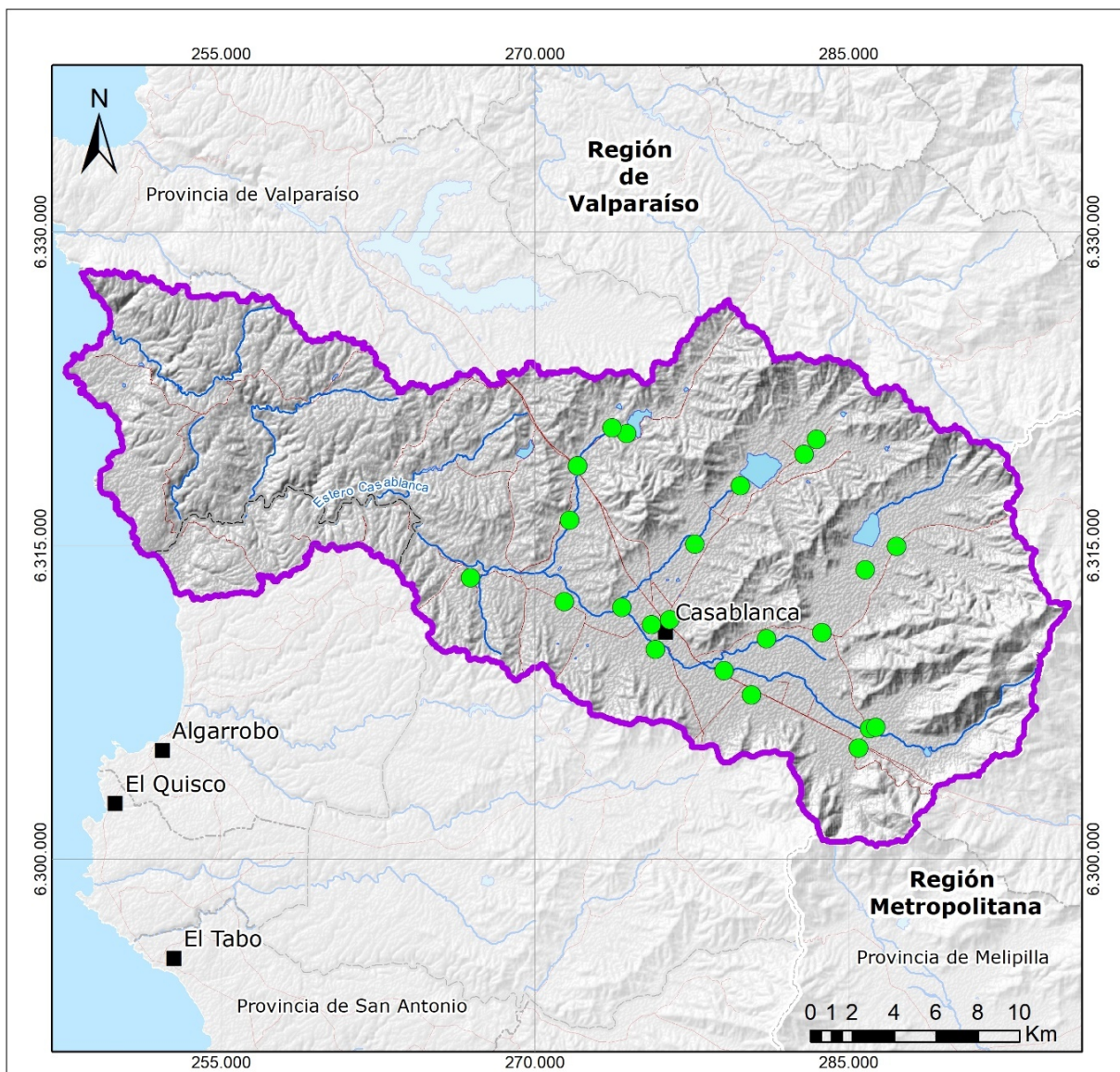
Fuente: Elaboración propia a partir de DGA (2021a).

2.5.2.2 Red hidrométrica superficial y subterránea

La cuenca Estero Casablanca no cuenta con una red hidrométrica superficial, es decir, no existen estaciones fluviométricas administradas por la DGA que midan caudal.

Respecto a la red de medición de niveles de pozos de agua subterránea, se cuenta con la información de 24 pozos de monitoreo pertenecientes a la DGA, los cuales se presentan en la Figura 2-24 (Anexo J.1.3.1 Red de medición DGA y otras instituciones, pestaña Estaciones niveles de pozos).

Se debe indicar que aguas abajo del sector Las Dichas, no existen pozos de monitoreo pertenecientes a la institución Dirección General de Aguas (DGA); esta zona provista de pozos de monitoreo cuenta con un modelo numérico hidrogeológico del acuífero Casablanca. En este PEGH, no se incluyeron los dos pozos de monitoreo de la Superintendencia de Servicios Sanitarios debido a la poca información que contenían.



Datum
WGS84 HUSO 19 UTM

Legenda

- Pozos DGA
- Capital Comunal
- Límite Comunal
- Límite Provincial
- Límite Regional
- Estero
- Red Vial
- Cuenca Estero Casablanca
- Embalse;Lago;Laguna

Figura 2-24. Ubicación de estaciones de niveles en pozos DGA.

Fuente: Elaboración propia Mapoteca Digital DGA (2021f).

En la Tabla 2-17 se presentan las estaciones de niveles empleadas en el proceso de modelación hidrológica acoplada mediante los modelos WEAP y MODFLOW; la base estadística utilizada en el modelo MODFLOW previo a este PEGH comprendió registros desde de 01 de abril de 1991 hasta el 31 de marzo de 2013, verificándose en el marco de este Plan cuáles pozos se encuentran vigentes.

Tabla 2-17. Estaciones niveles de pozos DGA.

Estación	Coordenadas UTM, huso 19		Cota [m s.n.m.]	Inicio	Término	Estado
	Norte	Este				
Agroindustria Casablanca	6.311.438	276.471	277	Sep-98	Jan-17	No vigente
A.P. Las Dichas	6.313.465	266.949	263,9	Sep-98	Jan-17	No vigente
Cumeneyén	6.320.078	283.496	323,77	Aug-99	May-20	Vigente
Embalse Lo Ovalle Bajo	6.317.857	279.858	297,9	01-Oct	Nov-20	Vigente
Fundo El Mirador	6.310.035	275.779	255,7	May-70	Jan-17	No vigente
Fundo El Tapihue	6.310.831	283.757	312,4	Apr-70	Nov-20	Vigente
Fundo La Playa	6.318.805	272.058	290,7	Oct-72	Nov-20	Vigente
Fundo La Vega	6.313.845	285.814	294,8	Apr-65	Apr-17	No vigente
Fundo La Vinilla	6.306.234	286.035	329,8	Dec-98	Nov-20	Vigente
Fundo Loma Larga	6.318.805	272.058	287,4	Apr-70	Jan-17	No vigente
Fundo Maucolén	6.306.303	286.339	332,7	Oct-98	Nov-20	Vigente
Fundo Santa Amalia	6.312.310	271.435	276,7	Dec-70	Nov-20	Vigente
Fundo Santa Esmeralda	6.309.001	279.063	267,2	Apr-70	Jan-17	No vigente
Fundo Santa Inés	6.310.538	281.110	296,8	Sep-69	Nov-20	Vigente
Fundo Santa Rita	6.316.215	271.675	278,3	Sep-98	Aug-20	Vigente
Fundo Santa Rosa	6.312.033	274.180	255,6	Sep-64	Nov-20	Vigente
Hacienda Lo Orozco	6.320.368	274.421	299,8	May-70	Aug-76	No vigente
Hacienda Lo Orozco 2	6.320.641	273.713	305,9	Apr-70	Apr-18	No vigente
La Rotunda	6.311.202	275.597	249,4	Apr-83	Nov-20	Vigente

Estación	Coordenadas UTM, huso 19		Cota [m s.n.m.]	Inicio	Término	Estado
	Norte	Este				
Mina del Agua	6.314.955	287.320	343,4	Dec-00	Jan-17	No vigente
Parcela 4 Nuevo Mundo	6.307.849	280.383	296	Sep-98	Nov-20	Vigente
Plaza Peaje Zapata	6.305.313	285.496	341,1	Sep-98	Nov-20	Vigente
Sector El Carpintero	6.319.360	282.906	335,1	Sep-98	Nov-20	Vigente

Fuente: Elaboración propia, en base a datos de (DGA,2015) y (DGA, 2021a).

Los hidrogramas generados de la información de niveles de pozos se encuentran en el Anexo J.2.2.1 - Hidrogramas.

2.5.2.3 Red de calidad de agua

Dentro de la red de calidad de agua superficial de la DGA a nivel nacional, no se presentan estaciones de medición de parámetros físico-químicos en la cuenca Estero Casablanca.

A la fecha, en la cuenca Estero Casablanca se han identificado 5 estaciones de monitoreo de calidad del agua subterránea, los cuales han sido el resultado de la coordinación entre DGA y DOH para realizar mediciones de calidad en las fuentes de agua que abastecen a las comunidades de agua potable rural (DGA 2016; 2018; 2020), a través de los Servicios Sanitarios Rurales SSR de La Playa, Lo Ovalle, Mundo Nuevo, Paso Hondo Casablanca y Tapihue (Tabla 2-18). Esta coordinación se realiza mediante el Programa plurianual de monitoreo de pozos SSR (2018-2021), realizado por DGA en 2018. Dichas estaciones se encuentran vigentes, sin embargo, la periodicidad del monitoreo de acuerdo al informe DGA (2018), indica que cada estación es monitoreada y evaluada al menos una vez cada tres años; la evaluación se realiza mediante el Índice de Calidad de Agua (ICA), que categoriza la calidad como Regular, Intratable, Insuficiente, Buena o Excelente. El monitoreo en cada estación deberá repetirse anualmente, en caso tal de que la estación evaluada obtenga índice ICA en las categorías Regular, Intratable o Insuficiente. Pero si la ICA muestra una clase de "Buena" o "Excelente," no se realizará el muestreo hasta el próximo programa

En la Figura 2-25 observa la distribución de estas estaciones de monitoreo dentro de la cuenca. Más información sobre estas estaciones se encuentra en el Anexo J.1.3.1 Red de medición DGA y otras instituciones, pestaña Estaciones Calidad de agua).

Tabla 2-18. Estaciones de monitoreo de calidad de agua subterránea de la DGA dentro de la cuenca Estero Casablanca.

Nombre Estación	Código BNA	Coordenadas UTM, huso 19		Estado	SHAC	Código SHAC
		Norte	Este			
SSR La Playa	05520031-9	6.318.395	272.094	Vigente	Lo Orozco	SHAC-5-44-222
SSR Lo Ovalle	05520032-7	6.316.411	278.908	Vigente	Lo Ovalle	SHAC-5-45-223
SSR Mundo Nuevo	05520033-5	6.307.729	280.660	Vigente	La Vinilla-Casablanca	SHAC-5-43-221
SSR Paso Hondo Casa Blanca	05520035-1	6.321.950	269.436	Vigente	Esteros Casablanca Desembocadura	SHAC-5-42-220
SSR Tapihue	05520034-3	6.311.763	283.411	Vigente	Los Perales	SHAC-5-46-224

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del informe DGA (2020).

Cada una de las estaciones de monitoreo de calidad de agua subterránea, se asocia a un SHAC diferente de la cuenca Estero Casablanca, permitiendo generar información de la diferencia o similitud de la calidad de agua subterránea entre los diferentes sectores hidrogeológicos presentes en la cuenca. La toma de muestras a través de los puntos de extracción de los SSR para medir la calidad de agua subterránea ha favorecido aumentar la cantidad de puntos de monitoreo de agua subterránea, y la infraestructura que permite tomar datos de este tipo, en reemplazo de instalar una estación o pozo nuevo de la DGA.

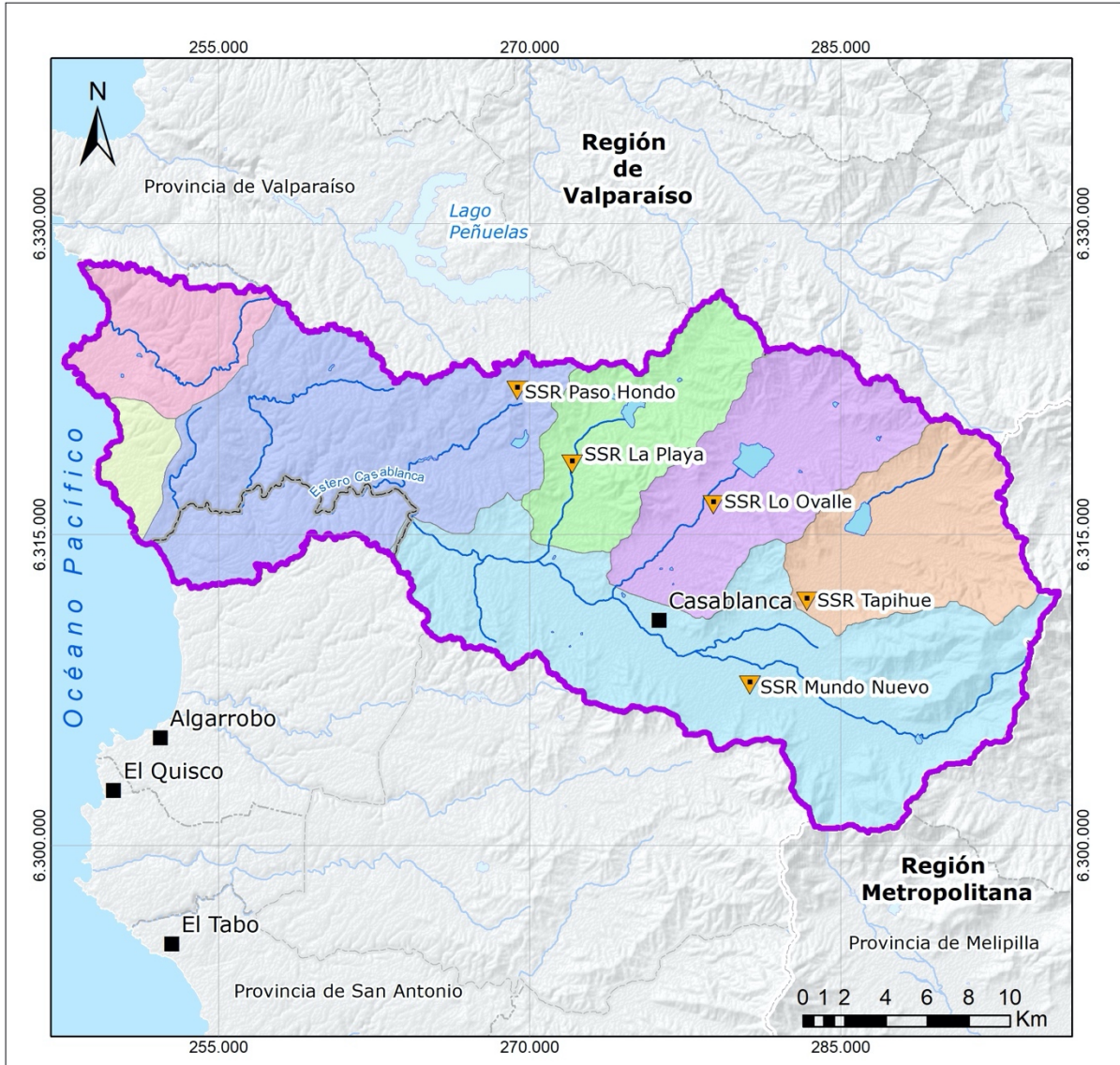


Figura 2-25. Distribución geográfica de las estaciones de calidad de agua subterránea.

Fuente: Elaboración propia según los datos del Informe DGA (2020).

2.5.2.4 Red glaciológica y de nieves

En la cuenca no existen redes de monitoreo de glaciares, ni rutas de nieve.

2.5.3 Redes de medición de otras instituciones

En este acápite se presentan las redes de estaciones de medición de variables meteorológicas en las que la DGA no tiene competencias y que fueron utilizadas por el presente estudio. Cabe mencionar que en la cuenca Estero Casablanca, a la fecha, no se encuentran estaciones de medición de otras instituciones relativas a calidad de agua superficial y/o subterránea.

Respecto a información meteorológica se utilizaron datos de la red AGROMET (ver Figura 2-26 y Tabla 2-19.). Las estaciones existentes en la cuenca son Casablanca, Ventisquero-Tapihue y Emiliana; las tres estaciones están en operación, siendo Casablanca la que cuenta con un periodo de registro mayor, 10 años, seguida de Emiliana con 9 y 5 para Tapihue-Ventisquero.

Las estaciones AGROMET miden diferentes variables, tales como temperatura del aire promedi, mínima y máxima, precipitación horaria, humedad del aire, velocidad y dirección del viento, presión atmosférica, radiación solar máxima, Grados-día y horas de frío.

Tabla 2-19. Estaciones meteorológicas AGROMET.

Estación	Coordenadas UTM, huso 19		Registro de datos	
	Este	Norte	Fecha Inicio	Fecha Término
Casablanca	272.951	6.310.600	2010-01-01	2020-12-31
Emiliana	285.162	6.306.341	2011-01-01	2020-12-31
Tapihue-Ventisquero	287.320	6.313.181	2015-01-01	2020-12-31

Fuente: Elaboración propia a partir de información AGROMET (2021).

Por otro lado, respecto a la información recopilada de los pozos de monitoreo pertenecientes a la red de la Superintendencia de Servicios Sanitarios, dio cuenta de unos pocos puntos dentro del dominio de modelación, y de éstos sólo 2 tenían datos de niveles de aguas subterráneas y muy poca información, por lo que no fueron considerados en la modelación.

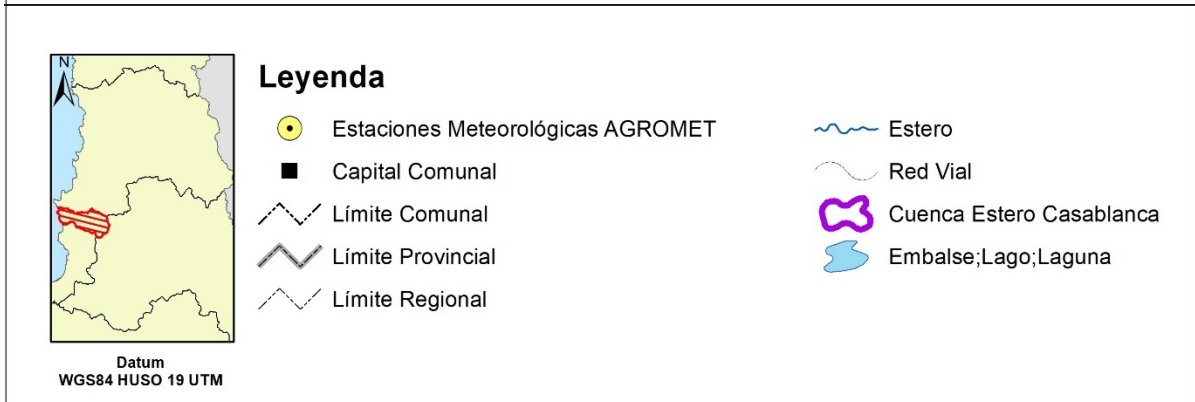
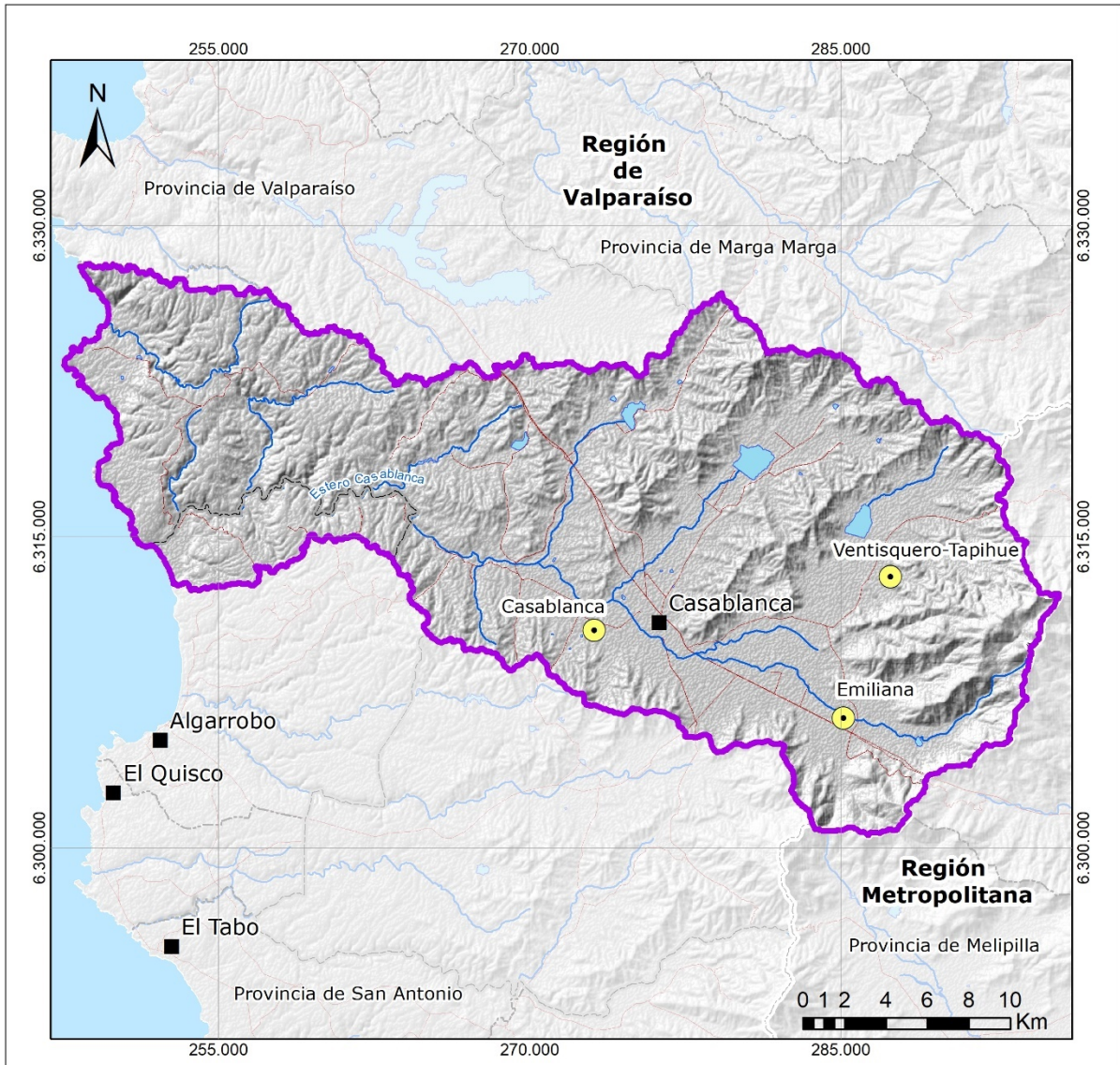


Figura 2-26. Ubicación estaciones meteorológicas de la red AGROMET.
Fuente: Elaboración propia, en base a datos geospaciales facilitados por AGROMET (2021).

Respecto a información de nivel piezométrico de pozos se encontraron datos correspondientes a la Superintendencia de Servicios Sanitarios de Chile (SISS). Dicha información muestra que, dentro de la cuenca Estero Casablanca existen 2 pozos con 4 datos de niveles piezométricos cada uno, por lo que se descarta estos datos por ser irrelevantes para el estudio.

No se encontró detalle de la infraestructura asociada a las estaciones anteriormente mencionadas.

2.6 Nuevas fuentes

Se consideran nuevas fuentes de aguas, aquellas que incorporan agua a la cuenca desde fuentes no exploradas y utilizadas tradicionalmente. Dentro de las nuevas fuentes se encuentran: extracción desde acuíferos profundos, es decir, más allá de 500 m; recarga artificial de acuíferos, agua desalada, cosecha de aguas lluvias y uso de aguas servidas tratadas.

2.6.1 Acuíferos profundos

En conformidad con los antecedentes analizados y complementarios al estudio DGA (2015), es posible indicar que la geofísica actual no indica presencia de acuíferos profundos en el sector, los SHACs de La Vinilla - Casablanca, Lo Orozco, Lo Ovalle y Los Perales sobreyacen a unidades ígneas intrusivas y volcánicas del cretácico y cuaternario. Por lo tanto, bajo estas formaciones es muy poco probable encontrar agua fresca, teniendo que explorar y perforar potencias de más de 500 m en roca para constatar la presencia de dichos acuíferos profundos. Dicha exploración no ha sido realizada en la cuenca.

2.6.2 Recarga de acuíferos

En la actualidad, no se cuenta con estudios que propendan a la evaluación de la recarga artificial de acuíferos como una nueva fuente de agua. Sin embargo, según el análisis realizado de los antecedentes que incorporan estudios de suelos, se observa que éstos son poco permeables y que existen afloramientos a la salida de la cuenca, lo que hace poco factible una recarga artificial al acuífero. No obstante, se puede proponer mediante evaluar la factibilidad de posibles recargas artificiales al acuífero, determinando con estudios hidrogeológicos de detalle aquellas zonas más aptas para establecer la recarga artificial mediante pozos.

2.6.3 Desalinización

Durante el proceso de recopilación y análisis de antecedentes, se concluyó que no se han desarrollado estudios que registren la evaluación de la prefactibilidad de implementar el proceso de desalinización para incorporar nuevas fuentes de agua en la cuenca. Sin embargo, es admisible considerar la existencia una planta desaladora que abastezca de agua la parte alta de la cuenca donde existe infraestructura de almacenamiento.

2.6.4 Cosecha de aguas lluvias

Para el presente estudio no se encontraron iniciativas de cosecha de aguas lluvias en la cuenca Estero Casablanca. Una posible iniciativa que debe ser estudiada son los sistemas de atrapanieblas en la zona cercana al mar de la cuenca, de manera de estimar potenciales volúmenes de captación de agua.

2.6.5 Usos de aguas servidas tratadas

Según MINVU (2017) en lo que respecta al servicio de alcantarillado, se contempló en 2018 una ampliación de capacidad de la planta elevadora de aguas servidas adyacente a la planta de tratamiento (PTAS) localizada en el centro urbano de Casablanca, de 90 a 130 l/s, refuerzo de la impulsión y construcción de una unidad adicional de lagunas aireadas de 59 l/s para alcanzar unos 90 l/s de capacidad de tratamiento. Lo anterior, sumado a la disponibilidad de las aguas servidas, una vez tratadas, son reintegradas al cauce y no se especifica el eventual uso que tendrán. Eventualmente, esas aguas tratadas podrían ser utilizadas en procesos industriales o agrícolas, previo cumplimiento de la normativa vigente de acuerdo con la demanda a suplir o recarga del acuífero.

2.7 Gobernanza del agua a nivel de cuenca

Los cambios a nivel mundial, de la mano de la globalización, las transformaciones tecnológicas en el mundo, el creciente rol que cumplen las organizaciones no gubernamentales y de la sociedad civil, han transformado el rol rector del Estado durante el siglo XXI. De este modo, se ha diseminado el uso del término "gobernanza", siendo éste un concepto complejo e, incluso, polisémico (Launay, 2005).

En un sentido amplio, la gobernanza puede definirse como la "manifestación de las relaciones de poder, que se traducen en la toma de decisiones y la no toma de decisiones" (Barton, 2008). Si bien analítica, ésta es una definición poco operativa. Sin embargo, en materias hídricas, se puede desprender que la gobernanza del agua es un proceso complejo (Timmerman *et al.*, 2017), que comprende a todas y todos los actores con influencia para tomar -o no- decisiones y acciones que incumban a la gestión hídrica.

Esto es coincidente con lo planteado por la OCDE, cuando señala que “Las crisis del agua suelen ser fundamentalmente crisis de ‘gobernanza’” (2015). Del mismo modo, dicha organización señala que la gobernanza es específica a los territorios, por lo que las políticas públicas deben adaptarse al contexto geográfico donde se implementan.

En coincidencia, la *Global Water Partnership* ha definido “gobernanza hídrica” como el “conjunto de sistemas políticos, sociales, económicos y administrativos establecidos para desarrollar y gestionar de manera sustentable los recursos hídricos y proveer servicios e insumos de agua a los diferentes niveles de la sociedad y para las diferentes actividades económicas” (Banco Mundial, 2013).

Desde el nivel de la cuenca de Casablanca y, a partir de la información recopilada en diversos procesos de participación ciudadana, se menciona que la sequía afecta al valle de Casablanca desde hace más de diez años, de este modo las norias y los pozos menos profundos se están agotando progresivamente. A partir de este escenario, desde el punto de vista de los desafíos a la gestión hídrica en materia de gobernanza e institucionalidad, son los siguiente:

1. La tensión se manifiesta explícitamente en torno a la desventaja competencia entre los usos productivos y de consumo humano, sembrando un panorama de escasez hídrica de la mano del régimen de tenencia actual de los derechos de aprovechamiento, que se perciben como concentrados en los actores con mayores recursos económicos.
2. Así, se señaló la necesidad de resolver el sobre otorgamiento de derechos de aprovechamiento de aguas en la cuenca Estero Casablanca, mediante la regulación de su distribución actual según el criterio de capacidad de carga. Actualmente, las actividades inmobiliarias, agrícolas y mineras concentran el consumo de agua en desmedro del consumo humano y del caudal ecológico. De este modo, se señaló la necesidad de evaluar el impacto y limitar en caso de ser necesario el consumo de agua.
3. En consecuencia, el elemento crucial señalado fue la mala gestión hídrica, manifestada en la dispersión institucional. Esto apunta a la necesidad de impulsar una planificación integrada de la cuenca, que asegure el caudal ecológico mínimo de los cursos de agua e identifique los conflictos al consumo humano. En paralelo, se consideró la necesidad de aumentar la fiscalización por parte de la Dirección General de Aguas, ante la proliferación de loteos y pozos irregulares, que podrían estar usurpando agua. No obstante, esto debe potenciarse mediante un rol de denuncia de las organizaciones ciudadanas afectadas.
4. Tal como se mencionó anteriormente, los comités de Agua Potable Rural manifestaron importantes carencias, tanto en términos de regularización de sus derechos de aprovechamiento de aguas, como también en cuanto a la posesión de terrenos para constituir sus pozos. Respecto a esto último, hay que señalar que deben optar por terrenos donados o sitios de uso público, pero no propios. En especial, la localidad de Quintay fue destacada por las múltiples deficiencias que enfrenta: falta de disponibilidad de agua, contaminación de las fuentes hídricas por riles y la mala calidad consiguiente, además de contaminación del estero El Jote con metales pesados.
5. En términos ambientales, también se refirieron al abandono en su conjunto del Estero Casablanca, que presenta múltiples zonas de microbasurales, y la deforestación del bosque

nativo en la cuenca en general. Igualmente, cabe remarcar la degradación de los ecosistemas en la cuenca Estero Casablanca, especialmente los humedales, que se mantienen sin solución. Un ejemplo señalado de ambos elementos fue el caso del Estero El Jote y el Humedal de Tunquén, desde donde se extrae agua por parte del complejo inmobiliario Santa Augusta.

2.7.1 Mapa de actores

Desde el año 1981, el Código de Aguas de Chile otorga a las organizaciones de usuarios de aguas OUA el rol de:

"Distribuir en cada cauce o cuenca hidrográfica las aguas que correspondan a los titulares de derechos de aprovechamiento y, además, tienen facultades para resolver los conflictos que se produzcan (...) relativos a la repartición de aguas o el ejercicio de los derechos" (Contraloría General de la República, 2014, pág. 17).

Así, cabe resaltar que, en el caso del valle de Casablanca, la infraestructura superficial de riego ha sido impulsada principalmente por particulares: "Dueños de fundo que tomaron en consideración solamente su propia conveniencia. Por ello el sistema de canales le falta cierta unidad de criterio, en especial en el valle principal" (DGA, 2015, pág. 169).

Desde el punto de vista del acceso al agua potable, la ciudad de Casablanca se encuentra amparada por la ley sanitaria, de manera que su suministro se encuentra asegurado por la empresa ESVAL y la Superintendencia de Servicios Sanitarios. Si bien existe una amenaza de escasez hídrica, ésta fue desestimada por el Plan Regulador Comunal, en virtud de la estabilización de los niveles del acuífero subterráneo (I. Municipalidad de Casablanca, 2018).

Por otro lado, la realidad de las localidades rurales es dispar. Dentro de la cuenca se encuentran 16 SSR en funcionamiento, sin embargo, el sector de Las Dichas cuenta con suministro provisto por ESVAL; mientras que Lo Vásquez, La Playa y Los Maitenes dependen de proyectos DOH, que operan satisfactoriamente. Del mismo modo, Paso Hondo no presenta dificultades en su suministro, tal como la generalidad de los SRR en la comuna. Sin embargo, las localidades de La Vinilla, Lagunillas y Quintay presentan insuficiencias en la disponibilidad hídrica. En paralelo, los asentamientos de Lagunillas, La Playa y Paso Hondo aún no cuentan con derechos de aprovechamiento de aguas regularizados (I. Municipalidad de Casablanca, 2018). El listado actual de SSR es el siguiente:

- SSR La Vinilla
- SSR Las Dichas
- SSR Mundo Nuevo
- SSR Callejón Los Barrera
- SSR Tapihue
- SSR El Carpintero
- SSR La Rotunda
- SSR Lo Ovalle
- SSR La Playa

- SSR Lo Orozco
- SSR Lo Vásquez
- SSR Paso Hondo
- SSR El Batro
- SSR San Francisco de Tunquén
- SSR Santa Rosa CampoMar de Tunquén
- SSR Quintay

En paralelo, las localidades rurales de la comuna de Algarrobo describen la insuficiencia de sus redes de alcantarillado, como también carencia de plantas de tratamiento de aguas domiciliarias. A esto debe sumarse el impacto de la expansión urbana, que enturbia las fuentes de agua de toda la comuna, que acrecienta la escasez hídrica ocasionada por la frecuente ocurrencia de sequías (I. Municipalidad de Algarrobo, 2017).

En cuanto a recolección y tratamiento de aguas servidas en el área rural de la comuna de Casablanca, no existe centralización sino servicios particulares de diversos tipos de saneamiento, como letrinas, pozos negros y fosas sépticas. Esta situación implica riesgo de contaminación de las napas subterráneas, además de provocar, por causa del crecimiento poblacional, limitaciones en el ordenamiento del crecimiento urbano (I. Municipalidad de Casablanca, 2018).

Desde el punto de vista de su organización, cabe señalar que el Estero Casablanca no cuenta con Junta de Vigilancia constituida (CNR, 2013; DGA, 2018). Del mismo modo, el Diagnóstico Nacional de Organizaciones de Usuarios de Agua, elaborado por la DGA(2018), no identificó asociaciones de canalistas o comunidades de agua vigentes y en funcionamiento para este territorio. Sin embargo, un informe anterior (CNR, 2013) revisó los registros de los Conservadores de Bienes Raíces de la Región de Valparaíso, identificando así:

- Asociación de canalistas del canal Embalse de Pitama (CBR Casablanca, Foja 3, n°5, año 1950).
- Comunidad de Aguas del Canal Santa Rita (CBR Casablanca, Foja 12, n°16, 1984).

A éstos se pueden incluir las asociaciones de canalistas mencionados por el informe elaborado por la DGA (2015):

- Asociación de Canalistas del Embalse Los Perales de Tapihue.
- Asociación de Canalistas del Embalse Lo Ovalle.
- Asociación de Canalistas del Embalse Lo Orozco.

A la vez, se pueden incluir aquellas agrupaciones indicadas en los registros de la DGA:

- Canal embalse La Purísima de San Jerónimo.
- Comunidad de Aguas Tranque El Porvenir.
- Comunidad de Aguas Pozo La Fragua.
- Comunidad de Aguas Pozo El Cardo Arriba a-5.
- Comunidad de Aguas Embalse El Peral.

- Comunidad de Aguas Canal El Asilo.
- Comunidad de Aguas Canal La Floresta.

Cabe relevar que las últimas cuatro se encuentran pendientes de registro y que, en su totalidad, las Comunidades de Aguas no se encuentran operativas y no fue posible contactarles durante el estudio.

En síntesis, el mapa de actores vinculados a la gestión hídrica en la cuenca Estero Casablanca se plantea según lo descrito en la Figura 2-27.

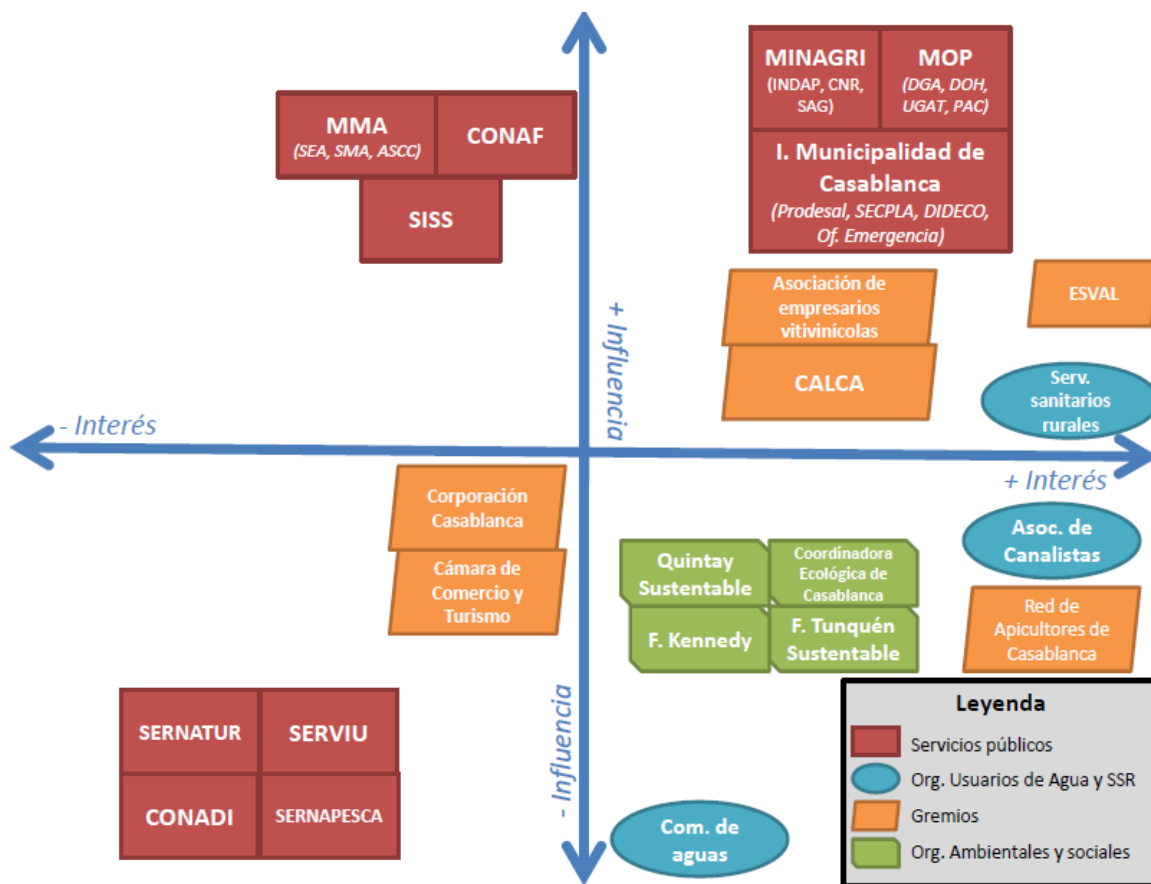


Figura 2-27. Mapa de actores vinculados a la gestión del agua en la cuenca Estero Casablanca.

Fuente: Elaboración propia a partir del análisis de instancias PAC. Ver Anexo I - Detalle procesos participativos, sección 1.3.3) y revisión bibliográfica.

Como se evidencia en la Figura 2-27, existen diferentes actores relevantes en la cuenca Estero Casablanca. Por ejemplo, desde una alta influencia e interés, se encuentra la Municipalidad con la presencia, particularmente, del Programa de Desarrollo Local (PRODESAL), la Dirección de Desarrollo Comunitario, la Oficina de Emergencia y la Secretaría de Planificación. Así también, y bajo el mismo interés e influencia, se encuentra

la Asociación de Empresarios Vitivinícolas que estuvo en constante participación en las instancias de participación ciudadana y los servicios sanitarios rurales, los cuales tuvieron gran interés e influencia en participar para generar iniciativas correspondientes a su tema de interés.

Por otro lado, desde el aspecto de gran interés, pero con menor influencia, se encuentran diferentes organizaciones ambientales y sociales y también Organizaciones de Usuarios de Agua. Se destaca en gran manera la constante asistencia de estos dos actores y el enriquecimiento de la discusión a través de ellos/as. Como resultado de la activa participación de los asistentes, es importante rescatar diferentes iniciativas del plan como la creación y fortalecimiento de la Oficina de Asuntos Hídricos, el comité para una gestión integrada en recursos hídricos, programa de constitución y fortalecimiento de comunidades de aguas subterráneas en la cuenca Estero Casablanca, entre otras.

Desde este mapa de actores, se evidenció que la identificación conjunta de problemas identificados desde las instancias de participación ciudadana - a partir del diagnóstico - permitió generar diferentes mecanismos de validación por lo que dio forma a que el proceso participativo y del plan se desarrolló de la mejor manera posible. De esta manera, también se legitimó los análisis y posteriores propuestas.

2.7.2 Brechas

Las brechas definidas para el Plan se categorizan en tres clases: brechas de coordinación, brechas de información y brechas de balance hídrico.

Las brechas de coordinación hacen alusión a las relaciones que se establecen en torno a los recursos hídricos, su gestión y la flexibilidad o no de estas tal que permita que las partes involucradas, actores, vean sus necesidades resueltas. Estas relaciones en la mayoría de los casos se ven favorecidas por dos condicionantes, el ámbito legislativo y el ámbito normativo, ambos que faciliten la toma de acciones claras y duraderas o que definitivamente no estén alineados con el proceso cambiante de gestión hídrica.

Las brechas de información se enfocan a dos tipos de necesidades: la primera de generación de nueva información y su disponibilidad tanto para la autoridad como para la comunidad, y la segunda de capacitación de la comunidad tal que le permita un empoderamiento informado.

Finalmente, las brechas de balance hídrico, como su nombre lo dicen, enfatiza en la diferencia entre la oferta y la demanda, tanto a nivel histórico como futuro. En este caso, esta comparación entre la oferta y la demanda proviene por un lado desde el análisis de la información levantada en las etapas de descripción y diagnóstico de la cuenca y la modelación hidrológica acoplada y, por otro lado, de la percepción y vivencia de los usuarios finales, levantada a través de las diferentes instancias de participación ciudadana.

El proceso de identificación y concreción de las brechas presentadas a continuación se elaboró a partir de tres diferentes insumos:

1. Análisis de los datos levantados en la etapa de descripción de la cuenca y que condujeron al diagnóstico de la misma respecto al estado hídrico, de gobernanza e institucionalidad, infraestructura, calidad del agua.
2. Modelación hidrológica acoplada, tanto para el periodo histórico como futuro bajo la acción del cambio climático, la cual permitió evaluar la sostenibilidad del sistema.
3. Instancias de participación ciudadana, en las cuales los usuarios finales manifestaron abiertamente sus necesidades en torno a la calidad y cantidad del recurso hídrico disponible, conocimiento, conservación del medio ambiente, relacionamiento con el Estado, entre otros.

A continuación, se describen el conjunto de brechas de información y coordinación identificadas en el estudio. Las brechas de balance hídrico se presentan en el acápite 5.4.1.

2.7.2.1 Brechas de coordinación

Si bien existe información sobre la inscripción legal de distintas organizaciones de usuarios, debe considerarse que los impactos de la reducción contemporánea de las precipitaciones, enfatizadas por el régimen exclusivamente pluvial de la cuenca, han afectado severamente el funcionamiento de las Organizaciones de Usuarios de Aguas en la cuenca, históricamente constituidas en torno a la gestión de las aguas superficiales (Comunidades de aguas y Asociaciones de Canalistas). A esta situación debe agregarse que nunca se ha constituido una Junta de vigilancia en torno a la presente cuenca.

Por otro lado, la amplitud de organismos estatales y servicios públicos que ejercen su acción (ya sea en materias de planificación, fiscalización, subsidios y ejecución de planes y proyectos) en torno al agua dificulta el correcto desempeño de la institucionalidad en torno a este elemento.

De este modo, la gestión del agua en la cuenca Estero Casablanca aparece regida de facto según el régimen de propiedad de los derechos de aprovechamiento en la cuenca Estero Casablanca. Así, la falta de organizaciones de usuarios de agua que operen efectivamente aparece como una grave brecha de coordinación y gobernanza en el territorio.

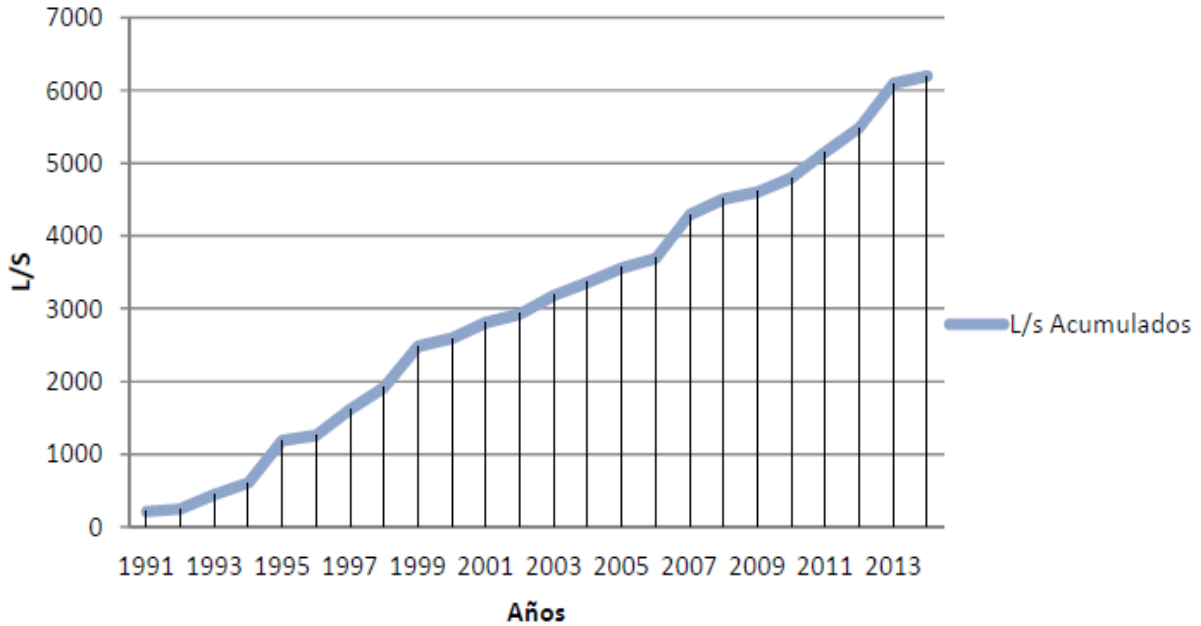


Figura 2-28. Total de caudales otorgados acumulados en la cuenca de Casablanca entre los años 1993 y 2013.

Fuente: Elaboración propia a partir del estudio DGA (2015).

Como se aprecia en la Figura 2-28, en la comuna de Casablanca se presenta un notorio incremento de los derechos de aprovechamiento subterráneos otorgados desde 1991 hasta el año 2013 pasando de cerca de 200 l/s a poco más de 6.000 l/s en 23 años. En especial, estos caudales se han concentrado en el sector de La Vinilla-Casablanca, mientras que en la zona de Lo Orozco es donde se ha registrado la menor demanda (ver Tabla 2-20):

Tabla 2-20. Total de caudal asignado en el año 2015, por subcuenca en la Cuenca Estero Casablanca.

Sector	Total otorgado [l/s]
La Vinilla – Casablanca	3.390
Lo Orozco	230
Lo Ovalle	1.492
Los Perales	1.084
Total	6.196

Fuente: Elaboración propia a partir del estudio DGA (2015).

Por consiguiente, en el año 2005, la Dirección General de Aguas decretó como zona de restricción el acuífero. Así, se vio restringida la inscripción de nuevos derechos de agua ya que su capacidad de recarga, estimada en 1.144 l/s, estaba siendo superada ampliamente por una demanda de 8 mil l/s (I. Municipalidad de Casablanca, 2014).

Cabe mencionar que diversos servicios públicos (tal como INDAP y DGA), como también actores relevantes (Asociación de Empresarios Vitivinícolas de Casablanca) coinciden en la necesidad de constituir Comunidades de Aguas Subterráneas, con el objetivo de reconocer la importancia que ha tomado la extracción subterránea de aguas, mediante pozos, y coordinarla.

En resumen, en brechas de coordinación se destaca:

1. Afectación del funcionamiento, constitución y organización de las OUA's debido a la escasez hídrica.
2. Diversidad de organismos estatales y servicios públicos que dificultan el correcto desempeño de la institucionalidad en torno al agua.
3. La obligatoriedad de la propiedad de los derechos de aprovechamiento de aguas para formar parte de la gestión, siendo necesario constituir organizaciones de usuarios de agua.

2.7.2.2 Brechas de información

Las brechas de información encontradas hacen referencia a la falta de levantamiento sistemático de información acerca de la calidad del agua superficial y subterránea, la dificultad de acceso a la información por parte de la comunidad y percepción de la comunidad de una gestión hídrica deficiente por la falta de transparencia en diversos aspectos.

2.7.2.2.1 Provisión del agua en calidad

De acuerdo con la caracterización, tanto de las aguas superficiales como subterráneas, se identificó que el parámetro de nitrato es aquel indicador que señala una regular calidad de agua para los acuíferos y para las aguas superficiales ubicadas en la desembocadura del Estero Casablanca. Cabe destacar que esta relación se basa única y exclusivamente en un monitoreo de calidad de agua superficial desarrollado en el Humedal Tunquén, por lo que constituye una brecha de información el poco conocimiento que se tiene del estado de la calidad de las aguas superficiales en el tramo inferior del Estero Casablanca entre el punto de cierre del modelo hidrogeológico MODFLOW (Ver Anexo H – Modelación Integrada, capítulo 2, acápite 2.1.1) y la desembocadura, tal que permita establecer la relación entre la calidad de agua subterránea y superficial a través de un programa de monitoreo continuo a escala de cuenca.

Ahora bien, aparentemente no se hace necesario contar con mayor cantidad de estaciones de monitoreo de agua subterránea en la cuenca Estero Casablanca debido a que no se

encuentran grandes acuíferos fuera de los cinco SHAC que son monitoreados en la actualidad y se enmarcan en el Programa Plurianual de Calidad de agua de la Dirección General de Aguas (2018-2021). No obstante, a partir de las actividades realizadas en el marco de Participación Ciudadana, los Sistemas Sanitarios Rurales de la zona de Quintay han señalado una mala calidad de agua debido a la percepción de la presencia de residuos líquidos industriales RILES. Información no ha podido ser contrastada con datos laboratorio o alguna evidencia presentada por la comunidad, constituyéndose, así como otra brecha de información.

2.7.2.2.2 Acceso a la información

En vista de los antecedentes revisados, se puede concluir que, a la fecha, existe poca información disponible sobre las Organizaciones de Usuarios de Agua en la cuenca Estero Casablanca. Esto se debe, primero, a la dispersión de los datos disponibles, como también a la falta de organización misma por parte de los propios usuarios que a su vez, no se encuentran constituidos o regularizados (siendo muy probable una alta tasa de organizaciones de hecho en el territorio). Por otro lado, la información disponible enfrenta el desafío de contrastar los datos históricos con los hechos contemporáneos, que durante las últimas décadas han tendido a enfatizar la importancia de las fuentes de agua subterránea. En consecuencia, se vuelve necesario, por un lado, superponer los sectores hidrogeológicos con los derechos superficiales de aprovechamiento, a la vez que un impulso en la inscripción de las extracciones, lo que debe ir de la mano de la formalización de las organizaciones respectivas.

Como se mencionan anteriormente, el contexto de cambio climático, articulado con la expansión de las industrias forestales y vitivinícolas, además de la expansión inmobiliaria, tiende a provocar tensiones sobre la disponibilidad de agua en la cuenca.

Con respecto a los camiones aljibes, aunque hubo una instancia en la que se entregó información parcial con respecto al abastecimiento de algunas familias y comunidades con camiones aljibes, no se cuenta con toda la información disponible para estimar el real consumo que se genera con este tipo de abastecimiento. Aunque el modelo presenta un nodo de extracción para abastecer otros de APR, se estima muy relevante contar con la información de los puntos de extracción, cantidad de agua extraída, fechas de ocurrencia, APRs y sectores abastecidos etc.

En consecuencia, se vuelve fundamental expresar la necesidad de profundizar en el conocimiento de la situación actual de las OUAs, primero, sobre las organizaciones existentes, sus necesidades y proyección en el tiempo, pero también con relación a la infraestructura y disponibilidad hídrica que disponen y a otras fuentes de abastecimiento de emergencia, como son los camiones aljibes.

Por último y muy relevante para determinar la brecha hídrica de las APR, es determinar la profundidad de todos los pozos de extracción y sus derechos de aprovechamiento de aguas asociados. Este desconocimiento no permite determinar cualitativamente la brecha hídrica, aunque se proponen ciertos supuestos para esto en los acápite 5.3 y 5.4.

2.7.2.2.3 Percepciones desde los actores

Desde el punto de vista de las brechas de la gestión hídrica, en conjunto, los actores señalan que la sequía afecta al valle de Casablanca desde hace más de diez años, de este modo las norias y los pozos menos profundos se están agotando progresivamente. En consecuencia, la principal tensión se debe a la competencia entre los usos productivos y de consumo humano, de la mano del régimen de tenencia actual de los derechos de aprovechamiento, que se perciben como concentrados y sobre-otorgados a los actores de mayores recursos económicos, vinculados principalmente a los rubros vitivinícolas e inmobiliarios.

En cuanto a las asociaciones de canalistas, se testimonió que, desde hace más de una década, los tres principales embalses (Los Perales, Ovalle y Lo Orozco) están secos. En paralelo, los servicios de Agua Potable Rural de la comuna de Casablanca manifestaron carencias, tanto en términos de regularización de sus derechos de aprovechamiento de aguas, como también en cuanto a la posesión de terrenos para constituir sus pozos. Del mismo modo, plantearon sentirse faltos de acompañamiento técnico por parte de los servicios públicos. A este respecto, cabe remarcar las falencias absolutas que enfrenta el sector de Quintay, tanto de disponibilidad como de calidad del agua, por efecto de la competencia hídrica que aqueja al sector.

A su vez, se señala la existencia de extracción ilegal de aguas, manteniéndose pendiente la instalación de caudalímetros, lo que deviene en una percepción crítica respecto de los organismos fiscalizadores, como la Dirección General de Aguas. Junto a estos, se cuestiona el rol de los organismos encargados de la planificación territorial, pues pese a la escasez hídrica, se percibe un aumento en el consumo por causa de la expansión poblacional en sectores rurales, ya sea por parcelaciones o asentamientos informales, que tensionan la disponibilidad de los servicios sanitarios rurales, como también respecto de la deforestación del bosque nativo. Igualmente, cabe remarcar la degradación de los ecosistemas en la cuenca Estero Casablanca, especialmente los humedales, que se mantienen sin solución.

Como efecto de esto, se plantea la necesidad de resolver la dispersión institucional en materia hídrica. Deben instaurarse mecanismos de coordinación institucional entre la Dirección General de Aguas, sus estudios y registros, e instrumentos de ordenamiento territorial, como el Plan Regulador Comunal, para planificar de manera pertinente el crecimiento urbano.

Finalmente, cabe remarcar que la escasez hídrica en la cuenca Estero Casablanca puede ser entendida como un conflicto social y político, además de ecológico, por causa de las tensiones causadas por el sobre-otorgamiento y extracción ilegal que se acusa a lo largo de la cuenca Estero Casablanca. En este aspecto, se alerta que la disponibilidad hídrica de algunas localidades costeras y rurales es crítica, junto a los ecosistemas de la cuenca, especialmente sus bosques y humedales; mientras que las actividades económicas más pujantes son las que concentran la posesión de los derechos de aprovechamiento de aguas inscritos.

3 DEMANDA FÍSICA Y LEGAL DIFERENTES USOS

En la fase de desarrollo del plan estratégico de gestión hídrica PEGH es importante no solo establecer el inventario de usos sino su transformación en demandas por el recurso hídrico, estableciendo así en la medida que la información disponible y su nivel de desagregación temporal, espacial y por sector productivo lo permita, estimar la evolución temporal histórica y futura de estas demandas en la cuenca.

Para estimar las demandas de consumo humano, silvoagropecuario e industrial ha sido utilizado el estudio DGA (2017a). Sin embargo, en la estimación de la demanda agrícola, la más importante en términos de volumen de agua, se incorporó la estimación de la superficie cultivada a 2019 mediante el uso de productos satelitales (ver acápite 2.2.7. y Anexo J.1.1.2. Estimación Superficies del Uso del Suelo Reclasificado).

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

3.1 Uso humano

Se considera como demanda de uso humano el total de agua potable requerida a nivel urbano y rural, considerando en su descripción, la eficiencia de uso de los sistemas de abastecimiento disponibles.

3.1.1 Agua potable urbana

De acuerdo con el informe de factibilidad sanitaria para la actualización del plan regulador comunal de Casablanca del año 2017 (MINVU, 2017), la población urbana que habita en la cuenca Estero Casablanca alcanzó los 17.342 habitantes en el año 2015. Cabe mencionar que la población urbana corresponde a la que habita en la ciudad de Casablanca. Las ciudades que destacan en aumento y proyección de habitantes son las ciudades de Viña del Mar y Valparaíso (INE, 2017).

Considerando la información recopilada por el censo (INE, 2017), durante el periodo 2002-2017, la Región de Valparaíso experimentó un crecimiento poblacional promedio del 1,56%, valor similar al utilizado por ESVAL S.A. (ESVAL, 2021) en la proyección de población en su área de concesión hasta 2030.

Es importante recalcar que existe un aumento en la población por fenómenos sociales como migración, mayores fuentes laborales, ciudades con alto carácter universitario como lo es Valparaíso y Viña del Mar, entre otros motivos. Por lo tanto, el aumento poblacional en la zona se considera continuo.

Considerando lo anterior, la estimación de la demanda de agua potable urbana para el periodo futuro (2020-2050) se realizó considerando los datos poblacionales del INE y la proyección de crecimiento y la dotación de consumo 2017, permitiendo estimar la demanda futura (ver Figura 3-1).

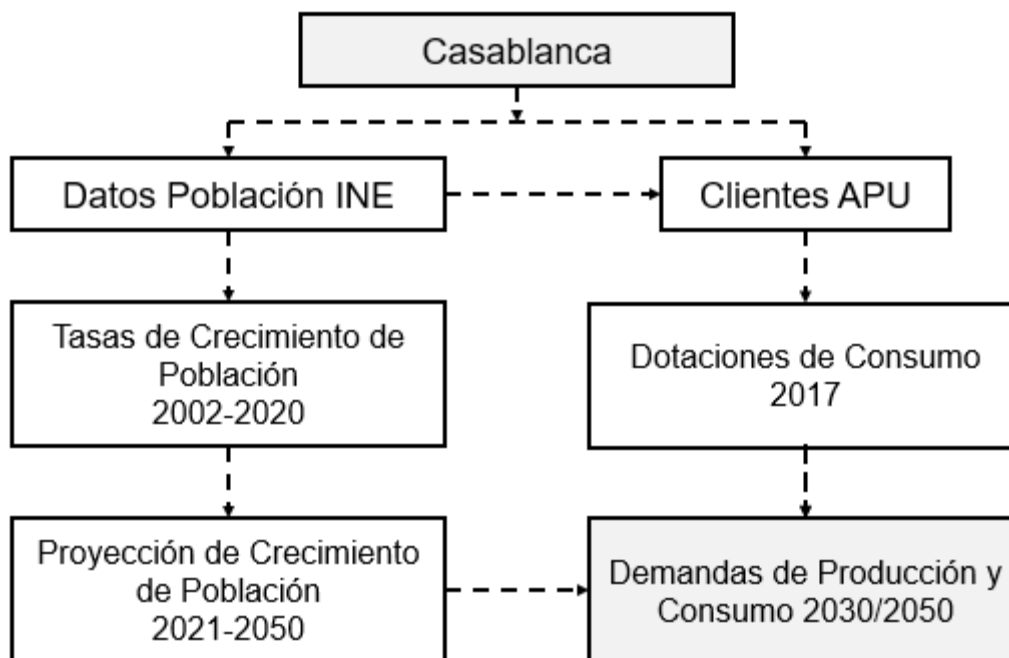


Figura 3-1. Esquema general de la metodología para estimación de demanda actual y futura de agua potable urbana.

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

A continuación, en la Figura 3-2 se puede observar la proyección de la población urbana teniendo en cuenta un crecimiento poblacional anual de 1,56% (MINVU, 2017), así como, la demanda en miles de m³. Cabe mencionar que la estimación de la proyección del consumo humano de agua potable consideró una dotación de 79 m³/hab/año, valor que podría ser mayor a largo plazo producto de aumento en parcelas de agrado en zonas urbanas o aumento del consumo por persona por otras razones, lo que queda como brecha de modelación.

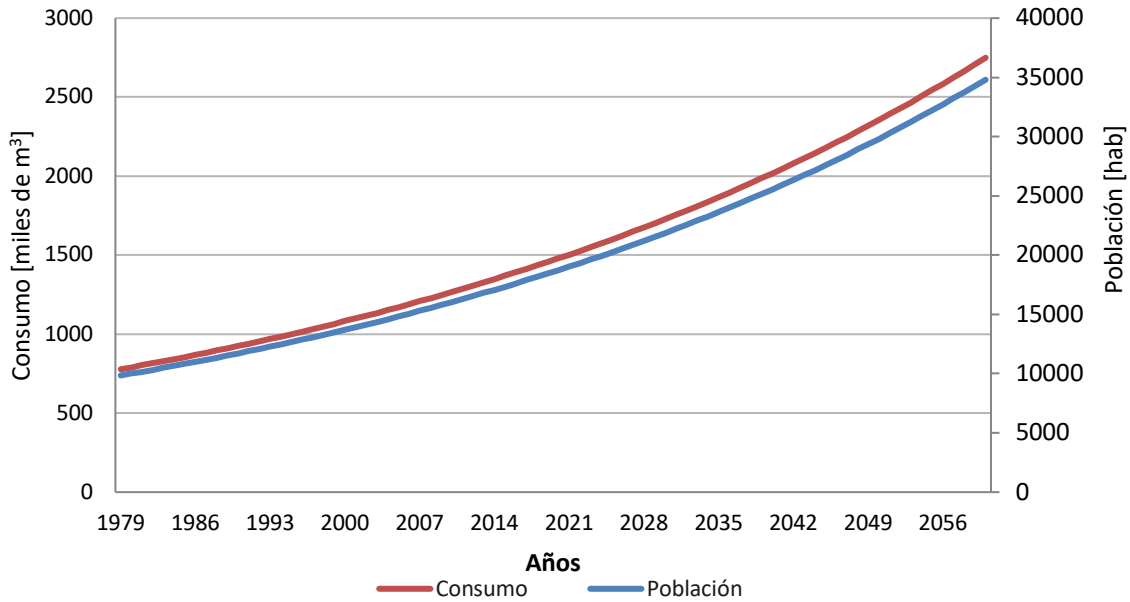


Figura 3-2. Proyección de la población y demanda de agua potable urbana.

Fuente: Elaboración propia a partir de información INE (2021).

En la Tabla 3-1 se presenta el consumo de agua potable urbana actual y proyectada correspondiente la ciudad de Casablanca ubicada en el sector hidrogeológico de aprovechamiento común La Vinilla-Casablanca. En los demás SHAC's no existen población urbana.

Tabla 3-1. Demanda urbana actual y proyectada el SHAC La Vinilla-Casablanca.

SHAC	Demanda hídrica [hm³/año]		
	2021	2030	2050
La Vinilla-Casablanca	1,55	1,78	2,43

Fuente: Elaboración propia a partir de información contenida en MINVU (2017).

El detalle de la metodología para la estimación de la demanda de agua potable urbana se encuentra en el Anexo F – Aspectos Metodológicos, acápite 4.2.2.1., mientras que los resultados se presentan en el Anexo J.2.1.1 Demanda de agua potable, pestaña Agua potable urbana. En la Figura 3-15, se presenta la comparación de todas las demandas incluidas en el PEGH.

3.1.1.1 Eficiencia de uso

La eficiencia del uso en sistema de abastecimiento de agua potable para consumo humano fue posible considerarla, asumiendo un consumo de un 20%, y por lo tanto un retorno del 80% al acuífero, el cual tiene incorporadas las pérdidas por conducción. Este valor del 20% se estima en función de agua que se pierde del sistema (riego de jardines u otras pérdidas menores) y que por lo tanto no vuelve ni a las napas subterráneas ni a cauces superficiales.

Se podría considerar el retorno del restante 80% como un flujo superficial o subsuperficial, Pero por su baja magnitud proporcional a otros flujos en la cuenca, se decidió simplificar su retorno y considerarlo completamente subterráneo ya que tampoco se registran flujos superficiales en la cuenca.

Este supuesto podría mejorarse si se tuviera información o puntual en las distintas áreas con extracción, uso y devolución de agua a la cuenca. Por ahora es la simplificación usada y es parte de las incertidumbres del modelo.

3.1.2 Agua potable rural

La proyección de la demanda se estimó considerando la variación de población rural determinada por el INE, y las tasas de crecimiento anual fueron aplicadas al número de beneficiarios APR registrados al 2019. En esta proyección se consideraron las localidades sin sistema APR y las pertenecientes al plan de localidades semiconcentradas (PLS), donde fue incorporada la proyección de la demanda según la fase en que se encuentren dentro del PLS. En la Figura 3-3 se puede ver un diagrama general de la metodología de cálculo de demanda de agua potable rural.

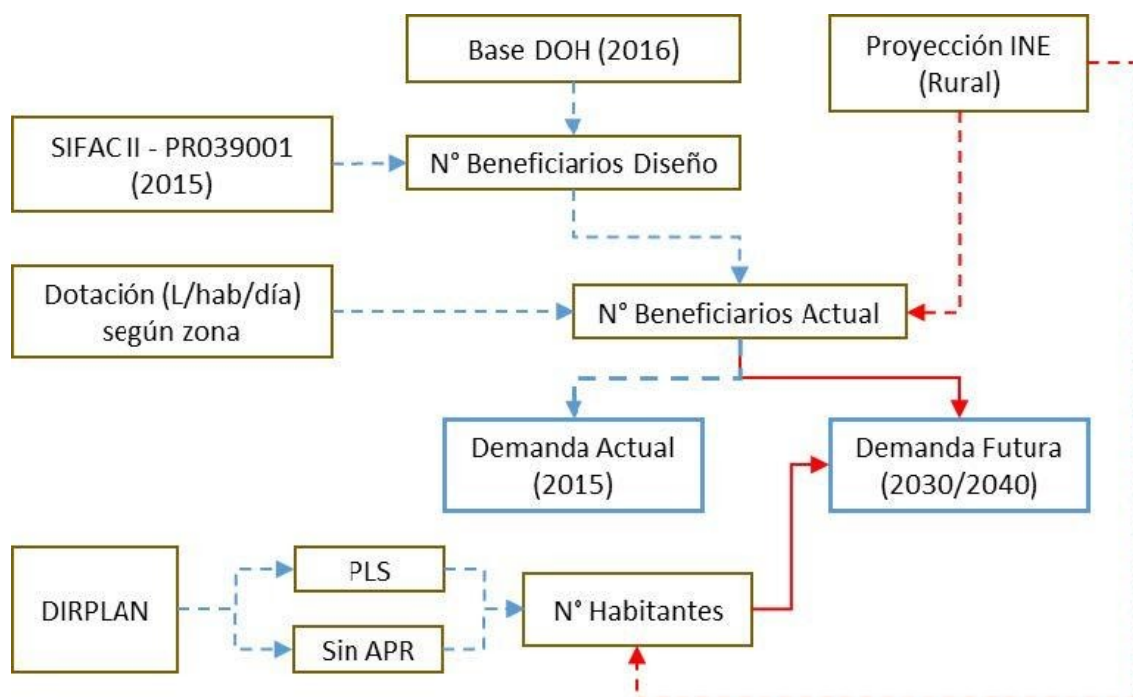


Figura 3-3. Diagrama general de la metodología para uso agua potable rural

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

De acuerdo a la información entregada por DGA (2021), la población rural que habita en la cuenca Estero Casablanca alcanzó los 9.864 habitantes para el año 2021.

Al igual que para la estimación de la demanda de agua potable urbana, en el área rural se empleó una tasa de crecimiento poblacional anual de 1,56% MINVU (2017) y una dotación de 79 m³/hab/año, según Decreto Supremo MOP N°743/2005 (DGA, 2021a) (ver Figura 3-4.).

Es posible que esta tasa de crecimiento no se mantenga igual en el futuro y por lo mismo, es una fuente de incertidumbre. Para analizar esta incertidumbre, lo ideal sería estimar las demandas bajo distintas tasas de crecimiento, dentro de límites razonables (por ejemplo, entre 0,5% y 3% anual), para así abarcar el rango posible de demandas futuras. En este caso solo se mantuvo la tasa fija de 1,56% por simplicidad y tiempo.

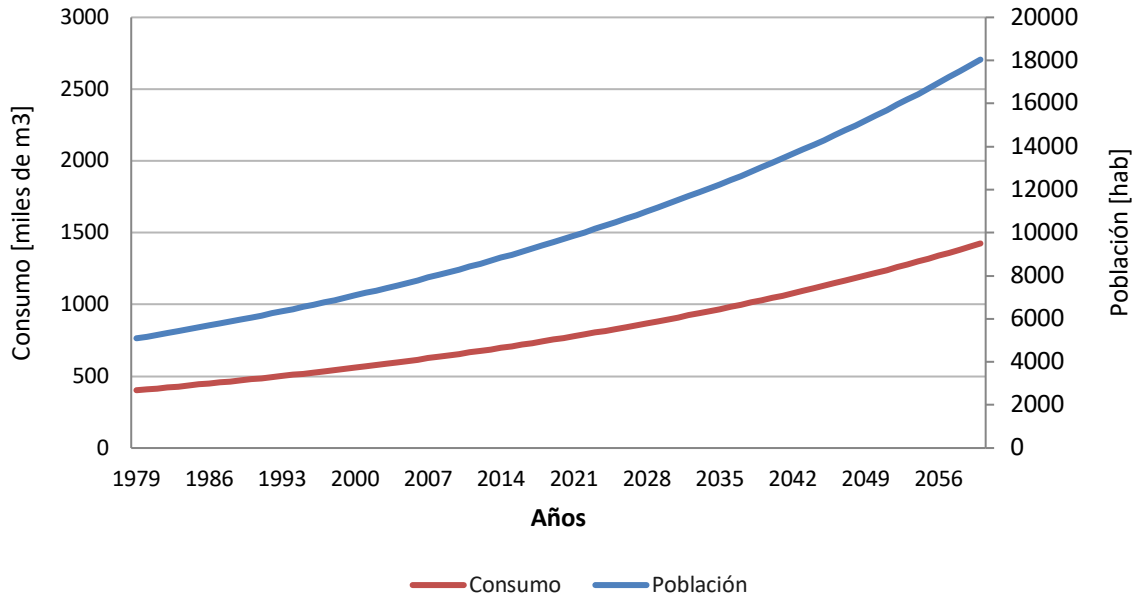


Figura 3-4. Proyección de la población y demanda rural.

Fuente: Elaboración propia en bases a datos de (MINVU, 2017) y (DGA, 2021a).

En la Tabla 3-2. Se presenta el consumo de agua potable rural actual y proyectada correspondiente a cada SHAC.

Tabla 3-2. Demanda rural actual y proyectada por SHAC.

SHAC	Demanda hídrica [hm ³ /año]		
	2021	2030	2050
La Vinilla-Casablanca	0,20	0,24	0,32
Los Perales	0,05	0,06	0,08
Lo Ovalle	0,07	0,07	0,10
Lo Orozco	0,20	0,23	0,31
Estero Casablanca Desembocadura	0,03	0,04	0,05
Punta Gallo	0,09	0,10	0,14
Quintay	0,14	0,16	0,22
Total (hm ³ /año)	0,78	0,90	1,22

Fuente: Elaboración propia en base a datos de (MINVU, 2017) y (DGA, 2021a).

El detalle de la metodología de cálculo de la demanda de agua potable rural se encuentra en Anexo F – Aspectos Metodológicos, acápite 4.2.2.2. Agua Potable Rural, mientras que los resultados pueden encontrarse en el Anexo J.2.1.1 Demanda agua potable, pestaña Agua potable rural.

3.1.3 Derechos de agua para uso humano

Los derechos de aprovechamiento agua destinados a agua potable corresponden a las extracciones de algunas SSR y de ESVAL y son del tipo continuos y subterráneos, de acuerdo con la planilla de derechos de aprovechamiento de aguas facilitada por la DGA de su Registro Público de Derechos de Aprovechamiento de Agua (RPDAA). En la Tabla 3-3 se expone el total de litros por segundo en función de los derechos de agua subterráneos permanentes y continuos. No se registran derechos superficiales para este uso y, de todas maneras, no se presenta agua superficial en la cuenca de manera continua para satisfacer este tipo de derechos. Se puede revisar la ubicación de estos DAA en la Figura 2-22.

Tabla 3-3. Derechos de agua subterráneos asociados al consumo humano.

SHAC	SSR/APR y Empresa sanitaria	DAA [l/s]
La Vinilla-Casablanca	Casablanca – ESVAL	20
	APR La Vinilla	3,8
	APR Las Dichas	3,3*
	APR Mundo Nuevo	13
	APR Callejón Los Barrera	Sin información
Los Perales	APR Tapihue	2,6
Lo Ovalle	APR El Carpintero	1,9
	APR La Rotunda	4
	APR Lo Ovalle	1,25
Lo Orozco	APR La Playa	7
	APR Lo Orozco	13,7*
	APR Lo Vásquez	1,8
Estero Casablanca Desembocadura	APR Paso Hondo	1,4
	APR El Batro	Sin información
Punta Gallo	APR San Francisco de Tunquén	Sin información

SHAC	SSR/APR y Empresa sanitaria	DAA [l/s]
	APR Santa Rosa CampoMar de Tunquén	Sin información
Quintay	APR Quintay	6

Fuente: Elaboración propia en bases a datos entregados por Unidad de Gestión Ambiental y Territorial (UGAT), Valparaíso. *Derecho pendiente.

Según conversaciones en las instancias de participación ciudadana (PAC), en la zona rural de la cuenca Estero Casablanca se ha experimentado un aumento sostenido de la población por aumento de parcelaciones y se espera que esto siga aumentando en el futuro. Esto no se considera directamente en la tasa de crecimiento proyectada, sino que se presenta como escenario futuro de modelación para evaluar el impacto en la demanda de agua (ver acápite 5.4 del presente documento y del Anexo H, ver capítulo 5.5.4 – Resultados Escenarios Futuros).

3.1.4 Consumo de agua potable por camiones aljibes

De acuerdo con la Municipalidad de Casablanca, en instancia PAC realizada el jueves 23 de septiembre de 2021 a las 9h en las dependencias de la Municipalidad, existen cerca de 100 familias abastecidas por camión aljibe en 15 localidades de la cuenca, abasteciéndose en promedio cerca de 1 m³ por familia cada dos días. El agua se extrae del punto denominado Remarcador Estadio Municipal, ubicado en el Estadio Municipal Arturo Echazarreta en la comuna de Casablanca. Desde la Municipalidad no hay claridad sobre el número de camiones que visita cada localidad ni la distribución real de dichas familias abastecidas. Sin embargo, en la Tabla 3-4, desde la Municipalidad compartieron este cuadro de reparto semanal de agua por medio de los camiones aljibe, totalizando 97 familias beneficiarias y un total 164,7 m³/semana.

Tabla 3-4. Cuadro de reparto semanal de agua por camión aljibe.

Localidad	Familias beneficiarias [Nº]	Cantidad agua [m ³ /semana]
Lo Ovalle	24	51,3
Tapihue	7	4,9
Las Dichas	10	17,7
Quintay	9	19,3
La Playa	12	16,2
Lo Vásquez	7	10,0

Localidad	Familias beneficiarias [Nº]	Cantidad agua [m³/semana]
El Batro	4	5,5
Melosilla	3	5,4
Paso Hondo	3	4,5
Calle Membrillar	3	6,0
Sector Esmeralda	6	12,6
Calle Roberto Loyola	1	0,5
Villa Vanessa	2	2,5
Los Maitenes	2	3,3
La Vinilla	4	5,0
Total	97	164,7

Fuente: Elaboración propia a partir de información obtenida en la instancia PAC de entrevista con la Dirección de Obras Municipales de Casablanca (23.09.2021, 9h).

Se considera el abastecimiento de agua por camiones aljibes en el modelo WEAP con el nodo de demandas de nombre igual a "DemOTRAS_S01_CamionAljibe". Este nodo de demanda extrae agua del SHAC La Vinilla – Casablanca", (ver Figura 3-5).

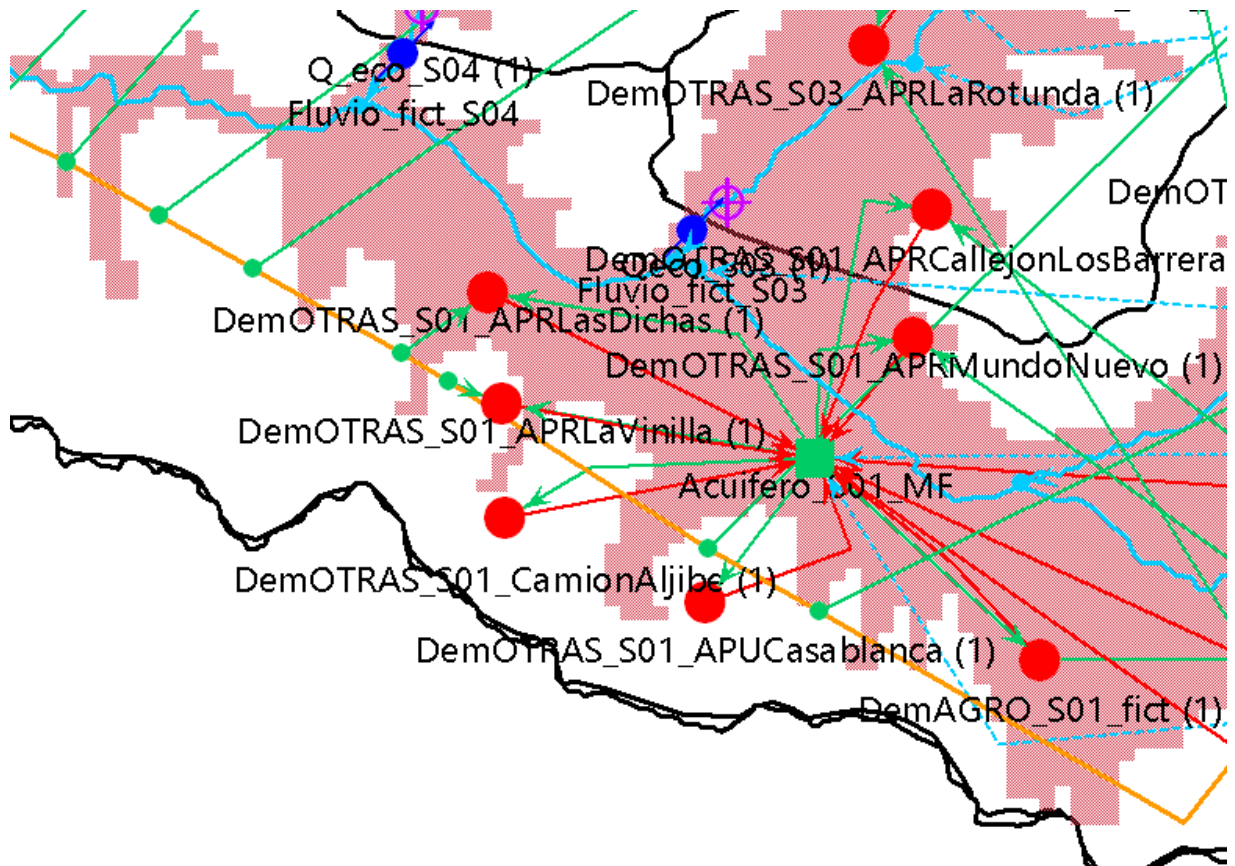


Figura 3-5. Nodo de demanda de camión aljibe.

Fuente: Elaboración propia a partir de la modelación superficial realizada en WEAP.

3.2 Necesidades mínimas ambientales

Las necesidades mínimas ambientales, se consideran como aquellas demandas ambientales que se de cuantificar para los ecosistemas terrestres y acuáticos presentes en la cuenca. En el caso de Casablanca, se evaluaron las demandas para los sistemas protegidos por algún mecanismo del Estado y el caudal ecológico en los humedales de Tunquén y Quintay.

3.2.1 Consideración de sistemas protegidos

De la revisión de antecedentes bibliográficos realizada para el PEGH, se determinó que existen iniciativas para estimar los caudales de conservación ambiental en Chile. El informe técnico "Estimación de la Demanda Actual, Proyecciones Futuras y Caracterización de la Calidad de los Recursos Hídricos en Chile, Volumen II" (DGA, 2017a) presenta los caudales de conservación ambiental para todas las áreas SNASPE y Sitios Prioritarios para la Biodiversidad en Chile, utilizando la metodología desarrollada en Informe Técnico N° 2: "Reserva del Río Cochamó para la Conservación Ambiental y el Desarrollo Local de la

Cuenca" (DGA, 2009b), entre otros. En el informe DGA (2017a) indica que la Región de Valparaíso posee cinco sitios prioritarios y un área SNASPE asociada a cursos de agua, no obstante, en el desarrollo de este no se incluyeron áreas de conservación dentro de la cuenca Estero Casablanca. Por ejemplo, en dicho informe se señala que a pesar de que el Humedal Tunquén es parte del estuario y del Estero Casablanca, que además conforman un Sitio Prioritario para la Biodiversidad Regional, no se habrían calculado los caudales de conservación debido a la falta de datos fluviométricos. Por lo tanto, actualmente no se cuenta con consideraciones de sistemas protegidos para la cuenca Estero Casablanca.

Sin embargo, en el marco del PEGH, los humedales de Tunquén y Quintay fueron considerados como elementos siempre saturados de agua, con superficies constantes y con una demanda hídrica simplificada a través de la estimación de la evapotranspiración (asumiéndola igual a la evapotranspiración de referencia, ver Anexo H, sección 3.2.1.5).

3.2.2 Derechos de agua para el medio ambiente

La revisión de antecedentes indica que a la fecha existen metodologías para calcular los caudales ecológicos en los ríos de Chile. En el informe técnico "Determinación de Caudales Ecológicos en Cuencas con Fauna Íctica Nativa y en Estado de Conservación" (DGA, 2008) se desarrolló un marco para evaluar caudales ecológicos en ríos. Además, se han realizado estudios técnicos que calcularon caudales ecológicos en la Región de Valparaíso, específicamente a través de la "Evaluación de Caudales Ecológicos en Cuencas de la IV, V y VI Región" (DGA, 2014c) y el Informe "Impacto Aplicación Caudal Ecológico Mínimo Retroactivo en Cuencas de la IV, V y VI Región" (DGA, 2016a). A pesar de estos esfuerzos, ninguno de estos informes calculó los caudales ecológicos para la cuenca Estero Casablanca.

Sin embargo, para su determinación se consideraron 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 (BCN, 2015).

Debido al elevado nivel de alteración del régimen hidrológico en el Estero Casablanca, llegando a estar seco gran parte del año, el caudal ecológico se estimó teniendo en cuenta los resultados de la modelación hidrológica acoplada WEAP-MODFLOW, donde se obtuvieron las series de caudal simuladas en puntos de la cuenca asociados a cada sector hidrogeológico de aprovechamiento común o SHAC, y no a partir de las series hidrológicas resultantes del Balance Hídrico Nacional DGA (2017b), ya que no se considera representativas para el cálculo.

En la Figura 3-6 se presentan las demandas mensuales referida a los caudales ecológicos mensuales evaluados en cada SHAC. Cabe destacar el resultado obtenido demanda ambiental para dos elementos ambientales de interés en la zona de estudio: el Humedal de Tunquén (SHAC Desembocadura CB), el cual queda justamente en la desembocadura del Estero Casablanca y el Humedal de Quintay conformado en la desembocadura del Estero El Jote (SHAC Quintay). Para el humedal de Tunquén el caudal ecológico presenta un rango entre [2,1 – 4,2] l/s, mientras que para el Humedal de Quintay los requerimientos de caudal

ecológico son menores, y están entre [0,12-0,24] l/s. Las series de caudal ambiental, caudal ecológico y en régimen natural se pueden ver en el Anexo J.2.1.2 – Caudales ambientales y ecológicos.

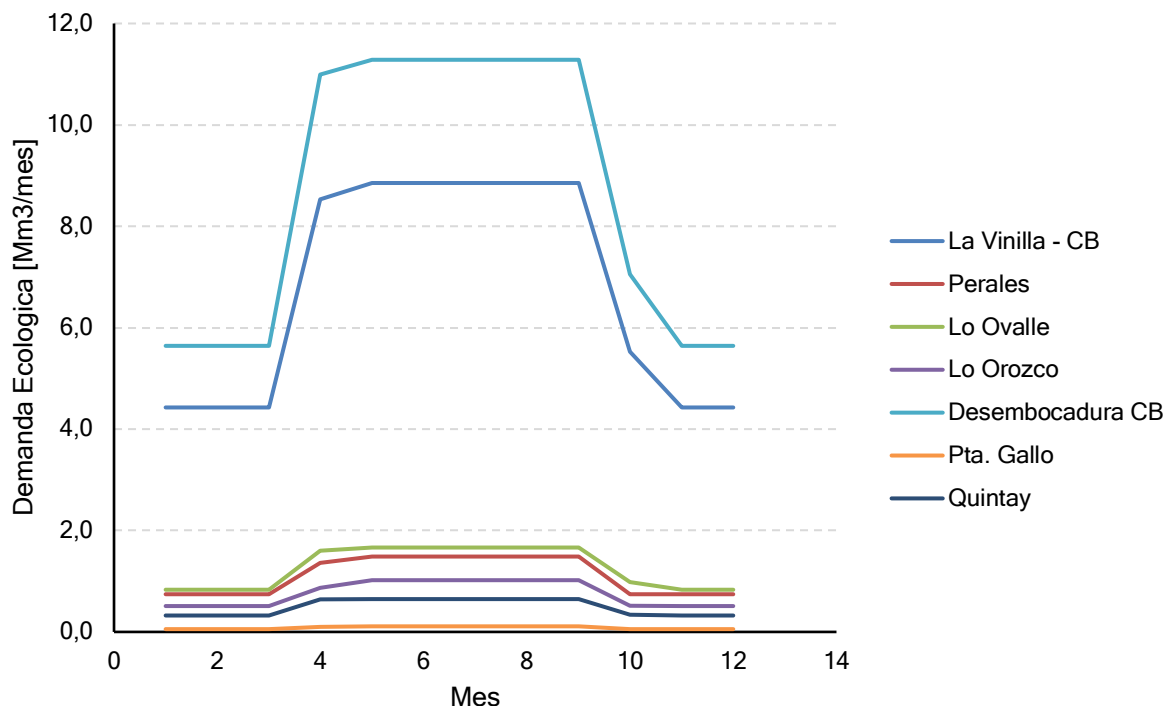


Figura 3-6. Caudal ecológico mensual por SHAC, Estero Casablanca.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Balance Hídrico Nacional DGA (2019).

Respecto a la Figura 3-6 se aprecia que el régimen de caudal ecológico mínimo (demanda ecológica) sigue el régimen esperado, con mayores caudales en invierno (entre julio y agosto), sin embargo, estos requerimientos obedecen solo al régimen hidrológico, siendo necesario la estimación del caudal ambiental que considera las necesidades hídricas de los ecosistemas terrestres y acuáticos presentes actualmente en ambos humedales. La metodología utilizada para estimar los caudales ecológicos mensuales se presenta en la sección 4.2.2.5 del Anexo F – Aspectos Metodológicos.

3.3 Demanda agrícola

La demanda agrícola se entiende por la necesidad de agua que requieren los diferentes cultivos en la zona de estudio.

Para su estimación se emplea la metodología presentada en la Figura 3-7 (DGA, 2017a), donde se determina la necesidad evapotranspirativa según superficie y tipo de cultivo, independizando la superficie que se abastece exclusivamente de riego, en especial la demanda neta de riego (demanda bruta menos los aportes por precipitación). Finalmente,

se estima la demanda volumétrica [hm³/año] al multiplicar la demanda neta de cada tipo de cultivo por año, por la superficie asociada a cada tipo de cultivo (ver acápite 2.2.7).

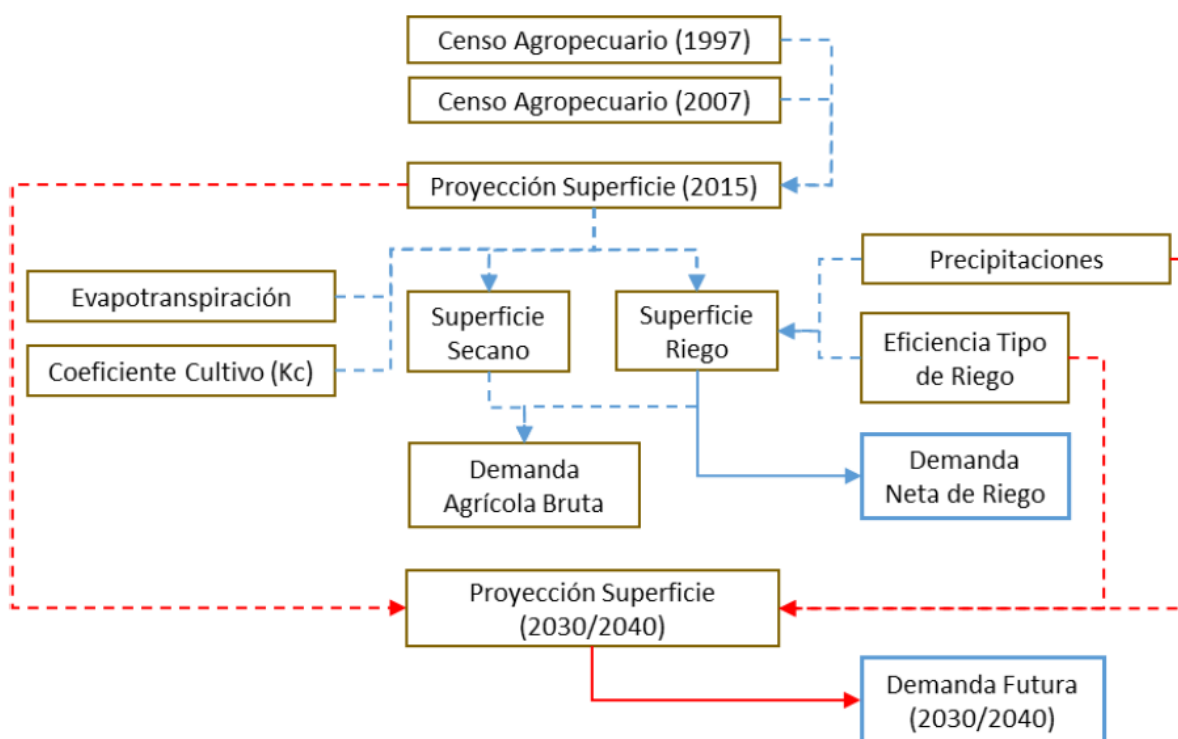


Figura 3-7. Diagrama general de la metodología para uso agrícola.

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

A partir de los datos del Censo Agropecuario del 2007 (INE, 2007) se procedió al análisis de los diferentes cultivos en la zona y sus requerimientos a lo largo del año. La fuente principal para el análisis ha sido la superficie de los cultivos, que se ha determinado a nivel de distrito censal; luego esto se ha asociado a la evapotranspiración real durante los años 2002 al 2019 y finalmente se obtuvieron los promedios durante ese período.

3.3.1 Zonas de riego modeladas

Las zonas de riego modeladas fueron establecidas dentro de cada SHACs. La distribución espacial y temporal de los usos de suelos en la cuenca Estero Casablanca se estimó utilizando imágenes MODIS (imágenes desde el 2001 al 2019) con una clasificación IGBP (17 categorías), a partir de la cual se hizo una reclasificación obteniendo 5 categorías: Bosques / vegetación Natural / Agrícola / Urbano-sin vegetación / Cuerpos de agua.

El área de riego en cada SHAC se presenta en la Tabla 3-5, donde el SHAC La Vinilla-Casablanca representa el 31% del total de área de riego a 2019 (69.863 ha), es seguido

por el SHAC Estero Casablanca Desembocadura con 24%, y el menor porcentaje se tiene en el SHAC Punta Gallo con un 2%.

Tabla 3-5. Área superficial de riego por SHAC cuenca Estero Casablanca en base a imágenes MODIS.

Nombre SHAC	Área [ha]
La Vinilla-Casablanca	21.882
Los Perales	8.137
Lo Ovalle	9.862
Lo Orozco	7.200
Estero Casablanca Desembocadura	16.469
Punta Gallo	1.581
Quintay	4.732

Fuente: Elaboración propia a partir de Sulla-Menashe & Friedl (2019) y los catastros frutícolas y censos agrícolas disponibles a 2020.

En la Figura 3-8 se muestra el gráfico con las categorías de uso de suelo por SHAC para el año 2019. En los SHAC's La Vinilla-Casablanca, Los Perales, Lo Ovalle y Punta Gallo predomina el suelo agrícola; mientras que en los SHAC's Lo Orozco y Estero Casablanca Desembocadura predomina el uso de suelo Vegetación natural y cuerpos de agua. Finalmente, en el SHAc Quintay predomina el uso Bosques.

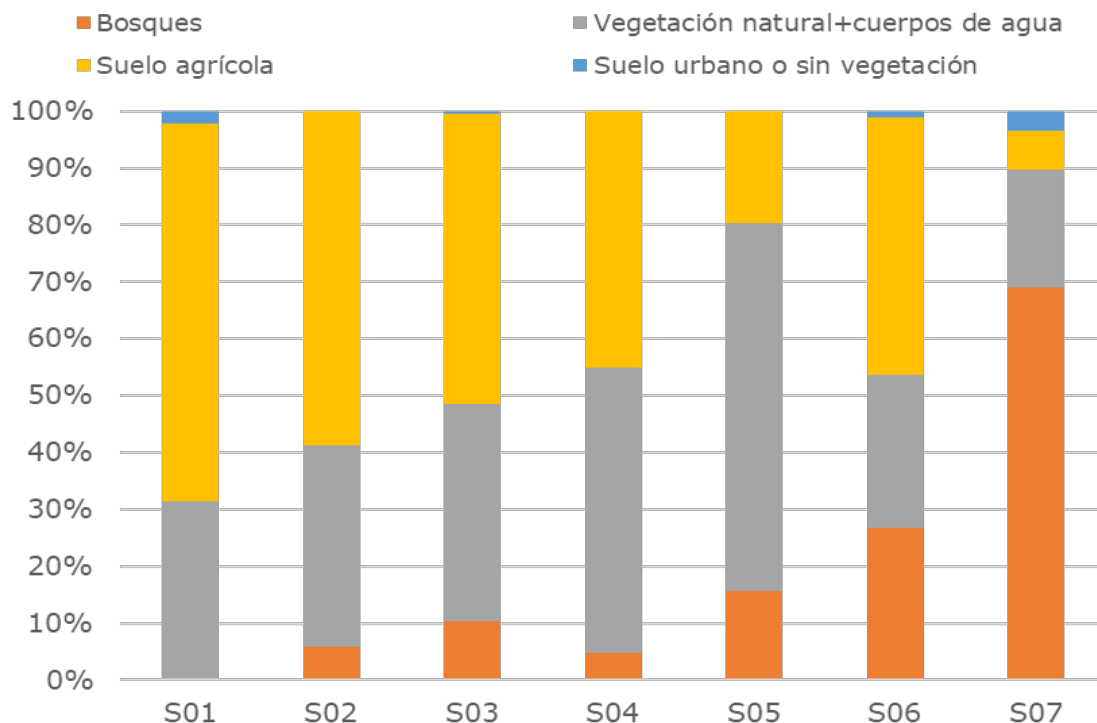


Figura 3-8. Distribución en porcentaje de las categorías de uso de suelo por SHAC para el año 2019.

Fuente: Elaboración propia a partir de Sulla-Menashe & Friedl (2019) y los catastros frutícolas y censos agrícolas disponibles a 2020. S01: La Vinilla-Casablanca; S02: Los Perales; S03: Lo Ovalle; S04: Lo Orozco; S05: Estero Casablanca Desembocadura; S06: Punta Gallo; S07: Quintay.

3.3.2 Cultivos modelados

La distribución de los diferentes usos del suelo a nivel de cada SHAC se obtuvo a partir de la delimitación superficial de cada SHAC en la cuenca y la distribución de los suelos de las imágenes del producto MC12Q1 v6. Utilizando estas imágenes, se distribuyó espacial y temporalmente los usos de suelo del IGBP y se reclasificaron en 5 tipos de uso de suelo (bosques, vegetación natural, suelo agrícola, suelo sin vegetación y cuerpos de agua) en la cuenca Estero Casablanca.

Luego, se realizó la estimación de la superficie agrícola por subuso SHAC de manera de generar series de tiempo que pudieran ser incorporadas al modelo. Esta clasificación se realizó en base a los datos puntuales de los censos agropecuarios y catastros frutícolas históricos para los siguientes subusos: Plantaciones forestales, Viñas y parronales, Forrajeras anuales, Forrajeras permanentes, Frutales, Secano y Barbecho. La distribución por SHAC se basó en el promedio ponderado usando superficies de los distritos censales interceptados por SHAC. La Tabla 3-6 muestra la distribución realizada específicamente para el año 2019, donde destaca para los SHAC's La Vinilla-Casablanca, Los Perales, Lo Ovalle y Lo Orozco la alta presencia de Barbecho, seguido del cultivo de Viñas y Parronales;

para los SHAC's el Estero Casablanca Desembocadura, Punta Gallo y Quintay, destaca la Plantación Forestal.

Tabla 3-6. Porcentaje de la superficie cultivada, respecto del área total de riego modelada por SHAC.

Categorías de cultivos incorporados en WEAP	Porcentaje de superficie cultivada [%]						
	S01	S02	S03	S04	S05	S06	S07
Viñas y Parronales	14,4	12,1	13,3	5,2	0,7	0,0	0,0
Forrajeras Anuales	2,3	3,0	3,6	3,8	4,2	0,1	0,2
Forrajeras Permanentes	2,0	3,0	0,6	1,3	2,9	1,9	0,2
Frutales	0,7	0,9	1,1	3,6	1,5	0,1	0,0
Secano	2,8	1,5	2,8	1,0	7,3	2,5	0,4
Plantaciones Forestales	4,9	1,1	2,5	1,4	83,4	95,4	99,2
Barbecho	85,9	78,4	76,1	83,6	0,0	0,0	0,0

Fuente: Elaboración propia a partir de Sullá-Menashe & Friedl (2019) y los catastros frutícolas y censos agrícolas disponibles a 2020. S01: La Vinilla-Casablanca; S02: Los Perales; S03: Lo Ovalle; S04: Lo Orozco; S05: Estero Casablanca Desembocadura; S06: Punta Gallo; S07: Quintay.

Por otro lado, la Figura 3-9 muestra el mapa con la distribución de los usos de suelo clasificados previamente con el producto MC12Q1 v6, que es usada en la modelación para estimar las demandas evapotranspirativas de la vegetación natural, plantaciones forestales y también, del sector agrícola, detallado previamente por subusos.

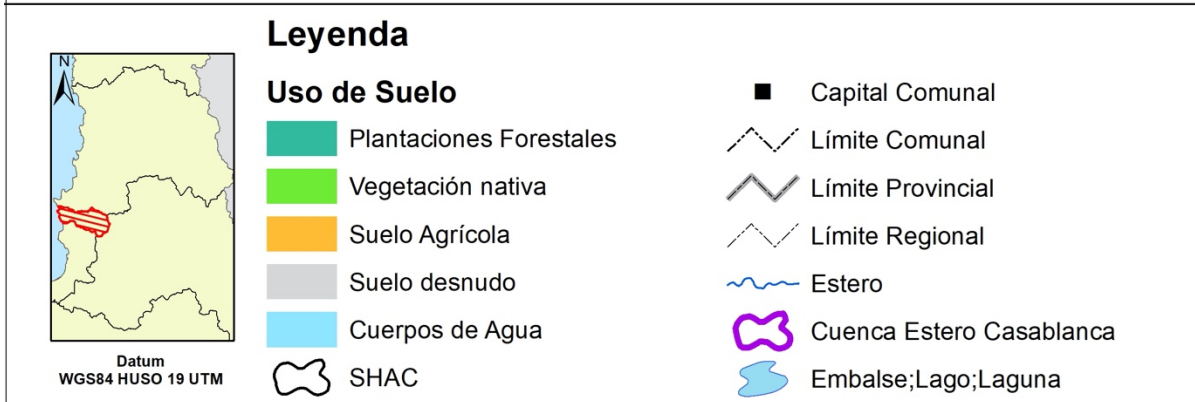
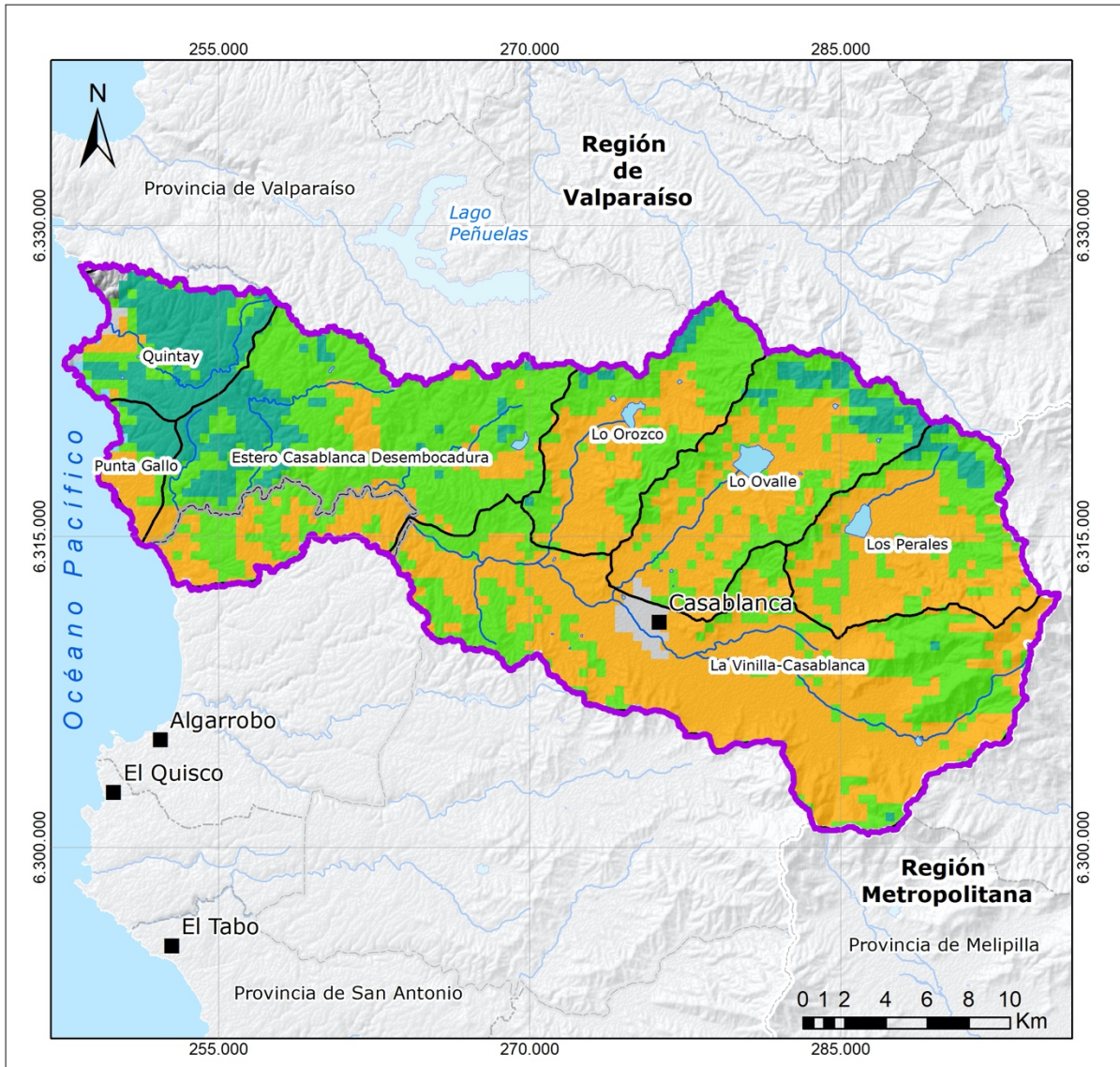


Figura 3-9. Cobertura vegetal usada en la modelación hidrológica integrada.
 Fuente: Elaboración propia a partir de clasificación del IGBP (ver Anexo J Descripción y Diagnóstico, capítulo 1, subcapítulo 1.1.1. Uso del suelo).

3.3.3 Evapotranspiración y Demanda Hídrica

Se estimó la evapotranspiración real en las diferentes zonas agrícolas teniendo como base el producto Penman-Monteith-Leuning Evapotranspiración V2 (PML_V2). Este producto incluye la evapotranspiración (ET) y sus tres componentes, con una resolución temporal de 8 días durante 2002-2017 y con un rango espacial de -60°S a 90°N. Los productos de la PML_V2 se comportan bien frente a las observaciones en 95 sitios de flujo en todo el mundo, y son similares o notablemente mejores que los principales productos de vanguardia de ET y GPP ampliamente utilizados por las comunidades científicas del agua y la ecología (Zhang *et al.*, 2019).

La serie de datos temporal se promedió para obtener la demanda hídrica promedio de las zonas agrícolas modeladas. Utilizando este dato se estimó la demanda hídrica por tipo de cultivo. Las demandas agrícolas en el tiempo se presentan en la Figura 3-10 (para mayor detalle ver el Anexo J.2.1).

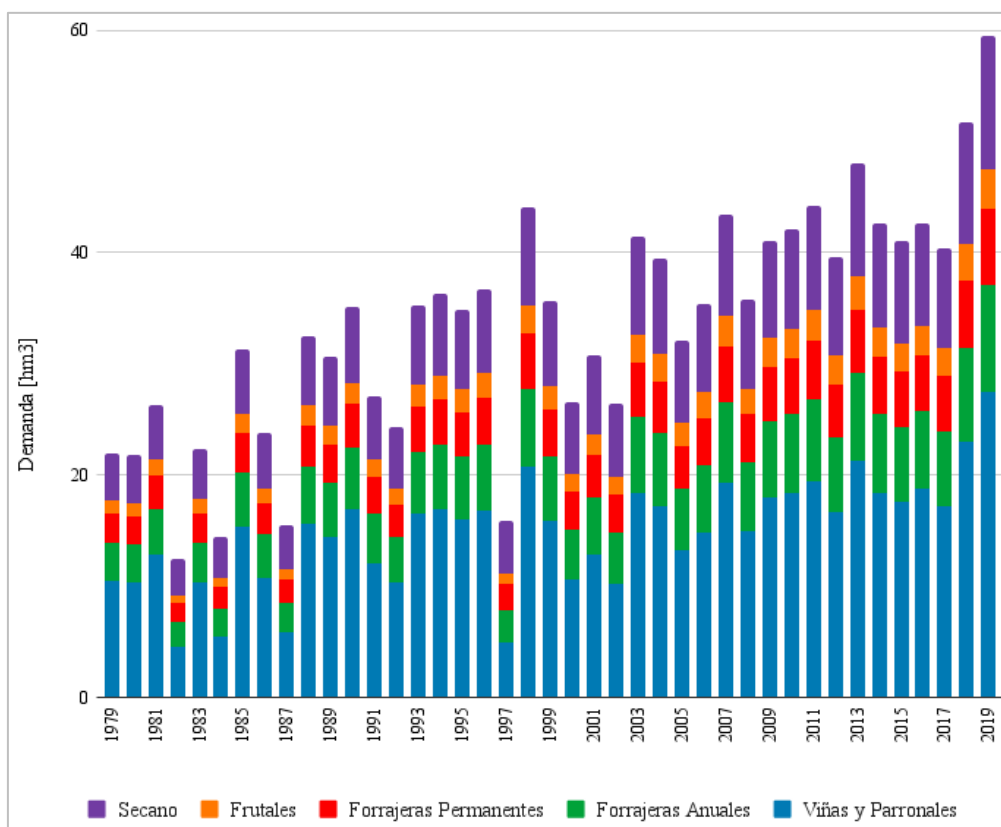


Figura 3-10. Demanda agrícola por cultivo.

Fuente: Elaboración propia a partir de Sullá-Menashe & Friedl (2019) y los catastros frutícolas y censos agrícolas disponibles a 2020.

3.3.4 Estimación demanda

La estimación de la demanda de agua del sector agrícola se realizó a partir del cálculo de las necesidades evapotranspirativas, según superficies y tipologías de cultivo (ver Tabla 3-7). Con ello se obtuvo una demanda hídrica agrícola, equivalente a lo que se denomina agrónomicamente como demanda bruta de riego, tanto desde zonas bajo riego como a superficies productivas agrícolas en secano, la que se considera como área agrícola, pero sin recibir aportes riego, es decir, se abastece solo por la lluvia. Esta distinción se realizó también en el modelo hidrológico acoplado, en el que los usos de suelo agrícolas de secano no reciben riego y solo se abastecen por las aguas lluvia, en cambio los usos bajo riego se modelaron, entregándose desde las distintas fuentes disponibles.

La caracterización del uso del suelo se sustentó en el trabajo de Sulla-Menashe, D. & Friedl, M. (2019) que combinó productos MODIS (MC12Q1), disponibles desde el 2001 a 2019, procesos de reclasificación supervisada considerando el Censo Agrícola de 1997 y 2007 y la cobertura de uso del suelo definida por CONAF (2014).

La proyección negativa para las superficies agrícolas entre un -1% y un -5% anual se realizó en base a los siguientes supuestos:

1. Aumento sostenido de parcelas de agrado. Este punto apareció en muchas conversaciones con actores locales y en instancias de participación ciudadana.
2. Pérdidas de zonas de cultivo especialmente durante la última década.
3. Cuenca cerrada en términos de otorgamiento de nuevos derechos de agua, lo que se traduce en dificultad para regar nuevas zonas.

Estos supuestos podrían mejorarse eventualmente en base a modelaciones de uso de suelo u otro tipo de información que permita corregir los valores usados para este PEGH.

Tabla 3-7. Evolución histórica para diferentes superficies cultivadas entre 2001-2050.

Tipo de cultivo	Superficie [ha]		Variación superficial entre 2001-2019 [%]	Porcentaje de crecimiento anual 2020-2050 [%]	Superficie [ha]		
	2001	2019			2030	2050	2060
Viñas y Parronales	2.644	3.516	24,8	-1,0	3.148	2.575	2.328
Forrajeras Anuales	690	916	24,6	-1,0	820	671	607
Forrajeras Permanentes	461	612	24,8	-5,0	348	125	75
Frutales	267	365	26,9	-1,0	326	267	241
Secano	700	904	22,7	-1,0	810	662	599
Total	4.762	6.313			5.452	4.300	3.850

Fuente: Elaboración propia a partir de la metodología contenida en Anexo F – Aspectos Metodológicos, acápite 3.2.

Las demandas agrícolas se presentan en la Figura 3-15 junto con otras demandas. Las demandas agrícolas para las distintas categorías de cultivo presentes en la cuenca entre 1979-2050 se presenta en la planilla Excel Anexo J.2.1.4. Demanda Agrícola, pestaña "Proyección Demanda 2020-2050".

3.3.5 Eficiencia de métodos de riego

Aunque existen referencias con estimaciones de la eficiencia de riego de distintas tecnologías de riego (ver Tabla 3-8), en este caso no se recopilieron datos de las tecnologías de riego usadas en la cuenca. Esto se debe a que este dato no se usa directamente en la modelación en WEAP debido al método de modelación utilizado, el cual se describen en el Anexo H, acápite 3.2.2.1.

De esta manera, la eficiencia de riego se modela en base a la evapotranspiración calculada en cada paso de tiempo versus el agua usada para regar, lo que dependiendo del cultivo, se intentó de modelar en base a los datos de la Tabla 3-8.

Tabla 3-8 Eficiencias por método de riego.

Tipo de riego	Eficiencia de riego [%]
Tendido	45
Surco	65
Aspersión	85
Goteo	90

Fuente: Elaboración propia en base a concursos públicos de fomento al riego de la Comisión Nacional de Riego (CNR 2021).

3.3.6 Ineficiencia de conducción/canales

Las ineficiencias de conducción se entienden como las pérdidas de agua generadas en el proceso de conducción de agua por canales. A continuación se describen los tipos de canales comúnmente utilizados con una breve descripción:

- Canales de tierra: En estos casos, la eficiencia de conducción cambia según la textura de suelo. Para estos casos, la infiltración es de 15% en suelos livianos, 10% en suelos medios y 5% en suelos pesados, aunque la distancia recorrida afecta de forma importante este valor, el promedio de eficiencia para canales de tierra se encuentra entre 40% y 85%, según estudios de casos reales (CNR, 2009a, 2009b; Pedroza & Hinojosa, 2014).
- Canales revestidos: En estos casos, la eficiencia se puede estimar entre 80% y 90%, lo que varía según las fallas en construcción o daños del canal y su limpieza.
- Canales entubados: En estos casos la eficiencia se puede estimar entre 95% y 100%, lo que varía según las fallas en construcción o daños del canal.

En el caso del PEGH, al no existir evidencia de uso de canales en los últimos años y al uso casi exclusivo de pozos para el riego, no se consideraron para la modelación.

3.4 Demanda industrial y derechos

La estimación de la demanda para uso industrial está desarrollada en base a los derechos de agua indicados en DGA (2021e), cuyo uso sea del tipo "Industrial", o bien, cuyos solicitantes estén asociados a entidades de tipo industrial.

También se considera como derechos de tipo industrial, aquellos que no tienen un uso específico declarado, pero cuyos puntos de extracción (usando el sistema de referencia WGS 84 Huso 19 Sur) se encuentren dentro de predios destinados a industrias, de acuerdo al catastro de predios del Servicio de Impuestos Internos (SII, 2021).

En la Tabla 3-9 se presenta el caudal $\text{hm}^3/\text{año}$ otorgado por DGA en 2020, para los rubros considerados como uso industrial, siendo la industria de alimentos el 67% de la demanda total ($4,15 \text{ hm}^3/\text{año}$).

Tabla 3-9. Caudal otorgado a DGA por Derechos por rubro.

Rubro industrial	Caudal otorgado [$\text{hm}^3/\text{año}$]
Alimentos	2,80
Industria Textil	0,85
Tabaco	0,50

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

Por otro lado, en la Figura 3-11 la evolución de temporal de la demanda industrial. A partir del año 1992, la demanda anual muestra un claro aumento hasta 2003 donde se estabiliza alrededor de $4 \text{ hm}^3/\text{año}$. Dicha estabilización es un supuesto de cara a la modelación del comportamiento hídrico de dicha demanda en la cuenca, sustentada en el hecho de que la cuenca está cerrada para otorgar nuevos derechos de aprovechamiento de aguas.

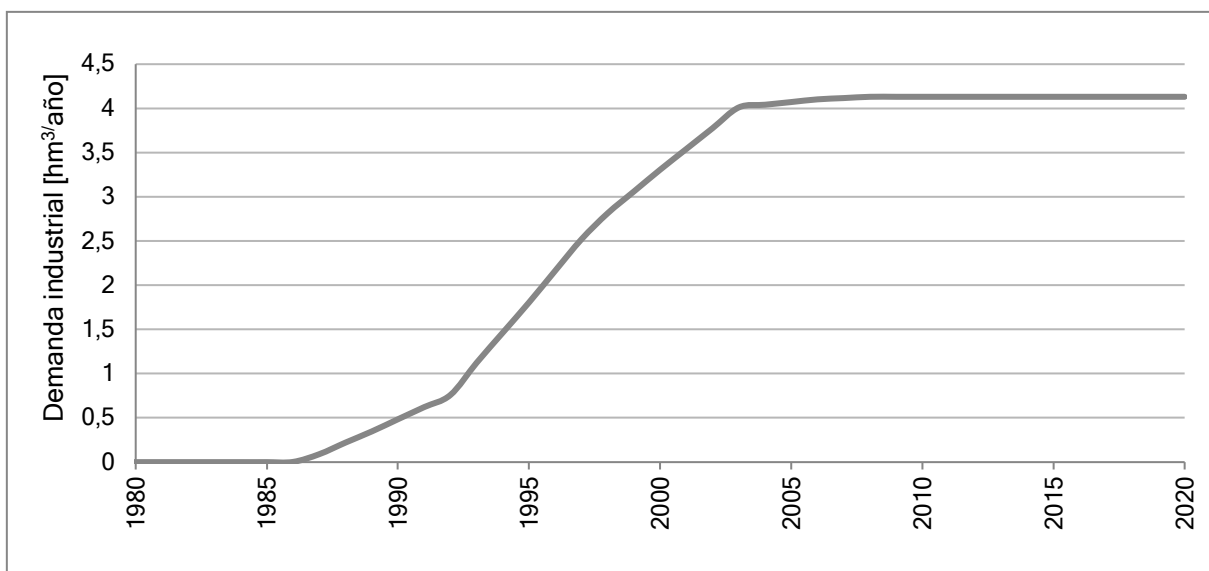


Figura 3-11. Evolución demanda industrial.

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

Las demandas industriales se presentan además en la Figura 3-15 junto con otras demandas. El cálculo de la demanda industrial se puede ver en el Anexo J.2.1.3 – Industrial. Mientras que el detalle del análisis de los DAA se encuentra en el Anexo J.2.3.1 – Análisis DAA.

3.5 Otras demandas

Adicionalmente, se calcularon los caudales de reservas turísticas para todas las Zonas de Interés Turístico ZOIT designadas en Chile en el informe técnico "Estimación de la Demanda Actual, Proyecciones Futuras y Caracterización de la Calidad de los Recursos Hídricos en Chile, Volumen II" (DGA 2017b), utilizando la metodología desarrollada en el informe "Análisis de Metodología y Determinación de Caudales de Reserva Turísticos" (DGA 2010). En la cuenca Estero Casablanca, existe una ZOIT, sin embargo, debido a la falta de datos fluviométricos, no se han calculado caudales de reservas turísticas para dicha ZOIT.

Para la estimación de la demanda para el uso forestal, se consideró la cantidad de agua consumida por las coberturas vegetales bajo el concepto de evapotranspiración en la que se resta la cantidad de agua caída por precipitación. Para fines prácticos se separó en demanda productiva a todas las coberturas que correspondan a producciones forestales con fines comerciales y demanda no productiva a los bosques y, arbustos y matorrales, desglosando la demanda forestal en una de carácter productivo y otra de carácter no productivo. El detalle de la estimación de la demanda forestal se encuentra en el Anexo J 2.1.5.

Las demandas forestales, en términos de promedios decadales, se muestran en la Tabla 3-10, considerando como no productiva las categorías de uso del suelo bosque, arbustos y matorrales (los resultados paso a paso de la estimación de esta demanda se encuentran en el Anexo J.2.1.5. Demandas Forestales). En todas las décadas, la demanda forestal no productiva es menor que la productiva, sin embargo, se ha dado un crecimiento en el sector productivo, pasando de un 12% en la década de los 80's a 24% en la década de 2010.

Este aumento es debido a la metodología empleada, donde la demanda forestal es aquella no cubierta por la precipitación que cae sobre la cuenca. Dicho aumento se refleja también en la Figura 3-12, siendo más sensible la demanda para arbustos y matorrales comparado con la demanda para la producción forestal y bosques.

Tabla 3-10. Estimación demanda forestal productiva y no productiva, promedios decadales.

Década	No Productivo [hm ³ /año]	Productivo [hm ³ /año]	Total [hm ³ /año]
1980	98,0	13,7	111,7
1990	136,5	25,6	162,1
2000	90,1	32,0	122,1
2010	130,5	41,9	172,4

Fuente: Elaboración propia a partir de datos DGA (2010).

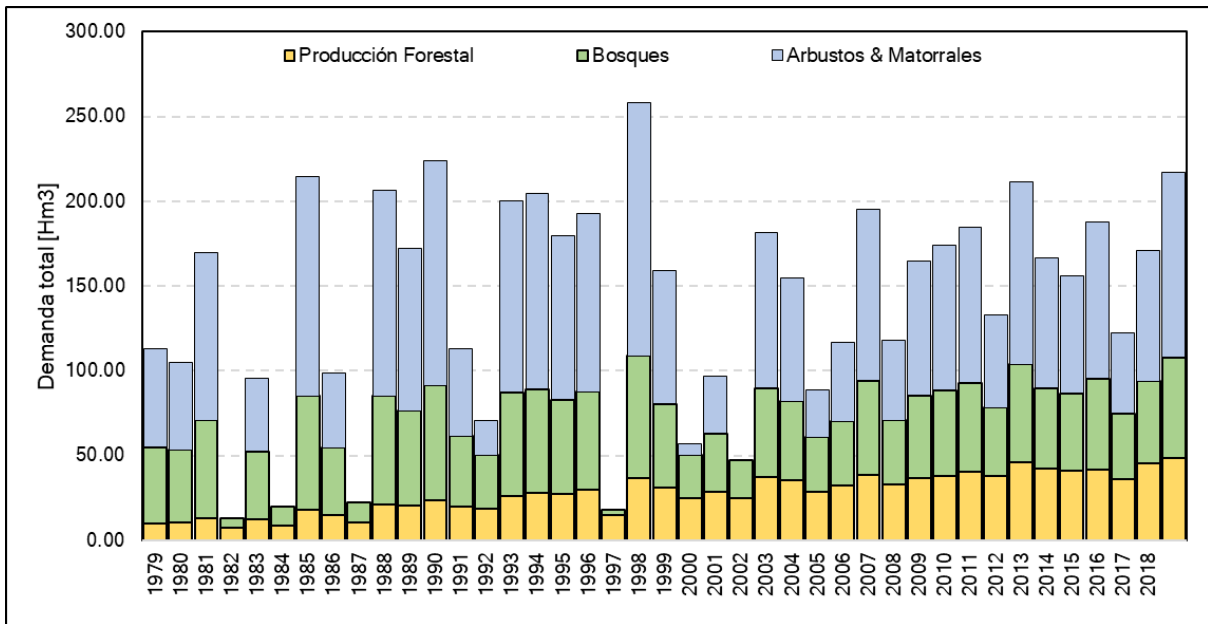


Figura 3-12. Serie de demandas forestales en la cuenca Estero Casablanca (1979-2019).

Fuente: Elaboración propia a partir de datos DGA (2010).

3.6 Resumen demandas

La Figura 3-13 muestra la serie de tiempo de demanda agrícola bajo riego en La cuenca Estero Casablanca. Esta figura muestra que las demandas agrícolas se mantuvieron con una pendiente creciente muy leve hasta la década del 2000, variando desde 25 hm³ hasta los 55 hm³. Posteriormente, se presenta un salto a demandas más o menos estables en torno a los 65 hm³ anuales desde el año 2015 en adelante.

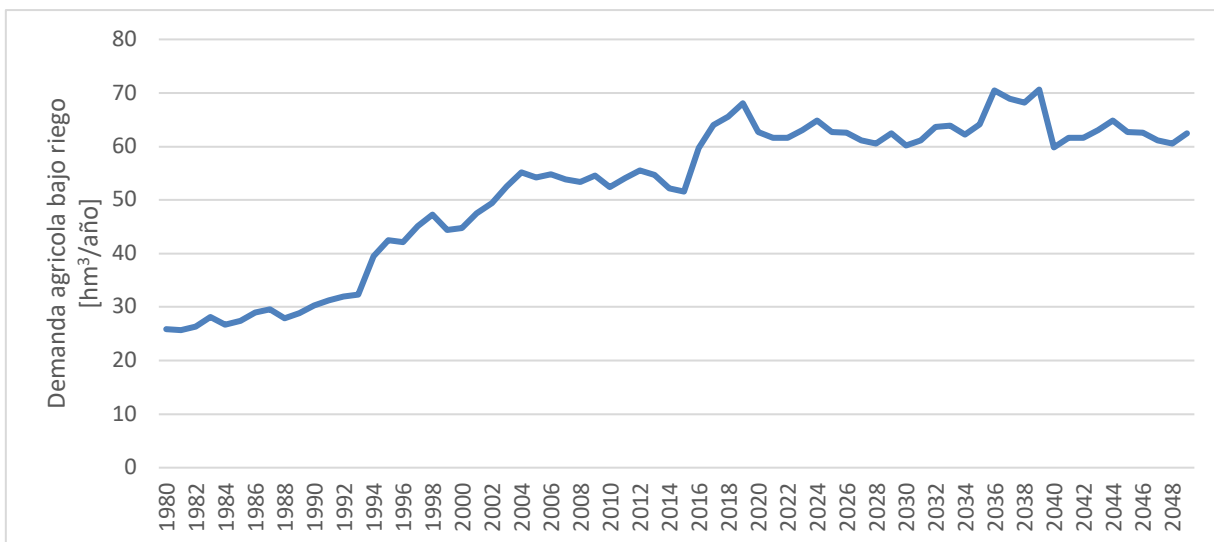


Figura 3-13. Demanda anual del sector agrícola bajo riego [hm³/año] en la cuenca Estero Casablanca durante el periodo 1980-2050.

Fuente: Elaboración propia a partir de Sullá-Menashe & Friedl (2019) y los catastros frutícolas y censos agrícolas disponibles a 2020.

La Tabla 3-11 muestra la demanda promedio anual agrícola para la cuenca en forma de promedios decadales, de manera de mostrar su evolución en el tiempo de manera agregada.

Tabla 3-11. Demanda agrícola media anual en la cuenca Estero Casablanca.

Década	Demanda [hm ³ /año]
1980	27,56
1990	38,67
2000	52,02
2010	57,77
2020	62,34
2030	65,32
2040	62,05

Fuente: Elaboración propia a partir de Sullá-Menashe & Friedl (2019) y los catastros frutícolas y censos agrícolas disponibles a 2020.

La demanda por agua potable se calcula simplemente como la multiplicación de la población de cada nodo de demanda APR por un factor de demanda per cápita, definido como

parámetro en WEAP. Esta demanda se incrementa en el tiempo teniendo en cuenta el aumento de la población (Figura 3-14). La demanda actual para el año 2019 llega a los 2,8 hm³/año y aumenta hasta superar los 4 hm³/año para fines del período de simulación.

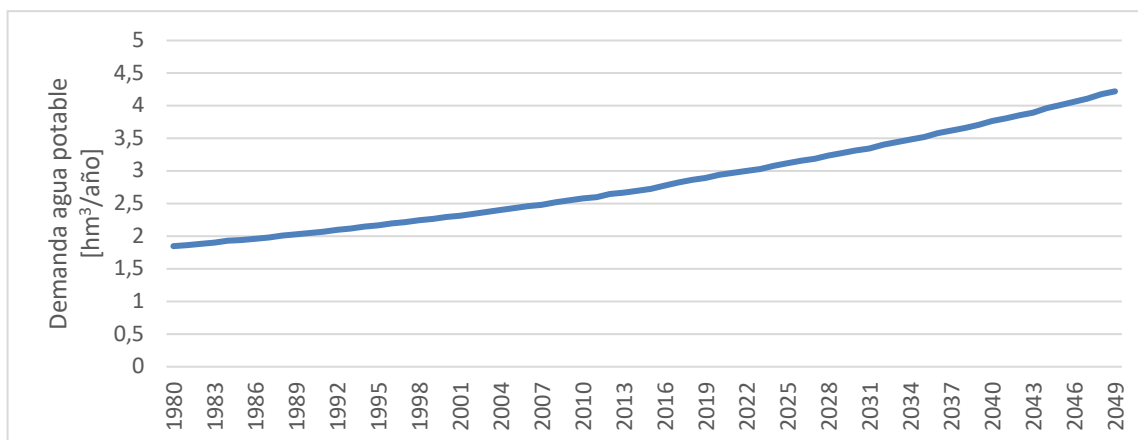


Figura 3-14. Demanda anual en SSR/APU [hm³] en la cuenca Estero Casablanca durante el periodo 1980-2050.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de (MINVU, 2017) y (DGA, 2021a).

La Tabla 3-12 muestra la demanda promedio anual de agua potable rural y urbana para la cuenca Estero Casablanca en forma de promedios decadales, de manera de mostrar su evolución en el tiempo, al igual que con la demanda agrícola. El uso de agua por parte de camiones aljibes no está considerado en esta demanda, ya que solo se consideran para suplir la demanda cuando es posible abastecer a las APR con sus propios pozos.

Tabla 3-12. Demanda de agua potable media anual en la cuenca Estero Casablanca.

Década	Demanda [hm ³ /año]
1980	2,06
1990	2,31
2000	2,59
2010	2,95
2020	3,34
2030	3,79
2040	4,09

Fuente: Elaboración propia en base a datos de MINVU (2017) y DGA (2021a).

A continuación, en la Figura 3-15. Se presentan las demandas estimadas por uso en función del tiempo. Al analizarla Figura 3-15, el sector forestal demanda gran cantidad de agua y es el principal demandante por lejos. No obstante, esta demanda no está asociada a puntos de captación o extracción en particular y solo es abastecida parcialmente durante eventos de precipitaciones.

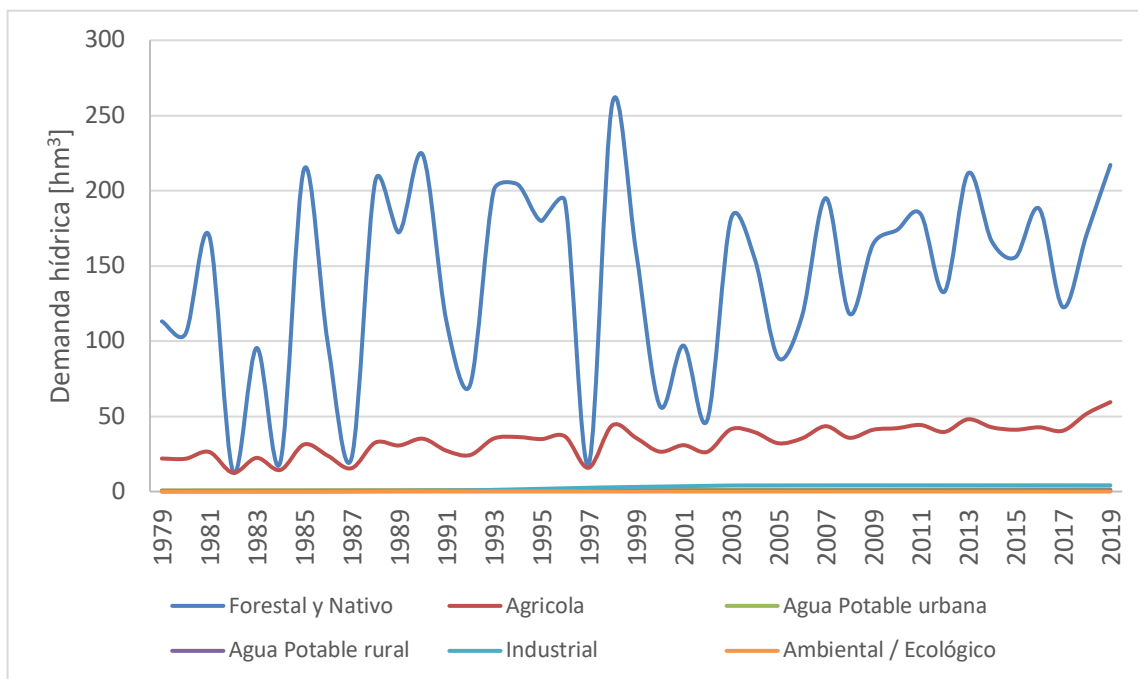


Figura 3-15. Comparación de las demandas hídricas estimadas por uso para la cuenca Estero Casablanca, en hm³.

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados de demanda (Anexo J.2.1 – Demandas).

Por otro lado, la demanda agrícola ha aumentado en el tiempo debido principalmente al aumento de superficie agrícola y posiblemente al aumento de temperatura lo que genera mayor evapotranspiración potencial y de los cultivos. Por su parte, la demanda por agua potable, industrial y ecológico son mínimas comparadas con la forestal y la agrícola, por lo que se esperaría que pudieran ser abastecidas, situación que no ocurre en la actualidad, especialmente con los SSR.

El detalle de la demanda agrícola estimada por SHAC al año 2019 se presenta en la Figura 3-16, donde el SHAC de Los Perales – Tapihue presenta una demanda de 24,4 hm³/año, seguido del SHAC La Vinilla-Casablanca con 24 hm³/año.

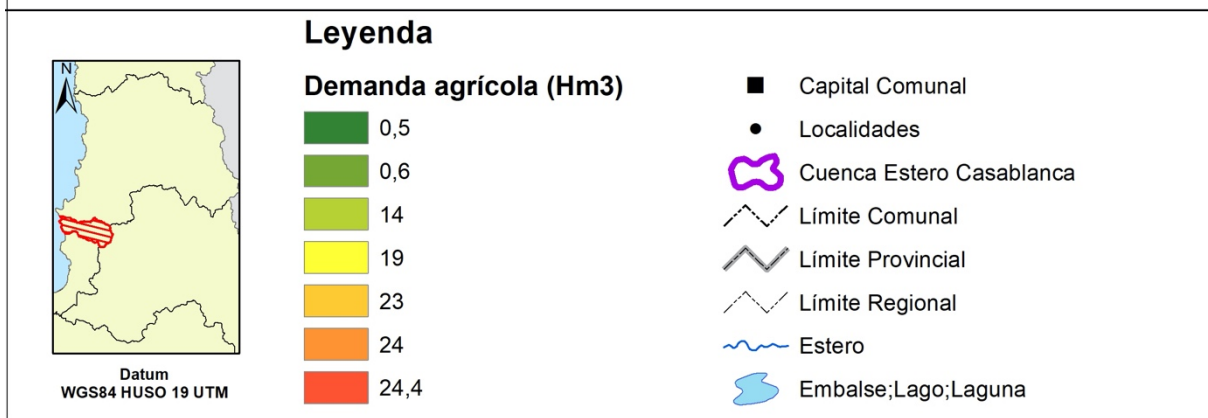
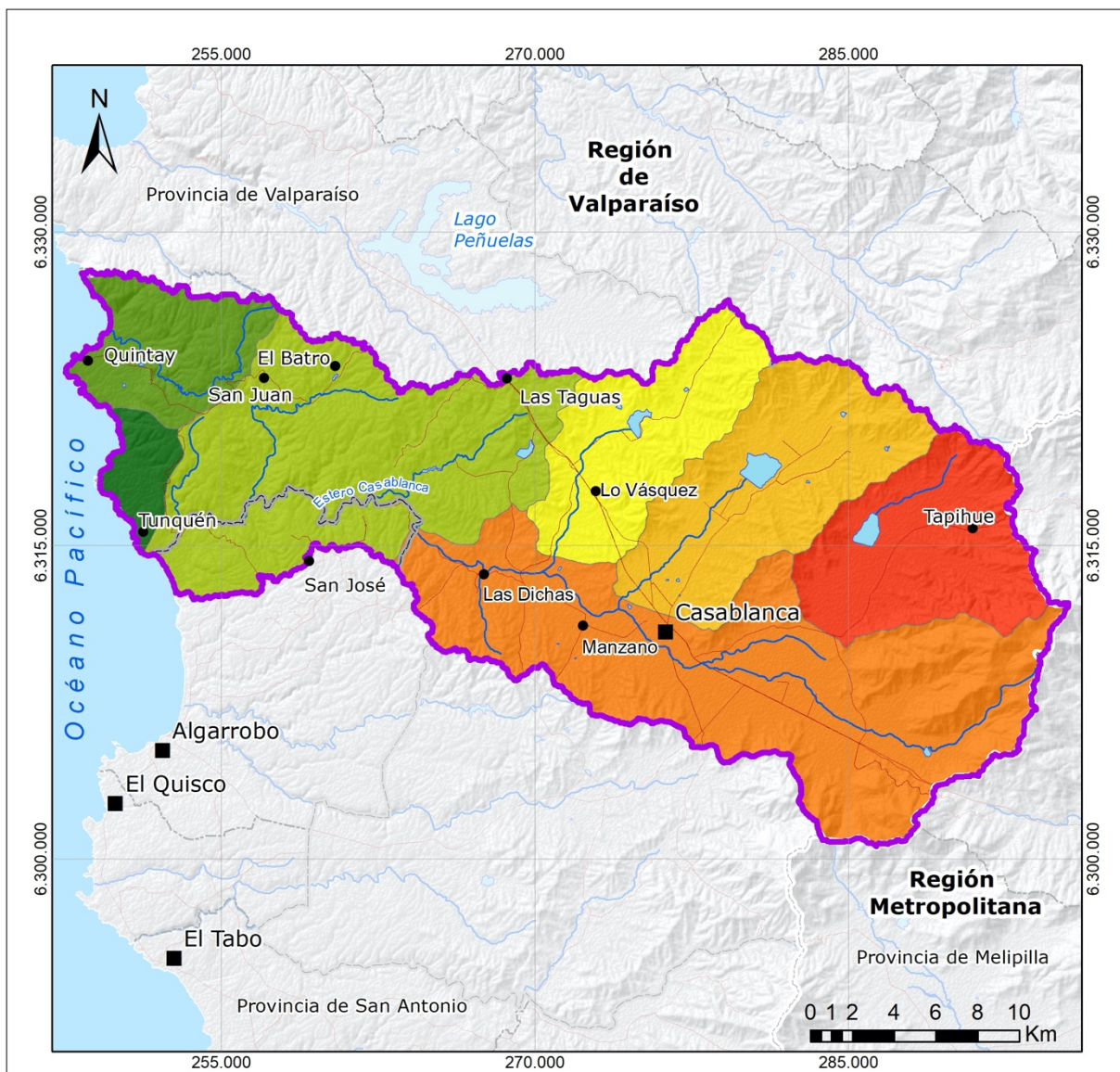


Figura 3-16. Demanda agrícola bajo riego a 2019 en [hm³].

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados de demanda (Anexo J.2.1 – Demandas).

4 OFERTA HÍDRICA

Al igual que la estimación de la demanda hídrica para los diferentes usos productivos y de consumo en la cuenca, la oferta fue caracterizada de forma espacial y temporal y vinculada a la particularidad de cada fuente. En la cuenca Estero Casablanca, el recurso superficial está agotado, hecho que ha sido manifestado desde las actividades de participación ciudadana, y evidenciado en la visita de inspección a la cuenca efectuada el 30 de julio de 2021 por el equipo executor y la Inspección Fiscal. Ante esta realidad, ha cobrado relevancia desde hace algunos años el agua subterránea como fuente de preferencia y acceso. Sin embargo, desde la caracterización de la oferta subterránea (ver sección 4.2) y de las actividades de participación ciudadana realizadas durante el desarrollo del PEGH (Anexo I – Procesos Participativos), ha quedado de manifiesto que el recurso subterráneo está en vías de ser agotado, cobrando más relevancia aún el propósito del PEGH.

La determinación de la oferta, tuvo entonces como enfoque tanto para la parte superficial como subterránea, describir la fuente física y estimar la oferta tanto actual como futura, facilitando el desarrollo de las etapas del PEGH de evaluación y diagnóstico de la cuenca, además revisar el estado legal de las aguas, tanto desde su otorgamiento mediante los derechos de aprovechamiento de aguas, como la posibilidad de la continuidad en su explotación, analizando además, el mercado de aguas que se constituye a su alrededor y que puede llegar a ser una variable relevante a la hora de gestionar el recurso.

En este capítulo se presenta, tanto para la componente superficial como subterránea, la descripción de cada fuente, la oferta actual y futura, restricciones de uso, calidad y análisis de los derechos de aprovechamiento otorgados.

4.1 Agua superficial

El recurso superficial en la cuenca fue descrito a través de: caracterización de la fuente, las restricciones de uso actuales como declaraciones de zonas de escasez o áreas de prohibición, la estimación de la oferta actual (2020) y futura (2020-2050), la calidad de agua actual y futura, las fuentes de contaminación y los derechos superficiales concedidos.

4.1.1 Fuentes

La cuenca Estero Casablanca es una cuenca donde el escurrimiento superficial ha prácticamente desaparecido y su caracterización a través de estudios más elaborados, se ha enfocado en conocer las componentes del ciclo hidrológico que contribuyen al mantenimiento del acuífero, es decir, la recarga, siendo este tipo de fuente de uso por excelencia dentro de la cuenca (DGA, 2015). El Estero Casablanca escurre en sentido sureste-noroeste, naciendo en la Cordillera de la Costa en el cerro Mauco y teniendo como tributarios los esteros Los Perales, Tapihue, Lo Ovalle y Lo Orozco. En el sector de Las Dichas, el estero cambia ligeramente de sentido y a partir de este sector hasta la

desembocadura, lugar donde es posible ver que aflore el estero para dar vida al humedal Tunquén.

4.1.1.1 Restricciones de uso

A partir de la "Planilla Decretos zonas de escasez hídrica (2008-2021)" de la DGA (2021b), hasta la fecha de 1 de marzo de 2021, se han declarado zonas de escasez en la cuenca Estero Casablanca por cinco veces, a partir del año 2017 en adelante (Tabla 4-1, Figura 4-1.). Cuatro de estos cinco decretos de escasez han cubierto la totalidad de la superficie de la cuenca y son decretos anuales que se han ido renovando en la misma zona (Provincias de Valparaíso y San Antonio) desde el decreto N°91 de 20 de agosto de 2019. Cabe destacar que en todo el periodo comprendido se detectó que hubo un periodo de 6 días (21 de agosto de 2020 hasta 27 de agosto de 2020) sin un decreto de escasez vigente para la cuenca Estero Casablanca.

Tabla 4-1. Los decretos históricos de zonas de escasez que habían afectado la cuenca Estero Casablanca.

Año	Decreto	Fecha de caducidad	Zona afectada
2017	N° 22 de 22 de febrero de 2017	22/08/2017	Comuna de Casablanca
2019	N°91 de 20 de agosto de 2019	20/02/2020	Provincias de Valparaíso y San Antonio
2020	N° 14 de 21 de febrero de 2020	21/08/2020	Provincias de Valparaíso y San Antonio
2020	N° 92 de 27 de agosto de 2020	27/02/2021	Provincias de Valparaíso y San Antonio
2021	N° 41 de 28 de febrero de 2021	28/08/2021	Provincias de Valparaíso y San Antonio

Fuente: Elaboración propia a partir de la "Planilla Decretos zonas de escasez hídrica (2008-2021)" de la plataforma online de la DGA (2021b).

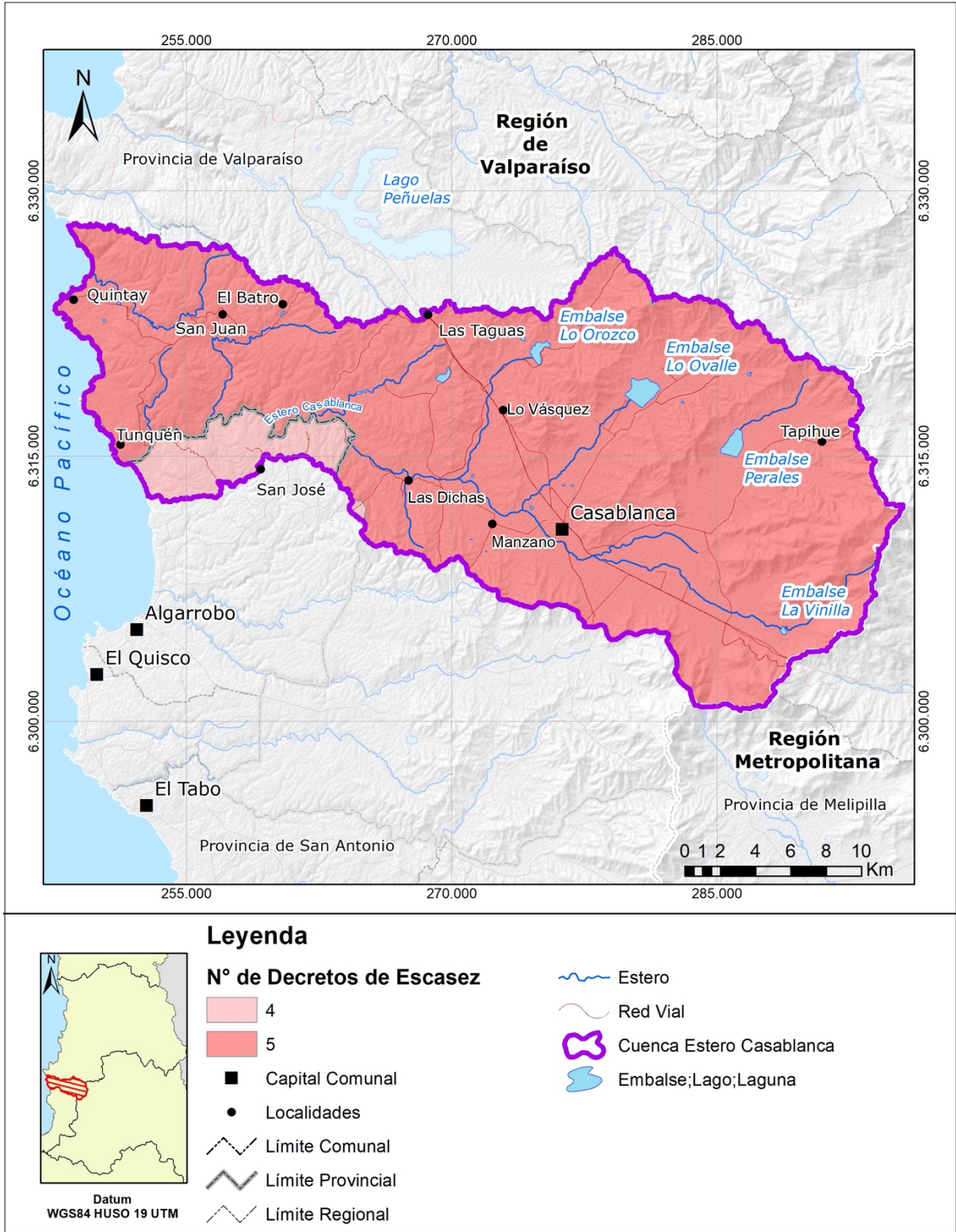


Figura 4-1. Cantidad histórica de decretos de escasez en la cuenca Estero Casablanca.

Fuente: Elaboración propia según la información de DGA (2021b).

4.1.2 Oferta en la fuente actual

La disponibilidad hídrica en la cuenca Estero Casablanca u oferta en la fuente, fue obtenida a partir de los resultados de la modelación acoplada realizada entre WEAP y MODFLOW (ver Anexo H, acápite 5.5.2.5). Teniendo en cuenta los resultados que puede entregar WEAP, se consideran la precipitación y la evapotranspiración como datos a tener en cuenta para calcular la disponibilidad hídrica en la cuenca.

Respecto a lo anterior se consideró el concepto de disponibilidad natural como la diferencia entre la precipitación anual en toda la cuenca y la evaporación de la zona no agrícola (o de ladera). De esta manera se estimó la cantidad de agua disponible para cualquier fin, aporte natural a los cauces o recarga de acuíferos, como de uso humano (consumo de agua, uso en agricultura o industrias).

A escala de cuenca, la Figura 4-2 muestra la tendencia a la disminución en el tiempo de la precipitación media anual y de la evapotranspiración, observándose además pérdida de la variabilidad interanual o climática a partir del año 2000. En la década de los 80's se presentaban promedios anuales de precipitación del orden de 600 mm/año, mientras que en la década de 2010 no superan los 400 mm/año, es decir, la precipitación promedio anual ha disminuido cerca de un 30% entre las décadas de 1980 y 2010.

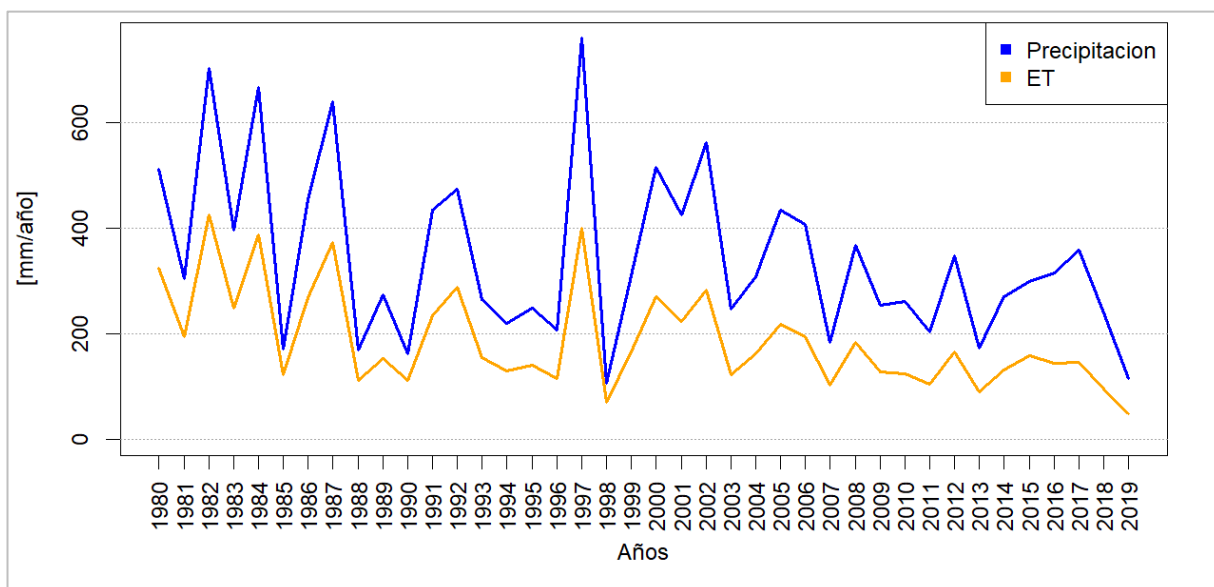


Figura 4-2. Precipitación y evapotranspiración histórica, cuenca Estero Casablanca.

Fuente: Elaboración propia a partir de la modelación superficial realizada en WEAP.

La Tabla 4-2 se muestra la disponibilidad natural por década para la cuenca Estero Casablanca. Se observa claramente como la precipitación en la década de los años 80 fue la más alta de las últimas cuatro décadas y eso influyó positivamente en la disponibilidad natural, mientras que para la década de 2010, la precipitación disminuyó alrededor de 30%

con respecto a la década de 1980. De esta manera, se tiene un descenso de la disponibilidad natural de 78,8 hm³/año en la década de 1980, llegando a 64,4 hm³/año en la década de 2010.

Tabla 4-2. Valores medios decadales de la disponibilidad natural en la cuenca Estero Casablanca.

Década	Precipitación Anual [hm³/año]	Evapotranspiración Anual [hm³/año]	Disponibilidad Natural Anual [hm³/año]
1980	200,8	122,0	78,8
1990	149,1	84,6	64,5
2000	173,1	88,1	85,0
2010	120,8	56,4	64,4

Fuente: Elaboración propia, basado en resultados de WEAP.

En la Tabla 4-3 se presenta la disponibilidad natural calculada para el año 2019 a escala de SHAC. En este caso, la disponibilidad natural para el año más seco de la década es aún menor. Se observa que en algunos SHACs como Punta Gallo la cantidad de agua disponible para alimentar napas o cursos de agua o para ser aprovechada para bebida o algún otro uso productivo apenas alcanzó los 0,4 hm³/año. En el caso de La Vinilla-Casablanca, que es el SHAC con mayor valor de disponibilidad natural (16 hm³/año) es equivalente a 507 l/s, los cuales casi en su totalidad recargaron el acuífero.

Tabla 4-3. Disponibilidad natural SHAC's Estero Casablanca, año 2019.

SHAC	ID	Precipitación 2019 [hm³/año]	Evapotranspiración 2019 [hm³/año]	Disponibilidad natural 2019 [hm³/año]
La Vinilla-Casablanca	S01	24,7	8,7	16,0
Los Perales	S02	9,2	3,9	5,3
Lo Ovalle	S03	11,2	5,6	5,6
Lo Orozco	S04	8,1	4,8	3,3
Estero Casablanca Desembocadura	S05	25,0	21,0	4,0
Punta Gallo	S06	3,4	2,9	0,4
Quintay	S07	9,8	6,6	3,2
Total cuenca		91,4	53,6	37,8

Fuente: Elaboración propia, basado en resultados de WEAP.

Los resultados de disponibilidad natural por SHAC muestra que la disponibilidad de agua natural tiene relación con la mayor superficie. Además, se aprecia que la evapotranspiración es proporcional a la precipitación.

4.1.3 Oferta en la fuente proyectada

De forma similar al acápite 4.1.2 se estimó la oferta en la fuente proyectada, empleando en este caso la serie de tiempo de precipitación y evapotranspiración para el periodo 2020-2050. En la estimación de dicha oferta se emplearon factores de cambio en las variables de precipitación y temperatura teniendo en cuenta el modelo de circulación general (GCM por sus siglas en inglés) de nombre MIROC (ver Anexo F, sección 4.5). En la Figura 4-3 se muestran las curvas de variación estacional para comparar la serie histórica con las proyecciones de cambio climático para el modelo MIROC donde se observa una disminución de las precipitaciones principalmente en los meses de invierno, cuando ocurre la mayor parte de la lluvia en la cuenca.

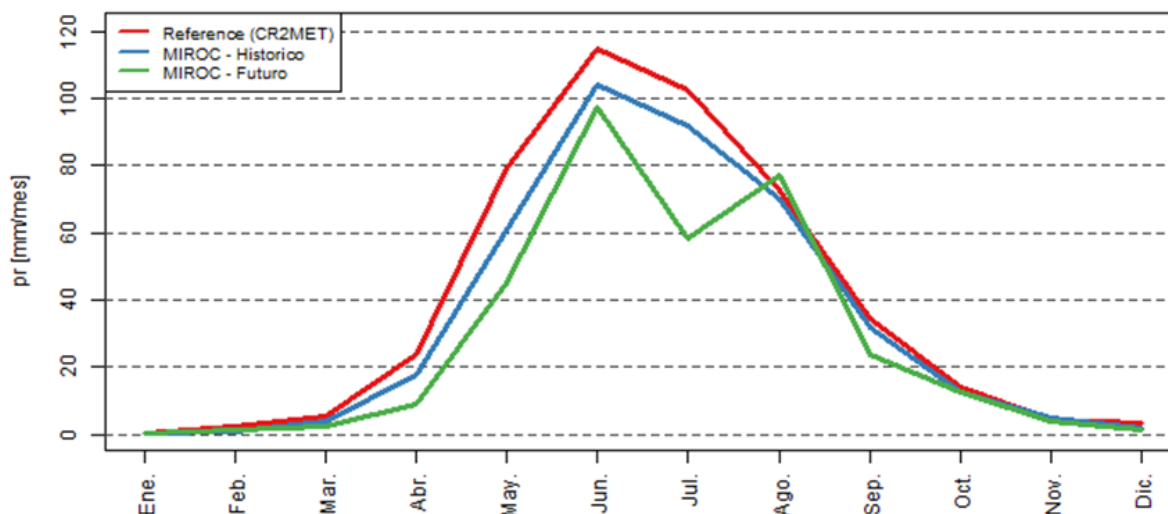


Figura 4-3. Curvas de variación estacional, producto CR2MET y GCM MIROC, escenarios histórico y futuro.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Balance Hídrico Nacional DGA (2017b).

En la Figura 4-4 se muestra la evolución de la precipitación media anual y de la evapotranspiración. Debido a la metodología de estimación de esta serie futura, no cambia la forma, pero si su magnitud, lo cual se puede apreciar al ver que la máxima precipitación media anual no supera los 300 mm/año, mientras que la mínima alcanza alrededor de 60 mm/año. Es decir, la precipitación generada para simular el clima futuro disminuyó cerca de 50% respecto del periodo histórico.

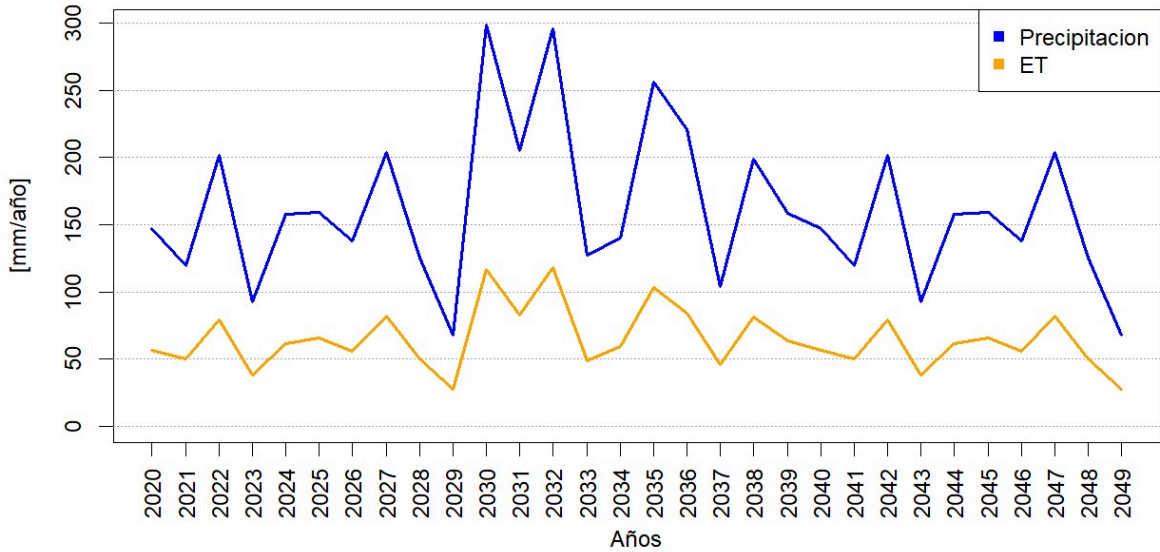


Figura 4-4. Precipitación y evapotranspiración proyectada (2020-2050), cuenca Estero Casablanca.

Fuente: Elaboración propia a partir de la modelación superficial realizada en WEAP.

La Tabla 4-4 se muestra la disponibilidad natural por década para la cuenca Estero Casablanca en el periodo futuro. Se observa claramente como la disponibilidad natural en las décadas futuras disminuye.

El clima futuro se proyectó usando la serie histórica observada, la que se modificó usando factores de cambio en la precipitación y temperatura respectivamente, los que se muestran en el Capítulo 1 del Anexo H. Para proyectar las décadas de 2020, 2030 y 2040 se usó como base 2010, 2000 y 2010 respectivamente. Este uso de las décadas no es casual, ya que se buscó que la proyección del clima en la década de 2020 no fuera superior a la década recién pasada de 2010 de manera de no proyectar posibles mejoras en las condiciones de precipitaciones en el corto plazo, debido a que aún se considera que se mantiene la condición de megasequía. Y dado que se empleó la década de 2000 para construir las forzantes meteorológicas en la década de 2030, se produce el aparente fenómeno de aumento de las precipitaciones en la década de 2030 comparado con la década anterior del 2020. . Luego, para la década de 2040 se usa nuevamente los datos de 2010 modificados por los factores de precipitación y temperatura por lo que los valores de precipitación total, de temperaturas y por ende, de evapotranspiración y de disponibilidad, se repiten en 2020 y 2040 (ver Tabla 4-4).

Esta es solo una forma simple de proyectar cambios en el clima. Hay formas más elaboradas como el usar series con reescalamiento dinámico o estadístico de los mismos GCM o generar múltiples series sintéticas que repliquen ciertas condiciones de las proyecciones.

Tabla 4-4. Valores medios decadales de la disponibilidad natural en la cuenca Estero Casablanca.

Década	Precipitación Anual [hm³/año]	Evapotranspiración Anual [hm³/año]	Disponibilidad Natural Anual [hm³/año]
2020	66,1	26,5	39,6
2030	93,9	37,6	56,3
2040	66,1	26,5	39,6

Fuente: Elaboración propia, basado en resultados de WEAP.

En la Tabla 4-5 se presenta la disponibilidad natural calculada para el año 2030, 2040 y 2050 a escala de los SHAC's presentes en la zona de estudio, donde la oferta disminuye cerca de 40% respecto a la década del 2010.

Tabla 4-5. Disponibilidad natural proyectada por SHAC.

SHAC	ID	Disponibilidad Natural 2030 [hm³/ año]	Disponibilidad Natural 2040 [hm³/ año]	Disponibilidad Natural 2050 [hm³/ año]
La Vinilla-Casablanca	S01	21,4	30,1	21,4
Los Perales	S02	6,7	9,6	6,7
Lo Ovalle	S03	7,2	10,4	7,2
Lo Orozco	S04	8,9	13,4	8,9
Estero Casablanca Desembocadura	S05	10,7	15,9	10,7
Punta Gallo	S06	2,4	3,3	2,4
Quintay	S07	1,5	2,7	1,5
Total en la cuenca		58,8	85,4	58,7

Fuente: Elaboración propia, basado en resultados de WEAP.

4.1.4 Calidad actual

La información de calidad de agua superficial fue obtenida mediante la revisión de antecedentes adicionales, específicamente el estudio dentro del Santuario de la Naturaleza Humedal Tunquén (GORE de Valparaíso, 2018). En términos de la calidad de agua superficial, fueron tomadas muestras en tres lugares dentro del cauce Estero Casablanca (Figura 4-5) con fecha 26 de abril de 2017. Los puntos fueron elegidos para estudiar

diferentes sectores del humedal, por lo tanto, la medición de calidad de agua superficial se enmarca únicamente para la parte baja de la cuenca y, en específico, a la desembocadura del Estero Casablanca (Figura 4-5).

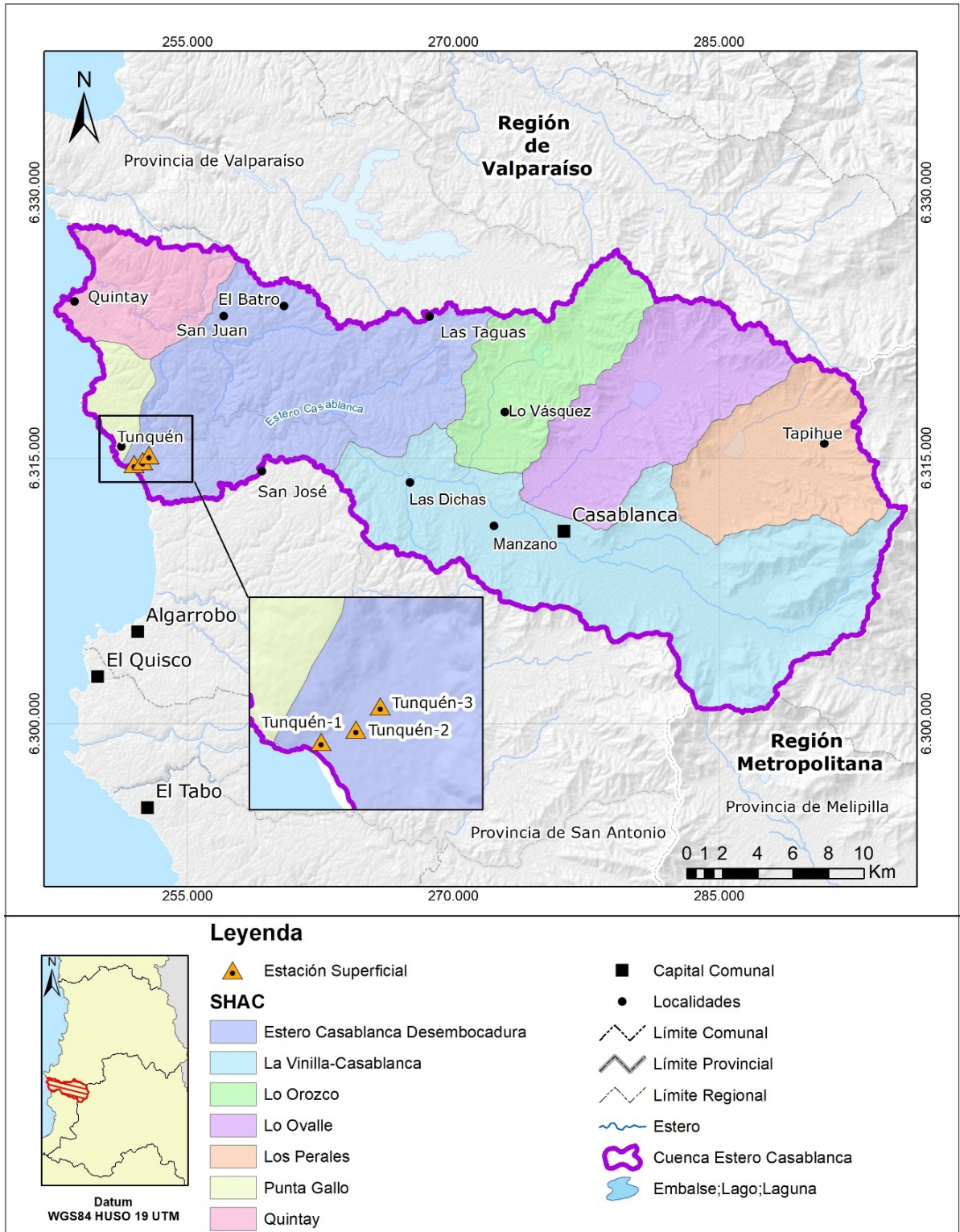


Figura 4-5. Distribución geográfica de los puntos de muestreo de calidad de agua superficial en la cuenca Estero Casablanca.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos contenidos en GORE de Valparaíso (2018).

Dado que en los 3 puntos de medición de calidad de agua superficiales solo se tomó una muestra y que la distribución espacial de dichos puntos es constreñida, se presenta el análisis de la calidad del agua del Estero Casablanca considerando los tres puntos de monitoreo como un único punto de muestreo dentro del humedal Tunquén. De este modo, se presentaron promedios de valores de los parámetros de calidad de agua. Con ello, es posible considerar estos tres puntos como la condición acumulativa de la calidad del agua en el punto más aguas @ la cuenca Estero Casablanca.

Con los datos recopilados en el estudio del Humedal Tunquén no es posible realizar diagramas de Pippier y Stiff debido a que no se cuenta con los parámetros claves (específicamente calcio (Ca²⁺), magnesio (Mg²⁺), sodio (Na⁺), potasio (K⁺), carbonato (CO₃²⁻), bicarbonato (HCO₃⁻), cloruro (Cl⁻) y sulfato (SO₄²⁻)), para poder realizar estos diagramas.

La comparación con la normativa vigente para evaluar si la calidad del agua superficial dentro del Humedal Tunquén cumple o no con las normas chilenas para agua potable (NCh 409/1) y otros usos (NCh 1333), referida a los límites establecidos para cada parámetro, se realizó considerando el valor promedio \pm 1 error estándar. En la Tabla 4-6, se encuentra un resumen del cumplimiento de los nueve parámetros de calidad de agua superficial asociados al Humedal Tunquén.

De los tres parámetros que no cumplen con NCh 409/1 y/o NCh 1333 en el Humedal Tunquén, el nitrato podría ser explicado por contaminación en la parte media y alta de la cuenca Estero Casablanca y el uso del suelo de ella. Los detalles de la información relativa a cada uno de estos parámetros es posible revisarla el Anexo J - Descripción y Diagnóstico acápite 1.4.1 Calidad actual, a través de su descripción y, cuando aplique, sus implicancias en la calidad del agua.

Tabla 4-6. Resumen del cumplimiento de los parámetros de calidad de agua superficial en el Humedal Tunquén con NCh 409/1 y NCh 1333.

Parámetro	Valor		Cumple con	
	Promedio	Desviación estándar	NCh 409/1	NCh 1333
Coliformes fecales	83,6	48,6	-	Sí
Color verdadero	15,3	1,1	Sí	Sí
Conductividad eléctrica	2.263,3	591,7	--	No
Nitrato	60,3	12,9	No	--
Nitrito	0,2	0,03	Sí	--
pH	8,8	0,06	No	No
Sólidos disueltos totales	1.485,3	321,6	No	--

Parámetro	Valor		Cumple con	
	Promedio	Desviación estándar	NCh 409/1	NCh 1333
Temperatura	15,9	1,3	--	Sí
Turbidez	6,5	1,0	Sí	--

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos GORE de Valparaíso (2018) y las normativas NCh 409/1 y NCh 1333.

Dado que los datos de calidad de agua superficial provienen de un único muestreo puntual se dificultó generar análisis a escala temporal. No obstante, fue posible analizar en el marco de un plan indicativo de recursos hídricos que los datos obtenidos en el Humedal Tunquén, en su condición de ecosistema acuático de valor nacional por su designación como Santuario de la Naturaleza, y que su localización en la desembocadura, refleja el drenaje de la cuenca Estero Casablanca. De este modo, los valores de nitrato que se encuentran por sobre la NCh 409/1 y NCh 1333 podrían reflejar una contaminación de las aguas en ese sector.

Con una mirada holística, en donde el agua tanto subterránea como superficial son parte del todo que es la cuenca, la inexistencia de estaciones de monitoreo de calidad de aguas superficiales es una necesidad imperiosa para realizar análisis integrado de la calidad del agua, frente a escasez futura, en lugares de valor ecológico y que la ciudadanía busca conservar para las generaciones futuras.

4.1.5 Fuentes de contaminación

Las fuentes de contaminación del agua superficial son variadas alrededor de nuestro país y han sido ampliamente estudiadas en cuencas de Chile. Para el caso de la cuenca Estero Casablanca la información disponible que permite relacionar una fuente de contaminación potencial con, efectivamente, el ingreso de materia, energía y cualquier componente que altere la salud del ecosistema acuático, aún es limitada. Por un lado, se desconoce la calidad natural de las aguas superficiales de la cuenca y por otro, a la fecha del actual estudio no existe un monitoreo de calidad de agua superficial a escala de cuenca.

Los datos de calidad del agua recogidos del estudio realizado en el Humedal Tunquén (GORE de Valparaíso, 2018) indican que por su localización geográfica la calidad de sus aguas refleja el impacto de las potenciales fuentes de contaminación aguas arriba de este. Además, al ser un sistema de humedal costero presenta características de su interacción con ecosistemas marinos sobre los parámetros de calidad de agua como conductividad, ya que posee altos valores de este parámetro semejantes a aguas saladas provenientes del mar adyacente al humedal (para más información revisar el Anexo J de Descripción y Diagnóstico, acápite 1.4. Caracterización Calidad de Aguas Superficiales).

A estas características mencionadas, se sumó que el Humedal Tunquén es denominado un Santuario de la Naturaleza, ya que se sustenta en el valor ecológico – en especial a la presencia de avifauna migratoria y, por tanto, es importante entender las fuentes potenciales de contaminación que lo afectan. De este modo, es relevante levantar información si el valor ecológico posee un co-relato en las organizaciones territoriales, a través de las actividades PAC.

Entre los nueve parámetros que se han medido en dicho humedal y los límites definidos por normas, los valores promedios de la calidad de las aguas superficiales dentro del humedal Tunquén cumplieron con seis parámetros. Específicamente, los parámetros que se encontraban por sobre la norma son: conductividad eléctrica, nitrato y pH. A continuación, se plantean las probables causas que explican que estos parámetros se encuentren por sobre la norma.

En el caso de la alta conductividad eléctrica, esta es una indicación de la dinámica hidrológica de un típico humedal costero. Esto es, que posee un intercambio hiporreico con aguas saladas del océano. Además, si se evalúa el cambio de conductividad eléctrica entre punto TU-1 (más fluvial) a TU-3 (más estuario), se puede apreciar el aumento significativo entre el gradiente natural de salinidad (para mayor información revisar el Anexo J - Descripción y Diagnóstico, acápite 1.4. Caracterización Calidad de Aguas Superficiales). Entonces, aunque el valor de conductividad eléctrica no cumple con la clase más estricta de NCh 1333, puede que la causa del incumplimiento esté relacionada a la influencia de agua del mar, y no por contaminación antrópica.

En el caso de alto pH, es posible que sea causado por la actividad biológica de la comunidad de fitoplancton junto con la barrera física de la playa del humedal. Según un estudio de Suzuki *et al.* (1998), la actividad planctónica en un humedal costero durante periodos en que la barrera de arena cierra la laguna aumentó el pH hasta 9,8 y puede mantener el oxígeno disuelto a niveles de sobresaturación (como un punto de comparación, el valor de saturación de oxígeno disuelto a 0 m s.n.m. y con una temperatura de agua de valor promedio medido de 15,9 °C es 9,9 mg/L. El valor promedio de oxígeno disuelto en Humedal Tunquén fue 10,67 mg/L o 107,8% saturación). En otras palabras, el valor alto de pH parece causado por procesos biológicos naturales de un humedal costero con barrera, tal como se caracteriza al Humedal Tunquén. No obstante, es difícil descartar otras posibles relaciones de causa-efecto con un único período de toma de muestras.

El nivel de nitrato detectado en las muestras de calidad de agua subterránea sobrepasa la norma (ver Tabla 4-11), hecho que se repite en el informe DGA (2016b) Diagnóstico de la calidad de las aguas subterráneas de la Región de Valparaíso, indicó que el nitrato puede indicar fuentes de materia orgánicas (alcantarillados, fosas sépticas, etc.) y productos usados en agricultura (pesticidas y fertilizantes). Además, zonas agrícolas que usan irrigación tienen concentraciones de nitrato más alto (Burkat & Stoner, 2002). Como la cuenca Estero Casablanca tiene mucha actividad agrícola y menor cantidad de población, es muy probable que los fertilizantes utilizados en el sector del valle del Estero Casablanca funcionan como una fuente de nitrato, los que han sido registrados en el Humedal Tunquén.

Ahora bien, los altos valores de nitrato también podrían afectar la proliferación algal, ya que constituyen nutrientes para microorganismos y por ello generar una alteración del pH.

No obstante, esta relación debe ser comprobada mediante la implementación de un programa de monitoreo de calidad de aguas superficiales.

4.1.6 Derechos de concedidos

A continuación, en la Tabla 4-7 se presenta un resumen de los DAA superficiales para la cuenca Estero Casablanca por uso. De la información contenida en el Catastro Público de Aguas, se pudo extraer la siguiente información:

- En la cuenca se cuenta con un total de 66 derechos de aprovechamiento de agua superficiales, de los cuales 65 son de tipo consuntivo (99%) y solo 1 de tipo no consuntivo (1%).
- Como usos preferenciales y explícitos se tiene riego y agua potable, entre ambos suman cerca del 33%. Los derechos de aprovechamiento destinados a riego corresponden al 30% del total.
- El 67% restante de los DAA superficiales se adscribe a la categoría "otro" impidiendo un análisis más profundo sobre el destino final de los derechos otorgados.

Tabla 4-7. Resumen DAA superficiales, cuenca Estero Casablanca.

Uso	DAA superficial [hm ³ /año]	DAA superficial [%]
Riego	13,6	30,1
Agua Potable	1,1	2,4
Industrial	0,0	0,0
Minería	0,0	0,0
Forestal	0,0	0,0
Otro	30,5	67,5
Total	45,2	100,0

Fuente: Elaboración propia base a datos DGA (2021e). Ver Anexo.J.2.3.1 – Análisis DAA, pestaña Resumen.

4.2 Agua subterránea

Teniendo en cuenta el estudio (DGA, 2015), este señala que los recursos hídricos disponibles se encuentran en el acuífero y que son fundamentalmente pluviales, producidas por la infiltración en las zonas altas, en los conos de deyección de las quebradas laterales y en los sectores de contacto roca – relleno. Otra fuente de recarga importante es la infiltración producida en los cauces naturales, esteros y quebradas. Adicionalmente, los embalses también actúan como fuentes de recarga de cierta importancia.

En los años normales (precipitación anual mayor a 300 mm), los sistemas superficiales y subterráneos interactúan y se complementan entre sí, siendo la lluvia la única fuente de

recarga al sistema total. Los cauces naturales confluyen y forman esteros cuyos flujos ya presentan intermitentes, en ciertos tramos superficiales y en otros subterráneos, con lo cual se recarga la napa. Las filtraciones sufridas en los embalses y las pérdidas en los canales en la época de riego también representan recargas al sistema subterráneo. Lo mismo ocurre debido a la percolación en los terrenos agrícolas regados, sea directamente por los recursos superficiales o bien por los provenientes de los pozos de bombeo, en cuyo caso parte de los excedentes del caudal extraído se estaría reincorporando nuevamente a la napa, formando con ello también parte de la recarga.

4.2.1 Sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común SHAC

De acuerdo con el estudio DGA (2014), en la zona de estudio existen 7 Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común SHAC: La Vinilla-Casablanca, Lo Orozco, Lo Ovalle, Los Perales, Estero Casablanca Desembocadura, Punta Gallo y Quintay (ver Figura 4-6).). Los primeros 4 SHAC han sido objeto de estudio y modelación desde 1991 hasta la fecha del actual estudio, y por lo tanto son considerados dentro de la modelación hidrológica acoplada (ver Figura 4-7; para mayor detalle, ver Anexo H – Modelo Hidrológico Acoplado).

Los SHAC Punta Gallo y Quintay, que si bien, están desconectados de la cuenca Estero Casablanca, se encuentran en la zona definida como área de estudio, y por lo tanto objeto de estudio y análisis en el Plan. Por otro lado, respecto al SHAC Estero Casablanca Desembocadura se encuentra aparentemente conectado con la cuenca al sur.

En general, la hidrogeología de la zona de estudio (ver Figura 4-7) se caracteriza por la ubicación a diferentes profundidades de formaciones acuíferas, además de un estrato superficial arcilloso que da cuenta a acuíferos confinados o semiconfinados. Esta condición es la que da la particularidad a la configuración hidrogeológica de la cuenca en su totalidad y a la modelación hidrológica acoplada, donde en los sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común, no se presentan zonas con potencial de aprovechamiento de agua subterránea.

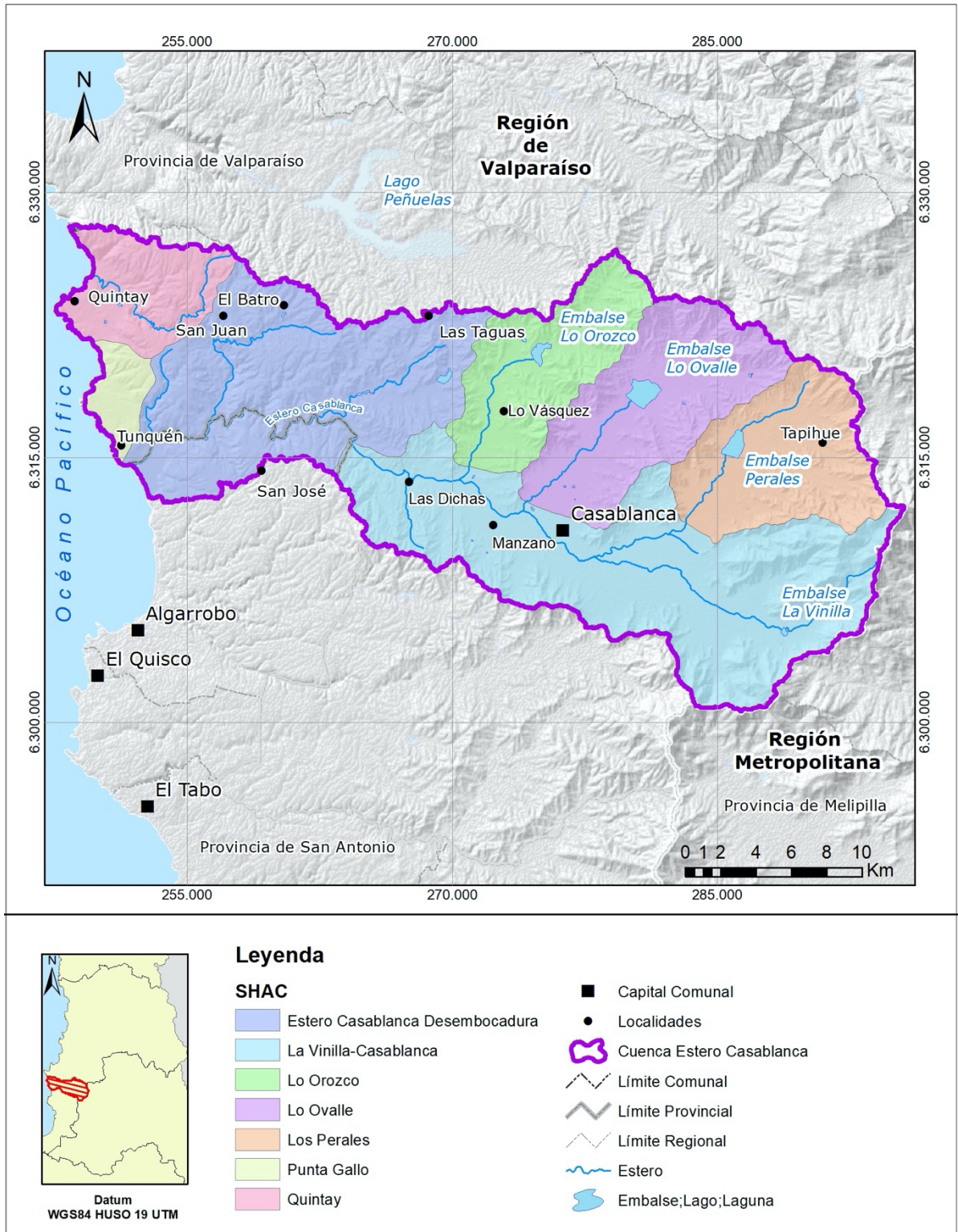


Figura 4-6. Sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común SHAC en la cuenca Estero Casablanca.

Fuente: Elaboración propia a partir de Mapoteca Digital DGA (DGA, 2021f).

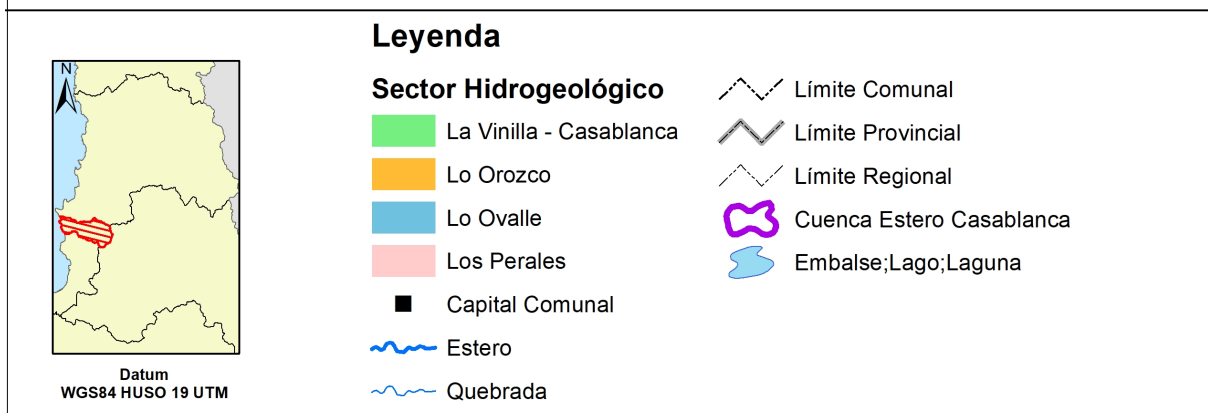
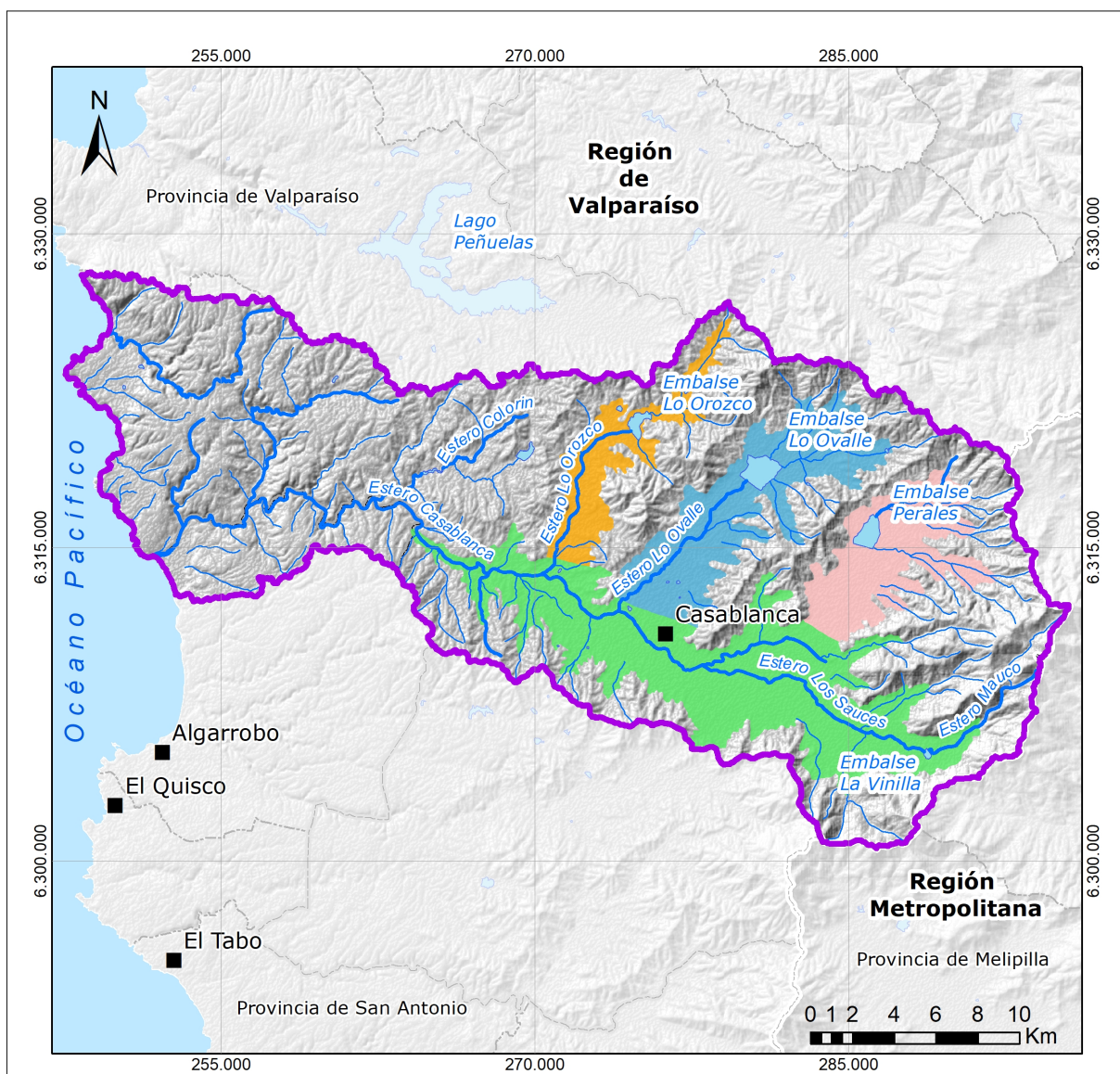


Figura 4-7. Zonificación hidrogeológica en la cuenca Estero Casablanca.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos geospaciales DGA (2021f).

4.2.1.1 Restricciones de uso

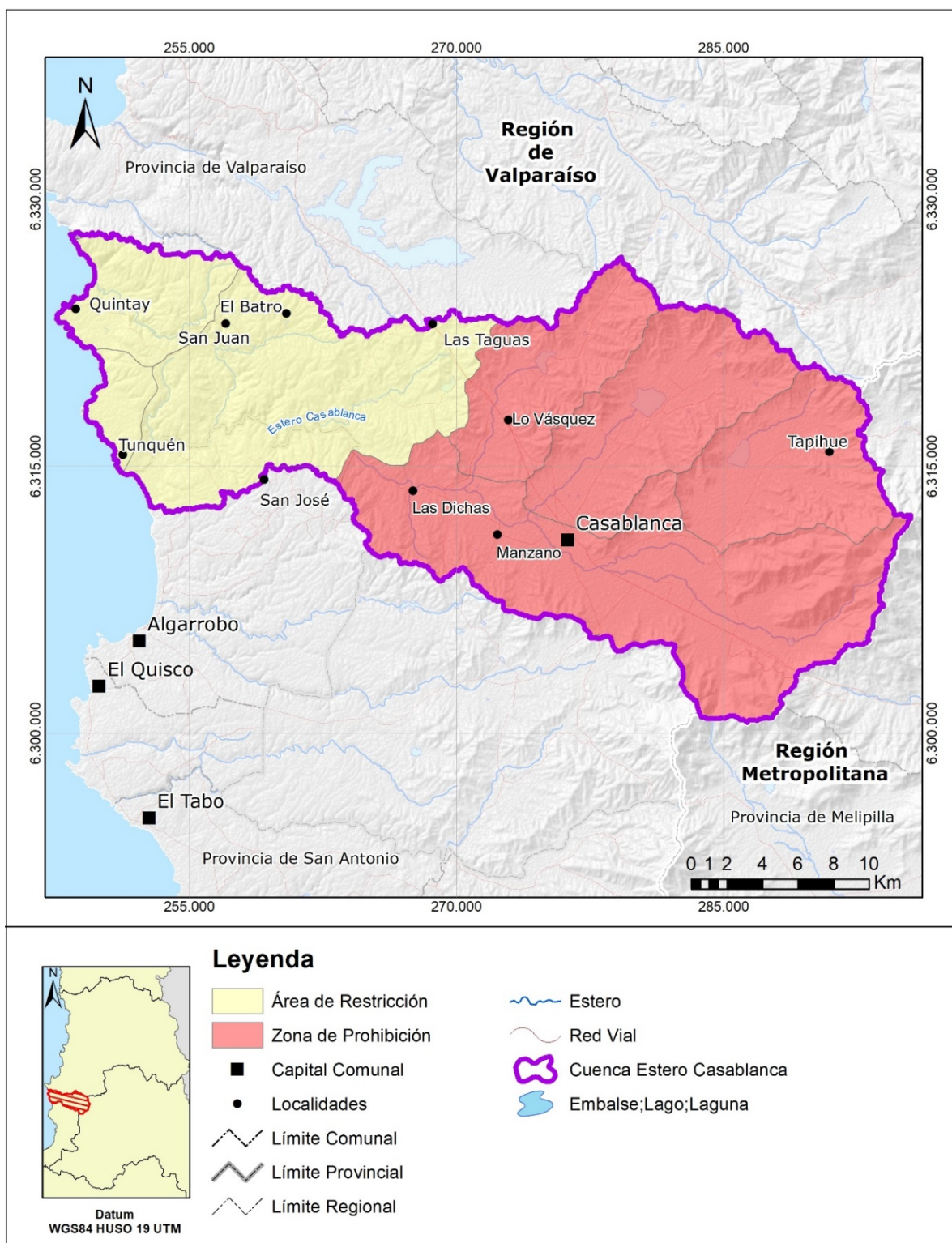
Desde la fecha de 1 de marzo de 2001, casi todas las áreas SHAC de la cuenca Estero Casablanca son declaradas zonas de prohibición para nuevas extracciones de aguas subterráneas (Tabla 4-8 y Figura 4-8). La única área SHAC en el área del estudio no declarada zona de prohibición es declarada área de restricción.

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, 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 4-8. Las resoluciones de área de restricción y zona de prohibición para extracciones de aguas subterráneas dentro de la cuenca Estero Casablanca.

Tipo de Declaración	Año	Nº de Resolución	Fecha de Resolución	SHACs afectados
Área de Restricción	2011	250	21 de octubre de 2011	Quintay
Zona de Prohibición	2001	161	22 de marzo de 2001	Lo Ovalle
Zona de Prohibición	2005	290	02 de septiembre de 2005	La Vinilla-Casablanca Lo Orozco Los Perales
Área de Restricción	2009	152	17 de agosto de 2009	Estero Casablanca Desembocadura Punta Gallo
Área de Restricción	2011	206	27 de septiembre de 2011	Estero Casablanca Desembocadura Punta Gallo
Zona de Prohibición	2020	02	23 de enero de 2020	La Vinilla-Casablanca Lo Orozco Los Perales Lo Ovalle

Fuente: Elaboración propia a partir de los registros públicos de las Áreas de Restricción (DGA 2021c) y Zonas de Prohibición (DGA 2021d).



4.2.2 Stock, recarga y niveles

El volumen total almacenado para los años 1991 y el 2014 (DGA, 2015), fueron estimadas las zonas hidrogeológicas presentadas en la Figura 4-7 mediante modelación hidrogeológica. Esta zona está dentro del dominio de la modelación hidrológica acoplada (ver Anexo H – Modelo hidrológico acoplado). En ambos años se realizaron campañas de medición de niveles, para generar piezometrías. Posteriormente, mediante herramientas de GIS, se interpoló el dominio grillado, para obtener luego los volúmenes totales de sedimentos bajo el nivel freático.

Adicionalmente, se asumió una distribución homogénea en la vertical de los depósitos arcillo – limosos y se estimó que correspondían a un 40% del total de la columna, por ende, no presenta formaciones acuíferas (ya sea libres o confinados), esto debido a que el material es probablemente poco poroso, lo que impide el almacenamiento de agua entre éstos. Finalmente, se asumió, además, una porosidad efectiva media equivalente a 0,1 (DGA, 2015). En la Tabla 4-9 se muestran los volúmenes estimados la variación de volumen entre 1991 y 2014 es equivalente a un desbalance de caudal promedio de 142 l/s.

Tabla 4-9. Volumen acuífero en los SHACs La Vinilla, Lo Ovalle, Lo Orozco y Los Perales.

Año	Volumen bajo el nivel freático [hm³]	Volumen embalsado [hm³]
1991	4.820	289,2
2014	3.102	186,1
Variación 1991-2014	1.718	103,1

Fuente: Elaboración propia a partir DGA (2015).

Con relación a los volúmenes proyectados para los años sucesivos hasta el año 2050, (estimados con el modelo acoplado WEAP-MODFLOW del presente estudio), considerando cambio climático se presentan dichos volúmenes de la Figura 4-9 a la Figura 4-12 para las diferentes subcuencas presentes en la cuenca Estero Casablanca.

En la Figura 4-9 se presenta la gráfica de volumen almacenado de la subcuenca La Vinilla-Casablanca, en ésta se observa un descenso continuo desde el año 1980 hasta el año 2050, desde 181 hm³ hasta un valor igual a 167 hm³, esto debido a las continuas extracciones presentes en dicha subcuenca.

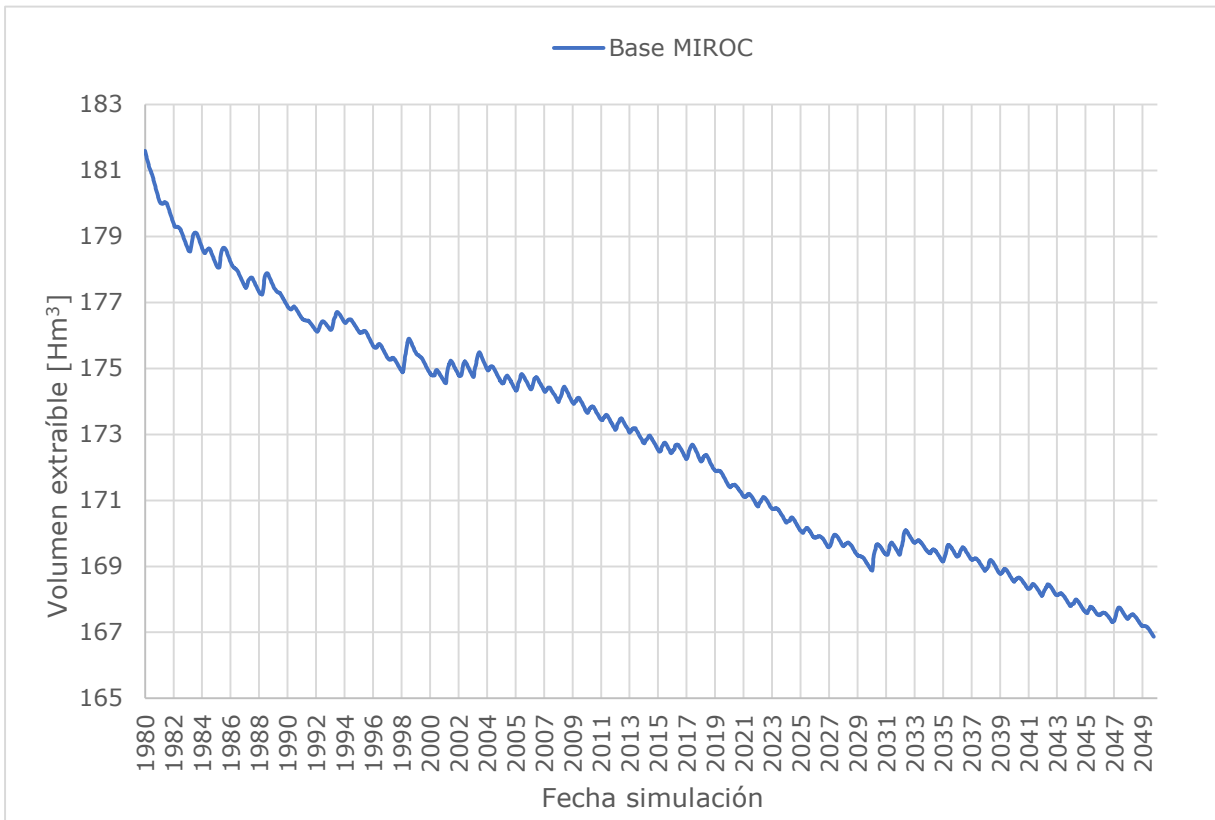


Figura 4-9. Volumen extraíble de subcuenca La Vinilla-Casablanca.

Fuente: Elaboración propia a partir de resultados modelo acoplado WEAP-MODFLOW.

En la Figura 4-10, se muestra el volumen almacenado para la subcuenca de Lo Orozco, en ésta se observa, a diferencia de la subcuenca La Vinilla-Casablanca, valores que oscilan entre 21,9 y 21,6 hm³. Esto debido a que esta subcuenca probablemente no está así afectada a las extracciones por pozos de bombeo debido a la concesión de derechos de agua.

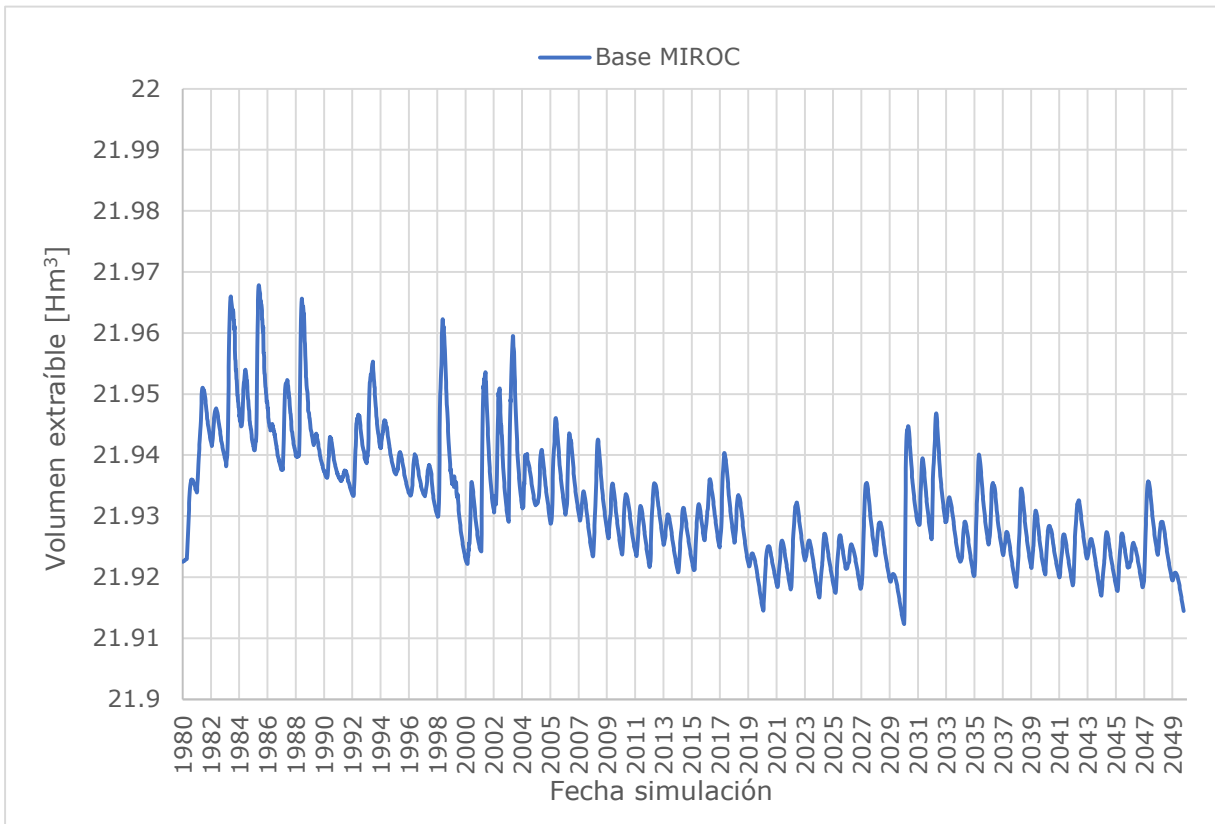


Figura 4-10. Volumen extraíble de subcuenca Lo Orozco.

Fuente: Elaboración propia a partir de resultados modelo acoplado WEAP-Modflow.

En la Figura 4-11, se observa el volumen almacenado a través del tiempo en la subcuenca Lo Ovalle. Se aprecia que los valores en un inicio del período tienen una leve alza de 0,1 hm³, pero posteriormente presentan un descenso sostenido hasta alcanzar un valor de aproximadamente 28,6 hm³.

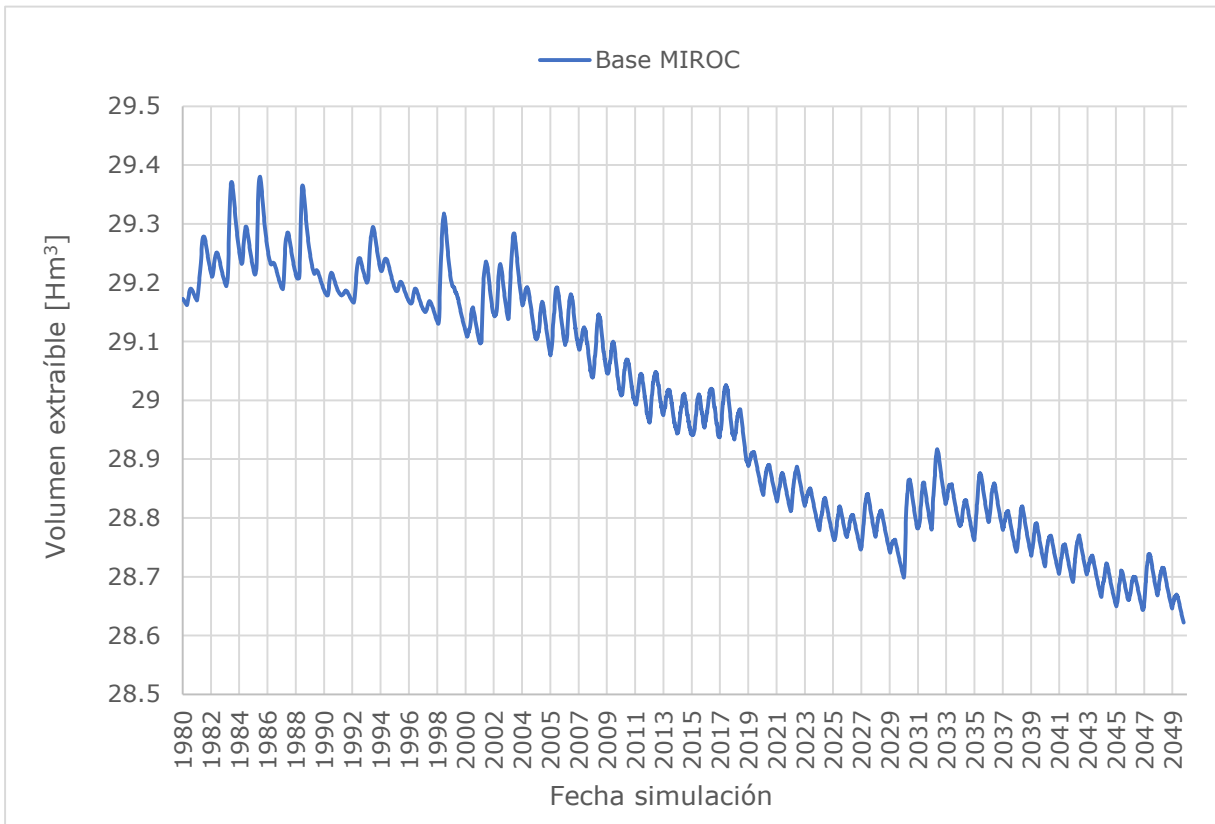


Figura 4-11. Volumen extraíble de subcuenca Lo Ovalle.

Fuente: Elaboración propia a partir de resultados modelo acoplado WEAP-MODFLOW.

En la Figura 4-12, se observa los volúmenes almacenados para la subcuenca Los Perales, que al igual que la subcuenca Lo Ovalle, al inicio del período histórico presenta un ascenso de 0,6 hm³ hasta el año 1987, aproximadamente, posterior a este año, los valores desciende en forma continua hasta alcanzar un valor igual a 32 hm³.

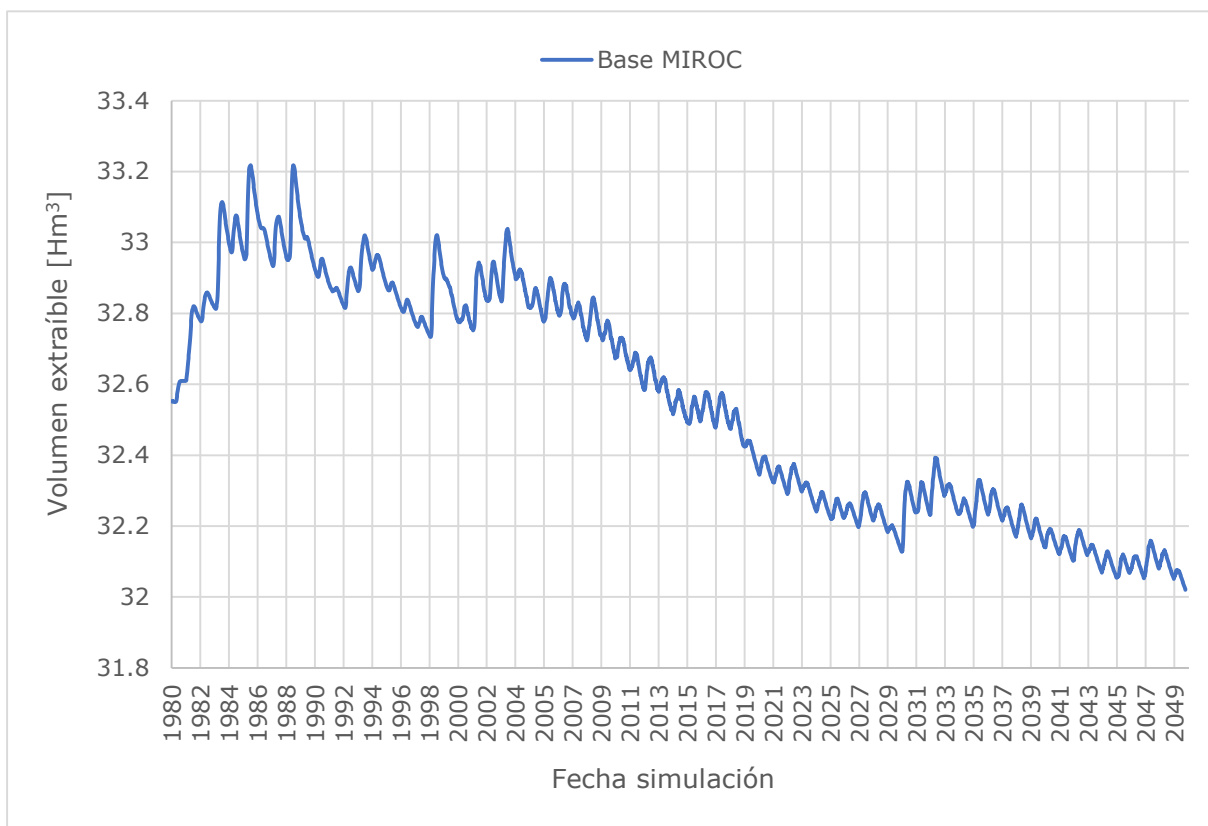


Figura 4-12. Volumen extraíble de subcuenca Los Perales.

Fuente: Elaboración propia a partir de resultados modelo acoplado WEAP-MODFLOW.

Una de las grandes incertidumbres tiene que ver con la recarga, esto debido a diversos factores, entre ellos la baja conductividad hidráulica de la capa superficial producto de la presencia de arcillas, la existencia de cultivos en la zona de ladera en el contacto roca relleno (zona donde debiese ocurrir la principal recarga), existencia de intercepción de gran magnitud por el tipo de bosque y de monocultivos en la zona, utilización de los mismos parámetros para las 14 zonas de recarga lateral en el modelo HEC-HMS.

En el balance de la simulación subterránea (DGA, 2015) se habla de un volumen de entrada de 1.947 hm³ durante un periodo de 23 años. Lo anterior se traduce a un flujo medio de 2.685 l/s. Este valor corresponde a la infiltración por aportes laterales, infiltración directa en la zona del modelo producto de la precipitación, en la zona de la caja del río y los embalses, como también la infiltración por recuperación en las distintas zonas de riego.

De manera simplificada si se considera una precipitación media de 320 mm/año entre el periodo 1991 a 2014 (entregada por las dos estaciones meteorológicas existentes en la zona de estudio), suponiendo precipitación homogénea sobre la superficie de la cuenca de 470,2 km² (hasta el sector de Las Dichas) se tiene un volumen de agua producto de la precipitación del orden de los 150,5 hm³ lo que se traduce en un caudal 4.771 l/s de precipitación bruta, a la cual se le debe descontar la evapotranspiración, intercepción, flujos subsuperficiales y escorrentía directa.

Por lo tanto, los valores de las recargas son recalculados en el modelo integrado.

Finalmente, con los datos de niveles estáticos de las estaciones DGA utilizadas para la calibración del modelo numérico, se construyeron hidrogramas, los cuales se encuentran en el "Anexo J.2.2.1 – Hidrogramas". En la Figura 4-13 se muestra un ejemplo de hidrograma de la estación Plaza Peaje Zapata.

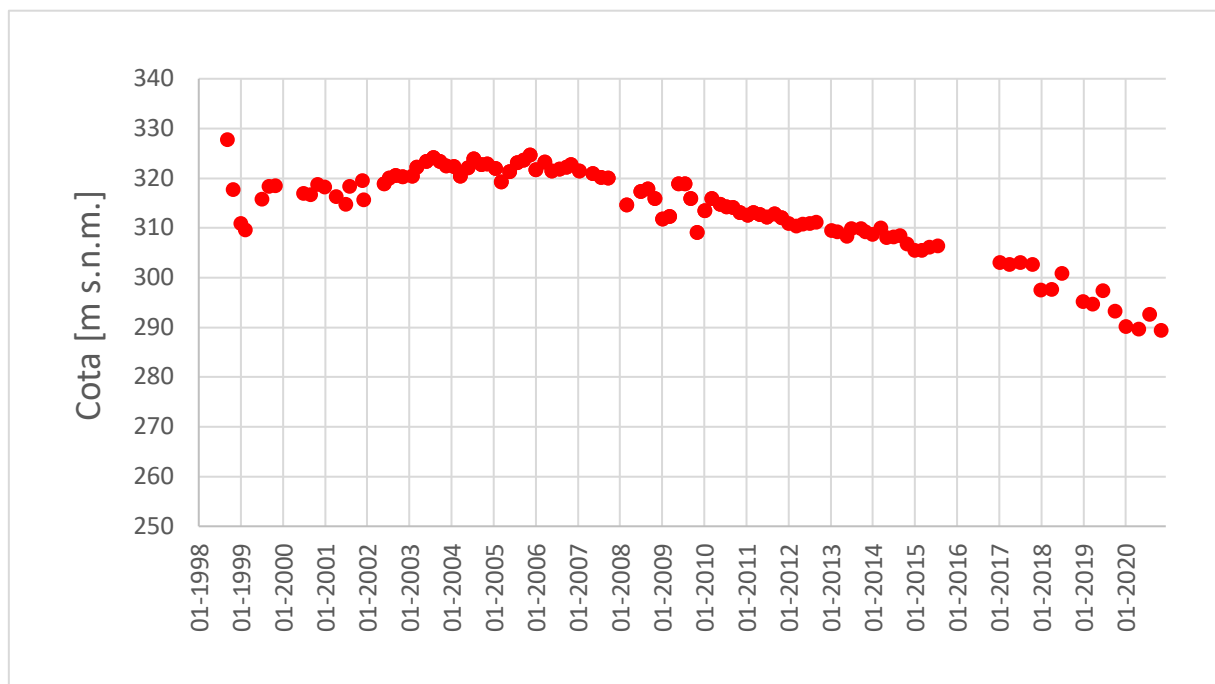


Figura 4-13. Hidrograma Plaza Peaje Zapata.

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

4.2.2.1 Estadísticas de parámetros de calidad

En términos de registro histórico de los datos de calidad de agua subterránea, se cuenta con 5 estaciones DGA vigentes que permitieron caracterizar al programa de monitoreo así:

- En el año 2015 se tiene un dato en las estaciones SSR La Playa, SSR Lo Ovalle, SSR Mundo Nuevo y SSR Tapihue.
- Se presenta más de un año de datos en únicamente las estaciones SSR Mundo Nuevo y SSR Tapihue.
- Todos los años con datos poseen únicamente un (1) día muestreado.

Este patrón de presencia de datos es debido al plan de monitoreo mediante la red SSR, que es descrito en más detalle en el informe de la DGA (2018) con título "Programa plurianual de monitoreo de pozos SSR (2018-2021)". En 2015 la Región de Valparaíso fue evaluada y debido a este monitoreo es que hay información para las estaciones de SSR La Playa, SSR Lo Ovalle, SSR Mundo Nuevo y SSR Tapihue. Es decir, se aumentó la cantidad de puntos para el plan de monitoreo, abarcando más territorio de la cuenca. En el Anexo J -

Descripción y Diagnóstico sección 1.5.1. Estadística de Calidad de Agua se describe la dinámica de este Programa Plurianual.

No obstante, a este positivo aumento en el número de estaciones de monitoreo, los datos son colectados una vez al año y no son continuos para cada año. Por ejemplo, como se observa en la Tabla 4-10 el punto de muestreo SSR La Playa posee un solo dato en el año 2015, al contrario, el punto SSR Mundo Nuevo posee cuatro datos desde el 2015 al 2018, habiendo obtenido un dato por año. Considerando esta brecha, se analizaron los datos siguiendo las metodologías correspondientes.

Tabla 4-10. El número de muestras anuales de cada estación de calidad de agua subterránea dentro de la cuenca hidrográfica del Estero Casablanca.

Estación	Código BNA	2015	2016	2017	2018
SSR La Playa	05520031-9	1	0	0	0
SSR Lo Ovalle	05520032-7	1	0	0	0
SSR Mundo Nuevo	05520033-5	1	1	1	1
SSR Tapihue	05520034-3	1	1	0	1
SSR Paso Hondo Casa Blanca	05520035-1				1

Celda verde: estación vigente con datos de calidad del agua durante el año indicado.

Celda roja: estación vigente sin datos de calidad del agua durante el año indicado.

Celda blanca estación no vigente en el año indicado.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del informe DGA (2020).

4.2.2.2 Caracterización de agua subterránea

Basada en las mediciones de aniones y cationes, en las 5 estaciones de monitoreo de calidad de agua subterránea, el agua subterránea posee carácter de bicarbonato, con moderados valores de calcio, según el diagrama Piper (Figura 4-14 izquierda). No se observa una gran diferencia en el carácter entre las estaciones en el diagrama Stiff (Figura 4-14 derecha), que indica que las estaciones poseen aguas que son relacionados iónicamente entre ellas. Es posible que la estación SSR Paso Hondo Casa Blanca posea un poco más de carácter bicarbonatado que las otras estaciones, pero no es posible explicar este resultado con certeza, porque hay solo una medición de calidad de agua. Ahora bien, considerando que la cuenca Estero Casablanca es relativamente pequeña, la similitud mostrada en los diagramas Piper y Stiff no es muy sorprendente.

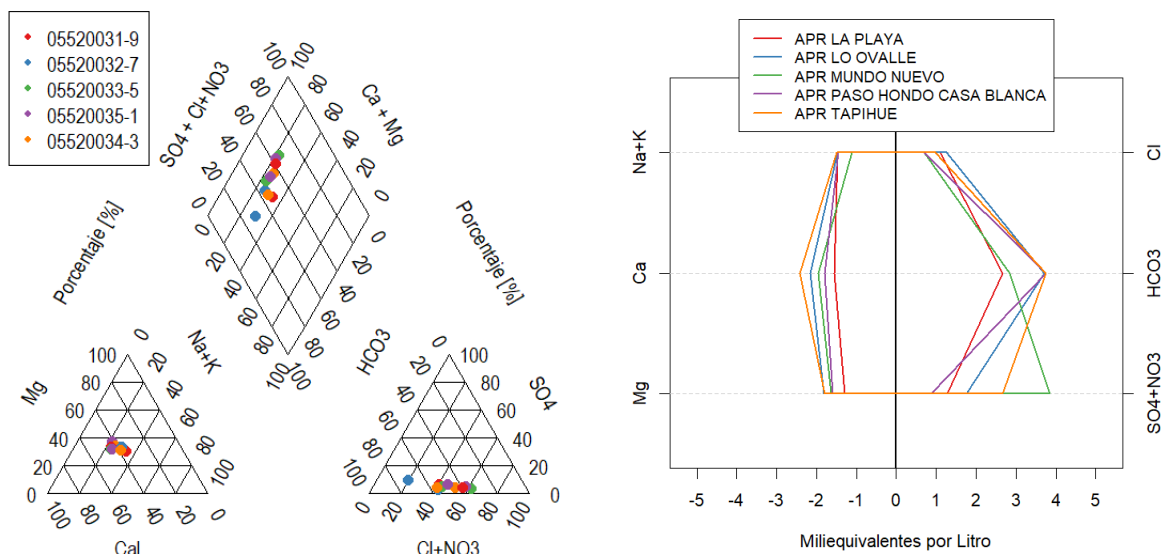


Figura 4-14. Diagramas Piper (izquierdo) y Stiff (derecho) de las estaciones SSR dentro de la cuenca Estero Casablanca para estaciones SSR La Playa (código 05520031-9), SSR Lo Ovalle (05520032-7), SSR Mundo Nuevo (05520033-5), SSR Tapihue (05520034-3) y SSR Paso Hondo Casa Blanca (05520035-1).

Fuente: Elaboración propia según datos del informe DGA (2020).

4.2.2.3 Calidad de agua según normas chilenas

Entre los parámetros medidos en las estaciones de monitoreo de calidad de agua subterránea se presentan 24 que son regulados por normas chilenas sobre la calidad de agua: NCh 409/1 y NCh 1333. Mediante la comparación de los valores medidos en las estaciones con los límites definidos en cada norma se determina el nivel de cumplimiento de dichas regulaciones. Este análisis se presenta en una matriz en que se combinan los parámetros por estación y por norma de calidad de uso, la que se puede observar en la Tabla 4-11. En el Anexo J acápite 1.5.2.1. Calidad de agua según normas chilenas se describe los parámetros que superan la norma.

De las cinco estaciones de monitoreo, cuatro de ellas presentan valores por sobre la norma. Los parámetros que se encuentran por sobre la norma son Hierro, Molibdeno, Nitrato y Sodio porcentual. Tanto molibdeno como sodio porcentual se encuentran por sobre la NCh 1333 en las estaciones SSR Tapihue y SSR paso Hondo. La estación Mundo Nuevo es la única estación que presenta valores por sobre la NCh409/1 para nitrato.

Tabla 4-11. Parámetros no cumplidos o sobrepasados entre las estaciones de calidad de agua subterráneas de la cuenca hidrográfica del Estero Casablanca.

Parámetro	SSR La Playa		SSR Lo Ovalle		SSR Mundo Nuevo		SSR Tapihue		SSR Paso Hondo	
	409/1	1333	409/1	1333	409/1	1333	409/1	1333	409/1	1333
Hierro	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí
Molibdeno	-	SD	-	SD	-	SD	-	No	-	No
Nitrato	Sí	-	Sí	-	No	-	Sí	-	Sí	-
Sodio porcentual	-	No	-	Sí	-	Sí	-	No	-	No

SD: Sin datos, Sí: cumple; No: por sobre la norma.

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

4.2.2.4 Índice de Calidad de Agua subterránea ICA

Los datos pertenecientes a las estaciones de calidad de agua DGA comenzaron a ser evaluados mediante el Índice de Calidad de Agua subterránea (ICA) a partir de 2009 desde el desarrollo del estudio Diagnóstico y Clasificación de Sectores Acuíferos DGA (2009). Este índice busca evaluar de forma Excepcional, Buena, Regular, Insuficiente o Intratable la calidad del agua considerando diferentes usos, para mayor detalle revisar el Anexo J en su sección 1.5.2.2. Índice de Calidad de Agua subterránea.

La implementación del ICA en SSR Paso Hondo Casa Blanca (05520035-1) presentó una clase "Excelente" el año 2018, por tanto, los años sucesivos de la campaña plurianual (2018-2021) esta estación no fue monitoreada para gestionar los recursos de manera más eficiente. Cabe mencionar que siguiendo los lineamientos metodológicos de DGA (2009) se presenta la calidad de agua excelente con color verde oscuro y sin datos, dado que no hay parámetro alguno que indique una mala calidad de agua subterránea. La peor clase calculada para la cuenca Estero Casablanca fue "Regular", que caracteriza a la SSR Mundo Nuevo (05520035-1) en los años 2015 y 2016. Todos los otros años y estaciones se caracterizaron con clase "Buena."

Cabe destacar que el parámetro indicativo, tanto de calidad Regular como Buena, fue el nitrato (ver Tabla 4-12). Ello implica que la agricultura tiene un impacto significativo en el agua subterránea y se corrobora por las mediciones de nitrato en las aguas subterráneas, así como las superficiales, medidas en el Humedal Tunquén. Desde estos resultados nace la necesidad de realizar un monitoreo de aguas superficiales y subterráneas de forma integral.

Tabla 4-12. Evaluación de ICA general en cada estación de la cuenca Estero Casablanca para cada año con datos disponibles.

Nombre de la estación	Código BNA	2015	2016	2017	2018
SSR La Playa	05520031-9	Nitrato 13,7 mg/l			
SSR Lo Ovalle	05520032-7	Nitrato 22,2 mg/LI			
SSR Mundo Nuevo	05520033-5	Nitrato 59,4 mg/l	Nitrato 50,8 mg/l	Nitrato 41,46 mg/l	Nitrato 48,45 mg/l
SSR Tapihue	05520034-3	Nitrato 31,1 mg/l	Nitrato 42,1 mg/l		Nitrato 23,81 mg/l
SSR Paso Hondo Casablanca	05520035-1				

Verde oscuro = Excelente, Verde = Buena, Amarilla = Regular

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del informe DGA (2020).

4.2.3 Fuentes de contaminación

Entre los 24 parámetros evaluados por las normas chilenas NCh 409/1 y NCh 1333, se encontraron solamente 4 en que una estación o más no cumple con el límite máxima de al menos una normativa (Tabla 4-13). Al analizar estos datos a la luz del ICA el análisis se centra en el parámetro de Nitrato. Más descripciones se encuentran en el anexo J de Descripción y Diagnóstico acápite 1.5.2.3. Evaluación de la calidad del agua subterránea.

Tabla 4-13. Número de estaciones de calidad de agua subterránea que no cumplen con las normativas de calidad del agua para los parámetros superados.

Parámetro	N° estaciones que no cumplen con	
	NCh 409/1	NCh 1333
Hierro	1	0
Molibdeno	-	3
Nitrato	1	-
Sodio porcentual	-	3

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del informe DGA (2020).

El alto valor de nitrato proviene de la estación SSR Mundo Nuevo (05520033-5), con dos de las cuatro mediciones del registro por sobre el límite máxima de NCh 409/1. Es posible que estos valores sean producto de las huellas del impacto de fertilizantes usados en el sector agrícola de la cuenca (Burkart & Stoner, 2002; DGA 2016). Esta explicación es apoyada por los valores de nitrato en SSR Tapihue (05520034-3) que también son relativamente altos. De acuerdo a los análisis de los datos, los valores elevados de nitrato son la razón porque el ICA en todos los años y en todas las estaciones (excepto a SSR Paso Hondo Casa Blanca) no llegaron a clase “Excelente” (Tabla 4-12).

La zona del centro del Estero Casablanca es caracterizada por alto niveles de agricultura – mayor superficie continua que en las áreas de las otras estaciones de calidad de agua subterránea. Esto se puede apreciar espacialmente en la Figura 4-15, donde la estación de calidad de agua SSR Mundo Nuevo se localiza en el SHAC La Vinilla Casablanca. En la Tabla 4-14 se observa que de la superficie total de la cuenca, el 46% del uso del suelo agrícola se encuentra el SHAC Vinilla Casablanca y esto representa el 66% del suelo agrícola dentro del SHAC. Entonces la mayor concentración de uso de suelo agrícola puede ser la explicación que esta estación de calidad de agua presente dos años con calidad regular y luego dos años con calidad buena, sin alcanzar valores de excelente.

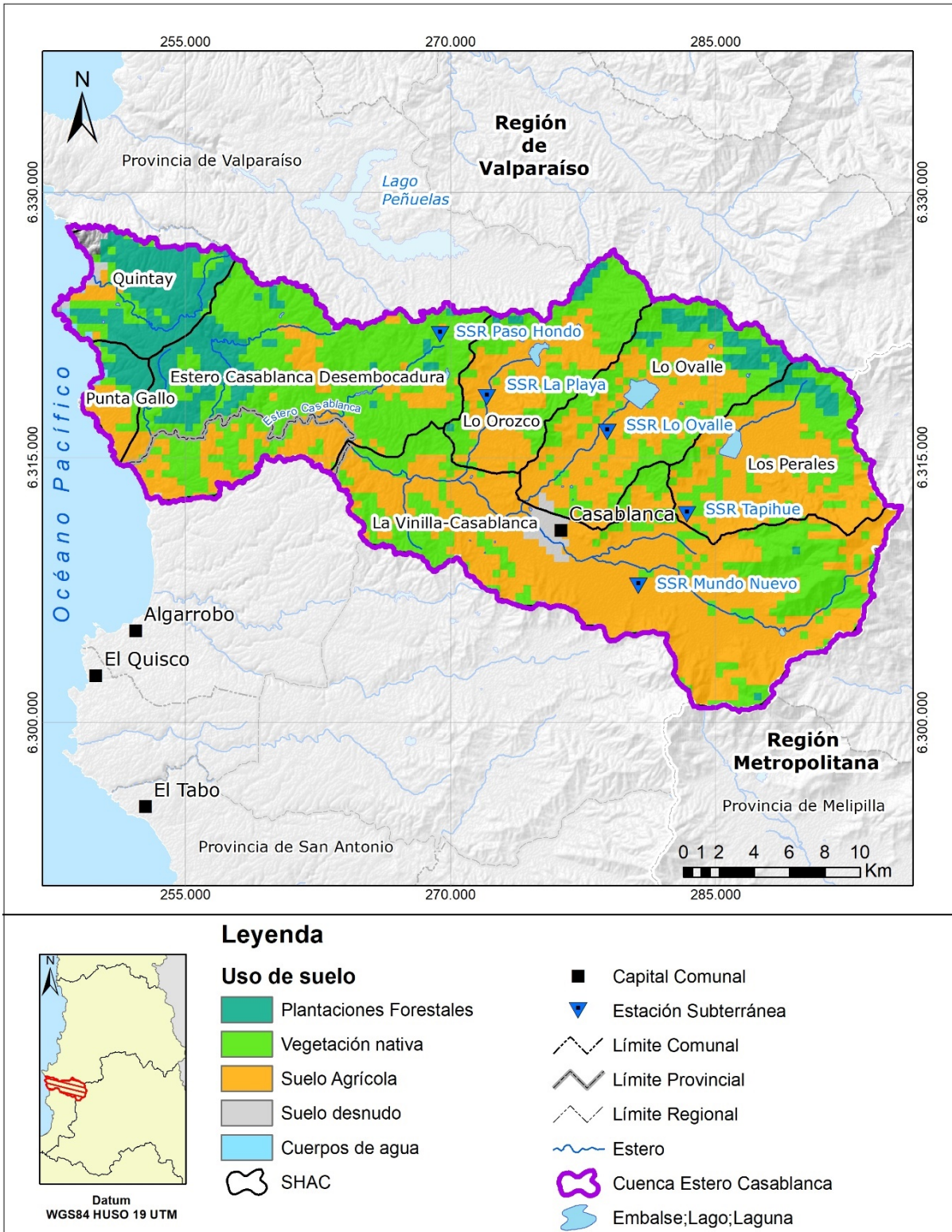


Tabla 4-14. Porcentaje de uso del suelo agrícola por SHAC para el año 2019.

SHAC	Superficie del SHAC [ha]	Porcentaje del SHAC dentro de la cuenca [%]	Superficie agrícola del SHAC [ha]	Porcentaje de la cuenca dedicado a agricultura [%]	Porcentaje del SHAC dedicado a agricultura [%]
La Vinilla-Casablanca	21.779,8	31,3%	14.464	46	66,4
Los Perales	8.098,8	11,6%	4.758	15	58,7
Lo Ovalle	9.816,2	14,1%	5.013	16	51,1
Lo Orozco	7.166,4	10,3%	3.225	10	45,0
Estero Casablanca Desembocadura	16.391,9	23,6%	3.237	10	19,7
Punta Gallo	1.574,0	2,3%	712	2	45,2
Quintay	4.709,6	6,8%	325	1	6,9
TOTAL	69.536,7	100,0%	31.734	100	

Fuente: Elaboración propia en base a DGA (2021f; 2014^a).

4.2.4 Derechos concedidos

El volumen almacenado en el acuífero disponible para extraer se define como “el volumen de explotación sustentable a nivel de fuente considerado como el recurso disponible para otorgar derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en carácter de permanente y definitivos, así mismo, corresponde al volumen total anual considerado para derechos de aprovechamiento de carácter provisional” (DGA, 2019).

En la Tabla 4-15, se muestran los valores de caudales disponibles sustentables. Los valores se obtuvieron a partir del documento “Análisis de disponibilidad de aguas subterráneas de los sectores acuíferos denominados la Vinilla-Casablanca, Lo Ovalle, Lo Orozco y Los Perales, en la provincia y región de Valparaíso” (2019).

Con relación a los derechos de agua otorgados, en términos de volumen en la Tabla 4-16 se presentan los derechos otorgados y provisionales para cada uno de los SHACs en la zona de estudio. Comparativamente, en los SHACs La Vinilla-Casablanca, Lo Orozco, Lo Ovalle y Los Perales, los recursos disponibles (Tabla 4-15) son menores a los caudales otorgados como derechos de aprovechamiento (Tabla 4-16). Se observa que en total la disponibilidad del recurso es de 1.144 l/s y el total de derechos otorgados asciende a 8.179 l/s (Anexo J.2.3.2 – Derechos Aprovechamiento Aguas). De los SHACs antes mencionados, se debe destacar La Vinilla-Casablanca cuyo caudal sustentable es casi 10 veces menor al caudal otorgado en términos de derechos de aprovechamiento.

Adicionalmente, en la Tabla 4-15 y Tabla 4-16 se presentan los subtotales de los caudales sustentables. Derechos de aprovechamiento de agua otorgados, respectivamente, para los sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común modelados en MODFLOW en el PEGH.

Tabla 4-15. Caudales sustentables sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común en la cuenca Estero Casablanca.

Sector	Disponibilidad Total	
	DAA Definitivos y provisionales [m ³ /año]	DAA Definitivos y provisionales [l/s]
La Vinilla-Casablanca	15.988.752	507
Lo Orozco	5.865.696	186
Lo Ovalle	5.991.840	190
Los Perales	8.230.896	261
Total SHACs modelados	36.077.184	1.144
Punta de Gallo*	315.360	10
Estero Casablanca en Desembocadura*	3.721.248	118
Quintay*	1.040.688	33

Fuente: Elaboración propia a partir de DGA (2020; 2011*).

Tabla 4-16. Derechos de aprovechamiento de agua subterránea otorgados.

Sector	Demanda Total	
	Definitivos y provisionales [m ³ /año]	Definitivos y provisionales [l/s]
La Vinilla-Casablanca	146.073.176	4.632
Lo Orozco	10.496.959	333
Lo Ovalle	52.628.634	1.669
Los Perales	48.740.825	1.546
Total SHACs modelados	257.939.594	8.179
Punta de Gallo*	1.050.148	33
Estero Casablanca en Desembocadura*	15.546.130	493

Sector	Demanda Total	
	Definitivos y provisionales [m ³ /año]	Definitivos y provisionales [l/s]
Quintay*	1.463.112	46

Fuente: Elaboración propia a partir de (2020; *2011).

En la Tabla 4-17 se presenta el factor de sobre-otorgamiento, que corresponde al cociente entre los derechos de agua otorgados y provisionales sobre el caudal sustentable, también se muestra el estado del acuífero con respecto a la posibilidad de otorgar más derechos.

Tabla 4-17. Factor de sobre otorgamiento por SHAC.

Sector	Factor de sobreotorgamiento	Estado
La Vinilla-Casablanca	9,1	Área de Restricción 2005 Zona de Prohibición 2011
Lo Orozco	1,8	Área de Restricción 2005 Zona de Prohibición 2011
Lo Ovalle	8,8	Área de Restricción 2001 Zona de Prohibición 2011
Los Perales	5,9	Área de Restricción 2005 Zona de Prohibición 2011
Total SHACs modelados	7,1	
Punta de Gallo	3,3	Área de Restricción 2011
Estero Casablanca en Desembocadura	4,2	Área de Restricción 2011
Quintay	1,4	Área de Restricción 2011

Fuente: Elaboración propia partir de datos DGA (2021c; 2021d).

En la Figura 4-16. Se muestra la evolución temporal de los caudales de extracción subterránea que han sido otorgados. De acuerdo con registros presentados por DGA (2020, Anexo J.3) existen caudales otorgados sin fechas asociadas o bien presentaban una fecha correspondiente al 1 de enero del año 1900, estos últimos se asumen sin fecha. Es por esto

que no se incorporaron en la gráfica anterior. No obstante, se estima como la sumatoria del total de los derechos, un valor igual a 8.308,4 l/s.

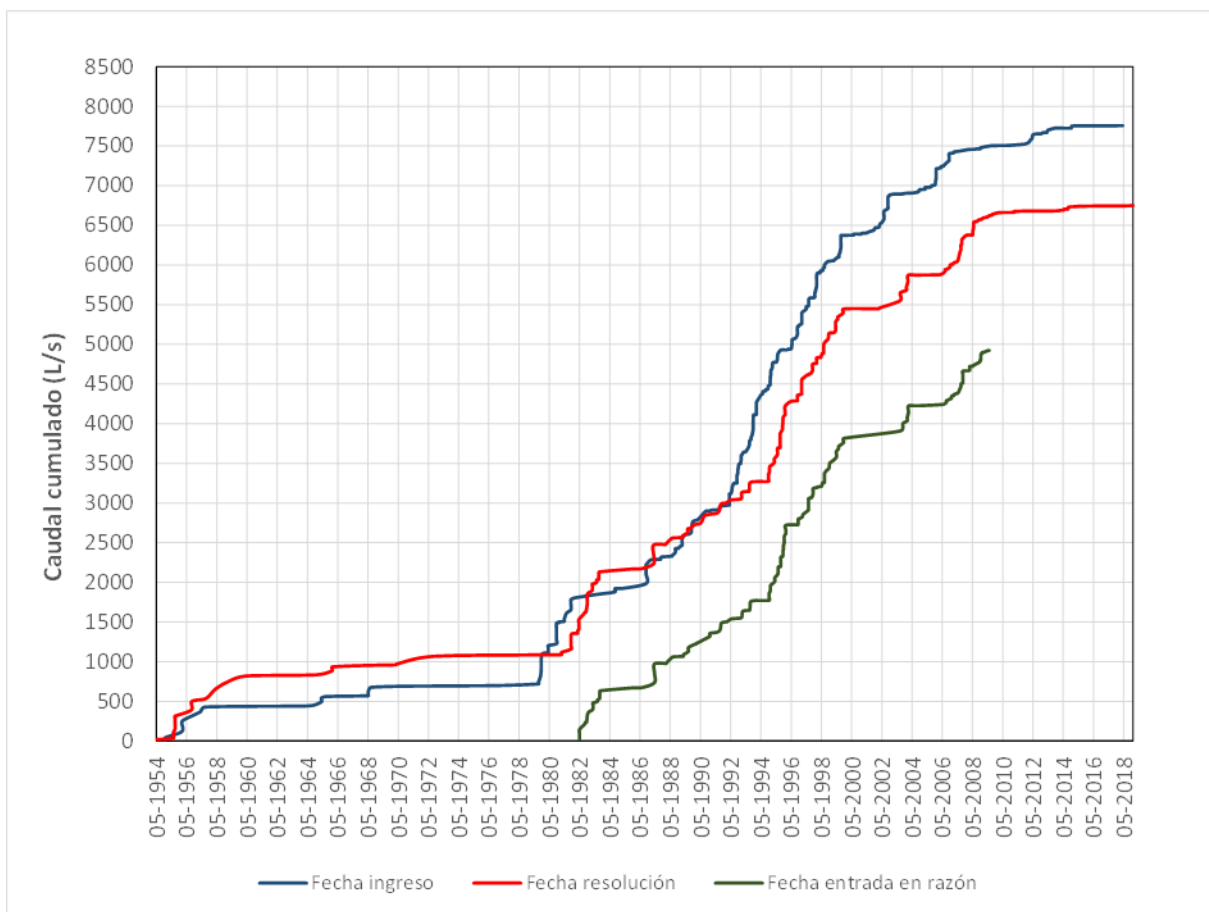


Figura 4-16. Serie temporal de caudales otorgados por DGA.

Fuente: Elaboración propia con base de datos DGA (2020).

5 BALANCE DE AGUA

El balance de agua en la cuenca considera tanto la componente superficial como subterránea, evaluada en el tiempo y el espacio mediante el modelo hidrológico acoplado WEAP-MODFLOW. La evaluación del balance de agua permitió realizar el diagnóstico, etapa importante del PEGH que habilita la determinación de las brechas tanto en el periodo (1979-2020) histórico como futuro (2020-2050). Respecto al balance hídrico, se establece su propia brecha, la cual hace referencia a la cantidad de agua y también a su gestión.

En esta etapa del PEGH, se evalúan además diferentes indicadores relativos al balance: la sustentabilidad del acuífero mediante los cinco Criterios de Sustentabilidad (se analizarán los 5 criterios en caso de ser necesario, es decir si el acuífero es no sustentable en los primeros criterios los siguientes no serán analizados), que permiten estimar si la explotación del acuífero permitirá el mantenimiento de volúmenes sustentables o no; indicadores hídricos de la cuenca que hablan de la confiabilidad y sensibilidad del sistema para satisfacer las diferentes demandas; y la sensibilidad de la cuenca a diferentes escenarios de modelación acoplada.

Adicional a esto, se presenta el análisis del Mercado de Aguas, tanto subterráneo como superficial que permite entender el volumen de transacciones, su temporalidad y espacialidad y el valor transado en mercado por l/s.

Todos estos resultados, habilitan para la generación de un conjunto de acciones que ayudarán a cerrar las brechas identificadas tanto en balance de agua como coordinación e información.

5.1 Modelo de simulación

La modelación hidrológica en la cuenca Estero Casablanca se abordó desde el acoplamiento de las plataformas WEAP usada para la simulación de la hidrología superficial y gestión de demandas, y la plataforma MODFLOW para la simulación de la hidrología subterránea.

El modelo *Water Evaluation And Planning* (WEAP) es una herramienta computacional que sirve para la planificación de los recursos hídricos, fue creado en 1988 como iniciativa del *Stockholm Environment Institute* SEI (SEI, 2018), con el objetivo de generar una herramienta de planificación flexible, integral y transparente para evaluar la sostenibilidad de los patrones actuales de demanda y suministro de agua, y explorar escenarios alternativos de largo alcance.

MODFLOW es un modelo tridimensional de aguas subterráneas de diferencias finitas creado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). Este modelo permite estimar la variación del nivel freático completamente distribuida en el espacio, incorporando las extracciones puntuales, drenes y la interacción río-acuífero. Este modelo basado en la simulación de procesos físicos ha sido ampliamente utilizado para la gestión del recurso subterráneo.

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, 2018).

Cuando se vinculan correctamente, los datos y los resultados fluyen de un lado a otro entre WEAP y MODFLOW para cada paso de tiempo. 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.

En el caso de la modelación acoplada en la cuenca Estero Casablanca y debido a que el modelo numérico con el que se contó solo está presente en la sección Este de la cuenca, la modelación acoplada se restringió a este sector. La conexión entre la zona acoplada y no acoplada, en el sector de Las Dichas, se realizó en base a afloramientos hacia el río. El sector no acoplado se modeló solamente con WEAP mediante el uso de elementos de cuencas (*catchments*), nodos subterráneos y ríos.

Las series climáticas empleadas como input para la modelación hidrológica en WEAP se obtuvieron de los productos en NetCDF del CR2MET (para simular la historia entre 1980-2018) y de distintos modelos de circulación general o GCM para las proyecciones de cambio climático (2020-2050), aunque en ambos casos se realiza un ajuste espacial y temporal en base a los datos observados en las distintas estaciones meteorológicas en la cuenca y cercanas a ella.

El esquema final del modelo WEAP acoplado se presenta en la Figura 5-1.

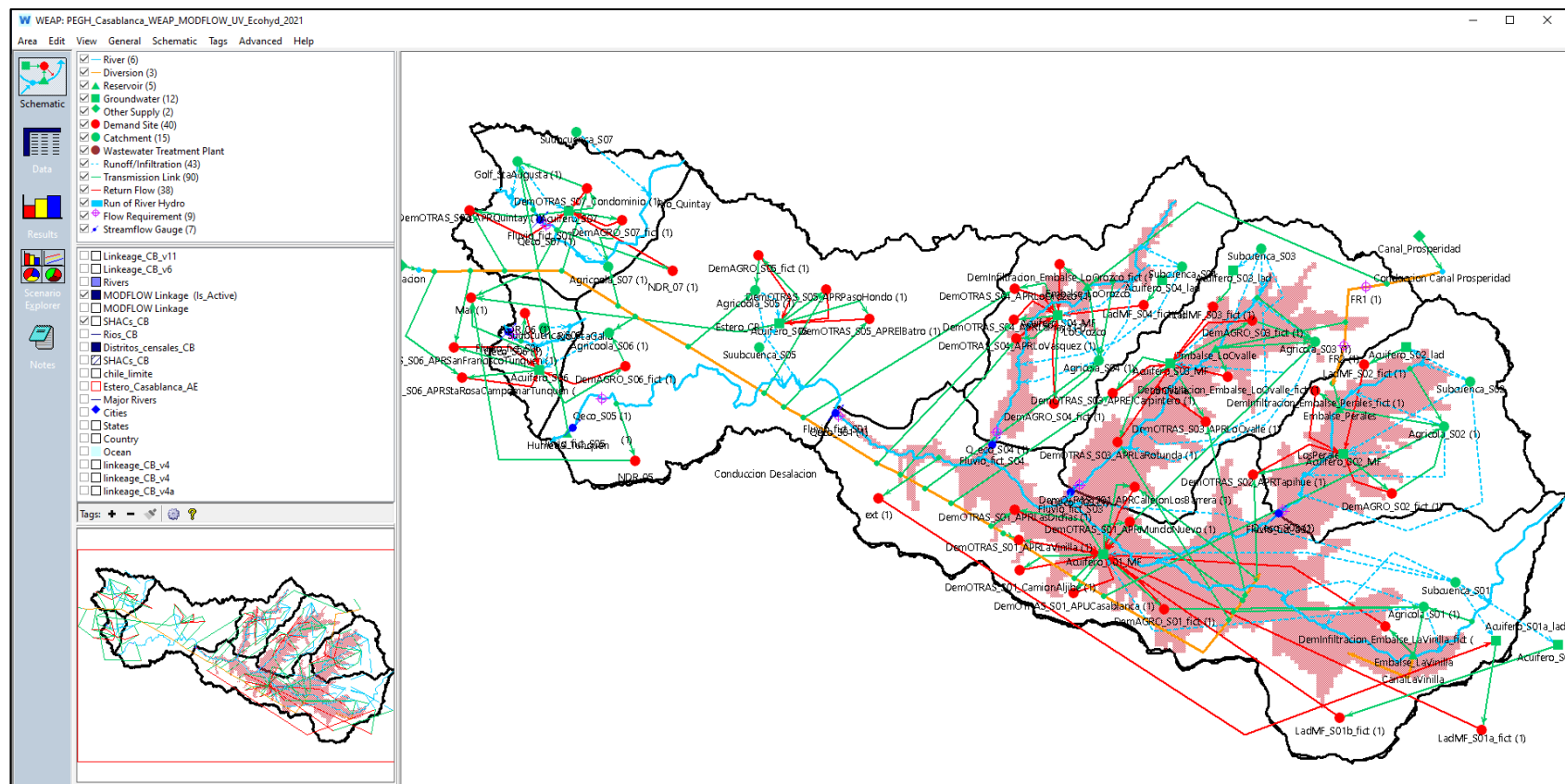


Figura 5-1. Esquema de representación de los elementos WEAP.

Fuente: Elaboración propia a partir de modelo acoplado WEAP-MODFLOW.

La cuenca no presenta datos de caudales superficiales observados ni medidos y el agua en el estero, según comunicaciones con la comunidad, dejó de escurrir hace décadas por lo que el énfasis en la calibración fue en comparar los resultados de modelación con los niveles de pozos monitoreados por la DGA. Esta información está detallada en el Anexo H, capítulo 5.1 y 5.2.

Al no contar con caudales superficiales para realizar una calibración tradicional, se decidió usar como series de comparación los caudales VIC de Balance Hídrico Nacional (BHN) en los esteros principales de los SHACs o Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común y en los puntos de cierre de estos mismos. Pero luego de un análisis inicial, estos caudales se descartaron por que se consideró que sobreestimaban los caudales superficiales de los distintos esteros y cauces menores en la cuenca, en alrededor de un orden de magnitud (Anexo H, capítulo 5.3). Para lograr que los caudales modelados en WEAP fueran similares a los modelados en VIC, se debería haber logrado un afloramiento de grandes cantidades de agua desde el modelo subterráneo o tasas de recarga hacia el acuífero mucho menores a las simuladas, lo que implicaba que los niveles del acuífero en los puntos donde se ubican pozos de observación, fueran mucho más bajos que los valores observados.

5.1.1 Situación actual, escenario *Reference* (1980-2020)

El escenario de calibración se considera como la situación actual, comprendida en el periodo 1980-2019, en la cual se buscó calibrar el modelo hidrológico acoplado ajustando un conjunto de parámetros hidrológicos y operacionales hasta obtener una representación adecuada de los niveles de pozos, caudales y otras variables hidrológicas.

La Figura 5-2 muestra gráficamente y de manera agregada, el ajuste de niveles de pozos simulados con los observados asociadas a pozos monitoreados por la DGA. En general los ajustes fueron razonables menos el pozo Fundo Santa Inés, el cual presenta una diferencia media de alrededor de 30 m, posiblemente debido a problemas con el detalle de la celda modelada en MODFLOW o a diferencias de cotas registradas.

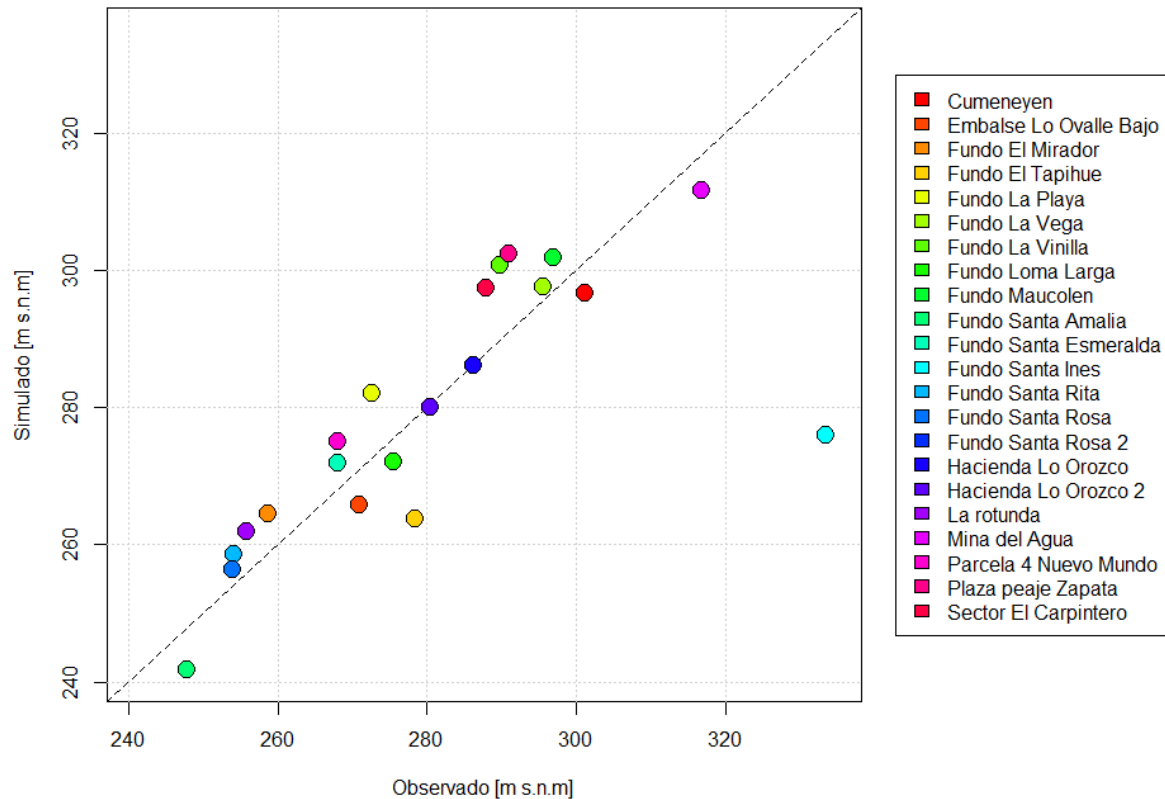


Figura 5-2. Resultados de calibración pozos monitoreados por DGA, promedio histórico 1980-2020 simulado vs. observado.

Fuente: Elaboración propia a partir de modelo acoplado WEAP-MODFLOW.

En la Figura 5-3 se muestran gráficamente los caudales simulados para el sector de salida del SHAC La Vinilla por el Estero Casablanca para el periodo 1980-2020. Los valores aproximados son de 1 m³/s, lo cual puede representar flujos subsuperficiales ya que en el cauce no se observó flujo superficial. No se logró representar de manera clara la estacionalidad de los caudales, ya que se esperarían caudales menores en los meses de verano-otoño y *peaks* de caudal sólo en los periodos más lluviosos. La no representación de caudales bajos en los meses de verano y otoño se debe a que existe un caudal base en la salida de los SHACs por afloramiento desde aguas subterráneas, además, de la falta de información por extracción en los tramos de ríos.

Esta es una de las brechas del modelo que se propone mejorar en futuras actualizaciones del mismo.

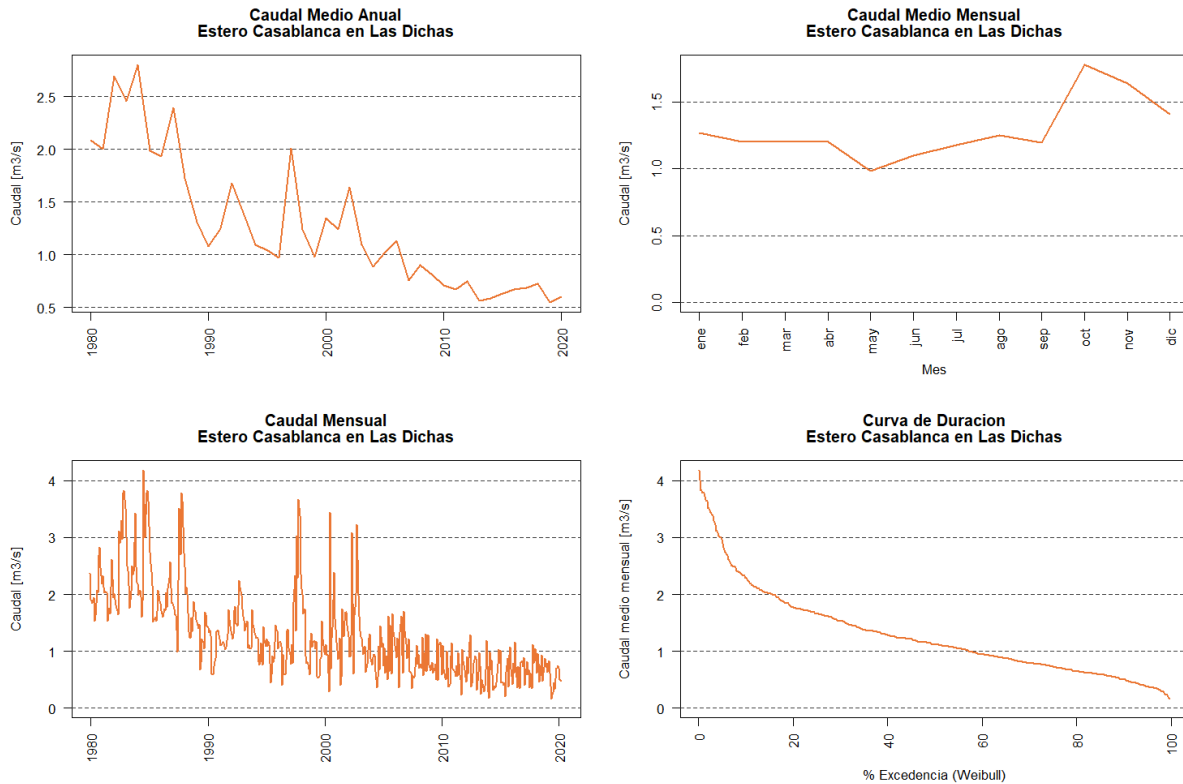


Figura 5-3. Resultados de caudales simulados en Estero Casablanca en sector Las Dichas, 1980-2020.

Fuente: Elaboración propia a partir de modelo acoplado WEAP-MODFLOW.

En otras zonas de la cuenca si se pudo representar de mejor manera la estacionalidad de los caudales. En la Figura 5-4 se observan los caudales simulados a la salida del SHAC Lo Orozco (1980-2020) donde si se observó su estacionalidad además de una disminución de estos mismos durante la última década en comparación con las décadas anteriores. El mejorar la estacionalidad de los caudales es una de las brechas no resueltas en este modelo.

Esto último se explica, ya que gran parte de la atención en la construcción y calibración del modelo fue de ajustar de la mejor manera posible los niveles en los pozos observados, considerando que es el acuífero la fuente principal de abastecimiento de agua para todos los usuarios.

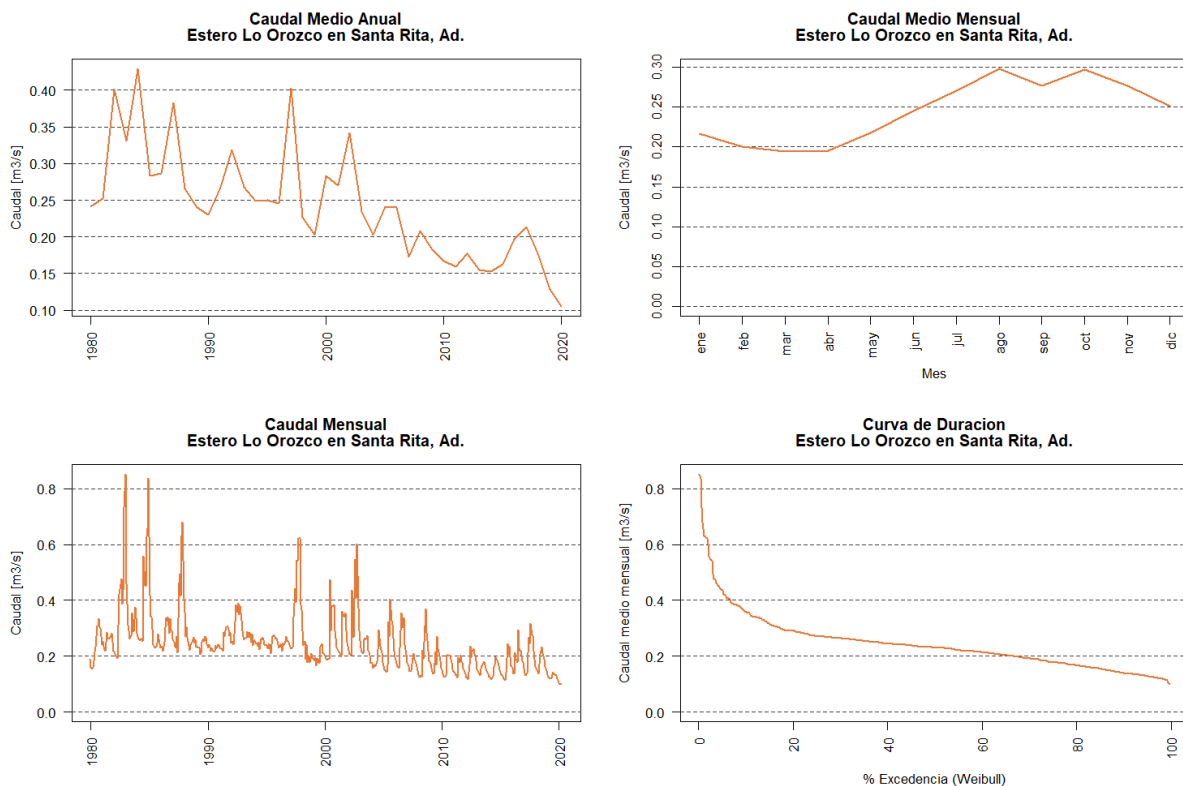


Figura 5-4. Resultados de caudales simulados en estero Lo Orozco en Santa Rita, periodo 1980-2020.

Fuente: Elaboración propia a partir de modelo acoplado WEAP-MODFLOW.

5.1.2 Situación proyectada, escenario Futuro Base (2020-2050)

En este acápite se muestran los resultados de la modelación acoplada WEAP-MODFLOW, es decir, en la zona alta de la cuenca Estero Casablanca sin considerar los SHACs Estero Casablanca en Desembocadura y Quintay. Se presentan los resultados de la simulación continua del modelo desde 1980 a 2050, en donde el hasta 2019 se usa la meteorología cuasi-observada (desde el producto CR2MET) mientras que desde 2020 en adelante, se usan proyecciones climáticas en base al modelo MIROC.

Se presentan las series anuales de demandas del sector agrícola y de agua potable rural, ya que son de los principales usos en la cuenca: la agricultura es el sector que más agua demanda y el APR es el sector con mayor impacto social y político. Se presentan también los valores de los promedios de las series anuales en forma de promedios decadales, de manera de mostrar la evolución de estas, explicadas por crecimiento de superficie agrícola y aumento poblacional respectivamente.

Las entregas ya sea para los *catchments* agrícolas como nodos de demanda APR dependen de la demanda, pero también de la disponibilidad del recurso, de aspectos tecnológicos como profundidad de pozos y restricciones de infraestructura para obtener agua de fuentes

superficiales. Estos aspectos no son parte de la demanda, ya que forman parte de los problemas asociados a la satisfacción de la demanda y se analizan en la sección de brechas y cobertura de demanda por sector. Estos resultados se presentan de la misma manera en que se presentan las demandas, como series de tiempo y como tablas de promedios decadales.

5.1.2.1 Escenarios generados bajo el Futuro Base

Bajo el escenario histórico o *Reference* se anidan muchos de los escenarios. Tomando como situación base la parte histórica, se generaron los diferentes escenarios futuros, primero cambiando el clima según los escenarios GCM para producir el futuro base, y luego implementando las diferentes medidas o acciones que pretenden mejorar la condición de algún elemento en la cuenca. El escenario PLAN sintetiza el análisis temporal de cuándo implementar las diferentes acciones para mejorar la condición de la mayoría de los actores/beneficiarios en las cuencas.

Todos los escenarios mostrados en la Figura 5-5 se detallan a continuación.



Figura 5-5. Escenarios modelados en WEAP.

Fuente: Elaboración propia a partir de modelo acoplado WEAP-MODFLOW.

A continuación, se presenta un resumen con las características más importantes de cada escenario simulado:

1. *Reference*: simulación en base a inputs climáticos definidos por las forzantes climáticas obtenidas del Balance Hídrico Nacional (DGA, 2017) y CR2MET, usos de suelo en base a la recopilación de tipos de cultivos y usos de suelo con vegetación

natural y demandas de agua dadas por los registros de derechos de aprovechamiento de aguas entregados por la DGA.

2. *Futuro Base MIROC*: el escenario "Futuro Base" se construyó asumiendo las condiciones finales del escenario de Referencia con respecto al uso de suelo y demandas de agua, pero con un clima modificado en base a factores de cambio dados por los modelos de circulación general de Cambio Climático. En este caso se generaron series climáticas para la precipitación y temperatura a partir de factores de cambio a nivel mensual (Anexo F – Aspectos metodológicos, sección 4.3.4.).
3. *Organización*: este escenario simula un cambio en el comportamiento de los usuarios de agua como parte de las medidas o acciones no estructurales que pueden ser llevadas a cabo y modeladas en este tipo de software. En este caso, se supuso la conformación de una entidad única en la cuenca encargada de repartir el agua en base a alcúotas si los caudales superficiales o volúmenes subterráneos no alcanzan para satisfacer a todos los usuarios (definidos por sus DAA). También 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.
4. *Eficiencia*: en este escenario se propone mejorar el uso del agua en la zona agrícola en base a la acción de disminuir las pérdidas en el riego intrapredial, modificando el parámetro Ks (Conductividad Hidráulica Saturada de la Zona de Raíces) para los *catchments* agrícolas.
5. *Prorrrateo*: se simula una disminución de caudales a extraer desde el subsuelo, de manera de simular un prorrrateo de los DAA. Se asumió un factor del 30% de los DAA otorgados para el 2050 para ser distribuidos a los sectores de riego en los *catchments* agrícolas.
6. *Degradación de laderas*: este escenario buscaba determinar posibles cambios hidrológicos al suponer disminución en la cobertura vegetal. Finalmente no se utilizó para el análisis.
7. *Aumento parcelaciones*: en este escenario se duplicó la población en las APRs a partir de 2022 y se aumentó la superficie de uso de suelo "Urbano Parcelas" en desmedro de superficies del HRU "Arbustos y Matorrales".
8. *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.
9. *Desalación*: este escenario considera aporte de agua por plantas desaladoras de agua de mar. En este caso no se simula ningún tipo de operación de dichas plantas o su consumo energético ni de permisos ambientales ni de otros sectores.

Solamente se considera un aporte constante definido por otros estudios de $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$. El agua entregada por desalación es para consumo humano como primera prioridad. También se entrega agua desalada para consumo agrícola como segunda prioridad.

10. *Canal La Prosperidad*: Este escenario considera aporte de agua externa desde la cuenca del río Maipo a través de un nuevo canal. En este caso no se simula ningún tipo de operación del canal, ni permisos ambientales ni factibilidad de dicha iniciativa. Solamente se considera un aporte constante definido por otros estudios. Se considera un caudal de $0,787 \text{ m}^3/\text{s}$ de manera continua. El agua entregada por el canal La Prosperidad es para consumo agrícola.
11. Simulación del Plan Estratégico de gestión de cuencas, en adelante PLAN: Simulación completa desde 2020 a 2050 con distintas acciones. Esta simulación es la más relevante, puesto que considera las iniciativas propuestas que se consideraron que producirían un mayor impacto. Para este caso, la afectación en las aguas subterráneas produce un mayor impacto, debido a que, como se menciona en los acápite anteriores, todas estas iniciativas provocan un cambio positivo en cuanto a las recargas al acuífero.

5.1.2.2 Demanda

La demanda agrícola se calcula en función de la demanda evapotranspirativa de cada uno de los cultivos presentes en cada uno de los *catchments* agrícolas de cada la cuenca, usando la ecuación de Penman-Montieth modificada en WEAP. Esta ecuación a su vez requiere la información climática entregada (temperatura, velocidad del viento y humedad relativa) y el dato específico del coeficiente de cultivo o k_c , que varía a lo largo del año y depende de cada cultivo.

La Figura 5-6 muestra la serie de tiempo de demanda agrícola bajo riego en la cuenca Estero Casablanca para el periodo 1980-2050. Esta figura muestra que las demandas agrícolas se mantuvieron con una pendiente creciente muy leve hasta la década del 2000, variando desde 25 hm^3 hasta los 55 hm^3 . Posteriormente, se presenta un salto a demandas más o menos estables en torno a los 65 hm^3 anuales desde el año 2015 en adelante.

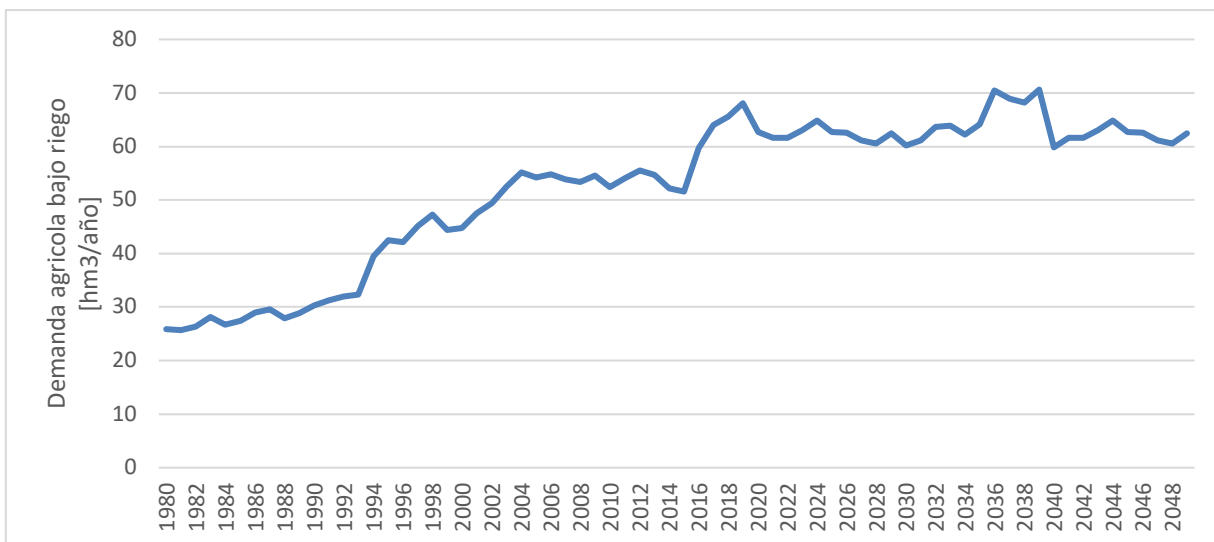


Figura 5-6. Demanda anual simulada para el sector agrícola bajo riego [hm³/año] en la cuenca Estero Casablanca durante el periodo 1980-2050.

Fuente Elaboración propia en bases a datos de MINVU (2017) y DGA (2021a).

La Tabla 5-1 muestra la demanda promedio anual agrícola para la cuenca en forma de promedios decadales, de manera de mostrar su evolución en el tiempo de manera agregada.

Tabla 5-1. Demanda agrícola media anual en la cuenca Estero Casablanca, décadas 1980-2040.

Década	Demanda [hm³/año]
1980	27,56
1990	38,67
2000	52,02
2010	57,77
2020	62,34
2030	65,32
2040	62,05

Fuente: Elaboración propia en bases a datos de MINVU (2017) y DGA (2021a).

La demanda por agua potable se calculó simplemente como la multiplicación de la población de cada nodo de demanda APR por el factor de demanda per cápita de 79 m³/hab/año (ver sección 3.1.1 y 3.1.2), definido como parámetro en WEAP. El aporte de los camiones aljibes no se contabiliza como demanda, sino como otra fuente de abastecimiento, siendo la primaria la de los pozos de cada uno de los sistemas de APR/SSR.

Esta demanda se incrementó en el tiempo teniendo en cuenta el aumento de la población (ver Figura 5-7). La demanda actual para el año 2019 llega a los 2,8 hm³ y aumenta hasta superar los 4 hm³/año para fines del período de simulación.

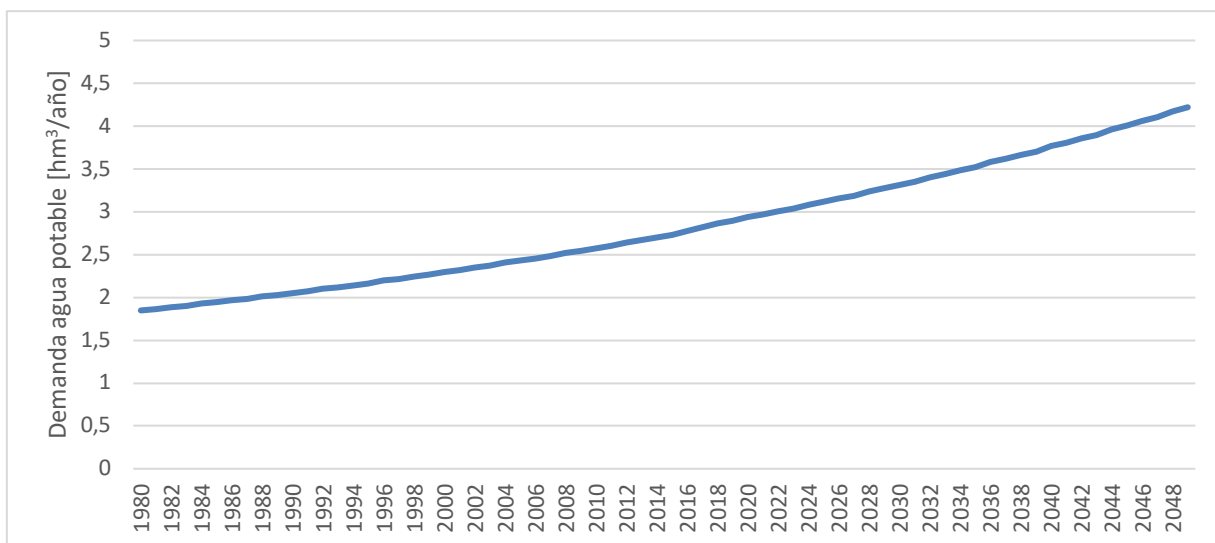


Figura 5-7. Demanda anual en APR/APU [hm³] en la cuenca Estero Casablanca durante el periodo 1980-2050.

Fuente: Elaboración propia en bases a datos de MINVU (2017) y DGA (2021a).

La Tabla 5-2 muestra la demanda promedio anual de agua potable rural y urbana para la cuenca Estero Casablanca en forma de promedios decadales entre 1980 y 2050, de manera de mostrar su evolución en el tiempo, al igual que con la demanda agrícola.

Tabla 5-2. Demanda de agua potable media anual en la cuenca Estero Casablanca durante el periodo 1980-2050.

Década	Demanda [hm ³ /año]
1980	2,06
1990	2,31
2000	2,59
2010	2,95
2020	3,34
2030	3,79
2040	4,09

Fuente: Elaboración propia en bases a datos de MINVU (2017) y DGA (2021a).

5.1.3 Balance histórico actual

A partir de los resultados de la modelación acoplada WEAP-MODFLOW, se estimó el balance histórico (1979-2019) considerando los flujos de entrada (precipitación) y flujos de salida como el consumo agrícola, de agua potable y de las salidas, tanto superficiales como subterráneas. El detalle de los balances históricos por SHAC se encuentra en el Anexo H de Modelación, sección 5.5.

Se presenta en la Tabla 5-3 el balance histórico de las aguas subterráneas. Se observa que las entradas en el SHAC La Vinilla Casablanca, son preponderantemente la recarga desde el río y las entradas laterales (aproximadamente el 78% total de las entradas). Para el caso del SHAC Los Perales, las entradas laterales son casi el 50% del total de las entradas, caso similar ocurre en el SHAC Lo Ovalle y Lo Orozco.

Con relación a las salidas se observa en todos los SHACs, que la salida preponderante son los pozos de bombeo y el afloramiento del río (sobre el 80% de las salidas totales).

Tanto, las salidas como las entradas presentan sus mayores valores en el SHAC La Vinilla-Casablanca, debido a su mayor superficie.

Finalmente, la variación de almacenamiento para el SHAC La Vinilla-Casablanca representa aproximadamente un 10% de las salidas (o en su defecto de las entradas), para el resto de los SHACs, dicho valor no supera el 5%. En todos los SHACs, se observa el efecto que las salidas del sistema son mayores que las entradas, y como se menciona anteriormente, esto ocurre, en su mayor parte, debido a las extracciones por pozos de bombeo; lo que nos indica que la cuenca se encuentra sobreexplotada, y en consecuencia está clasificada como zona de prohibición.

Tabla 5-3. Balance histórico hidrogeológico en. [l/s] en el periodo 1979-2019.

SHAC	La Vinilla Casablanca	Los Perales	Lo Ovalle	Lo Orozco	Casablanca Desembocadura	Total
Entradas [l/s]						
Flujo subterráneo	7,2	1,7	0,6	0,0	1,0	10,5
Entradas laterales	102,4	29,4	36,6	30,4	0,0	198,8
Recarga desde río	149,5	12,4	20,6	8,0	0,0	190,5
Recarga superficial	65,3	18,4	21,2	9,8	0,1	114,9
Total	324,5	61,9	79,1	48,1	1,1	514,6
Salidas [l/s]						
Flujo subterráneo	3,3	1,0	4,8	1,4	0,0	10,5

SHAC	La Vinilla Casablanca	Los Perales	Lo Ovalle	Lo Orozco	Casablanca Desembocadura	Total
Afloramiento río	136,8	32,6	46,8	36,2	1,1	253,5
Pozos de bombeo	136,3	32,0	30,4	8,1	0,0	206,8
Drenes	86,2	0,0	0,1	2,4	0,0	88,6
Total	362,5	65,5	82,1	48,1	1,1	559,4
Variación de Almacenamiento [l/s]	-38,1	-3,7	-3,0	0,0	0,0	-44,8

Fuente: Elaboración propia a partir de la modelación hidrológica acoplada (ver Anexo H Modelación hidrológica acoplada, sección 5.5).

Uno de los principales objetivos de los PEGH fue determinar un balance hídrico, tanto para las cuencas como para subsectores de estas mismas. En este apartado se muestra un esquema (Figura 5-8) que simplifica las distintas variables del balance hídrico y que son modeladas tanto a nivel superficial como subterráneo.

En esta figura se ejemplifican distintos volúmenes de control en los cuales se puede estimar un balance. La caja exterior de color naranja se puede relacionar con una cuenca completa, considerando sus flujos de entradas y salidas superficiales y subterráneos (caudales en ríos, flujos subterráneos, precipitación, evapotranspiración, etc.), como también, las acumulaciones o pérdidas de agua en este mismo volumen de control, también de manera superficial y subterránea (agua en embalses o lagos, agua en acuíferos o en el subsuelo).

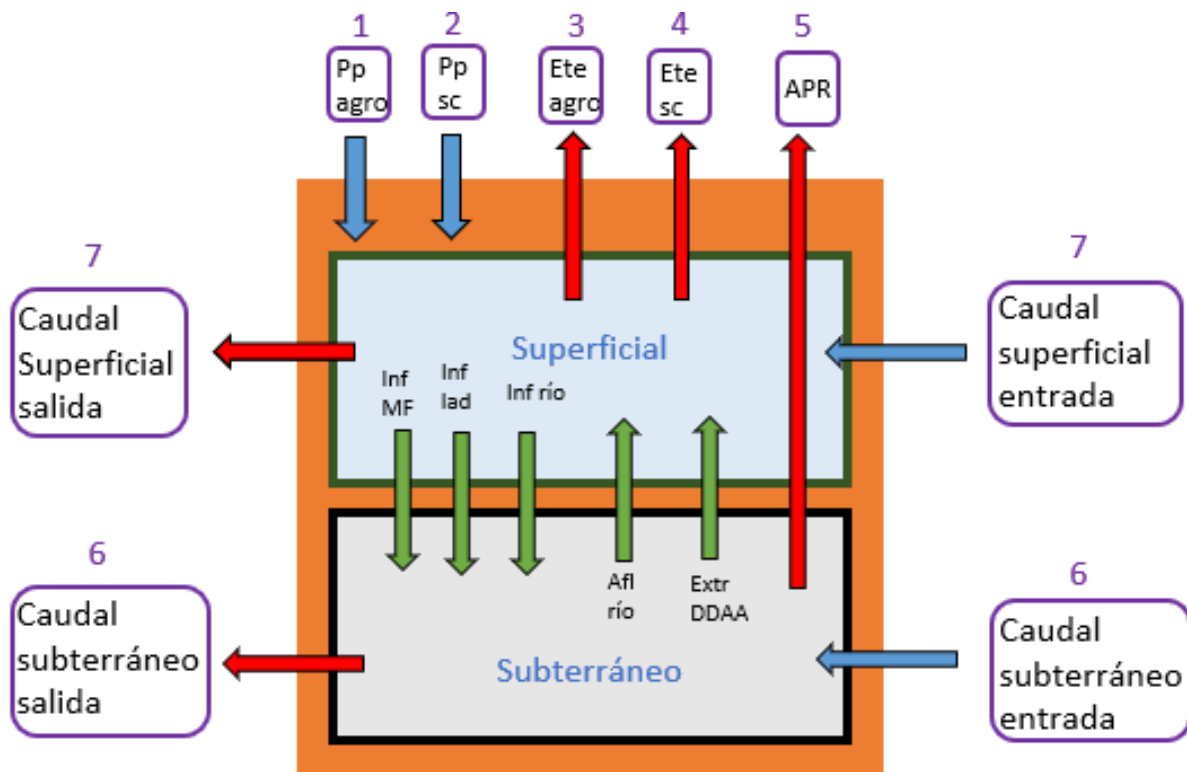


Figura 5-8. Variables consideradas en el balance hídrico por cuenca o SHAC.

Fuente: Elaboración propia a partir de modelo acoplado WEAP-MODFLOW.

La misma figura también muestra sub-volumenes de control, como son las cajas superiores (superficial) e inferiores (subterráneo). También se puede calcular el balance sobre estos sectores ya que existe flujos entre ellos: por ejemplo, desde la superficie el agua infiltra desde laderas y desde ríos y lagos hacia los acuíferos como también pueden existir afloramientos desde el acuífero hacia ríos.

Otro flujo muy relevante corresponde a las extracciones desde los acuíferos a través del bombeo para uso en agricultura, agua potable, etc. Pero estos flujos (esquemáticos como flechas verdes) no son parte del balance hídrico de la cuenca completa. Los bombeos que riegan el sector agrícola influyen negativamente en el balance de la caja subterránea pero esa misma agua llega a la caja superficial por lo que el balance de la caja naranja (sistema acoplado) neto es cero, pero se produce un balance negativo en la caja subterránea. Esa misma agua extraída junto con aguas lluvia o eventualmente agua extraída desde fuentes superficiales, es evapotranspirada por los cultivos y por lo tanto sale del volumen de control e influye en el balance de la unidad completa (caja naranja).

Se considera importante diferenciar todos los flujos de manera de aclarar la unidad donde se calculan los balances hídricos. Este esquema es válido para el cálculo del balance para cuencas (en este caso la cuenca Estero Casablanca) como también para SHACs, los que pueden recibir agua desde otros SHACs aguas arriba y entregar agua hacia otros sectores aguas abajo.

La Tabla 5-4 describe todos los flujos mostrados en la Figura 5-8 y su explicación en detalle.

Tabla 5-4. Variables de interacción WEAP-MODFLOW.

id	Variable	Detalle
1	PP Agro	Precipitación caída sobre la superficie agrícola del modelo acoplado
2	PP Subcuenca	Precipitación caída sobre la superficie no agrícola del modelo acoplado
3	ET Agro riego	Evapotranspiración desde la superficie agrícola bajo riego del modelo
3	ET Agro seco	Evapotranspiración desde la superficie agrícola de seco del modelo
4	ET Subcuenca	Evapotranspiración desde la superficie no agrícola del modelo,
5	APR/APU	Consumo de agua potable
6	Caudales subterráneos	Balance entre ingresos y egresos de agua subterránea en el sistema WEAP acoplado
7	Caudales Superficiales	Balance entre ingresos y egresos de agua superficial en el sistema WEAP acoplado
-	Balance Hídrico	Balance de agua cuenca sistema WEAP acoplado
-	Infiltración/Recarga (Inf MF)	Caudal de infiltración desde unidades hidrológicas sobre el acuífero hacia el modelo MODFLOW (recarga directa)
-	Infiltración Lateral (Inf lad)	Caudal de infiltración desde unidades hidrológicas que no están sobre el acuífero hacia el modelo MODFLOW
-	Infiltración/Afloramientos desde el estero (Inf río)	Caudal de infiltración desde el río al acuífero MODFLOW
-	/Afloramientos desde el estero (Afl río)	Caudal de afloramiento desde el acuífero MODFLOW al río
-	Extracciones (Extr DAA)	Caudal de extracción desde el acuífero a los nodos ficticios de demanda agrícola

Fuente: Elaboración propia a partir de modelo acoplado WEAP-MODFLOW.

Se separó la precipitación y la evapotranspiración sobre sectores agrícolas y sectores no agrícolas (referidas con el genérico de "Subcuenca"). De esta manera se evaluó la proporción de los flujos en cada sector. También se separó la ET agrícola entre los sectores bajo riego de la agricultura de seco para diferenciarlas y analizarlas independientemente, a su vez de la ET proveniente de la vegetación natural y de suelo sin vegetación.

Estos flujos se obtuvieron de la modelación en cada paso de tiempo lo que permitió su análisis como series temporales semanales y mensuales, así como también agregadas como series anuales y decadales. Por último, todos los flujos se midieron en las mismas unidades

y se pudieron presentar tanto en millones de m³ (o hm³) como en milímetros (mm), calculados en base a la superficie total de la cuenca y no de sus componentes individuales.

En la Figura 5-9 se muestran los resultados del balance hídrico a nivel de promedios decadales, con el objetivo mostrar la evolución de los componentes del balance a través del tiempo. Desde la década de los 80's se observa la alternancia entre periodos con superávit y con déficit, siendo estos últimos cada vez más recurrentes y prolongados. A partir del año 2003, el déficit es constante y se presenta el máximo déficit de -209,06 mm/año en 2019.

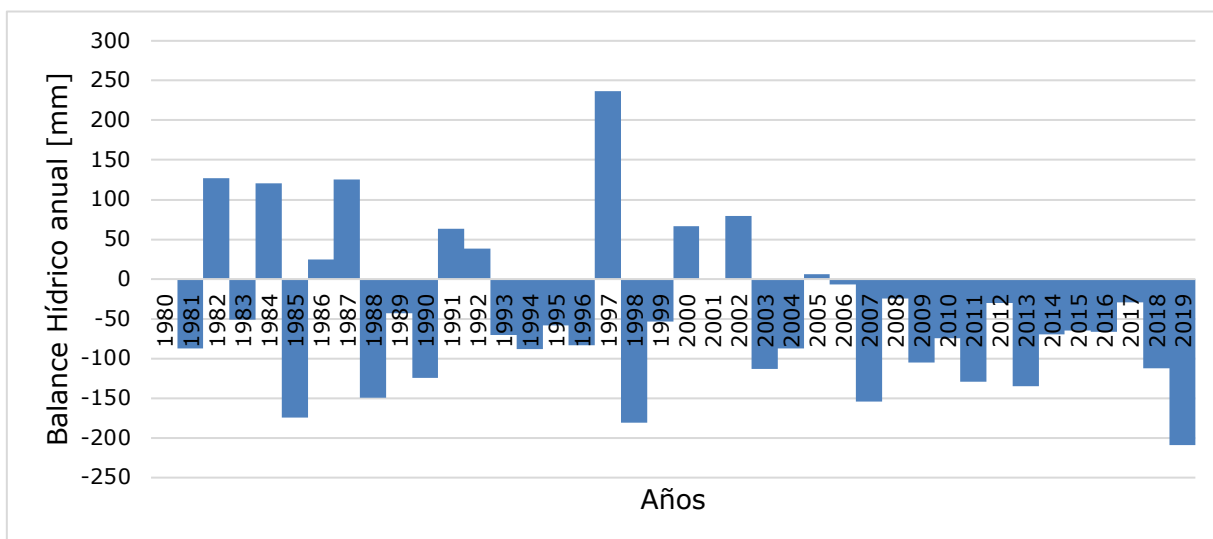


Figura 5-9. Balance Hídrico anual para el período 1980-2019 en la cuenca Estero Casablanca.

Fuente: Elaboración propia a partir de modelo acoplado WEAP-MODFLOW.

En la Tabla 5-5 se muestra un resumen de los flujos explicados en la Tabla 5-4, en unidades de mm/año pero consolidados en promedios decadales. De esta forma se muestran los cambios en los balances para no ser presentados como valores estáticos y así analizar los cambios que han ocurrido en la cuenca. Se separan además las entradas (precipitación) y salidas (evapotranspiración, caudales y flujos subterráneos) de las áreas agrícolas y no agrícolas de manera de mostrar los cambios totales y también de proporción de cada uno de ellos.

Tabla 5-5. Balance Hídrico decadal 1980-2010 en la cuenca Estero Casablanca [mm/año].

Década	PP		ET			SSR/ APU	Caudal		Balance Hídrico
	Agrícola	Sub-cuenca	Agro riego	Agro seco	Sub-cuenca		Sub-terráneo	Superficial	
1980	178,3	335,8	-48,7	-55,3	-262,3	-0,14	-1,73	-156,8	-10,9
1990	153,4	228,5	-60,7	-66,8	-190,7	-0,17	-1,66	-93,7	-32,0
2000	204,5	239,7	-91,3	-100,6	-203,1	-0,20	-1,63	-81,3	-34,0
2010	157,8	151,5	-100,4	-107,4	-133,8	-0,23	-1,58	-58,0	-92,0

Fuente: Elaboración propia a partir de modelo acoplado WEAP-MODFLOW.

En general se puede apreciar que las precipitaciones han ido disminuyendo desde la década de 1980 hasta la fecha, pasando de 514 mm anuales a los 310 mm actuales en la última década (suma de PP Agrícola y PP Subcuenca en la tabla). Por otro lado, proporcionalmente se observa como las precipitaciones sobre zona agrícola ha aumentado con respecto a la no agrícola (o "subcuenca") debido al aumento de la superficie agrícola en desmedro de la vegetación natural. Algo similar ocurre con la ET, la que ha disminuido la componente de vegetación natural debido al aumento de la superficie agrícola especialmente bajo riego, la que se ha más que duplicado en los últimos 40 años. Los consumos humanos (agua potable) aparecen proporcionalmente mucho menores que otros flujos, pero se aprecian aumento de un 60% especialmente ligado al aumento poblacional, como efecto del incremento en las parcelaciones de agrado. Con respecto a los flujos salientes de la cuenca, estos presentan disminuciones importantes, llegando a ser alrededor de un 33% de lo que se observaban en la década de 1980, producto principalmente de la disminución de las precipitaciones, pero también de la menor cantidad de agua almacenada en acuíferos y subsuelo que alimentaban a su vez a pequeñas quebradas y cursos superficiales y subsuperficiales.

Todos estos flujos explican los resultados del balance hídrico promedio anual a nivel década. Tanto los aumentos de la superficie agrícola bajo riego (y su demanda evapotranspirativa) como por las disminuciones en las precipitaciones totales generan balances negativos y con mayor énfasis en la última década.

5.1.4 Balance hídrico proyectado

Los resultados del balance hídrico para el periodo proyectado (2020-2050) se obtuvieron a partir de la modelación acoplada WEAP-MODFLOW, y las forzantes meteorológicas construidas a partir del GMC MIROC, considerando como flujos de entrada la precipitación, y flujos de salida el consumo agrícola, de agua potable y de las salidas, tanto superficial como subterránea. El detalle de los balances proyectados a escala de cuenca y por SHAC se encuentra en el Anexo H - Modelación Integrada, sección 5.5.3.

Para la situación proyectada se asume que la precipitación y la temperatura incorporan el efecto debido al cambio climático. Estas series climáticas futuras fueron generadas a partir de la repetición de las dos últimas décadas históricas afectadas por un factor para la precipitación y sesgo para la temperatura, esta metodología se explica en detalle en el Anexo F – Aspectos metodológicos del plan de cuencas, acápite 4.5.3. Normalización de variables.

En la Tabla 5-6 se presenta el balance de aguas subterráneos proyectado para los diferentes SHACs. En esta tabla se puede observar que en las entradas para el SHAC La Vinilla-Casablanca la recarga desde el río es la preponderante en el aporte de agua hacia el acuífero, siendo casi el 50% de las entradas.

Para el caso del SHAC Los Perales, el valor predominante es la recarga superficial, proveniente de las precipitaciones, seguido de la recarga que simula las entradas por parte de las laderas.

En el caso del SHAC Lo Ovalle, las entradas por parte de las laderas (lateral), recarga desde el río y recarga superficial tienen un aporte similar, sumando más del 90% del total de las entradas.

El SHAC Lo Orozco, presenta en sus entradas una predominancia en las entradas laterales, con un valor por sobre el 50% del total de éstas.

Con relación a las salidas, para los SHACs La Vinilla-Casablanca, Los Perales y Lo Ovalle se observa que los pozos de bombeo presentan un valor por sobre el 65% del total de éstas. En el SHAC Lo Orozco la salida predominante es el afloramiento hacia el río.

Finalmente, el cierre del balance, que viene dada por la variación de almacenamiento en el acuífero se observa que es negativo para todos los SHACs, lo que indica que el acuífero está perdiendo volumen de almacenamiento, en casi todos los SHACs (excepción de La Vinilla-Casablanca) el valor de reducción de volumen almacenado es similar a la reducción evidenciada en el período histórico (Tabla 5-6).

Se puede concluir que, al igual que el período histórico, el acuífero está sobreexplotado.

Tabla 5-6. Balance proyectado hidrogeológico en [l/s], periodo 2020-2050.

SHAC	La Vinilla Casablanca	Los Perales	Lo Ovalle	Lo Orozco	Casablanca Desembocadura	Total
Entradas [l/s]						
Flujo subterráneo	7,2	4,3	2,3	0,0	0,5	14,3
Entradas laterales	58,5	23,1	29,2	23,3	0,0	134,0

SHAC	La Vinilla Casablanca	Los Perales	Lo Ovalle	Lo Orozco	Casablanca Desembocadura	Total
Recarga desde río	126,9	15,4	25,4	7,4	0,0	175,2
Recarga superficial	80,6	28,8	28,3	11,2	0,1	149,0
Total	273,2	71,6	85,2	42,0	0,6	472,6
Salidas [l/s]						
Flujo subterráneo	7,1	0,4	5,4	1,4	0,0	14,3
Afloramiento río	39,2	13,6	18,6	23,6	0,6	95,5
Pozos de bombeo	202,7	61,5	64,3	14,6	0,0	343,2
Drenes	49,4	0,0	0,0	2,3	0,0	51,8
Total	298,4	75,5	88,3	42,0	0,6	504,8
Variación de Almacenamiento [l/s]	-25,1	-3,9	-3,1	0,0	0,0	-32,2

Fuente: Elaboración propia a partir de la modelación hidrológica superficial (ver Anexo H Modelación hidrológica acoplada, sección 5.5.3).

En comparación con el balance en el período histórico (Tabla 5-3). Se observa que si bien, la recarga superficial aumenta del período histórico al período proyectado - posiblemente por el aumento de la agricultura - todo el resto de los parámetros de entrada disminuyen, de lo que se obtiene, que el total de entradas al sistema acuífero disminuyen con respecto al período proyectado., de 514,6 l/s a 472,6 l/s.

Por su parte las salidas del sistema, muestran que tanto las extracciones como el flujo subterráneo aumentan del período futuro con respecto al período histórico, esto producto de la proyección que se hace de los pozos de bombeo. Sin embargo, tanto el afloramiento como la extracción a partir de los drenes disminuyen drásticamente, producto que el acuífero ha bajado su nivel y por ende en algunos sectores, probablemente hay dejado de existir la relación río-acuífero. En consecuencia, el total de las salidas del sistema, del período proyectado disminuyen con respecto al período histórico y la variación de almacenamiento es menor.

5.2 Brechas de balance de agua

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, tanto para el periodo histórico como futuro.

La demanda insatisfecha, fue determinada a partir de los resultados del modelo acoplado (WEAP y MODFLOW). 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 brecha para los cultivos bajo riego (viñas, forrajeras y frutales) se calcula restando la ET potencial y ET actual a nivel anual [hm^3]. La fórmula utilizada se presenta a continuación.

$$Brecha_{riego} = ET_{potencial} - ET_{actual}$$

La Figura 5-10 presenta la serie de tiempo de brechas anuales del sector agrícola para la cuenca Estero Casablanca. Se puede observar que la brecha agrícola de la cuenca tiene una serie creciente desde los inicios de la modelación, alcanzando en el 2019 un valor cercano a los $7,8 \text{ hm}^3$ anuales de brecha. A futuro se muestra una cierta variabilidad anual, sin embargo, su promedio decadal no muestra mayores variaciones debido a que el área agrícola se mantiene constante, teniendo una brecha promedio decadal de $7,5 \text{ hm}^3$ en la década del 2040 al 2050.

Las brechas iniciales se pueden explicar dado que el modelo se construyó con estimaciones más gruesas y de mayor incertidumbre de las superficies agrícolas bajo riego en las décadas de 1980 y 1990, lo que explica parte de las brechas. La otra parte de la explicación se debe a que el modelo entrega sus recursos a medida que existan derechos de aprovechamiento y en la mayoría de los casos puede haber existido riego sin un derecho asociado o registrado en DGA (registros en distintas instituciones).

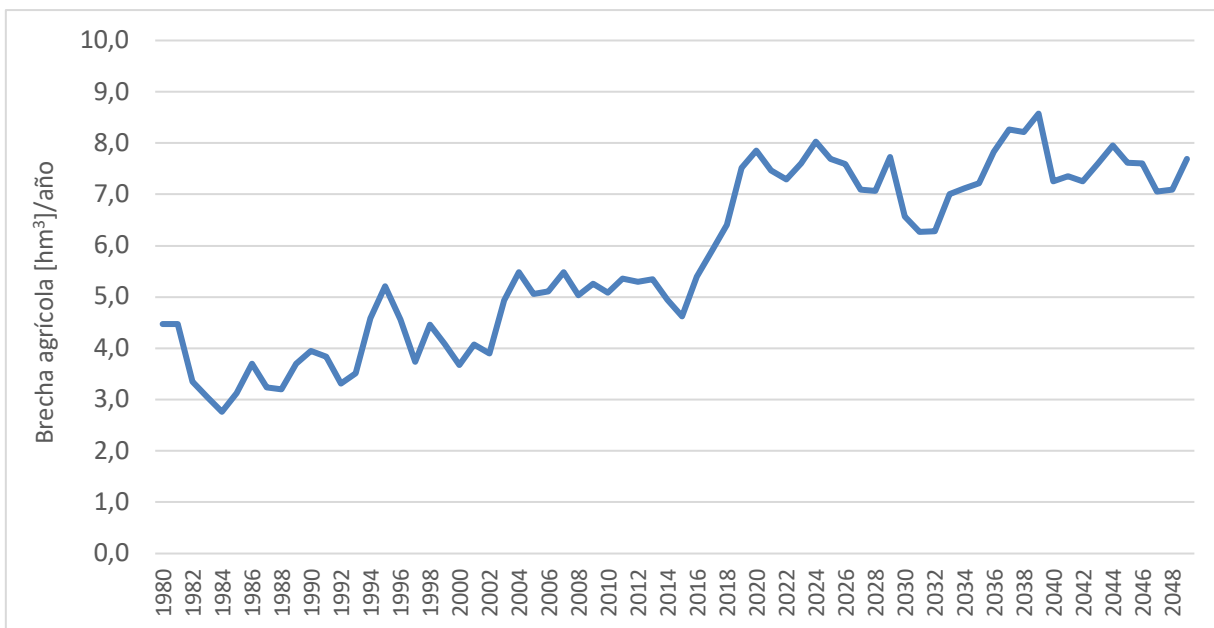


Figura 5-10. Brecha anual en el sector agrícola $\text{hm}^3/\text{año}$ en la cuenca Estero Casablanca durante el período 1980-2050.

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

La Tabla 5-7 presenta el promedio decadal de las brechas anuales del sector agrícola para la cuenca Estero Casablanca. Se puede observar que las brechas en las décadas de la simulación con las proyecciones climáticas (2020-2050) presentan brechas más o menos constantes debido a la mantención de la misma superficie agrícola.

Tabla 5-7. Brecha promedio anual del sector agrícola presentada en forma de promedios decadales ($\text{hm}^3/\text{año}$).

Década	Brecha sector agrícola [$\text{hm}^3/\text{año}$]
1980	3,51
1990	4,12
2000	4,80
2010	5,59
2020	7,54
2030	7,33
2040	7,45

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

Con respecto al agua potable, el modelo muestra que la cuenca Estero Casablanca tiene una brecha anual en las APR prácticamente nula en su período histórica. Para el futuro, el modelo muestra que recién en la década de 2040 se generen brechas en torno a los 0,1 hm³ al año (ver Figura 5-11 y Tabla 5-8). Este resultado se contradice con lo recabado en las instancias de Participación Ciudadana en la cuenca, donde se comenta que muchas comunidades ya sufren con falta de agua actualmente en la cuenca Estero Casablanca.

Esta contradicción entre los resultados del modelo y la realidad observada se considera una brecha de información, ya que no se contó con la información de la profundidad de los pozos de extracción, por lo que el modelo asume que todos los pozos existentes pueden extraer agua a menos que las celdas del modelo MODFLOW se sequen, mientras que en la realidad los pozos más someros quedan colgados a medida que el nivel de la napa disminuye bajo su punto de captación. Esta brecha también se considera una brecha de información.

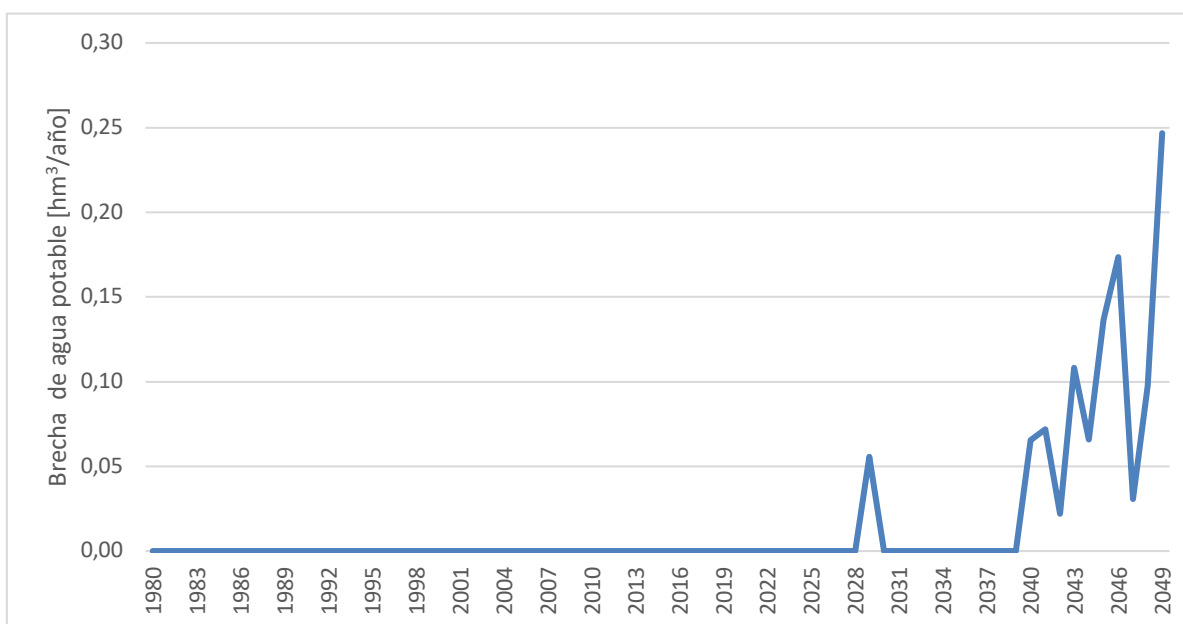


Figura 5-11. Brecha anual de las APRs (hm³/año) en la cuenca Estero Casablanca durante el período 1980-2050.

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

Tabla 5-8. Brecha promedio decadal de agua potable (hm³/año).

Década	Brecha Agua potable [hm ³ /año]
1980	0,000
1990	0,000
2000	0,000
2010	0,000
2020	0,006

Década	Brecha Agua potable [hm³/año]
2030	0,000
2040	0,102

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

Para abordar la brecha de información y que redundaba en la brecha del modelo con respecto a la inexistencia de problemas en el abastecimiento de las APR, en el acápite 5.3.3 se muestra un análisis para estimar las posibles brechas en función de estimaciones de las profundidades de los pozos de extracción de las APR, información que no fue posible obtener en este estudio. De esta manera, se logran estimar posibles valores de brechas para este importante sector para el período histórico y para el de proyecciones futuras del clima y se comparan con las brechas que se tendrían al implementar el Plan.

5.3 Sustentabilidad

La presente sección tiene como objetivo describir los resultados de los criterios de sustentabilidad desarrollados por la DGA, con el objetivo de evaluar el estado del acuífero considerando diferentes aspectos. Es importante destacar los resultados de los criterios de sustentabilidad se obtienen para cada SHAC. La metodología utilizada para analizar los criterios de sustentabilidad se encuentra en detalle en el Anexo F, sección 4.4.1.

Se debe indicar que el criterio de sustentabilidad 4, en el cual se debía analizar la cantidad de pozos que se secaban o quedaban “colgados”, producto del descenso del acuífero no pudo ser analizado debido a que no se contaba con la información de la profundidad de los pozos.

En caso de que alguno de los 3 primeros criterios de sustentabilidad no sea sustentable, no se evaluará el criterio 5, dado que el acuífero ya se cataloga como tal.

Para analizar los criterios de sustentabilidad del acuífero, se utilizó el escenario futuro base modelado. A continuación, se presentan los resultados obtenidos para cada criterio, en la base MIROC, en cada SHAC definido.

5.3.1 Criterio de sustentabilidad 1

De acuerdo con el criterio de sustentabilidad 1 definido en DGA (2008), el volumen de afección sobre el acuífero en el largo plazo (50 años) no debe afectar más allá de un 5% del volumen total del acuífero. En caso contrario, el sistema acuífero será considerado con afección y se deberá cerrar el acuífero.

$$\frac{V_0 - V_{50}}{V_0} < 0,05$$

Donde:

V_{50} = Volumen del acuífero a los 50 años de operación indicado por el modelo, en hm^3 .

V_0 = corresponde al volumen inicial en el acuífero antes de la operación del modelo, en hm^3 .

Este criterio fue evaluado para cada SHAC considerado en el modelo hidrológico acoplado, en el caso base MIROC. Los resultados se presentan en la Tabla 5-9, donde se puede observar que la evaluación del criterio para todos los SHACs es no sustentable, por lo que el criterio de sustentabilidad 1, es no sustentable en toda la cuenca Estero Casablanca.

Tabla 5-9. Evaluación del criterio de sustentabilidad 1.

Descriptor	La Vinilla-Casablanca	Lo Orozco	Lo Ovalle	Los Perales	Total Acuífero
V_0 [hm^3]	161,0	6,2	40,1	30,9	238,2
V_{50} [hm^3]	144,0	5,9	30,3	26,7	206,9
Variación [hm^3]	-17,0	-0,3	-9,8	-4,2	-31,3
Límite mínimo permitido [hm^3]	153,0	5,9	38,1	29,4	226,3
Evaluación	No sustentable	No sustentable	No sustentable	No sustentable	No sustentable

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

5.3.2 Criterio de sustentabilidad 2

Según DGA (2008), 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.

La afección sobre el cauce superficial se define como ΔQ , término compuesto por dos variables:

- Aumento de infiltración en el sector acuífero debido al aumento de la explotación.
- Disminución de los afloramientos del río.

$$\Delta Q \leq 10\% Q_{\text{anual}, 85\% \text{ probabilidad de excedencia}}$$

La Tabla 5-10, se presenta el resumen de los valores de caudales analizados para el afloramiento y la recarga los años 2050 y 1979, se presenta la diferencia entre estos

caudales y el máximo permitido, luego la clasificación para ambas restricciones (ya sea recarga o afloramiento), finalmente, en la última fila se presenta el resultado de criterio de sustentabilidad.

Se debe indicar que para el afloramiento en La Vinilla-Casablanca es el único SHAC no sustentable, y para la recarga Todos los SHACs son no sustentables. Se debe tener en consideración la magnitud de los valores, es decir son bastante bajos, por lo que eventualmente se podría revertir la situación con un modelo calibrado más preciso, o bien se podría incurrir en errores numéricos propios del software de modelación (WEAP).

Tabla 5-10. Evaluación del criterio de sustentabilidad 2.

Descriptor	La Vinilla-Casablanca	Los Perales	Lo Ovalle	Lo Orozco
Afloramiento				
Q ₅₀ [L/s]	0,03	0,0	0,0	0,002
Q ₀ [L/s]	0,18	0,0	0,0	0,002
Diferencia [L/s]	-0,15	0,0	0,0	0,003
10%Q anual probabilidad 85% [L/s]	0,01	0,0	3,2 E-05	0,0003
Evaluación	No sustentable	Sustentable	Sustentable	Sustentable
Recarga				
Q ₅₀ [L/s]	0,07	0,008	0,02	0,02
Q ₀ [L/s]	0,03	0,003	0,01	0,01
Diferencia [L/s]	0,04	0,005	0,01	0,01
10%Q anual probabilidad 85% [L/s]	0,01	0,002	0,005	0,004
Evaluación	No sustentable	No sustentable	No sustentable	No sustentable
Evaluación global	No sustentable	No sustentable	No sustentable	No sustentable

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

5.3.3 Criterio de sustentabilidad 3

En este criterio se comparó la oferta y la demanda por subcuenca, y se analizó que la oferta satisficiera el 95% de la demanda. Para esto, tal como se menciona en la descripción del criterio, se comparan la recarga al acuífero con las extracciones.

En la Tabla 5-11, se presenta un resumen de los caudales de demanda y oferta para cada SHAC en el año 2050. En esta tabla se observa que el criterio no es sustentable en los SHACs La Vinilla-Casablanca y Lo Orozco, u satisfacción de demanda alcanza un mínimo en la subcuenca Lo Orozco con un porcentaje de 2,7%, y de La Vinilla-Casablanca con un porcentaje de 15,2%. En los SHACs Los Perales y Lo Ovalle presentan un 100% de satisfacción. En el total de la cuenca Estero Casablanca este criterio es no sustentable.

Tabla 5-11. Caudales de demanda y oferta por SHAC, año 2050.

SHAC	La Vinilla-Casablanca	Los Perales	Lo Ovalle	Lo Orozco	Total
Caudal de demanda [hm ³ /año]	13,2	0,4	0,1	7,4	21,1
Caudal de oferta [hm ³ /año]	2,0	0,8	0,5	0,2	3,5
Porcentaje de satisfacción de demanda [%]	15,2	100	100	2,7	16,6
Evaluación	No sustentable	Sustentable	Sustentable	No sustentable	No sustentable

Fuente: Elaboración propia a partir del modelo acoplado WEAP-MODFLOW.

5.3.4 Resumen de criterios

En la Tabla 5-12, se presenta un resumen de los criterios de sustentabilidad evaluados en los acápite anteriores. Se observa que ninguno de los criterios se califica como sustentable, para todos los SHACs de la cuenca, con la excepción del criterio de sustentabilidad 3 en los SHACs Los Perales y Lo Ovalle.

Se debe destacar que los criterios 4 y 5 no fueron analizados, debido a que con los 3 primeros criterios el acuífero ya es calificado como no sustentable.

Tabla 5-12. Resumen de criterios de sustentabilidad por SHAC

SHAC	CS 1	CS 2	CS 2	CS 4	CS 5
La Vinilla-Casablanca	No sustentable	No sustentable	No sustentable	No evaluado	No evaluado
Los Perales	No sustentable	No sustentable	Sustentable	No evaluado	No evaluado
Lo Ovalle	No sustentable	No sustentable	Sustentable	No evaluado	No evaluado
Lo Orozco	No sustentable	No sustentable	No sustentable	No evaluado	No evaluado
Cuenca Estero Casablanca	No sustentable	No sustentable	No sustentable	No evaluado	No evaluado

Fuente: Elaboración propia a partir del modelo acoplado WEAP-MODFLOW.

5.4 Indicadores hídricos de la cuenca

Los indicadores hídricos de la cuenca son aquellas métricas que permiten evaluar el desempeño de la cuenca hidrológica en tanto proveen de recurso hídrico o no a las demandas levantadas en el presente PEGH. Para este efecto, se determinaron dos indicadores:

- Cobertura de la demanda, definida como el porcentaje del tiempo en el cual la demanda se satisface en un porcentaje definido.
- Brechas de balance de agua, definida como la cantidad de agua que no se provee para un uso determinado en un periodo de tiempo concreto, generalmente un año.

A continuación, se presentan los resultados de evaluación de los indicadores hídricos de la cuenca para el periodo histórico.

5.4.1 Cobertura de demanda [%]

El concepto tradicional para evaluar la eficiencia de un sistema es la confiabilidad (R), que se mide como el porcentaje del tiempo que se satisface la demanda en su totalidad. En la Figura 5-12 cuando la cobertura de la demanda no se satisface al 100%, decae hasta un porcentaje del tiempo en donde no se puede satisfacer la demanda (línea azul con el número 1). Esta situación puede modificarse aumentando la cantidad de agua en el sistema, y por tanto aumentando su confiabilidad (línea naranja con el número 2); o por otro lado, disminuir la cantidad de agua (un escenario de sequía), y disminuir su confiabilidad (línea roja con el número 3). En otras situaciones el sistema puede modificarse con acciones duras (infraestructura) o blandas (sistemas de alerta temprana) y mejorar la respuesta del sistema de manera que la cobertura de la demanda no disminuya a cero (línea

verde con el número 4). O quizás que nunca se cumpla con el criterio de confiabilidad porque el sistema no satisface nunca al 100% la demanda (línea amarilla con el número 5). En el último caso la confiabilidad del sistema es cero, y este indicador no refleja que efectivamente se entrega agua, pero con menor cobertura.

Para tener una medida de la satisfacción de la demanda y que tome en cuenta todos los casos posibles descritos anteriormente, se propone usar como indicador la Cobertura de la Demanda (SD), que se calcula comparando la demanda con el agua efectivamente entregada en cada paso de tiempo. Esta se calcula como la razón entre la Oferta y las Demandas (ambos términos calculados por el modelo). De esta manera se genera una serie de tiempo de valores entre 0 y 1, siendo 0 una satisfacción nula de la demanda y 1 como una satisfacción completa de la demanda. A partir de esta serie se obtienen los percentiles de 99% para la demanda de agua potable y de 85% para la demanda agrícola y se obtienen las coberturas de la demanda para SSR y Agro satisfechas en un 99% y un 85% de las veces, respectivamente.

El indicador entonces, se puede leer como el porcentaje de la demanda que es satisfecho en a lo menos un 99% o un 85% del tiempo. Estos porcentajes fueron elegidos porque comúnmente se asocian a la satisfacción de las demandas en ambos sectores, aunque podrían ser usados otros valores. En la Figura 5-12 se muestra el concepto gráfico del indicador de la cobertura de la demanda.

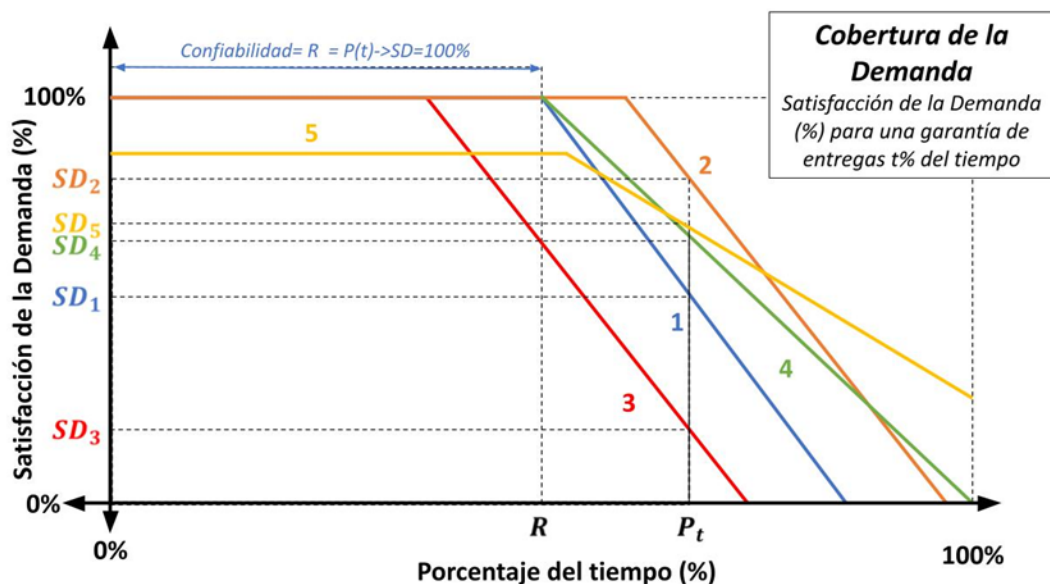


Figura 5-12. Definición del concepto de cobertura de la demanda.

Fuente: Elaboración propia.

La cobertura de demanda agrícola muestra un leve ascenso desde el año 1985 hasta el inicio del año 2000, desde ahí muestra un valor constante hasta fines de la década 2010

(Figura 5-13). Desde el 2020 la cobertura de la demanda para el Futuro base empieza a disminuir levemente, aunque realmente no se ve un cambio importante en este indicador y se mantiene en torno a un 90%.

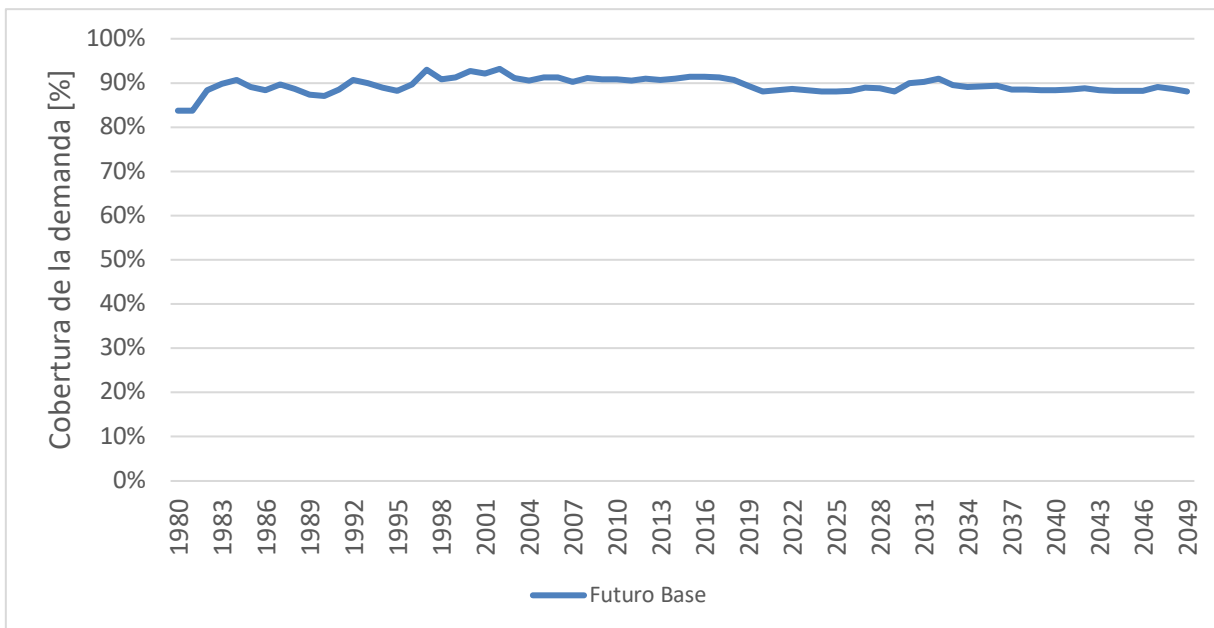


Figura 5-13. Cobertura de la demanda en el sector agrícola bajo riego en la cuenca Estero Casablanca durante el período 1980-2050.

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

Otra manera de observar los cambios en la cobertura de la demanda y visualizar el aumento o disminución de esta a lo largo del tiempo es reordenando el eje del tiempo (eje X) en porcentaje del tiempo en que se cumple cierta cobertura. A través de esta forma se pueden obtener las coberturas de la demanda asociados a ciertos percentiles de tiempo en donde se cumple esa condición o es mayor. La Figura 5-14 muestra el comportamiento de la cobertura de la demanda del sector agrícola bajo riego en series semanales, donde cada curva parte con la máxima cobertura de cada década y la forma que mantenga explica el grado de cobertura en cada década, donde el ideal es mantener una línea recta en el 100%. El término de Confiabilidad se define como el porcentaje máximo del tiempo en que la demanda es abastecida completamente o explicado de manera gráfica, el momento en que una de las curvas deja de dibujarse por el 100%.

Puede observarse que la cobertura de la demanda disminuye con el tiempo, a medida pasan las décadas, siendo la peor condición la que se estima para la década del 2040. En este caso el eje X muestra el porcentaje del tiempo y al leer el eje Y, se logra determinar el porcentaje del tiempo del total de la simulación semanal, en que se cumple un porcentaje de la demanda total, la que también va cambiando en cada año.

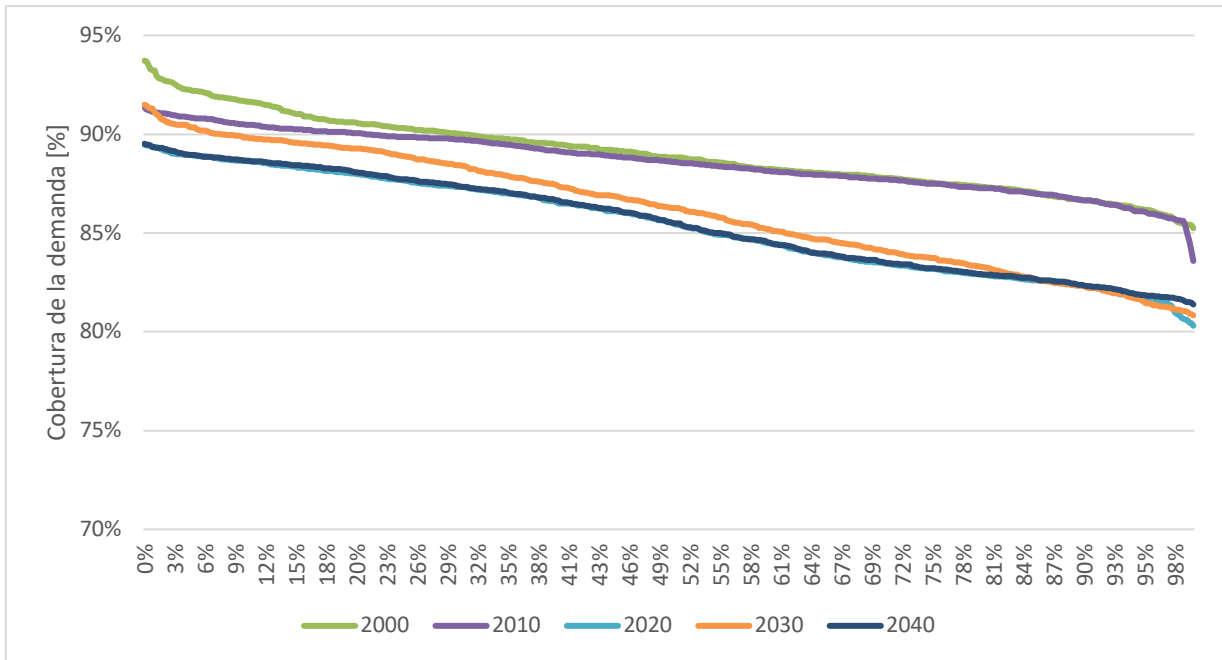


Figura 5-14. Cobertura de la demanda decadal en el sector Agrícola bajo riego en la cuenca Estero Casablanca durante el período 2000-2050.

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

En la Figura 5-15 presenta la serie de tiempo de cobertura de promedio anuales para las APRs presentes en la cuenca. Se presenta una cobertura de 100% la mayoría del tiempo a excepción de los últimos años de la década de 2020 y a finales de la década del 2040.

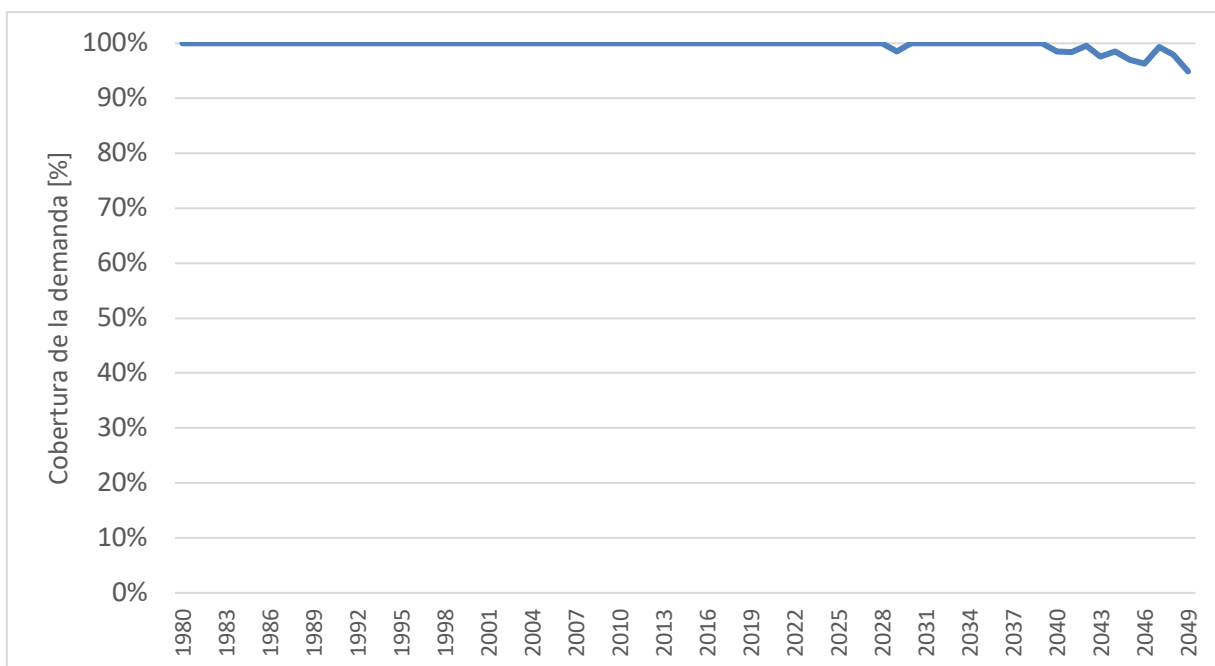


Figura 5-15. Cobertura de la demanda en el sector SSR en la cuenca Estero Casablanca durante el período 1980-2050.

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

Al igual que en el caso del sector agrícola, se grafican las coberturas de la demanda con el eje del tiempo reordenado. La Figura 5-16 muestra el comportamiento de las coberturas de agua potable en series decadales. Se puede observar que la condición del sector agua potable rara vez no llega al 100% de cobertura, lo que se explicó en el acápite anterior y que será retomado en el 5.3.3.

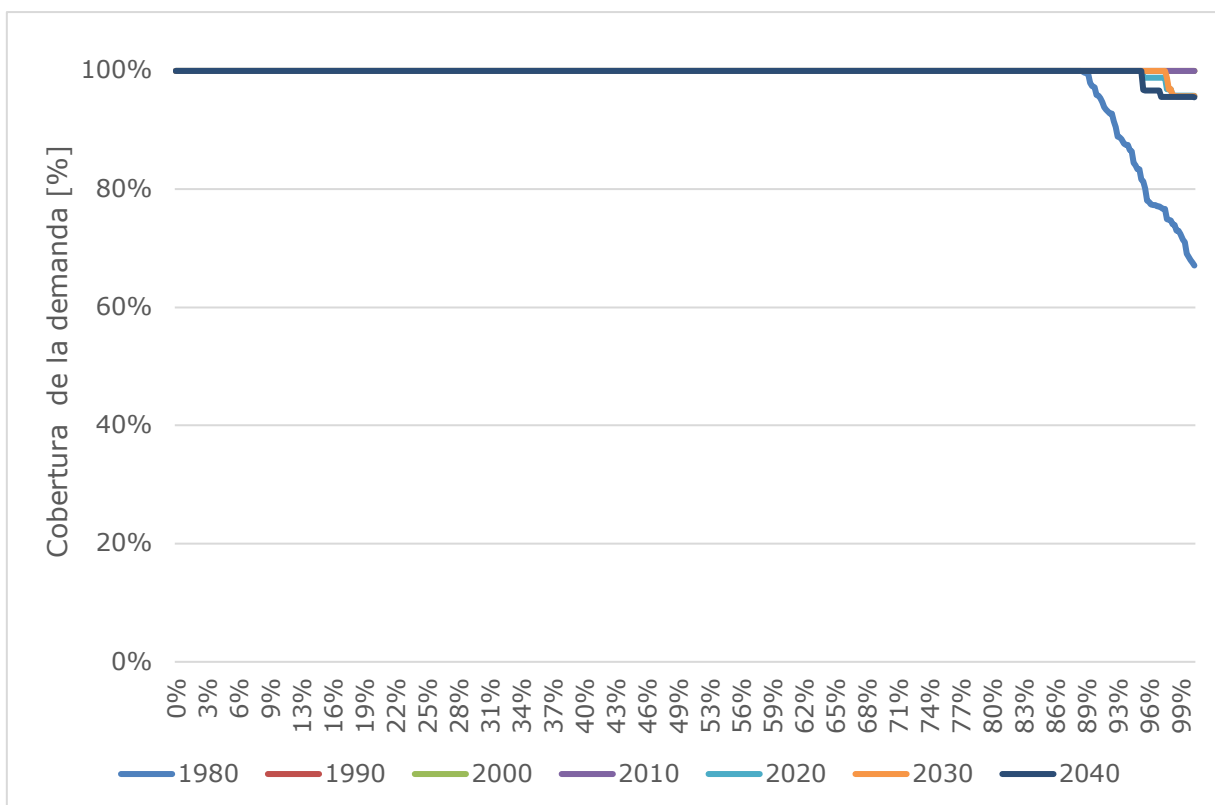


Figura 5-16. Cobertura de la demanda decadal en las APRs en la cuenca Estero Casablanca durante el periodo 1980-2050.

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

El promedio decadal de la cobertura de las demandas APR y agrícola de la cuenca Estero Casablanca para los percentiles de 85% para la demanda agrícola y de 99% para la demanda de agua potable rural, se muestran en la Tabla 5-13 y Tabla 5-14.

Tabla 5-13. Cobertura de la demanda agrícola presentada en forma de promedios decadales [%].

Década	Cobertura de la demanda [%]
1980	87,9
1990	89,8
2000	91,5
2010	90,8
2020	88,4
2030	89,4
2040	88,5

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

Tabla 5-14. Cobertura de la demanda de Agua Potable presentada en forma de promedios decadales [%].

Década	Cobertura de la demanda [%]
1980	100,0
1990	100,0
2000	100,0
2010	100,0
2020	99,9
2030	100,0
2040	97,8

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

Finalmente, un gráfico comparativo de la evolución del promedio decadal de la cobertura de las demandas agrícola y APR se muestra en la Figura 5-17.

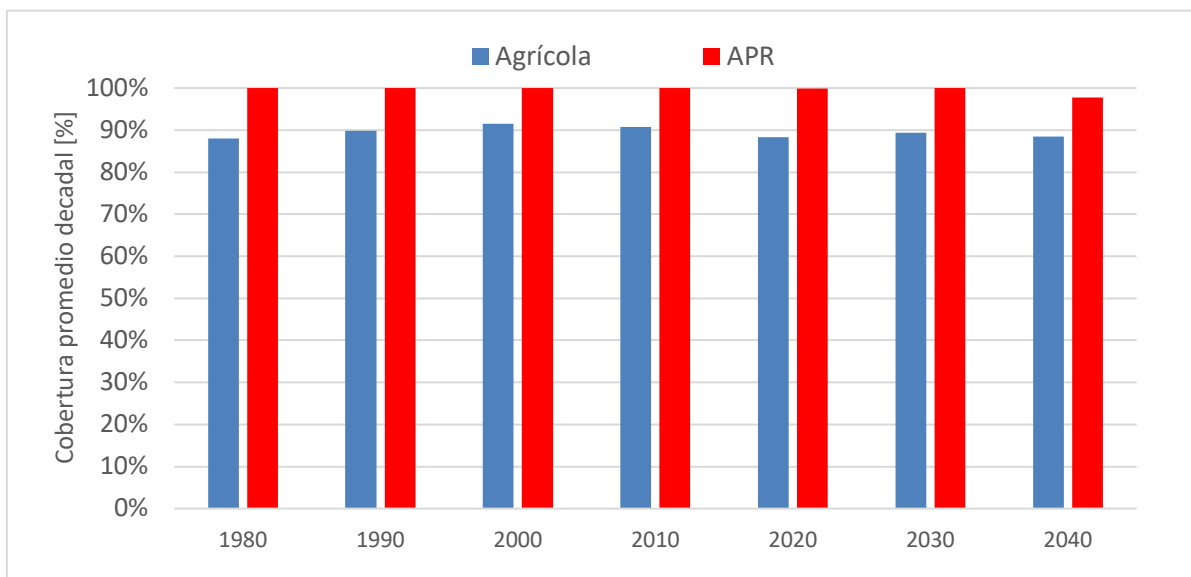


Figura 5-17. Variación decadal de la cobertura de demanda agrícola (p85%) y agua potable (p99%) para la cuenca Estero Casablanca durante el período 1980-2050.

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

5.4.2 Variación de la profundidad de pozos de APRs

Con el objetivo de reproducir las fallas en las coberturas de las necesidades de muchas comunidades en la cuenca, se realizó un análisis de sensibilidad suponiendo distintas profundidades de los pozos de extracción de cada APR. Se modeló con profundidades de pozos de 30m, 15m, 10m y 7m de manera de simular con un rango amplio de posibles profundidades de pozos. Estas profundidades se asumieron en base al orden de magnitud de las profundidades de los pozos de observación de la DGA y de comentarios hablados en instancias PAC.

En este análisis, en cada paso de tiempo se compara la cota de la napa calculada por el modelo con la profundidad supuesta de los pozos desde la superficie. En caso de que la cota de la napa sea menor a la profundidad del pozo, se le indica al modelo que no puede extraer agua y la APR genera brecha. Este análisis es válido para las APR ubicadas sobre las celdas activas del acuífero en el modelo MODFLOW, en los SHACs S01 al S04.

A continuación, la Figura 5-18 presenta las demandas anuales agregadas de todas las APR sobre el acuífero modelado en MODFLOW (línea amarilla intermitente) y las brechas modeladas en cada caso presentado anteriormente. La simulación con pozos de 30m casi no muestra brechas, similar al caso presentado en el acápite anterior, por lo que es posible descartar ese escenario para el período histórico, es decir, APRs con pozos medianamente profundos y captando agua en casi todo momento sin generar brechas. De todas maneras, este escenario sirve para estimar una cota superior a la profundidad de la mayoría de los pozos.

En las simulaciones con pozos de 15m y 10m, se observan brechas desde el comienzo de la simulación debido a tres APRs que presentan problemas. Además, entre estos dos escenarios, recién se observan diferencias a partir del año 2020, debido a las fallas más tempranas de algunas APR. Para la simulación con pozos de 7m, se observan fallas mayores desde el inicio de la simulación donde para el año 2020 la brecha es del orden de un 60% de la demanda y para el fin de la simulación, las brechas son cercanas al 90% de la demanda total, lo que podría suponer una cota inferior de profundidad de pozos en la cuenca, dado el nivel de altas brechas y bajas coberturas obtenidas con este último escenario.

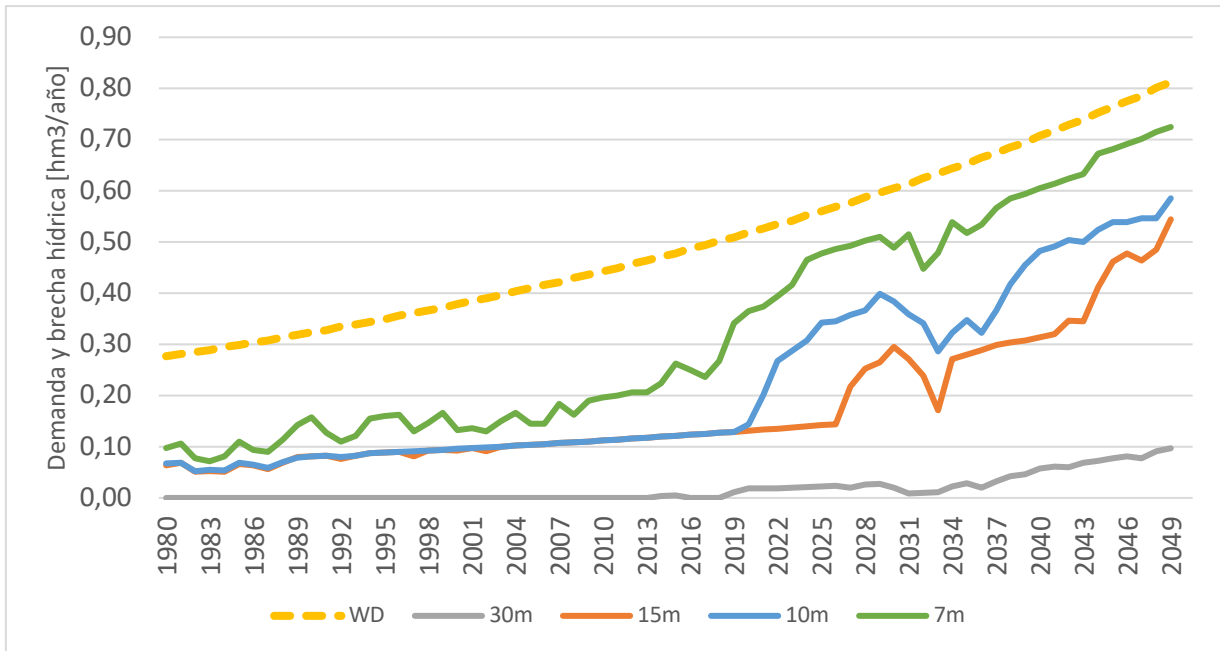


Figura 5-18. Comparación entre las demandas agregadas de APRs sobre las celdas activas (línea segmentada amarilla) y las brechas generadas con los pozos a profundidades de 30m, 15m, 10m y 7m.

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

Las Figura 5-19, Figura 5-20, Figura 5-21 y Figura 5-22 muestran las coberturas anuales de las APR bajo el escenario de pozos de 30, 15m, 10m y 7m de profundidad respectivamente. Se observa una disminución abrupta de las coberturas partiendo la década de 2020, posiblemente ligado a la reducción de las precipitaciones bajo el escenario de cambio climático y la caída en los niveles del acuífero. Llama la atención el aumento progresivo en las coberturas en la década de 2030, ligado justamente al uso de la década de 2000 para replicar el clima en el futuro, pero multiplicado por factores menores a 1. Luego en la década de 2040 (en la que se usó la década de 2010), nuevamente se observan disminuciones bruscas debido a la disminución nuevamente de las precipitaciones.

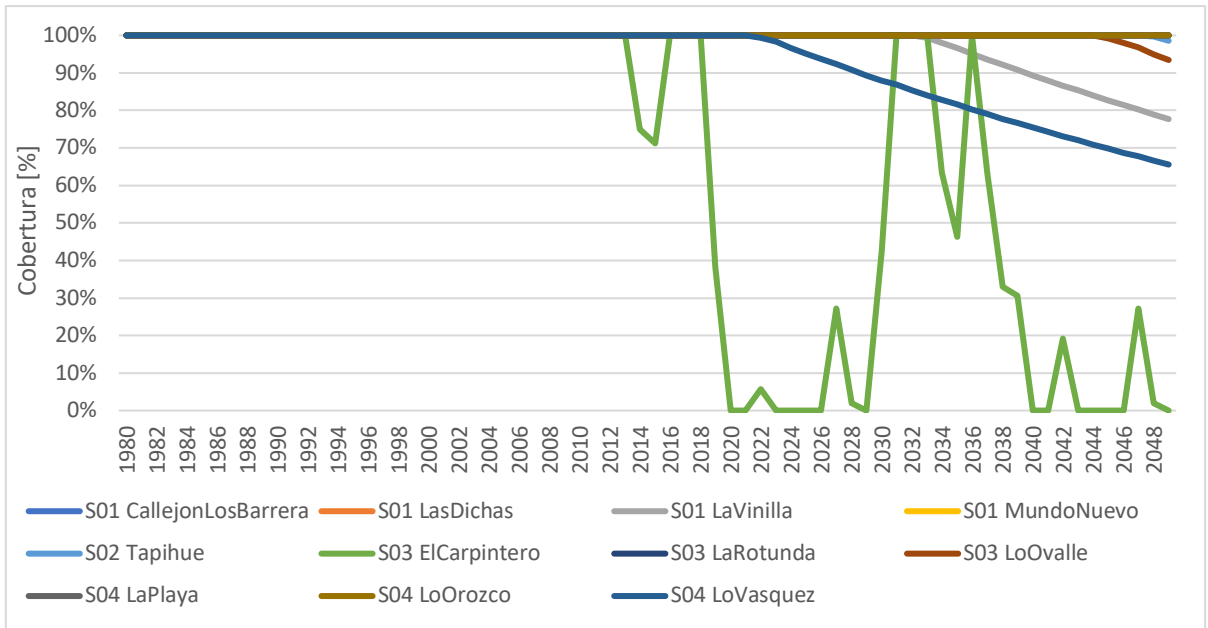


Figura 5-19. Cobertura de la demanda bajo el escenario de pozos de 30m de profundidad.

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

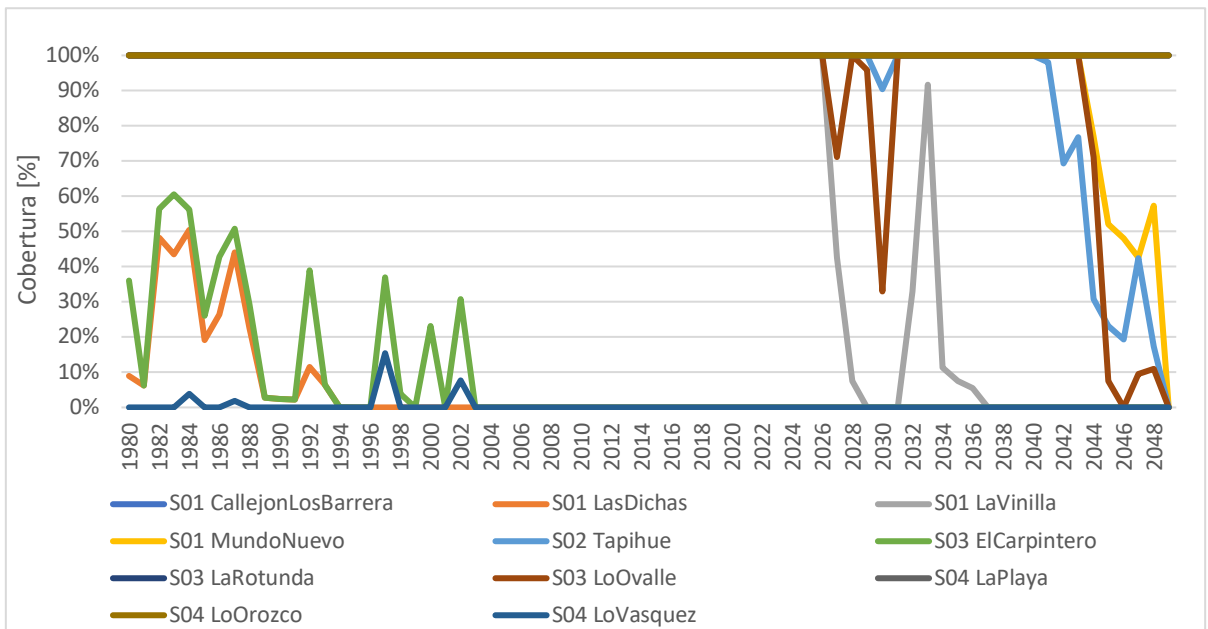


Figura 5-20. Cobertura de la demanda bajo el escenario de pozos de 15m de profundidad.

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

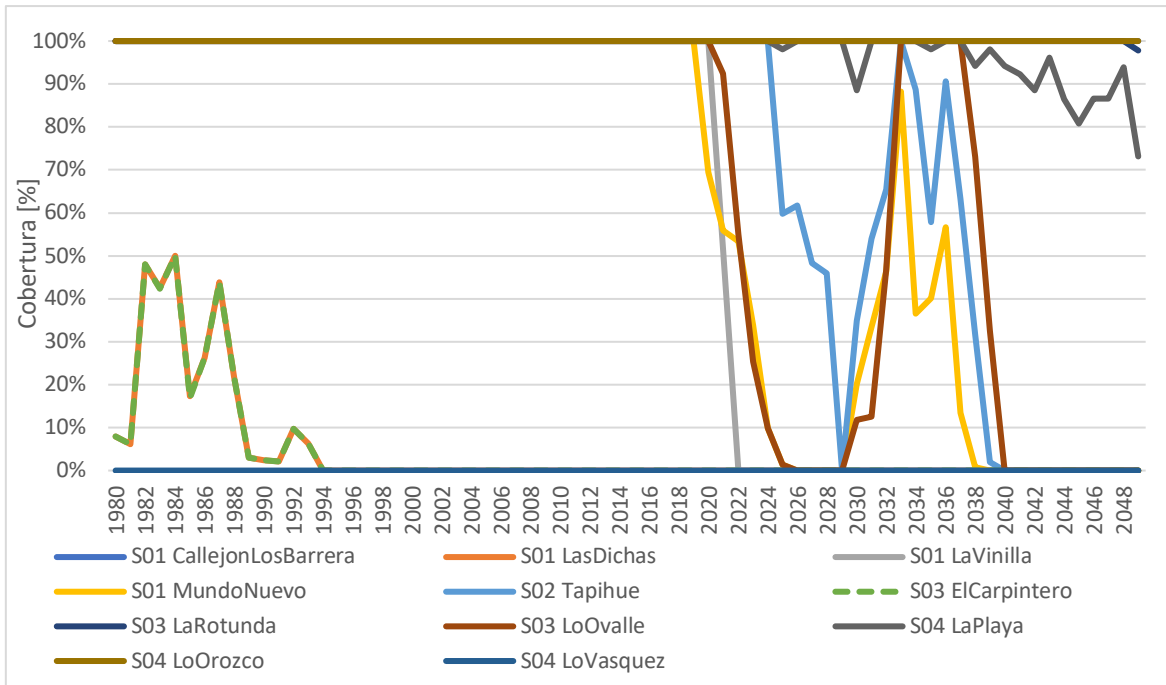


Figura 5-21. Cobertura de la demanda bajo el escenario de pozos de 10m de profundidad.

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

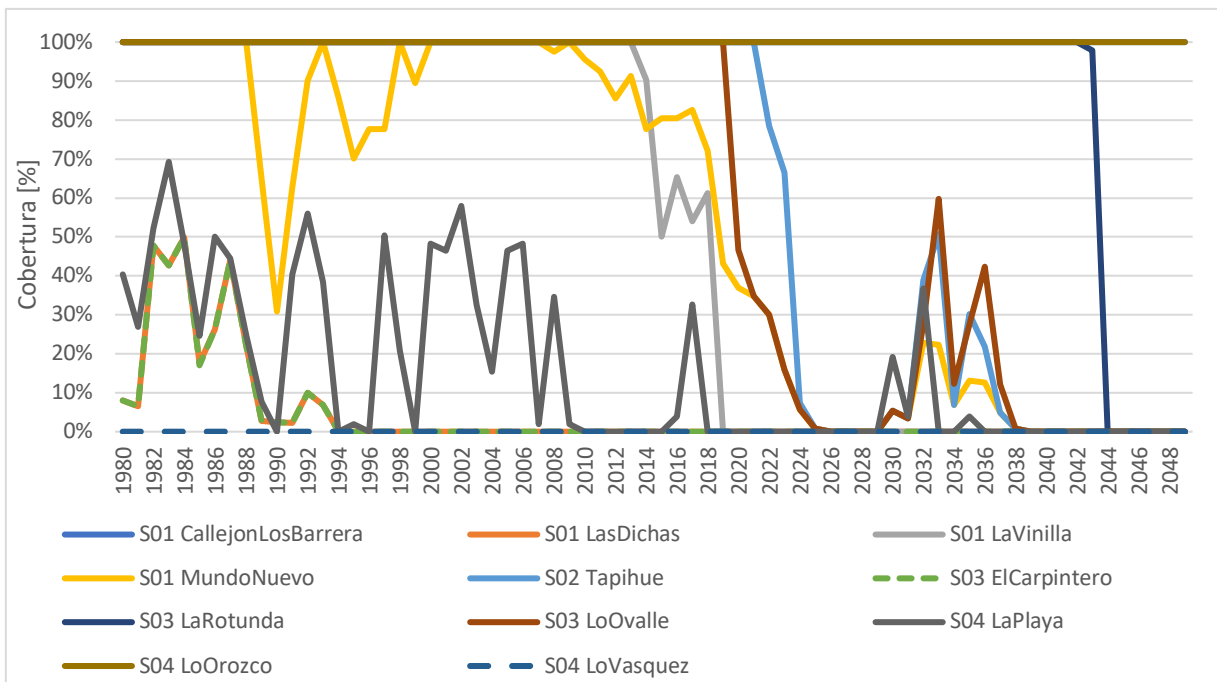


Figura 5-22. Cobertura de la demanda bajo el escenario de pozos de 7m de profundidad.

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

La Tabla 5-15 muestra en forma de promedios decadales, las brechas anuales para los escenarios de pozos, incluidos en el Plan. Es relevante destacar justamente los últimos dos escenarios, en donde las acciones propuestas en el Plan logran disminuir la brecha en más de un 50%, pasando de 0,67 hm³/año a 0,32 hm³/año en promedio para la última década de simulación.

Tabla 5-15. Brechas APR estimadas de las APR sobre el acuífero modelado con MODFLOW suponiendo distintas profundidades de pozos (hm³/año)

Década	30m	15m	10m	7m
1980	0,00	0,06	0,06	0,10
1990	0,00	0,09	0,09	0,14
2000	0,00	0,10	0,10	0,15
2010	0,00	0,12	0,12	0,24
2020	0,00	0,17	0,30	0,45
2030	0,01	0,27	0,36	0,53
2040	0,02	0,42	0,53	0,67

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

Gran parte de estas brechas presentadas para este escenario (pesimista en términos de supuestas profundidades de pozos de extracción) se basan en brechas estructurales de cuatro APRs: Las Dichas, La Playa, Lo Vásquez y en menor medida, El Carpintero y que al parecer no logran ser beneficiadas por los proyectos del Plan. Otras APRs, como La Vinilla, Mundo Nuevo y Lo Ovalle, muestran mejoras muy relevantes cuando se activa el Plan (Figura 5-23).

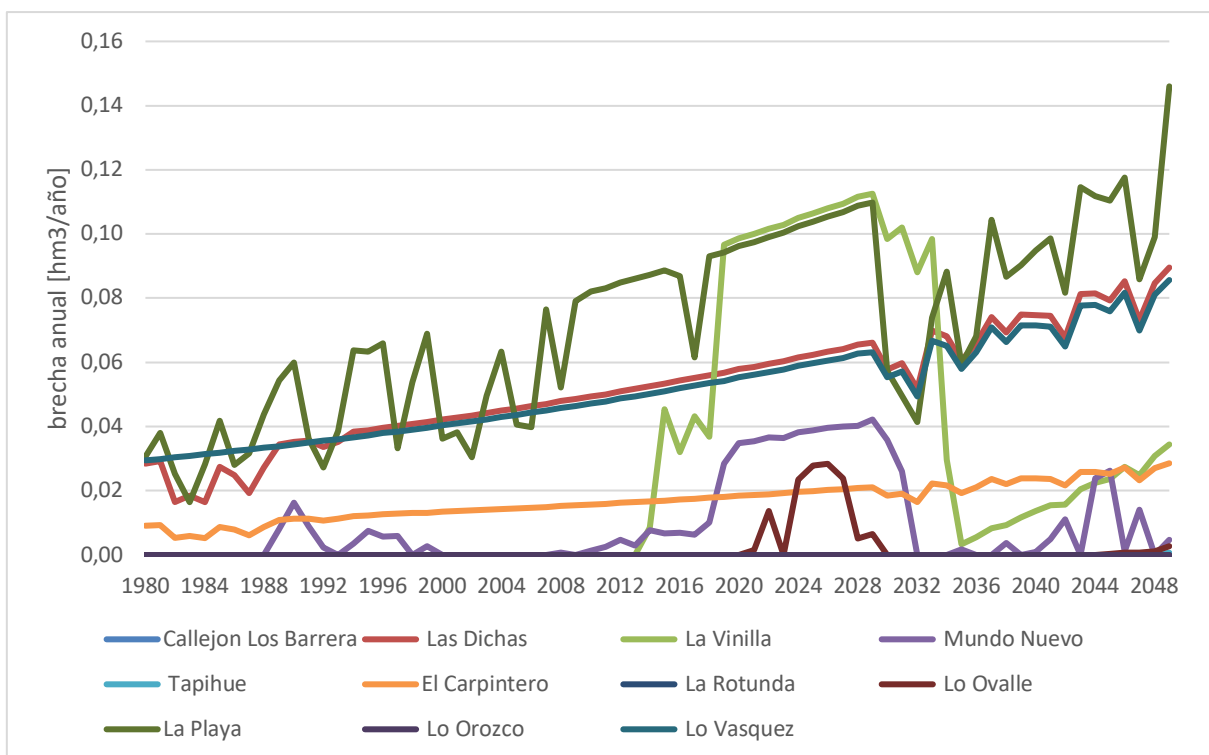


Figura 5-23. Serie de tiempo de las brechas anuales en todas las APRs simuladas bajo el escenario del Plan y pozos de extracción de 7m de profundidad.

Fuente: Elaboración propia.

Para cerrar este acápite, se pueden concluir varios aspectos. Aunque estas simulaciones presentan incertidumbres debido a que se modelan todos los APR con la misma profundidad de sus pozos, estos resultados muestran varios resultados interesantes de discutir:

1. Al disminuir las profundidades de los pozos de extracción, se generan brechas de abastecimiento y mayor cantidad de fallas en las coberturas de todas las APRs simuladas, tal como sucede actualmente con muchas de estas APRs. Aunque no se cuenta con información en terreno del número de fallas o de la cantidad de agua que no está pudiendo ser abastecida por pozos propios, estos resultados sí se condicen con lo expresado en distintas instancias de participación ciudadana con respecto a la existencia de brechas de abastecimiento, sobre todo a partir del período de Mega Sequía (2010 en adelante).
2. Interesantemente, podría ser posible recuperar la cobertura de la demanda de las APR si en el futuro se dan períodos con mejores precipitaciones que los observados durante la última década. Por ejemplo, en estas simulaciones realizadas, la década de 2030 presenta mejoras en varias APR con respecto a las décadas de 2010 y 2022, producto de que presenta mayores precipitaciones, incluso con los niveles de extracciones agrícolas actuales desde los acuíferos.

- Al considerar el escenario con pozos de 30m, la mayor parte de los APR se recuperarían y no existirían brechas hídricas, lo que muestra que con infraestructura adecuada, sería posible abastecer a toda la población rural de la cuenca.

5.5 Análisis de sensibilidad de Escenarios Futuros (2020-2050)

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 6. En la Tabla 5-16 se muestran los escenarios definidos por las acciones correspondientes, los cuales se listan y describen a continuación:

Tabla 5-16. Escenarios generados para simulación de efectividad de las medidas.

Escenario WEAP	Descripción
Histórico	<p>Simulación en base a inputs climáticos definidos por las forzantes climáticas obtenidas del Balance Hídrico Nacional (DGA, 2017) y CR2MET, usos de suelo en base a la recopilación de tipos de cultivos y usos de suelo con vegetación natural y demandas de agua dadas por los registros de derechos de aprovechamiento de aguas entregados por la DGA.</p> <p>Es este escenario con el que se realiza la calibración de la situación histórica (1979 – 2019) con un paso de tiempo semanal.</p>
Futuro Base (FB)	<p>El escenario "Futuro Base" se construye asumiendo las condiciones finales del escenario de Referencia con respecto al uso de suelo y demandas de agua, pero con un clima modificado en base a factores de cambio dados por los modelos de circulación general de Cambio Climático. En este caso se generaron series climáticas para la precipitación y temperatura a partir de factores de cambio a nivel mensual. Se utiliza solo el modelo MIROC.</p>

Fuente: Elaboración propia a partir de la información contenida en –I Anexo H - Modelación Integrada, Capítulo 4.4. Construcción Escenarios Futuros.

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 6. 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 5-17 describe brevemente estos escenarios, así como las acciones con las cuales se vincula:

Tabla 5-17. Escenarios base generados para simulación de efectividad de las medidas.

Escenario WEAP	Descripción	Código de la acción	Plazo
(FB) + Organización	Conformación de una entidad única en la cuenca encargada de repartir el agua en base a alícuotas si los caudales superficiales o volúmenes subterráneos no alcanzan para satisfacer a todos los usuarios (definidos por sus DAA).	AG-02 AG-03	Largo
(FB) + Eficiencia	Se propone mejorar el uso del agua en la zona agrícola en base a la acción de disminuir las pérdidas en el riego intrapredial.	ME-01	Mediano
(FB) + Prorrato	Se asumió un factor del 30% de los DAA otorgados para el 2050. Para ser distribuidos a los sectores de riego en los sectores agrícolas.	No aplica	Largo
(FB) + Aumento parcelaciones	Aumento de la superficie de parcelas de agrado (uso del suelo categoría Urbano Parcelas) en desmedro de superficies agrícolas o vegetación nativa (uso del suelo categoría Arbustos y Matorrales).	AG-04 OM-03	Corto
(FB) + Caudal ecológico	Determinación del caudal ecológico de acuerdo a 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°7	OM-02	Corto
(FB) + Desalación	Se considera la incorporación de agua desde desalación por 0,3 m ³ /s. Aporte de agua como primera prioridad a	FA-01	Largo

Escenario WEAP	Descripción	Código de la acción	Plazo
	sector agua potable y como segunda prioridad a sector agrícola.		
(FB) + Canal La Prosperidad	Se considera el aporte de agua proveniente de la cuenca del Río Maipo por 0,787 m ³ /s. Aporte de agua solo a sector agrícola.	FA-02	Largo

Fuente: Elaboración propia a partir de la información contenida en el Anexo H – Modelación hidrológica integrada, capítulo 4.4. Construcción escenarios futuros.

5.5.1 Brechas

En este apartado se muestran los resultados de los principales indicadores usados en este informe comparando los distintos escenarios: cambio en las brechas de agua potable rural y agrícola (en hm³/año), cambio en la cobertura promedio de las demandas y por último, la variación en los acuíferos, en las mismas unidades de hm³/año.

La Figura 5-24 muestra las series de tiempo de la brecha agrícola para la cuenca Estero Casablanca para los distintos escenarios modelados. En ellas se observa que la brecha se mantiene igual hasta el año 2022, año en que estas acciones se activan, provocando mejoras en la mayoría de los casos, aunque no disminuciones a cero en ningún caso.

La acción que mayor impacto tiene sobre la disminución de la brecha es el aprovechamiento del Canal La Prosperidad, pues introduce al sistema agua fresca desde fuera de la cuenca. La otra acción que ayuda en la disminución de la brecha es el aporte del agua desalada. Pero estas mejoras son solo marginales con respecto a la brecha original y al parecer, el modelo acoplado no es capaz de representar bien estas acciones. Por ejemplo, el escenario del Canal La Prosperidad entrega un caudal constante de 0,787 m³/s, lo que significa un aporte anual de 24,8 hm³, pero la disminución de la brecha es solo del orden de 1 hm³/año. Y en el caso de la Desalación, con un aporte de 0,3 m³/s (9,46 hm³/año) tampoco mejora más allá del 1 hm³/año.

Las otras acciones modeladas no contribuyen a disminuir la brecha, incluso con el escenario de Prorrato se ve un aumento en la brecha, un resultado esperado pues justamente se buscaba extraer menos agua desde el acuífero.

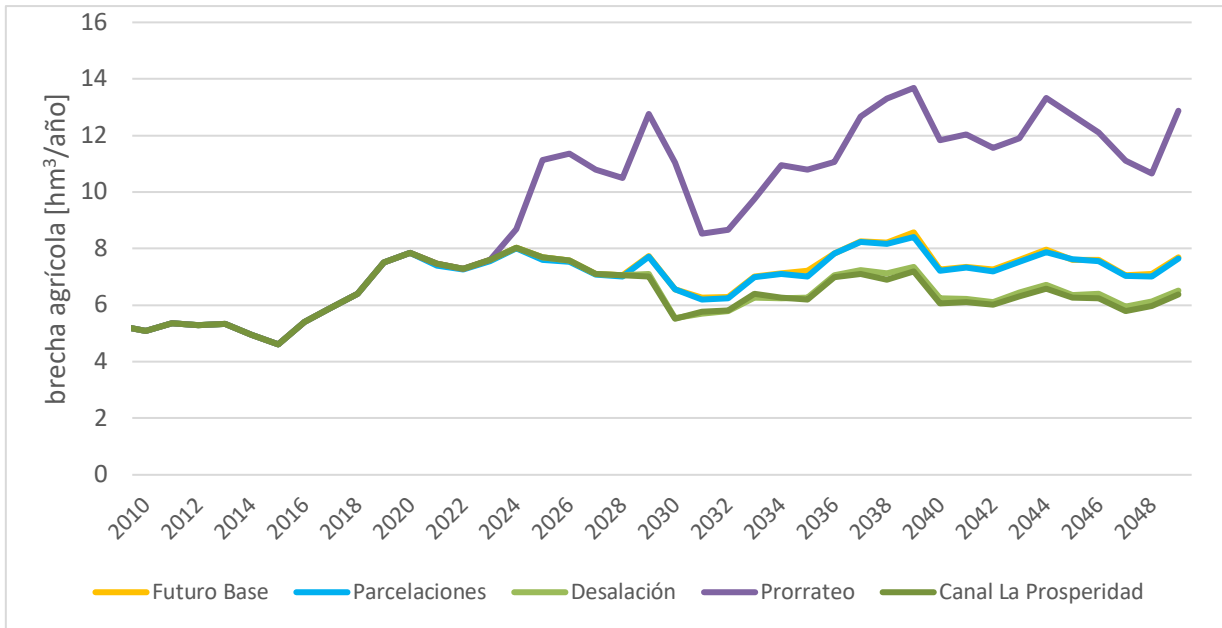


Figura 5-24. Brecha agrícola anual para distintos escenarios, basados en el Futuro Base, periodo 1980-2050.

Fuente: Elaboración propia a partir de modelo acoplado WEAP-MODFLOW.

Cuando se simula el escenario Plan, se activan algunos de estas acciones, lo que se muestra en la Figura 5-25, con caídas en la brecha de acuerdo al año de entrada de cada acción individual dentro del PLAN.

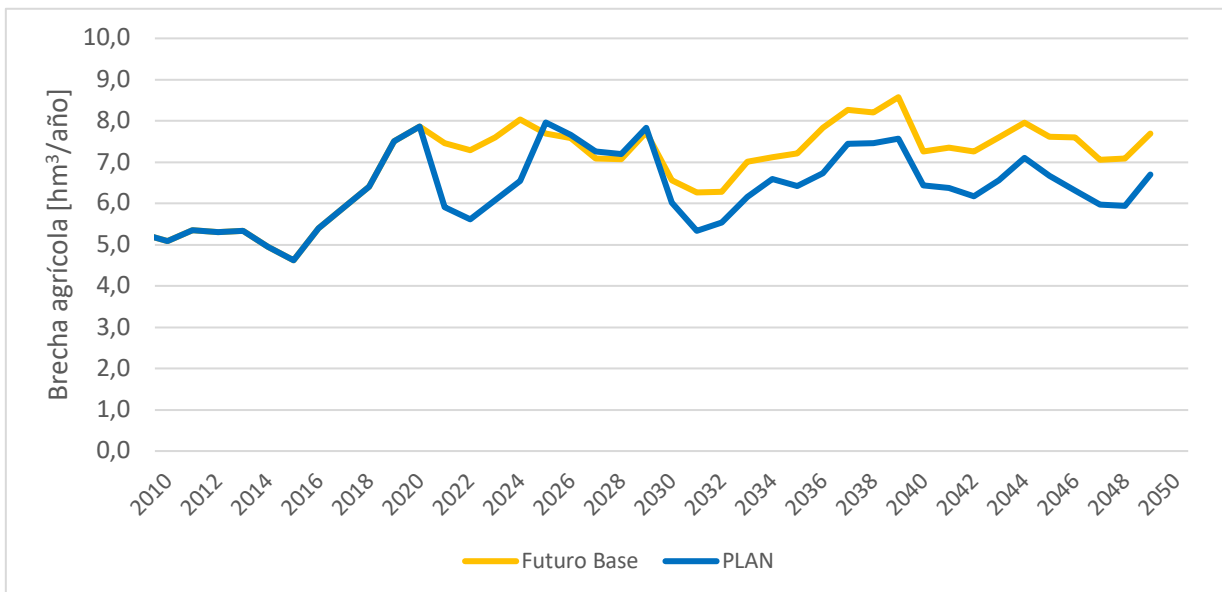


Figura 5-25. Brecha agrícola para escenarios Futuro Base y Plan, periodo 1980-2050.

Fuente: Elaboración propia a partir de modelo acoplado WEAP-MODFLOW.

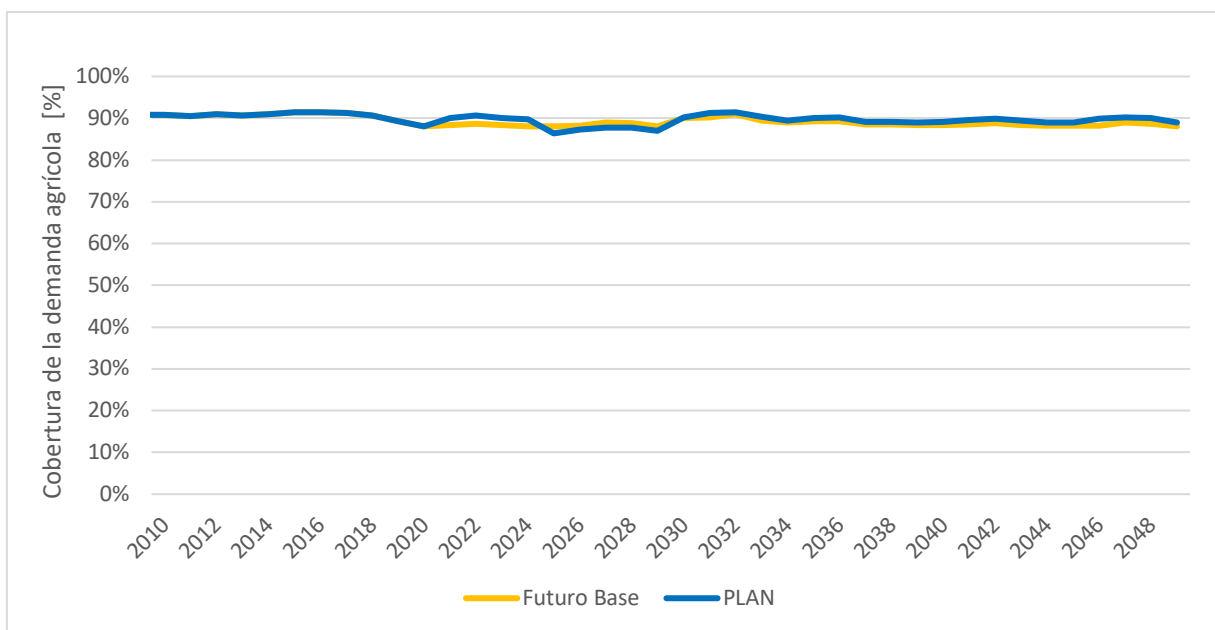


Figura 5-26. Cobertura de la demanda agrícola para escenarios Futuro Base y Plan, periodo 1980-2050.

Fuente: Elaboración propia a partir de modelo acoplado WEAP-MODFLOW.

En la Figura 5-27 se muestra el comportamiento de las brechas en las APR obtenidas por el modelo, considerando la no disponibilidad de la profundidad de los pozos de extracción explicadas previamente. En este gráfico las brechas se mantienen hasta el año 2022, año en donde las diferentes acciones comienzan a implementarse, al igual que en las brechas agrícolas. En este caso todas las acciones tienen pequeños efectos en la disminución de la brecha, producto del problema de brechas de APR presentado en el acápite 5.3.

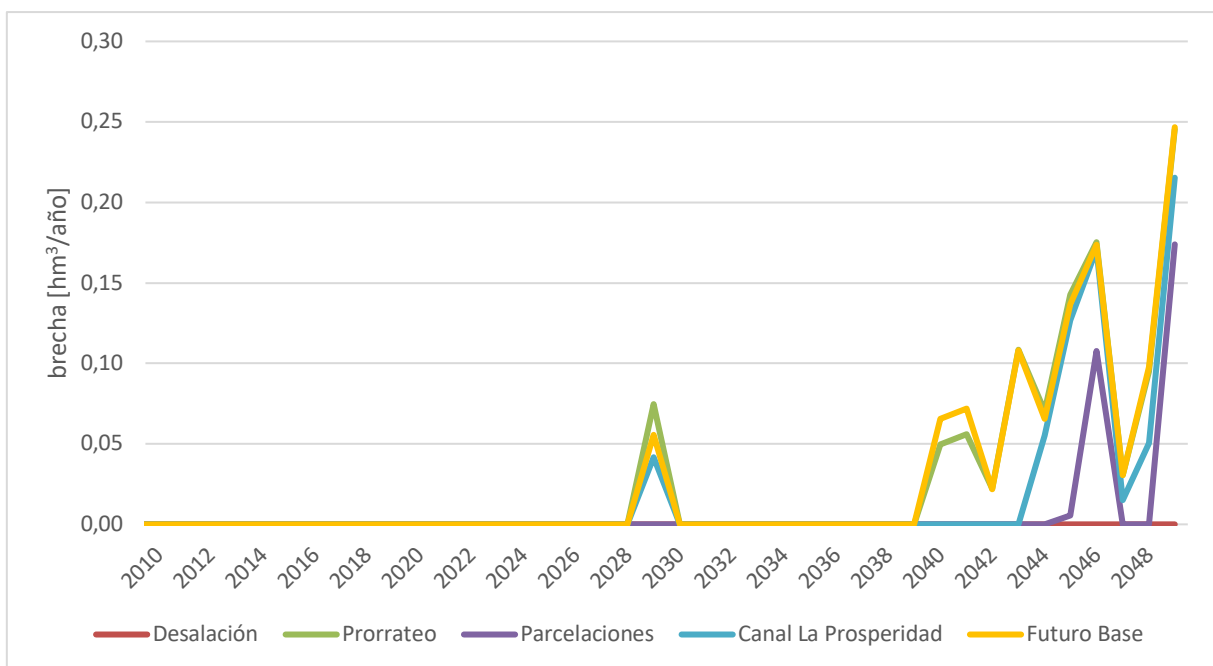


Figura 5-27. Brecha APR anual para distintos escenarios, basados en el Futuro Base, periodo 1980-2050.

Fuente: Elaboración propia a partir de modelo acoplado WEAP-MODFLOW.

La Figura 5-28 muestra las brechas APR del Futuro Base con las del Plan, al igual que en el caso de las brechas agrícolas. En este caso, la brecha en agua potable se elimina completamente con la implementación del Plan y sus acciones. Esto también se ve en las coberturas de la demanda, la que se mantiene en 100% con la implementación de Plan (Figura 5-29).

Como se mencionó anteriormente, la brecha proyectada para agua potable por el modelo es bastante baja y con las medidas propuestas se puede eliminar completamente. Llama la atención el caso del escenario de Parcelaciones, el que muestra disminuciones de las brechas de agua potable, lo que será revisado en un siguiente acápite.

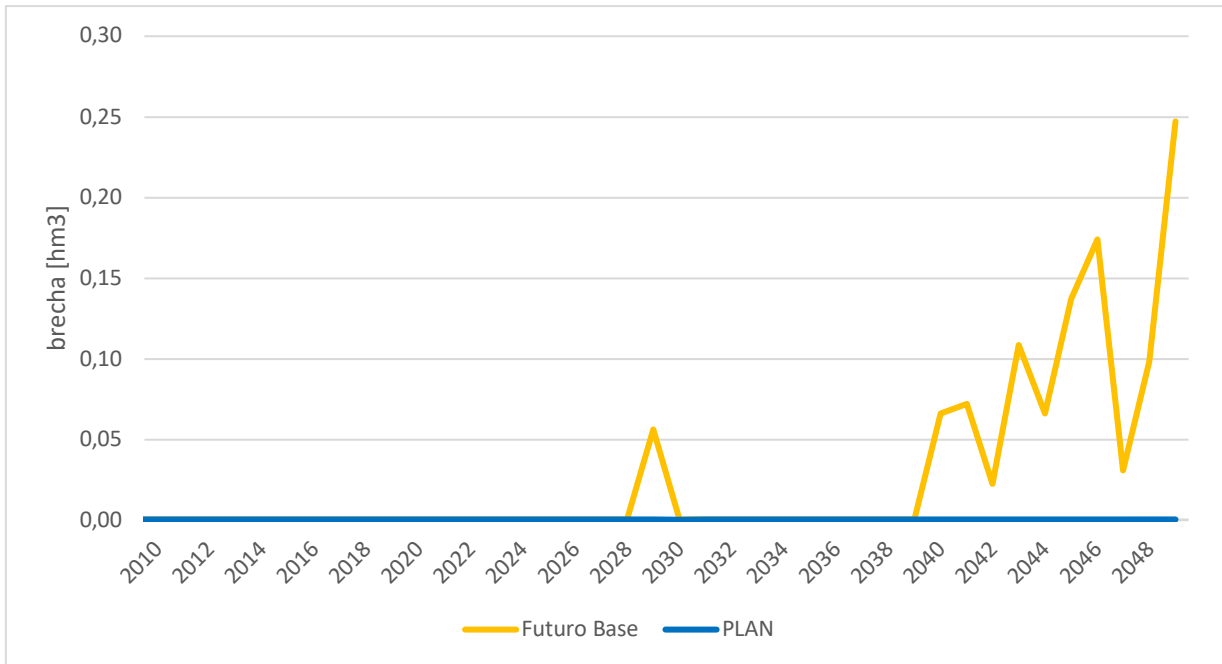


Figura 5-28. Brecha anual SSR para escenarios Futuro Base y Plan.

Fuente: Elaboración propia a partir de modelo acoplado WEAP-MODFLOW.

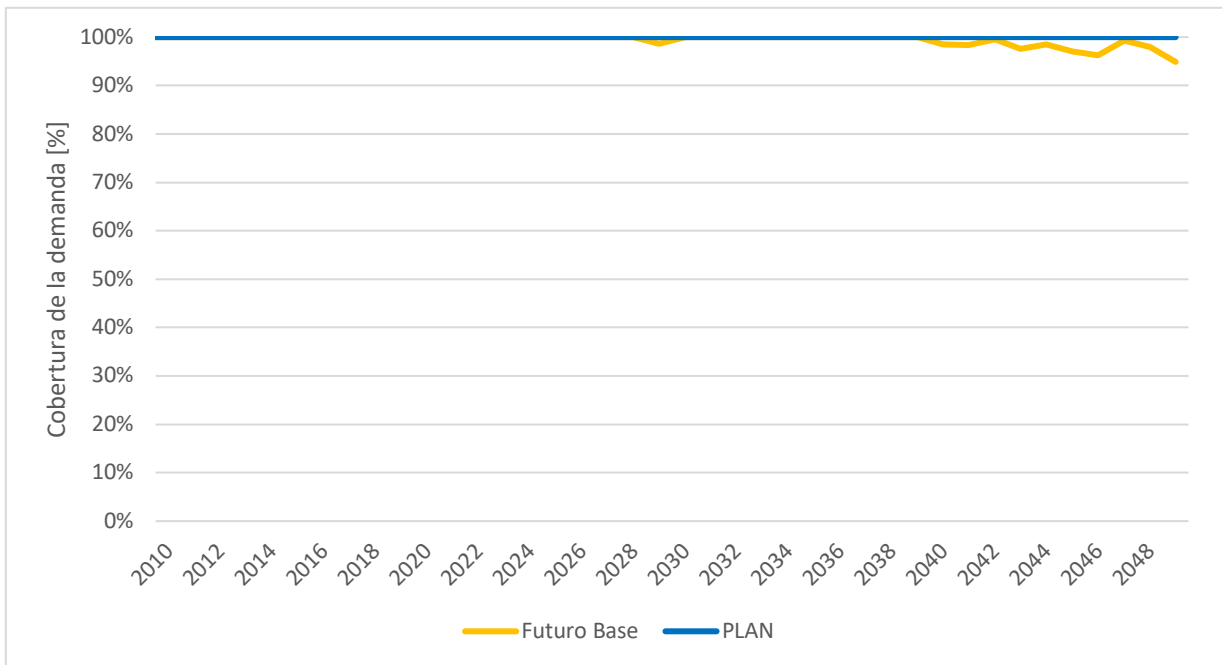


Figura 5-29. Cobertura anual para el Futuro Base y el escenario PLAN.

Fuente: Elaboración propia a partir de modelo acoplado WEAP-MODFLOW.

Se presentan a continuación el promedio decadal de las brechas agrícolas y de APR cinco de los escenarios generados, los que mostraron cambios más relevantes o en los que se contó con más información para el modelo. En este caso, aunque en el modelo se prepararon los escenarios de "Organización", "Eficiencia" y "Caudal Ecológico", finalmente no se usaron para su evaluación.

En la Tabla 5-18 se presenta primero la brecha del escenario Futuro Base para luego mostrar los resultados de cada una de las acciones descritas anteriormente para el caso agrícola.

Tabla 5-18. Promedio decadal de brechas agrícolas [hm³/año].

Década	Futuro Base	Desalación	Prorratio	Parcelaciones	Canal La Prosperidad	PLAN
2020	7,54	7,48	9,54	7,50	7,47	6,99
2030	7,33	6,46	11,05	7,27	6,42	6,53
2040	7,45	6,31	12,02	7,40	6,17	6,42

Fuente: Elaboración propia a partir de modelo acoplado WEAP-MODFLOW.

Similarmente a lo comentado al inicio del acápite, llama la atención el bajo impacto de los escenarios de Desalación y del Canal La Prosperidad en la disminución de las brechas agrícolas en cuanto ambos escenarios incluyen aportes externos de agua fresca para la agricultura. Una posible explicación a este bajo desempeño relativo de ambas acciones es la alta cobertura que presenta el sector agrícola tanto en el período histórico como en el Futuro y que nuevos aportes no generarían grandes incrementos en su cobertura ya que hay un porcentaje de agua que se pierde por percolación al acuífero por ineficiencias de riego.

La Tabla 5-19 presenta la brecha del escenario Futuro Base y los resultados de cada una de las acciones descritas, pero ahora para el uso de agua potable. Se considera la simulación original, sin profundidades de pozos, por lo que las brechas son pequeñas en comparación con lo mostrado en el acápite 5.3.3.

Tabla 5-19. Promedio decadal de brechas APR [hm³/año].

Década	Futuro Base	Desalación	Prorratio	Parcelaciones	Canal La Prosperidad	PLAN
2020	0,006	0,000	0,007	0,000	0,004	0,000
2030	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2040	0,102	0,000	0,100	0,029	0,063	0,000

Fuente: Elaboración propia a partir de modelo acoplado WEAP-MODFLOW.

Nuevamente, un resultado que parece contra intuitivo es la mejora de la brecha de las APR en el escenario de mayor cantidad de parcelaciones rurales. En este caso, este escenario asume un aumento brusco de la población y un leve cambio en el uso de suelo, logrando que parte del agua que antes ingresaba en el suelo y que luego era evaporada, ahora escurra superficialmente, generando pequeños escurrimientos superficiales que en el modelo son aprovechados.

Parte de los problemas de este escenario tiene relación con la profundidad de los pozos (que en los escenarios originales no se contaba con la profundidad de estos), similar a lo comentado en el acápite 5.3.3.

5.5.2 Coberturas de la demanda [%]

Al contrario de la brecha, el comportamiento deseado de la cobertura de la demanda en un escenario es que aumente. En las siguientes tablas (Tabla 5-20 y Tabla 5-21), de nuevo se muestra que en el escenario Plan es el más efectivo, pues logra aumentar más la cobertura de la demanda en ambos sectores (agrícola y APR). En algunos escenarios la mejor no es inmediata (que se evidencia durante la primera década futura – 2020).

Tabla 5-20. Promedio decadal de cobertura de la demanda agrícola [%].

Década	Cobertura de la demanda agrícola [%]					
	Futuro Base	Desalación	Prorrato	Parcelaciones	Canal La Prosperidad	PLAN
2020	88,4	88,5	85,0	88,4	88,5	88,5
2030	89,4	90,8	83,4	89,5	90,8	90,0
2040	88,5	90,4	80,7	88,6	90,6	89,5

Fuente: Elaboración propia a partir de modelo acoplado WEAP-MODFLOW.

Tabla 5-21. Promedio decadal de cobertura de la demanda APR [%].

Década	Cobertura de la demanda APR [%]					
	Futuro Base	Desalación	Prorrato	Parcelaciones	Canal La Prosperidad	PLAN
2020	99,9	100	99,8	100	99,9	100
2030	100	100	100	100	100,0	100
2040	97,8	100	97,5	99,4	98,5	100

Fuente: Elaboración propia a partir de modelo acoplado WEAP-MODFLOW.

A Continuación, se evalúan bajo otra mirada los escenarios de Parcelaciones y el escenario del PLAN asumiendo que los pozos de APR tienen solo 7m de profundidad. De esta manera, se revisan los resultados de estos escenarios específicamente para las brechas y coberturas de agua potable rural, similar a lo realizado en el acápite 5.3.3.

5.5.3 Análisis de sensibilidad de profundidad de pozos de APRs

Al igual que con el escenario histórico, en este apartado se analizan algunos escenarios futuros suponiendo que los pozos de las APR ubicadas sobre el acuífero modelado con MODFLOW tienen restricción de extracción en función de la profundidad de sus pozos y el nivel de la napa. En este caso, solo se simuló y comparó el caso con profundidades de 7m para el escenario de Parcelaciones y también para el PLAN.

La comparación del escenario de Parcelaciones se realiza en este apartado, ya que en el escenario original, al modelar un aumento en la población rural no se observaban cambios en las brechas de agua potable, debido a que en el modelo era posible extraer toda el agua demandada por las APR. Al imponer la restricción de pozos de 7m, aparecen las brechas y éstas se incrementan fuertemente al duplicarse la población. La Figura 5-30 muestra la serie de tiempo anual de la brecha de agua potable para estos dos escenarios, donde se observa que al duplicarse la población (y por ende, la demanda), la brecha aumenta más del doble desde 0,40 hm³/año en la década de 2020 a 0,91 hm³/año en el escenario de Parcelaciones. Luego, el incremento es lineal, al igual que en el caso del escenario Base hasta llegar a una brecha promedio anual de 1,33 hm³/año en la década de 2040.

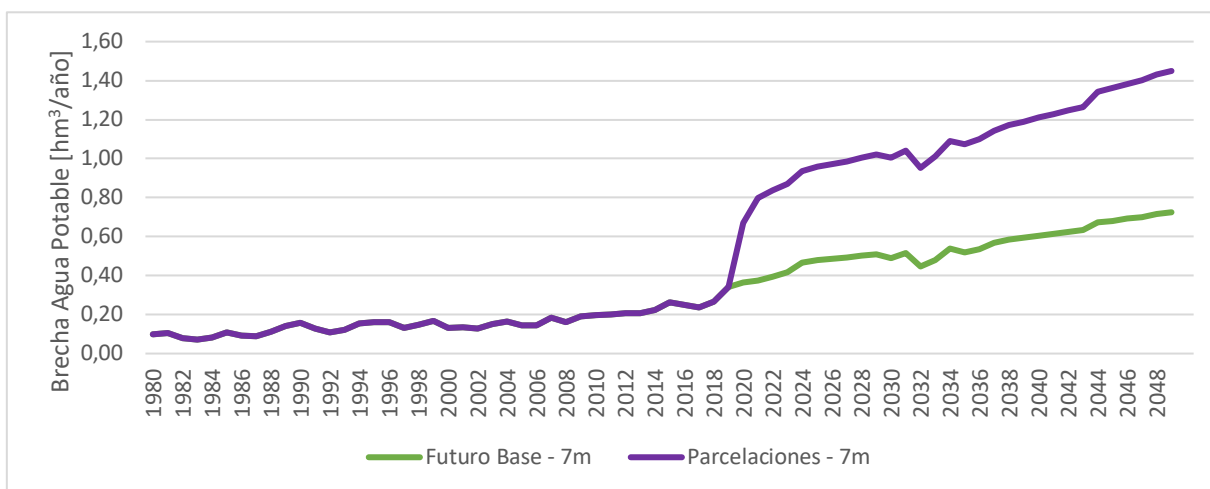


Figura 5-30. Diferencia en la brecha de Agua Potable entre el escenario Futuro Base y de Parcelaciones, suponiendo pozos de extracción de 7m de profundidad.

Se realizó también la comparación suponiendo un cambio en el uso de suelo en este escenario, para analizar el impacto en la pérdida de suelo con arbustos a suelo de mayor urbanización en los recursos hídricos disponibles para las APR, pero estas simulaciones no mostraron diferencias entre sí, lo que sugiere que el único impacto de importancia es por crecimiento poblacional más que por un cambio en las condiciones de retención de humedad y escurrimiento superficial en las posibles hectáreas que puedan modificarse producto de un aumento en estas parcelaciones en la cuenca.

Estos resultados difieren con los mostrados en los acápites 5.3.1 y 5.3.2, lo que refuerza lo comentado en 5.3.3 con respecto a la importancia de contar con las profundidades de todos los pozos de extracción de las APR para poder cuantificar de mejor manera sus brechas hídricas.

También se analiza el escenario del PLAN. En este caso, la curva mostrada en forma de puntos (PLAN) de la Figura 5-18 muestra una mejora importante a partir de mediados de la década de 2020 y disminuciones importantes en 2030, lo que no se lograba en el escenario en donde no se usaban profundidades de pozos por no contarse con esta información como se explicó anteriormente (simulación con línea verde continua - Futuro Base). En este caso, las acciones del Plan logran disminuir la brecha a valores menores a los modelados con pozos del doble de profundidad (15m, acápite 5.3.3).

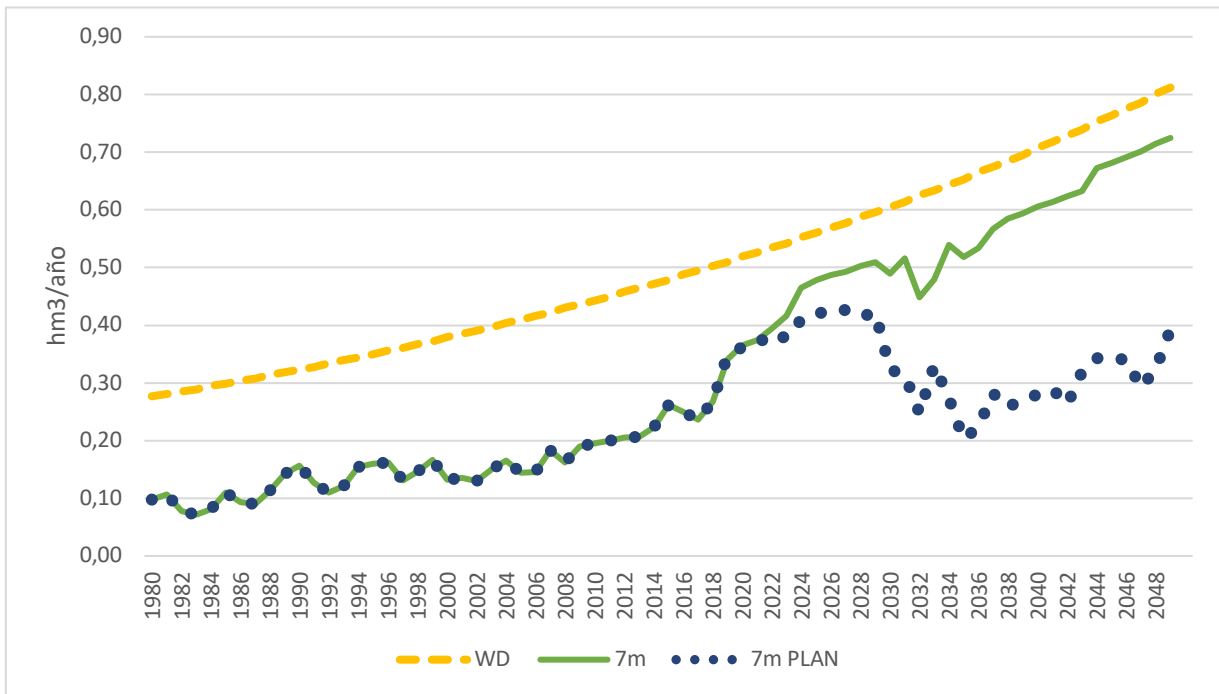


Figura 5-31. Comparación entre las demandas agregadas de APRs sobre las celdas activas (línea segmentada amarilla) y las brechas generadas con los pozos a profundidades de 7m con y sin PLAN.

Fuente: Elaboración propia.

Por último, la Figura 5-32 presenta la cobertura de la demanda del escenario del PLAN con los pozos de 7m de profundidad, donde se observan mejoras en muchas de las APR que habían presentado caídas importantes en sus coberturas de la Figura 5-22. En este caso, solo cuatro APRs mantienen bajos niveles de coberturas: El Carpintero, Lo Vásquez y Las Dichas con coberturas en torno al 7% anual y La Vinilla, con un promedio de 30% de cobertura anual.

El resto de las siete APRs aumentan importantemente sus coberturas a medida que las acciones del Plan comienzan a operar.

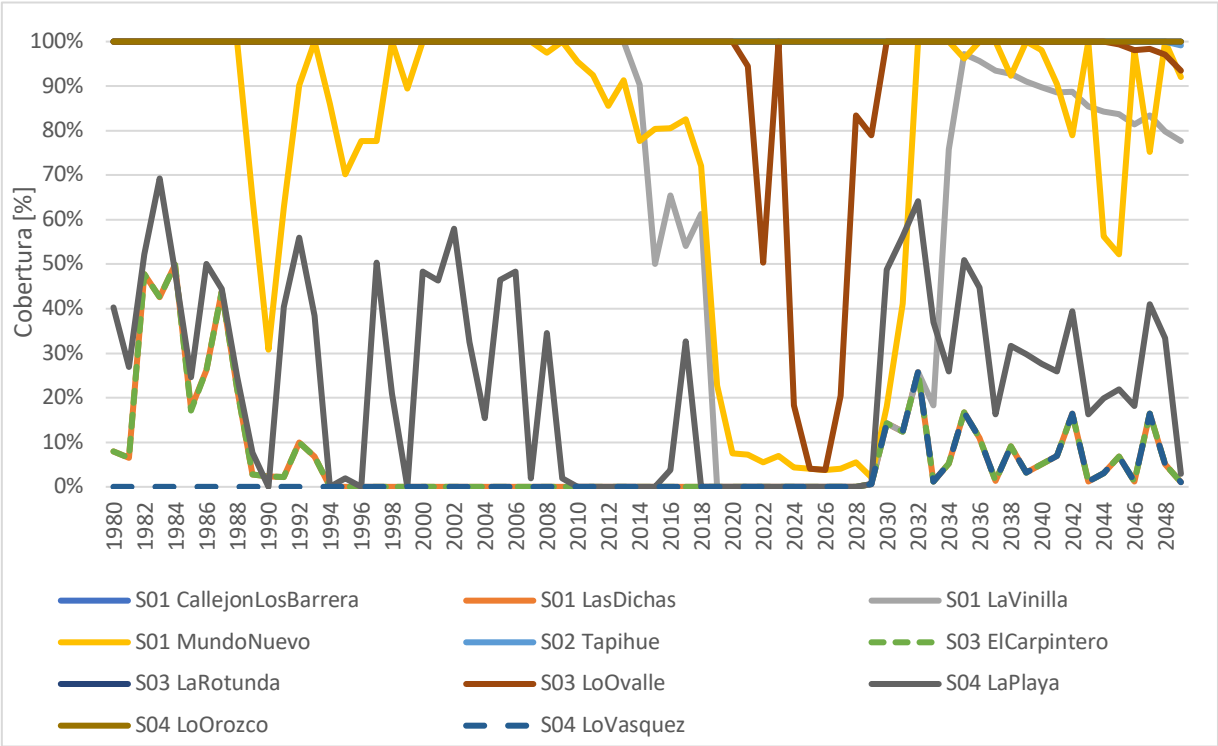


Figura 5-32. Cobertura de la demanda bajo el escenario de PLAN con pozos de APRs de 7m de profundidad.

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 5-15 muestra en forma de promedios decadales, las brechas anuales para los escenarios de pozos, incluido el del PLAN. Es relevante destacar justamente los últimos dos escenarios, en donde las acciones propuestas en el Plan logran disminuir la brecha en más de un 50%, pasando de 0,67 hm³/año a 0,32 hm³/año en promedio para la última década de simulación.

Tabla 5-22. Brechas calculadas de las APR sobre el acuífero (S01 a S04) suponiendo distintas profundidades de pozos (hm³/año)

Década	7m	7m PLAN
1980	0,10	0,10
1990	0,14	0,14
2000	0,15	0,15
2010	0,24	0,24
2020	0,45	0,40
2030	0,53	0,27
2040	0,67	0,32

Fuente: Elaboración propia.

En términos de coberturas, el Plan mejoraría las condiciones generales después de implementarse las acciones descritas anteriormente. La Tabla 5-23 muestra estos resultados donde se ve una mejora importante sobre todo en las últimas dos décadas modeladas.

Tabla 5-23. Tabla comparativa de la Cobertura de la Demanda entre los escenarios con pozos de 7m de profundidad considerando la proyección climática (Futuro Base) pero también las acciones del Plan (PLAN).

Década	Futuro Base	PLAN
1980	67%	67%
1990	59%	59%
2000	62%	62%
2010	50%	50%
2020	19%	28%
2030	19%	58%
2040	12%	58%

Fuente: Elaboración propia.

5.6 Mercado de Aguas

En este acápite se presenta un análisis del mercado de DAA en la cuenca Estero Casablanca. Este análisis presenta la evolución histórica del número de transacciones DAA reportado por el Conservador de Bienes Raíces (CBR) de Casablanca con jurisdicción en las comunas de Casablanca, El Quisco, Algarrobo y Curacaví, publicada en la web DGA y accedida por última vez el 01 marzo 2021. Adicionalmente, se realiza una depuración de los registros y se presenta un análisis de los precios por unidad de caudal y número de transacciones de DAA superficiales y subterráneos. Dado que este análisis se basa principalmente en los

registros reportados por el CBR, es posible que excluya transacciones que no han sido reportadas, lo que podría afectar su representatividad del mercado. Por esta razón se incluye en el análisis una descripción de ofertas de venta de DAA publicadas en sitios especializados.

En los registros reportados por el CBR de Casablanca, se identifica la naturaleza de los traspasos de los DAA, los cuales se pueden clasificar aquellos ligados o no a una transacción económica. De esta manera las inscripciones de tipo "Cesión" y "Herencias" no corresponden a transacciones de mercado, dado que no presentan un intercambio valorado económicamente. Por otra parte, las transacciones que si presentan un intercambio que se puede valorar económicamente son "Compraventa", "Permuta", "Aporte" y "Dación en Pago". Como se menciona en el capítulo 3 y se detalla en el Anexo F sección 4.6, los análisis desarrollados se centran en las transacciones de mercado de tipo "Compraventa", como lo recomienda el estudio DGA (2018c) "Análisis de Mercados de Derechos de Aprovechamiento de Aguas en Chile", SIT N.º 438.

5.6.1 Evolución histórica

A continuación, se presenta la evolución histórica de las transacciones de DAA de la cuenca Estero Casablanca. En la Tabla 5-24 se entrega el número total de registros de transacciones de DAA informadas por el CBR de Casablanca durante el periodo comprendido entre el año 1982 hasta el año 2017, según la "Fecha de Inscripción en CBR". Cabe acotar que los registros de transacciones más recientes corresponden al año 2017, sin esto implicar la no existencia de transacciones entre el 2017-2021, sino una falencia del sistema al no oficializar estas transacciones en tiempos inferiores. Además, desde las actividades de Participación Ciudadana, no fue posible levantar información sobre transacciones de DAA entre 2017 y la 2020.

El total de transacciones identificadas corresponde a 2.685, de las cuales, 1.822 (68%) pertenecen al tipo de fuente subterránea, 618 (23%) corresponden al tipo de fuente superficial y 245 (9%) no indica el tipo de fuente. Es importante señalar que un gran número de registros, tanto para DAA subterráneos como superficiales, no indican características como "Nombre vendedor", "Nombre Comprador" y "Caudal", de hecho, un 74,2% no presenta "Nombre vendedor", 0,5% no presenta "Nombre Comprador" y 5,0% no presenta "Caudal".

Tabla 5-24. Número de transacciones totales y por características no indicadas según naturaleza del DAA en la cuenca Estero Casablanca, años 1982 – 2017.

Naturaleza del DAA	Nº de Transacciones Totales	Nº de transacciones con característica no indicada		
		Nombre vendedor	Nombre Comprador	Caudal
Subterránea	1.822	1.324	12	29

Superficial	618	463	2	46
No indica	245	205	0	60
Total	2.685	1.992	14	135

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

La Figura 5-33 muestra el total de transacciones de DAA entre el 1982 y 2017. En ella se aprecia que la mayor proporción de transacciones registradas se concentra en el periodo 2005 – 2012, siendo las transacciones de DAA de naturaleza subterránea las predominantes a lo largo de los años donde se tiene registro. Posterior a este periodo, en el año 2013 hacia adelante se observa un número de transacciones, reportadas por el CBR de Casablanca, considerablemente inferior, reportándose solo una transacción en el año 2017 y sin reporte alguno posterior a este año. La causa primaria o secundaria de la evolución de las transacciones de 2013 en adelante, no fue posible levantarla desde las actividades de Participación Ciudadana, con lo cual es un aspecto futuro a estudiar.

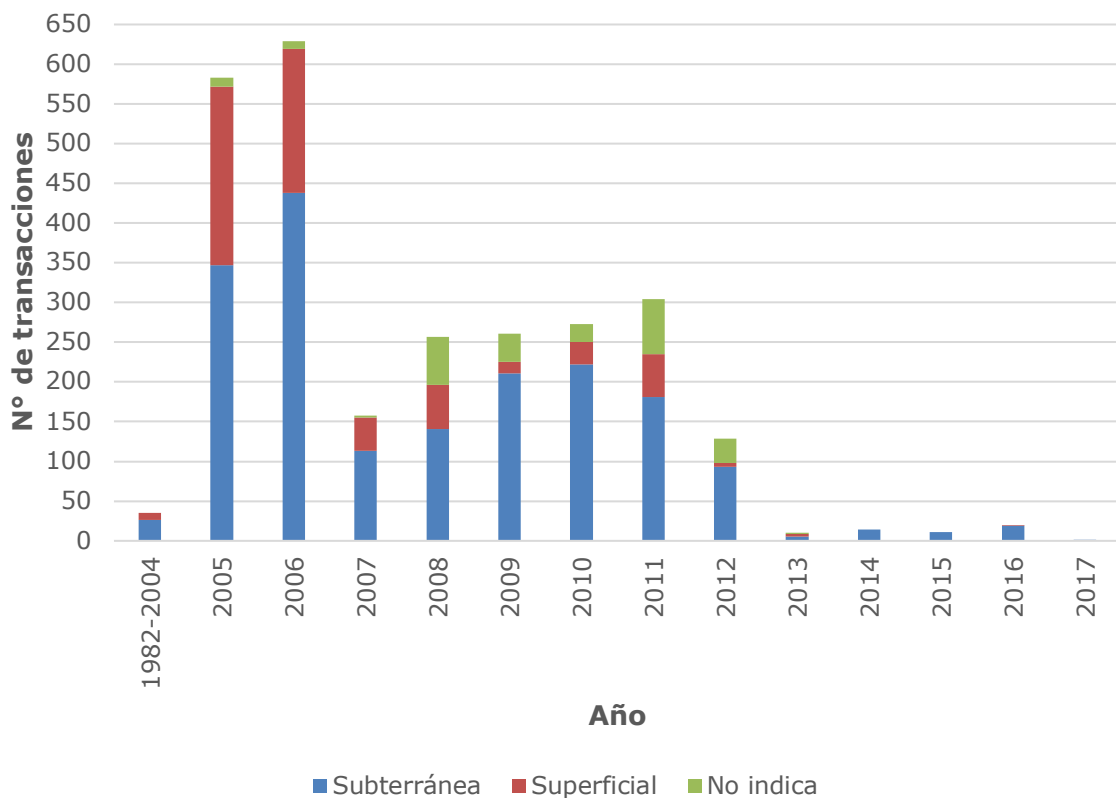


Figura 5-33. Distribución anual del número de DAA transados en Estero Casablanca, periodo de Fecha de Inscripción en CBR entre 1982-2017.

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

5.6.2 Análisis de transacciones depuradas

A partir de los registros del CBR de Casablanca publicada en la web DGA, se estimó el valor de mercado de los DAA. Para ello fue necesario primero depurar la base de datos con el objetivo de descartar registros inconsistentes e incompletos que no contengan los elementos mínimos que permitan calcular el precio por unidad de caudal. El procedimiento y los criterios de depuración se basan en lo señalado en el estudio "Análisis de Mercados de Derechos de Aprovechamiento de Aguas en Chile", SIT N.º 438, diciembre 2018. Los criterios utilizados fueron los siguientes:

- 1) Tipo de transacción sea la Compraventa;
- 2) Los registros tengan información respecto a la naturaleza del agua;
- 3) Tengan información respecto al tipo de ejercicio del derecho;
- 4) Tengan información respecto a caudales promedios;
- 5) Tengan información respecto a montos de transacción total; y
- 6) No tengan asociados a la transacción otros bienes o derechos.

El número de transacciones que cumplieron cada uno de estos criterios se presenta en la Tabla 5-25. En esta se aprecia del total de transacciones en la base de datos inicial (2.685), sólo 1.520 corresponden a transacciones de compraventa y de estas sólo 1.397 indican además la naturaleza del derecho. Una vez aplicados todos los criterios restan 524 transacciones.

Tabla 5-25. Aplicación incremental de criterios de depuración para transacciones en Estero Casablanca.

Criterio de depuración	Número de transacciones
Base de datos inicial	2.685
Compraventa	1.520
Con información de naturaleza	1.397
Con información de tipo de ejercicio	848
Con información de caudal	776
Con información de monto	612
Transacciones sin otros bienes	524
Base de datos depurada	524

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

Las transacciones que quedaron fuera del análisis, según la depuración descrita anteriormente, 2.161 (80,5%) no se consideraron debido a que no cuentan con información

básica de la transacción de un DAA. La Tabla 5-26 muestra el número de transacciones depuradas según tipo de ejercicio del DAA.

Tabla 5-26. Transacciones depuradas por tipo de ejercicio del DAA.

Tipo de ejercicio del DAA	N° de transacciones Subterránea	N° de transacciones Superficial	Total de transacciones
Eventual	0	2	2
Eventual y continuo	0	1	1
Eventual y discontinuo	0	1	1
Permanente	477	45	522
Permanente y alternado	0	0	0
Permanente y continuo	475	45	520
Permanente y discontinuo	2	0	2
Total general	477	47	524
Proporción	91%	9%	100%

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

Cabe mencionar que la base de datos de los registros de transacciones de los DAA obtenida de la web DGA, no cuenta con información sobre la ubicación espacial de estos registros de transacciones, ni con codificación que ayude a asociar la transacción con el DAA. Estos registros solamente presentan información sobre el CBR al cual pertenecen, nombre del comprador y nombre del vendedor.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para las transacciones de derechos de aprovechamientos de aguas subterráneas y superficiales, donde el tipo de transacción es de "Compraventa" y el ejercicio del derecho es "Permanente y Continuo".

5.6.3 Caudales transados

La Figura 5-34 muestra los caudales transados entre el 2005 y 2016 en el Estero Casablanca, de acuerdo con la base de transacciones depurada corresponde a 524 registros.

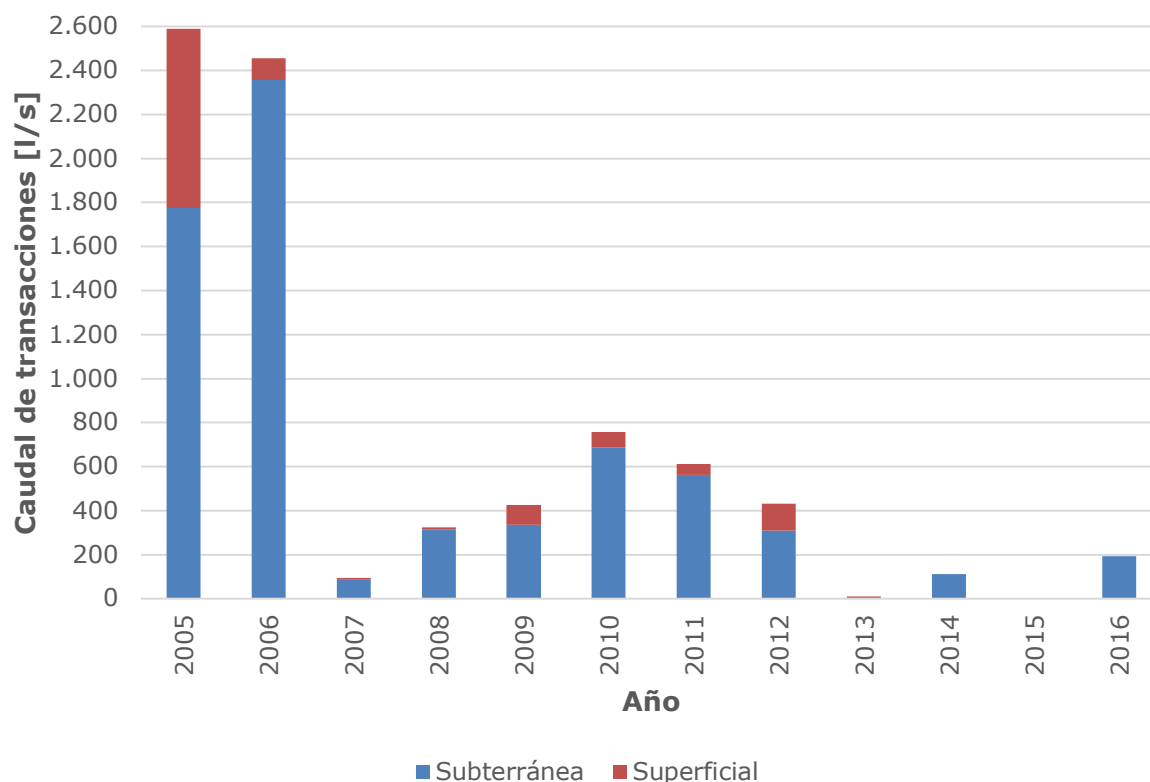


Figura 5-34. Distribución anual del caudal promedio transado en Estero Casablanca, periodo de Fecha de Inscripción en CBR entre 2005-2016.

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

Se observa que en los años 2005 y 2006 se presentan los mayores caudales totales transados. Situación similar a lo presentado en la Figura 5-33 con respecto al número de transacciones totales (no depuradas). Este alto volumen de transacciones y caudales podría en parte responder a una consolidación de la industria vitícola en la cuenca, dada su participación como compradores. De hecho, en la Figura 3-10 del acápite 3.3 se observa que la superficie de viñas y parronales son la categoría (dentro de la superficie agrícola) con mayor superficie, además desde el año 2000 presentan una tendencia al alza.

En la Tabla 5-27 se compara el caudal total de las transacciones depuradas y el caudal total concedido. Los registros de los caudales totales transados se obtienen de la depuración anterior de datos, mientras que para los caudales concedidos se utilizan los datos de la Tabla 4-7 (DAA superficiales) y Tabla 4-16 (DAA subterráneos). Los caudales concedidos para aguas subterráneas son más del triple que los caudales superficiales, en cambio el caudal transado de aguas subterráneas representa más de cinco veces el caudal transado de aguas superficiales. Por otra parte, los caudales transados representan un 77% y 44% del caudal concedido en DAA subterráneas y superficiales, respectivamente. Se debe recordar que estas proporciones no representan el total de transacciones ya que solo se han usado aquellas resultantes del proceso de depuración. Es decir, esta proporción es aún mayor pero no se puede calcular por falta de información en los registros de transacciones.

Por otra parte, es importante tener presente que un mismo derecho puede transarse múltiples veces por lo que estas proporciones deben interpretarse como un indicador de actividad del mercado.

Tabla 5-27. Comparación entre el caudal total concedido y el caudal total de transacciones depuradas en la cuenca Estero Casablanca.

Caudales	Subterráneo [l/s]	Superficial [l/s]	Total [l/s]
Caudal total de transacciones depuradas	6.736	1.268	8.003
Caudal total concedido	8.751	2.858	11.609
Razón (transado/concedido)	0,77	0,44	0,69

Fuente: Elaboración propia, a partir de DGA (2021e; 2020).

Precio por unidad de caudal de los DAA

A continuación, se presentan los resultados del análisis para la estimación de precios por unidad de caudal de los DAA según la naturaleza del agua. Cabe recalcar que, para la estimación de precios por unidad de caudal, litros por segundo (l/s), se realiza un análisis para los DAA a partir de los mismos registros del Conservador de Bienes Raíces de Casablanca publicada en la web DGA, con naturaleza subterránea y superficial, con tipo de transacción "Compraventa", tipo de derechos "Consuntivo" y ejercicio del derecho "Permanente y Continuo".

Como resultado de la depuración de los datos de transacciones de DAA para aguas subterráneas se encontraron 17 valores atípicos¹ (Ver Anexo F, sección 4.6) y 8 valores atípicos para aguas superficiales, los cuales fueron omitidos para los resultados de la Tabla 5-28. Como se aprecia en esta tabla, se obtiene una media y mediana del precio por unidad de caudal de los DAA subterráneas de 554 UF/L/s y 147 UF/L/s respectivamente, y para agua superficial una media y mediana por caudal de 296 UF/L/s y 11 UF/L/s respectivamente.

Tabla 5-28. Resultado de las transacciones de los DAA en Estero Casablanca.

Tipo de Naturaleza de transacciones	Subterráneas	Superficiales
Número de transacciones	475	45

¹ Registros con precio de transacción \$0 y caudales menores a 0,01 L/s

Número de transacciones atípicas	17	8
Media [UF/L/s]	554	296
Mediana [UF/L/s]	147	11

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

Además de las transacciones registradas e informadas por la DGA, existen mercados digitales donde se publican DAA para la compra y venta de estos derechos de manera abierta (mercadohidrico.cl, masrecursosnaturales.cl, aguacircular.cl, gesaguas.cl). Se encontraron un total de 11 ofertas de ventas de derechos de agua consuntivos, de los cuales 8 corresponden a agua subterránea y donde 5 presentan valores de precio. Por otro lado, se encontraron un total de 11 ofertas de ventas de derechos de agua consuntivos, de los cuales 2 corresponden a agua subterránea y esos 2 presentan valores de precio. La Tabla 5-29 muestra estos registros.

Tabla 5-29. Ofertas de venta de DAA en plataformas digitales.

ID	Subterránea		Superficial	
	Caudal [l/s]	Precio por caudal [UF/l/s]	Caudal [l/s]	Precio por caudal [UF/l/s]
1	22,5	292,0	13,3	143,8
2	21,5	226,7	3,0	259,0
3	4,0	191,8	-	-
4	13,3	143,8	-	-
5	3,0	259,0	-	-

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

Por último, cabe mencionar que dentro del estudio DGA (2018c) "Análisis de Mercados de Derechos de Aprovechamiento de Aguas en Chile" se presenta una estimación de precios por unidad de caudal para el acuífero Casablanca, la cual entrega una media de 806 UF/L/s, mediana de 191 UF/L/s y media ponderada por caudal de 149 UF/L/s. Es importante mencionar que la base de datos utilizada en el estudio anteriormente mencionado cuenta con 16 observaciones, lo cual es un número bastante menor al que se cuenta en esta sección, además, el análisis se considera únicamente para el acuífero Casablanca y no para la cuenca completa.

6 ACCIONES DEL PLAN

Las acciones para llevar a cabo en el PEGH buscan cerrar las brechas encontradas en la cuenca en los ámbitos de la coordinación, información y balance hídrico. Estas acciones se abordan desde cuatro categorías Medidas de gestión, Nuevas fuentes de agua, Infraestructura hidráulica y Otras medidas (Ver Figura 6-1). Cada categoría comprende diversas clases, siendo la categoría de Medidas de gestión la que abarca los ámbitos de las brechas de información y coordinación. Así, las brechas encontradas en el ámbito de la coordinación, se abordan desde acciones que propenden a la necesidad de fortalecer la gobernanza e institucionalidad, así como fortalecer y formalizar organizaciones usuarias de agua; en el ámbito de la información se abren dos líneas, una de generación de nueva información disponible tanto para la autoridad como para la comunidad y la segunda de capacitación hacia la comunidad que le permita un empoderamiento informado; y finalmente en el ámbito de las brechas de balance hídrico queda en evidencia una competencia entre los usos agrícola y de consumo humano, de la mano de la falta de gestión; para suplir la escasez hídrica se propone el ingreso de agua a la cuenca desde nuevas fuentes o a través de infraestructura hidráulica construida para este fin y mejoras en la eficiencia en el riego.

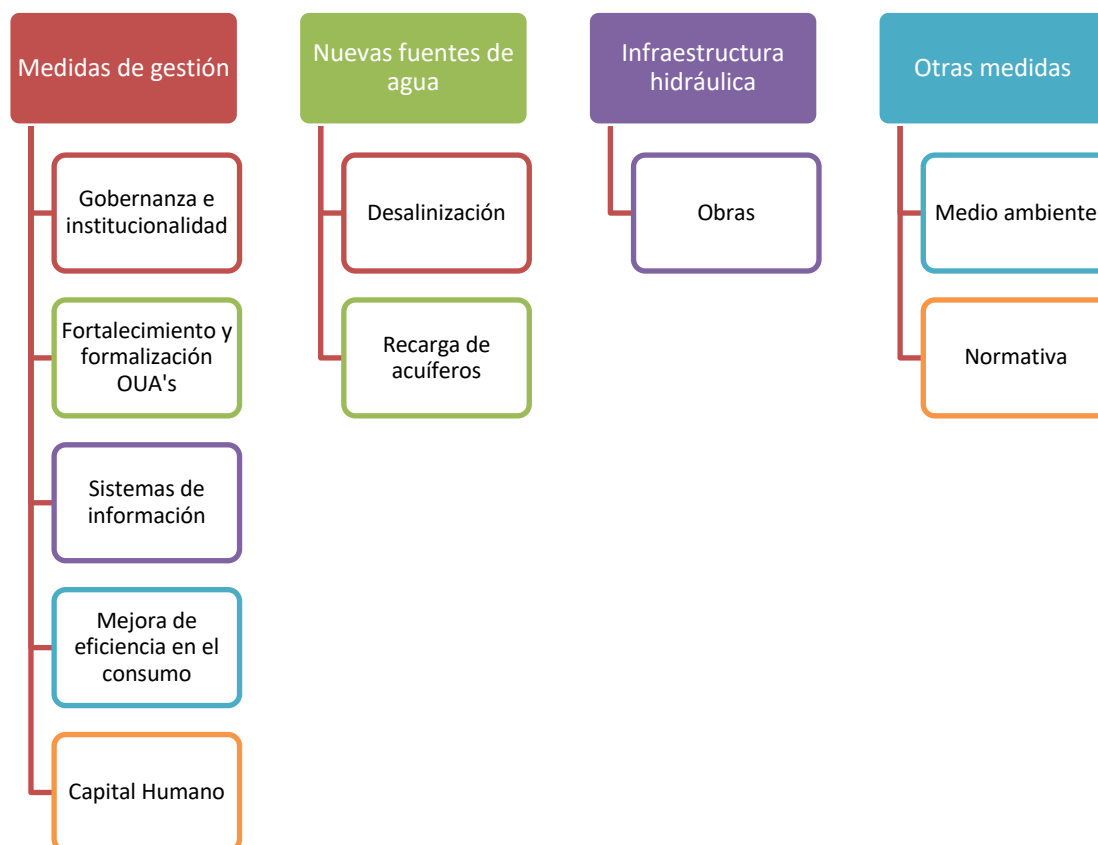


Figura 6-1. Estructura temática de las iniciativas propuestas en el PEGH.

Fuente: Elaboración propia con vista a las Bases Administrativas y Técnicas de este estudio (DGA, 2020b), páginas 112-113 y propio desarrollo del estudio.

En el presente capítulo, se encuentra una síntesis de las iniciativas agrupadas por la estructura temática. La explicación más detallada de las iniciativas se presenta dos documentos: en el Anexo K – Plan de acción donde se describe el objetivo, la brecha, el impacto, las etapas de desarrollo y en el Anexo K.1 – Listado de iniciativas, donde se presenta la ficha técnica de cada una incorporando información sobre instituciones involucradas, horizonte de realización, hitos e indicadores.

Finalmente, es importante remarcar que cada iniciativa surge de la articulación de los objetivos del PEGH con las necesidades levantadas en las diferentes instancias de participación ciudadana, el diagnóstico de la cuenca sustentado desde la descripción y modelación hidrológica y las brechas mismas. Se veló porque su objetivo estuviese además alineado con los requerimientos de la Estrategia Nacional de Recursos Hídricos en materia de la gestión hídrica, con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU y los ejes temáticos de Seguridad Hídrica del Programa Internacional de UNESCO.

A continuación, se presentan de forma abreviada las iniciativas del PEGH.

6.1 Medidas de gestión

Considera todas las acciones en el ámbito de la gobernanza e institucionalidad, fortalecimiento y formalización de OUA's, sistemas de información, mejora de la eficiencia en el consumo y capital humano.

6.1.1 Gobernanza

La literatura en gestión adaptativa apunta hacia la necesidad de contar con múltiples organizaciones con multiplicidad de roles de manera que, si una deja de funcionar, las otras puedan tomar ciertos roles (García *et al.*, 2016; Olsson *et al.*, 2007; Pahl-Wostl, 2006; Rijke *et al.*, 2012). La noción de gobierno como la única autoridad de toma de decisiones ha sido reemplazada por una gobernanza policéntrica, con análisis e integración, multiescala, 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). 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 (Dourojeanni *et al.*, 2010).

Además de la estructura de toma de decisiones, la gestión hídrica sustentable requiere de instituciones y organizaciones fortalecidas, pero flexibles a los cambios. La gestión de la adaptación 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).

En este sentido, las estrategias concretas que serán desarrolladas en acciones para aportar a la institucionalidad del agua a nivel de cuenca responden a las distintas brechas identificadas como parte del diagnóstico realizado. Muchas de ellas están relacionadas, por

lo que una misma acción puede responder a más de una brecha. En la Tabla 6-1 se presentan algunos aspectos de las iniciativas generadas en materia de Gobernanza, y en el anexo K – Plan de Acción (páginas 12-18) se presenta una descripción más detallada, incluyendo descripción y etapas de desarrollo, acompañada de la ficha técnica presente en el Anexo. K.1 – Listado de iniciativas que proporciona información sobre todas las instituciones involucradas, monitoreo y evaluación, e hitos e indicadores.

Respecto a las complejidades asociadas las acciones propuestas en el ámbito de la Gobernanza, es importante mencionar:

- La creación de la Oficina de Asuntos Hídricos si bien se relaciona con diferentes acciones propuestas en el plan, se trata de un ente articulador y traductor entre las diferentes instituciones relacionadas con la gestión del recurso hídrico y la comunidad. Su carácter local facilitará dicha interacción, sin embargo dado que la responsabilidad de su creación y mantenimiento en el tiempo recae sobre la Municipalidad, se hace necesario contar con personal administrativo que efectivamente tenga los conocimientos para dar respuesta a diversas solicitudes. Es esta misma línea, en el recambio de personal, se debe contar con el proceso de traspaso y así evitar pérdida de la continuidad en los procesos abiertos bajo su tutela.
- La creación del Comité para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos a Nivel de Cuenca, se perfila como el ente que por excelencia velará por la gestión integrada, y desde las instancias PAC, es posible respaldar que contará con la participación de la comunidad y diversos actores, en tanto que es una comunidad integrada y que pese a sus diferencias, promueven el trabajo colaborativo y respetuoso. Adicional a esto, es importante el trabajo con el Estado, de tal forma que respalde las acciones que el Comité quiera emprender en la medida que las características técnicas, legales y normativas lo faciliten.
- La inclusión de la disponibilidad hídrica en los instrumentos de ordenamiento territorial llevan consigo varios desafíos, entre ellos trascender el ámbito urbano y comunal e integrar la visión de cuenca en su planteamiento, tener una mirada más crítica a la disposición de la industria, considerando la disponibilidad de recurso hídrico para sus procesos industriales, incorporar la afectación por cambio climático, entre otros aspectos, que le dará robustez a la hora de planificar el territorio.
- Las faenas mineras presentes en la cuenca generan mucha incertidumbre en la comunidad, tal como se levantó en las instancias PAC. Mediante esta acción, se persigue entender el efecto de su presencia en el territorio en términos del recurso hídrico, referente a la cantidad y calidad, pero además generar este acercamiento entre los actores, propendiendo a fortalecer el trabajo conjunto que se realizará desde el Comité para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos a Nivel de Cuenca.

Tabla 6-1. Resumen de las acciones necesarias para disminuir las brechas identificadas sobre la gobernanza en cuenca Estero Casablanca.

CÓDIGO	ACCIÓN	OBJETIVO	BRECHA	INSTITUCIONES RESPONSABLES
AG-01	Creación y Fortalecimiento de la Oficina de Asuntos Hídricos	Generar instancias de gestión hídrica sustentable a través de metas que armonicen objetivos sociales por medio de facilitar el proceso información, denuncia, claridad en las tecnologías, así como también económicos y ambientales para generar encuentros en común entre los diferentes actores que aprovechan el agua.	La principal brecha observada a través de las diferentes instancias del plan es la falta de claridad en el proceso de realización de denuncias y mejorar las Tecnologías de la Información y comunicación para acelerar y mejorar las acciones y procesos correspondientes de la Dirección General de Aguas	Municipalidad
AG-02	Comité para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos a Nivel de Cuenca	Generar instancias de gestión hídrica sustentable a través de metas que armonicen objetivos sociales, económicos y ambientales para generar encuentros en común entre los diferentes actores que aprovechan el agua.	La falta de una organización que genere instancias de trabajo y coordinación entre los diferentes actores de la cuenca y cuyo objetivo principal se centre en la temática del agua.	GORE
AG-03	Ordenamiento territorial para una mejor gestión del recurso hídrico, los riesgos y medidas adaptativas a	Incorporar análisis e indicadores de exposición y vulnerabilidad de la población, infraestructura y sistemas territoriales a eventos climáticos extremos y otros efectos del cambio climático, así también medidas de adaptación y resiliencia en la planificación territorial regional y comunal.	Presión sobre el acuífero y pocos recursos superficiales debido a la expansión inmobiliaria	GORE

CÓDIGO	ACCIÓN	OBJETIVO	BRECHA	INSTITUCIONES RESPONSABLES
	nivel de cuenca			
AG-04	Regularización de cuatro (4) faenas mineras localizadas en la localidad El Batro e identificación del impacto de su operación en humedales	Promover la regularización de actividades mineras desarrolladas en la cuenca, asegurando la gestión hídrica eficiente en el diseño y operación estas	Se han identificado actividades mineras irregulares sin haber predicho el impacto de su actividad sobre los humedales donde se localizan. Por su parte, durante las instancias de participación ciudadana, la comunidad reclama a las autoridades su fiscalización en términos de extracción de recursos hídricos y calidad del agua como producto de su operación.	SEREMI de Minería

Fuente: Elaboración propia a partir de la información contenida en el Anexo K – Plan de acción, Anexo K.1. Listado de iniciativas.

6.1.2 Fortalecimiento de Organizaciones de Usuarios de Agua

Los Organismos Usuarios del Agua presentes en la cuenca Estero Casablanca han participado o llevado a cabo instancias de gestión de recursos hídricos, destacándose organización en torno a los ejes productivo, de servicios y medio ambiental.

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 con las brechas identificadas en este aspecto, se proponen cuatro acciones a implementar en el plan (ver Tabla 6-2), la cuales se desarrollan más en el Anexo K -Plan de Acción (páginas 19-26) presentando la descripción ampliada y se complementa con el Anexo K.1 – Listado de iniciativas con su ficha técnica que incluye las etapas de desarrollo, hitos e indicadores, etapa de monitoreo y evaluación e instituciones involucradas.

Las cuatro acciones de Fortalecimiento de Organizaciones de Usuarios de Agua están encaminadas además de cubrir las brechas identificadas y dar la estructura legal y organizacional al esquema de Gobernanza propuesto para la cuenca (acápites 8.2.2.2). Considerando el nivel de organización presente en la cuenca y de comunicación entre los actores, se espera contar con la colaboración de la comunidad para la creación de las OUA planteadas y se espera un aporte desde el Estado y la Municipalidad de Casablanca en el rol de facilitador para su concreción. Como dificultad está presente la incertidumbre de la población sobre extracciones ilegales de agua, que principalmente se reportan de forma no oficial y están vinculadas al abastecimiento de agua en parcelas de agrado. Bajo esta potencial extracción ilegal, es importante facilitar el acceso a los mecanismos de denuncia y socializar los procesos de seguimiento, tomando relevancia la iniciativa AG-01 y el rol de articulador de la Oficina de Asuntos Hídricos. Otro factor que puede incidir de forma negativa en este fortalecimiento, fue la ausencia de la Municipalidad de Algarrobo en todo el proceso participativo desarrollado, pudiendo generar esto segregación de esta porción de la cuenca estudiada y la no concreción de las acciones debido a esta desvinculación por parte de este organismo.

Tabla 6-2. Resumen de las acciones necesarias para disminuir las brechas identificadas en las OUAs en el Estero Casablanca.

CÓDIGO	ACCIÓN	OBJETIVO	BRECHA	INSTITUCIONES RESPONSABLES
FO-01	Programa de constitución y fortalecimiento de comunidades de aguas subterráneas en la cuenca Estero Casablanca	Propiciar la constitución y posterior registro de las Comunidades de Aguas Subterráneas en el acuífero Casablanca en base a lo establecido en el Código de Aguas, facilitando el fortalecimiento de las capacidades en organización y gestión de la Comunidades de Aguas Subterráneas que se van constituyendo, accediendo a fondos concursables, incorporando sistemas de telemetría a nivel de cuenca, mesas de negociación entre usuarios y coordinación con el Comité de Gestión Integrada de Recursos Hídricos y la Oficina de Asuntos Hídricos.	Inexistencia de comunidades de aguas subterráneas que gestionen y coordinen el aprovechamiento sustentable de las aguas subterráneas en la cuenca Estero Casablanca	CNR
FO-02	Programa de apoyo para el saneamiento y regularización de los derechos de agua de los SSR y títulos de dominio	Brindar apoyo legal para el saneamiento de los DAA títulos de dominio y servidumbres prediales, a través de consultorías individuales que orienten a cada SSR a la resolución de su situación en particular.	Actualmente existen SSR (ex APR) sin derechos regularizados y sin regularizar sus títulos de dominio y servidumbres prediales	DOH
FO-03	Programa de apoyo legal y técnico para la conformación y operación de una Junta de Vigilancia en la	Conformar una (1) Junta de vigilancia en la cuenca Estero Casablanca	Inexistencia de una Junta de Vigilancia que agrupe las diferentes asociaciones de canalistas existentes a la fecha y por conformarse, así como las CAS y todas las	DGA

CÓDIGO	ACCIÓN	OBJETIVO	BRECHA	INSTITUCIONES RESPONSABLES
	cuenca Estero Casablanca y sus afluentes		organizaciones de usuarios de agua. Esta organización será el espacio para generar instancias de trabajo y coordinación entre los diferentes actores de la cuenca y cuyo objetivo principal se centre en la temática del agua	
FO-04	Constitución y fortalecimiento de Asociación de Canalistas	Administrar y distribuir las aguas extraídas y conducida por los canales proyectados entre sus miembros y resolver conflictos de estos entre sí o entre ellos y la organización	Necesidad de creación de dos (2) asociaciones de canalistas vinculadas a las iniciativas de ingreso de nuevas fuentes de agua por desalación (FA-01) y trasvase a través del Canal de la Prosperidad (OH-01) y fortalecimiento de estas nuevas asociaciones y las 4 existentes en la cuenca.	CNR

Fuente: Elaboración propia a partir de la información contenida en el Anexo K – Plan de acción, Anexo K.1. Listado de iniciativas.

6.1.3 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 en la cuenca, por ejemplo, hay desconocimiento de la calidad del agua superficial y subterránea de forma continua a lo largo de toda la cuenca y en especial en los humedales costeros, así mismo, no se dispone de estaciones fluviométricas en las desembocaduras que permitan conocer el caudal que alimenta a los humedales costeros de Quintay y Tunquén. Por otro lado, es recurrente la solicitud de la comunidad de mayor fiscalización y mecanismos claros y accesibles para todos los miembros de la comunidad.

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, de forma sintética se presentan en la Tabla 6-3, acompañada de una descripción más detallada en el Anexo K -Plan de Acción, numeral 2.3 Sistemas de información (páginas 24-28) y complementada con el Anexo K.1 – Listado de iniciativas mediante su ficha técnica.

La iniciativa SI-01 requiere desde luego que permanezca la intención de continuidad del programa de monitoreo plurianual por parte de la DGA y DOH. Sin embargo, el aumento de la frecuencia y puntos a monitorear es un aspecto que debe consensuarse entre ambas instituciones, y en la medida de lo posible, se considere en esta decisión la relevancia de estos humedales como objeto de protección por parte de la comunidad.

En el caso de la iniciativa SI-02, es una necesidad directa de todos los actores beneficiarios del PEGH acceder a la información técnica derivada de este Sin embargo, este programa debe tener la capacidad de transmitir información a público objetivo con diferentes capacidades técnicas. Dentro de la misma iniciativa y considerando su enfoque de conocer los mejores lugares a reforestar en la cuenca para la preservación del recurso hídrico, es una apuesta que tendría un impacto a nivel no solo de esta cuenca en particular, dado que la reforestación o forestación es materia de cierto nivel de complejidad desde la modelación misma y a nivel país. En particular el modelo WEAP no permite estudiar el fenómeno físico en sí mismo, pero si su conceptualización y obtener volúmenes de referencia que puedan incorporarse en la cuenca si se reforesta.

Finalmente, la iniciativa SI-03 implica un nivel de organización importante orientado a la capacitación a la comunidad en materias técnicas y a mantener el interés de la misma en el desarrollo de los monitoreos participativos y perpetuar su realización con la rigurosidad que se necesita.

Tabla 6-3. Resumen de las acciones identificadas sobre la carencia de información para la caracterización del recurso hídrico en el Estero Casablanca.

CÓDIGO	ACCIÓN	OBJETIVO	BRECHA	INSTITUCIONES RESPONSABLES
SI-01	Ampliación y fortalecimiento del actual programa de monitoreo de calidad de agua incorporando el monitoreo de calidad de agua superficial en los sectores de Quintay y Tunquén y adicionando al actual monitoreo de aguas subterráneas los sectores de Las Dichas y aguas arriba de las desembocaduras de los esteros El Jote y Casablanca	Ampliar el actual programa de monitoreo plurianual de aguas subterráneas agregando monitoreo de calidad del agua superficial, incrementado su frecuencia de medición a un muestreo anual e incorporando al conjunto actual de parámetros medidos, coliformes fecales y totales. Poner a disposición los resultados de las mediciones en la plataforma de monitoreo ciudadano (iniciativa SI-03) y en la plataforma DGA.	Desconocimiento de la calidad de agua superficial y subterránea de forma sistemática en el tiempo y con cobertura espacial completa sobre la cuenca Estero Casablanca, limitando así la disponibilidad del recurso hídrico, en especial en las localidades de Quintay y Tunquén a nivel superficial y subterráneo y en el sector de Las Dichas a nivel superficial.	DGA
SI-02	Programa de capacitación y divulgación del conocimiento sobre la actualización de la modelación hidrológica integrada enfocada al efecto de la provisión hídrica y recarga en el acuífero producto de la conservación de la biodiversidad.	Incrementar el conocimiento de la relación de la recarga de acuífero sobre la provisión hídrica con especial énfasis en las actuales zonas bajo alguna categoría de conservación y potenciales áreas	Falta conocimiento de cómo afecta la degradación de ladera en el balance hídrico de la cuenca Estero Casablanca y el conocimiento del caudal ecológico en diferentes puntos de la cuenca al cual se debe propender	DGA

CÓDIGO	ACCIÓN	OBJETIVO	BRECHA	INSTITUCIONES RESPONSABLES
		reforestar en la cuenca Estero Casablanca.		
SI-03	Monitoreo desde la participación ciudadana	Generar sistemática y analíticamente información en base a la evidencia a través de mediciones físico-químicas del agua (pH, turbidez, temperatura, etc.) registradas por personas que no son científicas ni expertas en el tema.	Se evidencia ausencia de conocimiento de cómo monitorear el uso de agua que se está realizando en el territorio.	GORE

Fuente: Elaboración propia a partir de la información contenida en el Anexo K – Plan de acción, Anexo K.1. Listado de iniciativas.

6.1.4 Mejoras de eficiencia

Debido al estado deficitario de la cuenca y la importancia que presenta la agricultura en esta, es necesario mejorar la eficiencia de riego, tanto en su conducción como en la tecnología de riego. En la Tabla 6-4 se presenta un resumen de las características de esta iniciativa, sin embargo, la explicación más detallada se encuentra en el Anexo K – Plan de acción (página 31-32), acompañado de su ficha técnica presente en el Anexo K.1 – Listado de acciones. Esta iniciativa presenta un desafío importante vinculado a los pequeños agricultores, en los ámbitos de la generación de las capacidades técnicas para su correcto funcionamiento y económicas para su mantenimiento. En este caso, se esperaría que desde la CNR e INDAP se generen los mecanismos orientados a fortalecer estos dos aspectos y garantizar la mejora continua de los sistemas tecnificados.

Tabla 6-4. Resumen de la acción necesaria sobre el aumento en la eficiencia de riego identificada sobre la demanda insatisfecha en el Estero Casablanca.

CÓDIGO	ACCIÓN	OBJETIVO	BRECHA	INSTITUCIONES RESPONSABLES
ME-01	Tecnificación del riego	Incrementar a un 95% la eficiencia del uso del agua mediante la tecnificación de los mecanismos de riego	Suplir Demanda agrícola insatisfecha al año 2019 igual a 8,2 hm ³	CNR

Fuente: Elaboración propia a partir de la información contenida en el Anexo K – Plan de acción, Anexo K.1. Listado de iniciativas.

6.1.5 Capital humano

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

En este sentido, las acciones que se proponen en Capital Humano abordan la educación y la capacitación (ver Tabla 6-5) orientadas a la conservación de los ecosistemas y recursos hídricos y acompañamiento en el fortalecimiento de las OUA. En el Anexo K – Plan de acción, se presenta la explicación detallada en las páginas 33 a 35, acompañada de la ficha técnica presente en el Anexo K.1 – Listado de iniciativas.

- Educación ambiental para la conservación de los ecosistemas y recursos hídricos desde una mirada ecohidrológica.
- Programa de acompañamiento continuo a SSR.

Tabla 6-5. Resumen de las acciones identificadas sobre las debilidades en capital humano asociadas a OUA el Estero Casablanca.

CÓDIGO	ACCIÓN	OBJETIVO	BRECHA	INSTITUCIONES RESPONSABLES
CH-01	Educación ambiental para la conservación de los ecosistemas y recursos hídricos desde una mirada ecohidrológica	Fundar conocimiento sobre temáticas que aborden aspectos del ciclo hidrológico, orientados a lograr una seguridad hídrica, tales como uso eficiente del agua, soluciones basadas en la naturaleza, ecohidrología, calidad del agua.	Desconocimiento de las medidas o acciones que puede tomar la ciudadanía para hacer un uso eficiente y sostenible del recurso hídrico	Municipalidad
CH-02	Programa de acompañamiento continuo a SSR	Fomentar el aprendizaje mutuo entre SSR en distintos niveles organizativos para fortalecer la capacidad de gestión de las organizaciones de usuarios más débiles y nuevas.	Limitadas iniciativas de fortalecimiento y formación de capital humano en las SSR.	DOH

Fuente: Elaboración propia a partir de la información contenida en el Anexo K – Plan de acción, Anexo K.1. Listado de iniciativas.

6.2 Nuevas fuentes de agua

La 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. Por parte de la comunidad se ve como opción la entrada de agua en la cuenca proveniente de desalación, manifestando además la necesidad de claridad en el proceso de depositación de los residuos de su operación.

- Incorporación de agua a la cuenca Estero Casablanca a través de proceso de desalación (ver Tabla 6-6). Esta iniciativa, desde las actividades de participación ciudadana presentó comunidad partidaria y detractora. En particular las aprehensiones provenían desde el potencial impacto ambiental sobre los ecosistemas marinos y costeros del entorno. Sin embargo, en las conversaciones, nunca se manifestó opiniones sobre los potenciales elevados costos tarifarios, operacionales, ni los beneficiarios; en este sentido, la gobernanza en la cuenca juega un rol fundamental para dar el correcto destino final a este nuevo aporte hídrico.

Por otro lado, dada las condiciones particulares de la cuenca, donde la única entrada es la precipitación, no hay presencia de glaciares, y la sequía está en aumento, obliga a la necesidad de generar todas las instancias posibles para realizar la infiltración y recarga al acuífero. En este sentido, se propone una solución basada en la naturaleza en donde se facilite la infiltración mediante sistemas y procesos naturales, de alta eficiencia, fácil de implementación y mantención.

En la cuenca, las zonas de ladera son lugares donde se produce la mayor infiltración, lo cual combinado con procesos de reforestación o forestación favorecerán el proceso de recarga del acuífero. Así la acción propuesta es:

- Recarga de acuíferos basada en sistema combinado de cosecha de aguas como zanjas de infiltración y reforestación o forestación en zonas clave como laderas, piedemonte y zona ripariana (ver Tabla 6-6).

Ambas iniciativas se describen de forma más detallada en el Anexo K – Plan de acción (páginas 37-39), complementado con la ficha técnica presente en el Anexo K.1 – Listado de iniciativas.

Tabla 6-6. Resumen de las acciones necesarias sobre la incorporación de nuevas fuentes identificadas sobre la demanda insatisfecha en el Estero Casablanca.

CÓDIGO	ACCIÓN	OBJETIVO	BRECHA	INSTITUCIONES RESPONSABLES
FA-01	Incorporación de agua a la cuenca Estero Casablanca a través de proceso de desalación	Evaluar la factibilidad de incorporar 0,3 m ³ /s de agua proveniente de desalación	Suplir demanda APRs insatisfecha al año 2019 igual a 0,11 hm ³ . También suplir demanda agrícola bajo riego para el año 2019 de 8,2 hm ³	DOH
RA-01	Recarga de acuíferos basada en sistema combinados de cosecha de aguas como zanjas de infiltración y reforestación o forestación en zonas clave como laderas, piedemonte y zona ripariana	Apoyar a diferentes sectores en la implementación y desarrollo de obras para recarga de acuífero, en especial en el SHAC La Vinilla-Casablanca, mediante la construcción de zanjas de infiltración (698 ha) en conjunto con medidas de forestación o reforestación en zonas clave de la cuenca, con el fin de recuperar la capacidad de almacenamiento de agua subterránea, favoreciendo la necesidad de obtener agua consumo humano y actividades productivas como la agricultura, ganadería y otros en el largo plazo. La zona de recarga se definiría dentro del desarrollo de la iniciativa.	El acuífero está en descenso sostenido desde 2006 en especial el sector de La Vinilla-Casablanca y se ha acentuado la pérdida de bosque nativo respecto de la condición prístina definida por la plataforma Gloric	DOH

Fuente: Elaboración propia a partir de la información contenida en el Anexo K – Plan de acción, Anexo K.1. Listado de iniciativas.

6.3 Infraestructura hidráulica

La cuenca como se ha mencionado es altamente deficitaria en el recurso hídrico. Al ser una cuenca cerrada donde el único ingreso de agua es vía precipitación, el déficit acentúa aún más por un efecto sinérgico entre el cambio climático y la intervención antrópica debido a la sobreexplotación.

Dado lo anterior, desde los años 30 se visualizaba el trasvase de agua como una alternativa plausible de implementar para paliar los efectos del déficit hídrico. Sin embargo, para la real consideración de esta iniciativa, se debe tomar en cuenta la situación hídrica de la cuenca fuente y aspectos legales como la compra de los derechos de aprovechamiento y la no constitución de caudales de reserva. En el caso de ser favorable la entrega de agua a la cuenca, la priorización de su uso final debería recaer en el Estado, considerando la visión del Comité para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos a Nivel de Cuenca sobre las necesidades de la cuenca. En la Tabla 6-7 se presenta el objetivo de la acción y la brecha a cerrar, la cual en este caso es cerrar la brecha agrícola. La acción propuesta es:

- Traslase Canal La Prosperidad.

El detalle de esta iniciativa se presenta en el Anexo K – Plan de acción (página 40-41), y su ficha técnica en el Anexo K.1 – Listado de iniciativas.

Tabla 6-7. Resumen de la acción necesaria sobre el desarrollo de infraestructura hidráulica que permita disminuir la demanda insatisfecha en el Estero Casablanca.

CÓDIGO	ACCIÓN	OBJETIVO	BRECHA	INSTITUCIONES RESPONSABLES
OH-01	Trasvase de cuenca a través del Canal La Prosperidad	Evaluar la factibilidad de incorporar 0,787 m ³ /s de agua proveniente de otra cuenca (Maipo)	Suplir Demanda agrícola bajo riego insatisfecha al año 2019 igual a 8,2 hm ³	DOH

Fuente: Elaboración propia a partir de la información contenida en el Anexo K – Plan de acción, Anexo K.1. Listado de iniciativas.

6.4 Otras medidas

La gestión integrada involucra pilares fundamentales como son el medio ambiente (conocimiento, preservación, protección), propuestas de normativas más robustas que incluyan de forma explícita la gestión integrada del recurso hídrico, entre otras.

En este sentido, en la Tabla 6-8 se presenta un resumen de las acciones propuestas en medio ambiente y normativa, mientras que el detalle se encuentra en el Anexo K – Plan de acción (página 42-47), y su ficha técnica en el Anexo K.1 – Listado de iniciativas.

- Creación de sistema integrado de gestión de destinos turísticos desde la perspectiva integradora de la ecohidrología considerando el paisaje como eje estructurante de la diversidad biológica, hidrológica y sociocultural. La cuenca del Estero Casablanca es un destino turístico de relevancia internacional, con lo cual es interés mantener este sector alineado con los cambiantes conceptos de turismo tradicional a turismo sustentable, en concreto con iniciativas como “Compromiso de Turismo Sustentable” liderada por SERNATUR y en concordancia con los Objetivos de Desarrollo Sustentable que promueven el uso racional del agua, protección de la biodiversidad y vinculación con el entorno.
- Propuesta y estudios de caudal ambiental en los cursos fluviales (humedales tipo esorrentía) que desembocan en los humedales costeros de Quintay y Tunquén. La comunidad en las instancias PAC ha solicitado la estimación y respeto de dichos caudales, en tanto es de interés la preservación de estos ecosistemas. Sin embargo, se ha manifestado también el desencuentro con los complejos habitacionales que se abastecen de agua, aguas arriba de dichos humedales, generándose incertidumbre sobre la verdadera extracción e incerteza sobre el impacto ambiental que genera. Esta iniciativa, sería un pilar para esclarecer estas temáticas y definir de forma técnica los requerimientos de estos ecosistemas.
- Protección de ecosistemas terrestres y acuáticos mediante mecanismos normativos que aseguren la conservación de la biodiversidad, servicios ecosistémicos y provisión hídrica. La comunidad ha señalado la necesidad de proteger sus ecosistemas terrestres mediante mecanismos superiores jerárquicamente hablando, respecto de las instancias de protección que pueda ejercer el Servicio de Evaluación Ambiental a proyectos que ingresen a evaluación. Se genera en este sentido una confrontación entre la comunidad ambientalista y sociedad civil con el sector energético (campos eólicos) e inmobiliario principalmente, quedando en manos del Estado la decisión de acoger a protección o no estos ecosistemas.

Tabla 6-8. Resumen de las acciones identificadas sobre las debilidades asociadas a medio ambiente y normatividad, entre otros en el Estero Casablanca.

CÓDIGO	ACCIÓN	OBJETIVO	BRECHA	INSTITUCIONES RESPONSABLES
OM-01	Creación de sistema integrado de gestión de destinos turísticos desde la perspectiva integradora de la ecohidrología considerando el paisaje como eje estructurante de la diversidad biológica, hidrológica y sociocultural.	Elaborar un sistema de gestión integrada de áreas turísticas que estén amenazadas por los impactos del cambio climático, la megasequía y el descenso sostenido del acuífero Casablanca, incorporando en el plan de acción del ZOIT coordinado por la mesa público-privada regional y comunal, la variable hídrica como relevante en el desarrollo del plan.	La comuna tiene una fuerte componente turística que depende de los recursos hídricos y vinculada principalmente con el sector vitivinícola, actividades culturales, religiosas, actividades vinculadas a los humedales costeros de Quintay y Tunquén y la oferta deportiva en los tranques (humedales) de Lo Orozco y Lo Ovalle. Todos estos usos fuertemente dependientes de la disponibilidad del recurso, su gestión y representando un sector económico importante en la cuenca.	GORE
OM-02	Propuesta y estudios de caudal ambiental en los cursos fluviales (humedales tipo escorrentía) que desembocan en los humedales costeros de Quintay y Tunquén	Proponer acciones de recuperación y conservación de ríos (en su concepto de humedal), con el fin de avanzar en una propuesta de definición en primera instancia de caudales ecológicos y posteriormente de caudales ambientales y contar con mayores estudios respecto del tema.	Se desconoce tanto el valor del caudal ecológico y ambiental en el estero El Jote antes de desembocar en el humedal Quintay y en el Estero Casablanca antes de la desembocadura en el humedal de Tunquén y requeridos para asegurar un mantenimiento ecológico de dichos humedales.	MMA

CÓDIGO	ACCIÓN	OBJETIVO	BRECHA	INSTITUCIONES RESPONSABLES
OM-03	Protección de ecosistemas terrestres y acuáticos mediante mecanismos normativos que aseguren la conservación de la biodiversidad, servicios ecosistémicos y provisión hídrica, tales como la declaración de las áreas a proteger bajo alguna categoría SNASPE o futura SBAP.	Conservar de forma efectiva legalmente las áreas de conservación de Sitios Prioritarios, Santuarios de la Naturaleza, Zona de amortiguamiento y transición de la Reserva de la Biosfera Campana - Peñuelas, que constituye el 68% de la cuenca (47.185 ha), mediante el establecimiento mecanismos normativos que otorguen mayor valor legal a las actuales áreas de conservación para ejercer el rol de conservar los ecosistemas terrestres y acuáticos, entre ellos los humedales y contribuir a la seguridad hídrica futura especialmente en el contexto de cambio climático.	Existe más del 60% del área de la cuenca Estero Casablanca bajo alguna categoría de conservación, sin efecto normativo que garantice la conservación de los ecosistemas terrestres y acuáticos.	MMA

Fuente: Elaboración propia a partir de la información contenida en el Anexo K – Plan de acción, Anexo K.1. Listado de iniciativas

7 CARTERA DE INICIATIVAS PROPUESTAS

Las acciones mencionadas en este PEGH son una selección de acciones identificadas a partir del trabajo interdisciplinario de los investigadores del estudio 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 Beneficio percibido desde los actores locales) para ayudar en la distribución de las acciones en el tiempo; en la Figura 7-1 se resume el significado de cada criterio empleado para la priorización de las iniciativas.



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

Fuente: Elaboración propia a partir del consenso de los especialistas.

A continuación, se describen los conceptos empleados en la priorización de propuestas de acciones. En el Anexo K.3 – Priorización, se encuentra la aplicación de dichos conceptos, aplicados a las iniciativas en estudio:

- **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 exclusiva 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 K – Plan de acción, Anexo K.1 – Listado iniciativas). En el caso de las acciones que cierran la brecha en demanda hídrica, se consideró la siguiente categorización:
 - **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 a través las diferentes instancias de participación ciudadana.
- **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, Medio 99999 UF y Bajo 9999 UF.
- **Tiempo de implementación:** información estimada en las fichas en una escala de corto, medio y largo plazo en el cual espera se dé inicio a su implementación, que en algunos casos involucra su operación y vida útil de la acción.
 - **Corto plazo:** a implementarse entre los años 1 y 2 del plan.
 - **Mediano plazo:** a implementarse entre los años 2 a 5 años del plan.
 - **Largo plazo:** a implementarse entre los años 5 a 10 del plan.
- **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 de 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 relevantes 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 Tabla 7-1:

Tabla 7-1. Regla de priorización de las acciones.

Impacto en la brecha específica (ALTO, MEDIO, BAJO)	Beneficio percibido por actores locales (ALTO, MEDIO, BAJO)	Costo de implementación y operación (ALTO, MEDIO, BAJO)	Tiempo de implementación (CORTO, MEDIO, LARGO)	Prioridad
ALTO	ALTO	No se considera	No se considera	ALTA
ALTO	MEDIO	BAJO, MEDIO	No se considera	ALTA
ALTO	MEDIO	ALTO	CORTO, MEDIO	ALTA
ALTO	MEDIO	ALTO	LARGO	MEDIA
ALTO	BAJO	BAJO, MEDIO	No se considera	MEDIA
ALTO	BAJO	ALTO	CORTO, MEDIO	MEDIA
ALTO	BAJO	ALTO	LARGO	BAJA
MEDIO	ALTO	BAJO, MEDIO	No se considera	ALTA
MEDIO	ALTO	ALTO	No se considera	MEDIA
MEDIO	MEDIO	BAJO, MEDIO	No se considera	MEDIA
MEDIO	MEDIO	ALTO	CORTO, MEDIO	MEDIA
MEDIO	MEDIO	ALTO	LARGO	BAJA
MEDIO	BAJO	BAJO, MEDIO	No se considera	MEDIA
MEDIO	BAJO	ALTO	No se considera	BAJA
BAJO	ALTO	BAJO, MEDIO	No se considera	MEDIA
BAJO	ALTO	ALTO	No se considera	BAJA
BAJO	MEDIO, BAJO	No se considera	No se considera	BAJA

Fuente: Elaboración propia a partir de consenso entre especialistas.

7.1 Impacto sobre la brecha

El impacto sobre la brecha se entiende como el aporte cuantitativo de disminución de la brecha debido a la implementación de la acción. Las brechas han sido explicadas en profundidad en el acápite 2.7.2.

Para evaluar el comportamiento de la cuenca en el escenario futuro (2020-2050), se utilizó como indicador la cobertura de la demanda y las brechas. La Tabla 7-4 muestra las nuevas brechas y coberturas de la demanda obtenidas al simular el futuro, considerando el escenario Plan.

Tabla 7-2. Brechas y cobertura de la demanda determinadas en la cuenca para los escenarios Futura Base MIROC y PLAN, valores promedio década 2040.

Escenario	Brecha [hm ³ /año]		Cobertura de la demanda [%]		Variación acuífero [hm ³ /año] (año base: 2019)
	Agrícola	APR*	Agrícola	APR	
Futuro base	7,45	0,55	88,5%	16,8%	-5,26
Plan	6,42	0,33	89,5%	48,0%	0,96

**En base al escenario suponiendo pozos de 7m de profundidad.*

Fuente: Elaboración propia a partir del modelo acoplado WEAP-MODFLOW.

Las brechas han sido explicadas en profundidad en el acápite 5.4 y 5.5, detallando las brechas de coordinación, información y balance hídrico, su origen y consecuencias visibles en la cuenca y los actores.

La evaluación de este criterio requiere de mayor conocimiento sobre el PEGH y cómo cada acción se inserta en él para disminuir una brecha determinada. Lo anterior, ya que puede darse el caso de una acción que implica bajo impacto sobre una brecha, sin embargo, su ejecución es crucial para el desarrollo de otra que sí tiene acción directa sobre la brecha. Por ejemplo, las acciones de Gobernanza y Fortalecimiento de OUA en este PEGH se van desarrollando, algunas de forma consecutiva, para cerrar la brecha que se evidenció en coordinación, así todas tienen un impacto Alto en la brecha de coordinación.

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.

7.2 Beneficio percibido por los actores locales

De igual forma que la evaluación del impacto, se desarrolló la percepción de la aceptación de las medidas por parte de los actores locales, a partir del análisis de las instancias de participación ciudadana (Anexo I – Detalle procesos participativos). Este criterio contabiliza la frecuencia con que estas soluciones eran incorporadas por los propios participantes en las distintas instancias participativas y fue posible estimarlo a través de la respuesta obtenida correspondientes a formularios online enviados a dichos actores.

7.3 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, la cual se puede encontrar en el Anexo K.2 – Evaluación económica donde se evaluó el CAPEX (abreviación del inglés *Capital Expenditure*) que se refiere a la inversión de capital necesario para llevar a cabo la medida, es decir gastos 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.

En la Figura 7-2 se presentan los pasos a seguir para determinar el CAPEX y OPEX que en su conjunto constituyen la evaluación económica de las iniciativas, cuya metodología se puede encontrar en el Anexo F – Aspectos metodológicos (acápito 4.7.1 Evaluación económica de iniciativas). 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 hicieron 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 del costo asociado a la implementación de las medidas por lo que no se deben interpretar como una evaluación económica detallada de las mismas.

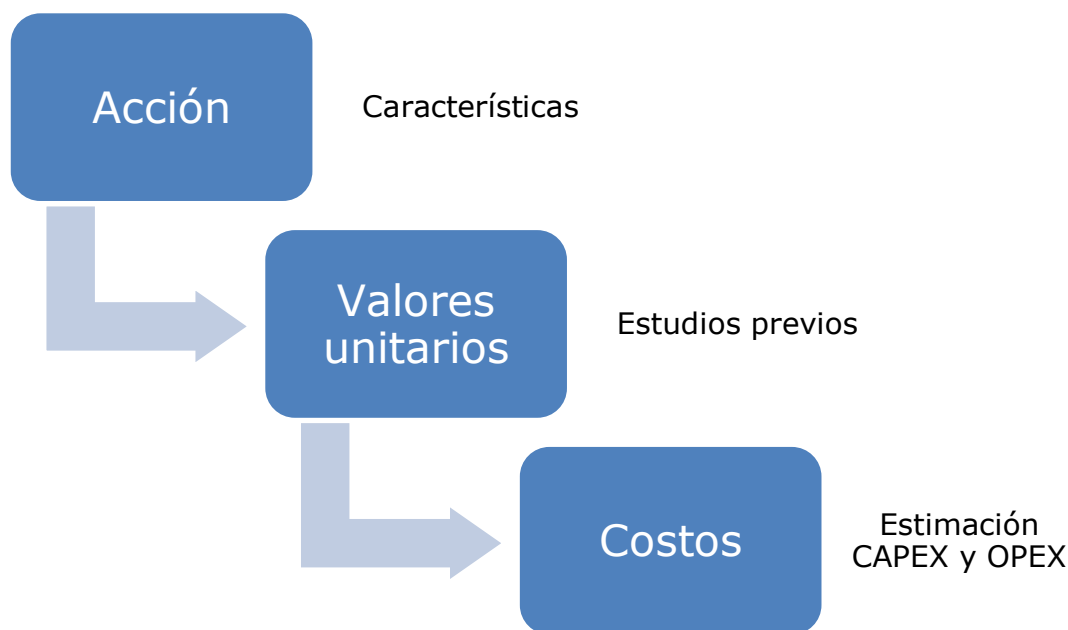


Figura 7-2. Metodología de obtención del CAPEX (Capital Expenditure) y OPEX (Operational Expenses).

Fuente: Elaboración propia a partir del Anexo F – Aspectos metodológicos, acápite 4.7.

7.4 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, se incorpora el Canal de La Prosperidad como alternativa seleccionada, dado que según el escenario de modelación aumenta la confiabilidad de abastecimiento de la demanda de agua potable y agrícola pese a la incertidumbre de los aspectos legales y disponibilidad real del recurso hídrico en la cuenca del Río Maipo.

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. El desarrollo paso a paso de la priorización se presenta en el Anexo K.3 – Priorización, cuyos resultados se presentan en la Tabla 7-3.

Tabla 7-3. Priorización de las iniciativas definidas.

CÓDIGO	ACCIÓN	PRIORIZACIÓN
AG-01	Creación y fortalecimiento de la Oficina de Asuntos Hídricos	Alta
AG-03	Ordenamiento territorial para una mejor gestión del recurso hídrico, los riesgos y medidas adaptativas a nivel de cuenca	Alta
AG-04	Regularización de cuatro (4) faenas mineras localizadas en la localidad El Batro e identificación del impacto de su operación en humedales	Alta
FO-01	Programa de constitución y fortalecimiento de comunidades de aguas subterráneas en la cuenca Estero Casablanca	Alta
FO-02	Programa de apoyo para el saneamiento y regularización de los derechos de agua de los SSR y títulos de dominio	Alta
FO-03	Programa de apoyo legal y técnico para la conformación y operación de las Juntas de Vigilancia en la cuenca Estero Casablanca y sus afluentes	Alta

CÓDIGO	ACCIÓN	PRIORIZACIÓN
SI-02	Programa de capacitación y divulgación del conocimiento sobre la actualización de la modelación hidrológica integrada enfocada al efecto de la provisión hídrica y recarga del acuífero producto de la conservación de la biodiversidad, así como también la modelación del caudal ecológico en puntos estratégicos de la cuenca.	Alta
SI-03	Monitoreo desde la participación ciudadana	Alta
CH-01	Educación ambiental para la conservación de los ecosistemas y recursos hídricos desde una mirada ecohidrológica	Alta
AG-02	Comité para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos a Nivel de Cuenca	Media
FO-04	Constitución y fortalecimiento de Asociación de Canalistas	Media
ME-01	Tecnificación riego	Media
SI-01	Ampliación y fortalecimiento del actual programa de monitoreo de calidad de agua	Media
CH-02	Programa de acompañamiento continuo a SSR	Media
OH-01	Trasvase de cuenca a través del Canal La Prosperidad	Media

CÓDIGO	ACCIÓN	PRIORIZACIÓN
RA-01	Siembra de agua a acuíferos basado en sistema combinados de cosecha de aguas como zanjas de infiltración, atrapanieblas, entre otros y reforestación o forestación en zonas clave como laderas, piedemonte y zona ripariana	Media
OM-01	Creación de sistema integrado de gestión de destinos turísticos desde la perspectiva integradora de la ecohidrología considerando el paisaje como eje estructurantes de la diversidad biológica, hidrológica y sociocultural.	Media
OM-02	Propuesta y estudios de caudal ambiental en los cursos fluviales (humedales tipo escorrentía) que desembocan en los humedales costeros de Quintay y Tunquén	Media
OM-03	Desarrollo de mecanismos normativos que aseguren la conservación de la biodiversidad, servicios ecosistémicos y provisión hídrica a través de la protección de ecosistemas terrestres y acuáticos.	Media
FA-01	Incorporación de agua a la cuenca Estero Casablanca a través de proceso de desalación	Baja

Fuente: Elaboración propia a partir de la planilla de priorización contenida en el Anexo K.2. Priorización, pestaña Priorización.

Se observa que ninguna de las iniciativas ha sido clasificada con una baja prioridad debido a la buena aceptación de estas por parte de los actores locales y a su impacto en la reducción de la brecha.

De las 20 iniciativas seleccionadas, 9 (45%) de ellas presentan una clasificación Alta y 11 (55%) presentan una prioridad Media. En la priorización Alta, la mayoría de iniciativas pertenecen al subtema fortalecimiento y formalización de OUA's, seguido de gobernanza y sistemas de información, todas ellas de acción indirecta sobre la brecha hídrica, pero necesarias para la gestión.

Dado que cerca de la mitad de las iniciativas son de alta prioridad, y en coherencia con la realidad de la cuenca, sería indicado dar urgencia a las iniciativa AG-01 Creación y fortalecimiento de la Oficina de Asuntos Hídricos, FO-01 Programa de constitución y

fortalecimiento de comunidades de aguas subterráneas en la cuenca Estero Casablanca, FO-02 Programa de apoyo para el saneamiento y regularización de los derechos de agua de los SSR y títulos de dominio y CH-01 Educación ambiental para la conservación de los ecosistemas y recursos hídricos desde una mirada ecohidrológica, abordando así diferentes ejes estratégicos propuestos para la seguridad hídrica en la cuenca.

De las temáticas de acciones con prioridad media destacan acciones indirectas como recarga de acuíferos, propuesta de caudal ecológico y desarrollo de mecanismos de protección, las tres vinculadas con el ecosistema, lo cual demuestra la importancia que presentan el ecosistema acuático, terrestre y ribereño por parte de los actores locales (Figura 7-3).

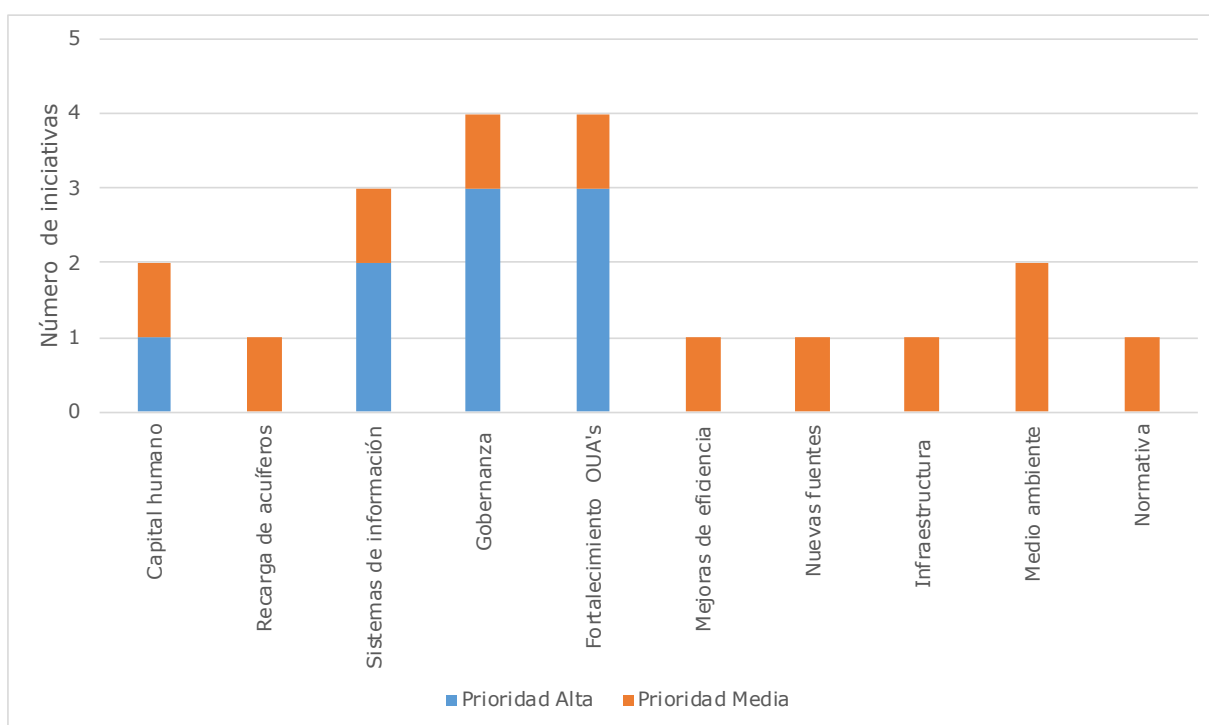


Figura 7-3. Distribución de la priorización de acciones.

Fuente: Elaboración propia a partir de la planilla de priorización contenida en el Anexo K.2. Priorización, pestaña Priorización.

7.5 Evaluación conjunta del plan

Para evaluar las mejores condiciones que generan las iniciativas planteadas anteriormente, se simularon en el modelo hidrológico integrado de la siguiente forma: algunas de estas iniciativas se modelaron de forma individual, es decir, cada una como un escenario independiente (ver acápite 5.4.2 y Anexo H, acápite 4.4 Construcción escenarios futuros, página 145), y posteriormente, todas en conjunto en un solo escenario denominado Plan.

Estas iniciativas fueron puestas en marcha de acuerdo con los plazos de implementación expresados anteriormente.

Particularmente, en el PEGH fue posible considerar la modelación de iniciativas individuales en los escenarios de mejora de la eficiencia en el uso del agua, incorporación de agua a la cuenca a través del trasvase Canal de La Prosperidad, aporte de agua a la cuenca por desalación, aumento de parcelaciones, prorrateo de derechos de agua y una mejor organización de usuarios, en el sentido de priorizar el abastecimiento humano por encima del sector productivo; en el escenario denominado Plan, las iniciativas mencionadas entran en conjunto de forma escalonada de acuerdo al plazo de implementación.

Para evaluar el comportamiento de la cuenca en el escenario futuro (2020-2050), se utilizó como indicador la cobertura de la demanda y las brechas en los sectores agrícola bajo riego y abastecimiento de agua potable rural, explicados en el numeral 5.4.2 (bajo el supuesto de los pozos con profundidad de 7m). La Tabla 7-4 muestra la comparación entre las brechas evaluadas para los escenarios histórico y futuro base y el cambio que se da al simular ciertas iniciativas del Plan en el modelo WEAP. La brecha agrícola bajo riego mejora casi un 11% de la prevista solamente con cambio climático y las brechas de abastecimiento de agua potable desaparecen completamente.

Tabla 7-4. Brecha promedio determinada para el periodo histórico 1980-2020 y escenarios Futuro Base MIROC y PLAN en el periodo 2020-2050.

Escenarios	Brecha bajo riego [hm ³]	Brecha APR [hm ³]	Brecha APU [hm ³]
Histórico (1980-2020)	4,5	0,16	0,0
Futuro Base MIROC (2020-2050)	7,4	0,55	0,0
Plan (2020-2050)	6,6	0,33	0,0

Fuente: Elaboración propia a partir de modelo acoplado WEAP-MODFLOW (Anexo H – Modelación acápite 5.5 Resultados).

Respecto a la cobertura de la demanda, en la Tabla 7-5 se observa como la demanda agrícola mejora en el escenario futuro al implementar el Plan, retornando al valor promedio histórico de cobertura tanto para la demanda agrícola como APR y APU.

Tabla 7-5. Cobertura de la demanda promedio determinada para el periodo histórico (1980-2020) y escenarios Futuro Base MIROC y PLAN en el periodo 2020-2050.

Escenarios	Cobertura de la demanda agrícola [%]	Cobertura de la demanda APR [%]	Cobertura de la demanda APU [%]
Histórico (1980-2020)	90,0	59,4	100,0
Futuro Base MIROC (2020-2050)	88,5	16,8	100,0
Plan	89,5	48,0	100,0

Fuente: Elaboración propia a partir de modelo acoplado WEAP-MODFLOW (Anexo H – Modelación acápite 5.5 Resultados).

7.6 Líneas de acción

A continuación, se detallan aquellas iniciativas que son llevadas a cabo por cada una de las instituciones que son parte del Plan, sean públicas o privadas. Hay que recordar que muchas de las iniciativas comprenden la participación activa de más de una institución, por lo tanto, se asoció como institución principal a aquella responsable de la iniciativa. Se definió como institución responsable como aquella que dentro de sus facultades puede liderar y financiar más del 50% del contenido de la iniciativa.

7.6.1 Ejecutora o mandante DGA

Las acciones que son lideradas por la DGA obedecen a aquellas que se basan en la obtención de información y de regularización de derechos de agua. Las siguientes acciones tendrían como principal ejecutor o mandante a la DGA:

- FO-03: Programa de apoyo legal y técnico para la conformación y operación de una Junta de Vigilancia en la cuenca Estero Casablanca y sus afluentes (CNR, DOH).
- SI-01: Ampliación y fortalecimiento del actual programa de monitoreo de calidad de agua (DOH).
- SI-02: Programa de capacitación y divulgación del conocimiento sobre la actualización de la modelación hidrológica integrada enfocada al efecto de la provisión hídrica y recarga del acuífero producto de la conservación de la biodiversidad (MMA, Municipalidad).
-

7.6.2 Otras instituciones

Aunque las siguientes acciones se visualizan en coordinación y/o con el apoyo de la DGA, el impulsor principal son otras instituciones Nacionales descentralizadas y Regionales, e incluso lideradas por OUAs y otras organizaciones de usuarios de agua. Así mismo, se dan muchas alianzas entre instituciones responsables, sin embargo, en el recuadro se presenta la principal o líder de cada iniciativa, incluyéndose entre paréntesis, las instituciones complementarias.

Dirección de Obras Hidráulicas

- FO-02: Programa de apoyo para el saneamiento y regularización de los derechos de agua de los SSR y títulos de dominio (DGA, Municipalidad).
- CH-02 Programa de acompañamiento continuo a SSR (Municipalidad, Unión comunal APR)
- FA-01 Incorporación de agua a través del proceso de desalación (Unión comunal APR, OUA'S y Privados).
- RA-01 Siembra de agua a acuíferos basado en sistema combinados de cosecha de aguas como zanjas de infiltración y reforestación o forestación en zonas clave como laderas, piedemonte y zona ripariana (CNR, CONAF, OUA'S y Privados)
- OH-01 Trasvase de cuenca a través del Canal La Prosperidad (OUA'S y Privados).

Comisión Nacional de Riego

- FO-01 Programa de constitución de Comunidad de Aguas subterráneas (DGA, GORE, Municipio)
- FO-04 Constitución y fortalecimiento de Asociaciones de Canalistas (DGA, GORE, Municipalidad).
- ME-01 Tecnificación de riego (OUA's).

Gobierno Regional

- AG-02 Creación del comité para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos a nivel de cuenca (DGA, Municipalidad)
- AG-03 Ordenamiento territorial para una mejor gestión del recurso hídrico, los riesgos y medidas adaptativas a nivel de cuenca (Municipalidad, DGA)
- SI-03 Programa de monitoreo de participación ciudadana (Municipalidad).
- OM-01 Creación de sistema integrado de gestión de destinos turísticos desde la perspectiva integradora de la ecohidrología considerando el paisaje como eje estructurante de la diversidad biológica, hidrológica y sociocultural (SERNATUR, MMA).

Municipalidad

- AG-01 Creación y operación de la Oficina de Asuntos Hídricos (DGA)
- CH-01 Educación ambiental para la conservación de los ecosistemas y recursos hídricos desde una mirada ecohidrológica (INDAP, CONAF, Universidades, Centros de Investigación, MMA y MinEduc).

Ministerio de Medio Ambiente

- OM-02 Propuesta y estudios de caudal ambiental en los cursos fluviales (humedales tipo escorrentía) que desembocan en los humedales costeros de Quintay y Tunquén (DGA, OUA'S y Privados).
- OM-03 Desarrollo de mecanismos normativos que aseguren la conservación de la biodiversidad, servicios ecosistémicos y provisión hídrica a través de la protección de ecosistemas terrestres y acuáticos (GORE, Municipalidad).

SEREMI de Minería

- AG-04 Regularización de cuatro (4) faenas mineras localizadas en la localidad El Batro e identificación del impacto de su operación en humedales (SERNAGEOMIN, DGA).

Existen algunas iniciativas que a lo largo de su ejecución sufrirían un cambio en la institución mandante o ejecutoria. Esto se debe a que las iniciativas deben ser prontamente implementada pero no es posible obtener un financiamiento directamente por la empresa mandante, por tanto, se propone que la iniciativa sea financiada inicialmente por otra institución hasta que la institución mandante tenga los lineamientos normativos que le permita su funcionamiento.

Particularmente, la iniciativa Creación y Operación de la Oficina de Asuntos Hídricos, es una oficina que propone que esté a cargo de las respectivas municipalidades y dada la prioridad en su implementación, se propone que esta iniciativa sea implementada en un principio por el Gobierno Regional (GORE).

El principal motivo que se propone para que la iniciativa sea implementada desde el Gobierno Regional (GORE) y no la Municipalidad es que una de las principales misiones del GORE es la preservación, mejoramiento medioambiental armónico y equitativo del territorio y fortaleciendo la participación ciudadana, por lo tanto, al ser una iniciativa directamente vinculada en facilitar el proceso de denuncias y claridad en las tecnologías de la información y comunicación para acelerar y mejorar las acciones y procesos correspondientes de la Dirección General de Aguas es pertinente que la institución prioritaria en realizar esta iniciativa sea el GORE.

7.7 Valorización económica del Plan Estratégico de Gestión Hídrica

El costo del Plan es de 178 M USD (millones de dólares) para las 20 acciones definidas, en donde un 39% de dicho monto es considerando acciones de infraestructura hidráulica y un 55% nuevas fuentes de agua. El resto de iniciativas representan solo 6% del costo total del Plan y corresponden a medidas de gestión y conservación del medio ambiente. El detalle del porcentaje de costo de cada temática se aprecia en la Figura 7-4.

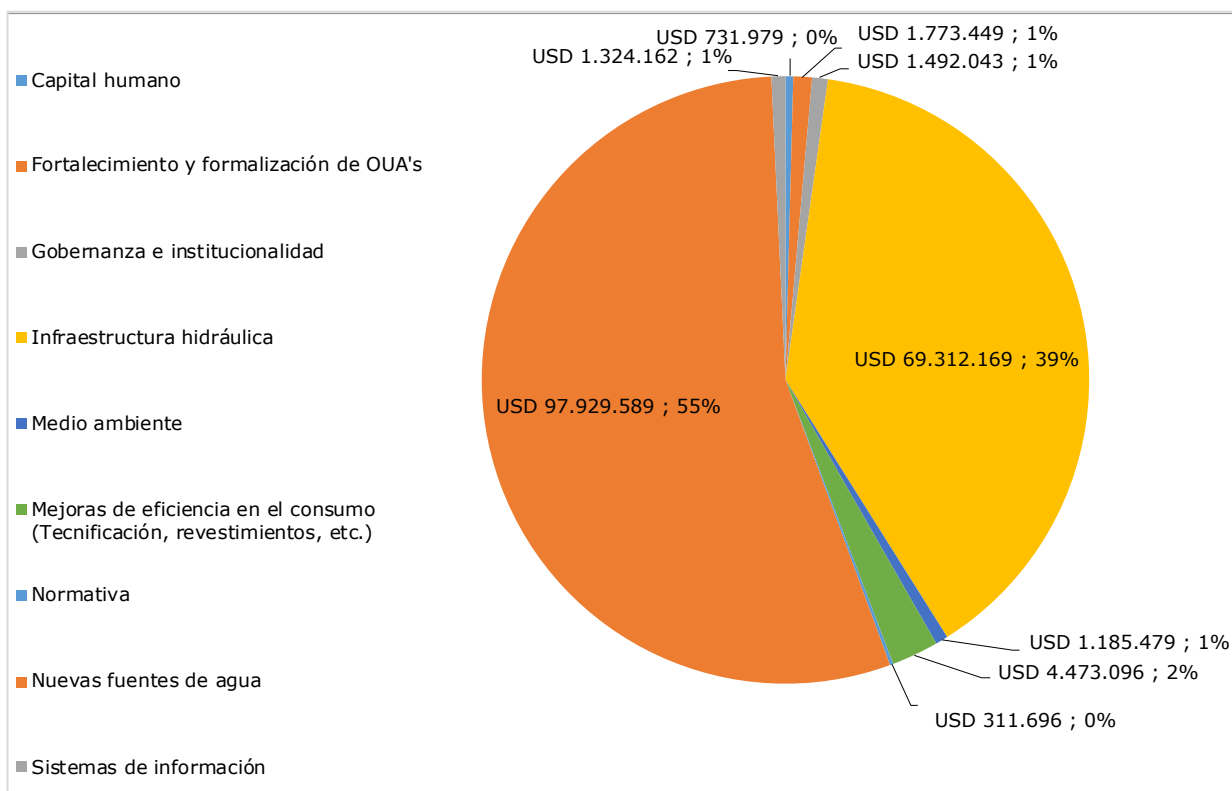


Figura 7-4. Distribución de los costos de implementación y operación en USD por área temática de las acciones pertenecientes al Plan.

Fuente: Elaboración propia a partir de la planilla de priorización contenida en el Anexo K.2. Priorización, pestaña Costo vs. Iniciativa y plazo.

El flujo de caja o distribución de las inversiones y los costos de operación en el corto, mediano y largo plazo del Plan se muestra en la (Figura 7-5). Se aprecia que el costo mayor se produce en el largo plazo, cuando entran en ejecución las iniciativas de infraestructura hidráulica y nuevas fuentes de agua. En el corto y mediano plazo, en su mayoría corresponde a medidas de gestión, siendo estas medidas de gobernanza, fortalecimiento de OUA'S, capital humano, sistemas de información y conservación, principalmente.

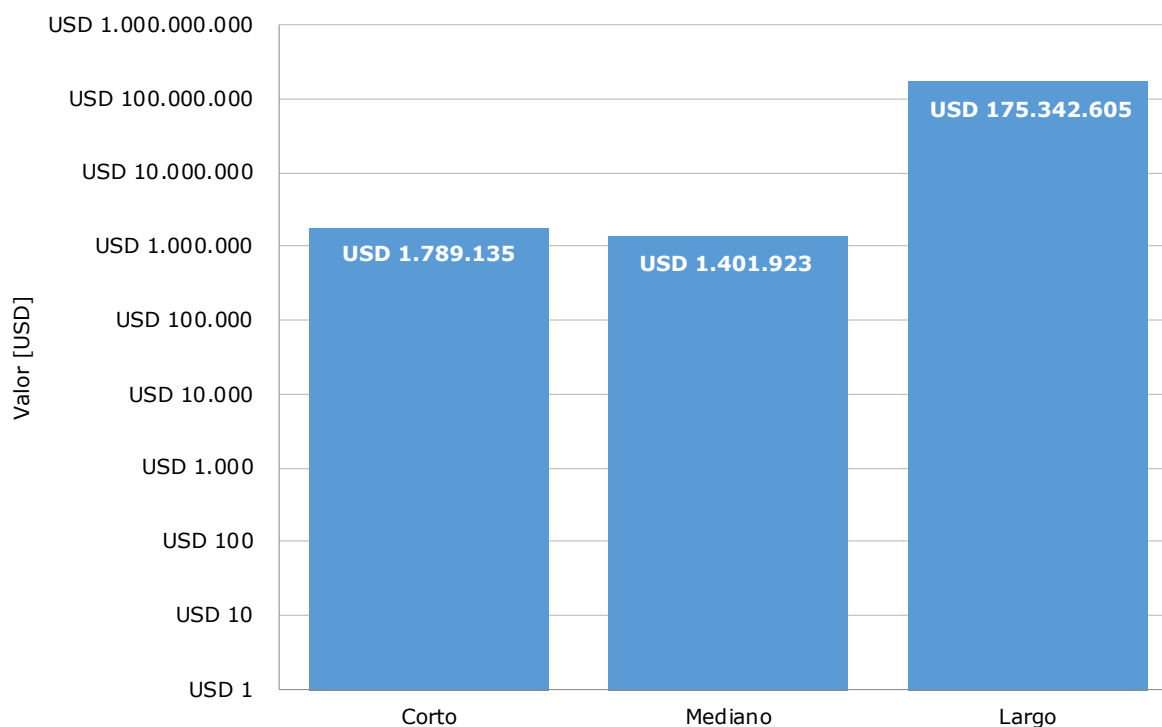


Figura 7-5. Distribución de los costos de implementación y operación del PEGH.

Fuente: Elaboración propia a partir de la planilla de priorización contenida en el Anexo K.2. Priorización, pestaña Flujo de caja.

Al realizar una distribución anual de los costos del Plan (Figura 7-6) se aprecia que la mayor inversión ocurre entre los años 9 y 10 de comienzos del Plan (equivalentes a 2031 a 2032), lo cual comprende los periodos de mediano y comienzos del largo plazo. Estas inversiones corresponden a las iniciativas de incorporación de agua a través de proceso de desalación y trasvase de cuenca a través del Canal La Prosperidad.

Durante el corto plazo (0-2 años) los costos son principalmente de operación, debido a la implementación temprana de iniciativas como la oficina de asuntos hídricos, monitoreo participativo y programa de monitoreo de calidad del agua, los cuales no requieren mayor inversión para iniciar sus actividades.

En el largo plazo, se terminan la construcción de las iniciativas comenzadas en el mediano plazo, para posteriormente ejecutar medidas que necesitan de apoyo constante para su ejecución y de esta forma velar por su autonomía y funcionamiento, como por ejemplo la oficina de asuntos hídrico, monitoreo participativo, educación ambiental y el comité de cuencas.

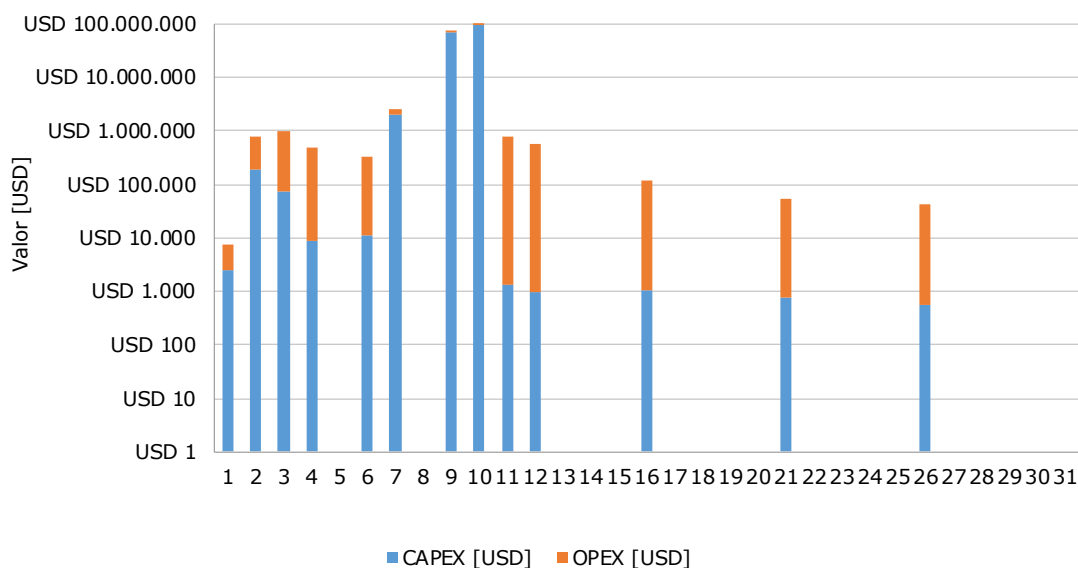


Figura 7-6. Distribución del costo anual del Plan en USD.

Fuente: Elaboración propia a partir de la planilla de priorización contenida en el Anexo K.2. Priorización, pestaña Flujo de caja.

7.7.1 Distribución de costos por actores

El cuadro siguiente resume la inversión por institución responsable y período de ejecución. El principal responsable es la DOH con un 94% del costo del Plan, le sigue la CNR con un 3,2% del costo. El detalle se puede ver en la Tabla 7-6.

Tabla 7-6. Distribución de costos por actores y plazos.

Institución	Costo del plan [USD]		
	Corto	Mediano	Largo
CNR	862.000	89.772	4.919.144
DGA	174.489	415.001	49.456
MMA	293.947	336.552	405.194
DOH	215.199	134.658	167.512.570
GORE	121.082	185.502	1.316.278
Municipalidad	122.417	238.010	811.370
Seremi Minería	-	2.427	328.594
TOTAL	1.789.135	1.401.923	175.342.605

Fuente: Elaboración propia a partir de la planilla de priorización contenida en el Anexo K.2. Priorización, pestaña Flujo de caja.

7.8 Cronograma de las soluciones

En la Figura 7-7 se observa que para el corto plazo 8 son las acciones que deben ser implementadas. En términos generales, estas acciones obedecen a la implementación de la Oficina de Asuntos Hídricos, Creación de las comunidades de aguas subterráneas, Apoyo a SSR en saneamiento de sus derechos de aguas, Programa de capacitación en modelación hidrológica y provisión hídrica, Monitoreo desde la participación ciudadana, Programa de acompañamiento a las SSR, Recarga de acuíferos mediante zanjas de infiltración y reforestación, y Propuesta y estudios de caudal ambiental.

En el mediano plazo, se implementan seis (6) acciones como Ordenamiento territorial para la mejor gestión, conformación de la Junta de Vigilancia, Constitución y fortalecimiento de Asociaciones de Canalistas, Ampliación de programa de monitoreo plurianual, Educación ambiental y Desarrollo de mecanismos normativos de protección de humedales.

Finalmente, en el largo plazo involucran las seis (6) acciones de mayor inversión Trasvase mediante el Canal de La Prosperidad, Ingreso de agua desalada a la cuenca, regularización de faenas mineras y sistema integrado de gestión de destinos turísticos.

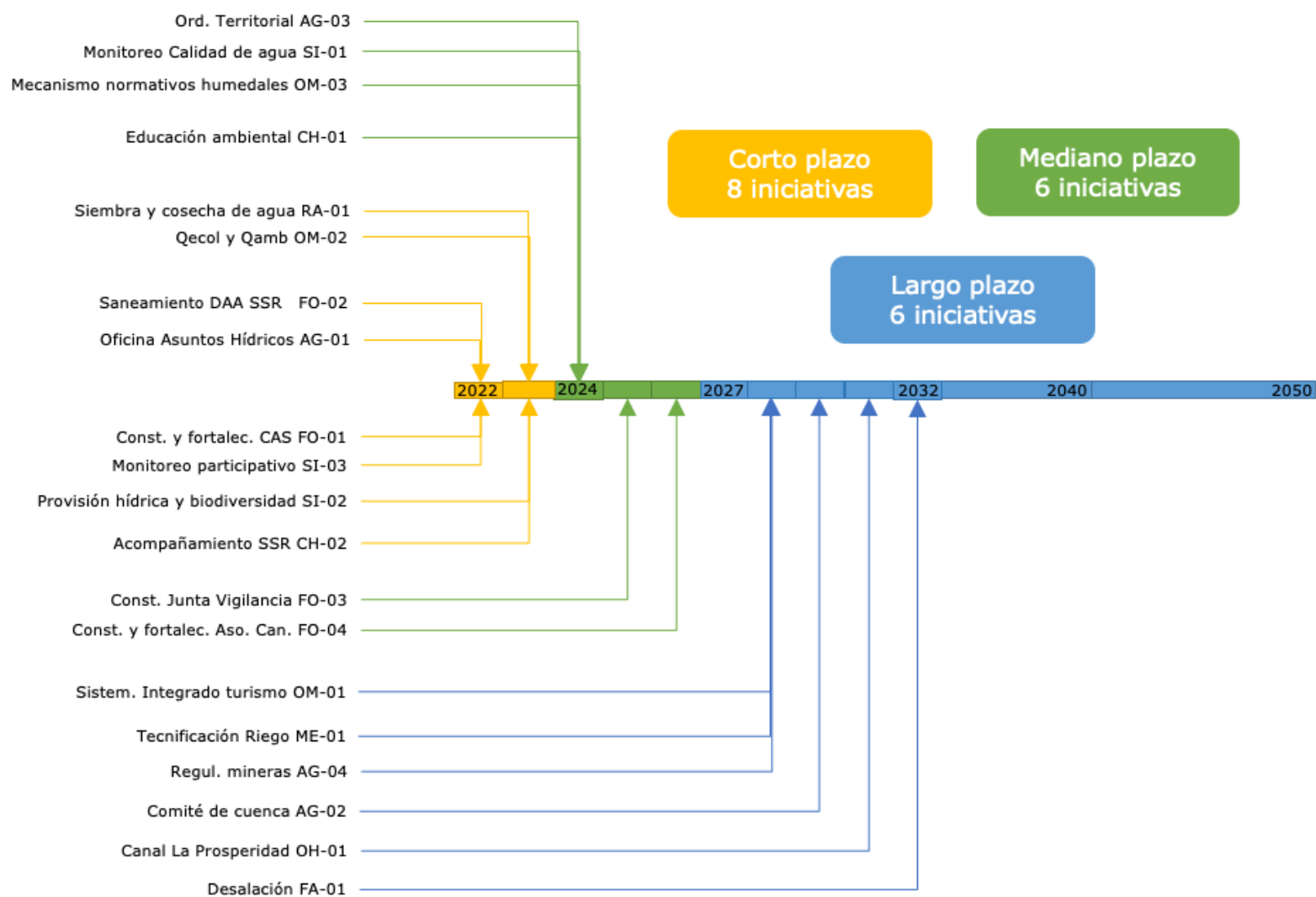


Figura 7-7. Línea de tiempo de ingreso de las iniciativas en el Plan.

Fuente: Elaboración propia a partir de la planilla de priorización contenida en el Anexo K.3. Priorización, pestaña Listado iniciativas.

8 IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN

La estrategia de implementación del Plan recoge la estructura del instrumento, los aspectos institucionales y de gobernanza, de cultura del agua y de financiamiento. En el presente capítulo se recogen los principales hitos de implementación del plan por plazo de entrada en ejecución de las acciones. Esta estrategia de implementación viene acompañada de la estrategia de comunicación, discusión con el sector público y privado, dando elementos para la mejora adaptativa. Y finalmente, el pilar de la financiación, donde se recogen el nombre de los fondos de las propias instituciones que participan del Plan, sin perjuicio de poder solicitar o acudir a otro tipo de fuente de financiamiento.

8.1 Hitos de referencia en la implementación del Plan

A continuación, se presentan los hitos de cada plazo del Plan (ver Tabla 8-1), los cuales marcan la criticidad de las acciones, tanto las que se implementan en el mismo plazo, como para aquellas en plazos posteriores:

Tabla 8-1. Hitos del Plan de acuerdo con el plazo de ejecución.

<p>Corto Plazo</p> <ul style="list-style-type: none">- Creación de la oficina de asuntos hídricos (AG-01). En forma primera se implementará en municipios piloto. Esta iniciativa es relevante porque es en donde se gestionarán otras iniciativas como el programa de monitoreo participativo (SI-03) y el programa de educación ambiental (CH-01)- Inicio programa para determinar caudal ecológico y ambiental (OM-02)- Comienzo del saneamiento de los DDAA de las SSR (FO-02)- Comienzo del programa de monitoreo participativo (SI-03)- Comienzo del programa constitución y fortalecimiento de Comunidades de Aguas subterráneas (FO-01)- Inicio programa de capacitación y divulgación en modelación hidrológica y provisión hídrica (SI-02)- Inicio programa de acompañamiento continuo a SSR (CH-02)- Inicio programa de recarga de acuíferos mediante zanjas de infiltración (RA-01)
<p>Mediano Plazo</p> <ul style="list-style-type: none">- Inicio programa de educación ambiental (CH-01)- Inicio de programa para vincular el ordenamiento territorial con aspectos hídricos de la cuenca (AG-03)- Inicio de la constitución de la Junta de Vigilancia (FO-03): es el primer paso para la concreción de la confederación de juntas de vigilancia y posterior Comité de cuenca.- Inicio de programa para desarrollar mecanismos de protección legal en humedales (OM-03)- Inicio del programa de monitoreo de calidad de agua superficial y subterránea (SI-01)- Inicio del programa de constitución y fortalecimiento de Asociación de Canalistas (FO-04)

Largo Plazo

- Constitución de la Federación de Juntas de Vigilancia para posteriormente derivar al comité de cuencas (AG-02)
- Inicio creación sistema de gestión integrado del sector turismo (OM-01)
- Tecnificación de riego (ME-01)
- Conformación de la mesa de trabajo para dar inicio al proceso de regularización de faenas mineras (AG-04)
- Definición de los aspectos de disponibilidad hídrica en la cuenca del río Maipo para dar inicio al estudio de trasvase de cuenca mediante el Canal de La Prosperidad (OH-01)
- Inicio del estudio de prefactibilidad de provisión de agua mediante desalación incorporando todos los elementos de evaluación de impacto ambiental requeridos por Ley (FA-01)

Fuente: Elaboración propia a partir de la planilla de priorización contenida en el Anexo K.2. Priorización, pestaña Listado de iniciativas.

8.2 Estrategia de implementación

La estrategia de implementación del Plan, considera conocer y abordar dentro de este cuatro aspectos fundamentales: 1) la estructura del Plan de Gestión, entendiendo por esta el marco conceptual y metodológico que circunscribe el plan; 2) aspectos institucionales, correspondientes a las instituciones involucradas y sus competencia y el modelo de gobernanza propuesto; 3) aspectos de cultura del agua, entendidos como la influencia cultural que existe sobre las personas, dada por sus costumbres y hábitos y que incide en el uso del agua; y 4) aspectos de financiamiento, todas las posibilidades de financiamiento proveniente de instituciones, planes, programas y/o políticas.

8.2.1 Estructura del Plan de Gestión

La estructura del Plan de Gestión Hídrica se basa en desarrollar iniciativas ante brechas definidas en el diagnóstico de la cuenca. Estas iniciativas fueron evaluadas bajo 4 criterios (ver capítulo 7), los que permitieron su priorización. Las iniciativas priorizadas y seleccionadas forman parte de la cartera de acciones del Plan.

El Plan, además de contener acciones que reduzcan las brechas identificadas, se considera que debe velar por una seguridad hídrica y por la sostenibilidad. Para ello, se ha considerado que las acciones deben proveer de los elementos necesarios que apunten al logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) definidos por la ONU y por los criterios de sostenibilidad de una cuenca según el programa de ecohidrología de la UNESCO.



Figura 8-1. Estructura del Plan Estratégico.

Fuente: Elaboración propia.

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.

8.2.2 Aspectos institucionales

A continuación, se presentan las instituciones vinculadas al plan, considerando el rol en cada una de las acciones donde son nombradas y la inversión que deberían considerar. Así mismo, se presenta el modelo de gobernanza del agua propuesto.

8.2.2.1 Instituciones públicas

A continuación, en la Tabla 8-2, 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 USD
Dirección General de Aguas	Apoyo en la creación de Junta de Vigilancia, capacitación y divulgación sobre la actualización de	638.946

	la modelación hidrológica integrada y fortalecimiento del programa de monitoreo de calidad del agua.	
Dirección de Obras Hidráulicas	Apoyo a las SSR en distintos aspectos, como el programa de regularización y saneamiento de Derechos de Agua, acompañamiento continuo en formación, evaluación de la factibilidad de incorporar nuevas fuentes de agua y construcción de infraestructura hidráulica, y evaluar la recarga artificial de acuíferos.	167.862.427
Comisión Nacional de Riego	Apoyo para la constitución y fortalecimiento de distintos niveles organizacionales de OUA, como las CAS, Asociación de Canalistas y tecnificación de riego.	5.870.915
Ministerio de Medio Ambiente	El principal rol es fortalecer la protección de los humedales y los sistemas acuáticos mediante la determinación del caudal ambiental. Además, generar expedientes para promover humedales con figura de protección oficial.	1.035.693
Gobierno Regional	Apoyo en la participación ciudadana en la gestión de la cuenca a distintos niveles participativos. Para ello apoyará la creación y operación del comité de cuencas y monitoreo participativo. Adicionalmente, incorporación de la gestión del recurso hídrico en el ordenamiento territorial y sector turismo.	1.622.862
SEREMI Minería	Labor de coordinación con las faenas mineras presentes en la cuenca en buscar puntos de encuentro y balancear su actividad productiva con la sustentabilidad hídrica en la zona de la cuenca que intervienen.	331.021
Municipalidad	Labor de apoyo y coordinación en iniciativas vinculadas al rol de la Oficina de Asuntos Hídricos, y liderar iniciativas de educación ambiental.	1.171.797
Total [USD]		178.533.662

Fuente: Elaboración propia.

8.2.2.2 Gobernanza del agua

La cuenca está en un estado medio de organización de gestión del agua, que hace necesario desarrollar distintas instancias de gestión y coordinación integrada del agua. El modelo de gobernanza propuesto (Ver Anexo J. Descripción y Diagnostico, acápite 1.6.1 Modelo de gobernanza, pág 126), parte de una aproximación *bottom-up*, es decir, va construyendo instancias participativas desde la célula más básica en la escala espacial local, hasta ir construyendo instancias más globales de coordinación y gestión en donde se van incorporando distintos actores previamente constituidos y organizados.

La configuración del modelo de gobernanza (Figura 8-2) empieza por la constitución de las Comunidades de Aguas Subterráneas. En la cuenca deben crearse 2 OUA y fortalecer las 4 OUA existentes. Esto da pie a la necesidad de gestionar las comunidades de aguas subterráneas mediante el establecimiento de Juntas de Vigilancia (JV). Se propone que esta JV funcione de forma mancomunada creando una confederación de Juntas de Vigilancia, en donde podrá indicarse expresamente en sus estatutos que serán partícipes de dicha confederación organizaciones sectoriales, gremiales y civiles que no poseen derechos de agua, pero que su actividad está vinculada directamente con el recurso hídrico y/o sus fuentes naturales.

Finalmente, y cuando se haya implementado normativa que permita la creación de Comité de cuencas, es cuando las instituciones públicas participarán oficialmente como parte de la gestión de cuencas.

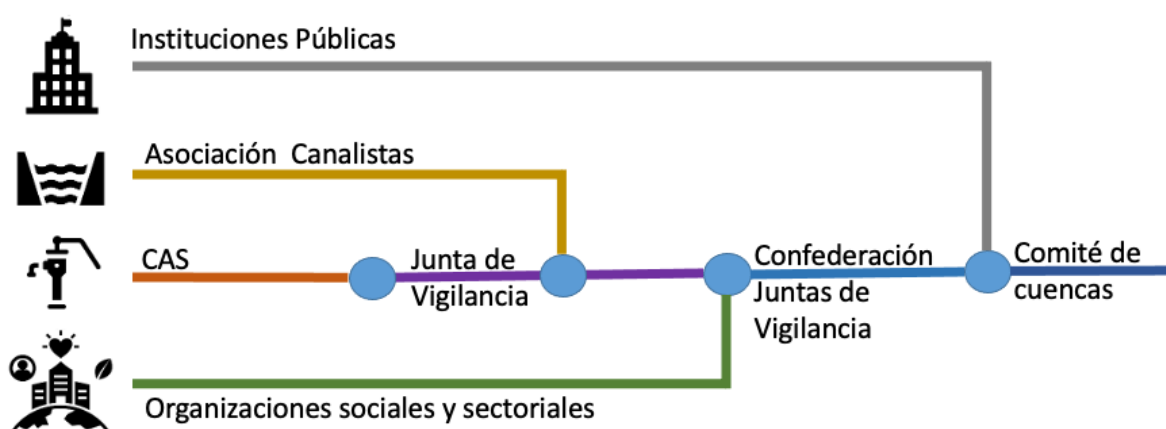


Figura 8-2. Gobernanza del agua propuesto.

Fuente: Elaboración propia a partir del diagnóstico del PEGH.

En términos generales, el Comité de cuencas corresponde a una instancia público-privada compuesta por representantes del Estado, de los Gobiernos Locales, de los usuarios directos e indirectos de las aguas, así como la sociedad civil organizada (Centros de estudio, organizaciones funcionales, sectoriales y civiles) y las distintas OUA (Juntas de Vigilancia, CAS y Asociación de Canalistas).

El rol del Comité se encuentra en el largo plazo, en el ámbito político estratégico, y en lo principal en esta instancia se debieran tomar decisiones sobre:

- Velar por la implementación del Plan Estratégico de Gestión Hídrica
- Gestionar los apoyos y financiamientos requeridos para la implementación del Plan Estratégico
- Representar a la cuenca en las instancias políticas, técnicas y sociales que así lo requieran.
- Definición de criterios mínimos de seguridad hídrica, de común acuerdo entre todos los actores.

- Ser una instancia de acuerdo que permita abordar vacíos de planificación y gestión, territorial y sectorial.

Desde el punto de vista operativo, el Comité podrá trabajar mediante grupos de trabajo internos en las distintas áreas que se crea conveniente, como por ejemplo: agua potable y tratamiento, conservación de ecosistemas acuáticos, actividades productivas consuntivas, no consuntivas e in situ, adaptación y resiliencia al cambio climático, cultura y educación.

Este comité debiera tener una secretaría técnica, que velará por el correcto desarrollo técnico de las iniciativas.

Es importante que la conformación de este comité sea autónoma, y cuente con financiamiento propio, es decir, que cuente con financiamiento de las propias instituciones que lo componen y generen a su vez recursos a través de mecanismos de financiamiento a los cuales puedan acceder mediante concurso.

8.2.3 Aspectos de cultura del agua

El proceder individual de las personas, en relación con el aprovechamiento del agua, está influenciado culturalmente por las costumbres y los hábitos que se tienen en su uso, así como por el grado de conocimiento técnico y acceso a información disponible. La mayor parte (si no todas) de las iniciativas del PEGH tienen intrínsecamente una componente de relativa al aspecto cultural del agua. Es por esto que, en paralelo a la gobernanza, es necesario desarrollar otros aspectos de la cultura del agua y que vaya acorde a los criterios de sostenibilidad propuestos por UNESCO, particularmente en Cultura y Educación.

Así mismo, la implementación de las iniciativas puede verse condicionada a la falta de información y/o conocimiento técnico de los actores involucrados, tanto en el nivel de las instituciones responsables, como los beneficiarios. En este sentido y entendiendo la propia solicitud de la ciudadanía en las instancias participativas, es necesario generar los espacios e instancias en donde la población transforme su actual cultura del agua en temas de gestión hídrica integrada, eficiencia hídrica, sostenibilidad del recurso y conservación del medio ambiente.

En 2019, según la Fundación Chile, la principal fuente de información respecto de los temas relativos al agua lo constituyen los medios de comunicación de masas, los que frecuentemente entregan una visión excesivamente simple, parcial y descontextualizada de la compleja realidad de la gestión del agua, lo que hace más difícil la formación de una ciudadanía verdaderamente consciente de la naturaleza de los desafíos que presenta el tema en el país. Por lo anterior, las iniciativas del PEGH categorizadas dentro de las temáticas Medidas de Gestión, en especial Sistemas de Información, Capital humano y Fortalecimiento de las OUA, influyen directamente en el éxito de la implementación de medidas de tipo estructural.

Por este motivo, se mencionan, aquellas iniciativas que proponen un cambio de mentalidad a partir de la apropiación de conocimiento en torno a los temas hídricos de la cuenca y que apuntan a dicho interés ciudadano:

- 1) Educación ambiental para la conservación de los ecosistemas y recursos hídricos desde una mirada ecohidrológica. Esta iniciativa desarrolla Programas de formación continua de carácter formal, no formal e informal, dirigido a público general, de diferentes edades, focalizado en entregar los conocimientos sobre conceptos y herramientas de la ecohidrología y que sirvan de apoyo en torno a temáticas de conservación de los ecosistemas y recursos hídricos, como, por ejemplo, uso eficiente del agua, desarrollo de soluciones basadas en la naturaleza de manejo comunitario, ecohidrología y calidad del agua.
- 2) Monitoreo desde la participación ciudadana. Esta acción incentiva una metodología participativa para la planificación, la evaluación ambiental y el desarrollo comunitario en territorios con potencial contaminación de las aguas para co-construir (junto a diferentes entidades tanto públicas como privadas) diferentes planes de acción, por ejemplo, colaborar con la oficina de asuntos hídricos o con las campañas educativas en el uso eficiente de agua y mantención de ecosistemas.

8.2.4 Aspectos de financiamiento

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 la DGA de acuerdo con las mejoras en infraestructura de los servicios sanitarios rurales y la densificación del monitoreo.

Durante 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) implementación y seguimiento de un caudal ambiental, siendo las JV o la confederación, y posteriormente el comité de cuenca, 2) Construcción y mantención de las zanjas de infiltración y 3) Programa de monitoreo participativo.

Respecto de la gobernanza, mencionada en los aspectos institucionales, se propone el Comité de cuenca como una instancia público-privada que debe contar con una Secretaría Técnica, que proporcione un apoyo técnico permanente, manteniendo la continuidad de las actividades que se realizan en la cuenca. La secretaría técnica está compuesta por un equipo técnico permanente compuesto por un secretario, un equipo de modeladores para mantener operativos los modelos hidrológicos e hidrogeológicos, además de un staff de asesores senior.

Además, la oficina de asuntos Hídricos que se instala a nivel local también debe tener un presupuesto externo que asegure su funcionamiento y autonomía. Esta Oficina presenta un equipo técnico compuesto por un director, un secretario y un profesional técnico.

Ambas instancias de gobernanza deben poseer un financiamiento asegurado que permita su autonomía y continuidad en el tiempo. Se propone que sea el GORE quien realiza las gestiones para el logro del financiamiento.

8.3 Estrategia de comunicación

La estrategia de comunicación del Plan considera la difusión y discusión de este con los actores públicos y privados que participan de la gobernanza en sus diferentes instancias. La estrategia considera los siguientes elementos:

8.3.1 Público objetivo

El público objetivo se divide en aquellos actores participantes directamente de la gobernanza y gestión del recurso hídrico y sus fuentes naturales. El otro grupo es el resto de la ciudadanía que en mayor o menor grado de participación presenta interés en la gestión de los recursos hídricos.

8.3.2 Contenidos a comunicar

En el caso de los actores involucrados con el modelo de gobernanza (ver acápite 8.2.2.2), se les debe traspasar el Plan en forma integral, con sus fundamentos, estrategias, acciones, plazos, presupuestos y plan de seguimiento.

Se deben abordar en forma específica aspectos que son relevantes para el Plan y su correcta implementación, como lo es el modelo de gobernanza, las brechas identificadas, las acciones propuestas y su mejoramiento en los indicadores.

En la comunicación a la ciudadanía, se deberán tratar aspectos generales del Plan, sus objetivos, resultados esperados y planificación de puesta en marcha de las distintas acciones. Se hará hincapié en el marco conceptual en el cual fue elaborado el Plan, el cual fue basado en los ODS de la ONU y los criterios de sostenibilidad de cuenca de la UNESCO.

8.3.3 Medios de comunicación

Se deben establecer mecanismos formales de trabajo dentro de la misma definición de gobernanza. Estos mecanismos deben incluir canales de comunicación interna, que consideran desde procesos de convocatoria y comunicación, registro y difusión de actas y acuerdos, y comunicación con otros actores asociados.

Para el caso de la sociedad civil, se debe incorporar dentro del proceso en tanto se les considere un órgano consultivo para la gobernanza; y en paralelo, deben existir canales de información pública que permitan una cuenta pública de la gestión de los recursos hídricos.

Una buena instancia para realizar la difusión del Plan es a través de la oficina de asuntos hídricos, la cual presentará un alcance Municipal.

8.4 Identificación de fuentes de financiamiento del PEGH

A continuación, se muestran alternativas de financiamiento para aquellas iniciativas que deben velar por autonomía en su realización, es decir que no se vean condicionadas al funcionamiento propio de la institucionalidad. Se excluye de la Tabla 8-3, fondos propios de las distintas instituciones públicas que participan directamente del PEGH.

Tabla 8-3. Fuentes de financiamiento para la ejecución del PEGH.

Tipo de fuente	Rango de montos	Institución que lo otorga	Descripción financiamiento	Tipo de financiamiento
FIC-R	100 - 150 Mill de pesos.	Gobierno Regional (GORE)	Fondos para la Innovación y Competitividad, permite al GORE asignar parte del presupuesto total de los recursos correspondientes a este programa a Universidades Estatales o reconocidas por el Estado, destinados a desarrollar y promover investigación aplicada, emprendimiento innovador, desarrollo, difusión y transferencia tecnológica, incluida la destinada al fortalecimiento de capacidades y redes regionales para la innovación, formación y atracción de recursos humanos especializados, infraestructura y equipamiento de apoyo y promoción de la cultura pro innovación y emprendimiento.	Regional
FNDR	Depende de la disponibilidad presupuestaria y la priorización de la región.	SUBDERE - GORE	Fondo Nacional de Desarrollo Regional, programa de inversiones públicas, a través del cual, el Gobierno Central transfiere recursos a regiones para el desarrollo de acciones en los distintos ámbitos de desarrollo social, económico y cultural de la región con el objeto de obtener un desarrollo territorial armónico y equitativo.	Regional
FPA	4 - 10 Mill de pesos	MMA	Fondo de Protección Ambiental, fondo concursable de carácter nacional que busca apoyar iniciativas ciudadanas y financiar total o parcialmente proyectos o actividades orientados a la protección o reparación del medio ambiente, el desarrollo sustentable, la preservación de la naturaleza o la conservación del patrimonio ambiental.	Nacional

Tipo de fuente	Rango de montos	Institución que lo otorga	Descripción financiamiento	Tipo de financiamiento
FIA	Entre 15 a 60 millones de pesos (proyectos históricos)	MINAGRI - GORE	Fundación para la Innovación Agraria, impulsar la innovación en el sector silvoagropecuario y la cadena agroalimentaria asociada, cuenta con fondos de apoyo para la ejecución de iniciativas de innovación en el sector silvoagropecuario, a nivel nacional y regional, y la cadena agroalimentaria asociada. Considera instrumentos como: Proyectos para la innovación, Capital semilla joven para la innovación, Giras para la innovación, Consultorías para la innovación, Eventos para la innovación, Estudios para la innovación	Nacional - Regional
CORFO	<ul style="list-style-type: none"> - PTI: Hasta 5.000 UF - Programa Crédito Verde: US\$ 250 mil - US\$ 7 millones 	CORFO	<p>Tiene como objetivo apoyar el emprendimiento, la innovación y la competitividad en el país junto con fortalecer el capital humano y las capacidades tecnológicas.</p> <p>Cuenta con programas tales como:</p> <p>Programa Territorial Integrado (PTI): conjunto interrelacionado de proyectos y actividades como capacitación, innovación, infraestructura, asistencia técnica, asociativa empresarial y financiamiento, tendientes a crear, desarrollar y mejorar la calidad productiva de un territorio determinado.</p> <p>Programa Crédito Verde (nuevo): busca potenciar el desarrollo de proyectos que mitiguen los efectos del cambio climático y/o mejoren la sustentabilidad ambiental de las empresas, reimpulsando la inversión en iniciativas de Energía Renovable, Eficiencia Energética y Economía Circular.</p>	Nacional
Programa de Desarrollo de Inversiones - (PDI)	<ul style="list-style-type: none"> •Hasta \$2.500.000 por productor individual al año. •Hasta \$25.000.00 	INDAP	Este programa busca contribuir a la capitalización y/o modernización de los sistemas de producción silvoagropecuarios y/o conexos (turismo rural, artesanía, agregación de valor y servicios) de la Agricultura Familiar Campesina a través del cofinanciamiento de inversiones	Nacional

Tipo de fuente	Rango de montos	Institución que lo otorga	Descripción financiamiento	Tipo de financiamiento
	0 y \$35.000.000 para postulantes asociativos informales y formales, respectivamente		(proyectos individuales o asociativos).	
BID	Hasta 1.5 MM USD	BID	Financiamiento para gestión de cuencas y/o implementación de Soluciones basadas en la naturaleza. En conjunto con otros fondos gestionados por el BID, por ejemplo el Fondo Fiduciario Japonés	Latinoamericano y el Caribe
Fondo Concursable para las Organizaciones de Usuarios de Agua (OUA)	Hasta \$5.000.000	CNR	Fondo para proyectos presentados por Organización de usuarios de aguas constituida (Juntas de Vigilancia, Asociaciones de Canalistas, Comunidades de Aguas (superficiales y subterráneas) y Comunidades de Drenaje definidas en el Código de Aguas)	Nacional

Fuente: Elaboración propia.

9 MONITOREO Y EVALUACIÓN DEL PLAN

El PEGH considera establecer un mecanismo de monitoreo y evaluación cuyo objetivo es levantar indicadores que permitan conocer, tanto la efectividad de los resultados obtenidos desde las acciones implementadas como el desarrollo mismo del plan en su globalidad. A partir de este conocimiento, se proponen los mecanismos para el análisis y toma de decisiones asegurando la mejora adaptativa del PEGH.

9.1 Plan de monitoreo

El PEGH es parte de un proceso de mejoramiento continuo que permite una gestión adaptativa de los recursos hídricos, adecuándose al avance real en la implementación de las iniciativas propuestas, al resultado obtenido en relación con el esperado, y a las condiciones cambiantes del entorno. En este sentido, la etapa de Seguimiento y Evaluación es clave para esta gestión adaptativa.

Para esto, el seguimiento debe contar con indicadores específicos, que sean comparables entre sí y reflejen en forma clara, directa e inequívoca los resultados de la implementación de las acciones propuestas.

9.1.1 Indicadores

A continuación, en la Tabla 9-1 se presentan los indicadores para cada una de las iniciativas del PEGH. Se definió distintos indicadores para cinco ejes que articulan de manera temática las iniciativas propuestas, y se distinguió entre indicadores de proceso (aquellos que dan cuenta de una acción que avanza hasta ser completada), e indicadores de impacto (aquellos que se deben evaluar permanentemente y que dan cuenta de variables físicas o umbrales de satisfacción de una condición establecida). Estos indicadores fueron agrupados de acuerdo a los ejes estratégicos (áreas focales) propuestos por la ONU y posteriormente redefinidos por CEPAL (Peña, 2016), siendo coherentes con la realidad de la cuenca Estero Casablanca:

- Balance y déficit hídrico
- Seguridad hídrica para las personas
- Seguridad hídrica para los ecosistemas
- Seguridad hídrica para las actividades productivas
- Gestión institucional

Tabla 9-1. Indicadores del PEGH.

Ejes Estratégicos	Indicadores de Proceso	Indicadores de Impacto
Balance y déficit hídrico: Obras Hidráulicas, Nuevas Fuentes, Recarga de Acuíferos	Brecha balance hídrico actualizada	Volumen de agua aportada al acuífero (hm ³ /año) Recarga para el acuífero (hm ³ /año)
Seguridad Hídrica para las Personas: Medidas de gestión, Fortalecimiento OUA.	Nº de personas capacitadas el programa de monitoreo participativo	Nº de camiones aljibe/año Porcentaje de familias con arranque de agua potable
Seguridad Hídrica para los Ecosistemas: Medidas de gestión, Otras Medidas.	Nº de acuerdos alcanzados en torno al caudal ecológico y caudal ambiental	Revisión y mantenimiento del caudal ecológico Acuerdos de forestación/reforestación en predios privados
Seguridad Hídrica para las Actividades Productivas: Medidas de gestión, Otras medidas.	No actores del sector turismo en proceso de acuerdos de producción limpia	No de actores con evaluación Huella hídrica ISO 14046 al año No de actores adscritos a acuerdos de producción limpia
Gestión Institucional: Medidas de gestión.	Nº de derechos de agua regularizados Nº de OUA constituidas legalmente y fortalecidas Número de estudios en recursos hídricos, calidad de agua y medio ambiente y OUA realizados Número de programas de capacitación formal y/o no formal aprobado	Porcentaje de OUA's constituidas legalmente y fortalecidas Porcentaje de faenas mineras regularizadas Evolución de la calidad de las aguas en los acuíferos y humedales Nº de personas capacitadas por programa desarrollado

Fuente: Elaboración propia a partir de las fichas resumen de las iniciativas (Anexo K.1 – Listado de iniciativas).

A continuación, en la Tabla 9-2 se define cada indicador.

Tabla 9-2. Descripción de los indicadores de impacto.

Eje	Indicador de impacto	Meta	Monitoreo	Medio de Verificación	Responsable
Balance y déficit hídrico	Volumen de agua aportada al acuífero (hm ³ /año)	120.000 m ³ /año	Niveles de pozo	Formulario de registro	DGA
Balance y déficit hídrico	Recarga para el acuífero (hm ³ /año)	-	Niveles de pozo	Formulario de registro	DGA
Seguridad Hídrica para las personas	Porcentaje de familias con arranque de agua potable	Más del 90% de las familias con arranque	Medidor de agua domiciliario	Registro visual	DOH
Seguridad Hídrica para las personas	Nº de camiones aljibe/año	Reducir a un 10% cantidad de camiones aljibes	Contratos con proveedores	Factura de pago de servicio	DOH
Seguridad Hídrica para los Ecosistemas	Acuerdos de forestación/reforestación en predios privados	Aumento de la biodiversidad en humedales	Riqueza y abundancia de especies	Campañas de seguimiento	MMA
Seguridad Hídrica para los Ecosistemas	Revisión y mantenimiento del caudal ecológico	Caudal suficiente en los esteros para cumplimiento de caudal ecológico y caudal ambiental	Monitoreo de caudal Riqueza y abundancia de especies acuáticas	Campaña de seguimiento	MMA

Eje	Indicador de impacto	Meta	Monitoreo	Medio de Verificación	Responsable
Gestión Institucional	Nº de personas capacitadas por programa desarrollado	Capacitar a 50 personas al año	Asistencia a programas de capacitación	Lista de asistencia	Oficina de Asuntos Hídricos
Gestión institucional	Evolución de la calidad de las aguas en los acuíferos y humedales	Mediciones en todos los SHAC's y esteros que desembocan a humedales costeros 360 días al año con cumplimiento de norma NCh409 en la totalidad de la red	Chequeo de realización de la campaña Campañas de monitoreo fisicoquímico NCh409	Realización de campaña	DGA
Gestión institucional	Porcentaje de OUA's constituidas legalmente y fortalecidas	Conformación de la confederación de juntas de vigilancia con participación de todos los sectores involucrados con los recursos hídricos incluidos sociedad civil	Incorporación legal a la confederación	Documento legal	Oficina de Asuntos Hídricos
Gestión institucional	Porcentaje de faenas mineras regularizadas	4 faenas regularizadas	Acuerdos y plan de acción	Informe anual de reporte de regularidad	SEREMI Minería

Fuente: Elaboración propia a partir de las fichas resumen de las iniciativas (Anexo K.1 – Listado de iniciativas).

9.1.2 Seguimiento

El seguimiento permite saber si las acciones consideradas fueron efectivas, así como tomar decisiones en forma temprana, en caso de que la efectividad de las medidas no sea la esperada.

Este paso del Plan cobra importancia, por tanto, es importante que se realice de forma programada y por personas capacitadas para y en constante contacto con la ejecución del Plan. Con el fin de que pueda entregar reportes periódicos del grado de cumplimiento de las metas.

Complementariamente, para que el seguimiento sea efectivo, esta información debe ser pública, para ser sometida al escrutinio de la sociedad civil.

9.2 Mecanismos para el análisis y toma de decisiones

Este PEGH presenta 3 horizontes de tiempo: corto, mediano y largo plazo. Ante ello se espera que el seguimiento y toma de decisiones se realice en periodos de tiempos oportuno de acuerdo a los objetivos de cada plazo. De esta forma poder generar un plan adaptativo.

Se deben generar distintas instancias de toma de decisión, con horizonte a 2, 5 y 10 años, que permitan incorporar de manera permanente las mejoras que se requieran para el Plan general, producto del análisis de la ejecución de este, de sus resultados, y de los cambios de contexto.

Estas instancias de toma de decisión deben ser coordinados por la secretaria técnica del comité de cuencas quienes revisen el cumplimiento dentro del período anterior, y se ajusten las iniciativas.

10 ASPECTOS NORMATIVOS

Para la implementación del Plan hay ciertos aspectos normativos a tener en cuenta. Por cada una de las iniciativas implementadas se veló que estuviese respaldada por normativa vigente.

Sin embargo, existen ciertos elementos en los cuales el Plan no tiene competencia normativa pero que, sin embargo, es necesario que el Plan pueda adherirse a estos.

En primer lugar, y durante todas las instancias participativas, se comentó la necesidad de desarrollar Planes de ordenamiento territorial, tal que puedan normar el desarrollo de actividades en zonas rurales y, por tanto, compatibilizar el crecimiento con la demanda de agua potable, con evitar eventos de contaminación, tanto puntual como difusa y para permitir la gestión de recursos hídricos de una forma eficiente.

En este sentido, el Plan debe ser parte de un Plan de Ordenamiento territorial, buscando la compatibilización entre distintos usuarios, suministrando seguridad hídrica y velando por la conservación del medio ambiente.

Otro aspecto importante es que es necesario que el Plan no solo se enmarque dentro de un ordenamiento territorial, sino que también debe estar bajo una política regional de recursos hídricos y sostenibilidad.

Finalmente, el modelo de gobernanza propone la creación de un Comité de Gestión de Recursos Hídricos, que sea autónomo y que tenga una participación pública-privada. Estando presentes representantes del Estado a través de instituciones públicas con directa relación con el recurso hídrico y sus fuentes naturales, así como actores con derechos de agua asignados y otros usuarios o representantes de organismos que no poseen derechos de agua, pero que sus actividades o intereses están plenamente ligados al recurso hídrico y sus fuentes naturales

Actualmente, no existe la normativa que permita la creación de dicho comité y por tanto, este se propone que sea implementado en etapas bajo los alcances que permite la normativa vigente. En ese sentido, se abordó mediante la aproximación *bottom-up*, es decir, construyendo desde la escala espacial menor hacia una escala espacial mayor de gestión, y porque, además, la normativa vigente basado en el Código de Aguas permite esta forma de organización. La estrategia se resume en:

- 1.- Generación de OUA para usuarios con derechos de agua
- 2.- Generación de Juntas de Vigilancia para la coordinación de los actores con derechos de aguas regularizados
- 3.- Conformación de una confederación de juntas de vigilancia, tal que en sus estatutos permita la agrupación de la totalidad de las Juntas de Vigilancia de la cuenca, así como la incorporación de organismos o usuarios que no responden a una organización netamente territorial o bien que no tienen derechos de aguas asociados, pero que hacen uso del recurso para sus intereses. Esta confederación dota de personalidad jurídica a esta agrupación y, por tanto, el poder acceder a financiamiento externo.

4.- Finalmente, se espera que, a lo largo de implementación del plan, se genere la normativa que permita la creación y operación de un ente autónomo.

Por otro lado, existen políticas y estrategias intersectoriales que promueven la coherencia entre políticas de agua ("Código de Aguas") y áreas clave como, por ejemplo, medio ambiente (Ley 19.300 Bases Generales del Medio Ambiente), salud (Decreto 735 Reglamento de los Servicios de Agua Destinados al Consumo Humano), agricultura (Ley 18.450 Normas Para el Fomento de la Inversión Privada en Obras de Riego y Drenaje), planificación territorial (Decreto 458 Ley General de Construcciones y Urbanización), entre otros.

A continuación, se identifican algunas condicionantes normativas para la implementación de ciertas iniciativas:

a. Infraestructura hidráulica para el almacenamiento y/o desvío de caudales en cauces naturales. Para este tipo de acción es necesario coordinar la aprobación de dichos proyectos con las entidades competentes en temas relativos a impacto ambiental e intervención de fuentes de agua natural (DGA, SEA, entre otros). En general requieren ceñirse a las normas del Código de Aguas y a la normativa ambiental, requiriendo de autorización de la DGA y de una RCA.

b. Mejora de infraestructura hidráulica de conducción. En general no requieren autorización de organismos públicos mientras se ejecute dentro de los marcos normativos establecidos en el Código de Aguas.

c. Mejora de la eficiencia de riego a nivel predial, y a pequeña escala. En general no requieren autorización de organismos públicos mientras se ejecute dentro de los marcos normativos establecidos en el Código de Aguas.

d. Sistemas de tratamiento de aguas residuales en localidades rurales concentradas o semi-concentradas. Debe someterse a la normativa ambiental sobre la descarga de riles a distintos cuerpos de agua (redes, aguas superficiales, lagos, acuífero, océano) y obtener los permisos sanitarios de MINSAL, de la SISS y del SAG, según corresponda. Según las características del proyecto pudiera necesitar someterse al sistema de EIA, y preparar una DIA o un EIA. Además, dependiendo del caso, debe requerir la aprobación municipal para el cumplimiento de la Ley General de Urbanismo y Construcciones. Su aplicación en el caso de los sistemas de agua potable y saneamiento urbanos deberá someterse al marco regulatorio de las empresas sanitarias.

e. Recarga artificial de acuíferos. Requiere cumplir la normativa asociada al Código de Aguas, en lo relativo a la recarga de acuíferos, a la titularidad de los derechos de aprovechamiento utilizados y, eventualmente, a la construcción de obras de infraestructura hidráulica. Además, se deberá cumplir la normativa sobre la calidad del agua, aplicable a los vertidos a las aguas subterráneas.

f. Desalación. Necesita autorización según la normativa aplicable al uso del borde costero, la relativa a vertidos al océano, y la correspondientes a la LGUC. Dependiendo del tamaño

de la iniciativa, requiere de la aprobación del SEIA. Además, el producto debe cumplir la normativa sanitaria respectiva, según su uso.

g. Reúso de aguas residuales urbanas o de comunidades rurales. No existen normativas específicas para el reúso de aguas servidas tratadas y sus implicancias sanitarias. Eventualmente, deben someterse a la normativa ambiental sobre la descarga a distintos cuerpos de agua (aguas superficiales, lagos, acuífero) y obtener los permisos sanitarios de MINSAL, de la SISS y del SAG, según corresponda. Además, dependiendo del caso, debe requerir la aprobación municipal para el cumplimiento de la Ley General de Urbanismo y Construcciones.

h. Manejo y restauración de cauces. Son actividades que involucran numerosos organismos del sector público y un complejo marco regulatorio. Así, dependiendo del proyecto específico involucran regulaciones y permisos relacionados con la administración de los bienes nacionales de uso público y el ordenamiento del territorio (Municipios, M. BBNN, MINVU), con la legislación de aguas y el control de inundaciones (DGA, DOH), y con la conservación y protección Ambiental (MMA).

i. Protección directa de glaciares. En la actualidad, dependiendo del caso, pudiera requerir una autorización en el marco del SEIA. Está en el Congreso un proyecto de Ley relativo a la protección de glaciares.

j. Iniciativas para restauración ambiental en espacios privados o bienes nacionales. Se trata de iniciativas que pudieran requerir de autorización ambiental a través del SEIA o formar parte de una RCA, en especial si corresponden a áreas con algún tipo de protección ambiental. Asimismo, pueden integrar planes de abandono. En el país, no hay una legislación relativa a recuperación de pasivos ambientales.

k. Oficina de Asuntos Hídricos: desde los aspectos legales y de factibilidad, se espera que esta iniciativa se contemple dentro del marco de la realización de un convenio de colaboración realizado entre el Gobierno Regional y la Municipalidad, en el que la DGA pueda prestar colaboración. Esta instancia es factible a raíz de la Ley N° 18.695 en donde los municipios son corporaciones autónomas de derecho público, con personalidad jurídica y patrimonio propio, tienen como finalidad satisfacer las necesidades de la comunidad local y asegurar su participación en el progreso económico, social y cultural de las respectivas comunas.

l. Confederación de juntas de vigilancia: aspectos legales y factibilidad: Debido a la necesidad de que exista una coordinación integral del territorio, y considerando que se creará más de una junta de vigilancia se propone desarrollar un Comité de cuenca en el que se accede a la participación no solo de juntas de vigilancias, comunidades de agua y asociación de canalistas, sino también a la participación de otros actores (asociación de APR, universidades, instituciones públicas, organizaciones ambientales y juntas de vecinos). Es por ello que dentro del marco legal y factibilidad de la iniciativa se puede observar como ejemplo la Federación de junta de Vigilancia de Ríos y Esteros de la Sexta Región, que se constituyó como una corporación de derecho privado y que tiene personalidad jurídica otorgada de acuerdo al Decreto Exento N° 2.256 del Ministerio de Justicia. La figura de corporación de derecho privado permite la integración de otros actores que no sean juntas de vigilancia.