

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

PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA DEL BIOBÍO

REALIZADO POR:

Universidad de Concepción
Departamento de Recursos Hídricos

S.I.T. N° 474

AGOSTO, 2021

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

Ministro de Obras Públicas

Ing. Civil Industrial Sr. Alfredo Moreno Charme

Director General de Aguas

Ing. Comercial Sr. Oscar Cristi Marfil

Jefe División de Estudios y Planificación

Ing. Civil Mag. Sr. Mauricio Lorca Miranda

Inspector Fiscal

Ing. Civil, MSc. Sra. Andrea Osses Vargas

Inspectores fiscales subrogantes

Ing. En Recursos Naturales Renovables, Mag. Sr. Gustavo Abrigo Cornejo

Ing. Civil, Sr. Ignacio Cofré Henríquez

Ing. Civil hidráulico, Srta. Carolina Herrera

Asesoría Planes

Ing. Agrónomo, Dr. Sr. Rodrigo Fuster Gómez

Ing. Civil Hidráulico, Sr. Cristian Chadwick Irarrázaval

Ingeniera en Recursos Naturales Renovables, Msc. Sra. Hilda Moya Jofré

Asesor Modelación Integrada DGA

Ing. Civil Dr. Sr. Pedro Sanzana Cuevas.

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN

Equipo de trabajo

Jefe de Proyecto

Ingeniero Civil Agrícola, PhD. Octavio Lagos Roa

Especialistas

Coordinador y Especialista SIG

Ingeniero Civil Agrícola Mag. Andrés Pérez Barriga

Especialista en evaluación y modelación de aguas subterráneas

Ingeniero Civil, PhD. José Luis Arumí Ribera

Especialista en recursos hídricos y modelación integrada

Ingeniero Civil, Dr. Enrique Muñoz Ortiz

Especialista en calidad de aguas y medioambiente

Ingeniero Civil Químico, PhD. Javier Ferrer Valenzuela

Especialista en economía

Ingeniera Comercial MSc. Susana Villar

Especialista en ciencias sociales y actividades de participación

Antropóloga, Blanca Rivera

Equipo complementario

Especialista en gobernanza de agua y Organizaciones de Usuarios de Aguas

Ingeniero Civil Agrícola, Ovidio Melo Jara

Encargada de difusión del estudio e ingeniera de proyecto

Ingeniera Civil Agrícola, Carolina Manríquez Parra

Ingeniero de Proyecto

Ingeniero Civil, Robert Clasing Fuentes

Ingeniero de Proyecto

Ingeniera Civil, Yelena Medina González

ÍNDICE DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	12
2	OBJETIVOS.....	14
2.1	Objetivo General.....	14
2.2	Objetivos Específicos	14
3	CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA	15
3.1	Dimensión Física	15
3.1.1	División administrativa	15
3.1.2	Geomorfología.....	17
3.1.3	Hidrografía	17
3.2	Clima	18
3.2.1	Caracterización climática.....	19
3.2.2	Escenarios de cambio climático (RCP 8,5)	27
3.3	Dimensión Ambiental	28
3.3.1	Unidades ecosistémicas.....	28
3.3.2	Identificación de aguas fósiles en la cuenca del río Biobío.	39
3.3.3	Glaciares	40
3.4	Infraestructura hídrica	41
3.4.1	Obras hidráulicas	41
3.4.2	Redes de medición (estado y calidad).	48
3.5	Gobernanza a nivel de cuencas	52
3.5.1	Organizaciones de Usuarios de Aguas existentes.	54
3.5.2	Estado actual de regulación.....	63
3.5.3	Descripción y análisis de comunidades indígenas.....	70
3.5.4	Caracterización de los usuarios del agua y mapa de actores.	76
3.5.5	Mapa de agentes (normativos, operadores, reguladores, OUA)	77
3.5.6	Brechas de coordinación e información	78
4	DEMANDA FÍSICA Y LEGAL DIFERENTES USOS.....	80
4.1	Uso humano	80
4.1.1	Agua potable urbana, histórica y proyectada.	80
4.1.2	Agua potable rural, histórica y proyectada.	82
4.1.3	Derechos de agua para consumo humano	84
4.2	Necesidades mínimas ambientales	86
4.2.1	Caudales ecológicos mínimos.....	87
4.3	Demanda Agrícola.....	87
4.3.1	Zonas de riego modeladas.....	87
4.3.2	Valores de Kc y evapotranspiración de cultivo.....	87
4.3.3	Ineficiencia de métodos de riego.	89
4.3.4	Derechos de agua para la agricultura	90
4.4	Demanda minera y derechos	94
4.5	Demanda industrial y derechos.....	94
4.5.1	Demanda hidroeléctrica	99
4.6	Proyecciones de demanda	100
5	OFERTA HÍDRICA.....	101

5.1	Agua superficial	101
5.1.1	Fuentes	101
5.1.2	Oferta en la fuente	103
5.1.3	Oferta en la fuente proyectada	112
5.1.4	Calidad actual	113
5.1.5	Fuentes de contaminación	120
5.1.6	Derechos concedidos.....	123
5.2	Agua subterránea	126
5.2.1	Identificación	126
5.2.2	Stock, recarga y niveles.	130
5.2.3	Estadística de parámetros de calidad (SHAC).....	132
5.2.4	Fuentes de contaminación	137
5.2.5	Derechos concedidos.....	137
6	BALANCE DE AGUA (OFERTA Y DEMANDA, DISPONIBILIDAD FÍSICA)	140
6.1	Modelo de simulación.....	140
6.1.1	Situación actual (Escenarios de calibración)	140
6.1.2	Situación proyectada (Escenarios futuros)	163
6.2	Brechas.....	169
6.2.1	Resultados de Escenario Caso Base (Cambio Climático Seleccionado)	169
6.2.2	Gestión OUA	176
6.3	Sustentabilidad.....	179
6.3.1	Oferta Hídrica Sustentable Superficial	179
6.3.2	Sustentabilidad de Sectores Acuíferos DGA	188
6.4	Escenarios de gestión específicos	190
6.4.1	Escenario 2.....	190
6.4.2	Escenario 3.....	197
6.5	Mercado de aguas.....	198
6.5.1	Determinación del precio del agua.....	199
6.5.2	Conclusiones.....	208
7	ACCIONES	211
7.1	Fortalecimiento de Organizaciones de Usuarios de Aguas	211
7.2	Gestión institucional y privada de la explotación de acuíferos.....	213
7.3	Infraestructura hidráulica	214
7.4	Monitoreo de los recursos hídricos	216
7.5	Calidad de aguas	217
7.6	Riesgos asociados a las aguas de la cuenca.....	218
7.7	Información respecto al mercado del agua y DAA	219
7.8	Ámbito social y cultural	220
7.9	Sugerencias, ideas y propuestas, de los informantes de las actividades PAC.....	222
7.9.1	Propuestas efectuadas en el marco de la Encuesta Diagnóstica.....	222
7.9.2	Iniciativas propuestas producto de las actividades PAC	224
7.10	Fichas de iniciativas	226
7.11	Cartera de iniciativas actuales existentes en la cuenca	227
7.11.1	Fortalecimiento de Organizaciones de Usuarios de Aguas	227
7.11.2	Gestión institucional y privada de la explotación de acuíferos	228
7.11.3	Infraestructura hidráulica	228

7.11.4	Monitoreo de los recursos hídricos	229
7.11.5	Calidad de aguas	231
7.11.6	Riesgos asociados a las aguas de la cuenca	231
7.11.7	Información respecto al mercado del agua y DAA	231
7.11.8	Ámbito social y cultural	231
8	CARTERA DE INICIATIVAS PROPUESTA.....	232
8.1	Síntesis de la selección de Alternativas.	232
8.2	Líneas de acción.....	235
8.2.1	Ejecutora o mandante DGA	237
8.2.2	Otras instituciones	238
8.3	Valorización económica del Plan estratégico de gestión hídrica	239
8.3.1	Distribución de costos por actores	241
8.4	Cronograma de las soluciones.....	242
9	IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN	245
9.1	Hitos de referencia en la implementación del plan.....	245
9.1.1	Estructura del plan de gestión	245
9.1.2	Corto plazo.....	246
9.1.3	Mediano plazo	246
9.1.4	Largo plazo.....	247
9.2	Estrategia de implementación.....	247
9.2.1	Aspectos institucionales	247
9.2.2	Aspectos de cultura del agua.....	248
9.2.3	Aspectos de financiamiento	249
9.2.4	Pasos en la implementación	249
9.3	Estrategia de comunicación	251
9.4	Identificación de fuentes de financiamiento del plan	253
10	MONITOREO Y EVALUACIÓN DEL PLAN	254
10.1	Plan de monitoreo	254
10.1.1	Indicadores	254
10.1.2	Seguimiento.....	260
10.2	Mecanismos para el análisis y toma de decisiones	261
11	CONCLUSIONES.....	263
11	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	267

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Porcentaje de superficie de cada comuna que intercepta con la cuenca del río Biobío.	15
Tabla 2. Distritos agroclimáticos de la cuenca del río Biobío y sus principales variables (TMAX=Temperatura máxima, TMIN= Temperatura mínima, TMED =Temperatura media, PRECIP= Precipitación, EVAPOT=evapotranspiración, DEF HIDR=Déficit hídrico).	20
Tabla 3. Distribución mensual de las principales variables agroclimáticas del distrito 7-9-1	25
Tabla 4. Otras variables agroclimáticas de interés de la zona en estudio.....	25
Tabla 5. Eventos extremos de los distritos agroclimáticos de la cuenca del río Biobío.....	26
Tabla 6. Macrófitas en zonas de baja velocidad e corriente y zona litoral del río Biobío. .	32
Tabla 7. Comparación de microalgas por familia indicando la cantidad de especie por rango de años.....	34
Tabla 8. Cuadro de transformación a 5 clases de calidad, su relación con las características ambientales y el color para su representación cartográfica.	36
Tabla 9. Resumen de Aplicación del Índice Biológico ChSignal calculado con los datos históricos.	37
Tabla 10. Listado de canales por subcuenca en la cuenca del río Biobío.	46
Tabla 11. Estaciones fluviométricas utilizadas para definir las subcuencas.....	50
Tabla 12. Pozos de observación DGA utilizados para la modelación.	50
Tabla 13. Asociaciones de canalistas organizadas cuya constitución se materializó por vía judicial en la cuenca del río Biobío.....	62
Tabla 14. Asociaciones de canalistas organizadas cuya constitución se materializó por vía extrajudicial en la cuenca del río Biobío.....	62
Tabla 15. Asociaciones de canalistas no organizadas en la cuenca del río Biobío.	62
Tabla 16. Población indígena en la cuenca del río Biobío.....	71
Tabla 17. Matriz de influencia/interés.	78
Tabla 18. Demanda de agua potable urbana año base (2015).....	80
Tabla 19. Proyección demanda hídrica de consumo agua potable urbana anual (Mm ³ /año).	81
Tabla 20. Demanda de agua potable rural año base (2015) por subcuencas.	82
Tabla 21. Proyección demanda hídrica para agua potable rural anual (Mm ³ /año) Período 2016-2040 por subcuenca.....	82
Tabla 22. Distribución de la demanda bajo la figura de DAA, para ejercicio del derecho por subcuenca.	84
Tabla 23. Comparación de distribución de la demanda bajo la figura de DAA, para ejercicio del derecho por subcuenca con la demanda de agua potable urbana (APU) y rural (APR) en la cuenca del Biobío con año base 2015.....	85
Tabla 24. Demanda bajo la figura de DAA distribuidos por su naturaleza para cada subcuenca.	85
Tabla 25. Superficies de zonas de riego.	87
Tabla 26. Distribución de la demanda bajo la figura de DAA, para ejercicio del derecho por subcuenca.	91
Tabla 27. Demanda bajo la figura de DAA distribuidos por su naturaleza para cada subcuenca.	91
Tabla 28. Demanda de agua (m ³ /s) mensual distribuido de acuerdo con su naturaleza. .	93
Tabla 29. Demanda de agua (m ³ /s) mensual distribuido por el ejercicio del derecho	93
Tabla 30. Caudal medio mensual (m ³ /s) distribuido por subcuenca de acuerdo con su naturaleza.	94
Tabla 31. Demandas mineras.	94

Tabla 32. Distribución de la demanda bajo la figura de DAA, para ejercicio del derecho por subcuenca.	95
Tabla 33. Demanda bajo la figura de DAA distribuidos por su naturaleza para cada subcuenca.	96
Tabla 34. Demanda de agua (m ³ /s) mensual distribuido de acuerdo con su naturaleza. .	98
Tabla 35. Demanda de agua (m ³ /s) mensual distribuido por el ejercicio del derecho.	98
Tabla 36. Caudal medio mensual (m ³ /s) distribuido por subcuenca de acuerdo con su naturaleza.	99
Tabla 37. Caracterización de la demanda actual y futura para la región del Biobío.	100
Tabla 38. Porcentaje de excedencia de los valores recomendados por la NSCA del río Biobío y sus afluentes, para las distintas áreas de vigilancia del Biobío, para el año 2016 (verano y otoño).	115
Tabla 39. Límites de clases de calidad de aguas, para la cuenca del río Biobío.	118
Tabla 40. Valores de los parámetros y codificación de colores, según las diferentes calidades establecidas para las aguas superficiales de la cuenca del río Biobío, para verano de 2016 (según los colores establecidos en la Tabla 39).	119
Tabla 41. Resumen comparativo de la situación de la cuenca entre 1990 y 2012	121
Tabla 42. Demanda de agua por naturaleza para cada subcuenca.	124
Tabla 43. Distribución mensual de caudales superficiales otorgados por DAA de tipo consuntivo.	124
Tabla 44. Distribución mensual de caudales superficiales otorgados por DAA de tipo no consuntivo.	124
Tabla 45. SHAC existentes en la cuenca del río Biobío.	129
Tabla 46. Pozos de observación presentes en la cuenca del río Biobío.	130
Tabla 47. Factores de infiltración de cada unidad geomorfológica.	131
Tabla 48. Estimación preliminar de las recargas en los SHACs existentes en la cuenca del Biobío (DGA, 2014).	131
Tabla 49. Componentes químicos presentes en aguas subterráneas de la cuenca del río Biobío.	134
Tabla 50. Porcentaje de excedencia de los valores establecidos por la NCh-409, para diferentes pozos de la cuenca del Biobío.	136
Tabla 51. Caudal de los derechos de aprovechamiento subterráneos concedidos por cada SHAC.	137
Tabla 52. Funciones objetivo y ecuaciones.	150
Tabla 53. Subcuencas (puntos de control) modeladas para calibración en ambos proyectos.	151
Tabla 54. Configuración grilla MODFLOW.	151
Tabla 55. Indicadores de calidad de calibración y validación en las estaciones DGA consideradas.	152
Tabla 56. Balance Hidrogeológico 1993-2019 calibrado para la zona del sistema acoplado.	157
Tabla 57. Verificación de la recarga.	163
Tabla 58. Porcentaje de la precipitación transformada en recarga.	163
Tabla 59. Resumen de escenarios considerados en la modelación.	163
Tabla 60. Escenario de Cambio Climático modelado.	165
Tabla 61. E1 CC: Variación Recarga Superficial 2020-2050 c/r a 1993-2019.	165
Tabla 62. Descripción Escenario 1, Caso Base.	168
Tabla 63. Características Básicas Modelo Acoplado E1.	168
Tabla 64. Resumen de diferencias porcentuales de los escenarios E1-CC y Caso Base respecto del periodo de simulación.	171
Tabla 65. Escenario Cambio Climático, Balance Hídrico Subterráneo 2020-2050.	172
Tabla 66. Escenario Caso Base (E1), Balance Hídrico Subterráneo 2020-2050.	172

Tabla 67. Caudales medios mensuales, oferta de DAA permanentes y eventuales, junto con la estimación de oferta sustentable.....	181
Tabla 68. Descripción modelo considerado para sustentabilidad sectores acuíferos.....	188
Tabla 69. Condicion Actual SHACs Biobío.	188
Tabla 70. Criterio 1 cuenca Río Biobío.	189
Tabla 71. Criterio 2 cuenca Río Biobío.	189
Tabla 72. Criterio 3 cuenca Río Biobío.	189
Tabla 73. Escenario Gestión 2 (E2), Balance Hídrico Subterráneo 2020-2050.	192
Tabla 74. Escenario Gestión 3 (E3), Balance Hídrico Subterráneo 2020-2050.	198
Tabla 75. Resultados de análisis para los DAA superficiales.	199
Tabla 76. Resultados de análisis para los DAA subterráneas.	201
Tabla 77. Valor del DAA superficial y subterráneo (por litro por segundo).	202
Tabla 78. Tendencia central de caudal y volumen analizado (Hm ³ : Hectómetro cubico).	206
Tabla 79. Iniciativas de fortalecimiento de organizaciones de usuarios de aguas.	212
Tabla 80. Iniciativas de gestión institucional y privada de la explotación de acuíferos. .	213
Tabla 81. Iniciativas de infraestructura hidráulica.....	215
Tabla 82. Iniciativas de monitoreo de los recursos hídricos.	216
Tabla 83. Iniciativas de calidad de aguas.	217
Tabla 84. Iniciativas sobre riesgos asociados a la cuenca.	219
Tabla 85. Iniciativas sobre información respecto al mercado del agua y los DAA	220
Tabla 86. Iniciativas en el ámbito social y cultural.	221
Tabla 87. Propuestas realizadas a actores relevantes.	222
Tabla 88. Iniciativas propuestas en las actividades PAC.	224
Tabla 89. Ficha aplicada para la identificación de brecha a abordar.	226
Tabla 90. Líneas de acción e iniciativas propuestas.....	232
Tabla 91. Valores de ponderación de grupos y variables de decisión utilizadas.....	234
Tabla 92. Consolidación de priorización de iniciativas.....	235
Tabla 93. Iniciativas, líneas de acción y priorización para DGA.	237
Tabla 94. Iniciativas, líneas de acción, priorización y ente ejecutor propuesto.	239
Tabla 95. Costo de las iniciativas del plan según línea de acción y fuente de financiamiento.	240
Tabla 96. Costo por actores y línea de acción del plan.	242
Tabla 97. Ejes estratégicos para la estructura PEGH.	245
Tabla 98. Distribución de costos según mandante DGA u otros.....	253
Tabla 99. Propuesta de indicadores por acción.....	256
Tabla 100. Seguimiento del PEGH Biobío.....	261

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Comunas en la cuenca del río Biobío.	16
Figura 2. Red de drenaje principal y unidades geomorfológicas presentes en la cuenca del Biobío.	17
Figura 3. Principales Distritos agroclimáticos en la zona en estudio.	19
Figura 4. Distribución espacial de la precipitación anual de los distritos agroclimáticos en la zona en estudio.	21
Figura 5. Distribución espacial de la evapotranspiración anual de los distritos agroclimáticos en la zona en estudio.	22
Figura 6. Distribución espacial de la temperatura máxima de los distritos agroclimáticos.	23
Figura 7. Distribución espacial de la temperatura mínima de los distritos agroclimáticos.	24
Figura 8. Variabilidad climática en la zona en estudio.	27
Figura 9. Uso de suelo en cuenca del río Biobío y vegetación característica.	30
Figura 10. Reservas nacionales asociadas a la cuenca del río Biobío.	31
Figura 11. Representación de la trama trófica del río Biobío.	32
Figura 12. Distribución de fitobentos y fitoplancton del río Biobío.	33
Figura 13. Resumen estructura biológico.	37
Figura 14. Grupos de glaciares existentes en la cuenca del Biobío.	41
Figura 15. Ubicación de embalses en la cuenca del río Biobío categorizados por uso.	43
Figura 16. Red de canales cuenca del río Biobío categorizada según tipo de organización de usuarios (OU).	44
Figura 17. Canales más importantes de la cuenca del Biobío.	45
Figura 18. Tipos de bocatomas en la cuenca del río Biobío.	47
Figura 19. Ubicación de las bocatomas en la cuenca, según tipo de extracción.	48
Figura 20. Red de monitoreo DGA presente en la cuenca del río Biobío.	49
Figura 21. Jurisdicción de las juntas de vigilancia de la cuenca del río Biobío.	56
Figura 22. Estructura organizacional de OUA.	61
Figura 23. Mapa de actores.	77
Figura 24. Distribución espacial por subcuenca de la demanda de APU.	81
Figura 25. Distribución espacial por subcuenca de la demanda de APR.	83
Figura 26. Distribución de caudal bajo la figura de DAA (m^3/s) a nivel de subcuenca; a. Demanda comprometida por ejercicio del derecho; b. Demanda comprometida por naturaleza.	86
Figura 27. Evapotranspiración mensual en función del tiempo para Río Biobío en Desembocadura - SHAC Biobío Inferior.	88
Figura 28. Variación espacial del coeficiente de cultivo ponderado en la cuenca.	89
Figura 29. Distribución espacial de la eficiencia del riego ponderada.	90
Figura 30. Distribución de caudal bajo la figura de DAA (m^3/s) a nivel de subcuenca; a. Demanda comprometida por ejercicio del derecho; b. Demanda comprometida por naturaleza.	92
Figura 31. Distribución de caudal bajo la figura de DAA (m^3/s) a nivel de subcuenca; a. Demanda comprometida por ejercicio del derecho; b. Demanda comprometida por naturaleza.	97
Figura 32. Principales ríos de la cuenca del Biobío.	102
Figura 33. Caudales (m^3/s) de 5, 50 y 95% de probabilidad de excedencia en río Biobío en desembocadura (izq) y río Laja en Tucapel (der).	104
Figura 34. Gráficos de caja de valores medios anuales de precipitación (a), temperatura (b), evapotranspiración potencial (c), área (d) y elevación (e) de sub-cuencas del río Biobío. Las sub-cuencas se presentan en función de la elevación de la estación de control fluviométrico, desde aquellas que se encuentran a una mayor elevación en el	

extremo inferior a aquellas que se encuentran a una menor elevación en el extremo superior.	107
Figura 35. Tasa de tendencia de las variables hidroclimáticas de subcuencas del río Biobío.	108
Figura 36. Cantidad de registros fluviométricos mensuales por año y por estación de la cuenca del Biobío (izquierda) y porcentaje de tiempo con registros mensuales disponibles para el período 1985-2016 (derecha).	109
Figura 37. Zonas hidrológicas dentro de la cuenca. Las líneas amarillas representan de manera conceptual la separación de las tres grandes zonas descritas.	111
Figura 38. Clasificación hidrológica.	112
Figura 39. Cambio porcentual de los caudales de diferente probabilidad de excedencia en las cuencas del río Biobío para el escenario de E1-CC respecto del periodo histórico o de calibración.	113
Figura 40. Áreas de vigilancia de la cuenca del Biobío.	114
Figura 41. Principales fuentes de contaminación puntuales y difusas.	120
Figura 42. Distribución del caudal acumulado por año de uso superficial consuntivo. ...	125
Figura 43. Distribución del caudal acumulado por año de uso superficial no consuntivo.	125
Figura 44. Acuíferos identificados en la cuenca del río Biobío por DGA (2012).	128
Figura 45. Sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común (SHAC) definidos en la cuenca del río Biobío.	130
Figura 46. Niveles freáticos registrados en los pozos de observación de la DGA.	131
Figura 47. Ubicación de los puntos de los pozos muestreados en la cuenca del río Biobío (círculos amarillos), en la campaña indicada en el informe DGA (2019).	135
Figura 48. Función definida por tramos para el cálculo del índice de calidad (IC) de aguas subterráneas, según el método establecido por DGA (2009).	136
Figura 49. Distribución del caudal acumulado por año de naturaleza subterránea.	138
Figura 50. Estaciones fluviométricas y meteorológicas en la cuenca del río Biobío.	141
Figura 51. Subcuencas utilizadas en la modelación.	142
Figura 52. Dominio (GWM) de modelación de aguas subterráneas.	143
Figura 53. Sistema de acuífero hipotético discretizado.	143
Figura 54. Línea de tiempo de las principales intervenciones antropogénicas sobre la cuenca del Biobío.	147
Figura 55. Mapa de subcuencas, sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común (SHAC), bocatomas, estaciones fluviométricas y meteorológicas dentro de la cuenca del río Biobío.	149
Figura 56. Resultados de componente superficial del modelo acoplado WEAP-MODFLOW para la estación Biobío en Desembocadura.	153
Figura 57. Resultados modelación del Lago Laja en modelo acoplado WEAP – MODFLOW.	155
Figura 58. Curvas Isofreáticas.	156
Figura 59. Error en el tiempo del balance hídrico para modelo acoplado Biobío 1993-2019.	157
Figura 60. Calibración en pozo de observación Los Ángeles.	158
Figura 61. Calibración en pozo de observación Yungay.	158
Figura 62. Calibración en Pozo de Observación Canalistas Biobío Sur.	159
Figura 63. Calibración en Pozo de Observación Mulchén.	159
Figura 64. Calibración en Pozo de Observación Yumbel.	159
Figura 65. Calibración en Pozo de Observación Cabrero.	160
Figura 66. Comportamiento de las variables asociadas al Acuífero Laja, período 1993-2019.	160

Figura 67. Comportamiento de las variables asociadas al Acuífero Biobío Medio, período 1993-2019.	161
Figura 68. Comportamiento de las variables asociadas al Acuífero Renaico, período 1993-2019.....	161
Figura 69. Comportamiento de las variables asociadas al Acuífero Vergara, período 1993-2019.....	162
Figura 70. Comportamiento de las variables asociadas al Acuífero Biobío Superior, período 1993-2019.	162
Figura 71. Cambio porcentual de los caudales de diferente probabilidad de excedencia en las cuencas del río Biobío para el escenario de E1-CC respecto del periodo de calibración.	166
Figura 72. Curvas de variación estacional de 5, 50 y 85% de probabilidad de excedencia para caudales simulados en periodo de calibración y E1-CC.	167
Figura 73. Cambio porcentual de los caudales de diferente probabilidad de excedencia en las cuencas del río Biobío para el escenario de Caso Base respecto del periodo de calibración.	169
Figura 74. Curvas de variación estacional de 5, 50 y 85% de probabilidad de excedencia para caudales simulados en periodo de calibración (azul) y Caso Base (rojo).	170
Figura 75. Análisis de componente por SHAC para la cuenca del río Biobío 2020-2050. Escenario Caso Base.	173
Figura 76. Brecha Hídrica media mensual en el periodo 1991-2050. Escenario Caso Base.	176
Figura 77. Muestra de curvas de variación estacional determinadas para los caudales de 5, 50 y 85% de probabilidad de excedencia de las cuencas del proyecto considerando la oferta histórica sin demandas (Mayor detalle en Anexo H).	180
Figura 78. Volúmenes simulados del Lago Laja, considerando la regla de operación del convenio DOH (2017), y comparativa con observaciones del periodo 1990 – 2015.	191
Figura 79. Brecha hídrica calculada a las demandas superficiales, sin considerar las demandas de agua del Lago. Brecha calculada en río Laja en Tucapel.	192
Figura 80. Variación de los Volúmenes por SHAC para la cuenca del río Biobío 1994-2050. Zona media-alta. Escenario E2.	193
Figura 81. Variación de los Volúmenes por SHAC para la cuenca del río Biobío 1994-2050. Zona media-baja. Escenario E2.....	194
Figura 82. Análisis de componente por SHAC para la cuenca del río Biobío 2020-2050. Escenario E2.	195
Figura 83. Distribución de $\ln(UF/Is)$ respecto los cuartiles presentes para la muestra: a) con outliers y b) sin outliers, para aguas superficiales.	200
Figura 84. Distribución de $\ln(UF/Is)$, a) considerando valores atípicos y b) sin valores atípicos, para aguas superficiales.	200
Figura 85 Frecuencia relativa de la variable $\ln(UF/Is)$ para aguas superficiales.	200
Figura 86. Distribución de $\ln(UF/Is)$ respecto los cuartiles presentes para la muestra: a) con outliers y b) sin outliers, para aguas subterráneas.	201
Figura 87. Distribución de $\ln(UF/Is)$, a) considerando valores atípicos y b) sin valores atípicos, para aguas subterráneas.	201
Figura 88. Frecuencia relativa de la variable $\ln(UF/Is)$ para aguas subterránea.	202
Figura 89. Frecuencia de transacciones de tipo compraventa para aguas superficiales (SUP) por año.	203
Figura 90. Frecuencia de transacciones de tipo compraventa para aguas subterráneas (SUBT) por año.	204
Figura 91. Frecuencia de transacciones para aguas superficiales (sup) por Conservador de Bienes Raíces (CBR).	204

Figura 92. Frecuencia de transacciones para aguas superficiales en el CBR de Santa Bárbara.....	205
Figura 93. Frecuencia de transacciones para aguas subterráneas (subt) por Conservador de Bienes Raíces (CBR).	205
Figura 94. Evolución del valor de la transacción (UF) partido por el caudal (Q) en litros por segundo para aguas superficiales.	206
Figura 95. Evolución del valor de la transacción (UF) partido por el caudal (Q) en litros por segundo para aguas subterráneas.	207
Figura 96. Concentración de las transacciones registradas en la zona de estudio.	207
Figura 97. Distribución de iniciativas propuestas por tipo de medida y línea de acción.	233
Figura 98. Número de iniciativas por la línea de acción.	236
Figura 99. Distribución de iniciativas por institución patrocinante (B.N: Bienes Nacionales).....	236
Figura 100. Distribución de las iniciativas a ejecutar por DGA según línea de acción....	237
Figura 101. Distribución porcentual de iniciativas a desarrollar por institución.	238
Figura 102. Número de iniciativas a desarrollar por línea de acción según institución.	239
Figura 103. Distribución de costos por línea de acción y tipo de iniciativa.	240
Figura 104. Distribución de costo por actores.	241
Figura 105. Hoja de ruta del plan de acción.....	243
Figura 106. Distribución de iniciativas a corto plazo.....	246
Figura 107. Distribución de iniciativas a mediano plazo.	246
Figura 108. Esquema simplificado de los pasos de implementación del PEGH.	251
Figura 109. Modelo de gobernanza del PEGH.	251

RESUMEN

La Dirección General de Aguas, ha dispuesto desarrollar una serie de planes estratégicos de gestión hídrica para distintas cuencas del País. Entre los años 2019-2020 se ejecutaron los planes de las cuencas: Copiapó, Huasco, Elqui, Limarí, Choapa, Aconcagua, Ligua, Petorca, Quilimarí y Maule. Durante los años 2020-2021 se sumaron otras 10 cuencas y específicamente este estudio da cuenta de los resultados del plan estratégico de la cuenca del río Biobío. Los planes estratégicos buscan conocer la oferta de los recursos hídricos, la demanda actual y la proyectada del agua, mediante una caracterización, diagnóstico y modelación hídrica de cada cuenca. Con esto, se busca establecer un portafolio de acciones que permitan asegurar el abastecimiento y calidad de los recursos hídricos.

El Objetivo general de este plan es “Proponer un plan estratégico indicativo para la cuenca del río Biobío, para que en su realidad se pueda conocer la oferta y demanda actual de agua, establecer un balance hídrico y sus proyecciones a 30 años, diagnosticar el estado de información, infraestructura e instituciones que toman decisiones respecto al recurso hídrico, y proponer una cartera de acciones DGA y de terceros público-privados”. Específicamente el plan busca: conocer el estado actual de la cuenca del río Biobío en cuanto a oferta, demanda, balance de agua (en cuanto a derechos y demandas de agua). Diagnosticar el estado de la infraestructura hidráulica actual y proponer acciones para mejorar el monitoreo de las aguas de la cuenca. Definir acciones para restaurar condiciones de abastecimiento y calidad de las fuentes de agua potable rural y urbana. Construir modelos de simulación hidrológicos e integrarlos a nivel superficial y subterráneo. Identificar las brechas entre oferta y demanda de agua en distintos escenarios de cambio climático, sequía y escenarios de gestión. Entregar estrategias para mejorar la toma de decisiones, mediante la utilización de modelos operativos de gestión a corto, mediano y largo plazo. La identificación de acciones y la propuesta de una cartera de iniciativas, con un plan de implementación y una estrategia de seguimiento y monitoreo de la cartera. Entregar estrategias para promover y revitalizar la alianza público-privada, y así incrementar cualitativamente la inversión requerida en infraestructura e investigación.

El presente documento detalla el desarrollo del Plan Estratégico de Gestión Hídrica para la cuenca del río Biobío y da cuenta de los resultados más importantes obtenidos durante la caracterización, el diagnóstico, el análisis de la oferta y la demanda de agua, la modelación de aguas superficiales y subterráneas bajo escenarios de sustentabilidad y gestión del recurso hídrico en el marco del cambio climático, la propuesta del plan de acción con el portafolio de iniciativas y los resultados durante las actividades de participación ciudadana. Finalmente, se entregan conclusiones generales asociadas principalmente a los objetivos del plan estratégico de gestión.

1 INTRODUCCIÓN

La Dirección General de Aguas (DGA) es el organismo del Estado de Chile que se encarga de planificar el desarrollo del recurso en las fuentes naturales, con el fin de formular recomendaciones para su aprovechamiento, promoviendo la gestión y administración del recurso hídrico en un marco de sustentabilidad, interés público y asignación y uso eficiente del recurso hídrico, para el consumo humano, producción de bienes y servicios, y la conservación del medio ambiente. Actualmente dicho contexto es complicado, con numerosos desafíos que enfrentar, puesto que el escenario hidrológico global es complejo, y Chile no es la excepción. Predicciones estiman que para la mitad del presente siglo más de la mitad de la población mundial vivirá en áreas con estrés hídrico, en las cuales se extraen volúmenes insostenibles de agua dulce superficial y subterránea para suplir la demanda (Kundu et al., 2017). Los principales factores que limitan el uso sustentable del agua son el crecimiento de la población y el desarrollo económico, y que junto al cambio climático que acelera los ciclos hidrológicos, se genera más humedad en áreas húmedas y sequías más prolongadas en áreas de clima seco (Bucak et al., 2017). Lo anterior aumenta el riesgo de inundaciones con graves daños a la población, y en épocas secas disminuye la seguridad de agua para satisfacer demandas agrícolas, de actividades mineras, industriales y de turismo, de los ecosistemas, de la generación hidroeléctrica, demandas asociadas al sector forestal y de agua potable tanto urbanas como de sistemas de agua potable rural. Similares riesgos han sido reportados en planes estratégicos de gestión hídrica de otras cuencas del país, cuencas del Aconcagua, Limarí, Choapa y Elqui entre otras (DGA, 2020a; DGA, 2020b; DGA, 2020c; DGA, 2020d).

Para enfrentar estos desafíos, la unidad de gestión hídrica más adecuada para una planificación estratégica es la cuenca, debido a que son las principales formas terrestres dentro del ciclo hidrológico que captan y concentran la oferta del agua que proviene de las precipitaciones y aportes cordilleranos por deshielos de la reserva nival. A esto, se suma que, debido a sus características físicas, el agua dentro de una cuenca genera un grado alto de interrelación e interdependencia entre los usos y sus usuarios, por lo que desarrollar planes de gestión hídrica de cuencas es válido y altamente relevante para suplir la demanda de agua con un portafolio de acciones que permitan asegurar su abastecimiento en cantidad y calidad.

Se requiere, por tanto, de un enfoque de gestión estratégico por cuenca, que proporcione conocimiento y diagnóstico para formular planes de corto, mediano, y largo plazo, que cuenten con productos reales de acuerdo con las necesidades propias de cada cuenca, para formular una hoja de ruta realizable y medible, desde la perspectiva DGA para hacer frente a los desafíos que enfrenta Chile para gestionar el agua. Junto a esto se propone entregar y transferir conocimiento sobre herramientas de cálculo de balance de agua para cada cuenca, y un portafolio de acciones que considere los efectos del cambio climático. Por esta razón, los estudios DGA de oferta y demanda de agua y balance hídrico deberán tener proyecciones a 30 años, diagnosticar el estado de información, infraestructura e instituciones que toman decisiones respecto al recurso hídrico, y analizar el impacto del cambio climático, para así proponer una cartera de acciones DGA y de terceros público-privados, en pro del desarrollo hídrico de las cuencas de Chile.

La Dirección General de Aguas, ha dispuesto desarrollar una serie de planes estratégicos de gestión hídrica para distintas cuencas del País. Entre los años 2019-2020 se ejecutaron los planes de las cuencas: Copiapó, Huasco, Elqui, Limarí, Choapa, Aconcagua, Ligua, Petorca, Quilimarí y Maule. Durante los años 2020-2021 se sumaron otras 10 cuencas y específicamente este estudio da cuenta de los resultados del plan estratégico de la cuenca del río Biobío.

El PEGH hace una evaluación de la cantidad y calidad de los recursos hídricos necesarios para todas las actividades y usos que las necesitan, y con prioridad del consumo humano, otorgando un uso sustentable del recurso para así poder satisfacer las necesidades actuales y de futuras generaciones. En consecuencia, el plan de cuenca que se pretende es un portafolio de acciones a corto, mediano, y largo plazo, dirigido principalmente a la DGA, como también a otros organismos del Estado como DOH, Ministerio de Medioambiente, Ministerio de Agricultura, entre otros y organismos privados como Organizaciones de Usuarios de Aguas, Empresas Privadas, siendo estos algunos de los principales actores involucrados en la gestión eficiente del agua y la adaptación de las diversas actividades de desarrollo socioeconómico y medioambiental al cambio climático.

El informe se divide en **11 capítulos**, el primer apartado expone una introducción a los contenidos y lineamientos del estudio, el **capítulo 2** presenta los objetivos específicos del plan estratégico que se busca desarrollar, el **capítulo 3** presenta la caracterización de la cuenca detallando aspectos administrativos, de clima, ambientales, de infraestructura y gobernanza. El **capítulo 4**, presenta una caracterización de la demanda física y legal para los diferentes usos del agua (uso humano, ambiental, agrícola, minero e industrial). El **capítulo 5** caracteriza la oferta hídrica superficial y subterránea de la cuenca, el **capítulo 6**, trata el balance de agua, describiendo situación actual para modelación, brechas, criterios de sustentabilidad y mercado de aguas. El **capítulo 7** detalla las acciones del plan, el **capítulo 8** presenta la cartera de iniciativas propuesta priorizada, el **capítulo 9** la implementación del plan y el **capítulo 10** presenta la propuesta de monitoreo y evaluación del plan y finalmente en **capítulo 11** se entregan las conclusiones generales del estudio.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

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

2.2 Objetivos Específicos

- Objetivo 1** : Conocer el estado actual de la cuenca del río Biobío en cuanto a oferta, demanda, balance de agua (en cuanto a derechos y demandas de agua) y sus respectivas herramientas de cálculo (modelos), control de extracciones, calidad fisicoquímica de fuentes de aguas superficiales y subterráneas, gobernanza, y red hidrométrica superficial, subterránea, de calidad, de glaciología y nieves.
- Objetivo 2** : Construir y/o actualizar modelos de simulación hidrológicos, e integrarlos a nivel superficial-subterráneo.
- Objetivo 3** : Definir acciones para restaurar condiciones de abastecimiento y calidad de las fuentes de agua potable rural y urbana, por tipo de usuario tanto para fuentes superficiales como subterráneas.
- Objetivo 4** : Diagnosticar el estado de la infraestructura hidráulica actual y proponer acciones para mejorar el monitoreo de las aguas de la cuenca (superficial, subterráneo, de montaña y glaciares).
- Objetivo 5** : Diagnosticar estado de la calidad de aguas de las fuentes superficiales y subterráneas. Definir acciones para proteger funciones ecosistémicas críticas relacionadas con los cuerpos de agua en el tiempo.
- Objetivo 6** : Identificar las brechas entre oferta y demanda de agua en distintos escenarios de cambio climático, sequía e inundaciones, estableciendo un portafolio de acciones (estrategias de gestión) para reducirlas. Se deberá establecer un caso base y distintos escenarios para la evaluación.
- Objetivo 7** : Entregar estrategias para mejorar la toma de decisiones, mediante la utilización de modelos operativos de gestión, los cuales deberán tener escenarios de planificación a corto, mediano y largo plazo, y ser adaptativos en el tiempo.
- Objetivo 8** : Entregar estrategias para promover y revitalizar la alianza público-privada, y así incrementar cualitativamente la inversión requerida en infraestructura e investigación.

3 CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA

La cuenca del río Biobío cubre un área de 24.260 km², siendo una de las más grandes y con mayores flujos de agua de Chile. Su régimen es pluvio-nival con un promedio mensual de aproximadamente 2.200 m³/s. Esta cuenca provee agua a 904.241 personas y además a importantes sectores económicos, tales como la actividad forestal, agrícola, industrial (plantas de celulosa y papel, metalúrgicas, químicas y refinerías de petróleo) y al sector hidroeléctrico, siendo la principal fuente de energía del país (Parra et al., 2013).

Este capítulo presenta una caracterización de la cuenca de acuerdo con su dimensión física, caracterización climática y escenarios de cambio climático, la dimensión ambiental, la infraestructura hídrica como embalses canales y bocatomas, así como también el estado de las redes de medición y aspectos asociados a la gobernanza a nivel de cuencas.

3.1 Dimensión Física

La dimensión física incluye la División Administrativa de provincias y comunas, una síntesis de la Geomorfología y de la Hidrografía de la cuenca.

3.1.1 División administrativa

El estudio se desarrolla en la cuenca de río Biobío, comprometida entre los paralelos 36°12'-37°16' de latitud sur y los meridianos 71°00' – 73°10' de longitud oeste.

La cuenca abarca 3 regiones, siendo estas, Ñuble, Biobío y La Araucanía, sumando un total de 30 comunas (Figura 1). En la región de Ñuble, la comuna de Pinto en su parte cordillerana y una pequeña fracción en la depresión intermedia de la comuna de Yungay forman parte de la cuenca, mientras que gran parte de la región del río Biobío pertenece a la cuenca, formando parte las comunas de Coronel, Santa Juana, Concepción, Chiguayante, Hualqui, San Pedro de La Paz, Hualpén, Los Ángeles, Antuco, Cabrero, Laja, Mulchén, Nacimiento, Negrete, Quilaco, Quilleco, San Rosendo, Santa Bárbara, Tucapel, Yumbel y Alto Biobío. En la región de la Araucanía, hay 7 comunas que tienen presencia en la cuenca, la comuna de Angol, Collipulli, Ercilla, Lonquimay, Los Sauces, Renaico y Traiguén. La Tabla 1 muestra el porcentaje de superficie de cada comuna que intercepta con la cuenca.

Demográficamente, según el último Censo de Población y Vivienda del año 2017 realizado por el INE, las comunas que conforman la cuenca poseían una población estimada de 904.241 habitantes, los que equivalen aproximadamente al 5,17 % de la población chilena, con una superficie de 23.708,5 km² representando el 3,2% del territorio nacional.

Tabla 1. Porcentaje de superficie de cada comuna que intercepta con la cuenca del río Biobío.

Región	Comuna	Superficie que intercepta con cuenca (%)
Ñuble	Pinto	39,0
Ñuble	Yungay	14,1
Biobío	Nacimiento	100
Biobío	Santa Bárbara	100
Biobío	Alto Biobío	100
Biobío	Negrete	100
Biobío	Mulchén	100
Biobío	Quilaco	100
Biobío	Hualpén	91,6
Biobío	Concepción	9,2

3.1.2 Geomorfología

Se presenta una síntesis de la información sobre geomorfología de la cuenca del río Biobío basada en la información elaborada por el Estudio Hidrogeológico Cuenca del Biobío elaborado por Aquaterra Ingenieros Limitada para la Dirección General de Aguas (DGA, 2012). En este capítulo se presenta una compilación de información sobre la geomorfología y geología de la cuenca que se encontraba disponible a la fecha de publicación del estudio, que sigue siendo la información más actualizada publicada a esta fecha.

La cuenca del río Biobío cuenta con las cinco unidades morfológicas principales típicas de la zona central de Chile que son de oeste a este: Planicies litorales, Cordillera de la Costa, Depresión Central, Precordillera y la Cordillera Andina (Figura 2).



Fuente: Elaboración propia

Figura 2. Red de drenaje principal y unidades geomorfológicas presentes en la cuenca del Biobío.

3.1.3 Hidrografía

El sistema fluvial del río Biobío se origina a partir de tres cuerpos de agua, de origen glaciar, ubicados en la Cordillera de los Andes, éstos son los lagos Galletué e Icalma, que son vertientes de origen del río Biobío, y el lago o laguna del Laja, que a su vez origina el río

Laja, que corresponde al principal afluente del río Biobío. Su curso superior se desarrolla en un valle intermontano de origen glacial, atraviesa la llanura central y vacía sus aguas en la comuna de San Pedro de la Paz, en el sector norte del golfo de Arauco, en las proximidades de Concepción. Cumple un recorrido de 380 km, ocupando el segundo lugar en Chile por su longitud después del río Loa.

A poco andar, el río Biobío, siempre serpenteante, cambia lentamente de rumbo hasta tomar dirección al NNO. En este tramo confluyen numerosos afluentes de relativamente pequeño caudal. Entre ellos destaca el río Lonquimay, por ser su caudal el más importante. El último de estos afluentes, del sector alto del río Biobío, es el río Rahue, que cae desde el oriente. A partir de su confluencia, el río Biobío empieza a encajonarse y la velocidad de sus aguas aumenta.

El afluente septentrional más importante del río Biobío es el río Laja. La confluencia se encuentra en las proximidades de San Rosendo y del pueblo industrial de La Laja, al oriente de la Cordillera de la Costa. El río Laja nace en el lago homónimo, situado a 1.360 m.s.n.m originado por la formación de una barrera natural que represó las aguas del río. Este lago es el mayor de la zona; su hoya hidrográfica es de 1.000 km² y almacena un volumen cercano a 6.000 millones de m³; su eje mayor es de 32,5 km de orientación NS y su ancho varía entre 9 y 1,5 km. Enmarca una superficie de espejo de agua en condición natural de 132 km² con costas accidentadas que dejan bahías y penínsulas pronunciadas, consecuencia de su origen volcánico.

El río Laja sale al Valle Central y recorre, en un lecho ancho y arenoso, una llanura formada por grandes arenales de los propios sedimentos que él aporta. Tiene una dirección general al Oeste y en su curso medio presenta un tramo paralelo al río Itata distanciado no más de 4 km. Inmediatamente al este de la Carretera Panamericana, se encuentra el Salto del Laja con una caída vertical de más de 20 m. El río Laja tiene una longitud de 140 km y drena una hoya de 4.040 km².

El hecho de que el río Biobío no presenta lagos importantes intercalados en su curso medio provoca un arrastre excesivo de sedimentos que embancan su lecho, banco que muchas veces tienen carácter móvil con las crecidas que obligan a los canales que extraen agua del río a disponer de desripadores, obras caras situadas inmediatamente bajo las bocatomas (ejemplo, canal Biobío sur).

Finalmente, en el curso inferior del río Biobío el lecho es muy ancho, de más de dos kilómetros frente a la comuna de San Pedro; se presenta embancado con arena gruesa, de manera que en su desembocadura se forma una barra que impide la navegación aún de pequeñas embarcaciones desde el océano.

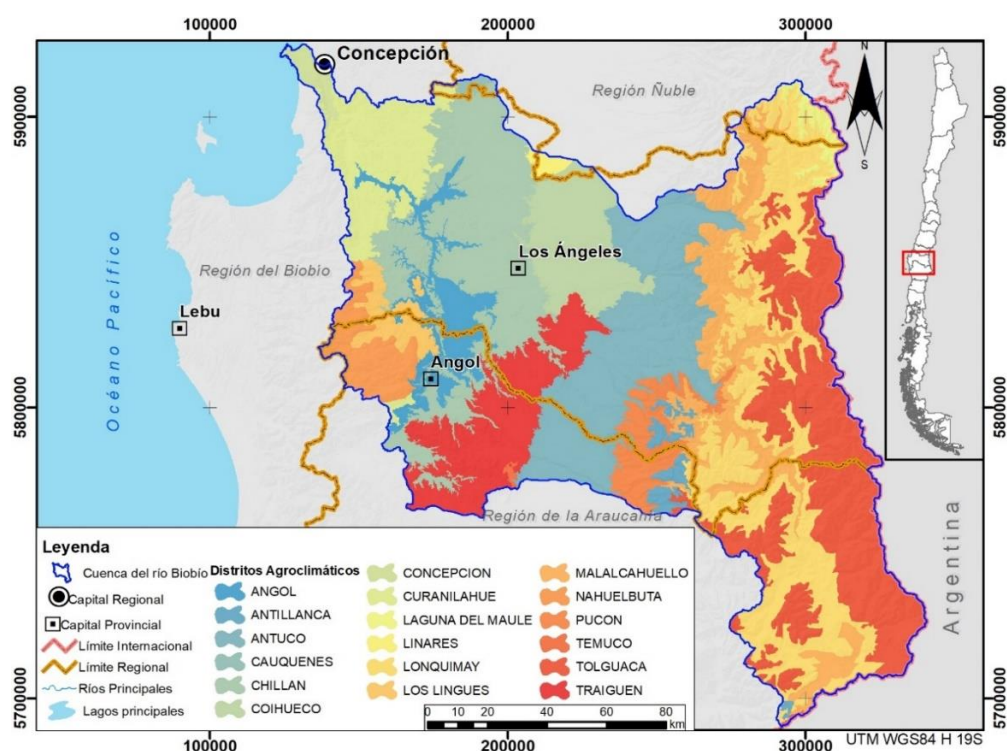
3.2 Clima

Este capítulo detalla la caracterización de los distritos agroclimáticos presentes en la cuenca, se muestran las principales variables medioambientales de cada distrito con su variación temporal y su distribución espacial. Se analizan eventos extremos, variabilidad climática y proyecciones asociadas al cambio climático.

3.2.1 Caracterización climática

La caracterización climática de la cuenca consideró el estudio Atlas Agroclimático de Chile, Estado actual y tendencias del Clima Tomo IV: Regiones del Biobío y de la Araucanía (Santibáñez, 2017). Este estudio establece que para construir la línea base climática se compiló la información de estaciones meteorológicas de distintas fuentes (Dirección Meteorológica de Chile, Dirección General de Aguas (DGA), Red Agroclimática Nacional (ex RAN hoy AGROMET) y otras fuentes públicas y privadas) para el período climatológico comprendido entre 1980-2015. En total se utilizaron 250 estaciones comprendidas en las regiones de Ñuble, Biobío y Araucanía. De acuerdo con información existente del Atlas Agroclimático de Chile (Santibáñez, 2017) en la cuenca del río Biobío existirían 18 distritos agroclimáticos. De acuerdo con este estudio, un distrito agroclimático corresponde a un territorio climáticamente uniforme y que, consecuentemente tiene similar potencial productivo y de riesgos agroclimáticos frente a las especies cultivadas.

La distribución espacial de los distritos agroclimáticos existentes en el área se muestra en la Figura 3. En superficie el distrito agroclimático de mayor área es Tolhuaca con 401.281 ha mientras el que posee menor superficie en la cuenca es Temuco con 2.140 ha. De importancia agrícola destacan los distritos Chillán, Coihueco, Los Lingues, Angol, Traiguén, Linares y Antuco que están presentes en la parte media de la cuenca. La Tabla 2 muestra un resumen de las principales variables climáticas de los distritos presentes en la cuenca. Y en el Anexo F.1 (sección 1.3), se muestra una descripción detallada de cada distrito agroclimático.



Fuente: Elaboración propia en base a Santibáñez, 2017

Figura 3. Principales Distritos agroclimáticos en la zona en estudio.

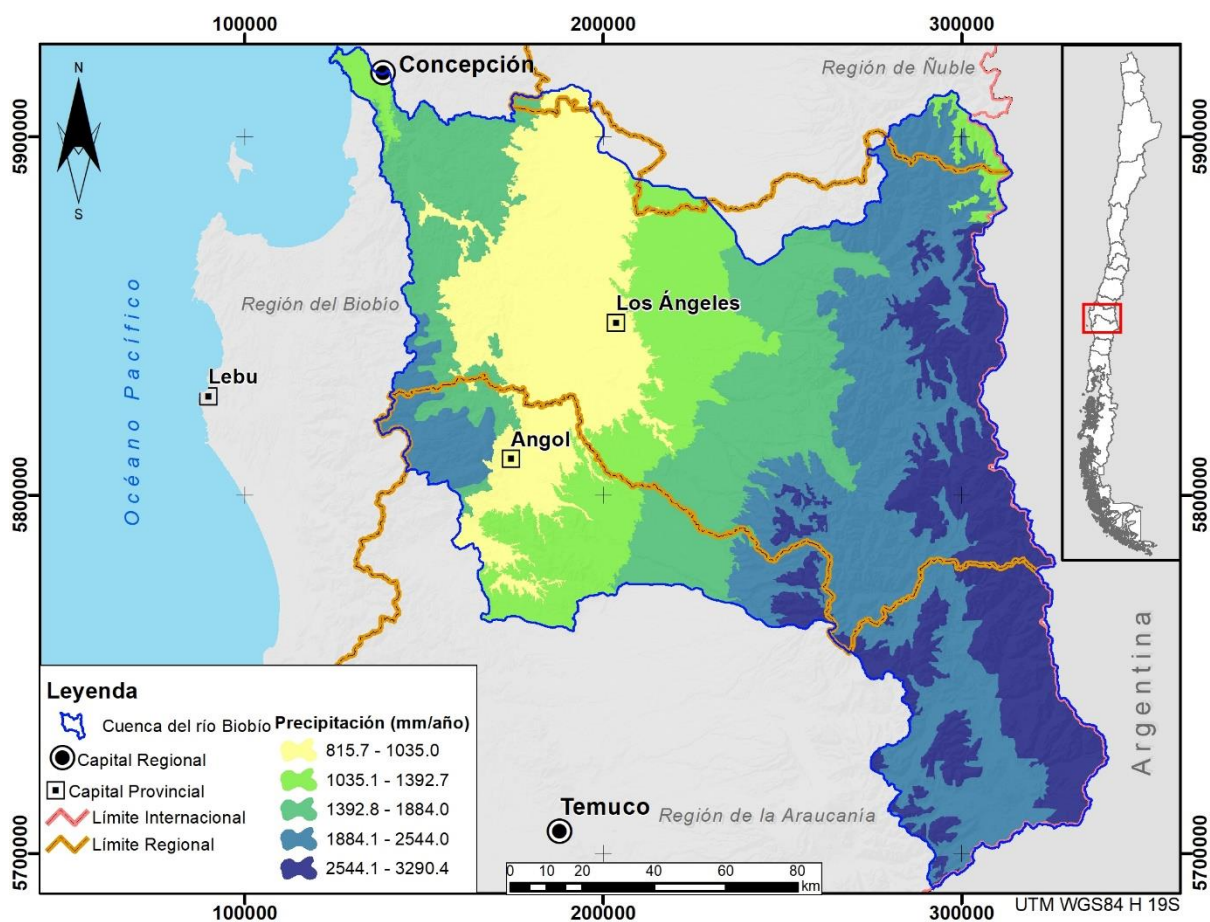
Tabla 2. Distritos agroclimáticos de la cuenca del río Biobío y sus principales variables (TMAX=Temperatura máxima, TMIN= Temperatura mínima, TMED =Temperatura media, PRECIP= Precipitación, EVAPOT=evapotranspiración, DEF HIDR=Déficit hídrico).

#	CODIGO	NOMBRE	TMAX (°C)	TMIN (°C)	TMED (°C)	PRECIP (mm)	EVAPOT (mm)	DEF HIDR (mm)	AREA (ha)
1	6-8-2	LAGUNA DEL MAULE	20,0	6,7	12,7	1.392,7	1.386,0	693	23.729
2	7-8-3	CAUQUENES	21,2	8,5	14,2	815,7	1.471,8	947	4.869
3	7-8-5	LINARES	20,3	7,3	13,2	1.136,9	1.455,6	846	8.927
4	7-9-3	MALALCAHUELLO	15,3	3,3	8,9	2.333,2	1.397,4	472	194.254
5	7-9-2	ANTUCO	18,5	6,0	11,7	1.884,0	1.347,0	528	309.170
6	6-8-1	COIHUECO	20,0	6,7	12,7	1.392,7	1.386,0	693	135.051
7	8-9-2	CURANILAHUE	18,7	8,2	12,8	1.587,2	1.180,2	475	148.680
8	7-9-1	CHILLAN	20,9	7,4	13,4	1.035,0	1.378,0	789	340.326
9	8-9-5	ANGOL	20,1	7,9	13,3	1.000,0	1.372,0	777	97.374
10	8-9-4	LOS LINGUES	19,8	7,8	13,2	1.772,0	1.240,2	458	41.380
11	8-9-3	NAHUEL BUTA	18,7	8,0	12,7	2.248,0	1.120,0	302	68.204
12	8-11-1	TOLGUACA	8,1	-1,3	3,2	3.113,9	989,4	127	401.281
13	8-9-6	TRAIGUEN	18,5	7,2	12,2	1.133,0	1.270,0	662	178.725
14	8-9-1	CONCEPCION	17,7	8,6	12,5	1.135,0	1.136,0	465	18.603
15	7-9-4	LONQUIMAY	12,4	1,0	6,4	2.469,9	1.288,2	253	361.300
16	9-1	TEMUCO	18,3	7,0	12,0	1.152,0	1.160,0	493	2.140
17	8-14-1	PUCON	15,9	5,2	10,1	2.544,0	1.082,0	156	69.650
18	8-10-1	ANTILLANCA	12,5	3,4	7,6	3.290,4	938,4	0	27.814
			Total						2.431.477

Fuente: Elaboración propia en base a Santibáñez, 2017

En cuanto a precipitación los distritos agroclimáticos presentan rangos que van desde los 815 mm a los 3.290 mm anuales. El distrito con menor precipitación es el distrito Cauquenes, por el contrario, el de mayor precipitación es el denominado Antillanca. La precipitación promedio ponderada de la cuenca es de 1.746,42 mm/año. La Figura 4 muestra la distribución espacial de la precipitación en la cuenca y en ella es posible observar que los distritos con mayores elevaciones son aquellos que poseen los valores más altos de precipitación. Por el contrario, las zonas medias de la cuenca son las que muestran los valores más bajos de toda la cuenca, es justamente el área asociada a mayor producción agrícola.

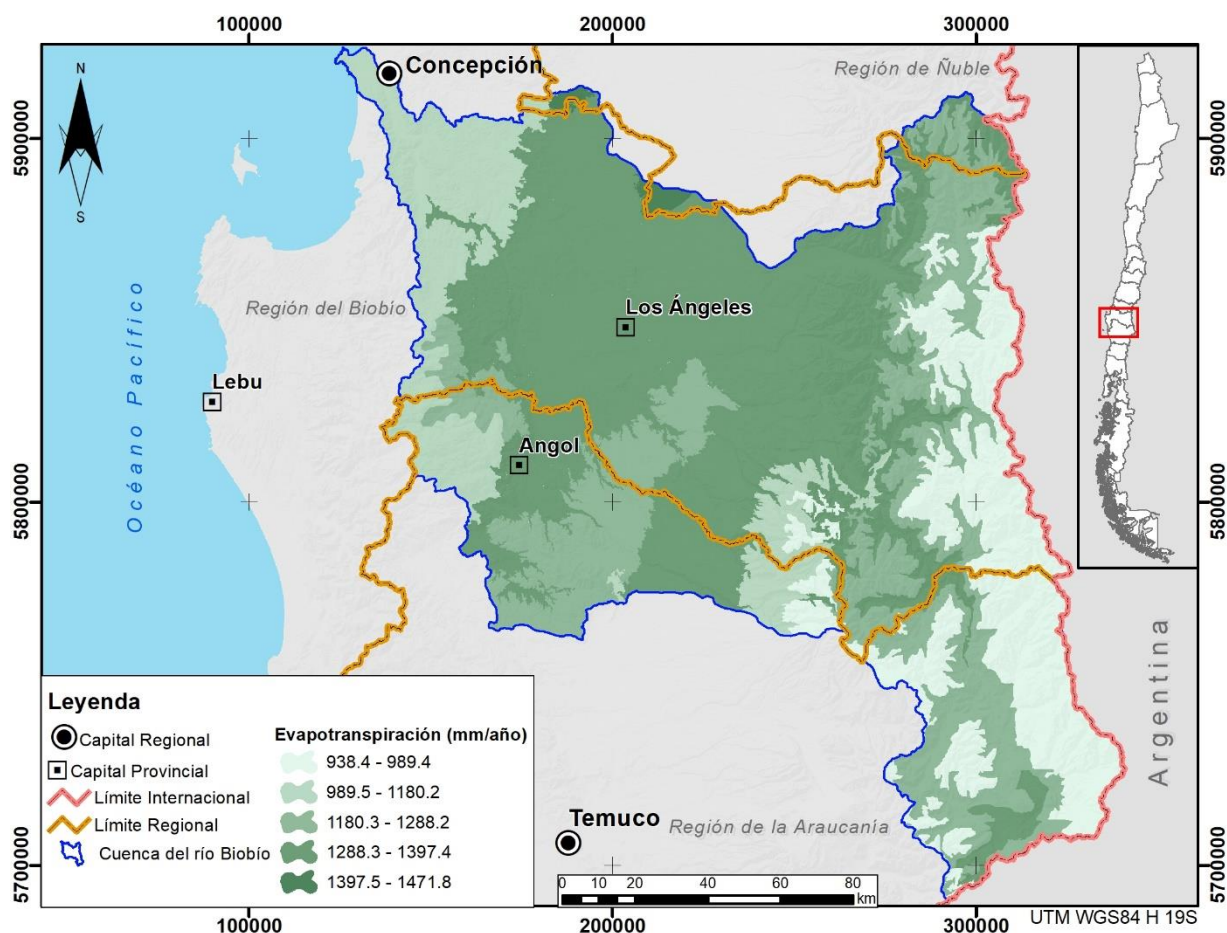
La evapotranspiración de referencia (Eto) presenta rangos en la cuenca entre 1.082 mm/año – 1.471,8 mm/año. El valor más alto se puede observar en el distrito Cauquenes, mientras que el valor mínimo se ubica en el distrito Pucón (Figura 5). La evapotranspiración promedio ponderada por área de la cuenca es de 1.255,45 mm/año. La Figura 5 muestra la distribución espacial de la evapotranspiración anual de cada distrito. Al observar la distribución de los valores de Eto en la cuenca también es posible ver que las zonas de mayor demanda son las zonas asociadas a la producción agrícola de la cuenca.



Fuente: Elaboración propia en base a Santibáñez, 2017

Figura 4. Distribución espacial de la precipitación anual de los distritos agroclimáticos en la zona en estudio.

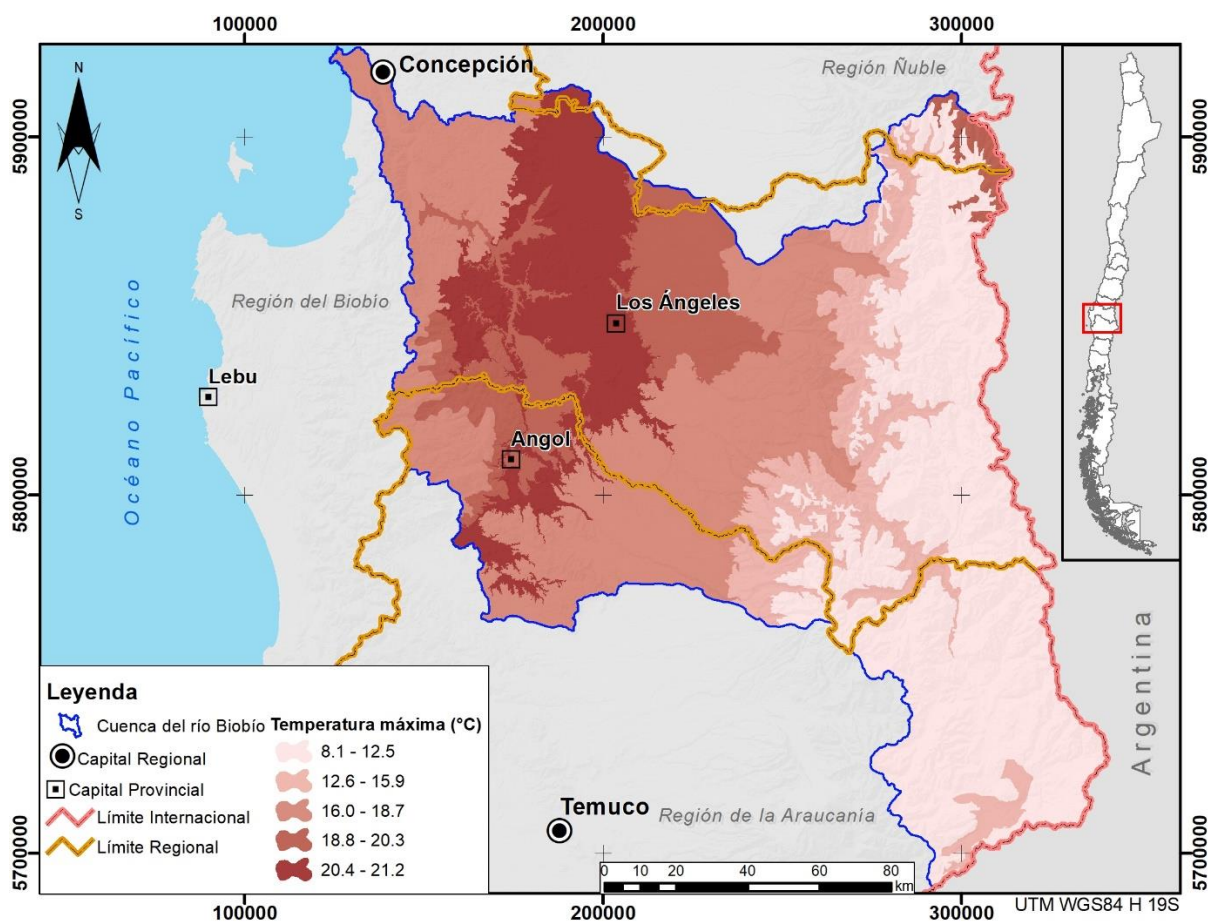
El déficit hídrico es definido cuando la precipitación (P) es menor a la evapotranspiración (Eto). Este déficit representa la cantidad de agua potencialmente evaporada que no está cubierta por la precipitación y se calcula sumando las diferencias mensuales entre Eto y P. El déficit hídrico en la cuenca presenta rangos que van desde los 0 mm/año - 947 mm/año. El distrito con menor déficit hídrico es Antillanca y por el contrario el de mayor déficit hídrico es Cauquenes. El déficit hídrico promedio ponderado de la cuenca es 507,55 mm/año.



Fuente: Elaboración propia en base a Santibáñez, 2017

Figura 5. Distribución espacial de la evapotranspiración anual de los distritos agroclimáticos en la zona en estudio.

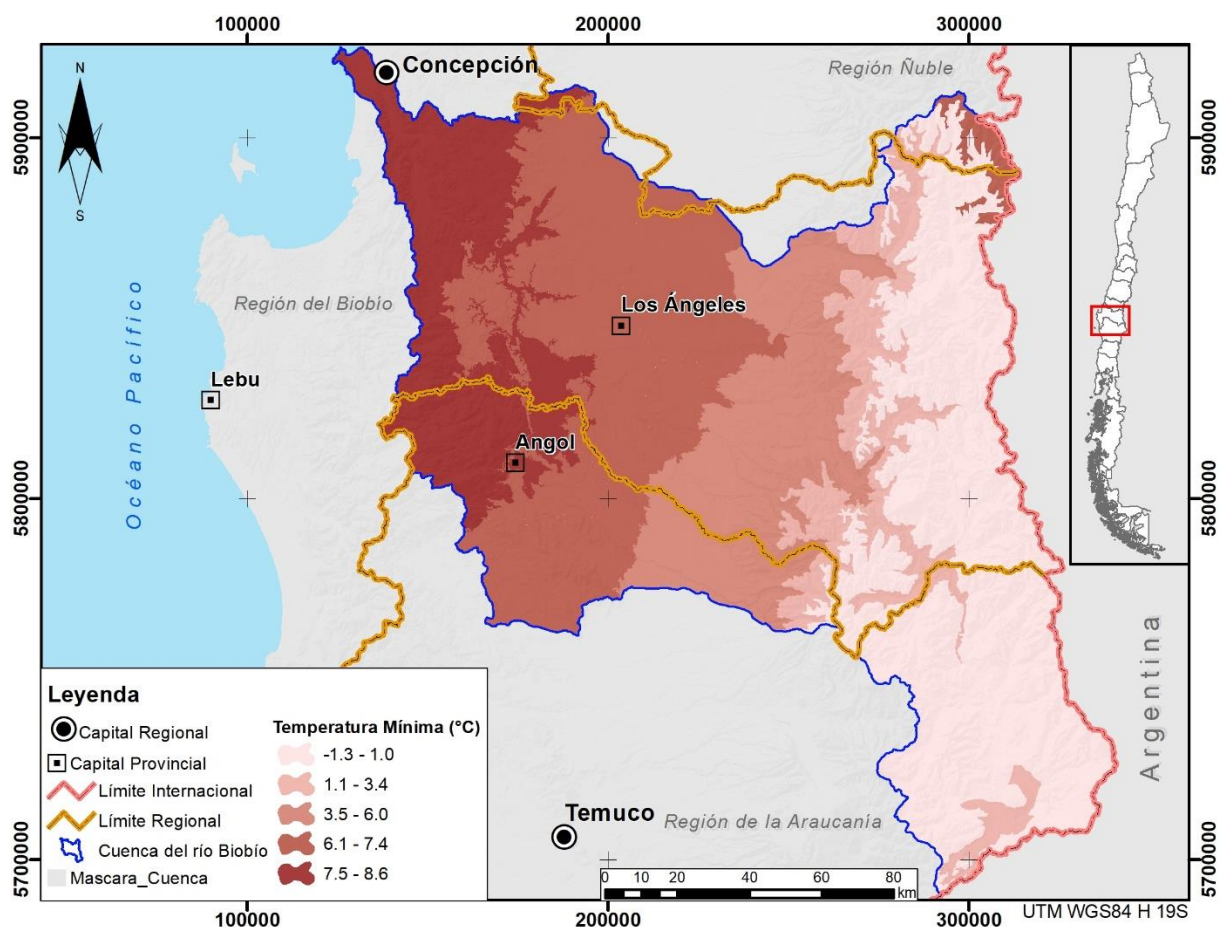
La temperatura media presenta rangos que van desde los 3,2 °C – 14°C. El distrito con menor temperatura media es Tolguaca mientras que el de mayor temperatura media es Cauquenes. La temperatura promedio es de 11,26 °C. El promedio anual de las temperaturas máximas mensuales (Figura 6) se presentan en rangos que van desde 8,1 °C – 21,2 °C. El distrito con menor temperatura máxima es Coihueco, mientras que el que presenta mayor temperatura máxima es Cauquenes. La temperatura máxima promedio es de 17,6°C. Similarmente el promedio anual de las temperaturas mínimas mensuales (Figura 7) se presentan en rangos que van desde -1,3 °C – 8,6 °C. El distrito con menor temperatura mínima es Tolguaca, mientras que el que presenta mayor temperatura mínima es Concepción. La temperatura mínima promedio es 6,05 °C.



Fuente: Elaboración propia en base a Santibáñez, 2017

Figura 6. Distribución espacial de la temperatura máxima de los distritos agroclimáticos.

Esta caracterización climática permite definir los territorios en la cuenca que poseen un clima uniforme (distritos agroclimáticos) y esta diferenciación permitirá poder simular el balance hídrico de la cuenca con mayor precisión. Es importante destacar la zona comprendida en el valle central de la cuenca donde las precipitaciones son menores, la Eto es mayor y la actividad agrícola tiene mayor presencia. Es justamente en esta área donde las simulaciones del agua subterránea cobran mayor relevancia.



Fuente: Elaboración propia en base a Santibáñez, 2017

Figura 7. Distribución espacial de la temperatura mínima de los distritos agroclimáticos.

La variación estacional de cada distrito agroclimático y sus variables puede encontrarse en el Anexo F.1 (sección 1.3). A modo de ejemplo se muestra la variación mensual y estacional de las principales variables climáticas del distrito Chillán 7-9-1.

El distrito agroclimático Chillán es del tipo Templado cálido supratermal con régimen de humedad sub húmedo seco (Csb2Shs) posee una altitud media aproximada: 137 m.s.n.m y tiene una superficie territorial aproximada: 6.044 km². La temperatura varía entre un máximo de enero de 29,5 °C (máx de 30,8 °C y mín de 24,6 °C dentro del distrito) y un mínimo de julio de 3,5 °C (máx de 5,4 °C y mín de 2,9 °C dentro del distrito). Tiene un promedio de 211 días consecutivos libres de heladas. En el año se registra un promedio de 17 heladas. El período de temperaturas favorables a la actividad vegetativa dura 9 meses. Registra anualmente 1.606 días grado y 949 horas de frío acumuladas hasta el 31 de Julio. La precipitación media anual es de 1.035 mm y un período seco de 5 meses, con un déficit hídrico de 789 mm/año. El período húmedo dura 5 meses durante los cuales se produce un excedente hídrico de 446 mm (Tabla 3).

Tabla 3. Distribución mensual de las principales variables agroclimáticas del distrito 7-9-1

VARIABLE	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANUAL
T._MAX (°C)	29,5	28,3	25,2	20,8	16,5	13,4	12,2	13,4	16,5	20,9	25,2	28,3	20,9
T._MIN (°C)	11,2	10,7	9,3	7,3	5,4	4	3,5	4	5,4	7,4	9,3	10,7	7,4
T.MED (°C)	19,3	18,5	16,4	13,4	10,4	8,3	7,5	8,3	10,4	13,4	16,4	18,5	13,4
DIAS_GRADO (10-30°C)	290	261	190	111	61	25	20	25	61	111	190	261	1.606
DG.ACUM. (10-30°C)	852	1.113	1.303	1.414	1.475	1500	1.520	1.545	1.606	111	301	562	1.606
HRS.Frío (T<7.2°C)	0	0	7	48	197	360	391	360	197	48	7	0	1.618
HF.ACUM. (T<7.2°C)	*	*	*	*	197	558	949	1.309	1.507	1.555	1.562	1.562	1.618
R.SOLAR (Cal/cm2día)	592	537	442	332	237	182	182	237	332	442	537	592	387
H.RELAT. (%)	64	65	69	74	79	83	84	83	79	74	69	65	74
PRECIPIT. (mm)	21	21	31	72	166	207	155	145	83	62	41	31	1.035
EVAP.POT. (mm)	186	176	150	115	79	53	44	53	79	115	150	176	1.378
DEF.HIDRI (mm)	165	156	119	42	0	0	0	0	0	53	109	145	789
EXC.HIDRI (mm)	0	0	0	13	86	154	111	91	3	1	0	0	446
HELADAS (T<0°C)	0	0	0	0,1	1,3	4,2	5,7	4,2	1,3	0,1	0	0	16,9

Fuente: Elaboración propia en base a Santibáñez, 2017

Otras variables de interés agroclimático pueden observarse en la Tabla 4:

Tabla 4. Otras variables agroclimáticas de interés de la zona en estudio.

VARIABLE	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Meses favorables (T.Med °C)	19,3	18,5	16,4	13,4	10,4				10,4	13,4	16,4	18,5
Periodo cálido (T>25°C)	26,6	24,6										24,6
Periodo seco (PP/ET)	0,1	0,1	0,2								0,3	0,2
Periodo húmedo (PP/ET)					2,1	3,9	3,5	2,7	1			
Receso vegetativo (T.Med<10°C)						8,3	7,5	8,3				
Periodo con heladas (Nodías T<-0.5o)					1,3	4,2	5,7	4,2	1,3			
Alta humedad del aire (HR>70%)				74	79	83	84	83	79	74		

Fuente: Elaboración propia en base a Santibáñez, 2017

a) Eventos extremos y variabilidad climática

En términos de eventos extremos se analizaron los periodos cálidos, períodos secos, días con heladas y horas frío. Los periodos cálidos se definen como aquellos meses que registran temperaturas máximas medias por sobre los 25 °C (Tabla 5). En la cuenca es posible observar que los períodos cálidos presentan rangos que van desde 0 a 5 meses, siendo el distrito Cauquenes el distrito agroclimático con mayor número de meses con períodos cálidos. En general los distritos de importancia agrícola poseen tres meses cálidos.

Otro evento extremo es el período seco, este período corresponde a los meses del año donde la precipitación es inferior al 50% de la demanda evapotranspirativa ($PP < 0,5 \times ET$). En general los distritos de la cuenca presentan rangos que van desde 0 a 5 meses de periodos secos. Nuevamente Cauquenes es el distrito que presenta una mayor cantidad de meses y los distritos asociados a las áreas agrícolas presentan valores entre 4-5 meses. Por el contrario, la variable días con heladas muestran el número de días con temperaturas iguales o inferiores a 0 °C. Los distritos con menos días con heladas son los cercanos a la costa (Concepción) y los más extremos son los distritos ubicados en las zonas cordilleranas. Similar tendencia se observa en las horas frío, las horas frío corresponden a la sumatoria de horas de frío por debajo de 7,2 °C. El distrito Concepción presenta el menor número de horas frío (725 h) y por el contrario el distrito laguna de Maule presenta la mayor cantidad de horas frío de la cuenca (6.823 h).

Tabla 5. Eventos extremos de los distritos agroclimáticos de la cuenca del río Biobío.

#	CODIGO	NOMBRE	Meses Períodos Cálidos T>25 °C	Meses Período Seco (PP/ET)	Días Heladas T<0°C	Horas Frío
1	6-8-2	LAGUNA DEL MAULE	0	4	294,9	6.823
2	7-8-3	CAUQUENES	5	6	6,4	906
3	7-8-5	LINARES	3	5	20,1	1.649
4	7-9-3	MALALCAHUELLO	0	4	96,2	4.225
5	7-9-2	ANTUCO	3	4	22,6	2.149
6	6-8-1	COIHUECO	3	5	23,3	1.846
7	8-9-2	CURANILAHUE	1	4	3,5	798
8	7-9-1	CHILLAN	3	5	16,9	1.618
9	8-9-5	ANGOL	3	5	10,2	1.295
10	8-9-4	LOS LINGUES	3	4	5,8	1.029
11	8-9-3	NAHUEL BUTA	1	2	2,3	747
12	8-11-1	TOLGUACA	0	0	290,6	6.822
13	8-9-6	TRAIGUEN	3	5	12,3	1.513
14	8-9-1	CONCEPCION	0	4	2,6	725
15	7-9-4	LONQUIMAY	0	2	191,0	5.628
16	9-1	TEMUCO	0	4	15,2	1.795
17	8-14-1	PUCON	0	0	37,8	3.016
18	8-10-1	ANTILLANCA	0	0	100,1	4.696

Fuente: Elaboración propia en base a Santibáñez, 2017

Como una forma de cuantificar la variabilidad climática de los últimos años de la cuenca se recopiló información de la dirección meteorológica de Chile de la estación Carriel Sur ubicada en Concepción con registros entre 1961-2019. La Figura 8 muestra la variabilidad histórica en precipitación anual, temperatura máxima anual y días con heladas.

En cuanto a precipitación es posible ver una tendencia de disminución de la precipitación en 51,9 mm por década y es posible observar los valores de precipitación total asociados al evento de mega sequía nacional entre 2009-2019, destacan los años 2013 y 2016 con los eventos más extremos. Con respecto a la temperatura máxima anual se observa una tendencia positiva de 0,1°C por década, nuevamente 2016 aparece como el año durante la mega sequía con el mayor valor (18,7°C). La Figura 8 también muestra la variabilidad que ha tenido el número de días con heladas en esta estación en el mismo período de tiempo. La tendencia de los registros muestra una disminución de 0,5 días por cada década y el año 2019 sólo se registró 1 día con heladas.

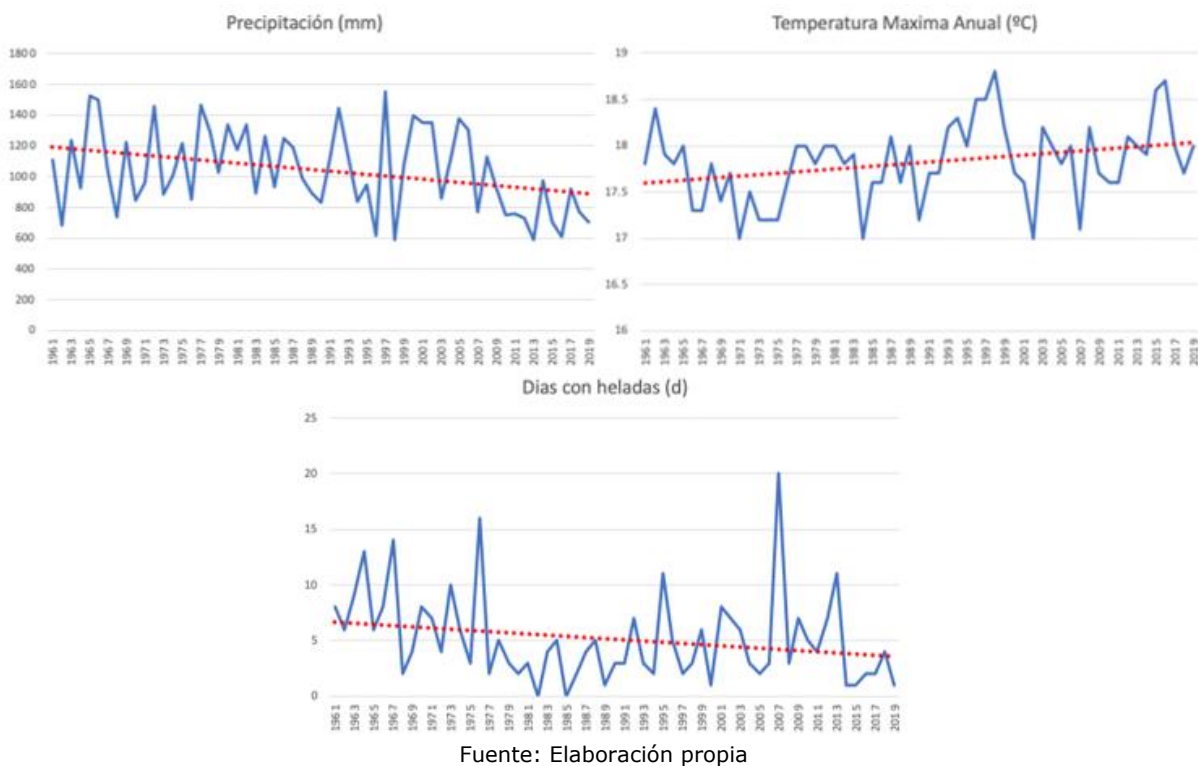


Figura 8. Variabilidad climática en la zona en estudio.

Si bien es cierto existen algunos estudios de eventos extremos, principalmente estos análisis se han centrado en el estudio de las crecidas en la desembocadura del río Biobío (ej. Rojas et al., 2014; Arumi et al., 2012; DGA, 2010) y algunas experiencias en el análisis espacial de la sequía en la región (Zambrano et al., 2016; Galleguillos et al., 2017). Existe entonces una brecha en cuanto a que es necesario un estudio con mayor profundidad para la cuenca que analice no solamente los eventos extremos clásicos como las crecidas o los periodos de sequía, sino que también se consideren mayores variables de eventos extremos que puedan afectar negativamente los recursos hídricos de la cuenca como olas de calor, temperaturas máximas, días cálidos, días fríos, entre otros. Un estudio con mayor profundidad en cuanto a la variabilidad espacial y las tendencias de los últimos años.

3.2.2 Escenarios de cambio climático (RCP 8,5)

Una trayectoria de concentración representativa (Representative Concentration Pathway RCP) es una trayectoria de concentración de gases de efecto invernadero adoptada por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). Las trayectorias describen diferentes futuros climáticos, todos los cuales se consideran posibles dependiendo del volumen de gases de efecto invernadero emitidos en los próximos años. RCP 2,6 es definida como la trayectoria en la que el forzamiento radiativo alcanza el valor máximo a aproximadamente 3 W/m² antes del 2100. Similarmente RCP 8,5 es definida como la trayectoria más alta para la cual el forzamiento radiativo alcanza valores >8,5 W/m² en 2100, en otras palabras, el escenario más desfavorable.

De acuerdo al Centro de Ciencia de Clima y Resiliencia (CR2¹) y su plataforma de Simulaciones Climáticas², la zona donde se ejecuta esta iniciativa, definida como zona sur en la plataforma, tendrá un aumento de la temperatura entre 0,5 -0,6°C en el futuro cercano (2020-2035), de 0,6 - 1,05 °C en el futuro intermedio (2035-2050) alcanzando incluso un aumento de 2°C para finales de siglo (Figura 8). Por otro lado, para las precipitaciones se observa una clara tendencia a disminuir los valores totales anuales con valores promedios en torno al 96% en el futuro cercano (2020-2035) y 92% en el futuro intermedio (2035-2050). En contraste, aunque la evapotranspiración muestra una tendencia de aumento, esta tendencia es menos significativa al compararla con la temperatura y la precipitación. Similares resultados fueron encontrados en el estudio Aplicación de la Metodología de Actualización del Balance Hídrico Nacional en las cuencas de las Macrozonas Sur y Parte Norte de la Macrozona Austral (DGA, 2019). Las variaciones promedio para precipitación en la cuenca muestran una disminución de las precipitaciones un menor cambio en la evapotranspiración y disminuciones en la escorrentía. El efecto en cada una de estas variables es diferente al comparar las zonas cordilleranas con el valle.

3.3 Dimensión Ambiental

En este capítulo de Dimensión Ambiental se identifican las unidades ecosistémicas existentes, las aguas fósiles y los siete glaciares presentes en la cuenca.

3.3.1 Unidades ecosistémicas

Las condiciones geográficas y climáticas que posee la región del Biobío la convierten en un territorio privilegiado para la biodiversidad. La suma de estas características termina generando una vasta cantidad de especies endémicas, tanto de flora como de fauna. Sin embargo, la conservación de éstas se ve afectada por la actividad humana de la zona.

a) Flora terrestre y Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE)

En la Figura 9 se puede observar que la cuenca baja del río se caracteriza por la alta influencia antrópica e industrial, la mayoría de los humedales están asociados a esta zona, lamentablemente no se encuentran protegidos como sitios RAMSAR. Cabe destacar El Santuario de la Naturaleza de la Península de Hualpén que es un área representativa del llamado Bosque Caducifolio de Concepción (Gajardo, 1994) que comprende una superficie de 2.662 ha que abarcan toda la península. En la vegetación de la península de Hualpén coexisten elementos de comunidades de matorral costero arborecente de la zona mesomórfica y bosque de la zona hidromórfica. Hacia el área noroeste de la península, entre el sector de las Tetras del Bío-Bío y el litoral, se encuentra un matorral muy abierto y pastizales. Sólo en quebradas es posible encontrar árboles con algún desarrollo. En cuanto a la exclusividad del área de la Península, el principal elemento que se encuentra es la presencia de flora endémica como Queule (*Gomortega keule*) y Pitao (*Pitavia punctata*). En la formación boscosa, el estrato arbóreo oscila alrededor de los 20 metros y en él predomina el peumo (*Cryptocaria alba*), siendo especies subdominantes el Boldo (*Peumus boldus*), el

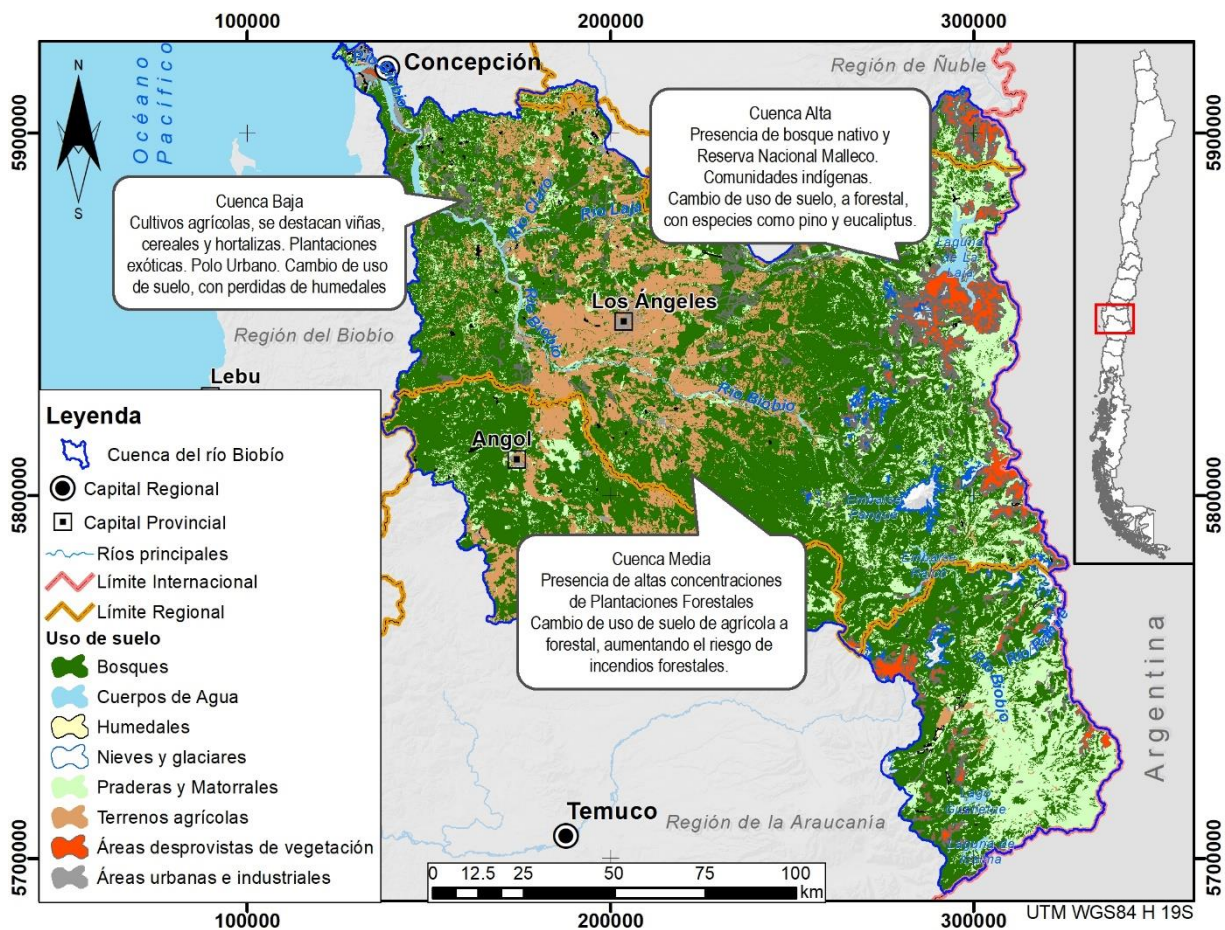
¹ www.CR2.cl

² www.simulaciones.cr2.cl

Olivillo (*Aextoxicon punctatum*) y otras especies escasas como el Huillipatagua (*Citronella mucronata*), el Ulmo (*Eucryphia cordifolia*), el Litre (*Lithraea caustica*) y el Canelo (*Drimys winteri*). En los estratos intermedios se encuentran en forma abundante Pitra (*Myrceugenia planipes*), acompañada por Murga negra (*Rhamnus difusus*) y Arrayán macho (*Rhaphithamnus spinosus*). Los estratos herbáceos presentan diversidad florística como *Cassia stipulacea*, *Chiropetalum tricuspidatum*, *Francoa appendiculata*, *Sanicula crassicaulis* y *Blechnum hastatum*, como las más abundantes. Las Lianas y Epifitas son típicas en este tipo de bosque costero, encontrándose entre las primeras Coguil (*Lardizabala bitermata*), Voqui colorado (*Cissus striata*), Voqui Blanco (*Proustia pyrifolia*), Pilpilvoqui (*Boquila trifoliata*), Copihue (*Lapageria rosea*). Elementos destacables por su rareza son también las cuatro especies de Orquídeas y la Flor de la araña (*Arachnitis uniflora*), especie saprófita que habita exclusivamente este bosque.

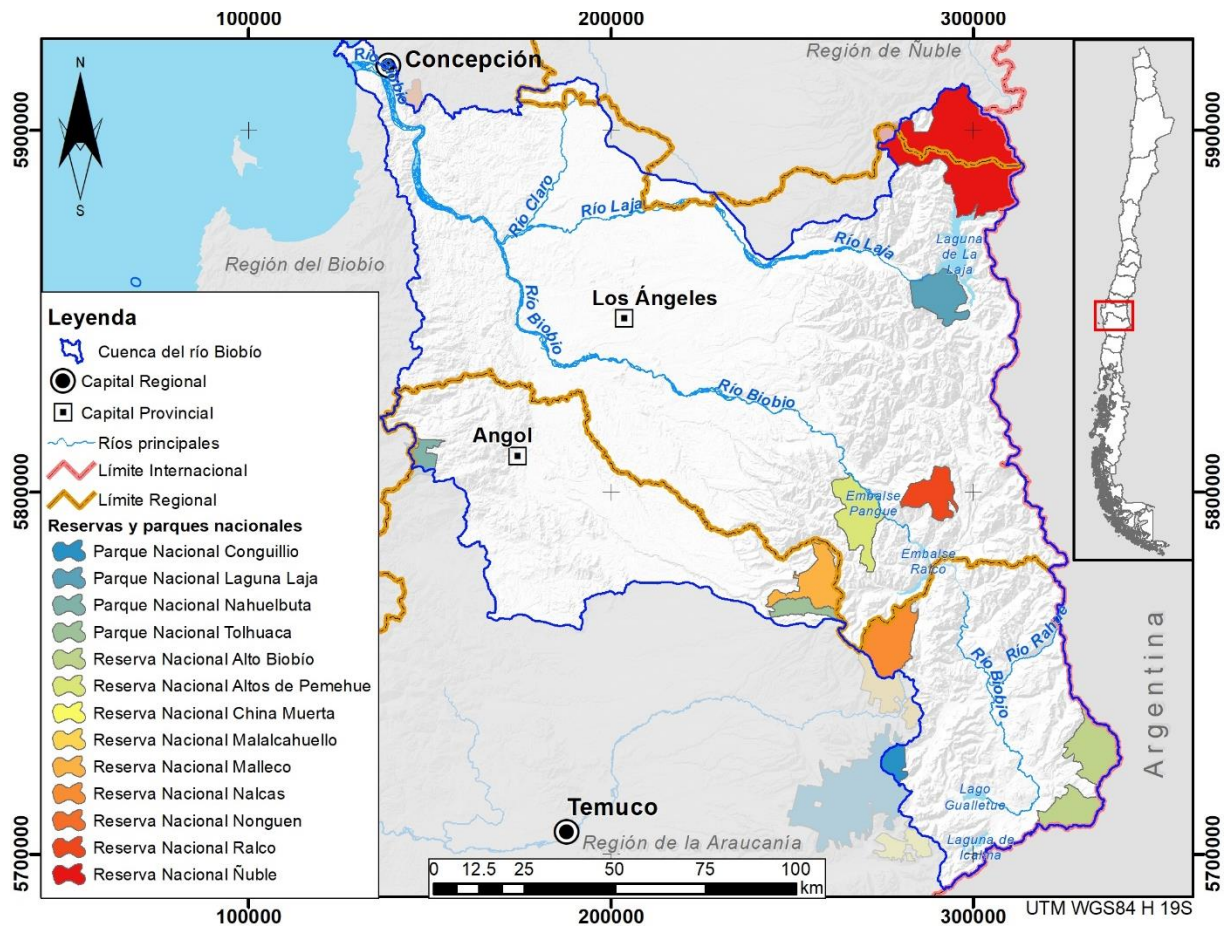
Los bosques nativos se concentran en la parte media y alta de la Cordillera Andina, cubren 317.500 ha (13% de la superficie total de la cuenca) como lo indica la Figura 10, y se caracterizan por presentar un estado de degradación muy acentuada. El rol estructurante y funcional del bosque nativo en la cuenca, presta servicios como reserva y protección hídrica, reserva de biodiversidad, hábitat para la fauna asociada, calidad del paisaje, identidad local, patrimonio cultural con funciones en la investigación científica y en la educación en general. Existe un total 100.334 ha de áreas silvestres protegidas de la cuenca del río Biobío pertenecientes al Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE). De estas, 11.600 corresponden al Parque Nacional Laguna del Laja, 12.591 al Parque Nacional Ralco, 645 ha al Monumento Natural Contulmo, 25.499 ha. a la Reserva Nacional Alto Biobío y 35.000 ha a la Reserva Nacional Valle del Quinquén, donde las especies arbóreas más comunes encontradas corresponden a Araucaria, Ciprés de la Cordillera, Lenga, Roble-Hualo, Roble, Raulí, Coihue, Ñirre y Tepa.

Los suelos de las series "Cauquenes", "San Esteban" y "Nahuelbuta", en casi un 90% corresponden a las clases VIe y VIIe, suelos con exclusiva aptitud forestal y ganadera.



Fuente: Elaboración propia en base a Catastro vegetacional de CONAF

Figura 9. Uso de suelo en cuenca del río Biobío y vegetación característica.

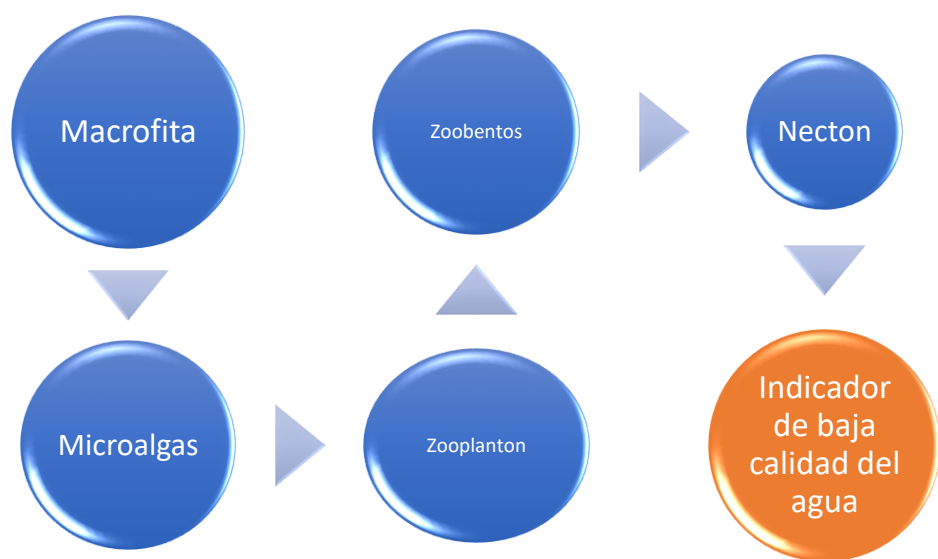


Fuente: Elaboración propia

Figura 10. Reservas nacionales asociadas a la cuenca del río Biobío.

b) Estructura biológica: Biodiversidad del río Biobío y sus lagos cordilleranos

Las comunidades acuáticas que se consideran en un sistema fluvial son las siguientes: las comunidades de microalgas planctónicas (fitoplancton) y bentónicas (fitobentos), plantas vasculares acuáticas, invertebrados planctónicos (zooplancton) y bentónicos (zoobentos) e ictiofauna. Todos estos grupos son altamente heterogéneos en la cuenca del río Biobío, singulares por su alto grado de endemismo y, en general, amenazados en lo referente a su estado de conservación (Figura 11).



Fuente: Elaboración propia

Figura 11. Representación de la trama trófica del río Biobío.

Macrofitas

Las macrófitas se encuentran preferentemente en las zonas de baja velocidad de corriente, tales como en algunos sectores de la parte baja del río Biobío, y en los lagos cordilleranos Galletué e Icalma (Tabla 6).

Tabla 6. Macrófitas en zonas de baja velocidad e corriente y zona litoral del río Biobío.

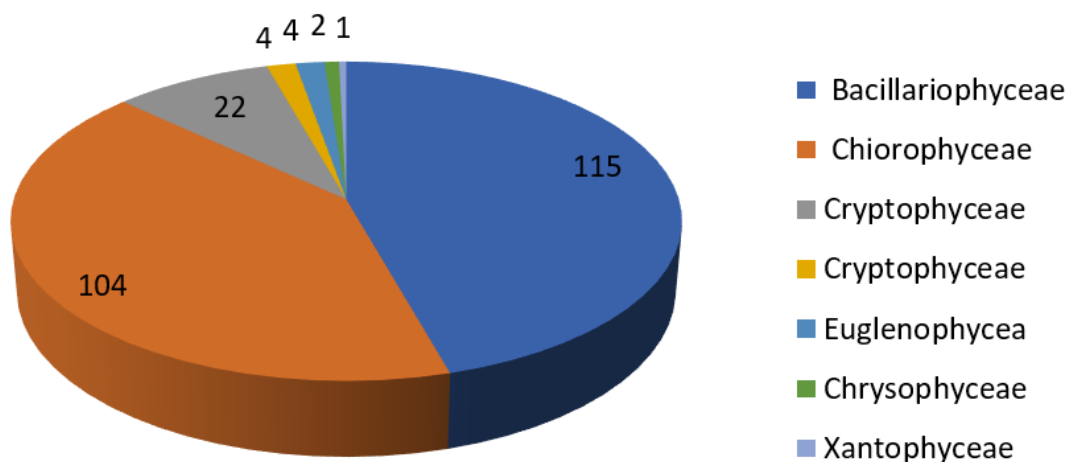
Hidrofita sumergida	plantas de hojas flotantes	Plantas emergentes
<i>Egeria densa</i>	<i>Limnobium laevigatum</i>	<i>Juncus sp</i>
	<i>Hydrocotyle sp</i>	<i>Scirpus californicus</i>
	<i>Ludwigia stolonifera</i>	<i>Thypa dominguensis</i>
	<i>Azolla filiculoides</i>	

Fuente: Valdovinos y Parra, 2006

Durante los últimos años no se han registrado macrófitas en la parte baja del río, lo cual, si bien se pensó que podía deberse a los desbordes, es una condición que se repite frente a la información histórica que se han realizado en años sin desborde (CENMA, 2017). Tomando en consideración brecha temporal que existe de las fuentes de información a la fecha, es importante mencionar que las condiciones pudiesen ser distintas a lo descrito en la actualidad. Lo que podría justificar la brecha de conocimiento al respecto

Microalgas planctónicas

Las algas más importantes, como componentes del fitobentos y fitoplancton del río Biobío se muestran en la Figura 12, pertenecen generalmente a las clases *Bacillariophyceae* (diatomeas), *Chlorophyceae* (algas verdes) y *Cyanophyceae* (algas verde azules). Las comunidades de algas bénticas son importantes productores primarios, particularmente en hábitats poco profundos.



Fuente: Elaboración propia

Figura 12. Distribución de fitobentos y fitoplancton del río Biobío

En el río Biobío se han identificado un total de 252 taxas de fitoplancton y fitobentos como se muestra en la Figura 12 (Parra et al., 1993; Parra & Bicudo, 1995; Urrutia, 1993). La mayoría de las diatomeas se encuentran habitando en el fitobentos y el fitoplancton; no ocurre lo mismo con los otros grupos taxonómicos que aparecen más selectivos. Las características de las microalgas del río Biobío pueden ser resumidas como sigue:

- El componente fotoautotrófico (fitobentos) del río Biobío presenta una importante riqueza específica.
- Las diatomeas constituyen el grupo con el mayor número de especies, seguido de las algas verdes y las algas verde azules.
- La mayoría de las especies de fitoplancton, particularmente las diatomeas, están también presentes en el fitobentos tanto de la parte ritral como potamal del río.

Por último, cabe indicar que en relación con las categorías de conservación las microalgas planctónicas y bentónicas no están consignadas en el Reglamento de Clasificación de Especies de Chile (Decreto Supremo N° 29, 2012).

De los resultados obtenidos, se identificó un total 78 especies de las cuales solo 35 especies estaban citadas en el trabajo de (Parra et al., 1993).

Del análisis de los antecedentes que se muestran en la Tabla 7 y en Anexo F.1 (sección 1.4), se aprecia cómo ha disminuido la riqueza de especies, lo cual está directamente relacionado con la presión antrópica del río en los último 20 a 30 años.

Las especies más abundantes de microalgas en el río Biobío corresponden a las diatomeas: *Asterionella formosa*, *Aulacoseira granulata*, *Fragilaria ulna*, *F. crotonensis*, *Gomphoneis minuta* y *Melosira varians*. Del grupo de las *Dinophyceae* destaca la presencia en abundancia de *Ceratium hirundinella* y del grupo de las algas verdes o *Chlorophyceae*, *Eudorina elegans*. La mayoría de las diatomeas se encuentran habitando en el fitobentos y el fitoplancton; no ocurre lo mismo con los otros grupos taxonómicos que aparecen más selectivos. Lo descrito anteriormente coincide con lo indicado en los estudios anteriores de (Parra et al., 1993) y (Urrutia, 1993).

Tabla 7. Comparación de microalgas por familia indicando la cantidad de especie por rango de años.

Familia	Números de especies			
	1993*	1994-2000	2001-2010	2010-2016
<i>Bacillariophyceae</i>	115	89	40	27
<i>Chlorophyceae</i>	104			
<i>Chlorophyceae</i>		21	0	7
<i>Cyanophyceae</i>	22	4	0	1
<i>Cryptophyceae</i>	4	1	0	0
<i>Dinophyceae</i>		2	0	1

Fuente: Elaborada a partir de revisión de literatura recopilada sobre las microalgas del río Biobío y Laja (Basualto S, et al., 1992; Parra et al., 1993; Urrutia, 1993; Muñoz., 2003; Leniz, et al 2012; Rivera et al., 2013., Basualto S, et al., 2013; informe técnico SERNAPESCA, 2014, 2015, informe EULA 2016)

En los últimos muestreos realizados (correspondiente a 2010-2016, según citas de la Tabla 7) a las distintas zonas de vigilancia de la cuenca, se aprecia una disminución de la diversidad de la riqueza de microlagas, al igual que la equitatividad de éstas (para más detalles ver Anexo F.1 sección 1.4.1.b). Este decrecimiento se distingue a lo largo del río, destacando la zona de vigilancia BI10 correspondiente a la cabecera del río, donde se supone que la calidad de agua es buena. Esta pérdida de diversidad, alterar la trama trófica del río, debido a que altera hábitat, refugios, y nichos ecológicos de otras especies. En Anexo F.1 sección 1.4.1 se pueden apreciar los géneros de microalgas con mayor número de especies, en los últimos muestreos realizados al río.

Cabe destacar la presencia de diferentes especies de fitoplancton típicas de cuerpos lénticos (lagos) en varias estaciones del río, como por ejemplo *Ceratium hirundinella* y *Eudorina elegans*, lo que estaría indicando la influencia de las represas que se encuentran aguas arriba de las estaciones muestreadas.

La clase que presenta la mayor diversidad de géneros y especies en los ríos, corresponden a las diatomeas, en cambio en el caso de los lagos son las *Chlorophyceae* (informe técnico sernapesca, 2014, 2015, informe EULA 2016). Existe un importante número de géneros y especies que son compartidas entre los lagos de origen (Icalma y Galletué) y los ríos aguas abajo. Esto es importante para conocer la influencia de los embalses en las comunidades aguas abajo de ellos.

Un estudio, realizado en el río Biobío por (Leniz et al., 2012) indicaba que, en todas las muestras, la más alta biomasa microfitoroplanctónica ($>5.000 \mu\text{gC m}^{-3}$) estuvo asociada a la porción baja del río y las aguas de la pluma que se estaban moviendo hacia el sur. Resultados similares fueron observados por (Cancino, 2011), quien encontró altas

concentraciones de diatomeas y pequeños piconanofito eucariontes fitoplanctonicos asociados a la porción baja del río Biobío.

Un detalle no menor es que los últimos muestreos en la cabecera del río, se ha evidenciado la formación de mucosidad característica de *Didymo* en la columna de agua, la cual es una diatomea reconocida por ser invasora, afectando el paisaje al crear una mucosidad que no es tóxica para los humanos. Sin embargo, la proliferación masiva de esta alga en el sustrato bentónico genera diferentes impactos en los ecosistemas, entre ellos se ha descrito principalmente efectos ecológicos, al alterar la composición de las comunidades de macroinvertebrados al disminuir el flujo de la corriente en ríos (Kilroy et al., 2009), alterar la biodiversidad y afectar el tamaño de las poblaciones de peces especialmente de individuos de menor tamaño, al disminuir las áreas de alimentación y debido a las grandes cantidades de mucílago, pueden generar disminución del oxígeno disuelto (Bergey et al., 2009). Por otra parte, el *Didymo* también altera los usos que se realizan a los ecosistemas, por ejemplo, al bloquear los sistemas de toma de agua y cañerías, por el desprendimiento de la mucosidad que flota y deposita en estos lugares, sin embargo, los efectos más notables de la proliferación y formación de mucosidad, es el estético, haciendo parecer los cuerpos de agua como si estuviesen contaminados generando ocasionalmente mal olor.

La plaga de *Didymo* fue detectada en la zona de Biobío en 2013 (Rivera et al., 2013), año en que la dirección regional del Servicio Nacional de Pesca (SERNAPESCA) inició una intensa campaña para su control. De hecho, la última resolución del SERNAPESCA, de julio de 2019, reconoció que se ampliaron las áreas afectadas en la cuenca del río Biobío en el sector naciente, además, en la cuenca del río Laja.

Zooplankton

En la cuenca hidrográfica del río Biobío, el zooplankton está dominado por tres grupos principales, los cuales corresponden al *Phylum Rotifera* y a dos subclases de crustáceos, *Cladóceras* (orden *Anomopoda*) y *Copépodos*.

El conjunto de los rotíferos, son casi exclusivamente habitantes del zooplankton de aguas dulces y dentro de estas la mayor diversidad se encuentra representada por la Clase *Monogononta*, especialmente por el Orden *Ploima* (Pennak, 1989).

Para los cladóceros sus representantes planctónicos más frecuentes del río Biobío pertenecen al Suborden *Cyclopoida*. Para los cladóceros, Las familias y especies más comunes en la cuenca son las siguientes: *Daphnia ambigua* (Familia *Daphnidae*), *Cerodaphnia dubia* (Familia *Daphnidae*), *Eubosmina hagmanni* (Familia *Bosminidae*), *Alona guttata* (Familia *Chydoridae*) y *Chydorus sphaericus* (Familia *Chydoridae*).

En el caso de los copépodos El orden *Cyclopoida*, es el más representativo de los copépodos de las aguas dulces, seguido por el orden *Calanoida* (Margalef, 1983), siendo este último más característico en sistemas salobres.

Zoobentos

Estos organismos han sido ampliamente utilizados en estudios de calidad de agua, debido a que cumplen un papel fundamental en el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos, ya que permiten la transferencia de energía desde los productores (vegetación acuática y terrestre) a los niveles tróficos superiores (peces y aves acuáticas) (Valdovinos, 2006).

Entre los años 1993 y 2000 se realizaron diversos estudios de macro-invertebrados bentónicos para el río Biobío, donde la información más completa es la de (Arenas, 1994), la que incluye todo el curso principal del río Biobío, mientras que otros estudios como los de (Muñoz et al., 2001), (Bertrán, 2017), (Figueroa et al., 2003), informe (Muñoz, 2000), hacen referencia sólo a sitios específicos del curso principal y importantes afluentes, por lo cual solo complementa un cuadro a nivel local. Estos estudios describieron 116 taxas de macroinvertebrados bentónicos, la mayor parte de los cuales corresponde a estados inmaduros de insectos acuáticos. Los órdenes dominantes dentro de los insectos son los *Diptera*, *Trichoptera*, *Ephemeroptera*, *Plecoptera* y *Coleoptera*. Toda esta información se reúne en Anexo F.1 sección 1.4.1.d.

En el muestreo realizado en el 2015-2016 (EULA, 2016) se encontraron menos taxa de las esperadas, registrando solo 30 de las 116. Lo anterior condice con los datos encontrados por el estudio del (CENMA, 2017).

Todo lo anterior se puede interpretar como un cambio importante en la calidad del río ya que se han perdido cerca de 80 taxas.

Se debe destacar que existen cambios de zonas (hábitat) donde se encontraron los macroinvertebrados en años similares. Esto se pudo deber a los grandes cambios que ha sufrido el río producto tanto de las represas como de los efluentes emitidos, lo cual altera o modifica los hábitats de los macroinvertebrados.

Los análisis de hábitat señalan además la baja frecuencia de árboles en la ribera de varios sectores, los cuales aportan sombra y heterogeneidad de hábitat, fundamentales para la ecología del lugar y sus ciclos biológicos. La poca vegetación actual resulta ser exótica, las riberas están intervenidas por actividades antrópicas lo cual debiera considerar planes de restauración y conservación de estas al menos en los tramos evaluados, mejorando las condiciones ecológicas, además de la disminución en la diversidad de las microalgas (explicado anteriormente).

La disminución de las taxas influye negativamente en los índices bióticos basados en macroinvertebrados como el índice ChSIGNAL (Figueroa, 2003) y (Figueroa et al., 2007). de acuerdo a la Tabla 8, corresponde a 5 clases de calidad ambiental ASPT de "Average Score per Taxon", (Friedrich et al., 1996).

En los antecedentes, se indica la presencia de nuevas taxas, lamentablemente estas corresponden a un bajo índice, es decir, especies menos exigentes. Lo anterior se ve manifestado en la Tabla 7 y Tabla 8.

Tabla 8. Cuadro de transformación a 5 clases de calidad, su relación con las características ambientales y el color para su representación cartográfica.

Clase	ChSIGNAL	Características ambientales	Color
I	>7,00	Muy Bueno, No perturbado	Azul
II	6,00-6,99	Bueno, Moderadamente perturbado	Verde
III	5,00-5,99	Regular, Perturbado	Amarillo
IV	4,00-4,99 Malo,	Muy perturbado	Naranja
V	<4,00	Muy malo, Fuertemente perturbado	Rojo

Fuente: Elaborada a partir de Figueroa 2003 y Figueroa et al., 2007

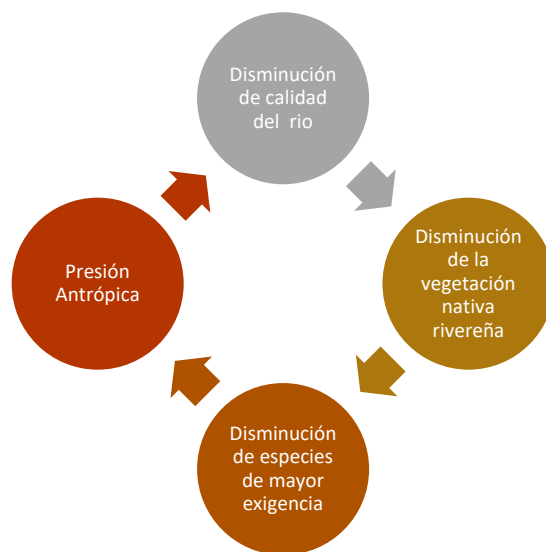
Al respecto, se observa que la clasificación obtenida con los datos históricos (Tabla 9) no presenta una muy buena calidad, sino que ya partir de la parte alta del Biobío estas son de clases buena a regulares (II y III), en relación de la taxa de ese sector (área vigilancia). Respecto los sectores medios a bajos las clases fueron siempre de regular a malos (III a IV), lo cual además de mostrar mayor intervención, también es característico de sustratos arenosos que dificultan la colonización de taxa más exigentes.

Para los muestreos de marzo de 2016 ambos informes obtuvieron resultados semejantes. Las clases obtenidas en el sector alto son similares, mientras que a partir de la parte media aguas abajo (BI-40, BI-50 y BI-60), esto muestra un deterioro respecto los datos históricos. Cabe destacar que la estación que se vio más afectada es la estación BI-30, la cual paso de clase III a V en el último muestreo.

Tabla 9. Resumen de Aplicación del Índice Biológico ChSignal calculado con los datos históricos.

	1993-2000		Marzo-216		P-V 2016	
	chSIGNAL	CLASES	chSIGNAL	CLASES		CLASES
BI-10	5,96	III	5,50	III	5,06	III
BI-20	6,61	II	6,00	II	4,00	IV
BI-30	5,79	III	5,11	III	3,08	V
BI-40	5,05	III	4,60	IV	3,4	V
BI-50	5,05	III	4,90	IV	4,0	IV
BI-60	5,05	III	3,50	V	-	-

Fuente: Elaborada a partir de revisión de literatura recopilada sobre macroinvertebrado, (Arenas., 1995; Figueroa et al., 2003; Vivas et al., 2002), informe técnico (EULA, 2016)



Fuente: Elaboración propia

Figura 13. Resumen estructura biológico.

La pérdida de vegetación ribereña dado principalmente por la presión antrópica da como consecuencia, la disminución de materia orgánica aloctona, lo que disminuye, comida y hábitat del zoobentos. Por otro lado, la presión en las aguas del río disminuye la calidad lo que cambia las condiciones de los habitats, esto da como resultado que especies más

exigentes se marchen del lugar en buscas de mejores condiciones, quedando solo especie más tolerantes, las cuales disminuyen el índice de calidad de agua. Como se aprecia en la Figura 13 cada una de las circunferencias da como consecuencia la siguiente y es resultado de lo anterior, por lo que es un Sempiterno, donde el único final posible es la extinción.

Necton

La cuenca del río Biobío alberga 18 de las 45 especies de peces nativos que se encuentran en todo Chile (Campos et al., 1993) y (Habit, et al, 2006), ya que posee la mayor riqueza de especies del país (Habit et al., 2006a). Particularmente, en la zona de hiporitrón del Biobío, entre Santa Bárbara y Negrete, se han descrito 9 de estas 18 especies (Habit et al., 2006a), todas clasificadas como vulnerables o en peligro (MINSEGPRES 2008).

Por otro lado, la cuenca del río Biobío, es la de mayor endemismo, con 5 especies propias, todas presentes en el río Biobío (*Diplomystes nahuelbutaensis*, *Bullockia maldonadoi*, *Trichomycterus chiltoni*, *Cheirodon galusdae* y *Percilia irwini*). Consistentemente, la mayor riqueza específica por cuencas también se presenta en la zona Centro-Sur, donde la cuenca del río Biobío es la de mayor número de especies del país, con 18 especies nativas y 4 introducidas (Campos et al., 1993). El conjunto de especies nativas presentes en la cuenca es de gran singularidad, ya que el 67% son endémicas y el 89% presenta problema de conservación (7 especies en peligro de extinción y 8 especies vulnerables).

De acuerdo con lo descrito para el río Biobío (Campos et al., 1993), en los lagos Icalma y Galletue se encuentran *Percichthys truchas*, *Percilia irwini*, *Basilichthys australis*, *Trichomycterus arolatus*, *Aplochiton zebra*, *Diplomystes nahuelbutensis* y las especies introducidas *Oncorhynchus mykiss* y *Salmo trutta*. En los ritrones entre Callaqui y Santa Barbara están presente *Percichthys trucha*, *Percilia irwini*, *Basilichthys australis*, *Trichomycterus arolatus*, *Cauque mauleanum*, *Geotria australis*, *Diplomystes nahuelbutensis* y las especies introducidas *Oncorhynchus mykiss* y *Salmo trutta*. En el sector Potamal se encuentra *Percichthys trucha*, *Percichthys malanops*, *Percilia irwini*, *Cauque mauleanum*, *Bullockia maldonadoi*, *Cheirodon galusgae*, *Galaxias maculatus*, *Geotria australis*, *Oncorhynchus mykiss*, *Cyprinus carpio* y *nematogenys inermis*.

Al comparar los datos de Campos et al 1993 con los obtenidos por Habit et al 2006 13 años después en la misma zona, esta se encuentra dominada por la introducida, "carpa" *Cyprinus carpio*. Además, al contrario de lo registrado para la mayor parte de los sistemas fluviales andinos de Chile, la riqueza de especies en el río Biobío no mostraba ya un aumento monotonico de la riqueza de especies, diversidad y abundancia de peces desde la zona ritral al potamal, sino que muestra una drástica reducción en su zona media o transicional. Ello parece ser el resultado de los efectos acumulativos de las diferentes actividades que ocurren en el área y aguas arriba de esta, tales como la regulación del caudal debido a la operación de centrales hidroeléctricas, la disposición de efluentes industriales y urbanos y la extracción de áridos, entre otros.

Las especies introducidas muestran una zonación más clara en sus abundancias a lo largo del río. Los salmónidos, representados por la Trucha arcoíris y la Trucha café están distribuidos a lo largo de todo el río, pero su abundancia disminuye claramente en el sentido

de la corriente. Ello se relaciona con una menor calidad de hábitat para estas especies, las que son muy exigentes en términos de una alta oxigenación y baja temperatura del agua. Por lo mismo son consideradas indicadoras de buena calidad del agua. Al contrario, la "carpa" *Cyprinus carpio* y la "gambusia o pez mosquito" *Gambusia holbrooki*, se encuentra preferentemente en el sector potamal, siendo muy abundantes en la parte media y terminal del río donde se encuentran los principales emisarios que descargan aguas domésticas y efluentes industriales. Ambas especies son reconocidas por ser resistentes a la contaminación y, por lo tanto, indicadoras de malas condiciones ambientales.

De la revisión bibliográfica, se desprende que los diversos usos del río Biobío han implicado que en el tiempo se evidencie una reducción de varias poblaciones de especies nativas que actualmente pueden ser consideradas muy raras en el río. Entre ellas destacan *Nematogenys inermis*, *Brachygalaxias bullocki*, *Diplomystes nahuelbutaensis* y *Percichthys melanops*. Todas ellas son especies sensibles, y deben ser consideradas como especies objetivo de ser conservadas en la cuenca.

De lo anterior resalta el hecho que existen diferentes especies que fueron descritas en las décadas del 80 y del 90, y que no se han vuelto a tener registro de ellas en muestreos posteriores (EULA, 2016) o se están perdiendo en el curso principal del río y está quedando relegada a zonas de tributarios. Esto es evidencia de una incipiente fragmentación poblacional. Entre ellas se encuentran: *Nematogenys inermis*, *Diplomystes nahuelbutaensis*, *Bullockia maldonadoi*, *Trichomycterus chiltoni*, *Aplochiton zebra*, *Percichthys melanops*, *Percilia irwini*, *Mordacia lapicida*, *Geotria australis*, *Cheirodon galusdae*, *Brachygalaxias bullocki*, *Odontesthes brevianalis*.

Considerando el endemismo de muchas de estas especies cuya distribución solo abarca las cuencas de los ríos Biobío y Andalién, además de presentar poca información biológica y ecológica hacen a estas especies altamente sensibles. La fragmentación y disminución de la cantidad de estas especies es de alta importancia ya que aumenta la posibilidad de extinción.

Tal como indica la Figura 11, la pérdida de diversidad y riqueza de cada uno de los eslabones de la cadena trófica, va alterando el eslabón siguiente, como un efecto cascada, al perturbar, los distintos nichos ecológicos y el aumento de la presión antrópica ejercida en el río a través del tiempo, lo cual se ha traducido como resultado en la disminución de la diversidad y en cantidad de individuos presente en cada nivel trófico alterando la riqueza y equidad del ecosistema de la cuenca del río Biobío.

3.3.2 Identificación de aguas fósiles en la cuenca del río Biobío.

Debido a que las aguas subterráneas de la cuenca del río Biobío no han sido estudiadas ni explotadas tan fuertemente en comparación a las aguas subterráneas de las cuencas del norte de Chile (DGA, 2019), es que no se han desarrollado estudios de aguas fósiles en esta cuenca. En general, para realizar este tipo de estudios, es necesario realizar análisis isotópicos de algunos elementos presentes en las aguas subterráneas, especialmente isótopos de carbono (Jasechko et al., 2017).

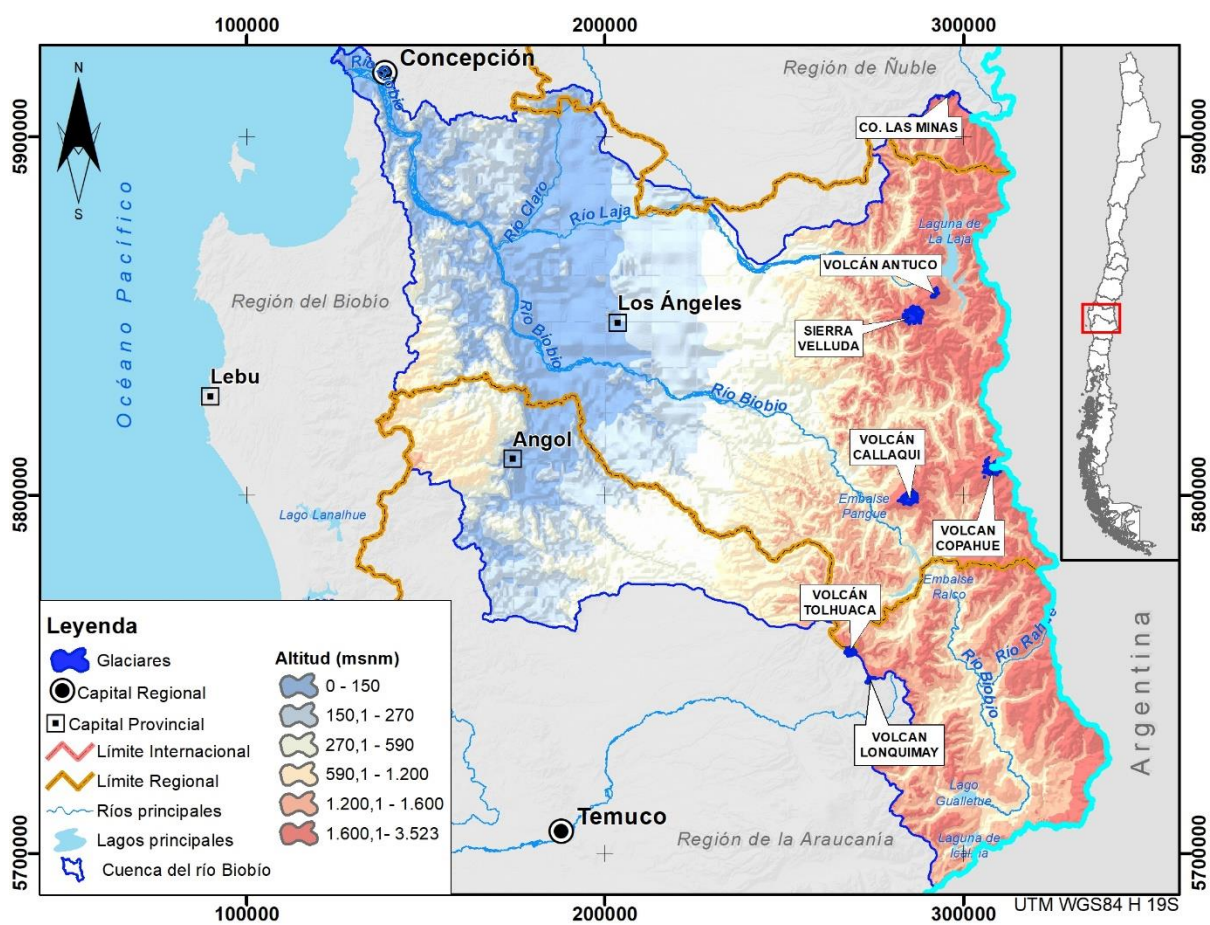
3.3.3 Glaciares

En la región del Biobío existen siete conjuntos de glaciares asociados a cumbres de cordones montañosos y a volcanes (Figura 14), conformados por glaciares de montaña y glaciaretos. De acuerdo con el catastro de Glaciares publicado por la DGA el año 2014, de norte a sur estos grupos de glaciares son:

En la región del Biobío existen siete conjuntos de glaciares asociados a cumbres de cordones montañosos y a volcanes (Figura 14), conformados por glaciares de montaña y glaciaretos. De acuerdo con el Inventario Público de Glaciares (IPG) elaborado por la DGA el año 2014, de norte a sur estos grupos de glaciares son:

1. Glaciar del Cerro de la Minas alrededor de las coordenadas $36^{\circ}55'33''\text{S}$ y $71^{\circ}18'1''\text{O}$, y a una altura que alcanza los 2.987 metros. Este conjunto de glaciares se compone de tres glaciares de montaña y 15 glaciaretos que en total cubren una extensión de $1,24 \text{ km}^2$ y poseen un volumen de $21,2 \text{ Hm}^3$.
2. Glaciar del Volcán Antuco, que se desarrolla principalmente en la cara este de dicho volcán, alrededor de las coordenadas $37^{\circ}25'1''\text{S}$ y $71^{\circ}20'50''\text{O}$. Este conjunto de glaciares se compone de un glaciar de Montaña y 5 glaciaretos que en total cubren una extensión de $2,3 \text{ km}^2$ y poseen un volumen de $85,6 \text{ Hm}^3$.
3. Glaciar de la Sierra Velluda, que se desarrolla principalmente en la cara este de dicho volcán, alrededor de las coordenadas $37^{\circ}27'59''\text{S}$ y $71^{\circ}24'51''\text{O}$. Este conjunto de glaciares se compone de ocho glaciares de Montaña y 15 glaciaretos que en total cubren una extensión de 15 km^2 y poseen un volumen de 700 Hm^3 .
4. Glaciar del Volcán Copahue, que se desarrolla principalmente en la cara oeste de dicho volcán, alrededor de las coordenadas $37^{\circ}51'34''\text{S}$ y $71^{\circ}10'49''\text{O}$. Este conjunto de glaciares se compone de ocho glaciares de Montaña y 25 glaciaretos que en total cubren una extensión de $4,9 \text{ km}^2$ y poseen un volumen de 140 Hm^3 .
5. Glaciar del Volcán Callaqui, que se desarrolla principalmente en torno a dicho volcán, alrededor de las coordenadas $37^{\circ}55'42''\text{S}$ y $71^{\circ}26'49''\text{O}$. Este conjunto de glaciares se compone de seis glaciares de Montaña y 16 glaciaretos que en total cubren una extensión de $9,4 \text{ km}^2$ y poseen un volumen de 404 Hm^3 .
6. Glaciar del Volcán Tolhuaca, que se desarrolla principalmente en la cara oeste de dicho volcán, alrededor de las coordenadas $38^{\circ}18'31''\text{S}$ y $71^{\circ}38'44''\text{O}$. Este conjunto de glaciares, en la cuenca del río Biobío, se compone de cuatro glaciares de Montaña y 7 glaciaretos que en total cubren una extensión de 2 km^2 y poseen un volumen de $59,7 \text{ Hm}^3$.
7. Glaciar del Volcán Lonquimay que se desarrolla en torno al volcán Lonquimay alrededor de las coordenadas $37^{\circ}55'42''\text{S}$ y $71^{\circ}26'49''\text{O}$. En la cuenca del río Biobío, existe sólo un glaciar que cubre una extensión de $0,13 \text{ km}^2$ y posee un volumen de $1,77 \text{ Hm}^3$.

A la fecha no existe información sobre el estado de los glaciares. Se desconoce el volumen derretido cada año y por ello no es posible establecer el aporte de estos glaciares a las fuentes superficiales y recarga de aguas subterráneas.



Fuente: Elaboración propia

Figura 14. Grupos de glaciares existentes en la cuenca del Biobío

3.4 Infraestructura hídrica

En este apartado se identifican las principales obras hidráulicas como embalses, sistemas de conducción y bocatomas. Además, se describe las redes de medición hidrométrica tanto superficial como subterránea, la red de medición de la calidad del agua y de red glaciológica y de nieves.

3.4.1 Obras hidráulicas

En la cuenca de río Biobío, se encuentran distintos destinos para el uso de las aguas, destacando el uso humano, industrial, agrícola y energía, siendo estos dos últimos los usos predominantes. La cuenca es catalogada como la de mayor potencial hidroeléctrico en Chile, lo que se traduce en una alta presencia de centrales hidroeléctricas. Por otra parte, presenta una alta actividad agrícola lo que lleva también a una alta demanda por el recurso hídrico por este sector. En los apartados siguientes se realiza una caracterización de las obras hidráulicas asociadas a la explotación de las aguas. En la sección específica de embalses se incorpora una descripción del Lago Laja que, si bien es de origen natural, este es regulado para su uso hidroeléctrico y de riego.

En la sección de canales, se destaca el reciente proyecto del canal Laja Diguillín, el cual extrae 40 m³/s desde la cuenca del río Biobío para ser trasvasiadas a la cuenca del río Itata. La existencia de este canal llevó a tomar la decisión de incluir a la comuna de Yungay como parte de la cuenca para los análisis, ya que, ocupa parte del trazado.

a) Embalses

En la cuenca del río Biobío se pueden encontrar tres tipos de embalses, siendo estos aquellos que se destinan para riego, generación de electricidad y aquellos para uso mixto. La Figura 15 muestra la distribución de los embalses en la cuenca del río Biobío de acuerdo con el inventario de embalses al año 2016 (Mapoteca DGA), donde 2 de estos embalses se destinan exclusivamente para generación de energía, 14 para riego, 2 para uso mixto de riego y energía, y riego y recreación y 58 se encuentran sin información.

Los embalses más importantes de la cuenca son utilizados para la generación de energía eléctrica y están ubicados en la parte alta de ésta. Los embalses Ralco, Angostura, y Pangue tienen una capacidad de 1.174, 100, y 83 Hm³ respectivamente. El Embalse Ralco inunda una superficie de hasta 3.467 ha, con un volumen total embalsado de 1.222 millones de m³, de los cuales 797 millones de m³ corresponden al volumen máximo de regulación. Dicho embalse abarca los valles de los ríos Biobío, Lomín, Villucura y Lolco, hasta la cota de aguas máximas, para grandes crecidas, correspondiente a 730 m.s.n.m.

En la caracterización de infraestructura de riego del estudio básico "Diagnóstico para desarrollar plan de riego en cuenca del Biobío" desarrollado por EVERIS (CNR, 2017a), no se identificaron grandes embalses destinados para riego en la cuenca.

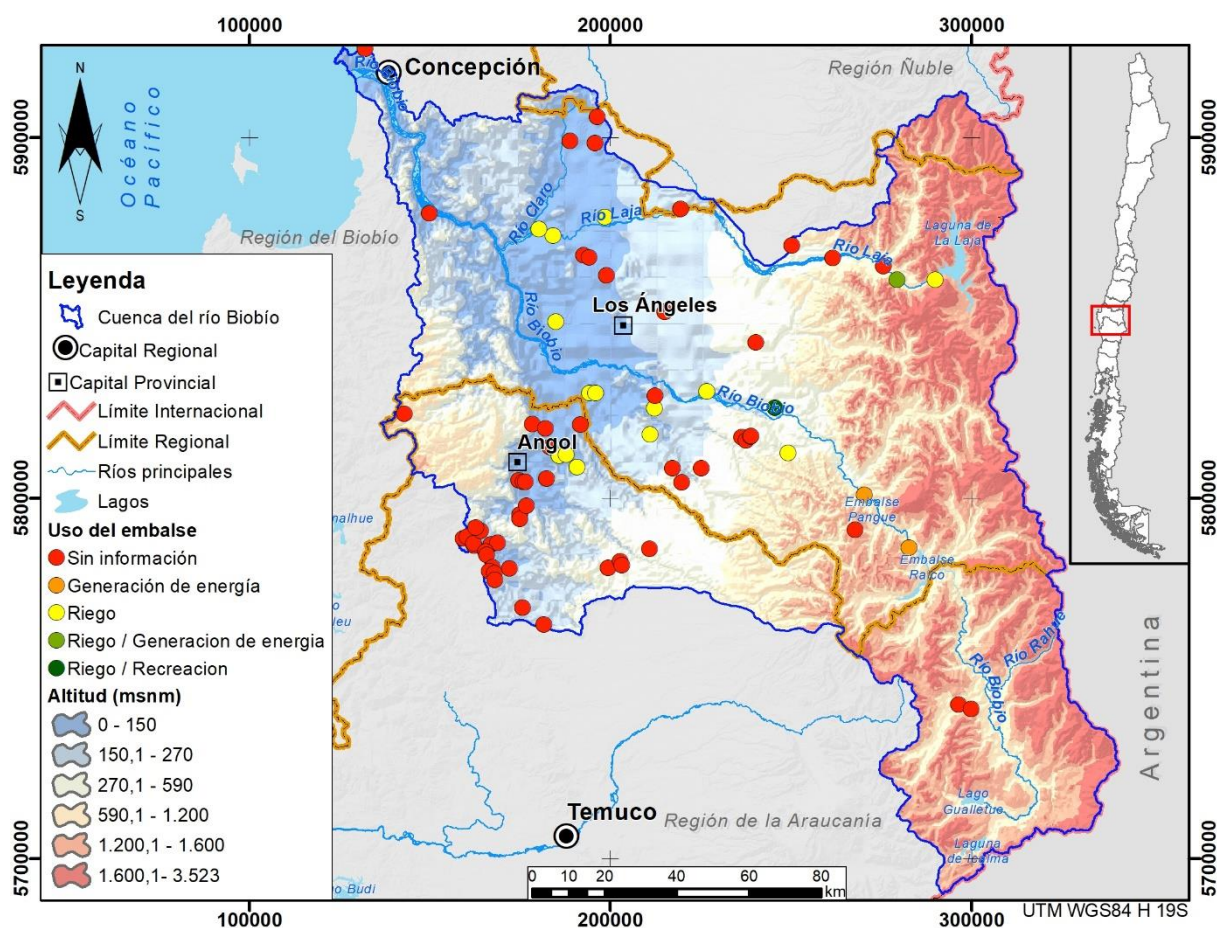
En el estudio básico "Diagnóstico del estado actual de los tranques CORA VIII y IX región" desarrollado por la Universidad de Concepción (CNR, 2017b), se realizó un catastro de los embalses construidos en la época de la reforma agraria y se realizó un diagnóstico técnico y legal de su estado. Se identificaron 23 embalses en la cuenca del río Biobío, y estos se clasificaron según su potencial de rehabilitación. El 39% de ellos se catalogaron como potenciales de rehabilitar, otro 39% como sin potencial, un 17% en condiciones óptimas y un 4% con potencial condicional (se requieren condiciones particulares para su rehabilitación). Una vez finalizado este estudio, la CNR, ejecutó concursos especiales para ejecutar obras de rehabilitación de estos tranques, las cuales se encuentran hoy en etapa concurso o ejecución de obras.

Caso Lago Laja

El Lago Laja, es un lago de montaña ubicado a 1.360 m.s.n.m y es catalogado como un reservorio natural operado como sistema de regulación interanual desde el año 1960, año en que se agotó para construir la planta hidroeléctrica El Toro y se transformó de un lago natural en uno gestionado. Con la construcción de la central hidroeléctrica El Toro, el lago Laja se "convirtió" en el embalse más grande del país. Desde entonces, el lago y su asignación de agua se han gestionado históricamente en función del acuerdo Riego-ENDESA (1958) entre la Dirección Nacional de Riego (hoy Ministerio de Obras Públicas) y la Empresa Nacional de Energía SA (ENDESA). El acuerdo regulaba la asignación de agua del lago Laja

para riego y energía de acuerdo con los derechos de agua de los usuarios. La asignación y las restricciones de agua se aplicaron tradicionalmente en función de las predicciones y la disponibilidad de agua en el lago. El lago tiene dos salidas, una natural que consiste en la filtración a través de rocas fracturadas, que dan origen al río Laja, y una antropogénica en forma del túnel de la planta hidroeléctrica El Toro, que conecta el lago con el río Polcura y cuyos flujos varían de acuerdo con las demandas de energía y riego.

En el año 2001 se terminó de construir el canal Laja Diguillín comenzando su operación en el 2002, esto agregó una nueva demanda al sistema a través de un canal transfronterizo ubicado aguas abajo del lago en el río Laja. Este canal aumentó la demanda de agua del lago para riego en una cuenca vecina.



Fuente: Elaboración propia en base Mapoteca DGA

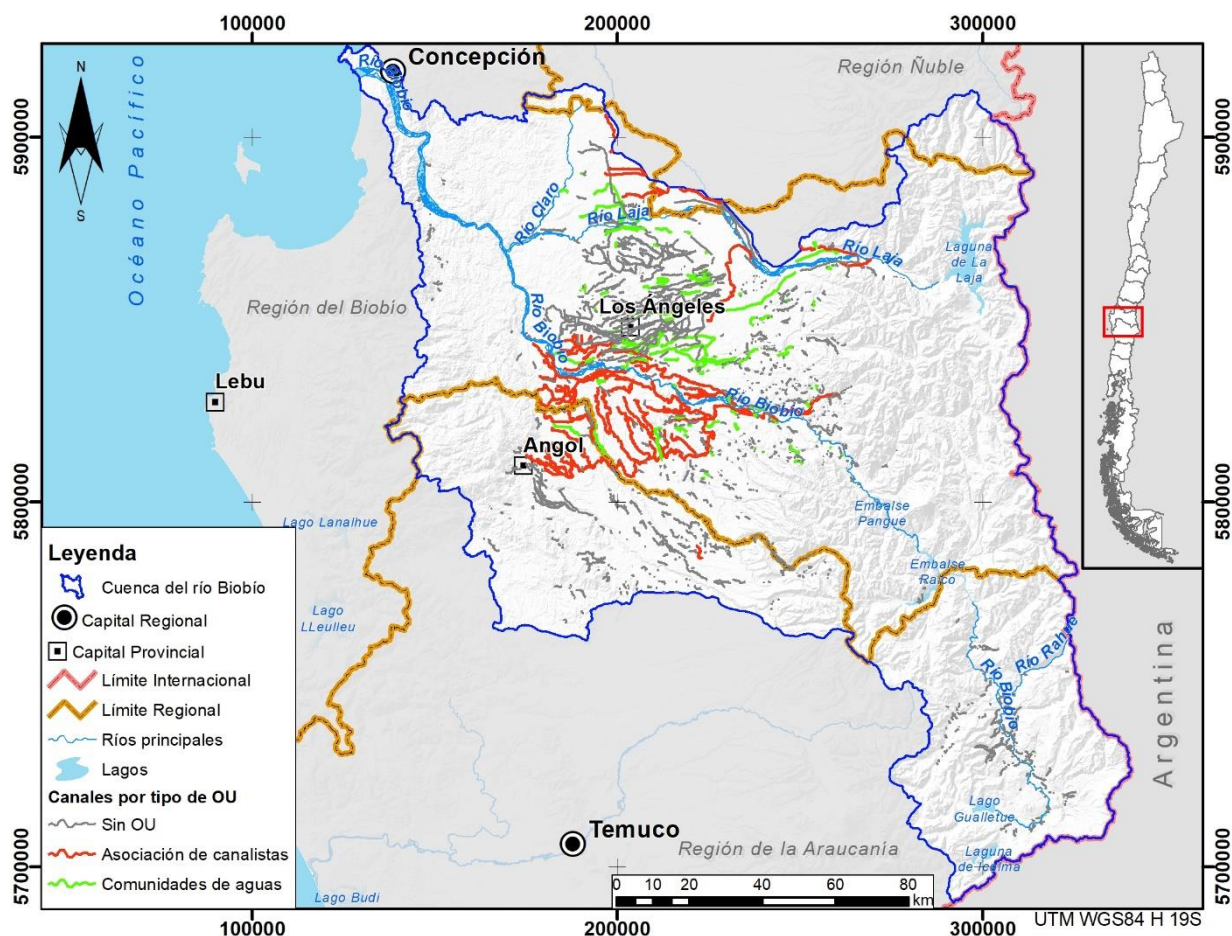
Figura 15. Ubicación de embalses en la cuenca del río Biobío categorizados por uso.

b) Conducción

Desde el río Laja al sur, existen una serie de canales de mucha importancia para la región, que permiten el abastecimiento de grandes zonas agrícolas a partir de los recursos del río Biobío y sus afluentes. Esta red de riego está conformada por más de 2.000 canales, cuya extensión en conjunto alcanza un valor cercano a los 4.800 km. Dicha red se abastece a

partir de 1.607 bocatomas, de las cuales, 140 son de carácter permanente y casi 1.500 tienen carácter transitorio. Su uso es apoyado por la existencia de 68 embalses menores. Respecto de las características físicas de los canales que conforman esta red de riego, en su gran mayoría son excavados en tierra, sin revestir y antiguos. Esta característica se ve acentuada por la inexistencia de una mantención constante y continua en el tiempo. En general, las obras de captación son sólo de carácter temporal, incluso en los canales más grandes, presentando problemas de tipo estructural. Igual situación muestran las obras de entrega hacia canales subderivados y predios propiamente tal. Finalmente, no existe control regular y sistemático de la distribución de aguas de riego (CNR, 2003).

La Figura 16, muestra la red de canales presente en la cuenca del río Biobío categorizadas según su tipo de organización de usuarios (OU).



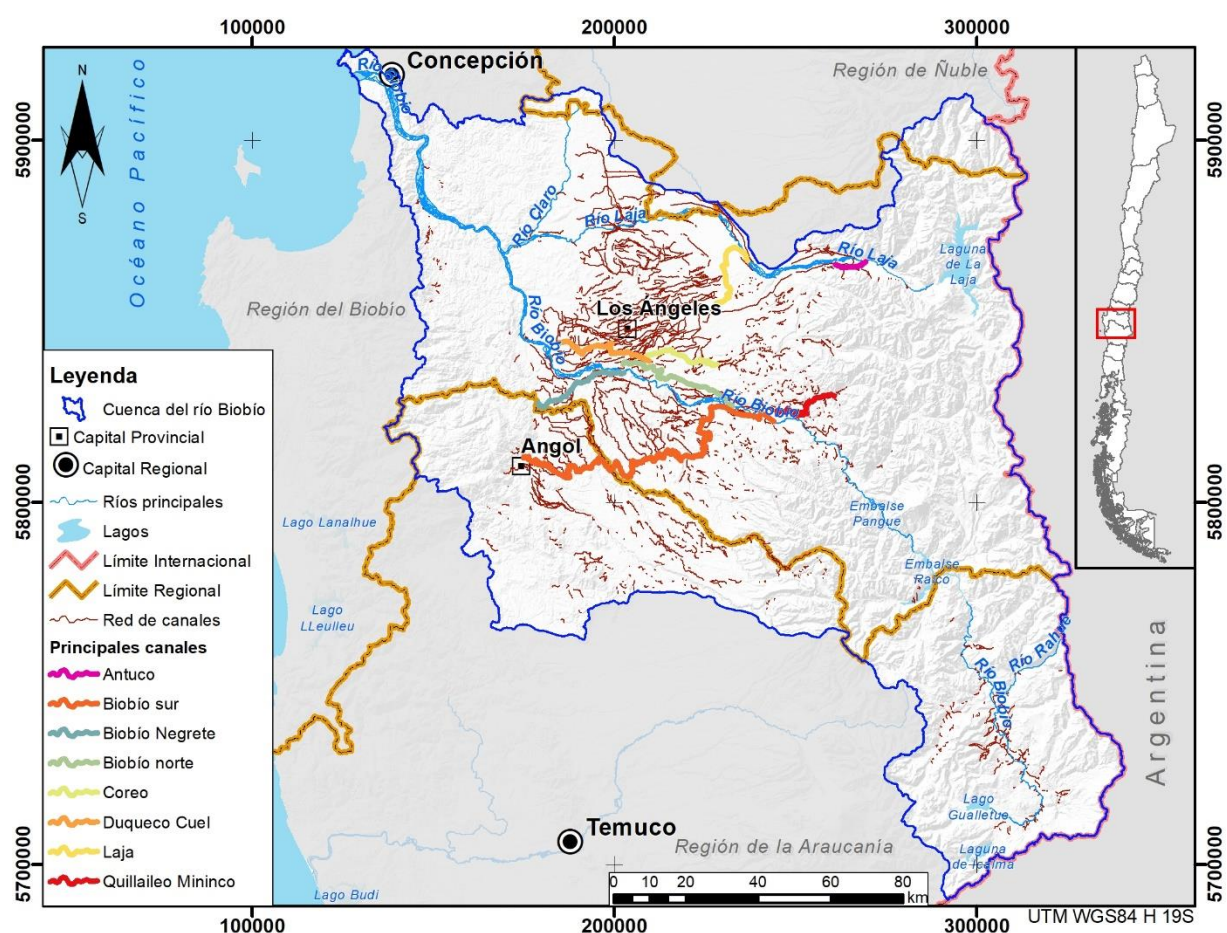
Fuente: Elaboración propia en base a DGA 2018

Figura 16. Red de canales cuenca del río Biobío categorizada según tipo de organización de usuarios (OU).

La Figura 17 muestra los canales más importantes de la cuenca. El estudio más reciente que caracteriza la infraestructura de riego extrapredial de la cuenca, es el Diagnóstico para desarrollar plan de riego en cuenca del Biobío, desarrollado por EVERIS (CNR, 2017a), la descripción de los canales más relevantes de la cuenca se encuentra en Anexo F1. Sección 1.6.1.

Se observa que no existen estudios que abarquen en detalle la totalidad de la infraestructura de riego de la cuenca, solo el "Estudio de Síntesis de Catastros de Usuarios e Infraestructura de Aprovechamiento" (DGA, 1991) entrega un listado resumido de la red de riego de la cuenca, que se muestra en la Tabla 10. Se puede apreciar que, para la fecha del citado estudio, el río Biobío era la principal fuente de recursos para riego en esta cuenca y que a través de su red de canales regaba del orden del 35% del área total regable en toda la cuenca. También resulta muy importante el sistema Canal Laja a través de los ríos y esteros más importantes que esta cruza, con una superficie regable que representa al 23 % del total de la cuenca.

Todos estos canales presentan características similares a las del resto de los canales de la región; son muy antiguos, no tienen sistemas de distribución de caudales ni de control de crecidas, no son revestidos, sus bocatamos son temporales y su mantención y reparación a lo largo del tiempo ha sido prácticamente nula.



Fuente: Elaboración propia en base a DGA 2018

Figura 17. Canales más importantes de la cuenca del Biobío.

Tabla 10. Listado de canales por subcuenca en la cuenca del río Biobío.

Fuente	Nº Canales	Longitud (km)	Nº de usuarios	Área regable (ha)
Sistema Laja	39	651	2.127	24.844
Río Lonquimay	48	24	65	404
Río Guaqui	181	377	782	6.197
Río Bureo	197	217	275	1.428
Río Laja	306	699	2.304	12.698
Río Vergara	370	726	1.055	8.450
Río Duqueco	405	693	2.332	13.034
Río Biobío	665	1.414	3.875	39.142
Total	2.212	4.801	12.815	106.197

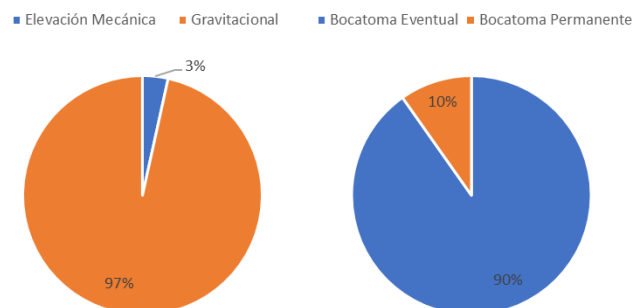
Fuente: DGA, 1991

Finalmente, del análisis de la información existente se desprende una falta de registros actualizados de infraestructura asociada a obras de riego y estado de estas, asimismo, existen múltiples deficiencias en los sistemas de riego (CNR2017a). Debido a que la situación de escasez hídrica es una variable adicional a considerar dentro del análisis de cualquier propuesta que involucre el recurso hídrico, se deben ejecutar catastros y evaluaciones de la infraestructura de riego existente en la cuenca del río Biobío, las soluciones a proponer para mejorar la infraestructura deben apuntar no solo a realizar un catastro de la infraestructura misma, sino que requieren soluciones integrales que incluyan aspectos legales, de organización, uso del suelo y herramientas para mejorar la conducción de las aguas, operación de las obras y para el riego mismo. Por esto, contar con una caracterización, diagnóstico de la infraestructura de riego, ayudará a proponer una planificación en la inversión futura en obras de riego e instrumentación, contribuyendo a la gestión y optimización en uso de los recursos hídricos.

c) Bocatomas

El estudio más reciente que evaluó y catastró las bocatomas en la cuenca del río Biobío, fue el "Levantamiento y catastro de bocatomas en cauces naturales" desarrollado por la DGA y ejecutado por CONIC-BF (DGA, 2000). Este estudio catastró 646 bocatomas en la cuenca, lo que contrasta con las 1.426 informadas en la infraestructura de datos geoespaciales de Ministerio de Agricultura en 2013. En base a esta última fuente de información, se desprende que el 3% de estas bocatomas presenta elevación mecánica (tiene algún sistema de bombeo asociado a la extracción del recurso) y un 97% corresponden al tipo gravitacional (Figura 18), el 10% de estas bocatomas cuentan con una infraestructura permanente, es decir, poseen una infraestructura cuyo estándar de construcción permite su operación de forma continua, de manera independiente de las condiciones climáticas que se presenten, y que persisten en el tiempo sin necesidad de hacer mantenimientos mayores entre las distintas estaciones del año. Este tipo de bocatomas se caracterizan por la existencia de obras civiles de importancia como muros, y losas de hormigón, compuertas con mecanismos para su operación, barreras de hormigón o enrocados, protecciones de riberas con gaviones, revestimientos de hormigón o albañilería de piedra. El restante 90% son bocatomas de carácter eventual, que corresponden a obras provisionales, que no son operables en forma continua, requieren habitualmente labores importantes de mantenimiento entre una temporada y otra, por no

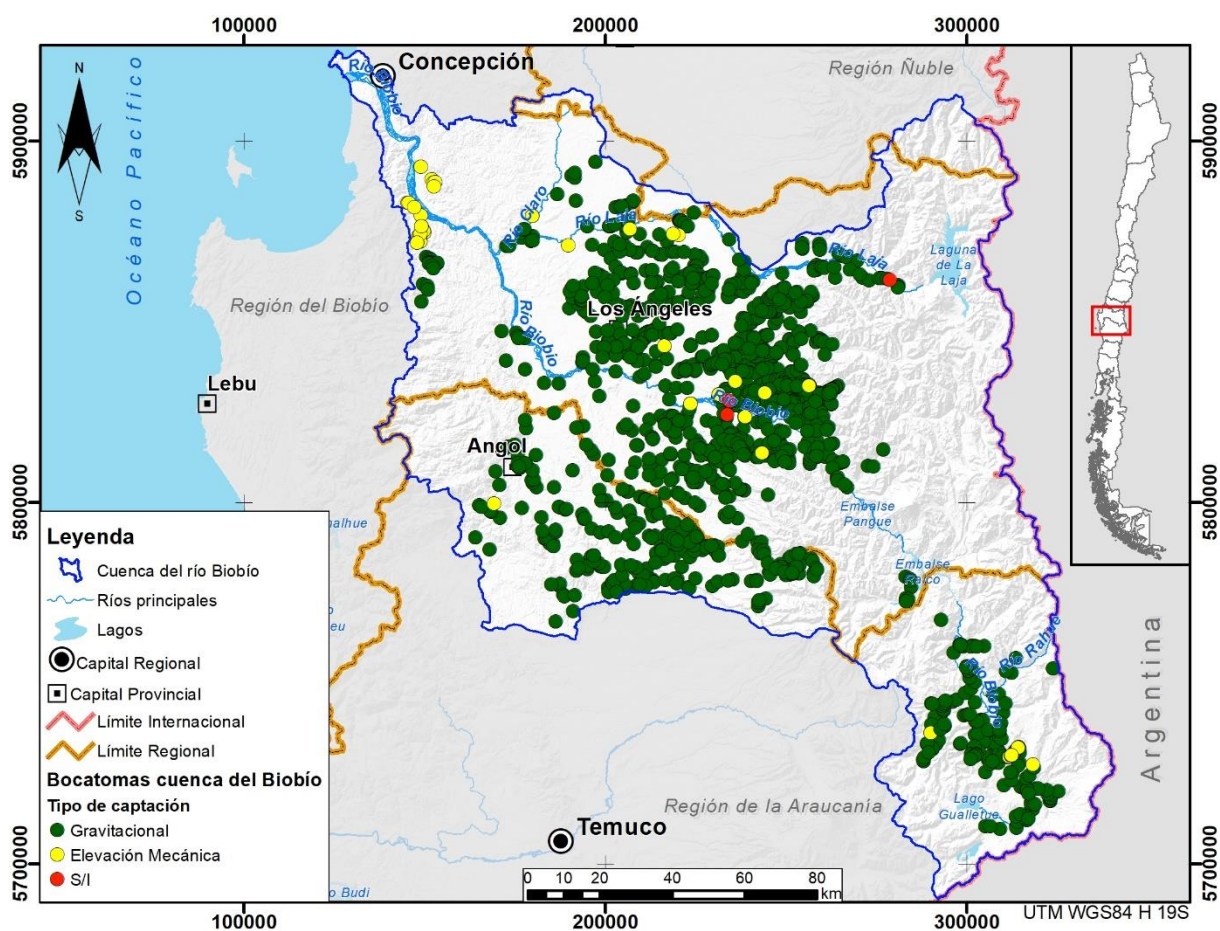
disponer de los elementos que permiten manejar todos los fenómenos físicos y los requerimientos de operación que se presentan (Figura 18).



Fuente: Elaboración propia en base al catastro de bocatomas de MINAGRI 2013

Figura 18. Tipos de bocatomas en la cuenca del río Biobío.

La mayor parte de las extracciones superficiales se concentran en la parte central de la cuenca, donde comúnmente se desarrolla con mayor fuerza la agricultura. Sin embargo, en la comuna de Lonquimay existe un número considerable de bocatomas, lo que podría indicar cierto desarrollo agrícola en la zona, que a pesar de ser una comuna cordillerana con fuertes pendientes del terreno y la calidad de los suelos no muy favorables para el desarrollo de una agricultura intensiva. La Figura 19 muestra la distribución espacial de las bocatomas según su tipo de extracción (mecánica o gravitacional), donde se observa que en la zona central de la cuenca se concentran las extracciones gravitacionales, y las extracciones mecánicas toman mayor relevancia en la zona de la cordillera de costa.



Fuente: Elaboración propia en base al catastro de bocatomas de MINAGRI 2013

Figura 19. Ubicación de las bocatomas en la cuenca, según tipo de extracción.

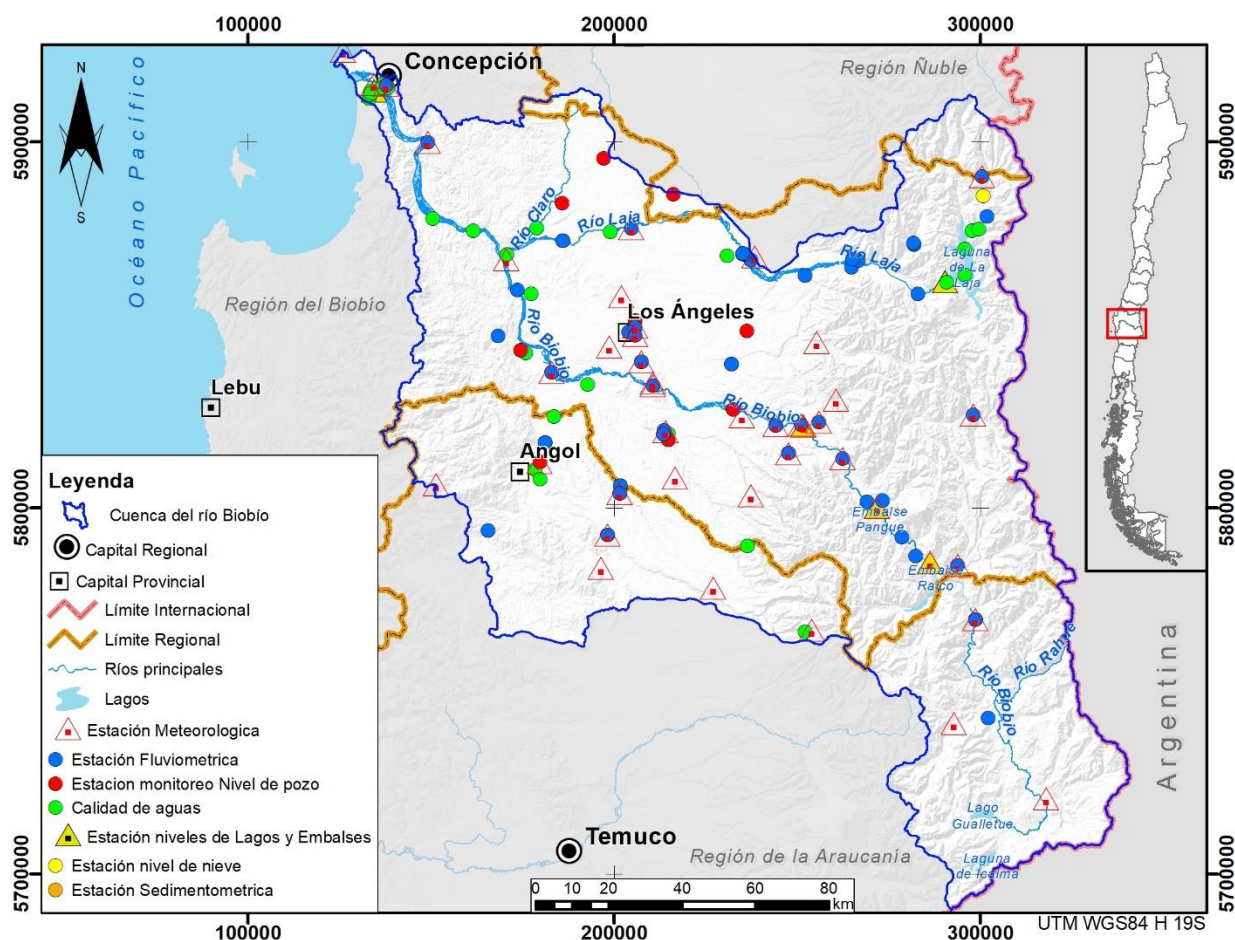
3.4.2 Redes de medición (estado y calidad).

La DGA opera la red hidrométrica nacional que tiene por objetivo el permitir que exista información pertinente, oportuna y de calidad, que permita un adecuado nivel de conocimiento sobre el territorio para una acertada toma de decisiones (DGA, 2016).

La red hidrométrica de la cuenca del río Biobío (Figura 20) está compuesta por un total de 184 estaciones. De estas, 73 corresponden a estaciones de calidad de aguas, donde la red DGA contemplaba 39 estaciones y recientemente se sumaron 34 estaciones que corresponden a un conjunto de sistemas de Agua Potable Rural, sumando así un total de 73 estaciones. El tipo de estación que tiene mayor presencia en la cuenca es del tipo fluviométrica, con un total de 48 estaciones, seguidas por 42 estaciones meteorológicas, 10 para monitoreo de pozos, 5 de niveles de lagos y embalses, 5 sedintométricas y una de ruta de nieve.

Esta red de monitoreo cuenta con estadística hidrológica en línea en tiempo real además de contar con registros históricos. Las estaciones fluviométricas, proporcionan datos de caudales medios anuales, altura, caudal instantáneo y caudales medios diarios. Mientras

que las estaciones meteorológicas proporcionan datos de temperaturas medias mensuales, temperaturas medias diarias, temperaturas extremas, precipitaciones mensuales y diarias. Los reportes de pozos entregan datos de niveles estáticos en pozos a escala mensual, y los reportes de sedimentos proporcionan datos de altura, concentración, caudal y gasto (kg).



Fuente: Elaboración propia en base Mapoteca DGA

Figura 20. Red de monitoreo DGA presente en la cuenca del río Biobío.

a) Red hidrométrica superficial y subterránea

- Estaciones fluviométricas: En la cuenca del río Biobío existen 49 estaciones fluviométricas vigentes. Cabe destacar que hay un importante número de estaciones con más de 50 años de registro, llegando a 90 años en algunos casos. Una debilidad que presenta la red de estaciones fluviométricas es que no existen estaciones fluviométricas que cierren las subcuencas definidas por la DGA para la cuenca del río Biobío.
- Niveles de acuíferos: En la cuenca del río Biobío la Dirección General de Aguas mantiene 10 pozos de observación. Los niveles freáticos se mantienen estables en el período donde se dispone información.

- Lagos/Embalses: En la cuenca del río Biobío se mantienen cuatro estaciones de control de niveles que corresponden al Lago Laja y a los embalses Angostura, Pangue y Ralco.
- Sedimentación: En la cuenca del río Biobío existen 5 estaciones de control de sedimentos que están implementadas en estaciones fluviométricas, para así poder determinar el transporte de gastó sólido al integrar los datos de concentración de sedimentos con las concentraciones medidas.

La Tabla 11 y la Tabla 12 muestran las estaciones de monitoreo usadas para la modelación, donde, para la construcción del modelo se utilizaron 22 estaciones fluviométricas y 6 pozos de observación mantenidas por la Dirección General de Aguas. Como se usaron datos climáticos extraídos de la base de datos CAMELS-CL para cada subcuenca definida para el modelo, no se utilizaron datos de estaciones meteorológicas.

Tabla 11. Estaciones fluviométricas utilizadas para definir las subcuencas.

Código BNA	Nombre estación	Coordenadas UTM (WGS 84)		
		Estado	Este	Norte
08304001-7	Rio Lonquimay Antes Junta Rio Biobío	Vigente	302213	5742606
08307002-1	Rio Bio-Bio En Llanquén	Vigente	298706	5769399
08312001-0	Rio Biobío Antes Junta Hui Hui	Vigente	278593	5791985
08313000-8	Rio Pangue en Captación	Vigente	273295	5801876
08313001-6	Rio Biobío Ante Junta Pangue	Vigente	269071	5801713
08317001-8	Rio Biobío en Rucalhue	Vigente	244156	5822433
08317005-0	Rio Biobio En Puente Piulo	Vigente	251104	5822686
08323001-0	Rio Duqueco En Cerrillos	Vigente	737475	5841562
08323002-9	Rio Duqueco en Villucura	Vigente	762054	5839427
08330001-9	Rio Mulchén En Mulchén	Vigente	742311	5821442
08333003-1	Rio Bureo en Puente Acceso A Mulchén	Vigente	742481	5822479
08334001-0	Rio Biobío en Coihue	Vigente	712955	5840299
08342001-4	Rio Renaico En Longitudinal	Vigente	729578	5808194
08343001-K	Rio Mininco En Longitudinal	Vigente	729380	5806157
08351001-3	Rio Malleco En Collipulli	Vigente	725267	5794997
08356001-0	Rio Rahue En Quebrada Culén	Vigente	692784	5798416
08358001-1	Rio Vergara En Tijeral	Vigente	709856	5821268
08362001-3	Rio Nicodahue en Pichun	Vigente	698993	5851151
08380001-1	Rio Laja En Tucapel	Vigente	235685	5869260
08380006-2	Rio Laja En Tucapel 2	Vigente	235177	5869536
08383001-8	Rio Laja En Puente Perales	Vigente	718287	5876002
08385001-9	Río Claro en Camino Yumbel	Suspendida	718127	5889112
08394001-8	Rio Biobío En Desembocadura	Vigente	672852	5921362

Fuente: Elaboración propia en base a red hidrométrica DGA

Tabla 12. Pozos de observación DGA utilizados para la modelación.

Código BNA	Nombre	Coordenadas UTM (WGS 84)	
		Este	Norte
08358006-2	Asociación Canalistas Biobío Sur	708129	5816050
08366003-1	Los Ángeles en casa de huéspedes MOP	736527	5853112
08384000-5	Cabrero en Municipalidad	730808	5897745
08330004-3	Mulchén en sector La Granja	743500	5819852
08322000-7	Quilleco en Estadio Municipal	236282	5848337
08385005-1	Yumbel en Estadio Municipal	718696	5886194

Fuente: Elaboración propia en base a red hidrométrica DGA

b) Calidad

El establecimiento de la Norma Secundaria de Calidad de Aguas (NSCA) para la cuenca del río Biobío impactó fuertemente la red de estaciones de calidad de agua existentes en la cuenca del Biobío. A partir del año 2015 se establecieron una serie de estaciones de control de calidad de agua que al año 2019 completaban las 39 estaciones cuya ubicación se encuentra incluida en los archivos vectoriales disponibles en la Mapoteca DGA.

Los registros de calidad de aguas entregan parámetros físico-químicos como: contenidos de aluminio, cloruro, coliformes fecales, compuestos fenólicos, conductividad específica, nitrógeno, oxígeno disuelto, pH, sólidos suspendidos, sulfato y temperatura.

Desde el punto de vista de la Calidad de Aguas subterráneas existe información de 34 sistemas de Agua Potable Rural, cuya calidad fue levantada (DGA, 2019).

c) Red glaciológica y de nieves

En la cuenca del río Biobío no existen estaciones de control de glaciares y sólo una ruta de Nieve ubicada en el Volcán Antuco (ver ubicación en Figura 20). Dada la importancia del almacenamiento nival para las cuencas del río Laja y del Biobío la falta de datos nivales se transforma en una seria limitante para el estudio de la disponibilidad de agua.

d) Análisis crítico

Tener un conocimiento certero de la disponibilidad de recursos hídricos se vuelve un tema de importancia y necesidad. En Chile centro-sur (34° - 40° de latitud sur), el régimen de las precipitaciones se asocia principalmente con el paso sucesivo de sistemas frontales, resultado del desplazamiento estacional del anticiclón subtropical del Pacífico Sur en meses invernales (abril a septiembre) (Garreaud, 1993), que penetran desde el océano pacífico hacia el continente. Por otro lado, durante los meses más cálidos, el anticiclón se desplaza varios grados al sur, impidiendo la formación de lluvias asociadas al paso de dichos sistemas frontales.

Los cordones montañosos de la cordillera de la costa y andes generan fuertes gradientes pluviométricos, los cuales, además pueden variar entre tormentas, modificando localmente los montos de precipitación registrados por las estaciones pluviométricas (Falvey y Garreaud, 2005). Sin embargo, debido a su baja densidad, la red de estaciones pluviométricas de Chile puede resultar insuficiente para caracterizar correctamente la variabilidad espacial de las precipitaciones. Por ejemplo, en Chile centro-sur, se tiene una densidad de estaciones de aproximadamente 1 estación pluviométrica cada 675 km^2 , y la mayoría de estas se concentran en el valle central y en la costa. Esta densidad es muy baja en comparación con recomendaciones de la Organización Mundial de Meteorología (OMM). Según la OMM, para la existencia de una buena red (densidad) pluviométrica debiera existir a lo menos un pluviómetro cada 25 km^2 en terrenos montañosos y, uno cada 50 km^2 en terrenos planos (Pizarro, 1993). Por otra parte, la presencia de relieves montañosos de difícil acceso, impiden la instalación de las estaciones pluviométricas, y por lo tanto, producto de ello se tiene una densidad muy inferior en aquellas zonas como toda la ladera occidental de la Cordillera de los Andes y las zonas altas de la Cordillera de la Costa (ej. Cordillera de Nahuelbuta, lat. $\sim 37^{\circ}45' \text{ S}$). Lo anterior implica que en una cuenca con zonas

mayoritariamente montañosas las precipitaciones se subestimen, ya que no se representa correctamente el aumento de precipitaciones por la orografía. (Muñoz et al. 2018)

Por otra parte, una debilidad que presenta la red de estaciones fluviométricas es que no existen estaciones fluviométricas que cierren las subcuencas definidas por la DGA para la cuenca del río Biobío.

3.5 Gobernanza a nivel de cuencas

La legislación e institucionalidad relacionada con la gestión del recurso hídrico en la cuenca del río Biobío no difiere del resto del país, toda vez que, el modelo imperante no hace diferenciaciones en ese sentido, considerando a la DGA y a las juntas de vigilancia de los ríos como los órganos con mayores competencias y facultades en la cuenca hidrográfica en cuanto a la gestión del recurso. En este sentido este capítulo identifica las organizaciones de usuarios de aguas existentes, el estado actual de regulación, la descripción y análisis de las comunidades indígenas presentes, una caracterización de los usuarios de aguas, mapas de agentes y las brechas identificadas de coordinación e información en torno a la gobernanza en la cuenca.

El río Biobío no cuenta con una junta de vigilancia organizada³ en toda la cuenca hidrográfica, no obstante, con ese objetivo se está desarrollando una iniciativa por parte de la CNR. Además, están legalmente organizadas las juntas de vigilancia en los ríos Malleco y Renaico y una iniciativa particular para organizar la junta de vigilancia del río Laja.

La gobernanza del agua se sostiene en la capacidad de diálogo que poseen los diversos actores vinculados, siendo fundamental que existan espacios normados y delimitados, estableciendo las capacidades decisionales que correspondan. No obstante, ante la ausencia de instancias formales de participación, se reconocen valoran el surgimiento de reglas sociales y estructuras *botton up* que generan oportunidades para una mejor gobernanza, como es el caso de algunas experiencias en la cuenca del río Biobío que parece interesante destacar.

En ese sentido, el proceso de organización de la junta de vigilancia del río Biobío puede ser considerado una buena experiencia de gobernanza del agua, debido a la génesis y posterior desarrollo del proceso, donde se destaca la iniciativa de particulares, liderados por la administración de la asociación de canalistas Biobío Negrete, quienes convocan a la institucionalidad pertinente y otros actores sociales del territorio, incluyendo universidades, constituyendo una mesa de trabajo cuyo propósito es la organización de la junta de vigilancia.

Durante ese proceso, se logran acuerdos fundamentales entre los futuros integrantes de la organización. Asimismo, la participación de la DGA en la construcción de los estatutos y del proceso de organización da las garantías necesarias para que el logro de los objetivos sea alcanzado. Además, producto del trabajo mancomunado de los actores de la mesa de trabajo se obtuvo recursos económicos de parte de la CNR para desarrollar un programa

³ Para efectos de este trabajo, las OUA se entenderán organizadas por su registro en la Dirección General de Aguas (artículo 196 del Código de Aguas).

de transferencia tecnológica mediante el cual se realizan las acciones necesarias para la organización de la junta de vigilancia en cuestión.

El proceso de organización de la junta de vigilancia tuvo que sortear el desafío de la inclusión de usuarios tenedores de derechos de aprovechamiento de aguas consuntivos y no consuntivos, lo que genera una serie de controversias, toda vez que, su coexistencia en la organización no está explicitada en la legislación vigente, lo que obliga a lograr acuerdos unánimes⁴ para todo aquello que se relaciona con la toma de decisiones y financiamiento de la organización. Además, la vía de organización considerada, por ahora, es la extrajudicial, para evitar las controversias propias de la vía judicial.

Otro buen ejemplo de gobernanza del agua en esta cuenca hidrográfica es la que se desarrolló en la cuenca del río Laja, en cuyo caso, el uso de las aguas fue, por décadas, motivo de fuertes conflictos, los que se originaron en un convenio firmado en 1958 por la Dirección de Riego y Endesa, mediante el cual se buscaba regular el uso de las aguas embalsadas en el Lago Laja.

El aumento de la demanda profundizó las tensiones, lo que motivó la judicialización de los conflictos durante décadas, sin lograr resolver el fondo, hasta que algunos usuarios promovieron el diálogo y reconociendo la importancia de los diferentes usos, incluidos aquellos que no cuentan con una expresión legal, permitieron la inclusión de representantes de sectores vinculados a usos turísticos y paisajísticos basados en la belleza escénica e importancia turística de los "Saltos del Laja", logrando la conformación de una mesa de acuerdo que incluye la participación de los usuarios del sector agrícola, hidroeléctrico y también turístico, representado por el "Comité Agua para el Laja" la que desarrolla un modelo hidrológico de explotación del lago Laja que reconoce todos los usos y la explotación sostenible del recurso.

Por otro lado, el canal Laja Diguillín es una obra construida por el Estado, que tiene como propósito llevar aguas desde el río Laja hasta los ríos Diguillín y Coltón, en la cuenca del río Itata, constituyéndose en una gran obra que trasvasa aguas desde una cuenca hidrográfica hasta otra, generando todo un debate y conflictos respecto de las ventajas y desventajas de ello.

En ese sentido, usuarios del río Laja consideran que el proyecto Laja Diguillín afecta el caudal disponible en el río tanto para usos con derechos de aprovechamiento (riego, por ejemplo) y sin derechos, como lo es el turismo del Salto del Laja, lo que ha generado un permanente conflicto en el territorio, solo a modo de ejemplo reciente, el 8 de julio del presente, el Diario La Discusión de Chillán publicó un artículo titulado "Canalistas del Laja rechazan compartir agua con "blancos"⁵ del Laja-Diguillín, lo que representa todo drama para los denominados "blancos" del canal Laja Diguillín que han esperado ser incorporados

⁴ Según actuales criterios de la DGA

⁵ Las superficies "blancas": corresponden a todos aquellos predios regados y no regados que no cuentan con derechos de aprovechamiento de aguas de tipo consuntivo de ejercicio permanente y continuo que sean conducidos por los canales de las comunidades de aguas que conforman la Junta de Vigilancia del Río Diguillín y sus Afluentes. Por ello, se distinguen dos tipos de predios "blancos": (1) aquellos predios de secano y (2) aquellos predios regados con: aguas subterráneas, derrames o derechos de aprovechamiento de aguas de ejercicio eventual constituidos en esteros y que no forman parte de las comunidades de aguas que conforman la Junta de Vigilancia del Río Diguillín.

por más de 15 años al sistema y cuyas expectativas han sido motivadas por iniciativas de inversión pública.

Los procesos de organización de juntas de vigilancia en los ríos Malleco y Renaico, son experiencias válidas en cuanto a la gobernanza del agua, principalmente por los procesos participativos y de coordinación institucional que se llevaron a cabo.

En ese sentido, durante el 2011, el INDAP inicia procesos de organización de ambas juntas de vigilancia, sin alcanzar su constitución, lo que motivó utilizar un convenio existente desde 2015 con la DGA para desarrollar las acciones necesarias que culminen con ambas organizaciones legalmente constituidas.

Fue así como el 2016 la Unidad de Organizaciones de Usuarios y Eficiencia Hídrica (hoy Departamento de Organizaciones de Usuarios) de la DGA se hace parte del proceso, desarrollando acciones en la dirección de alcanzar la esperada organización de ambas juntas de vigilancia.

Por otro lado, en el caso del río Malleco, dada las características de pequeños agricultores de una parte fundamental de los usuarios de las aguas, se contó con el apoyo de la Ilustre Municipalidad de Angol.

Finalmente, una vez que los procesos de organización estaban avanzados la CNR incorpora programas de fortalecimiento organizacional⁶ que vienen a complementar las acciones ya materializadas, en el sentido de entregar herramientas y desarrollar capacidades en los usuarios de las aguas para una mejor gestión de las organizaciones recién constituidas. Asimismo, avanzar en la constitución de organizaciones de base (comunidades de aguas) y en el saneamiento y regularización de los DAA de los territorios en cuestión.

Estas experiencias de organización de juntas de vigilancia en las que se visibilizan elementos importantes de gobernanza también invitan a reflexionar respecto futuros procesos de organización de juntas de vigilancia, en cuanto a los tiempos excesivos que toma su constitución, la problemática para la definición de la jurisdicción de la organización, la coexistencia de derechos de tipo consuntivos y no consuntivos, la inclusión de la gestión de las aguas subterráneas y el uso múltiple del recurso, incluidos usos indirectos que no cuentan con derechos de aprovechamiento.

A continuación, se desarrollan los contenidos del diagnóstico comprometidos para esta línea de trabajo y en el anexo F.1 se encuentra un desarrollo más acabado del tema.

3.5.1 Organizaciones de Usuarios de Aguas existentes.

La cuenca hidrográfica del río Biobío no cuenta con una junta de vigilancia organizada, no obstante, su proceso de organización ha dado pasos sólidos que permiten ser optimistas, tanto en su constitución como en la funcionalidad de ésta.

En el caso del río Biobío, la prudencia obliga a caracterizar solo elementos genéricos de la junta de vigilancia en vías de organización, sin profundizar en temáticas que, por razones

⁶ Actualmente se encuentra en desarrollo el programa de fortalecimiento en el río Malleco, no así en el río Renaico que podría iniciar prontamente.

obvias, no están completamente definidas. Asimismo, se clarifica el hecho de que la caracterización que se hace está sujeta a eventuales modificaciones según se desarrolle el proceso que terminará con la organización legalmente constituida.

Por otro lado, existen juntas de vigilancia organizadas en los ríos Malleco y Renaico, cuya jurisdicción abarca subcuencas de la parte sur de la cuenca del río Biobío, que representan las últimas en constituirse a nivel nacional (año 2019), razón por la cual tienen poco tiempo de existencia y, con ello, poca participación en la gestión de las aguas, pero un fuerte accionar en cuanto a la planificación y articulación con la institucionalidad pertinente.

Finalmente, en el río Laja (afluente del río Biobío) se ha desarrollado un largo proceso de organización de la junta de vigilancia sin alcanzar su constitución.

A continuación, se hace una descripción del estado organizacional de las juntas de vigilancia en la cuenca del río Biobío y de la existencia de OUA organizadas legalmente en cauces artificiales.

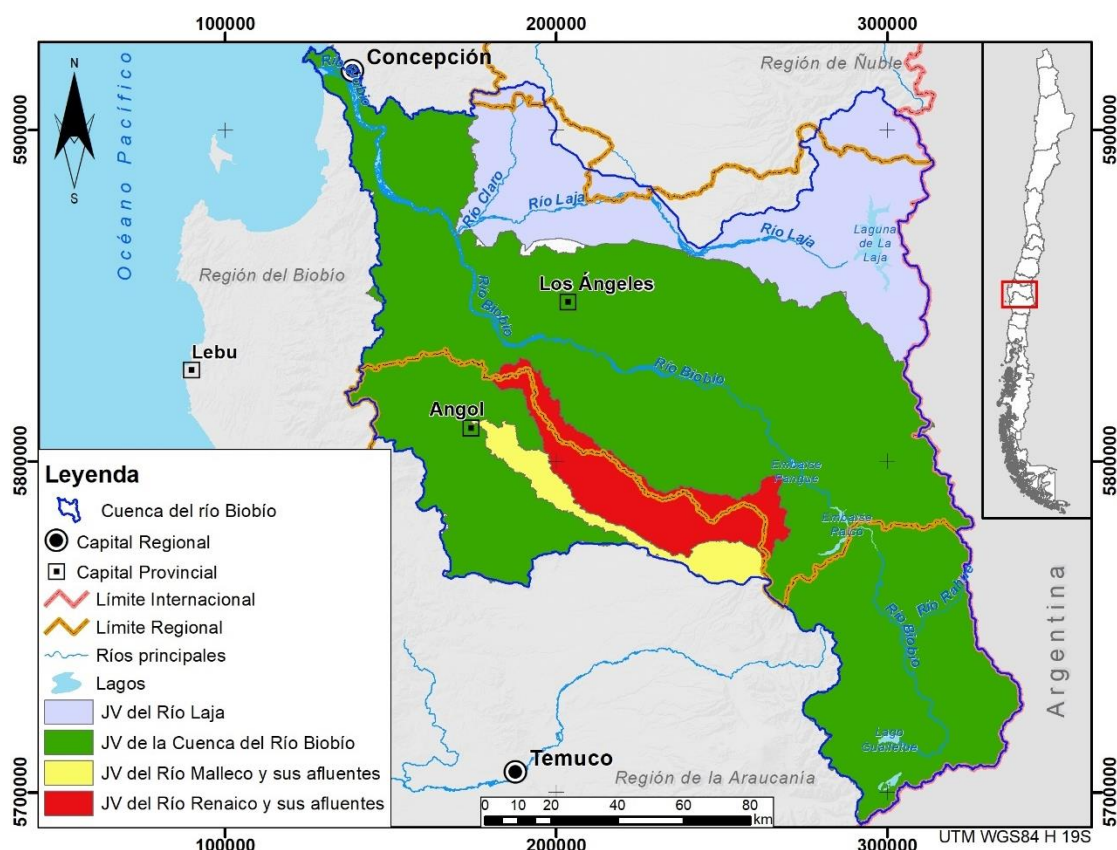
e) Junta de vigilancia del río Biobío.

La Junta de Vigilancia del Río Biobío no está legalmente organizada, no obstante, ha iniciado el proceso para hacerlo, el que cuenta con la participación de los usuarios de las aguas, la DGA, universidades y otros actores relevantes. Además, cuenta con apoyo del Estado mediante la ejecución de un programa de fortalecimiento organizacional desarrollado por la CNR.

La jurisdicción que tendría la junta de vigilancia del río Biobío incluiría gran parte de la cuenca hidrográfica, quedando fuera: (1) la subcuenca del río Laja, debido a que se ha iniciado con anterioridad un proceso de organización; (2) el área de jurisdicción de la junta de vigilancia del río Renaico; y (3) el área de jurisdicción de la junta de vigilancia del río Malleco, cuya jurisdicción llega hasta su confluencia con el río Huequén (y no con el río Vergara, que es donde descarga sus aguas), es decir, hay aproximadamente 1.500 metros del río Malleco que serían parte de la jurisdicción de la junta de vigilancia del río Biobío, como también toda la cuenca del río Huequén (afluente del río Malleco).

El objeto de la organización sería “administrar y distribuir las aguas a que tienen derechos sus usuarios o accionistas en las fuentes naturales dentro de la hoya hidrográfica del Río Biobío y sus afluentes, explotar y conservar las obras de aprovechamiento común y realizar los demás fines que le encomiende la ley. Asimismo, podrá construir nuevas obras relacionadas con su objeto o mejorar las existentes, con autorización de la Dirección General de Aguas cuando ello corresponda”.

En la Figura 21 se observa la jurisdicción que tendría la JV del río Biobío y que tienen las JV de los ríos Malleco y Renaico y una eventual organización en el río Laja.



Fuente: Elaboración propia

Figura 21. Jurisdicción de las juntas de vigilancia de la cuenca del río Biobío.

En cuanto a elementos de gobernanza del agua, además del proceso de organización descrito anteriormente, del proyecto de estatutos en construcción se observan elementos que parece interesante destacar.

1. La jurisdicción y el ámbito de competencias de la organización presenta algunas características interesantes de destacar, comenzando con el hecho de que no abarca la cuenca hidrográfica completa, lo que podría dejar espacios a eventuales conflictos futuros.
2. La coexistencia de derechos de aprovechamiento de aguas de tipo consuntivos y no consuntivos es un avance significativo en un proceso de organización de una junta de vigilancia, toda vez que, es fruto de acuerdos entre los mismos usuarios y entre éstos y la DGA, lo que permite contar con herramientas que facilitan la gestión de las aguas del cauce.
3. La inclusión de la gestión de las aguas subterráneas parece ser un paso positivo en el mediano y largo plazo, en el sentido de la integración que se requiere para una gestión más eficiente y con una menor conflictividad, no obstante, deja planteado el gran desafío de la futura inclusión de las comunidades de aguas subterráneas (CAS), toda vez que, las juntas de vigilancia de los ríos Malleco y Renaico también las incluyen, generándose una superposición territorial que no será fácil de dirimir.

4. La existencia de territorios con un fuerte componente indígena, que, durante años manifiestan reivindicaciones territoriales y culturales que el derecho internacional ha procesado como una cuestión de derechos humanos, que es, precisamente, el lenguaje que ha estado utilizando el movimiento mapuche en sus reivindicaciones, hace necesario desarrollar acciones de difusión e inclusión, lo que sugiere un desafío importante.

f) Junta de vigilancia del río Malleco y sus afluentes.

La Junta de Vigilancia del Río Malleco y sus afluentes está legalmente organizada, con su registro en la DGA, bajo el número 57 del Libro de Organizaciones de Usuarios de 2019, e inscrita a fojas 27, N°26 del Libro de Propiedad de Aguas del Conservador de Bienes Raíces de Angol y tiene jurisdicción en toda la subcuenca hidrográfica del río Malleco, desde la naciente hasta la confluencia con el río Huequén, incluyendo sus afluentes y las aguas subterráneas.

En consecuencia, como ya fue mencionado anteriormente, los últimos 1.500 metros del río Malleco quedarían bajo la jurisdicción de la futura junta de vigilancia del río Biobío.

El objeto de la organización sería “administrar y distribuir las aguas a que tienen derecho los miembros y /o accionistas, explotar y conservar las obras de aprovechamiento común; construir nuevas obras y mejorar las existentes con la autorización legal que corresponda; y realizar los demás fines u objetivos que, en general, le encomiende la ley”.

En ese sentido, sus principales funciones contenidas en sus estatutos señalan las siguientes: “administrar y distribuir las aguas a que tienen derecho sus miembros, procurar para los usuarios el máximo de seguridad, estabilidad y regularidad en el aprovechamiento de las aguas, pudiendo para ello construir obras de regulación o cualesquiera otras que digan relación con ese propósito, construir o instalar obras o instrumentos de medición del caudal de las aguas, operarlos y llevar estadísticas de medición y operación de los mismos, estudiar e investigar las características y potencialidades de la subcuenca del río Malleco, asociarse con otras organizaciones de usuarios, distintas de las que la integran, para velar por el cuidado, manejo y administración de la subcuenca del río Malleco, velar por la limpieza y pureza de las aguas superficiales y subterráneas y evitar su contaminación, estudiar procedimientos para el mejor aprovechamiento de las aguas y hacer las recomendaciones que estime pertinentes en este sentido, realizar obras que, utilizando caudales y la topografía del terreno, permitan la creación de industrias o un mejor aprovechamiento de las aguas y cobrar por la explotación de dichas obras, realizar los demás fines que la ley encomienda”.

En cuanto a elementos de gobernanza del agua, además del proceso de organización descrito anteriormente, del proyecto de estatutos en construcción se observan elementos que parece interesante destacar.

1. La jurisdicción y el ámbito de competencias de la organización presenta algunas características interesantes de destacar, comenzando con el hecho de que no abarca la subcuenca hidrográfica completa, lo que podría dejar espacios a eventuales conflictos futuros. En ese sentido, se excluye, además del tramo final del cauce, toda el área de influencia del río Huequén, que incluye territorios con

marcada presencia indígena, principalmente de las comunas de Ercilla, Los Sauces y Angol.

2. La inclusión de la gestión de las aguas subterráneas parece ser un paso positivo en el mediano y largo plazo, en el sentido de la integración que se requiere para una gestión más eficiente y con una menor conflictividad, no obstante, deja planteado el gran desafío de la futura inclusión de las comunidades de aguas subterráneas (CAS), toda vez que, el SHAC tiene un ámbito territorial mucho mayor que la jurisdicción de la junta de vigilancia⁷, además, la junta de vigilancia del río Biobío también pretende su inclusión, generándose una superposición territorial que será motivo de análisis y discusión.

3. El rol de usuarios de la organización no da cuenta con absoluta claridad respecto de las acciones que cada uno tiene, lo que podría generar dificultades (incluso la imposibilidad) en la toma de decisiones y con ello posibles conflictos en la organización.

Finalmente, se destaca el desarrollo de un programa de fortalecimiento organizacional por parte de la CNR, ejecutado por la Universidad Católica de la Santísima Concepción, lo que implica una oportunidad para los usuarios y el territorio de fortalecer su accionar y con ello avanzar en los procesos de gobernanza del agua en la cuenca hidrográfica.

g) Junta de vigilancia del río Renaico y sus afluentes.

La Junta de Vigilancia del Río Renaico y sus afluentes está legalmente organizada, con su registro en la DGA, bajo el número 56 del Libro de Organizaciones de Usuarios de 2019 e inscrita a fojas 64, N°48 del Libro de Propiedad de Aguas del Conservador de Bienes Raíces de Angol del año 2020.

La jurisdicción de la organización es toda la subcuenca hidrográfica del río Renaico, desde la naciente hasta la confluencia con el río Vergara, incluyendo sus afluentes y las aguas subterráneas y tiene por objeto “administrar y distribuir las aguas a que tienen derecho los miembros y /o accionistas, explotar y conservar las obras de aprovechamiento común; construir nuevas obras y mejorar las existentes con la autorización legal que corresponda; y realizar los demás fines u objetivos que, en general, le encomiende la ley”.

En ese sentido, sus principales funciones contenidas en sus estatutos señalan las siguientes: “administrar y distribuir las aguas a que tienen derecho sus miembros, procurar para los usuarios el máximo de seguridad, estabilidad y regularidad en el aprovechamiento de las aguas, pudiendo para ello construir obras de regulación o cualesquiera otras que digan relación con ese propósito, construir o instalar obras o instrumentos de medición del caudal de las aguas, operarlos y llevar estadísticas de medición y operación de los mismos, estudiar e investigar las características y potencialidades de la subcuenca del río Renaico, asociarse con otras organizaciones de usuarios, distintas de las que la integran, para velar por el cuidado, manejo y administración de la subcuenca del río Renaico, velar por la limpieza y pureza de las aguas superficiales y subterráneas y evitar su contaminación, estudiar procedimientos para el mejor aprovechamiento de las aguas y hacer las recomendaciones que estime pertinentes en este sentido, realizar obras que, utilizando

⁷ El SHAC río Vergara abarca toda la cuenca del río Vergara cuya jurisdicción correspondería a la futura junta de vigilancia del río Biobío.

caudales y la topografía del terreno, permitan la creación de industrias o un mejor aprovechamiento de las aguas y cobrar por la explotación de dichas obras, realizar los demás fines que la ley encomienda”.

En cuanto a elementos de gobernanza del agua, además del proceso de organización descrito anteriormente, del proyecto de estatutos en construcción se observan elementos que parece interesante destacar.

1. La inclusión de la gestión de las aguas subterráneas parece ser un paso positivo en el mediano y largo plazo, en el sentido de la integración que se requiere para una gestión más eficiente y con una menor conflictividad, no obstante, deja planteado el gran desafío de la futura inclusión de las comunidades de aguas subterráneas (CAS), toda vez que, la junta de vigilancia del río Biobío también pretende su inclusión, generándose una superposición territorial que será motivo de análisis y discusión.
2. El rol de usuarios de la organización no da cuenta con absoluta claridad respecto de las acciones que cada uno tiene, lo que podría generar dificultades (incluso la imposibilidad) en la toma de decisiones y con ello posibles conflictos en la organización.

Finalmente, se destaca el interés de la CNR de desarrollar un programa de fortalecimiento organizacional con el objeto de desarrollar capacidades en la organización y entregar herramientas que faciliten la gestión de las aguas en el territorio.

h) Junta de vigilancia del río Laja.

El río Laja no cuenta con una junta de vigilancia que administre sus aguas, pese a llevar casi una década desde que se iniciaron acciones para organizarla.

En este sentido, el avance a la fecha no permite hacer una descripción de su funcionamiento, sino más bien, plantear la duda de que se organice en el corto plazo.

A pesar de que no existe la junta de vigilancia del río Laja, si hay un órgano que realiza funciones de gestionar el recurso, con acuerdos que conllevan competencias que van más allá de una junta de vigilancia, razón por la cual se hace fundamental considerarlo desde un punto de vista de la gobernanza del agua.

A lo ya expuesto anteriormente, se puede agregar lo expuesto por Héctor Sanhueza⁸, el 2 de julio del presente, en el Conversatorio “Desafíos regionales en la gestión de las aguas de uso agrícola, organizado por OCAB⁹ del CREA de la Universidad Católica de la Santísima Concepción, referente a la gestión del agua en la cuenca del río Laja, donde existe un modelo de operación en el cual:

- Se cambia de caudales a volúmenes existentes a repartir cada inicio de temporada.
- Un volumen mínimo de 1.200 hm³ de “emergencia en el lago”, en el cual se podrá extraer exclusivamente el agua necesaria para un riego controlado.
- Se hace un uso eficiente del recurso para riego, con las aguas primaverales de los ríos y se embalsa toda el agua posible.

⁸ Administrador de la Asociación de Canalistas del Laja.

⁹ Observatorio de Calidad de Agua del Biobío.

- Se incluye aguas para uso turístico del Saltos del Laja.
- Se instala una mesa técnica permanente Riego-Energía-Estado, precursora de la organización de la Junta de Vigilancia del Río Laja.
- El Lago se divide en “dos embalses” en volúmenes bajos básicamente para uso en riego y volúmenes altos para energía.
- A volúmenes bajos del lago, se empalman las curvas de riego y energía

Como ya se dijo anteriormente, este acuerdo es un ejemplo importante de gobernanza del agua a nivel nacional, toda vez que considera usos sin derechos de aprovechamiento de aguas, como son el turismo, paisajismo y recreación; y facilita la operación de usos con enormes conflictos de interés como son la generación de energía y el riego agrícola, que en este caso pueden gestionar sus aguas de forma armoniosa.

i) QUA en cauces artificiales.

De acuerdo con la legislación vigente, en un cauce artificial se puede organizar una asociación de canalistas o una comunidad de aguas. A continuación, se hace una descripción de la existencia de este tipo de organizaciones en la cuenca del río Biobío.

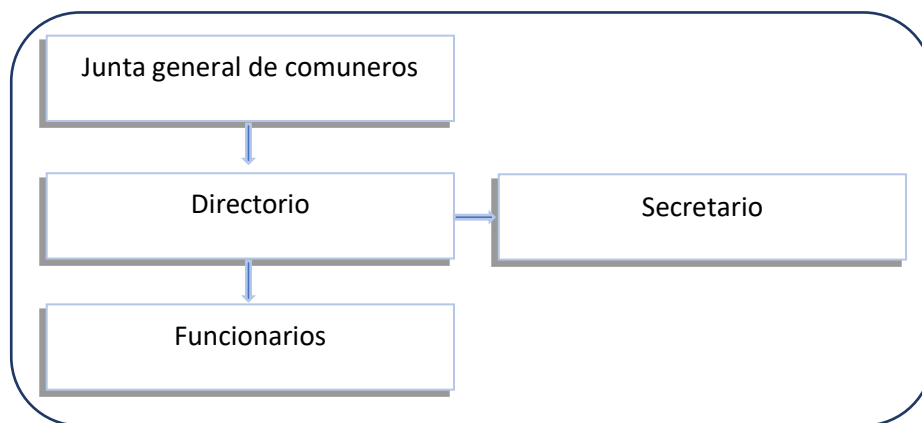
En cuanto a las asociaciones de canalistas, se tiene información de un total de 12, de las cuales, 10 se encuentran organizadas y 2 no organizadas, de estas últimas, 1 con registro pendiente y la otra sin información en la página web de la DGA.

De las 10 asociaciones organizadas, 6 presentan algún dato de inscripción en el CBR respectivo y 4 no tienen información.

La asociación de canalistas no organizada y con registro pendiente, es la asociación de canalistas canal Unidos Santa Ana, Parronal y San Miguel, que pertenece al río Renaico, y tiene como integrantes a los canales Parronal y San Miguel que se encuentran organizados como comunidad de aguas y asociación de canalistas, respectivamente. En el caso del canal Santa Ana se considera como asociación de canalistas, pero no organizada, sin embargo, en bibliografía consultada (Proyecto “Fortalecimiento de la gestión Privada de los recursos hídricos del río Renaico, regiones del Bio Bío y Araucanía”, del INDAP y CNR, año 2013), aparece como “constituida”.

En la Tabla 13, Tabla 14 y Tabla 15, se presenta información de las asociaciones de canalistas organizadas, constituidas por vía extrajudicial, organizadas y constituidas por la vía judicial y no organizadas.

La Figura 22 presenta la estructura organizacional cuyo principal órgano es la Junta General de Comuneros (Asamblea General), donde se toman las decisiones indicadas en el artículo 226 del Código de Aguas, entre las que se destaca la elección del directorio, quienes tienen por objeto la administración de la organización, pueden designar un secretario, que es Ministro de Fe y contratar funcionarios para la profesionalización de la gestión y una mejor administración de la organización.



Fuente: Elaboración propia

Figura 22. Estructura organizacional de OUA.

Desde un punto de vista administrativo y financiero, en general, estas organizaciones cuentan con un presupuesto anual suficientemente alto como para haber profesionalizado su gestión, tener oficina, personal para la distribución de las aguas (celadores) y realizar las funciones que encomienda la legislación vigente.

Tabla 13. Asociaciones de canalistas organizadas cuya constitución se materializó por vía judicial en la cuenca del río Biobío.

Código de Expediente	Fuente Natural	Nombre Organización	Constitución		Registro DGA		Inscripción CBR	N° de usuarios ¹⁰	Caudal ¹¹ (l/s)
			Fecha de Sentencia	Tribunal	N° Registro	Año	Fojas/N°/Año		
NA-0802-2	Río Biobío	AC del Canal Biobío Sur	11-09-2002	JDL Santa Barbara	122	2004	SI	1.042	40.439,9
NA-0802-3	Río Laja	AC Canal Antuco	04-01-2005	3 JDL de Los Angeles	143	2005	SI	278	700,0
NA-0802-7	Estero Cholguague	AC del Canal Duqueco Cuel	19-01-2006	1 JDL de Los Angeles	163	2007	SI		

Fuente: DGA

Tabla 14. Asociaciones de canalistas organizadas cuya constitución se materializó por vía extrajudicial en la cuenca del río Biobío.

Código de Expediente	Fuente Natural	Nombre Organización	Registro en DGA		Inscripción en CBR				N° de usuarios ⁶	Caudal ⁷ (l/s)
			N° Registro	Año	Fojas	N°	Año	CBR		
NA-0901-2	Río Renaico	Canal San Miguel	180	SI	72	33	1935	Angol	13	2.225
NA-0901-3	Estero Nanco	Canal Canadá	200	SI	75v	34	1982	SI	4	50
NA-0802-5	Río Quillaileo	Canal Quillaileo (del)	118	2004	86V	86	2004	Santa Bárbara	SI	86
NA-0802-6	Río Biobío	Canal Biobío Negrete	121	2004	1/29 vta	1-/4	1964/2004	Nacimiento	39	18.000
NA-0802-8	Ríos Laja y Cholguán	Canal Zañartu	77	SI	SI	SI	SI	SI	49	SI
NA-0804-1	Río Laja	Canalistas del Laja	16	1993	255 vta	999	1916	Los Angeles	81	SI
NA-0804-2	Río Biobío	Bio-Bio Norte	19	1993	190V	153	1933	Los Angeles	26	15

Fuente: DGA

Tabla 15. Asociaciones de canalistas no organizadas en la cuenca del río Biobío.

Código de Expediente	Fuente Natural	Nombre Organización	N° Registro DGA	N° de usuarios ⁶	Caudal ⁷ (l/s)	Comentario
NA-0901-1	Río Renaico	C. Unidos Sta. Ana, Parronal y Sn. Miguel	Pendiente	4	3,5	Según DGA, los integrantes de la asociación son: 1.- Asociación de Canalistas Santa Ana. 2.- Asociación de Canalistas San Miguel 3.- Mónica Vela Peebles 4.- Comunidad de Aguas del Canal Parronal
SI	Río Renaico	Santa Ana	SI	SI	SI	Aparece individualizada en la AC C. Unidos Santa. Ana, Parronal y San Miguel

Fuente: DGA

¹⁰ El número de usuarios varía en el tiempo debido a las mutaciones de dominio que se producen. La información proporcionada corresponde al número de usuarios original.

¹¹ Se refiere al caudal solicitado, según <https://snia.mop.gob.cl/CPAConsultas/site/mainSearch/mainSearch.xhtml>.

Entre estas asociaciones de canalistas, 3 tienen página web en funcionamiento con información actualizada de presidente, directorio, administrativos e información relevante para los usuarios, estas son: AC del Laja, AC Biobío Negrete y AC Biobío Sur. Además, otras 3 cuentan con información publicada con información de directorio, administradores e información de contacto (dirección, teléfono, e-mail, etc), en este caso son la AC Canadá, AC Canal Quillaileo y AC Biobío Norte.

A diferencia de las asociaciones de canalistas, las comunidades de aguas, en términos generales no cuentan con una estructura financiera que les permita profesionalizar su gestión, contar con una oficina de atención, vehículos u otros medios de gestión, es más, difícilmente pueden contratar celadores para la vigilancia y control de la distribución, quedando esa tarea en manos de algún dirigente.

La estructura organizacional es la misma descrita para el caso de las asociaciones de canalistas.

De acuerdo con la DGA, se contabilizan 164 comunidades de aguas en la cuenca del río Biobío, de las cuales, el 86% (141 CA) se encuentran organizadas. De las 23 que no están organizadas, 9 se encuentran con registro pendiente, 3 denegadas y 11 sin información por parte de la DGA, en el Anexo F.1 sección 1.8, se muestra un listado de las comunidades de aguas organizadas y no organizadas presentes en la cuenca.

En relación con la información de inscripción en los CBR correspondientes, de las 141 comunidades de aguas organizadas, el 60% (85 CA) presentan dato de inscripción en el CBR.

Respecto del tipo de constitución, todas las comunidades organizadas fueron constituidas judicialmente.

Por otro lado, de las comunidades no organizadas, pendientes y denegadas, su tipo de constitución es extrajudicial en 8 casos y judicial en los 4 restantes.

Solo la comunidad de aguas canal Coreo tiene información básica y de directorio publicado en internet.

3.5.2 Estado actual de regulación.

Respecto del marco regulatorio en materia de aguas, la legislación chilena no hace diferenciaciones en cuanto a cuencas hidrográficas, territorios, pueblos originarios ni de ningún otro tipo, asimismo, la institucionalidad vinculada a su gestión, en términos genéricos, es también la misma.

En Chile, el agua es un bien nacional de uso público en el cual el Estado otorga y reconoce a particulares derechos de aprovechamiento, el que una vez adquirido, pasa a ser protegido como propiedad privada según lo establece el artículo 19 N°24 inciso final de la Constitución Política de la República.

El Código de Aguas no prioriza el consumo humano y doméstico del agua por sobre los usos productivos e industriales, dejando ello en manos del mercado y mediante algunas normas aisladas que facilitan, en cierto sentido, salvaguardar el acceso humano al agua, no obstante, carece de una mayor regulación y sistematicidad al respecto, lo que representa

todo un desafío, ya sea en cuanto a modificaciones en la normativa vigente como en la gestión de las aguas por parte de las organizaciones de usuarios y otros actores del territorio, mediante reglamentos o protocolos¹² de acuerdos específicos.

Vergara, 1998 señala que, dicha legislación tiene su fundamento en la teoría económica del libre mercado y en el rol subsidiario del Estado, entregando los derechos de aprovechamiento en propiedad a los particulares y permitiendo que éstos dispongan de dichos derechos como bienes de mercado. Es así como el Código de Agua define los derechos de aprovechamiento como un derecho real permitiendo a sus titulares su enajenación sin restricciones de ninguna especie, reduciendo las potestades de la autoridad administrativa en materia de manejo y planificación del recurso.

En ese contexto, una vez que los derechos de aprovechamiento de aguas han sido otorgados, las principales competencias en cuanto a la gestión del recurso recaen en las organizaciones de usuarios de aguas, razón por la cual son objeto de fortalecimiento organizacional, por parte del estado (Melo 2015), y materia de estudio en cuanto a la gobernanza del agua en esta iniciativa.

En consecuencia, las particularidades que se pueden denotar en la cuenca del río Biobío, en materia de regulación, dice relación con: (1) las organizaciones de usuarios en sus cauces naturales; (2) regulaciones relativas a la coexistencia de derechos de tipo consuntivos y no consuntivos; (3); la inclusión de usos sin derechos de aprovechamiento de aguas (paisajismo, turismo, recreación) en regulaciones de uso compartido en un cauce natural (4) regulaciones relacionadas con la integración de la gestión de las aguas superficiales y subterráneas; y (5) la existencia de la Norma Secundaria de calidad del agua superficial.

j) La cuenca hidrográfica y las juntas de vigilancia.

Existe total consenso en cuanto a definir a la cuenca hidrográfica como la unidad territorial más adecuada para la gestión de las aguas, razón por la cual, el actual criterio para la organización de una junta de vigilancia es que su jurisdicción abarque a toda la cuenca. No obstante, en la cuenca del río Biobío existen 4 juntas de vigilancia¹³, tres de ellas con jurisdicción en afluentes y una con jurisdicción en el resto de la hoya hidrográfica.

k) La unidad de la corriente.

En ese sentido, la legislación vigente toma el concepto de unidad de la corriente, definiéndola en el artículo 3 del Código de Aguas, que señala: "las aguas que afluyen, continua o discontinuamente, superficial o subterráneamente, a una misma cuenca u hoya hidrográfica, son parte integrante de una misma corriente.

¹² A modo de ejemplo en una cuenca hidrográfica cercana, durante julio de 2020, la DGA está reimpulsando una iniciativa tendiente a establecer protocolos entre todas las juntas de vigilancia de la cuenca del río Itata y otros actores relevantes, para asegurar el acceso al consumo humano del agua en la cuenca.

¹³ Como ya se ha mencionado anteriormente, solo 2 están organizadas con su registro en la DGA, y otras 2 están en diferentes etapas del proceso de organización legal.

La cuenca u hoya hidrográfica de un caudal de aguas la forman todos los afluentes, subafluentes, quebradas, esteros, lagos y lagunas que afluyen a ella, en forma continua o discontinua, superficial o subterráneamente”.

En cuanto a la organización de una junta de vigilancia, el mismo Código, en el artículo 263 señala el origen de las juntas de vigilancia y las menciones que debe contener el extracto a publicar, entre los cuales se destaca “el o los cauces o la sección del cauce, acuíferos o fuente natural sobre la que tiene jurisdicción”, dando lugar a la posibilidad de organizarla bajo una jurisdicción distinta de toda la cuenca hidrográfica.

En ese mismo sentido, el artículo 264 agrega: “sin embargo, en cada sección de una corriente natural que hasta la fecha de promulgación de este Código y en conformidad a las leyes anteriores, se considere como corriente distinta para los efectos de su distribución, podrá organizarse una junta de vigilancia. También podrá organizarse una junta de vigilancia para cada sección de una corriente natural en que se distribuyan sus aguas en forma independiente de las secciones vecinas de la misma corriente”.

En el caso de la cuenca del río Biobío, se da el seccionamiento no a partir de la realidad natural de la cuenca, sino que nace impuesta por la realidad administrativa y por la forma en que tradicionalmente se han distribuido sus aguas y se han relacionado los actores de cada territorio. En este caso se produce no un seccionamiento natural de la corriente, sino que se produce un seccionamiento jurídico, lo que ha derivado en que existan distintas organizaciones en la misma cuenca, aun cuando se conserve su unidad hidrográfica.

En el caso específico del río Malleco, se trata de un seccionamiento del cauce principal que trae como consecuencia la exclusión de la administración de un afluente importante (río Huequén) y del tramo final del río (aproximadamente 1.500 metros, desde su confluencia con el río Huequén hasta su desembocadura en el río Vergara).

En consecuencia, parece fundamental que la junta de vigilancia del río Biobío finalice su proceso de organización, con lo que se regularía un porcentaje importante de la hoya hidrográfica y con la organización de la junta de vigilancia del río Laja se llegaría a la totalidad de ésta.

l) La regulación al interior de las juntas de vigilancia.

Las juntas de vigilancia de los ríos Malleco y Renaico administran afluentes del río Vergara, que a su vez es afluente del Biobío. En el caso del río Renaico, la organización abarca toda su cuenca hidrográfica, mientras que el Malleco solo hasta su confluencia con el río Huequén, lo que trae como consecuencia que cede la gestión de la última parte de su cauce a la junta de vigilancia del río Biobío¹⁴, al igual que la del río Huequén (afluente del río Malleco).

Cabe destacar que, el río Huequén sigue una trayectoria noroeste, cruzando la comuna de Ercilla y luego, en su tramo final es el límite de las comunas de Angol y Los Sauces. Su principal afluente es el río Requén con área de influencia en las comunas de Ercilla y Angol,

¹⁴ Considerando el texto acordado a julio de 2020 de los estatutos de la junta de vigilancia del río Biobío.

consideradas zonas de Riesgo Rural, lo que ha imposibilitado catastrar bocatomas e incluir las áreas de influencia en la organización en torno del agua.

Una situación similar se presenta en el río Mininco, afluente del río Renaico, con la diferencia que en este caso si es parte de la jurisdicción de la junta de vigilancia. La similitud se da en el hecho de que el curso del río atraviesa zona de conflictividad (comuna de Collipulli) que ha impedido que la organización tome contacto con usuarios del territorio en cuestión, haga catastros de bocatomas, canales y usuarios.

En consecuencia, a pesar de que desde un punto de vista de la jurisdicción existe claridad respecto de la regulación de ambas juntas de vigilancia, existen sectores donde dicha regulación no está llegando por ser zonas de Riesgo Rural.

m) Los derechos de tipo consuntivo y no consuntivo.

Una de las principales características de la cuenca del río Biobío es la gran diversidad de usos que tienen sus aguas, como son el riego agrícola, la generación de energía eléctrica, industria, servicios ecosistémicos, turismo, deportes, paisajismo y recreación, entre otros.

En el caso de los dos primeros, la legislación considera la existencia de derechos de aprovechamiento de aguas de tipo consuntivo y no consuntivo, definidos en los artículos 13 y 14 del Código de Aguas, cuya coexistencia ha sido motivo de conflictividad, principalmente por los intereses contrapuestos en cuanto a la época del año en que es conveniente descargar las aguas embalsadas, lo que se ve agravado por el hecho de que, generalmente, las juntas de vigilancia han estado conformadas por usuarios de tipo consuntivo, por lo que la generación no es parte del seno de la organización.

Esta situación ha ido cambiando con el tiempo, gracias al esfuerzo de los usuarios que logran acuerdos y de la DGA que permite su reglamentación aprobando las modificaciones en los estatutos correspondientes.

En ese sentido, la coexistencia de derechos consuntivos y no consuntivos en una OUA no está reglamentada en la legislación vigente, como si lo está, a modo de ejemplo, los derechos permanentes y eventuales¹⁵, lo que genera dificultades a la hora de constituir la organización, toda vez que, generalmente, los derechos de tipo no consuntivos están presentes en cuantías muy superiores a los consuntivos provocando asimetrías en cuanto a la toma de decisiones, lo que se vería reflejado en la nula capacidad de decisión de los usuarios con derechos de tipo consuntivos.

En el caso de la cuenca del río Biobío, esta situación se expresa en toda su magnitud, no obstante, a la fecha de elaboración de este informe, existen acuerdos unánimes entre los usuarios que conformarían la junta de vigilancia, que permiten la inclusión de ambos tipos

¹⁵ Artículo 276, incisos 2 y 3 dicen “La asamblea conocerá de aquellas materias que el párrafo 1° de este título encomienda a las juntas generales. Para los efectos de las votaciones, los derechos de aprovechamiento de ejercicio permanente y eventual tendrán un mismo valor. Sin embargo, el número de votos correspondientes a estos últimos no podrá ser superior a la tercera parte de los votos de los derechos permanentes, debiendo hacerse la reducción proporcional cuando exceda de dicha parte.

Las cuotas que los titulares de derechos de ejercicio eventual deberán erogar con el objeto indicado en el número 2°, del artículo 226, serán fijadas por la asamblea y no podrán ser superiores a la tercera parte de la cantidad que correspondería pagar si se tratase de derechos de ejercicio permanente”.

de derechos con balances de poder que hacen posible la toma de decisiones de manera armónica.

Como ya se ha mencionado anteriormente, no parece pertinente profundizar en dichos acuerdos, toda vez que, pueden variar en cortos períodos de tiempo, hasta que la junta de vigilancia finalice su proceso de organización.

A juicio del consultor, esta situación se hace presente en muchas cuencas hidrográficas de la zona centro sur del país, por lo que amerita un análisis profundo en cuanto a modificaciones legislativas que se hagan cargo de la problemática en cuestión.

n) Las juntas de vigilancia y usos del agua.

Otros usos de importancia en la cuenca hidrográfica son el deporte, la recreación, el paisajismo y otros que convergen a la industria del turismo. No obstante, uno de los aspectos de la legislación vigente que se ha ido visibilizando durante los últimos años, dice relación con el hecho de que no se considera estos usos indirectos del agua ni su relación con los usos directos (Mandujano, 2017; CNR, 2018; Melo, 2015) y (Retamal et al., 2012).

En ese sentido, (Mandujano, 2017) agregan que “las organizaciones de usuarios en Chile están integradas por titulares de derechos de aprovechamiento, por lo que solo está presente una valoración del agua en el manejo de estas organizaciones de usuarios: el valor patrimonial económico del agua, extrañándose otras percepciones y valoraciones provenientes de otros actores, como quienes dan valor al disfrute del paisaje o quienes valoran el agua como un elemento esencial para la conservación del ecosistema. Es decir, en Chile las organizaciones de usuarios distan de ser participativas, sino que ellas son dirigidas por los intereses de unos pocos que deben ser titulares de derechos de aprovechamiento y que no necesariamente son actores locales ni habitantes del sector, puesto que, como se ha explicado, la legislación chilena no liga los derechos de aprovechamiento a la tierra”.

En ese contexto, la experiencia del río Laja (ya descrita en acápites anteriores de este documento) constituye un ejemplo único en Chile en materia de gobernanza del agua, dejando planteados dos escenarios futuros posibles:

1. Que se organice la junta de vigilancia del río Laja con atribuciones y competencias suficientes como para administrar los acuerdos existentes, profundizarlos y desarrollando mejoras en la gestión de estos, convirtiéndose así en una organización mucho más participativa y holística, con una mejor representación de todos los intereses de la cuenca que administra.
2. Que la junta de vigilancia una vez organizada, sea un integrante más de la mesa de negociación existente, cumpliendo con los deberes y atribuciones comunes actualmente, evidenciando la debilidad de las OUA como organismo para velar por todos los intereses relativos a la gestión de las aguas en la cuenca hidrográfica.

En el caso de la junta de vigilancia del río Biobío, se presenta un desafío similar, con énfasis en los usos culturales, con la inclusión de pueblos originarios.

o) La integración de la gestión de aguas superficiales y subterráneas.

Desde hace varias décadas, una de las críticas más recurrentes al modelo de gestión de aguas chileno es su visión sectorizada del recurso y del territorio, que, entre otras consecuencias, gestiona de manera independiente las aguas superficiales y subterráneas, generando interferencias en la oferta, situaciones de abuso, conflictos en la distribución y riesgo en el deterioro de las fuentes.

Ante ese escenario, en 2005 se modificó el Código de Aguas de 1981 -mediante la Ley N°20.017, de manera de incluir la gestión de los acuíferos en la administración de las OUA. En primer lugar, en el artículo 186, estableció que el origen de las OUA es también el acuífero; además, en el artículo 263 se definió que las Juntas de Vigilancia están formadas por quienes aprovechen aguas superficiales o subterráneas de una misma cuenca u hoya hidrográfica; el artículo 266 dispuso que el objetivo de las JV es administrar las aguas a que tienen derecho sus miembros en las fuentes naturales; y el artículo 22 determinó que la autoridad, para constituir un derecho de aprovechamiento de aguas, deberá considerar la “relación existente entre aguas superficiales y subterráneas”.

Esta nueva legislación abrió la puerta a un modelo de gestión, en el cual, las JV ya no solo administran las aguas superficiales, sino también las subterráneas, de manera conjunta.

No obstante, la forma de materializar dicha integración queda abierta a la creatividad y realidad de cada territorio, tanto, que fue recién después de diez años de promulgada la normativa que surgieron las primeras experiencias, dejando un gran desafío para dar cumplimiento con la brecha existente.

Melo (2019) expone dos casos en que, juntas de vigilancia incluyen la gestión integrada de las aguas superficiales y subterráneas en su administración en formas distintas: (1) la junta de vigilancia de la cuenca del río Petorca, en la cual, la inclusión de las aguas subterráneas se da a través de las comunidades de aguas subterráneas (CAS) organizadas en su jurisdicción; y (2) la junta de vigilancia de la cuenca del río Huasco, en la cual, mediante la modificación de sus estatutos buscan la inclusión de cada uno de los pozos en forma individual.

Pese a que ambas formas cumplirían con la normativa vigente, la DGA se ha pronunciado en favor de la inclusión a través de las CAS, lo que fue tomado en los estatutos de las juntas de vigilancia de los ríos Renaico y Malleco, materializado en el artículo noveno de sus estatutos. Asimismo, el artículo tercero promueve velar por la limpieza y pureza de las aguas superficiales y subterráneas y evitar su contaminación y el artículo quinto establece que, “la Junta ejercerá la acción que le otorgan estos Estatutos y el CODIGO DE AGUAS, en toda la subcuenca hidrográfica del río Renaico, desde la naciente hasta la confluencia con el río Vergara, incluyendo sus afluentes y las aguas subterráneas”.

En el caso de la junta de vigilancia del río Biobío, a la fecha de la elaboración de este informe, los estatutos en desarrollo pretenden la inclusión de las aguas subterráneas, a través de las CAS.

La necesidad de gestionar el recurso en la cuenca hidrográfica se visibiliza al analizar esta temática en particular, toda vez que, esta integración requiere un segundo nivel de análisis,

en el sentido de definir que juntas de vigilancia incluyen en su gestión a que CAS en los SHAC definidos.

En ese sentido, la junta de vigilancia del río Renaico comparte su jurisdicción con el SHAC río Renaico, por lo que parecería pertinente la inclusión de esa CAS, una vez que se organice, cosa que no ocurre con la junta de vigilancia del río Malleco, debido a que el SHAC río Vergara tiene una jurisdicción mucho mayor que la junta de vigilancia, por lo que excedería a sus atribuciones.

Por otro lado, habrá que esperar a que se organice la junta de vigilancia del río Biobío para ver la forma de inclusión de la gestión de las aguas subterráneas y cuáles SHAC corresponderían.

Finalmente, esta situación tiene una segunda derivada, basada en la naturaleza unidireccional de las interdependencias entre usuarios en la cuenca hidrográfica (Jouravlev, 2003), en el sentido de que las decisiones que se tomen en la parte alta afectan a los usuarios de la parte baja.

En ese sentido, extracciones de aguas subterráneas afectan el caudal de los cauces naturales y modificaciones en los caudales del cauce afectan la recarga de los acuíferos, afectaciones que, no necesariamente se dan dentro de los límites de subcuencas o SHAC definidos.

Un ejemplo concreto y reciente de este hecho se ve reflejado en la Resolución exenta de la Dirección General de Aguas (DGA) de Atacama N°584 del 30 de agosto de 2019 mediante la cual se declara admisible la solicitud de fiscalización interpuesta por la CASUB en contra de la Junta de Vigilancia de la Cuenca del Río Copiapó y sus Afluentes, en la cual el servicio busca escalecer si la JV ha cometido faltas graves o abusos en la distribución de las aguas, conforme al artículo 283 del Código de Aguas, autorizando y realizando traslados del ejercicio de derechos de aprovechamiento de aguas en el cauce natural del río Copiapó sin contar con la debida autorización de la DGA.

Cabe destacar que, la jurisdicción de la JV del Río Copiapó finaliza aguas arriba del límite superior del SHAC organizado en la CASUB, lo que grafica en nivel territorial al que pueden llegar estas afectaciones.

p) La Norma Secundaria de Calidad de Agua.

En materia de calidad del agua y desde un punto de vista regulatorio, en Chile no existe un instrumento legal que defina claramente las obligaciones y responsabilidades de distintos actores sociales relevantes, siendo la principal referencia la Norma Chilena 1.333 Requisitos de Calidad para Diversos Usos, que data del año 1978. No obstante, existen una serie de normativas que regulan deferentes aspectos o territorios en particular, como es el caso del Decreto Supremo N° 9, en 2012, Ministerio del Medio Ambiente que establece normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas continentales superficiales de la cuenca del río Biobío, vigente desde el 27 de noviembre de 2015.

Desde un punto de vista de la gobernanza del agua, la existencia de esta normativa permite contar con una herramienta moderna y potente para gestionar la calidad de las aguas

superficiales en la cuenca hidrográfica, no obstante, deja planteado un desafío mayor para los distintos actores relevantes del territorio, en todo lo que respecta a su implementación.

3.5.3 Descripción y análisis de comunidades indígenas.

Según el artículo 9 de la Ley 19.253 (conocida como Ley Indígena) se entenderá por Comunidad Indígena, toda agrupación de personas pertenecientes a una misma etnia indígena y que se encuentren en una o más de las siguientes situaciones: (1) Provenzan de un mismo tronco familiar; (2) reconozcan una jefatura tradicional; (3) posean o hayan poseído tierras indígenas en común; y (4) provengan de un mismo poblado antiguo.

Por otro lado, el mismo cuerpo legal establece en su artículo 36 que "se entiende por Asociación Indígena la agrupación voluntaria y funcional integrada por, a lo menos, veinticinco indígenas que se constituyen en función de algún interés y objetivo común de acuerdo con las disposiciones de este párrafo. Las asociaciones indígenas no podrán atribuirse la representación de las Comunidades Indígenas".

De acuerdo con esta legislación, la CONADI tiene a su cargo la Inscripción y Registro de las Comunidades y Asociaciones indígenas y otorgarles personalidad jurídica cuando sea necesario. La administración y mantención del Registro le corresponde a la CONADI, según lo establecido en el artículo 39, letra G de la Ley Indígena.

El artículo 64 inciso 1 de la Ley Indígena, que mandata proteger especialmente las aguas de las comunidades aimaras y atacameñas. Por su parte, el artículo 3° Transitorio, inciso final, dispuso que la CONADI y la DGA un convenio para la protección, constitución y restablecimiento de los derechos de aguas de propiedad ancestral de las comunidades aimaras y atacameñas de conformidad al artículo 64 de esta ley. El convenio entre la DGA y la CONADI se suscribió con fecha 30 de mayo de 1997, en la ciudad de Iquique (Alegría y Valdés, 2000).

En lo que respecta al resto del país, en cuanto a la gobernanza de las aguas, no existe alguna normativa que vincule las aguas o su gestión con los pueblos originarios.

En contraposición con ese contexto, Chile es parte del convenio 169 de la O.I.T. que estableció, entre otras cosas, que los derechos de los pueblos indígenas a los recursos naturales existentes en sus tierras deberán protegerse especialmente. Este derecho está a la base de la posibilidad real de la reproducción cultural de estos pueblos.

Por otro lado, en 1992, la Asamblea General de las Naciones Unidas estableció que el 22 de marzo de cada año, se conmemoraría el Día Mundial del Agua, reconociendo así la necesidad de mejorar su manejo de los recursos hídricos. Asimismo, la comunidad internacional proclamó el año 1993 "Año Internacional de las Poblaciones Indígenas del Mundo", y posteriormente, al período 1995-2004 "Decenio Internacional de las Poblaciones Indígenas del Mundo", con el objeto de centrar la atención en las cuestiones de interés para los pueblos originarios (Resoluciones Ws 45/164, de 1990, y 48/63 de 1993, ambas de la Asamblea General de Naciones Unidas). Además, desde 1995 se ha celebrado el 9 de agosto como el "Día Internacional de las Poblaciones Indígenas del Mundo". Cada una de estas medidas ha tenido importancia en la lucha por el reconocimiento de los derechos de las poblaciones indígenas (Alegría y Valdés, 2000).

Ante todo, es difícil comprender que, durante este largo período no se han materializado modificaciones al Código de Aguas que vinculen al recurso hídrico con los pueblos originarios, transformando a esta legislación como el principal obstáculo para incorporar los derechos indígenas, principios del derecho humano al agua, la protección del medioambiente y a las futuras generaciones.

q) Población y organizaciones indígenas.

Según datos del Instituto Nacional de Estadísticas, en la hoya hidrográfica del río Biobío el 10,5% pertenecen a algún pueblo originario. Asimismo, la CONADI registra un total de 264 Comunidades Indígenas y 187 asociaciones, tal como se observa en la Tabla 16.

En general, se observa que la parte alta de la cuenca (Lonquimay y Alto Biobío) presentan los porcentajes más altos de población indígena, asimismo, las comunas de Ercilla, Collipulli y Los Sauces, lo que es coherente con el número de organizaciones indígenas existentes, lo que se condice con el alto grado de manifestaciones que se han desarrollado los últimos años.

Tabla 16. Población indígena en la cuenca del río Biobío.

Comuna	Provincia	Región	Población comunal	Población indígena comunal	% Población indígena	N° Comunidades Indígenas	N° Asociaciones Indígenas
Coronel	Concepción	Biobío	116.262	13.755	11,83%	3	6
Santa Juana	Concepción	Biobío	13.749	1.257	9,14%	0	2
Concepción	Concepción	Biobío	223.574	19.558	8,75%	0	9
Chiguayante	Concepción	Biobío	85.938	7.523	8,75%	0	5
Hualpén	Concepción	Biobío	91.773	8.395	9,15%	0	3
S. P. de La Paz	Concepción	Biobío	131.808	12.562	9,53%	1	9
Hualqui	Concepción	Biobío	24.333	1.873	7,70%	0	2
Los Ángeles	Biobío	Biobío	202.331	12.390	6,12%	4	9
Antuco	Biobío	Biobío	4.073	280	6,87%	0	0
Cabrero	Biobío	Biobío	28.573	1.714	6,00%	0	1
Laja	Biobío	Biobío	22.389	1.700	7,59%	0	1
Mulchén	Biobío	Biobío	29.627	3.441	11,61%	5	6
Nacimiento	Biobío	Biobío	26.315	1.642	6,24%	0	1
Negrete	Biobío	Biobío	9.737	799	8,21%	1	2
Quilaco	Biobío	Biobío	3.988	458	11,48%	2	0
Quilleco	Biobío	Biobío	9.587	411	4,29%	0	0
San Rosendo	Biobío	Biobío	3.412	155	4,54%	0	0
Santa Barbara	Biobío	Biobío	13.773	1.976	14,35%	7	16
Tucapel	Biobío	Biobío	14.134	642	4,54%	0	0
Yumbel	Biobío	Biobío	21.198	1.025	4,84%	0	2
Alto Bío Bio	Biobío	Biobío	5.923	4.986	84,18%	12	32
Pinto	Diguillín	Ñuble	10.827	458	4,23%	0	1
Yungay	Diguillín	Ñuble	17.787	915	5,14%	0	1
Angol	Malleco	Araucanía	53.262	6.825	12,81%	10	7
Collipulli	Malleco	Araucanía	24.598	6.588	26,78%	52	20
Ercilla	Malleco	Araucanía	7.733	4.047	52,33%	47	10
Lonquimay	Malleco	Araucanía	10.251	5.584	54,47%	60	21
Los Sauces	Malleco	Araucanía	7.265	2.120	29,18%	29	3
Renaico	Malleco	Araucanía	10.250	1.253	12,22%	1	4
Traiguén	Malleco	Araucanía	18.843	5.662	0,00%	30	14
Total			1.243.313	129.994	10,5%	264	187

Fuente: INE, 2017, citado por EMOL, 5 de mayo de 2018; CONADI.

A continuación, desde un punto de vista de la gobernanza del agua, se desarrolla un análisis centrado en dos aspectos:

1. Las dificultades en materia de organizaciones de usuarios del agua del sector con mayor conflictividad de la cuenca, el que abarca las comunas de Ercilla, Collipulli y Angol, principalmente.
2. Los conflictos de connotación pública¹⁶ en materia de aguas en el río Biobío, en el cual no se hacen juicios de valor, simplemente se describen los conflictos con sus respectivas citas.

Dificultades en materia de OUA.

Una de las características que se ha hecho en este informe respecto del seccionamiento de cauces en la cuenca, dice relación con el río Huequén, que pese a ser afluente del Malleco, no fue incluido en la jurisdicción de la junta de vigilancia.

En ese sentido, profesionales que trabajaron en el territorio¹⁷ señalan que, "el elemento central para tomar esta decisión fue que el cauce del río Huequén, al igual que el río Rahue, confluyen con el río Malleco a pocos metros de su confluencia con el río Vergara y por tanto no son determinantes en el río Malleco ni es relevante su gestión para los usuarios agrícolas del cauce principal, que era quienes justificaban la inversión de INDAP en el territorio". Asimismo, agregan que, "otra variable considerada en su momento fue la futura gobernanza de la Junta de Vigilancia, en el entendido de que, efectivamente, una parte de la cuenca del Huequén se encuentra en procesos de recuperación de tierras por parte de comunidades indígenas, las que poseen un discurso autonomista y donde la tierra y el agua son elementos indivisibles y parte de un mismo territorio, por lo que la legislación chilena no es determinante".

Esta argumentación no es trivial, de hecho, Vargas (2006) desarrolla una conceptualización que contrapone algunas características de las sociedades modernas con las sociedades premodernas, caracterizadas estas últimas por la mirada territorial del agua, la tierra y los recursos naturales, siendo el agua un elemento de la naturaleza, considerada, en los hechos, como parte de una interrelación entre la comunidad, las actividades productivas y el espacio vital. En esta perspectiva, no es propiamente un recurso. Es agua aborígen (que está al origen, que da origen, que es primordial y hasta puede tratarse de un ser vivo protegido por los espíritus guardianes). La valoración es de quien convive y se sirve de ella y de los otros recursos que de ella dependen cada vez que los necesita. No es externa. Es propia, endógena. Agrega que, el agua es un satisfactor de necesidades físicas que incluyen los alimentos, el vestido, el transporte y otros bienes durables como la vivienda. Es un satisfactor que incide en el conjunto de necesidades fundamentales de los pueblos, poniendo en evidencia su carácter ab-origen y vital. Así, los pobladores resuelven sus necesidades mediante actividades productivas, utilizando los elementos de la naturaleza y

¹⁶ Para efectos de este documento, connotación pública se refiere a su publicación en medios de prensa.

¹⁷ Es el caso de Andrés Arriagada, Sociólogo, ex profesional de Agraria Sur que participó en el inicio del proceso de organización de la junta de vigilancia y, actualmente, integrante del equipo que ejecuta el programa CNR "Transferencia para fortalecer la gestión de Junta de Vigilancia Río Malleco" a cargo de la Universidad Católica de la Santísima Concepción.

adoptando para ello la forma más conveniente de asentamiento en el espacio geográfico que pueden poseer.

En consecuencia, uno de los desafíos de la futura junta de vigilancia del río Biobío, junto con la institucionalidad pertinente, es la inclusión del río Huequén en la gestión de la organización.

Una situación similar describe Cristián Cid¹⁸, en el caso de la junta de vigilancia del río Renaico, en el cual, a pesar de que existen catastros elaborados por INDAP, personeros de la junta de vigilancia no pudieron concurrir al río Mininco (afluente del río Renaico) a observar obras de captación, debido a la presencia de personas armadas que impidieron su paso, argumentando reivindicaciones del pueblo mapuche.

Conflictos en materia de aguas en el río Biobío.

La conflictividad en la cuenca del río Biobío es de larga data, ha sido documentada en medios de prensa, por lo que es de conocimiento público en territorio nacional.

Uno de los hitos que merece ser expuesto, corresponde a la sentencia de fecha 30 de noviembre de 2009, en la cual, la Excelentísima Corte Suprema confirma la sentencia apelada de la Ilustrísima Corte de Apelaciones de Temuco de fecha 16 de septiembre de 2009 que resuelve el recurso de protección interpuesto por Francisca Linconao Huircapan contra la Forestal Palermo Limitada.

Según CNR (2018), la relevancia de esto recae en el hecho de que "se trata del primer fallo a nivel nacional que incluye en la parte considerativa las disposiciones del Convenio N° 169 de la OIT. Además de lo anterior, es relevante porque se pronuncia sobre conceptos de territorio y hábitat, la interdependencia con los derechos culturales y la protección del medio ambiente, cuestiones esenciales en el desarrollo de los derechos indígenas.

El recurso de protección tenía por objetivo que se garantizara el derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación. La Corte Suprema en su fallo consideró la vital importancia que tiene para la Machi Francisca Linconao, su comunidad y el pueblo mapuche la protección del medio ambiente, especialmente, el bosque nativo en las laderas del cerro Rahue¹⁹ y los menoko²⁰ ubicados dentro del predio de la empresa forestal en contra de la cual se interpuso el recurso de protección, en cuyo interior crecen hierbas medicinales, insumos de la medicina tradicional y cultura mapuche desde tiempos inmemoriales.

Para amparar la garantía constitucional, el fallo aplica directamente el concepto de territorio del Convenio N° 169 de la OIT, consagrado en su artículo 13: "Al aplicar las disposiciones de esta parte del Convenio, los gobiernos deberán respetar la importancia especial que para las culturas y valores espirituales de los pueblos interesados reviste su relación con las tierras o territorios, o con ambos, según los casos, que ocupan o utilizan de alguna otra manera, y en particular los aspectos colectivos de esa relación". El número dos agrega que la utilización del término tierras deberá incluir el concepto de territorios, lo que cubre la

¹⁸ Administrador de 3 comunidades de aguas del río Renaico, canales: Santa Ana, San Miguel y parronal.

¹⁹ Comuna de Lonquimay en la parte alta de la cuenca del río Biobío, casi en el límite con Argentina.

²⁰ Humedal (ojo de agua, vertiente) donde abundan plantas medicinales utilizadas por el pueblo Mapuche.

totalidad del hábitat de las regiones que los pueblos interesados ocupan o utilizan de alguna otra manera”.

Mayor connotación tuvo, en la década del 90’, el conflicto desatado por la construcción de las centrales hidroeléctricas Pangue y Ralco, parte de un plan de obras, cuyo objetivo final era la construcción de una serie de seis centrales hidroeléctricas en el río Biobío.

Por esos años, surgió una fuerte oposición al proyecto, criticando la alteración de las formas de vida de siete comunidades pehuenches que residían en el área de inundación del proyecto y el cambio ecológico que sufriría la cuenca del río Biobío. A principios de noviembre de 1992 más de 300 mujeres y diversos representantes indígenas participaron de un solemne ritual en el Alto Biobío contra la central Pangue. La presión ejercida por los grupos contrarios a la construcción de la central incluso interesó a sectores ecologistas norteamericanos, quienes se sumaron a la causa. El conflicto llegó a los tribunales de justicia donde finalmente, en 1993, la Corte Suprema acogió la apelación interpuesta por la empresa Pangue S.A., dejando sin efecto el fallo de la Corte de Apelaciones de Concepción y permitiendo la construcción de la central (BND, s. f.).

La segunda parte de esta historia fue mucho más compleja y se dio a raíz de la construcción de la central Ralco, que generó una férrea oposición de ecologistas y comunidades pehuenches, que finalmente, aceptaron la permuta de tierras ofrecida por ENDESA. No obstante, las hermanas Berta y Nicolasa Quintremán se opusieron tenazmente a salir de sus tierras, las que junto a la organización Mapu Zomoche Newen²¹ realizaron diversas gestiones para impedir la construcción de la Central, generando todo un movimiento con visibilidad nacional en torno a este caso.

En su momento, la construcción de la Central Ralco consideró la relocalización de numerosas familias y miembros de las comunidades mapuche-pehuenches de Quepuca-Ralco y Ralco-Lepoy, en el Alto Bío-Bío, y el traslado forzado de todas aquellas familias y propietarios indígenas que se oponían al proyecto y que se negaban a ser desplazados de sus tierras ancestrales.

En parte, el conflicto se generó debido a que, numerosos antecedentes y estudios llevaban a concluir que, “de materializarse la construcción de la central hidroeléctrica, las personas y comunidades indígenas cuyas tierras serían inundadas, sufrirían una desintegración social y cultural como pueblo y un quiebre irreversible en sus formas identitarias de vida, vinculadas indisolublemente a sus tierras. Además, el proyecto en sí, implicaba un atropello flagrante de derechos inviolables de los pueblos indígenas u originarios, que tanto la legislación nacional chilena, como la española y la internacional consagran, y un atentado contra la supervivencia del pueblo mapuche-pehuenche” (Equipo Nizkor, 2000).

La trilogía se materializó a partir de 2008, con el proyecto Angostura, la tercera central hidroeléctrica en el río Biobío, donde los opositores ficharon a las hermanas Quintremán, símbolo de la férrea oposición a Ralco, para demostrar que la hidroeléctrica estará emplazada en territorio Pehuenche. Lo anterior es relevante ya que el Estado se

²¹ En español, “Mujeres con la fuerza de la tierra”

comprometió ante la Comisión Interamericana de Derechos Humanos a no hacer más represas en sus reductos (Skoknic, 2008).

Esta conflictividad en el Alto Biobío no surge con los proyectos hidroeléctricos, sino que se originan mucho antes. En ese sentido, Molina (1998) describe que “en el área pewenche del Alto Biobío existen 7 comunidades pewenche situadas en dos ejes hidrográficos; uno el curso medio alto del río Biobío y otro en el curso y valle del Queuco. Las comunidades pewenche son: Callaqui, Pitril, Cauñicu, Malla Malla, Trapa Trapa, Quepuca Ralco y Ralco Lepoy.

Los mismos senderos pewenche ocupados para comercializar con los pobladores chilenos del valle central y utilizados por los misioneros durante la colonia para evangelizar servían ahora para que especuladores hacendados de Angol, Los Ángeles y Santa Barbara se introdujeran al valle del Queuco y Alto Biobío para obtener las tierras y pastizales de veranadas, utilizando los particulares diversas formas de apropiación y uso como arrendamientos, hipotecas por préstamo de dinero, compra de acciones y derechos que les permitieron formar grandes fundos. El avance latitudinario a 1870 ya alcanzaba las tierras del Duqueco, Antuco y Santa Barbara hasta Huequecura y desde aquí se introduce al Alto Biobío donde el territorio jurisdiccional pewenche será enajenado por el solo acto de obtener unas pocas acciones y derechos, inscribir la propiedad en el CBR y a pesar de que para su validación el estado chileno tome posesión de aquellos territorios. Los fundos que forman los especuladores son El Queuco entre 1870 y 1877; Lengas de Campamento en 1874; Trapa en 1881 y otros como el Rañilhueno en la década del 70 del siglo pasado. En la zona del Biobío se forman en 1880 el fundo Guayaly y en 1881 el fundo Ralco, comprendiendo estos latifundios cordilleranos, todas las tierras pewenches”.

En este contexto histórico, actualmente, la conflictividad se observa en situaciones específicas, principalmente en lo que respecta al acceso al agua para consumo humano, ya ejemplificado anteriormente en este documento, y remates de derechos de aprovechamiento de aguas.

Respecto de esto último, el principal argumento de los detractores es que las aguas que se pretende rematar son de propiedad ancestral de los indígenas de la zona, lo que ha sido reconocida por el Tribunal Constitucional como una “especie de propiedad”. Asimismo, en el caso del Río Queuco, es parte de la forma de vida, costumbres y filosofía (cosmovisión) del pueblo pehuenche (Segovia, 2019).

Esta situación se ve complejizada con el proyecto de carretera hídrica cuyo propósito es abastecer con agua a los proyectos agrícolas afectados por la sequía entre la Tercera y Octava regiones, lo que genera un alto grado de molestia en las comunidades pewenche y agrupaciones que se oponen al proyecto, debido a que consideran que los remates de derechos de agua permitirían la especulación por parte de inversionistas que verían un negocio en la adquisición de estos derechos. No obstante, los derechos de aprovechamiento susceptibles de rematar son de tipo no consuntivos, es decir, que no son para uso humano u otros fines, como se aclara en el diario Concepción del 19 de enero de 2020.

3.5.4 Caracterización de los usuarios del agua y mapa de actores.

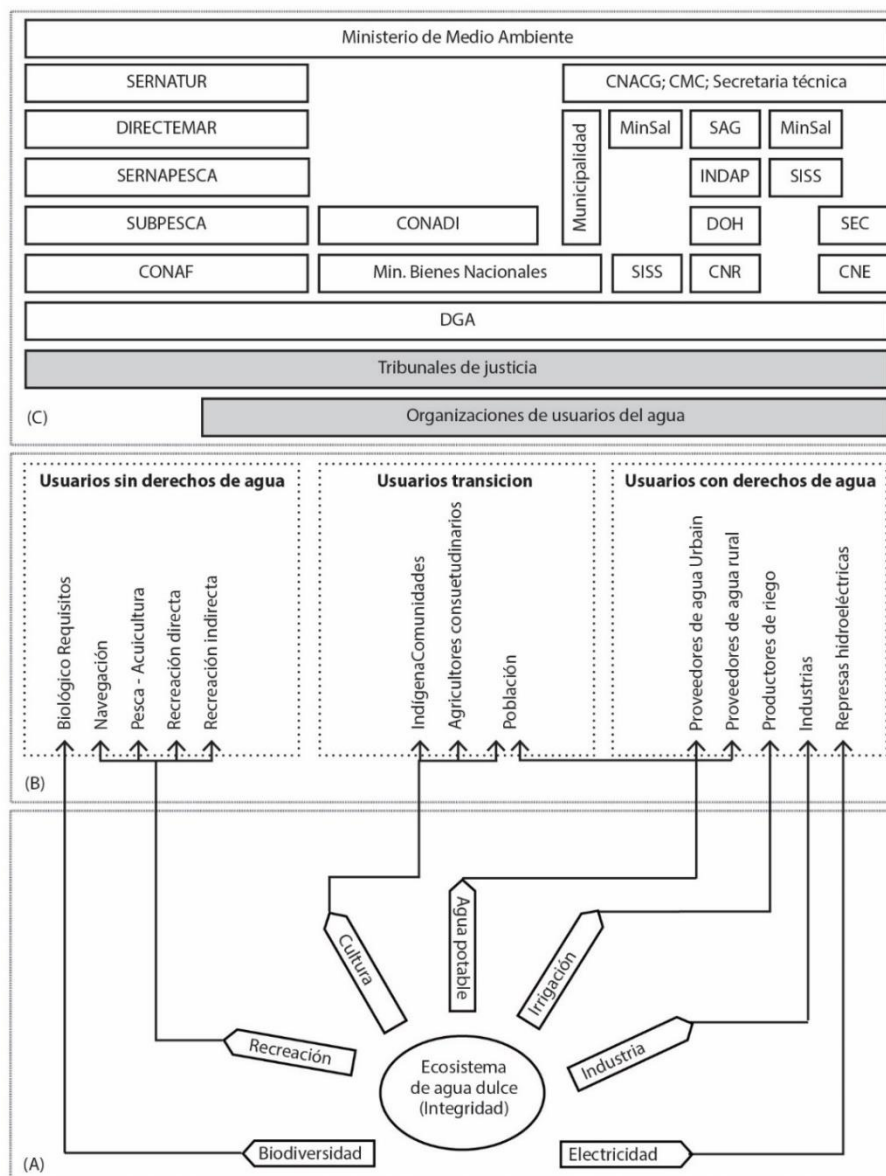
Retamal et al. (2013) desarrolla una profunda clasificación de los usuarios del agua²² mediante un mapa de actores (Figura 23) que considera todos los usos, incluidos aquellos sin derechos de aprovechamiento de aguas, por lo que parece pertinente su utilización dada las características de la cuenca del río Biobío.

Comenzando desde la Figura 23A, se observa la disponibilidad total de agua dulce que proveen los ecosistemas acuáticos y las diferentes demandas agrupadas en siete tipos de uso existentes, entre los que se encuentran los usos que cuentan con derechos de aprovechamiento de Aguas (DAA) inscritos y no inscritos, pero reconocidos por la legislación; y los que no cuentan con derechos, como la demanda biológica y usos recreativos, entre otros.

En la Figura 23B se observan: (1) usuarios con DAA conformados por actores que regulan la oferta y los que regulan la demanda; (2) los usuarios en transición que cuentan con vías destinadas a regularizar su situación; y (3) los usuarios sin DAA que presentan una regulación basada en reglamentaciones que promueven la conservación.

Por su parte, en la Figura 23C se observa la existencia de una gran cantidad de instituciones relacionadas con estos usos y usuarios con influencia directa o indirecta en la gestión del agua. Por esto, el paisaje institucional se caracteriza por la presencia de un variado conjunto de instituciones, con competencias y facultades sectoriales específicas, las cuales muchas veces se sobreponen entre sí sin una gran capacidad de coordinación.

²² La CNR toma esta clasificación en el Manual Avanzado para Profesionales de la OUA de 2018. Documento desde el que se extracta este acápite del informe.



Fuente: Retamal et al (2013)

Figura 23. Mapa de actores.

3.5.5 Mapa de agentes (normativos, operadores, reguladores, OUA)

Para la elaboración del mapa de agentes, se tomó la sugerencia del mandante de utilizar el análisis de la matriz de Stakeholders, utilizado para identificar el campo de poder conformado por cualquier grupo o individuo que pueden afectar o ser afectados por el logro de los objetivos de una organización. En el caso del plan estratégico de gestión hídrica para la cuenca del río Biobío se busca identificar las maneras en las cuales los actores relevantes pueden influir o ser influenciados por sus actividades, tanto en la elaboración del plan como en su futura implementación.

En el Anexo F Gobernanza, se presentan los actores considerados relevantes en la cuenca del río Biobío, mientras que en la Tabla 17, estos mismos, se ubican en la matriz de influencia/interés.

Para el desarrollo de la matriz, se consideran las sugerencias hechas en la Guía para la Gestión de Participación Ciudadana del Ministerio de Obras Públicas del año 2018, en la cual se consideran los siguientes parámetros para determinar la influencia/poder: reconocimiento y/o respaldo público, poder de convocatoria, autoridad ancestral, trayectoria en el proceso, aporte de recursos y capacidad de gestión. Asimismo, para la determinación del interés, se utilizan: el conocimiento y dominio que poseen del tema, la participación en procesos previos y/o relacionados con la temática y su vinculación con la dinámica actual.

La planilla de cálculos que determina la valoración de cada actor se encuentra adjunta a este informe en el Anexo I-PAC/APENDICE PAC/anexo1.xlsx.

Tabla 17. Matriz de influencia/interés.

Matriz influencia interés		Grado de influencia		
		Baja	Medio	Alta
Grado de interés	Alto		- SEREMI MEDIOAMBIENTE - GOBIERNOS REGIONALES - CONADI - JUNTAS DE VIGILANCIA - COMUNIDADES DE AGUAS - APR - COMUNIDADES INDÍGENAS - ASOCIACIONES INDÍGENAS - EMPRESAS SANITARIAS - EMPRESAS GENERADORAS - CENTRALES	- DGA - DOH - CNR - INDAP - SISS - SEREMI MOP - SEREMI AGRICULTURA - SEREMI ENERGÍA - ASOCIACIONES DE CANALISTAS
	Medio	- JUZGADOS - TRIBUNALES - CORTE SUPREMA - TRIBUNALES - MESA NACIONAL DEL AGUA - SNA - CONCA - MUCECH - ANAMURI - CR₂ - CENTRO GLOGAL - UCSC	- GOBERNACIONES - MUNICIPIOS - ONEMI - CONAF - COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA - SENADO - DIPUTADOS 3º TRIBUNAL AMBIENTAL - FENAPRU - CHRIAM - EULA - CREA - EMPRESAS ELÉCTRICAS A.G.	
	Bajo	REGUEMOS CHILE	ASODEPLU	

Fuente: Elaboración propia

3.5.6 Brechas de coordinación e información

Durante el desarrollo del diagnóstico se identificaron algunas brechas de información y coordinación que se exponen a continuación:

- Catastro de OUA: no existe un catastro actualizado de OUA a nivel de cauces naturales y artificiales, principalmente, organizaciones de hecho. Además, de aquellas legalmente organizadas, se desconoce cuáles están activas, cuentan con un directorio y representante legal, conforme a la legislación vigente.

En ese mismo sentido, durante la ejecución del programa CNR “Transferencia para Organizar la Junta de Vigilancia en el Río Biobío”, actualmente en desarrollo, se ha observado algún grado de incerteza respecto de los canales y las aguas que estos conducen, principalmente en sectores con influencia del río Laja.

Esta brecha se visibiliza en el proceso de constitución de la junta de vigilancia del río Biobío, en la dificultad de catastrar con un alto grado de certeza, la inmensa red de canales y usuarios de las fuentes naturales.

- Registros de comuneros actualizados: las OUA no actualizan sus registros de comuneros (artículo 205 del Código de Aguas), lo que dificulta la gestión de la organización, su transparencia ante los usuarios y limita el desarrollo del mercado del agua.
- Diagnósticos de OUA: no existen diagnósticos organizacionales de las OUA de la cuenca, lo que dificulta la planificación. Estos diagnósticos se refieren a aspectos legales, organizacionales, financieros/contables, de infraestructura y gestión en su conjunto.
- Observatorio de recursos hídricos: no existe información actualizada y acabada en diferentes temáticas relativas a las aguas, como en el caso de su calidad y cantidad en diferentes estados del ciclo hidrológico, haciendo necesaria la implementación de redes de monitoreo de nieves, glaciares, humedales, hidrométricos, de flujo de contaminantes, entre otros.
- Instancia de coordinación interinstitucional: muchos actores que participaron durante el estudio manifestaron la falta de instancias de coordinación, tanto de carácter público como privado. En ese sentido, las instancias de participación que se desarrollan, no lo hacen a escalas recomendadas para una mejor gestión del recurso (cuenca/subcuenca hidrográfica). Esta situación, impide una óptima coordinación entre los actores relevantes en la toma de decisiones sobre los recursos hídricos en la cuenca, lo que dificulta la generación de iniciativas para reducir las brechas entre oferta y demanda de agua durante eventos críticos (sequía) y, obstaculiza la promoción de nuevas alianzas público-privadas.
- Instancias de coordinación entre OUA: No se observan instancias permanentes de coordinación entre las OUA de la cuenca hidrográfica. Asimismo, en los programas de fortalecimiento de OUA desarrollados o en desarrollo. Las juntas de vigilancia administran o inician la administración de su respectiva subcuenca, sin consideraciones relativas a la cuenca hidrográfica completa. Igualmente ocurre con las asociaciones de canalistas, sin embargo, en este caso se han desarrollado algunas instancias de coordinación ante ciertas contingencias, como el proyecto de construcción de una carretera hídrica o la organización de la junta de vigilancia del río Biobío.

4 DEMANDA FÍSICA Y LEGAL DIFERENTES USOS

Este capítulo realiza una caracterización física y legal del agua para los diferentes usos en la cuenca. Agua potable rural y urbana, necesidades mínimas de recursos hídricos ambientales, demanda de zonas y cultivos agrícolas durante el año considerando las eficiencias de riego. Agua requerida en el sector minero e industrial y los DAA asociados a cada uso.

4.1 Uso humano

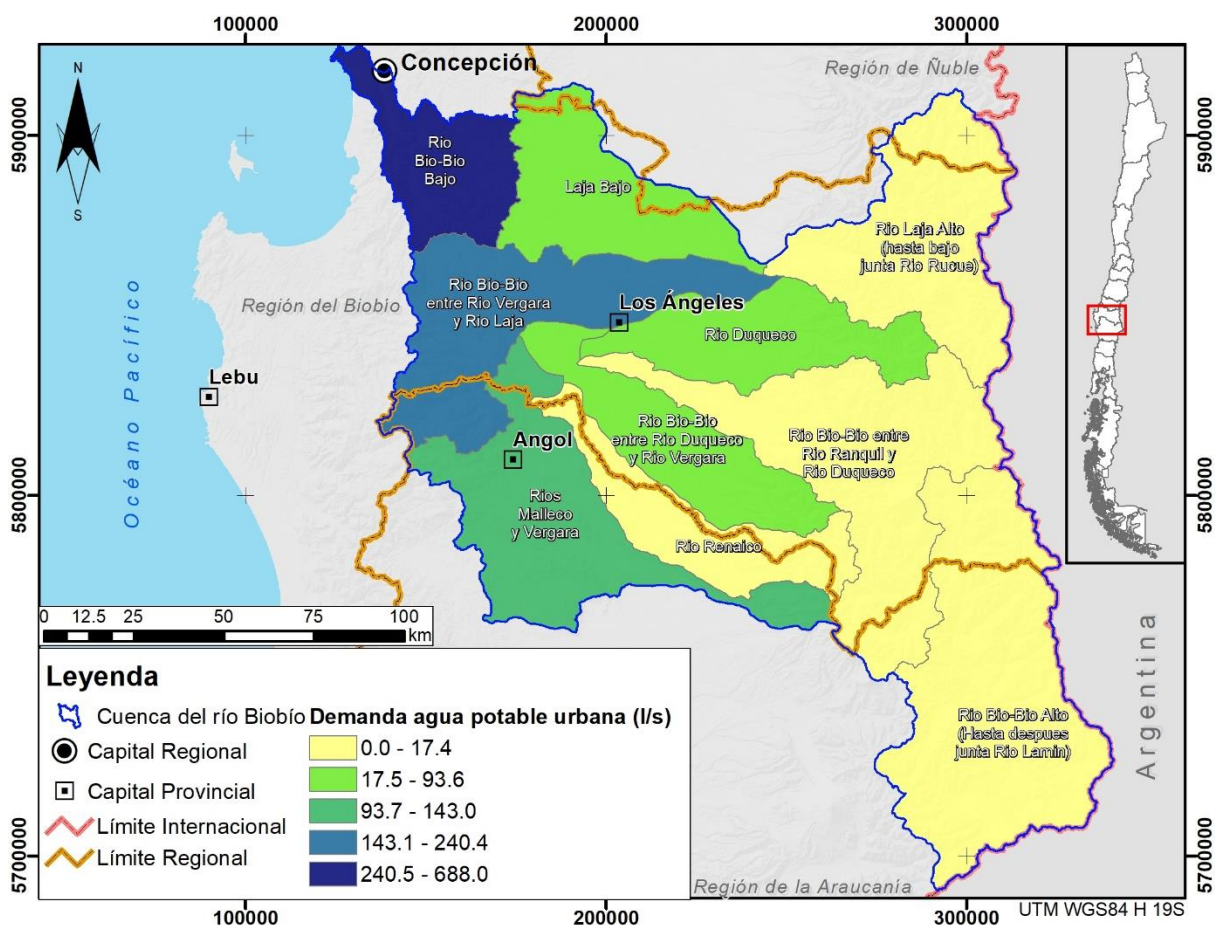
4.1.1 Agua potable urbana, histórica y proyectada.

La demanda de agua potable urbana en la cuenca del Biobío con año base 2015, según DGA (2017), fue estimada en 1,159 m³/s expresado en caudal medio anual y un volumen anual demandado de 36.543,3 Mm³/año en la región del Biobío y en la Araucanía de 0,16 m³/s (caudal medio anual) y 5.202 Mm³/año. La subcuenca río Biobío bajo tuvo la mayor demanda estimada de agua como muestra Tabla 18 y Tabla 19. La Figura 24 muestra la distribución espacial por subcuenca de la demanda de agua potable urbana, donde se observa un aumento de esta demanda a medida que se acerca a la zona costera de la cuenca del río Biobío (gran Concepción).

Tabla 18. Demanda de agua potable urbana año base (2015).

Código subcuenca	Subcuenca	Mm ³ /año	m ³ /s	l/s
0830	Río Biobío Alto (Hasta después junta Río Lamin)	244	0,01	7,7
0831	Río Biobío entre Río Ránquil y Río Duqueco	549	0,017	17,4
0832	Río Duqueco	2.953	0,094	93,6
0833	Río Biobío entre Río Duqueco y Río Vergara	1.510	0,048	47,9
0834	Río Renaico	450	0,01	14,3
0835	Ríos Malleco y Vergara	4.508	0,14	143
0836	Río Biobío entre Río Vergara y Río Laja	7.582	0,240	240,4
0838	Laja Bajo	2.250	0,071	71,4
0839	Río Biobío Bajo	21.698	0,688	688,0

Fuente: DGA 2017



Fuente: Elaboración propia en base a datos DGA 2017

Figura 24. Distribución espacial por subcuenca de la demanda de APU.

Tabla 19. Proyección demanda hídrica de consumo agua potable urbana anual (Mm³/año).

Año	Río Biobío Alto (Hasta después junta Río Lamin) (0830)	Río Biobío entre Río Ranquil y Río Duqueso (0831)	Río Duqueso (0832)	Río Biobío entre Río Duqueso y Río Vergara (0833)	Río Renaico (0834)	Ríos Malleco y Vergara (0835)	Río Biobío entre Río Vergara y Río Laja (0836)	Laja Bajo (0838)	Río Biobío Bajo (0839)
2015	243,7	549	2.953	1.510	450,4	4.508,3	7.582	2.250	21.698
2016	240,2	551	2.968	1.519	391,7	3.673,6	7.620	2.263	21.785
2017	242,8	555	2.984	1.527	394,6	3.702,2	7.661	2.276	21.916
2018	245,3	559	2.999	1.535	397,3	3.729,9	7.700	2.288	22.043
2019	247,8	562	3.014	1.543	400,0	3.756,7	7.738	2.299	22.166
2020	250,3	566	3.027	1.550	402,6	3.782,6	7.774	2.310	22.285
2021	252,8	569	3.041	1.557	405,1	3.807,7	7.809	2.321	22.401
2022	255,2	572	3.054	1.564	407,6	3.832,0	7.843	2.332	22.514
2023	257,6	576	3.066	1.571	410,0	3.855,6	7.875	2.342	22.623
2024	259,9	579	3.079	1.577	412,3	3.878,4	7.907	2.351	22.730
2025	262,2	582	3.090	1.583	414,5	3.900,5	7.937	2.360	22.833
2026	264,5	585	3.102	1.589	416,7	3.921,9	7.967	2.369	22.934
2027	266,7	588	3.112	1.595	418,8	3.942,5	7.995	2.378	23.032
2028	269,0	590	3.123	1.601	420,9	3.962,6	8.022	2.386	23.127
2029	271,2	593	3.133	1.606	422,9	3.981,9	8.049	2.394	23.219
2030	273,3	596	3.143	1.611	424,8	4.000,7	8.074	2.402	23.309
2031	275,5	598	3.152	1.616	426,7	4.018,8	8.099	2.409	23.396
2032	277,6	601	3.161	1.621	428,6	4.036,4	8.122	2.416	23.482

Año	Río Biobío Alto (Hasta después junta Río Lamin) (0830)	Río Biobío entre Río Ránquil y Río Duqueco (0831)	Río Duqueco (0832)	Río Biobío entre Río Duqueco y Río Vergara (0833)	Río Renaico (0834)	Ríos Malleco y Vergara (0835)	Río Biobío entre Río Vergara y Río Laja (0836)	Laja Bajo (0838)	Río Biobío Bajo (0839)
2033	279,7	603	3.170	1.625	430,3	4.053,4	8.145	2.423	23.564
2034	281,8	606	3.178	1.630	432,1	4.069,9	8.167	2.430	23.645
2035	283,8	608	3.186	1.634	433,7	4.085,8	8.188	2.436	23.723
2036	285,8	611	3.194	1.638	435,4	4.101,2	8.209	2.442	23.800
2037	287,8	613	3.201	1.642	436,9	4.116,2	8.229	2.448	23.874
2038	289,8	615	3.209	1.646	438,5	4.130,6	8.248	2.454	23.947
2039	291,8	617	3.216	1.649	440,0	4.144,6	8.266	2.459	24.017
2040	293,7	619	3.222	1.653	441,4	4.158,2	8.284	2.464	24.086

Fuente: DGA 2017

4.1.2 Agua potable rural, histórica y proyectada.

En la cuenca del Biobío la demanda de agua potable rural estimada con base año 2015, fue de 3.950 Mm³/ año con un caudal medio anual de 0,125 m³/s en la región del Biobío y en la Araucanía de 625,3 Mm³/año con un caudal medio de 0,020 m³/s, según la Estimación de Demanda actual de Recursos Hídricos (DGA, 2017). La subcuenca río Biobío entre río Vergara y río Laja es la con el mayor consumo de agua. La Figura 25 muestra la distribución espacial por subcuenca de la demanda de agua potable rural, donde se observa que la mayor demanda se encuentra en el valle central.

Tabla 20. Demanda de agua potable rural año base (2015) por subcuencas.

Código subcuenca	Subcuenca	Mm ³ /año	m ³ /s	l/s
0830	Río Biobío Alto (Hasta después junta Río Lamin)	118,2	0,004	3,75
0831	Río Biobío entre Río Ránquil y Río Duqueco	418	0,013	13,3
0832	Río Duqueco	534	0,017	16,9
0833	Río Biobío entre Río Duqueco y Río Vergara	225	0,007	7,1
0834	Río Renaico	97,5	0,003	3,09
0835	Ríos Malleco y Vergara	409,5	0,013	12,98
0836	Río Biobío entre Río Vergara y Río Laja	1.154	0,037	36,6
0837	Río Laja Alto (hasta bajo junta Río Rucué)	411	0,013	13,7
0838	Laja Bajo	917	0,029	29,1
0839	Río Biobío Bajo	393	0,009	9,3

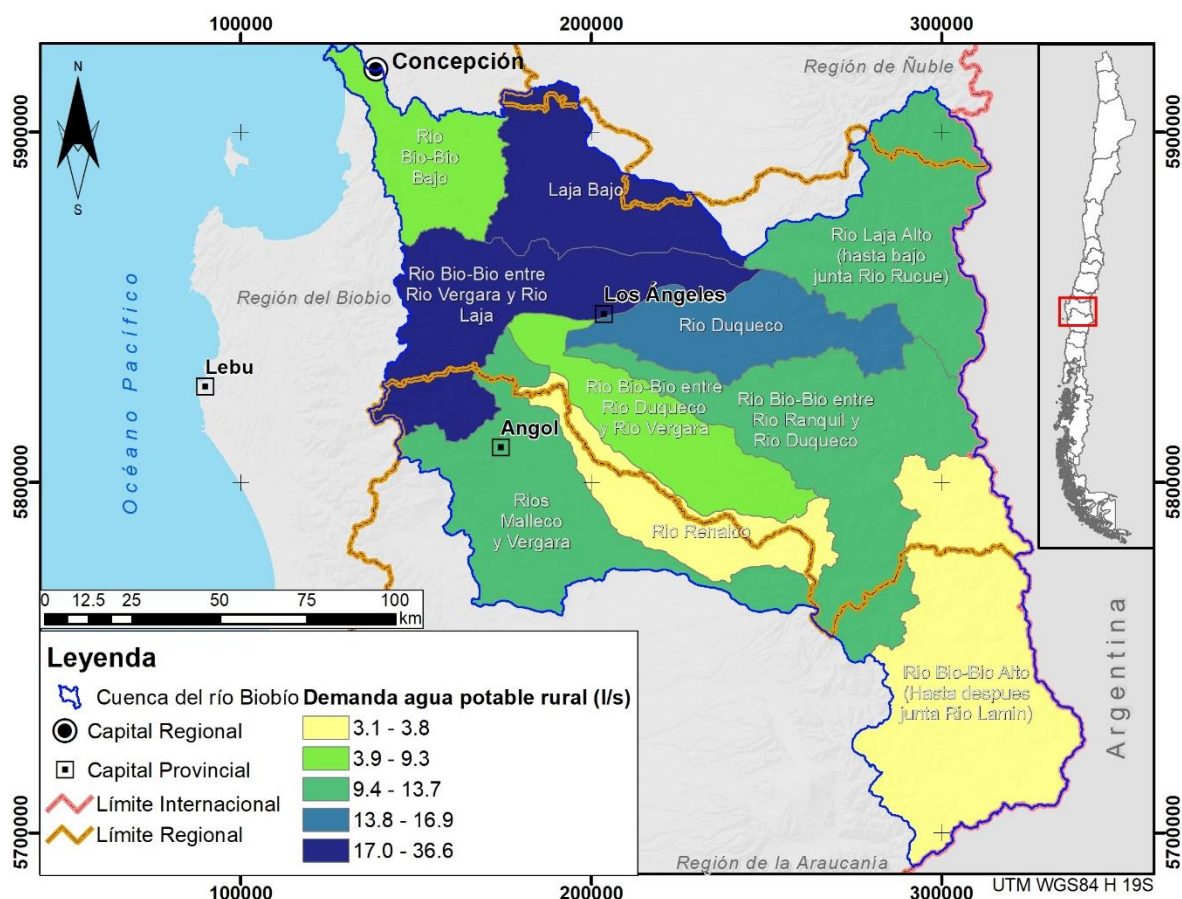
Fuente: DGA 2017

Tabla 21. Proyección demanda hídrica para agua potable rural anual (Mm³/año) Período 2016-2040 por subcuenca.

Año	Río Biobío Alto (Hasta después junta Río Lamin)	Río Biobío entre Río Ránquil y Río Duqueco	Río Duqueco	Río Biobío entre Río Duqueco y Río Vergara	Río Renaico	Ríos Malleco y Vergara	Río Biobío entre Río Vergara y Río Laja	Río Laja Alto (hasta bajo junta Río Rucué)	Laja Bajo	Río Biobío Bajo
2015	118,2	418,3	534,1	224,7	97,5	409,5	1.154,1	410,8	917,0	293,5
2016	118,9	421,1	537,7	226,2	98,1	411,7	1.161,4	413,6	923,1	295,4
2017	119,5	423,7	541,1	227,6	98,6	413,9	1.168,4	416,2	928,9	297,3
2018	120,2	426,3	544,3	229,0	99,1	416,1	1.175,1	418,7	934,4	299,1
2019	120,7	428,6	547,3	230,2	99,6	418,1	1.181,3	421,0	939,6	300,7
2020	121,3	472,9	661,9	310,9	147,0	420,1	1.340,8	423,2	995,1	357,3
2021	121,9	475,2	665,3	312,5	147,7	422,0	1.347,4	425,3	1.000,1	359,1
2022	122,4	477,5	668,4	314,0	148,3	423,9	1.353,7	427,3	1.004,9	360,8
2023	123,0	479,7	671,5	315,4	149,0	425,8	1.359,8	429,2	1.009,4	362,4
2024	123,5	481,7	674,3	316,8	149,6	427,6	1.365,6	431,1	1.013,8	364,0
2025	124,0	698,9	714,6	437,7	174,8	453,9	1.531,6	443,7	1.115,4	390,9
2026	124,5	701,7	717,3	439,4	175,5	455,7	1.537,5	445,5	1.119,7	392,4

Año	Río Biobío Alto (Hasta después junta Río Lamin)	Río Biobío entre Río Ranquil y Río Duqueco	Río Duqueco	Río Biobío entre Río Duqueco y Río Vergara	Río Renaico	Ríos Malleco y Vergara	Río Biobío entre Río Vergara y Río Laja	Río Laja Alto (hasta bajo junta Río Rucué)	Laja Bajo	Río Biobío Bajo
2027	124,9	704,3	720,0	441,1	176,2	457,4	1.543,3	447,1	1.123,8	393,9
2028	125,4	706,7	722,5	442,6	176,8	459,1	1.548,8	448,7	1.127,8	395,3
2029	125,8	709,1	725,0	444,1	177,5	460,7	1.554,0	450,2	1.131,6	396,6
2030	126,3	711,4	727,3	445,5	178,1	462,3	1.559,1	451,6	1.135,2	397,9
2031	126,7	713,5	729,5	446,8	178,7	463,9	1.563,9	453,0	1.138,6	399,1
2032	127,1	715,6	731,6	448,1	179,2	465,4	1.568,6	454,3	1.141,9	400,2
2033	127,5	717,5	733,6	449,4	179,8	466,8	1.573,0	455,5	1.145,0	401,3
2034	127,9	719,4	735,5	450,5	180,3	468,3	1.577,3	456,7	1.148,0	402,3
2035	128,3	721,2	737,3	451,6	180,9	469,6	1.581,4	457,8	1.150,8	403,3
2036	128,6	722,8	739,0	452,7	181,4	471,0	1.585,3	458,9	1.153,5	404,3
2037	129,0	724,5	740,7	453,7	181,9	472,3	1.589,0	459,9	1.156,1	405,2
2038	129,3	726,0	742,2	454,7	182,4	473,5	1.592,6	460,9	1.158,5	406,0
2039	129,7	727,5	743,7	455,6	182,8	474,7	1.596,1	461,8	1.160,9	406,9
2040	130,0	728,9	745,2	456,5	183,3	475,9	1.599,4	462,7	1.163,1	407,6

Fuente: DGA 2017



Fuente: Elaboración propia en base a datos DGA 2017

Figura 25. Distribución espacial por subcuenca de la demanda de APR.

4.1.3 Derechos de agua para consumo humano

La base de datos de derechos de aprovechamiento de aguas de la cuenca del río Biobío fue proporcionada por la contraparte DGA el día 30 de julio del 2020. En esta base de datos se consideraron todos los registros públicos de DAA de Ñuble, Biobío y Araucanía que corresponden a la cuenca del río Biobío. Esta base de datos posee un total de 5.798 DAA, sin embargo, solo 5.342 DAA poseían coordenadas. Para los otros 456 DAA que no poseían coordenadas se aplicó una metodología para determinar su ubicación espacial que se muestra en detalle en el Anexo F.2 sección 1.1.

De acuerdo con el análisis realizado, y de acuerdo a la información referencial del CPA, para uso humano existe una demanda bajo la figura de DAA promedio anual de 16,54 m³/s, con esta información se procede a realizar un análisis en detalle. En la Tabla 22 se presenta la demanda comprometida expresada en m³/s por subcuenca para cada ejercicio del derecho.

A nivel de subcuenca se destacan los Ríos Malleco y Vergara con la mayor demanda bajo la figura del DAA comprometida para uso humano de acuerdo con el ejercicio del derecho eventual y continuo presentando un valor de 2,87 m³/s, también esta es la que posee mayor demanda total con 3,8 m³/s.

La subcuenca Río Laja Alto (hasta bajo junta Río Rucue) posee la menor demanda para uso humano, presentando solo ejercicio permanente y continuo con un caudal comprometido de 0,06 m³/s.

Tabla 22. Distribución de la demanda bajo la figura de DAA, para ejercicio del derecho por subcuenca.

Subcuenca	Ejercicio Del Derecho (m ³ /s)					Total
	CEC ²³	CED ²⁴	CPA ²⁵	CPC ²⁶	CPD ²⁷	
Laja Bajo		0,00		1,78		1,78
Río Biobío (hasta después junta Río Lomin)	1,80	0,04		0,59	0,01	2,43
Río Biobío Bajo		0,01		2,00	0,00	2,01
Río Biobío entre Río Duqueco y Río Vergara		0,01		0,84	0,04	0,88
Río Biobío entre Río Ranquil y Río Duqueco	0,45	0,01		2,60	0,00	3,06
Río Biobío entre Río Vergara y Río Laja		0,00	0,00	1,45	0,00	1,45
Río Duqueco		0,02		0,55	0,08	0,65
Río Laja Alto (hasta bajo junta Río Rucue)				0,06		0,06
Río Renaico	0,09	0,03		0,27	0,01	0,41
Ríos Malleco y Vergara	2,87	0,02	0,00	0,89	0,01	3,80
Total	5,22	0,14	0,00	11,03	0,16	16,54

Fuente: Elaboración propia de acuerdo con la base de datos proporcionada por la DGA (Fecha: julio 2020)

Otro aspecto relevante para considerar es la naturaleza del agua, ésta la podemos observar en la Tabla 24. En esta se presenta la demanda bajo la figura de DAA promedio anual expresada en m³/s. Al analizar por subcuenca se observa que, para la naturaleza subterránea, los DAA inscritos para consumo humanos no superan 1 m³/s, a diferencia de la naturaleza superficial que presenta caudales mayores. Por tanto, a nivel de cuenca existe una mayor demanda comprometida de naturaleza superficial con un caudal de 12,96 m³/s a diferencia de la subterránea que posee una demanda menor, con un caudal de 3,59 m³/s.

²³ CEC= Consuntivo, Eventual y Continuo

²⁴ CED= Consuntivo, Eventual y Discontinuo

²⁵ CPA= Consuntivo, Permanente y Alternado

²⁶ CPC= Consuntivo, Permanente y Continuo

²⁷ CPD= Consuntivo, Permanente y Discontinuo

Tabla 23. Comparación de distribución de la demanda bajo la figura de DAA, para ejercicio del derecho por subcuenca con la demanda de agua potable urbana (APU) y rural (APR) en la cuenca del Biobío con año base 2015.

Subcuenca	Demanda bajo DAA	Demanda APU (año 2015)	Demanda APR (año 2015)	Demanda Agua Potable (año 2015)
	Total (m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	Total (m ³ /s)
Laja Bajo	1,78	0,071	0,029	0,1
Río Biobío (hasta después junta Río Lomin)	2,43	0,01	0,004	0,01
Río Biobío Bajo	2,01	0,688	0,009	0,697
Río Biobío entre Río Duqueco y Río Vergara	0,88	0,048	0,007	0,055
Río Biobío entre Río Ranquil y Río Duqueco	3,06	0,017	0,013	0,03
Río Biobío entre Río Vergara y Río Laja	1,45	0,24	0,037	0,277
Río Duqueco	0,65	0,094	0,017	0,111
Río Laja Alto (hasta bajo junta Río Rucue)	0,06	S/I	0,013	0,013
Río Renaico	0,41	0,01	0,003	0,013
Ríos Malleco y Vergara	3,8	0,14	0,013	0,153
Total	16,54	1,318	0,145	1,463

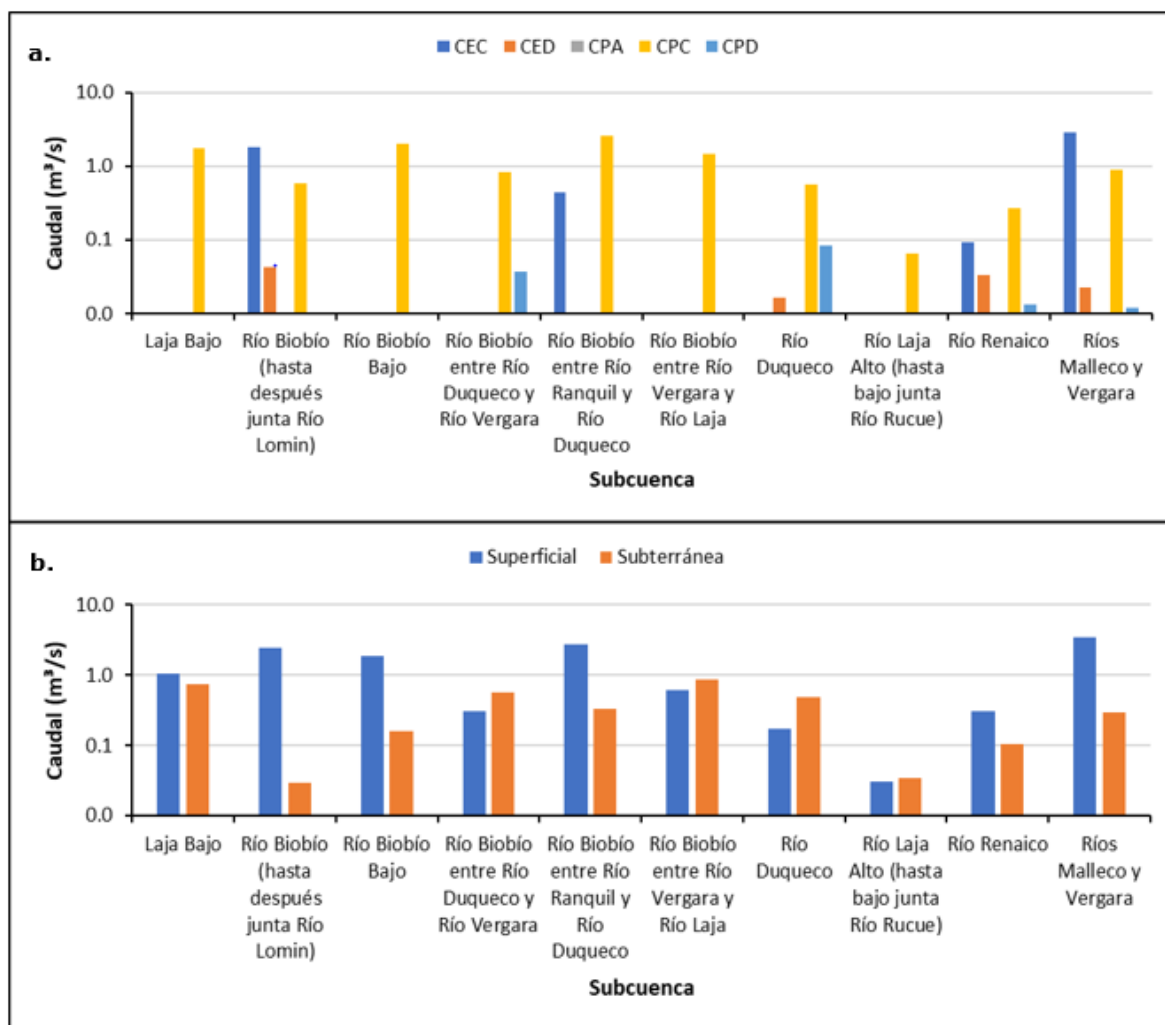
Fuente: elaboración propia en base a DGA 2017

Tabla 24. Demanda bajo la figura de DAA distribuidos por su naturaleza para cada subcuenca.

Subcuenca	Demanda por naturaleza (m ³ /s)	
	Subterránea	Superficial
Laja Bajo	0,73	1,04
Río Biobío (hasta después junta Río Lomin)	0,03	2,41
Río Biobío Bajo	0,16	1,86
Río Biobío entre Río Duqueco y Río Vergara	0,58	0,31
Río Biobío entre Río Ranquil y Río Duqueco	0,33	2,73
Río Biobío entre Río Vergara y Río Laja	0,85	0,60
Río Duqueco	0,49	0,17
Río Laja Alto (hasta bajo junta Río Rucue)	0,03	0,03
Río Renaico	0,10	0,31
Ríos Malleco y Vergara	0,29	3,51
Total	3,59	12,96

Fuente: Elaboración Propia de acuerdo con la base de datos proporcionada por la DGA (Fecha: julio 2020)

En la Figura 26 se presenta la distribución por subcuenca de la demanda bajo la figura de DAA como media anual expresada en m³/s. De acuerdo con la Figura 26a el ejercicio permanente y continuo es quien posee una mayor demanda comprometida y posee DAA en todas las subcuencas con valores incluso mayores a 1 m³/s, se observa también que el ejercicio permanente y alternado es el ejercicio que posee una menor demanda comprometida en la cuenca con valores inferior a 0,01 m³/s. Al observar la Figura 26b se evidencia que los DAA de naturaleza superficial poseen una mayor demanda con caudales superiores a 1 m³/s. También se puede observar que existe una diferencia significativa entre la naturaleza del agua en la subcuenca Río Biobío (hasta después junta Río Lomin).



Fuente: Elaboración Propia de acuerdo con la base de datos proporcionada por la DGA (Fecha: julio 2020)
 Figura 26. Distribución de caudal bajo la figura de DAA (m^3/s) a nivel de subcuenca; a. Demanda comprometida por ejercicio del derecho; b. Demanda comprometida por naturaleza.

4.2 Necesidades mínimas ambientales

Las necesidades ambientales del agua de la cuenca están asociadas a la Norma Secundaria de Calidad Ambiental (Decreto Supremo N° 15, 2015), a estándares relacionados con el uso del agua para fines recreacionales (Nch 1333) y al establecimiento de un caudal ecológico mínimo para los ríos (Decreto Supremo N° 14). La existencia de dicho caudal garantiza una mejor calidad de las aguas de los ríos (Chen et al., 2013).

4.2.1 Caudales ecológicos mínimos

Para determinar el caudal ecológico se utilizó el Manual de normas y procedimientos para la administración de recursos hídricos (DGA, 2008). Los resultados se muestran en la Tabla 67.

4.3 Demanda Agrícola

En esta sección se describe la metodología utilizada para determinar las demandas de agua de la cuenca que serán utilizadas en el modelo WEAP. Se describen específicamente las zonas de riego modeladas, los cultivos, los valores de coeficientes de cultivo representativos, la evapotranspiración y la eficiencia de los métodos de riego. Se analizan además los DAA utilizados con fines de riego

4.3.1 Zonas de riego modeladas

La demanda para riego será representada a través de Unidades Hidrológicas bajo la metodología de Lluvia-Escorrentía (método del coeficiente simplificado). Los parámetros de entrada para este método incluyen coeficientes de cultivo, evapotranspiración de referencia, precipitación y eficiencia de riego.

En la modelación se consideran 9 zonas de riego cuyas superficies se indican en la Tabla 25.

Tabla 25. Superficies de zonas de riego.

Zona de riego	Superficie (km²)
Alto Biobío	52,2
Biobío Superior	115,7
Biobío Medio	1563,4
Lago Laja	32,8
Río Laja	490,9
Río Vergara	616,0
Río Renaico	235,3
Río Tavoleo	68,1
Biobío Inferior	144,4

Fuente: Elaboración propia

4.3.2 Valores de Kc y evapotranspiración de cultivo

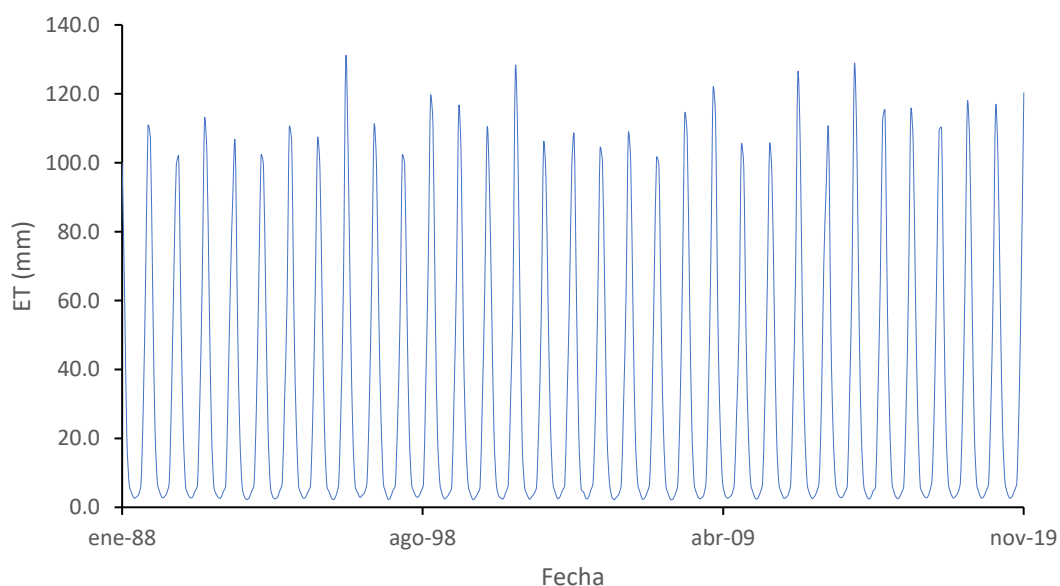
Se determinó un valor de Kc ponderado por subcuenca de acuerdo con el uso de suelo definido por CONAF en 2015. Para esto, se utilizaron 3 fuentes de información:

- 1) Catastro de uso de suelo de CONAF 2015
- 2) Censo Agropecuario y Forestal 2007
- 3) Catastro Frutícola de ODEPA 2016

Para determinar los valores de Kc en la cuenca, se generaron polígonos para cada subcuenca con los usos de suelo identificados por CONAF 2015. Luego se realizó un proceso

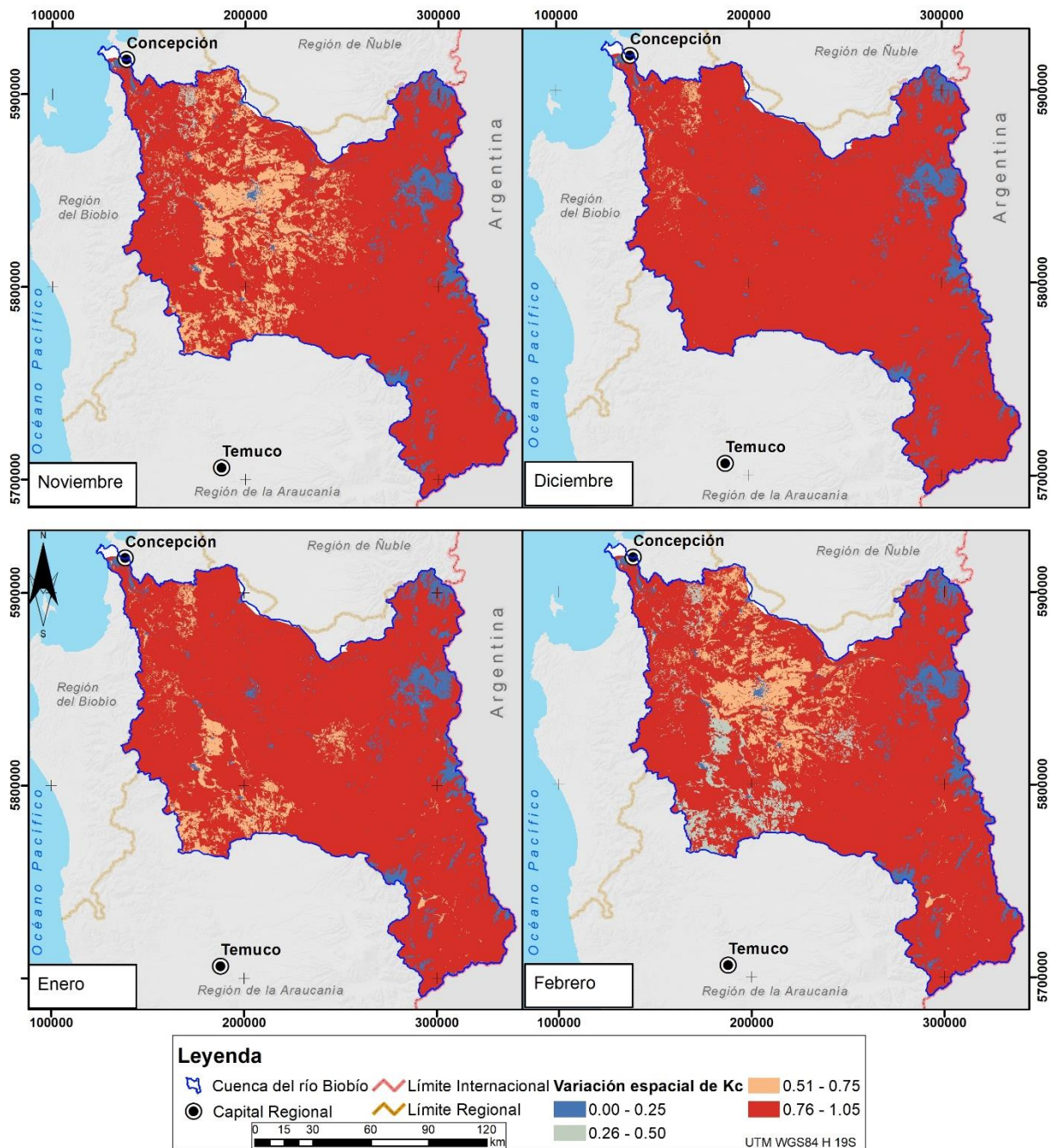
en SIG para interceptar estos polígonos con los datos del Censo Agropecuario y Forestal del 2007 y del Catastro Frutícola de ODEPA 2016, determinando así la presencia en hectáreas que tenía cada cultivo dentro de la subcuenca analizada. Posteriormente, la presencia de cultivos se relacionó con los terrenos agrícolas determinados por CONAF. En el caso de los terrenos identificados por CONAF como forestales, se determinó un Kc diferenciado por árboles de hoja caduca o perenne, entregando así una variación mensual de los coeficientes de cultivo. Finalmente se hizo un Kc mensual ponderado en función de la presencia en hectáreas que tenía cada cultivo dentro de la subcuenca. La metodología en detalle se describe en el Anexo H (Apéndice 5). La Figura 28 muestra la variación espacial del coeficiente de cultivo ponderado para 4 meses (noviembre, diciembre, enero y febrero).

Finalmente, los valores de evapotranspiración se obtienen de manera interna por el modelo para cada paso de tiempo según el escenario de modelación utilizado. La Figura 27 muestra la evapotranspiración mensual para el caso particular de río Biobío en desembocadura.



Fuente: Elaboración propia

Figura 27. Evapotranspiración mensual en función del tiempo para Río Biobío en Desembocadura - SHAC Biobío Inferior.



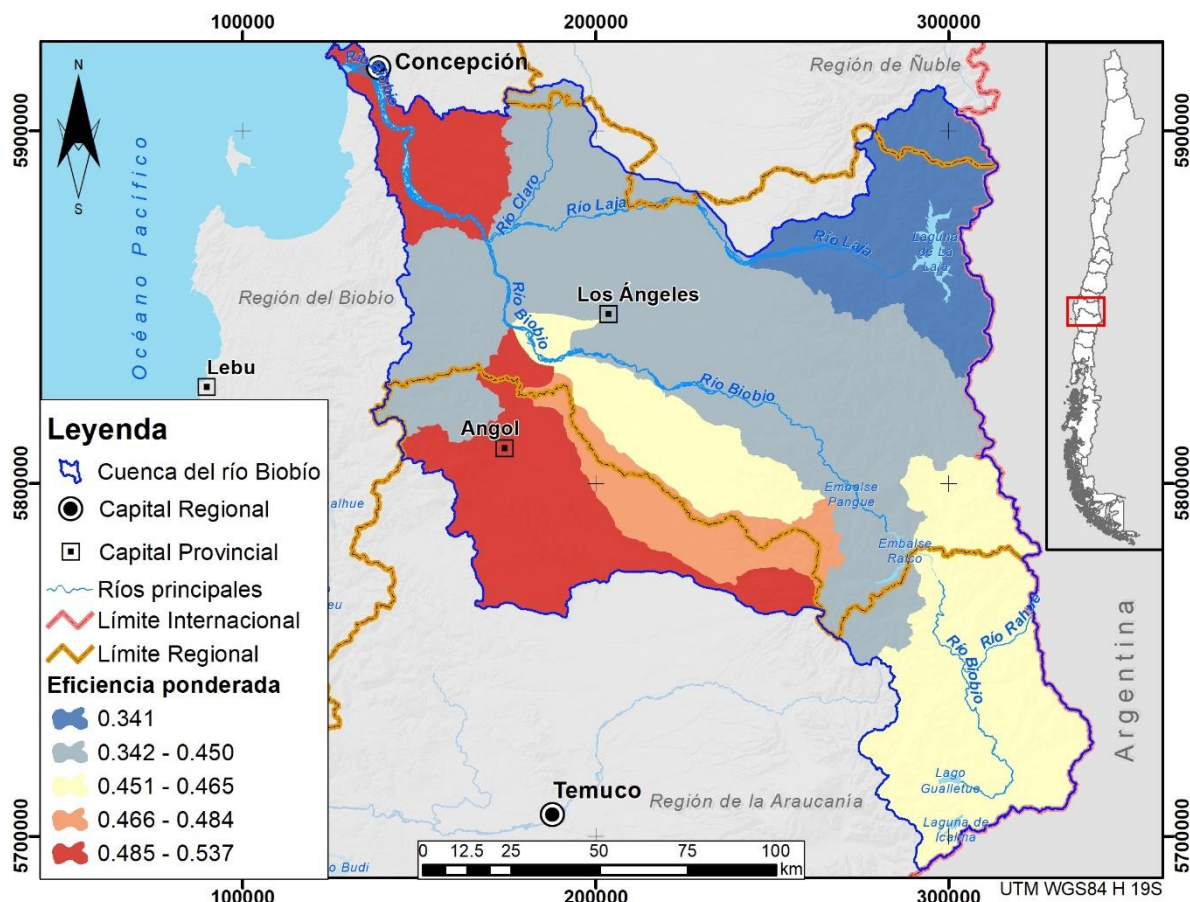
Fuente: Elaboración propia

Figura 28. Variación espacial del coeficiente de cultivo ponderado en la cuenca.

4.3.3 Ineficiencia de métodos de riego.

En riego, se entiende por eficiencia de aplicación a la relación entre el volumen de agua que queda disponible para las plantas en la zona de raíces, y el volumen total aplicado en el riego. Este valor dependerá del método de riego utilizado, del diseño del equipo de riego

y de la pericia del operador. Para determinar la eficiencia de riego se utilizó el Censo Agropecuario y Forestal del 2007 en combinación con los proyectos bonificados por la Ley de Riego estableciendo una ponderador de acuerdo a las hectáreas asociadas a cada método de riego. Para mayor detalle sobre la estimación de la ineficiencia de riego se sugiere referirse al Apéndice H-5 del Anexo H. Los resultados de este proceso se muestran en la Figura 29.



Fuente: Elaboración propia

Figura 29. Distribución espacial de la eficiencia del riego ponderada.

4.3.4 Derechos de agua para la agricultura

Con el análisis realizado para uso en riego, se determinó que la cuenca posee una demanda bajo la figura de DAA promedio anual de 370 m³/s. En la Tabla 26 se presenta la distribución de la demanda bajo la figura de DAA expresada en m³/s por ejercicio del derecho para cada subcuenca.

Observando la Tabla 26 podemos determinar que la subcuenca Río Laja Alto (hasta bajo junta Río Rucue) es la que posee la mayor demanda comprometida con un caudal de 123,5 m³/s, valor que se encuentra por muy sobre las otras demandas, también podemos

destacar la subcuenca río Biobío (hasta después junta Río Lomin) ya que esta registra la menor demanda con un caudal de 5,3 m³/s. En cuanto al ejercicio del derecho, es el permanente y continuo quien posee la mayor demanda con un caudal de 217,5 m³/s valor que representa cerca del 60% de la demanda en la cuenca. En tanto el ejercicio permanente y alternado posee demandas inferiores a 0,01 m³/s

Tabla 26. Distribución de la demanda bajo la figura de DAA, para ejercicio del derecho por subcuenca.

Subcuenca	Ejercicio del derecho					Total
	CEC	CED	CPA	CPC	CPD	
Laja Bajo	13,1	0,1	0,0	7,8	0,2	21,2
Río Biobío (hasta después junta Río Lomin)	1,3	0,2		3,7	0,1	5,3
Río Biobío Bajo	0,1	25,8		0,5	41,0	67,4
Río Biobío entre Río Duqueco y Río Vergara	1,5	0,1		10,2	0,3	12,1
Río Biobío entre Río Ranquil y Río Duqueco	2,5	0,3	0,0	22,8	0,1	25,7
Río Biobío entre Río Vergara y Río Laja	0,3	0,7		7,9	44,0	53,0
Río Duqueco	5,1	4,2	0,0	23,6	1,2	34,2
Río Laja Alto (hasta bajo junta Río Rucue)	3,2	0,1		119,7	0,5	123,5
Río Renaico	0,6	1,0		7,3	1,8	10,7
Ríos Malleco y Vergara	1,1	0,6		14,0	1,4	17,0
Total	28,7	33,1	0,0	217,5	90,6	370,0

Fuente: Elaboración Propia de acuerdo con la base de datos proporcionada por la DGA (Fecha: julio 2020)

La Tabla 27 presenta la distribución de demandas agrícola por subcuenca expresada en m³/s, de esta podemos determinar que la demanda comprometida superficial representa cerca del 98% de la demanda total, con un caudal de 367,4 m³/s. En relación con la demanda subterránea se observa que la subcuenca del Río Duqueco es la que posee mayor demanda bajo la figura de DAA con un caudal de 2,0 m³/s.

Tabla 27. Demanda bajo la figura de DAA distribuidos por su naturaleza para cada subcuenca.

Subcuenca	Naturaleza (m ³ /s)	
	Superficial	Subterránea
Laja Bajo	19,6	1,6
Río Biobío (hasta después junta Río Lomin)	5,2	0,1
Río Biobío Bajo	67,2	0,2
Río Biobío entre Río Duqueco y Río Vergara	11,6	0,5
Río Biobío entre Río Ranquil y Río Duqueco	24,6	1,1
Río Biobío entre Río Vergara y Río Laja	51,6	1,3
Río Duqueco	32,2	2,0
Río Laja Alto (hasta bajo junta Río Rucue)	128,7	0,0
Río Renaico	10,4	0,2
Ríos Malleco y Vergara	16,3	0,7
Total	367,4	7,9

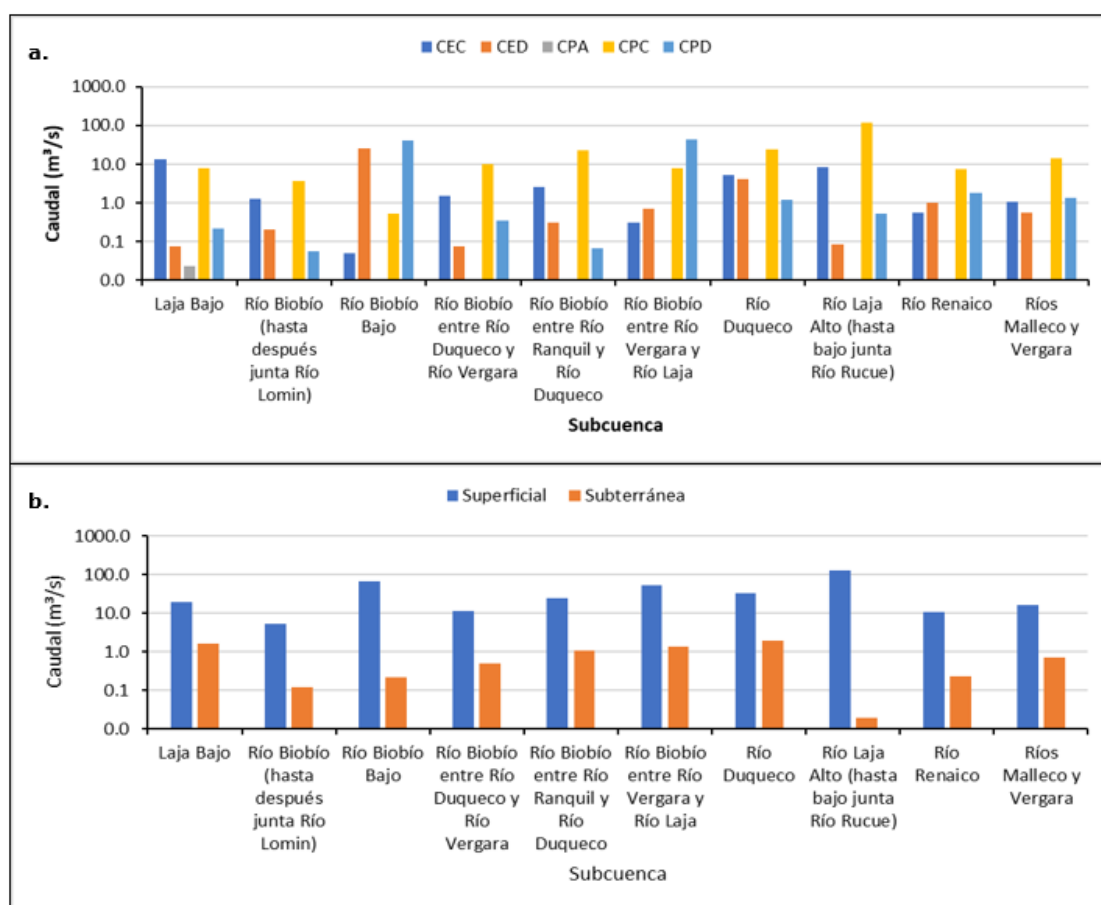
Fuente: Elaboración Propia de acuerdo con la base de datos proporcionada por la DGA (Fecha: julio 2020)

En la Figura 30 se presenta la distribución de la demanda bajo la figura del DAA expresado en m³/s. En la parte a. se presenta la distribución de acuerdo con el ejercicio del derecho por subcuenca. En esta figura se observa que el ejercicio permanente y continuo es quien posee un mayor caudal asociado al DAA, destacando la subcuenca río Laja Alto (hasta bajo junta Río Rucue) que posee una demanda superior a 100 m³/s. También la subcuenca Río

Biobío Bajo la cual presenta demandas de ejercicio eventual y discontinuo y permanente y discontinuo superiores a 10 m³/s.

De la Figura 30 b. se observa que la demanda de agua superficial está por sobre la demanda subterránea a nivel de cuenca como también para cada subcuenca, también se destaca la diferencia entre la naturaleza de las extracciones de la cuenca del Río Laja Alto (hasta bajo junta Río Rucue), la cual en demandas de agua superficial posee un caudal superior a 120 m³/s y una demanda subterránea inferior a 0,1 m³/s.

Para realizar el análisis de distribución mensual de demandas bajo la figura de DAA no se consideraron los datos que poseen acciones, ya que estas se presentan de forma anual y no mensual, por lo que para este análisis se consideró una base de datos con 5523 DAA, de los cuales, 2899 derechos corresponden a uso riego, y poseen un caudal de 232,1 m³/s



Fuente: Elaboración Propia de acuerdo con la base de datos proporcionada por la DGA (Fecha: julio 2020)
 Figura 30. Distribución de caudal bajo la figura de DAA (m³/s) a nivel de subcuenca; a. Demanda comprometida por ejercicio del derecho; b. Demanda comprometida por naturaleza.

La Tabla 28 presenta la distribución media mensual de la demanda bajo la figura de DAA expresado en m³/s de acuerdo con la naturaleza de la fuente. De esta tabla obtenemos que la demanda comprometida subterránea no posee variaciones de caudal durante los meses, a diferencia de la demanda superficial que es variable durante los meses, presentando su

mayor demanda los meses septiembre y octubre con caudales de 259 y 252 m³/s respectivamente.

La Tabla 29 presenta la distribución media mensual de demanda comprometida por ejercicio del derecho, destacando que el ejercicio permanente y discontinuo es el que posee la mayor demanda con un caudal promedio anual de 90,6 m³/s, a este le sigue el ejercicio permanente y continuo con una demanda promedio anual de 79,7 m³/s. Los ejercicios eventuales poseen demandas promedio anual entre 28 y 34 m³/s. Al observar Tabla 29, también podemos determinar que la mayor demanda comprometida se localiza en los meses septiembre – octubre con un caudal mensual de 143,8 m³/s y este corresponde al ejercicio permanente y discontinuo

En la Tabla 30 se presenta la distribución mensual de demanda bajo la figura de DAA por naturaleza para cada subcuenca. De esta podemos destacar que para naturaleza superficial la subcuenca Río Biobío Bajo es quien presenta una mayor demanda comprometida promedio anual, ya que esta posee demandas homogéneas mensualmente, a diferencia de otras subcuencas que poseen caudales variables como por ejemplo Río Biobío entre Río Vergara y Río Laja que posee de septiembre a abril una demanda comprometida entre 70 y 74 m³/s, y de mayo a agosto una demanda comprometida de entre 6 y 9 m³/s.

Tabla 28. Demanda de agua (m³/s) mensual distribuido de acuerdo con su naturaleza.

Naturaleza	Cmr												Promedio Anual
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
Superficial	233,3	202,6	223,5	236,8	197,7	201,4	201,8	195,1	259,0	252,0	248,5	242,3	224,5
Subterránea	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
Total	240,9	210,3	231,2	244,4	205,4	209,0	209,5	202,7	266,7	259,7	256,1	250,0	232,1

Fuente: Elaboración propia de acuerdo con la base de datos proporcionada por la DGA (Fecha: julio 2020)

Tabla 29. Demanda de agua (m³/s) mensual distribuido por el ejercicio del derecho

Ejercicio del Derecho	Cmr												Promedio Anual
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
CEC	23,1	21,9	21,2	27,1	36,6	31,6	32,6	30,3	30,1	30,1	30,9	28,6	28,7
CED	73,7	46,6	68,7	73,9	15,8	11,6	11,9	7,0	8,5	3,6	3,4	73,1	33,1
CPA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CPC	74,7	74,1	73,9	75,0	78,2	85,9	85,6	85,9	84,2	82,1	79,4	76,8	79,7
CPD	69,3	67,6	67,3	68,5	74,8	79,9	79,3	79,4	143,8	143,8	142,4	71,4	90,6
Total	240,9	210,3	231,2	244,4	205,4	209,0	209,5	202,7	266,7	259,7	256,1	250,0	232,1

Fuente: Elaboración propia de acuerdo con la base de datos proporcionada por la DGA (Fecha: julio 2020)

Tabla 30. Caudal medio mensual (m³/s) distribuido por subcuenca de acuerdo con su naturaleza.

Naturaleza	Subcuenca	Cmr												Promedio Anual
		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
Subterránea	Laja Bajo	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
	Río Biobío (hasta después junta Río Lomin)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	Río Biobío Bajo	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	Río Biobío entre Río Duqueco y Río Vergara	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
	Río Biobío entre Río Ranguil y Río Duqueco	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
	Río Biobío entre Río Vergara y Río Laja	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
	Río Duqueco	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
	Río Laja Alto (hasta bajo junta Río Rucue)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Río Renaico	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	Ríos Malleco y Vergara	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Subtotal		7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
Superficial	Laja Bajo	19,4	19,4	19,4	19,4	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,4	19,4	19,4
	Río Biobío (hasta después junta Río Lomin)	4,4	4,4	4,4	4,4	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,6
	Río Biobío Bajo	69,8	42,8	65,2	69,8	69,8	69,8	69,9	69,8	69,8	69,8	69,8	69,8	67,2
	Río Biobío entre Río Duqueco y Río Vergara	8,5	8,2	8,0	8,3	10,5	11,2	11,4	10,8	10,4	10,2	10,0	9,3	9,7
	Río Biobío entre Río Ranguil y Río Duqueco	21,2	20,8	20,5	21,8	24,0	23,3	24,0	23,7	23,7	24,3	24,4	22,9	22,9
	Río Biobío entre Río Vergara y Río Laja	70,7	70,5	70,5	70,9	6,9	8,2	8,7	9,0	73,3	72,6	72,0	71,7	50,4
	Río Duqueco	16,2	15,6	15,1	19,6	34,1	35,4	35,0	30,4	30,6	24,8	23,0	19,6	24,9
	Río Laja Alto (hasta bajo junta Río Rucue)	7,2	6,6	6,4	7,4	11,2	12,2	11,7	10,3	10,1	9,5	8,9	8,9	9,2
	Río Renaico	8,0	6,5	6,2	7,3	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,2	8,1	7,8
	Ríos Malleco y Vergara	7,9	7,8	7,8	7,9	8,8	8,8	8,8	8,7	8,8	8,5	8,2	8,0	8,3
Subtotal		233,3	202,6	223,5	236,8	197,7	201,4	201,8	195,1	259,0	252,0	248,5	242,3	224,5
Total		240,9	210,3	231,2	244,4	205,4	209,0	209,5	202,7	266,7	259,7	256,1	250,0	232,1

Fuente: Elaboración Propia de acuerdo con la base de datos proporcionada por la DGA (Fecha: julio 2020)

4.4 Demanda minera y derechos

El estudio "Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad" (DGA, 2004), identificó 2 DAA con destino a la minería. Estas demandas mineras corresponden a los derechos de agua oficialmente otorgados a las empresas mineras, de acuerdo con lo indicado en la Tabla 31. No se encuentran estudios más recientes.

Tabla 31. Demandas mineras.

Nombre	Res.	Fecha	Fuente	Derechos (l/s)
Lavaderos de oro	830	12-11-41	Río Lonquimay	300
Lavaderos de oro	838	11-11-41	Río naranjo	500

Fuente: Elaboración propia

4.5 Demanda industrial y derechos

En base a lo informado por el CPA, los DAA destinados a un uso industrial en la cuenca suman una demanda de 153,6 m³/s. Este uso posee demandas comprometidas tanto

consuntivas como no consuntivas, de estas es el uso no consuntivo el que posee una mayor demanda de agua.

La Tabla 32 presenta la distribución de caudal expresado en m³/s tanto para usos consuntivos como no consuntivos diferenciando el ejercicio del derecho por cada subcuenca. De esta determinamos que para uso consuntivo el ejercicio permanente y continuo es el que posee la mayor demanda comprometida con un caudal de 48,2 m³/s y el ejercicio eventual y discontinuo el que posee la menor demanda comprometida con un valor de 0,9 m³/s.

Para usos no consuntivos es el ejercicio eventual y continuo quien posee la mayor demanda comprometida, con un valor de 51,2 m³/s y el ejercicio permanente y discontinuo el que posee la menor demanda comprometida siendo esta 1,7 m³/s. Los ejercicios eventual y discontinuo y permanente y discontinuo de uso consuntivo poseen demandas bajo la figura de DAA inferiores a 0,1 m³/s

A nivel de subcuenca se destaca Río Biobío entre Río Ranquil y Río Duqueco y Río Biobío entre Río Vergara y Río Laja con demandas comprometidas de 40,2 y 35,3 m³/s respectivamente.

Tabla 32. Distribución de la demanda bajo la figura de DAA, para ejercicio del derecho por subcuenca.

Subcuenca	Ejercicio del Derecho (m ³ /s)								Total
	CEC	CED	CPC	CPD	NCEC ²⁸	NCED ²⁹	NCPC ³⁰	NCPD ³¹	
Laja Bajo	2,5		2,1		1,0		8,5		14,1
Río Biobío (hasta después junta Río Lomin)		0,0	0,0		3,0		1,1		4,1
Río Biobío Bajo			6,3	0,0		0,0		0,0	6,3
Río Biobío entre Río Duqueco y Río Vergara			1,5		9,4	0,4	4,5	0,9	16,6
Río Biobío entre Río Ranquil y Río Duqueco			0,1		30,2	1,5	8,3	0,1	40,2
Río Biobío entre Río Vergara y Río Laja			32,3				2,9		35,3
Río Duqueco			0,4				8,9		9,3
Río Laja Alto (hasta bajo junta Río Rucue)			4,3		7,5	0,1	5,9		17,9
Río Renaico			0,8	1,3		0,3		0,7	3,0
Ríos Malleco y Vergara	0,2	0,9	0,4	2,0	0,1		3,2		6,8
Total	2,7	0,9	48,2	3,4	51,2	2,3	43,4	1,7	153,6

Fuente: Elaboración Propia de acuerdo con la base de datos proporcionada por la DGA (Fecha: julio 2020)

La Tabla 33 presenta la distribución de la demanda bajo la figura de DAA por su naturaleza. Observando esta tabla podemos determinar que cerca del 98% de la demanda comprometida pertenece a aguas superficiales, aun así, no hay una distribución equitativa de caudal entre las subcuencas, ya que hay 2 subcuencas que poseen una demanda inferior a 5 m³/s y 2 con una demanda superior a 30 m³/s. en tanto para la naturaleza subterránea, la subcuenca Río Biobío (hasta después junta Río Lomin) no posee demanda subterránea, y la subcuenca Río Biobío entre Río Vergara y río Laja posee la mayor demanda comprometida subterránea con un valor de 2 m³/s.

²⁸ NCEC= No Consuntivo, Eventual y Continuo

²⁹ NCED= No Consuntivo, Eventual y Discontinuo

³⁰ NCPC= No Consuntivo, Permanente y Continuo

³¹ NCPD= No Consuntivo, Permanente y Discontinuo

Tabla 33. Demanda bajo la figura de DAA distribuidos por su naturaleza para cada subcuenca.

Subcuenca	Naturaleza (m ³ /s)	
	Superficial	Subterránea
Laja Bajo	13,3	0,7
Río Biobío (hasta después junta Río Lomin)	4,1	
Río Biobío Bajo	6,0	0,4
Río Biobío entre Río Duqueco y Río Vergara	16,5	0,1
Río Biobío entre Río Ranquil y Río Duqueco	40,1	0,1
Río Biobío entre Río Vergara y Río Laja	33,3	2,0
Río Duqueco	9,0	0,3
Río Laja Alto (hasta bajo junta Río Rucue)	17,8	0,0
Río Renaico	3,0	0,0
Ríos Malleco y Vergara	6,5	0,3
Total	149,8	3,9

Fuente: Elaboración Propia de acuerdo con la base de datos proporcionada por la DGA (Fecha: julio 2020)

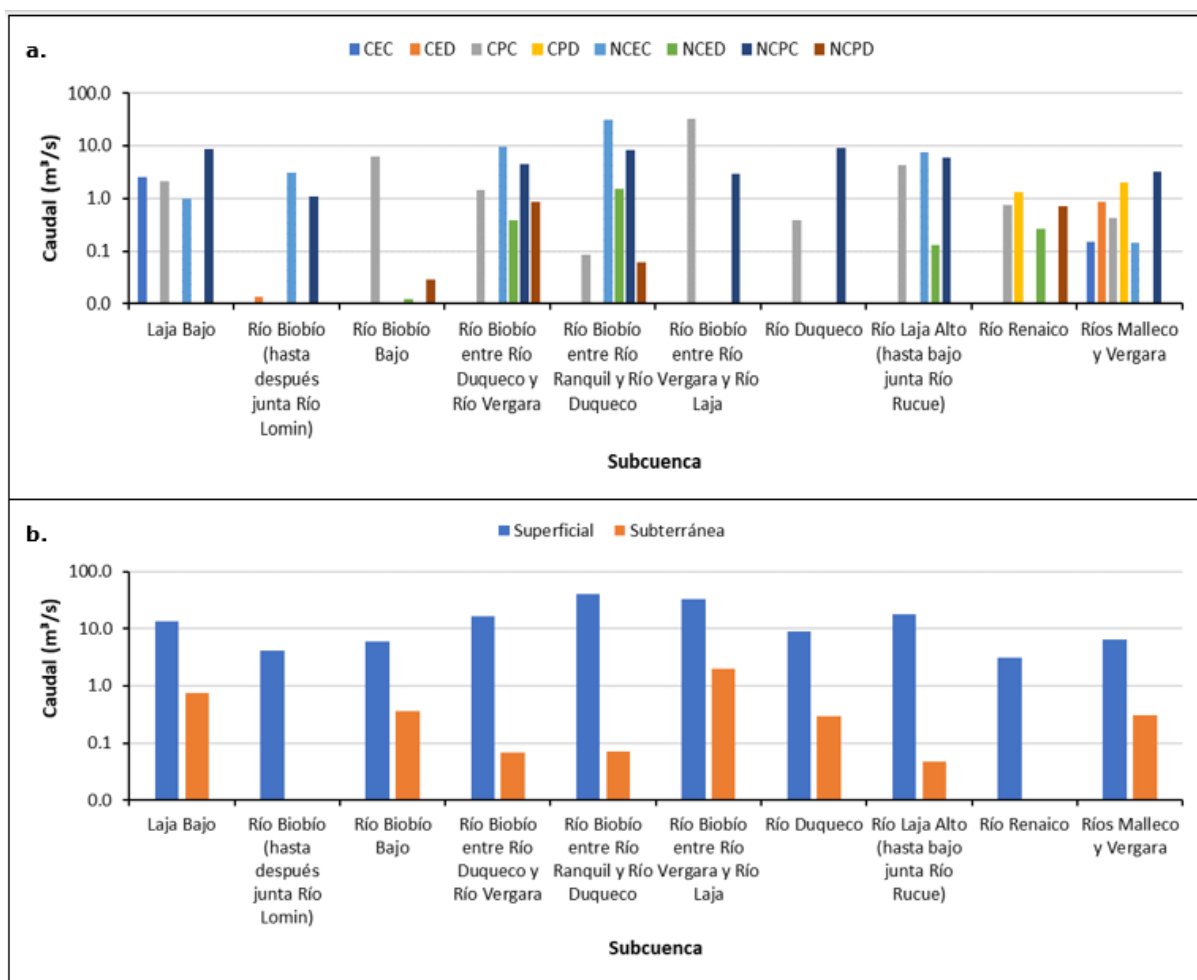
La Figura 31 presenta el caudal bajo la figura de DAA expresado en m³/s para ejercicio del derecho y naturaleza del agua distribuidos por subcuenca. En Figura 31 a se presenta la demanda por ejercicio del derecho, de esta destacamos que la subcuenca Río Malleco y Vergara posee demandas de ejercicio eventual/permanente y continuo/discontinuo. También se destaca que el ejercicio consuntivo, permanente y continuo se presenta en todas las subcuencas, a diferencia del ejercicio consuntivo, eventual y discontinuo y el consuntivo eventual continuo que se presentan en solo 2 subcuencas.

En Figura 31 b se presentan las demandas de acuerdo con su naturaleza distribuidos por subcuenca. De esta se observa que la demanda comprometida de naturaleza superficial es mucho mayor que la subterránea.

Para realizar el análisis de distribución mensual de demandas bajo la figura de DAA no se consideraron los datos que poseen acciones, ya que estas se presentan de forma anual y no mensual, por lo que para este análisis se consideró una base de datos con 5.523 DAA, de estos 334 derechos corresponden a uso industrial, y poseen un caudal medio anual de 121,4 m³/s.

La Tabla 34 presenta la demanda media mensual expresada en m³/s distribuida por naturaleza, determinando que para naturaleza subterránea posee una demanda comprometida mensual homogénea, a diferencia de la naturaleza superficial, la cual posee una demanda variable que va desde 54 m³/s a 175,9 m³/s. el mes de julio posee la mayor demanda bajo la figura de DAA, superficial y total con 175,9 m³/s y 179,8 m³/s respectivamente.

La Tabla 35 presenta la distribución mensual de caudal bajo la figura de DAA expresado en m³/s para ejercicio del derecho. Para el mes de julio se presenta la mayor demanda para ejercicio no consuntivo, eventual y continuo al igual que el promedio anual. A esta le sigue el ejercicio no consuntivo permanente y discontinuo con una demanda de 43,4 m³/s. De esta podemos determinar que en el mes de julio existe la mayor demanda comprometida en la cuenca con un caudal de 82,3 m³/s el cual corresponde a un ejercicio no consuntivo eventual y continuo.



Fuente: Elaboración Propia de acuerdo con la base de datos proporcionada por la DGA (Fecha: julio 2020)

Figura 31. Distribución de caudal bajo la figura de DAA (m³/s) a nivel de subcuenca; a. Demanda comprometida por ejercicio del derecho; b. Demanda comprometida por naturaleza.

La Tabla 36 presenta la demanda comprometida mensual por naturaleza y subcuenca. De esta tabla podemos determinar que para naturaleza subterránea la demanda posee una distribución mensual homogénea, destacando entre las subcuencas, Río Biobío entre Río Vergara y Río Laja con la mayor demanda comprometida siendo esta 2 m³/s, le sigue la subcuenca Laja Bajo con un caudal de 0,7 m³/s. Para la naturaleza superficial existe una distribución mensual más variable, destacando que el mes de julio es quien posee una mayor demanda comprometida siendo esta 175,9 m³/s. De acuerdo con las demandas comprometidas mensuales se destaca la subcuenca Río Biobío entre Río Ranquil y Río Duqueco con una demanda comprometida entre 10 y 63 m³/s, presentando el caudal más alto en junio con un valor de 62,9 m³/s.

Tabla 34. Demanda de agua (m³/s) mensual distribuido de acuerdo con su naturaleza.

Naturaleza	Cmr												Promedio Anual
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
Superficial	71,3	58,3	54,0	76,3	133,8	171,1	175,9	161,8	139,8	136,7	125,2	106,1	117,5
Subterránea	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9
Total	75,2	62,2	57,9	80,2	137,7	175,0	179,8	165,7	143,7	140,6	129,1	110,0	121,4

Fuente: Elaboración Propia de acuerdo con la base de datos proporcionada por la DGA (Fecha: julio 2020)

Tabla 35. Demanda de agua (m³/s) mensual distribuido por el ejercicio del derecho.

Ejercicio del Derecho	Cmr												Promedio Anual
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
CEC	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7
CED	3,4	0,0	0,0	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,5	0,9
CPC	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9	15,9
CPD	0,0	0,0	0,0	0,0	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	2,0	3,4
NCEC	24,8	18,2	15,6	30,2	68,0	81,5	82,3	72,4	59,8	58,9	54,7	48,4	51,2
NCED	2,3	2,1	1,9	3,7	2,6	2,1	2,5	0,0	1,1	2,8	3,7	3,2	2,3
NCPC	25,7	23,2	21,9	24,1	42,2	65,3	66,2	61,8	57,5	53,6	45,5	33,2	43,4
NCPD	0,5	0,1	0,0	0,0	0,8	2,0	4,7	7,4	1,2	1,1	1,1	1,0	1,7
Total	75,2	62,2	57,9	80,2	137,7	175,0	179,8	165,7	143,7	140,6	129,1	110,0	121,4

Fuente: Elaboración Propia de acuerdo con la base de datos proporcionada por la DGA (Fecha: julio 2020)

Tabla 36. Caudal medio mensual (m³/s) distribuido por subcuenca de acuerdo con su naturaleza.

Natural eza	Subcuenca	Cmr												Promedio Anual
		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
Subterránea	Laja Bajo	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
	Río Biobío Bajo	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
	Río Biobío entre Río Duqueco y Río Vergara	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	Río Biobío entre Río Ranquil y Río Duqueco	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	Río Biobío entre Río Vergara y Río Laja	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
	Río Duqueco	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
	Río Laja Alto (hasta bajo junta Río Rucue)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Río Renaico	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Ríos Malleco y Vergara	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Subtotal		3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9
Superficial	Laja Bajo	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0
	Río Biobío (hasta después junta Río Lomin)	1,8	1,6	1,3	1,3	3,8	6,6	6,4	6,0	4,2	5,5	5,9	4,7	4,1
	Río Biobío Bajo	6,0	5,9	5,9	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
	Río Biobío entre Río Duqueco y Río Vergara	5,2	4,6	4,5	6,1	18,7	33,4	38,4	34,5	20,9	14,9	10,2	7,3	16,5
	Río Biobío entre Río Ranquil y Río Duqueco	20,3	13,3	11,2	19,4	46,6	62,9	62,0	55,3	50,4	53,1	47,0	39,6	40,1
	Río Biobío entre Río Vergara y Río Laja	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1
	Río Duqueco	3,6	2,6	2,0	2,8	12,2	15,6	16,4	13,5	11,8	10,8	9,8	6,8	9,0
	Río Laja Alto (hasta bajo junta Río Rucue)	7,7	7,1	6,2	13,8	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,4	12,9	14,2
	Río Renaico	1,7	1,6	1,4	1,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7	3,0
	Ríos Malleco y Vergara	6,9	3,4	3,5	7,0	7,2	7,3	7,4	7,3	7,2	7,1	7,0	7,0	6,5
Subtotal		71,3	58,3	54,0	76,3	133,8	171,1	175,9	161,8	139,8	136,7	125,2	106,1	117,5
Total		75,2	62,2	57,9	80,2	137,7	175,0	179,8	165,7	143,7	140,6	129,1	110,0	121,4

Fuente: Elaboración Propia de acuerdo con la base de datos proporcionada por la DGA (Fecha: julio 2020)

4.5.1 Demanda hidroeléctrica

Para efectos de la modelación en WEAP se analizó la demanda de derechos de aprovechamiento no consuntivo de las centrales El Toro, Ralco, Pangue y Angostura y se verificó que la descarga de estas se encuentra modelada (e.g. El Toro) o que la descarga se encuentra dentro de la misma unidad hidrológica que la bocatoma, por tanto, para el paso de tiempo del modelo (mensual) y al estar la toma y restitución dentro de la misma cuenca, no se modelaron estas demandas.

4.6 Proyecciones de demanda

Para las proyecciones de demanda se utilizó como referencia el estudio “Estimación de la demanda actual, proyecciones futuras y caracterización de la calidad de los recursos hídricos en Chile” elaborado por DGA (2017). En este estudio se realiza una caracterización de la demanda actual para todo Chile diferenciándola por demanda de agua de uso consuntivo para agua potable urbano, agua potable rural, agrícola, pecuario, minero, industrial y de generación eléctrica; no consuntivo de demanda acuícola y de generación eléctrica; y demanda de tipo evapotranspirativo para el sector secano, forestal-productivo y forestal no productivo. Del mismo modo, se hace una proyección de la demanda a 2030 y 2040. La Tabla 37 muestra los resultados obtenidos de dicho estudio para la región del Biobío, a partir del cual se puede determinar una tasa de crecimiento de la demanda. Finalmente, en el modelo desarrollado se puede consultar la tasa de crecimiento de esta demanda.

Tabla 37. Caracterización de la demanda actual y futura para la región del Biobío.

Año	Demanda (Mm³/año)		
	2015	2030	2040
Agua Potable Urbano	100.744	108.604	112.385
Agua Potable Rural	12.189	15.812	16.203
Agrícola	475.978	432.803	416.301
Pecuario	2.117	2.152	1.836
Minero	31	34	32
Industrial	350.47	423.289	544.534
Generación Eléctrica	194.4	172.53	183.951
TOTAL CONSUNTIVO	1.135.928	1.155.224	1.275.241
Acuícola	5.110.805	4.060.730	1.144.837
Generación Eléctrica	21.389.400	39.215.317	39.592.590
TOTAL NO CONSUNTIVO	26.500.204	43.276.046	40.737.428
Secano	4.449.759	4.099.545	3.956.278
Forestal (Productivo)	11.981.592	12.264.590	12.675.364
Forestal (No Productivo)	5.545.127	5.480.044	5.449.901
TOTAL EVAPOTRANSPIRATIVO	21.976.479	21.844.179	22.081.543

Fuente: Estimación de la demanda actual, proyecciones futuras y caracterización de la calidad de los recursos hídricos en Chile, DGA (2017)

Las proyecciones de la demanda fueron calculadas de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$r = \left(\frac{N^f}{N^i} \right)^{\frac{1}{k}} - 1$$

Usando como base los datos de demanda expuestos en la Tabla 37, se tiene un $N^f=1275241$, $N^i=1135928$ y $k= 25$, resultan en 12.3% de cambio en 25 años, un 0.464% de cambio anual y un 0.039% de cambio mensual.

5 OFERTA HÍDRICA

Este capítulo tiene como objetivo caracterizar la oferta tanto de las aguas superficiales como de las subterráneas. Se analizan las características del sistema hidrológico superficial de la red de drenaje de la cuenca y antecedentes de restricción y de reserva. Se caracteriza la oferta de recursos hídricos para diferentes probabilidades de ocurrencia y los valores proyectados has el 2050. En aguas subterráneas se caracterizan los principales sistemas hidrogeológicos, los acuíferos definidos, los sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común y se identifica el stock, la recarga y los niveles freáticos observados. Se analiza la calidad de las aguas superficiales y subterráneas y finalmente se cuantifican los DAA concedidos (superficiales y subterráneos) de acuerdo con los registros disponibles desde la DGA.

5.1 Agua superficial

5.1.1 Fuentes

Se presenta una caracterización del sistema hidrológico-superficial de la cuenca del río Biobío considerando el régimen natural y alteraciones antropogénicas.

El río Biobío es uno de los ríos más importantes del centro-sur de Chile debido a su extensión (longitud = 448 km y cuenca³² = 24.268 km²) y a las actividades económicas que se desarrollan tanto en el río, como en su entorno. Entre estas se identifican actividades industriales (centrales hidroeléctricas, pisciculturas y agricultura, entre otras) y de esparcimiento o turismo (e.g. pesca, rafting).

El río Biobío posee las características propias de los principales ríos de la zona central de Chile, que consiste en un río principal que cruza la cordillera de la Costa a través de un valle estrecho, que se desarrolla entre San Rosendo y Concepción. Aguas arriba de San Rosendo el río recibe una serie de afluentes que se reúnen debido al control geológico de la Cordillera de la Costa. Los afluentes principales del río Biobío son los ríos Laja, Huaqui y Duqueco por el Norte y los ríos Vergara y Bureo por el sur (Figura 32).

El río nace de las lagunas Icalma y Galletué en una zona de altas elevaciones (> 1.000 m.s.n.m). En esta zona el río discurre en dirección norte a través de zonas volcánicas y de altas pendientes recibiendo aportes de los ríos Lonquimay y Rahue. El río Lonquimay recibe el aporte de glaciares de Sierra Nevada. Hacia aguas abajo se encuentra la zona denominada Alto Biobío, donde se incorporan aportes de los tributarios como los ríos Ranquil, Llanquén, Villucura, Ralco, Pangue y Queuco, entre otros. En esta zona se registran las primeras alteraciones antropogénicas sobre el río, las centrales Ralco y Pangue, las cuales generan una regulación y laminación intraanual de los caudales (DGA, 2004). Hacia aguas abajo, en la zona pre-andina, el río se dirige en dirección noroeste y va recibiendo aportes provenientes de los ríos Vergara, Mininco, Huaqui, Bureo, y Duqueco. En esta zona se registra una mayor actividad forestal y de riego, con un aumento de embalses de menor envergadura desarrollados principalmente para riego y con la presencia de canales (e.g. Canal Biobío Sur). Luego, hacia aguas abajo, ya en el Valle Central y antes de atravesar la cordillera de la costa, se incorpora

³² Hasta la estación fluviométrica río Biobío en Desembocadura.

102



a) Estado de restricciones al uso del agua

Decretos de sequía o escasez hídrica:

- En enero del 2014 y hasta el 08 de julio de ese mismo año, se declaró zona de escasez la cuenca del río Laja debido a una afectación de una sequía de carácter extraordinaria (Decreto Supremo N° 18, 2014) (Decreto de escasez por artículo 314, caso de sequía extraordinaria).

Declaración de agotamiento:

- Según los registros disponibles en el sitio web de la DGA, el río Laja fue el primer río en Chile en declararse agotado. El cual, por medio del Decreto Supremo N° 1898, en 1952, declaró agotado el caudal de río Laja y sus afluentes, entre sus nacientes y la bocatoma del canal Siberia.

b) Decretos de reserva hídrica

En la cuenca del río Biobío, en octubre de año 2009, por indicaciones de la presidenta de la República, por medio de Decreto Supremo N° 1789, se estableció caudal de Reserva para el abastecimiento de la población en la cuenca del río Queuco, Región del Biobío.

El caudal reservado equivale a 2,2 m³/s de ejercicio eventual discontinuo en los meses de mayo, julio, agosto, septiembre, octubre y noviembre (DGA, 2009).

5.1.2 Oferta en la fuente

En la cuenca del Biobío se ha registrado un déficit de precipitaciones. Desde 2010 se ha producido una secuencia ininterrumpida de años secos, con déficits anuales de lluvia que varían entre 25 y 45 %, la cual ha prevalecido en el centro de Chile (30-38° S) (Garreaud et al., 2017, 2020). Sin embargo, de acuerdo con los antecedentes disponibles, la única subcuenca que se ha visto afectada por problemas de disponibilidad de agua es la cuenca del río Laja (Díaz Arellano et al., 2018).

En el Apéndice H-4 del Anexo – H se muestran los resultados obtenidos para el cálculo de la oferta de la fuente derivado a partir del cálculo de probabilidades de excedencia de la muestra (registros fluviométricos obtenidos del sitio web de la DGA). Se presentan curvas de duración de los caudales medios mensuales obtenidas a partir de registros fluviométricos de estaciones ubicadas dentro de la cuenca del río Biobío y se presentan los resultados para el modelo calibrado incluyendo series de caudales medios mensuales, variación estacional, caudales medios anuales y curvas de duración. A modo de resumen, la Figura 33 muestra caudales de 5, 50 y 95% de probabilidad de excedencia de oferta en la fuente, estimados para el río Biobío en desembocadura y para el río Laja en Tucapel. En Apéndice H4 de Anexo H se muestran las probabilidades para todas las subcuencas.

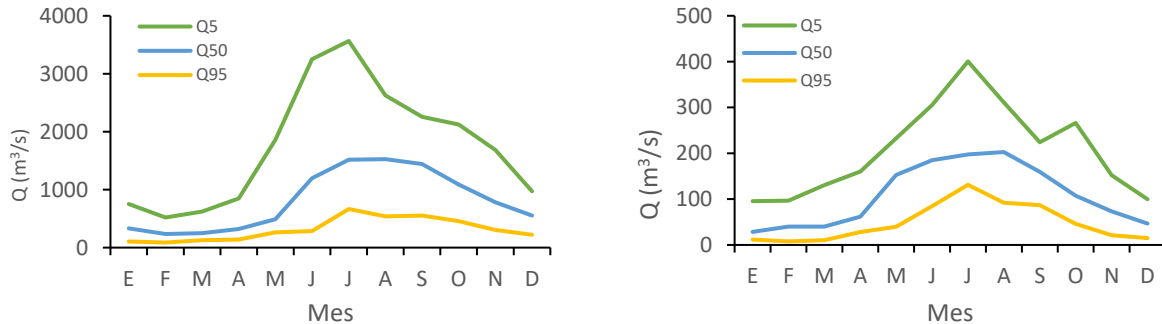


Figura 33. Caudales (m^3/s) de 5, 50 y 95% de probabilidad de excedencia en río Biobío en desembocadura (izq) y río Laja en Tucapel (der).

En el Apéndice H-4 del Anexo H se muestra la variación estacional de los caudales medios mensuales para las estaciones fluviométricas ubicadas en la cuenca junto con la variación estacional de la precipitación y temperatura para cada subcuenca de la cuenca del Río Biobío. Se observa que el período lluvioso corresponde a los meses de mayo, junio, julio y agosto, donde se registran las mayores precipitaciones, junto con las menores temperaturas, y que, para los meses estivales de diciembre, enero, febrero y marzo, las precipitaciones son mínimas y se registran las mayores temperaturas. Los caudales de las subcuencas del Biobío, en su mayoría poseen un régimen pluvial dado que los caudales responden directamente a la precipitación, su variación estacional muestra mayores caudales en períodos lluviosos. Del mismo modo, en estiaje las precipitaciones son mínimas, al igual que los caudales. Del mismo modo, se observa que las cuencas ubicadas a mayor elevación (e.g. río Polcura en Cuatro Juntas hasta río Biobío antes Junta Pangué, incluyendo río Biobío en la Culebra) presentan un régimen hidrológico pluvio-nival en donde caudales asociados a derretimiento de nieve se mantienen hasta diciembre. Estos caudales luego decrecen asociados a la temporada de estiaje.

Al contrastar los registros de caudales con precipitaciones, temperatura y evapotranspiración potencial, se observa que las cuencas ubicadas en la zona baja de la cuenca del río Biobío registran una variación estacional con temperaturas mayores en comparación con las subcuencas ubicadas en la zona alta de la cuenca del río Biobío para períodos equivalentes.

Las figuras de variación estacional de precipitaciones y temperatura muestran las subcuencas ordenadas en función a la elevación de la estación de control fluviométrico. En ella se observa que las precipitaciones en la zona baja de la cuenca varían entre 1.000 y 2.000 mm/año aproximadamente, y tienden a ser menores que las precipitaciones registradas en la zona alta de la cuenca, donde se registran aproximadamente entre 1.750 y 2.500 mm/año. Por otra parte, la temperatura y evapotranspiración en las subcuencas altas del río Biobío son menores que las registradas en la zona baja de la cuenca, lo que responde a los patrones de temperatura antes descritos. Adicionalmente, se observa que en subcuencas ubicadas en la zona alta de la cuenca del Biobío se registran mayores precipitaciones, junto con menores temperaturas, cercanas a $0^{\circ}C$, y una evapotranspiración menor, en comparación a la parte baja de la cuenca del río Biobío.

La estación Río Biobío en Angostura Ralco 1, dada su ubicación aguas abajo del embalse Ralco registra caudales medios mensuales que son controlados por dicho embalse y no obedecen a un régimen hidrológico natural.

La subcuenca de Río Biobío Ante Junta Huir Huir (aguas arriba del embalse Pangue) tiene un comportamiento similar a la subcuenca Río Biobío Ante Junta Pangue (aguas abajo embalse Pangue), ambas de régimen nivo-pluvial, aunque con diferentes valores. Este comportamiento se explica porque el embalse Pangue opera a niveles constantes la mayor parte del tiempo, por lo que deja pasar la onda afluente correspondiente al efluente de Ralco (embalse aguas arriba respecto de Pangue). Lo anterior sugiere que el embalse Pangue no tendría un efecto regulador sobre los caudales.

La subcuenca de Río Biobío en Rucalhue, ubicada aguas abajo del embalse Angostura, posee una variación estacional pluvio-nival, la cual representa el flujo del Río Biobío junto con los aportes del Río Quilme, este último tiene un régimen natural, sin intervención en su extensión.

Las subcuencas del río Biobío, a excepción de las mencionadas en la zona alta de la cuenca, en general presentan un régimen hidrológico pluvial, con crecidas en los meses de junio a agosto, asociadas a las precipitaciones invernales y caudales bajos en los meses de verano. Entre ellas, la subcuenca del río Rucue, que, junto a los caudales descargados por la central Antuco, antes de la junta con el Laja, contribuyen a la Central Rucue.

La subcuenca de Río Lirquén en Cerro el Padre no presenta mayores intervenciones que afecten su régimen natural. Río Biobío en La Culebra se ubica aguas abajo del embalse Pangue por lo que sus caudales se podrían ver afectados por el embalse Pangue.

En la Figura 34 se presenta la tendencia de las variables hidroclimáticas de las subcuencas con control fluviométrico del río Biobío. En los caudales se observa una tendencia desordenada, la cual se atribuye a las alteraciones antropogénicas realizadas en la cuenca y a que la serie temporal en algunas cuencas no es lo suficientemente extensa.

El régimen pluvial de la subcuenca Río Laja en Tucapel se encuentra afectada por la regulación natural y operación del Lago Laja. En la Figura 35, para dicha subcuenca los caudales muestran una tendencia decreciente, lo cual se asocia probablemente a la intervención de extracciones para regadío y tendencia de las precipitaciones.

En la subcuenca Río Huequecura, aguas arriba de Embalse Angostura, se tienen los ríos Huequecura, que aporta caudal al canal Las Hilachas, y río Canicura que aporta caudal al Canal Los Notros. Aguas abajo del Embalse Angostura, la estación Río Biobío en Puente Piulo registra los caudales provenientes del embalse Angostura.

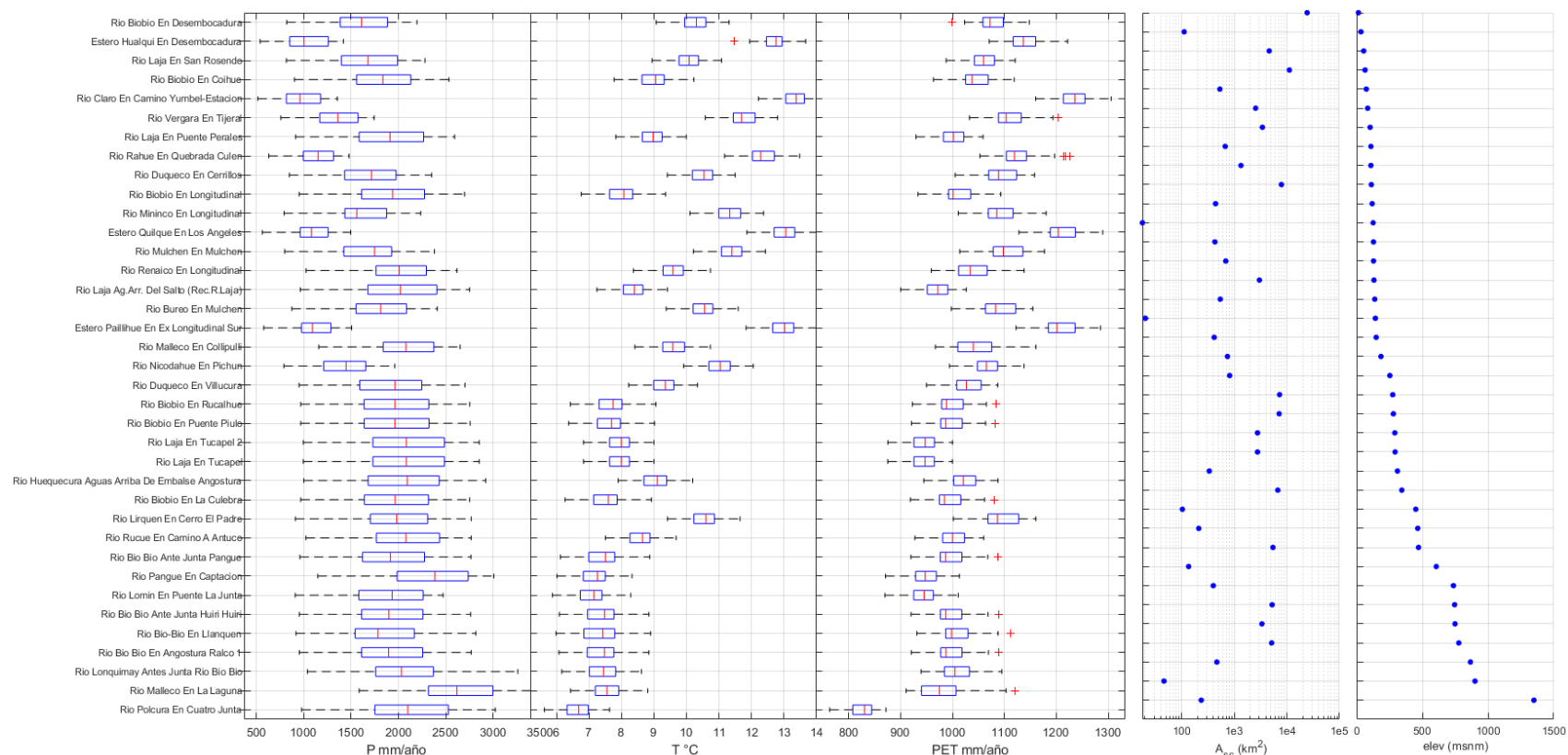
El régimen hidrológico de la subcuenca Río Laja Aguas Arriba Del Salto se ubica aguas abajo de las bocatomas de los canales Laja-Diguillín, Laja Sur y Zañartu, por lo que los registros de caudales muestran una influencia antropogénica asociada a dichas alteraciones.

Para efectos de modelación hidrológica, y en particular, para desarrollar el proceso de calibración y validación de un modelo semi-distribuido, es necesario evaluar la disponibilidad y calidad de la información fluviométrica disponible en la cuenca. La Figura 36 muestra la cantidad de registros de caudales medios mensuales entre los años 1985 y 2016 para 37

estaciones fluviométricas de la cuenca del río Biobío. En la figura se observa que un tercio de las estaciones poseen 35 % del tiempo o menos con registros fluviométricos. Por otra parte, 16 estaciones poseen sobre un 70% de registros en dicho período.

Una cantidad mínima necesaria de información para efectuar la calibración y validación de un modelo hidrológico es 10 años de registros continuos (Harlin, 1991; Parra et al., 2018). Por lo tanto, para seleccionar las subcuencas a modelar del proyecto se considera disponer de series de caudales medios mensuales, de al menos 10 años de registros (5 años para calibración y 5 años para validación). Cabe comentar que los registros de caudal para calibración deben ser continuos, al igual que los registros para validación.

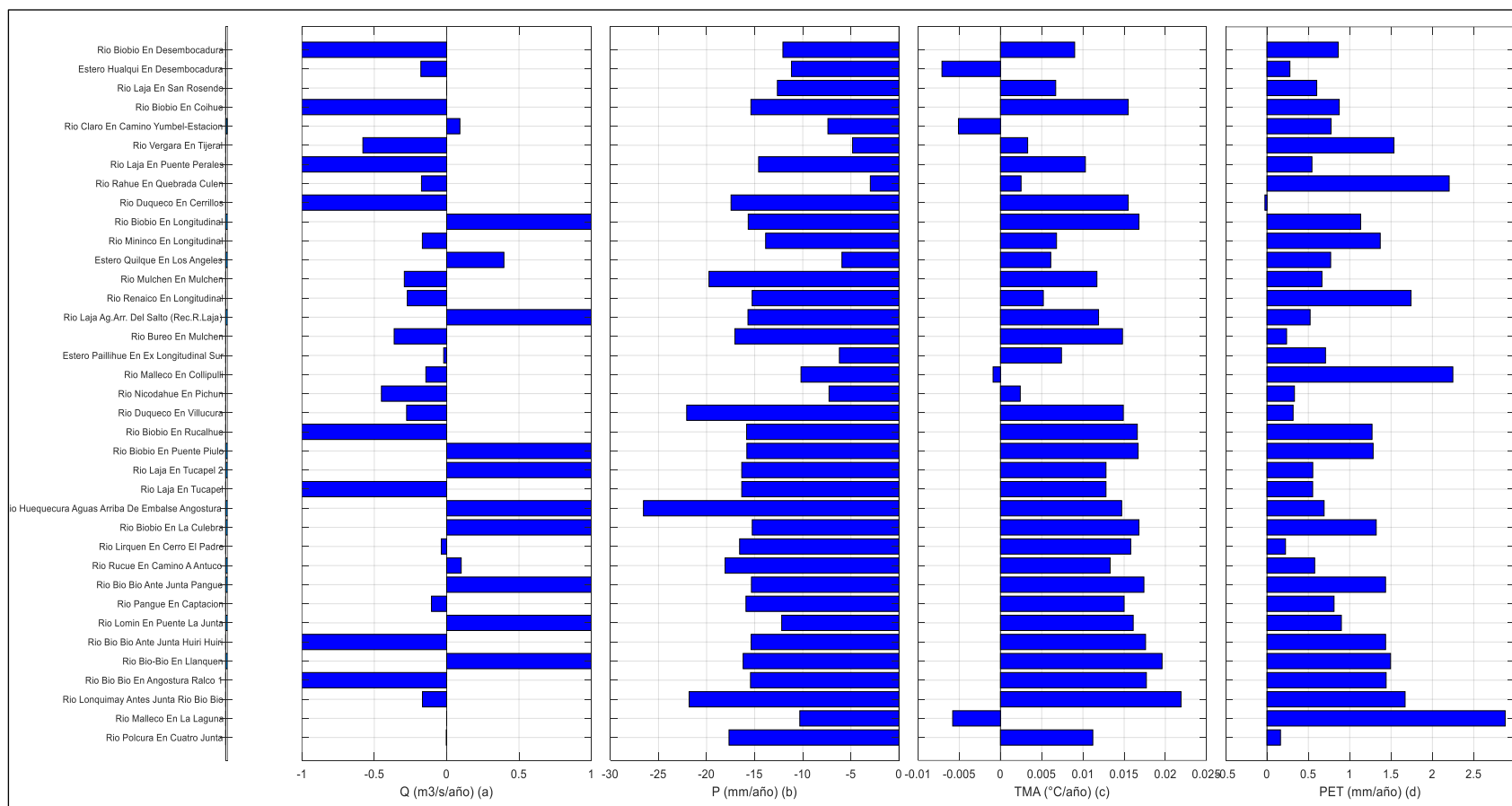
Considerando este criterio 12 estaciones no cumplen con los registros mínimos y una no posee registros continuos por al menos 5 años, mientras que 24 estaciones satisfacen dicho criterio, superando al menos un 43 % de registros en el período.



Fuente: Elaboración propia

Figura 34. Gráficos de caja de valores medios anuales de precipitación (a), temperatura (b), evapotranspiración potencial (c), área (d) y elevación (e) de sub-cuencas del río Biobío. Las sub-cuencas se presentan en función de la elevación de la estación de control fluviométrico, desde aquellas que se encuentran a una mayor elevación en el extremo inferior a aquellas que se encuentran a una menor elevación en el extremo superior³³.

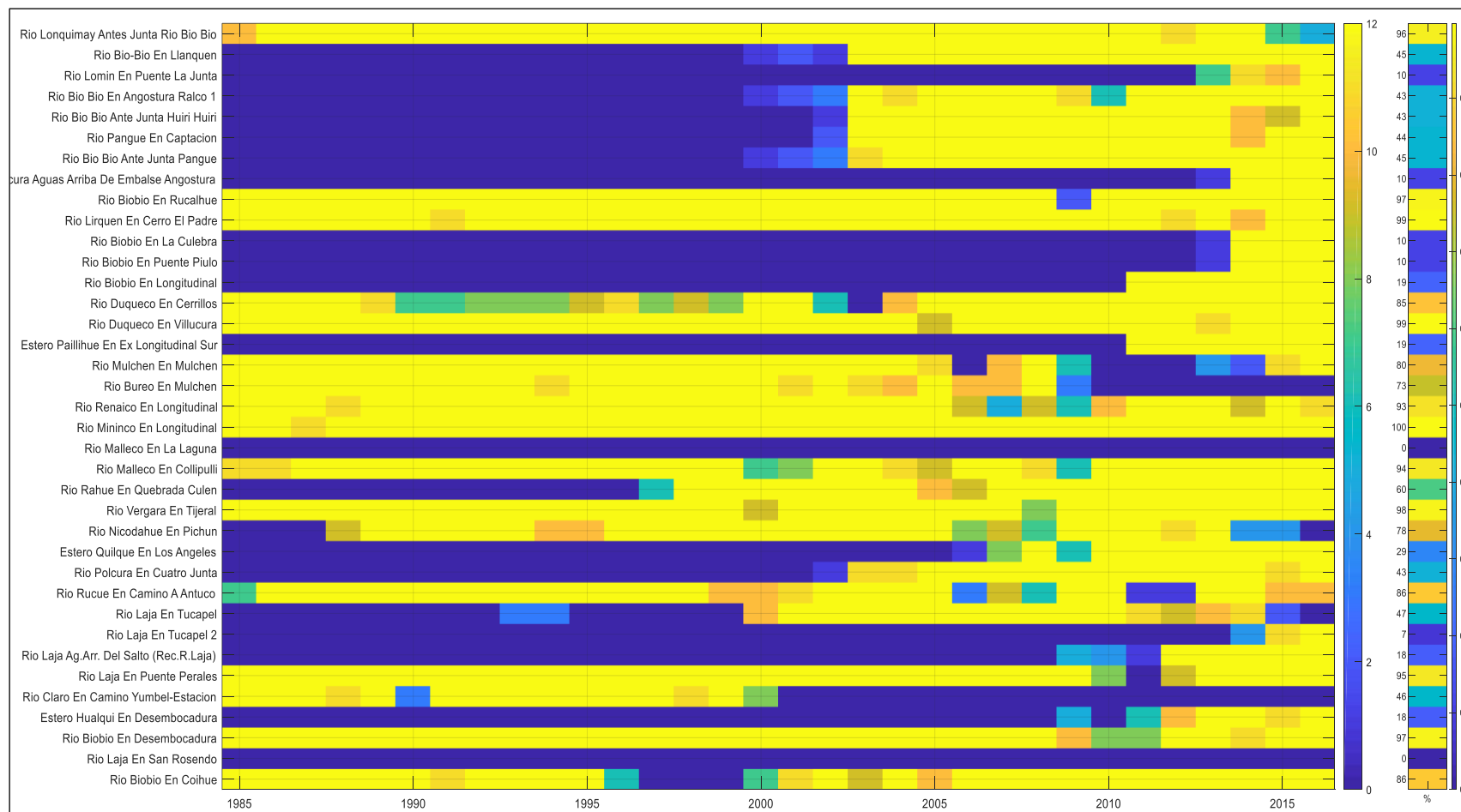
³³ Gráficos generados con datos continuos interpolados para cada cuenca del periodo 1985-2016.



Fuente: Elaboración propia

Figura 35. Tasa de tendencia de las variables hidroclimáticas de subcuencas del río Biobío³⁴.

³⁴ Gráficos de P, TMA y PET generados con datos continuos interpolaos para cada cuenca del periodo 1985-2016. Gráficos de Q generados con registros de caudales disponibles dentro del periodo 1985 – 2016.



Fuente: Elaboración propia

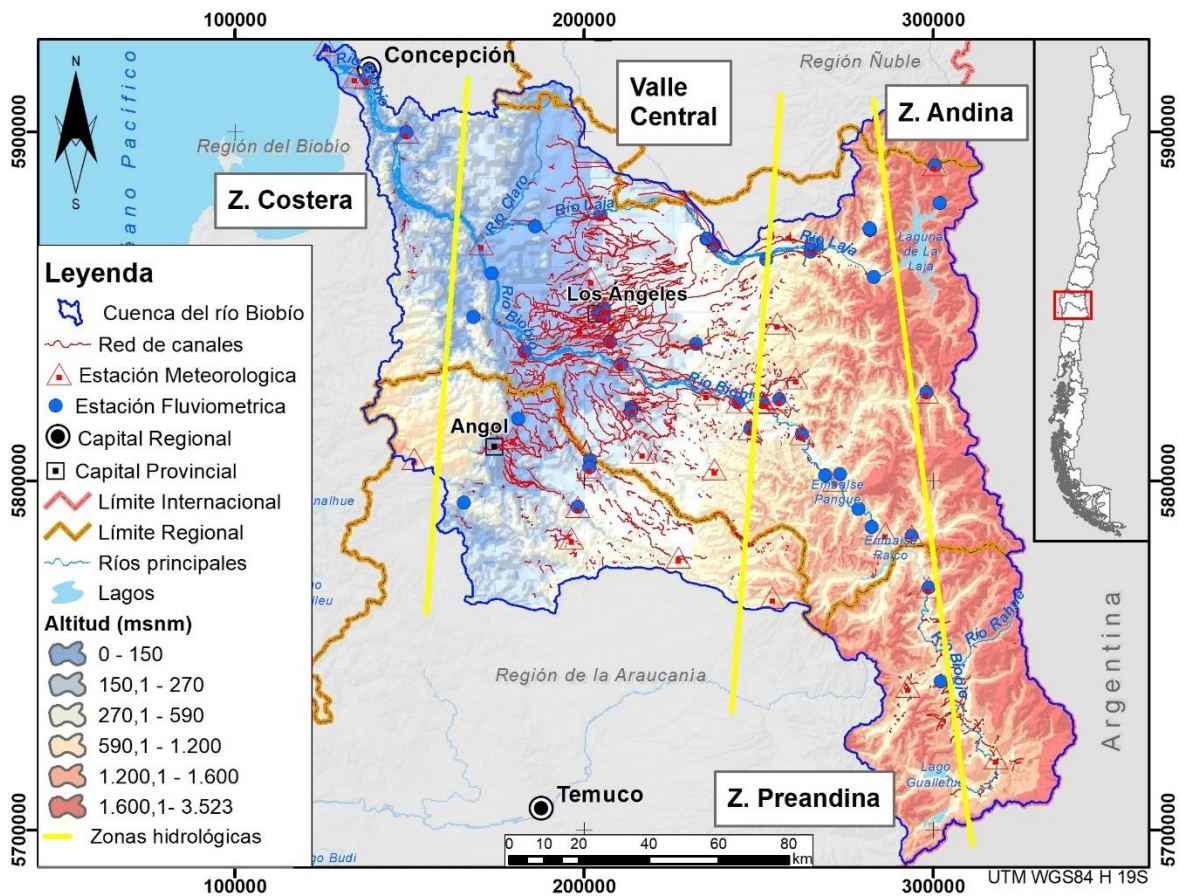
Figura 36. Cantidad de registros fluviométricos mensuales por año y por estación de la cuenca del Biobío (izquierda) y porcentaje de tiempo con registros mensuales disponibles para el período 1985-2016 (derecha).

Régimen hidrológico

Debido a la influencia de las unidades morfológicas existentes sobre la precipitación pluvial y/o nival, el comportamiento hidrológico del río Biobío y sus tributarios es diferente a lo largo de la cuenca. Con el propósito de caracterizar las variaciones de caudal, se identifican 4 zonas hidrológicas: Zona Andina, Zona Pre-andina, Valle Central y Zona Costera (Figura 37). Esta diferenciación se realizó en base a los resultados de la clasificación hidrológica realizada por Daza et al. (2017) y Riffo et al. (2017), junto con aspectos topográficos y gradientes de la cuenca.

La Zona Andina es una zona de alturas sobre los 1.000 a 1.500 m.s.n.m lo que produce un clima de tundra. Las precipitaciones sobrepasan los 2.000 mm anuales y las bajas temperaturas permiten el desarrollo de nieves permanentes en las alturas de la cordillera. A menor altura (entre los 300 y 1.000 m.s.n.m), la Zona Pre-andina presenta un clima templado frío lluvioso con influencia mediterránea y las precipitaciones llegan a los 2.100 mm anuales. En el Valle Central las alturas sobrepasan los 200 m.s.n.m. El clima es templado cálido lluvioso con influencia mediterránea y las precipitaciones anuales llegan a los 1.300 mm. Finalmente, en la Zona Costera las alturas varían entre los 10 y 50 m.s.n.m en la planicie litoral y sobrepasan los 1.000 m.s.n.m en la Cordillera de la Costa. El clima se considera templado cálido con lluvias invernales y gran humedad atmosférica. Las precipitaciones en esta zona pueden llegar hasta los 2.000 mm anuales (DGA, 2004).

En la zona alta de la cuenca del río Biobío (Zona Andina y Pre-andina) se tiene un régimen nival y pluvio-nival con caudales de crecida asociados a la precipitación invernal (junio, julio, agosto) y con caudales asociados a la acumulación y derretimiento de nieve hasta enero aproximadamente (e.g. Biobío en Rucalhue. Para mayor detalle ver figuras de curvas de variación estacional en Apéndice H-4 del Anexo H). La influencia nival disminuye hacia aguas abajo (Valle Central y Zona Costera) pasando a un régimen con un claro predominio de los procesos de precipitación-escorrentía dada la mayor proporción de superficie de cuenca en donde predominan estos procesos (e.g. Biobío en Desembocadura).

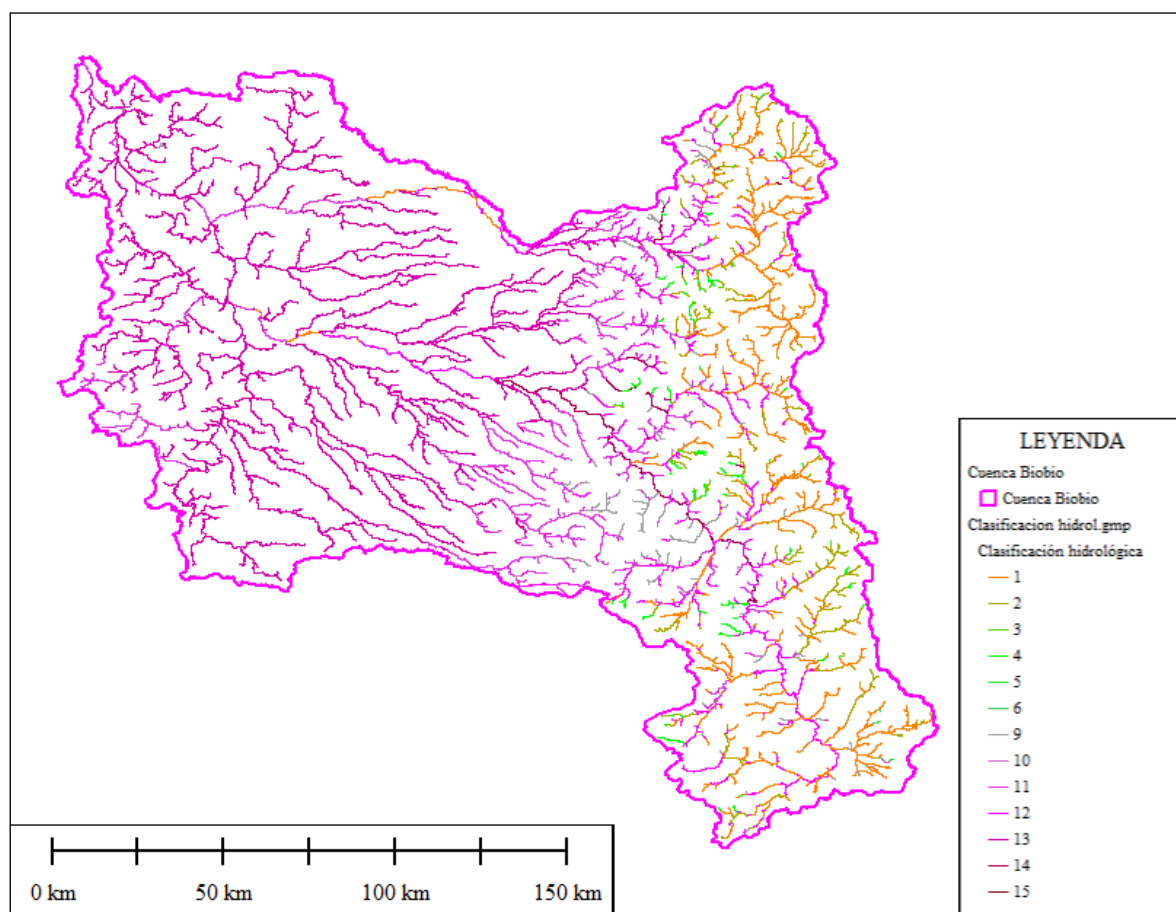


Fuente: Elaboración propia

Figura 37. Zonas hidrológicas dentro de la cuenca. Las líneas amarillas representan de manera conceptual la separación de las tres grandes zonas descritas.

Riffo et al. (2017) y Daza et al. (2017) realizaron una clasificación hidrológica para todos los ríos de Chile considerando tanto variables hidrológicas, como climáticas, físicas y de usos del suelo, entre otras. Combinando aspectos climáticos (precipitación y temperatura), geomorfológicos (geología, morfología, sinuosidad, ancho de los ríos, pendiente de laderas, etc.), de usos del suelo (praderas, suelo descubierto, plantaciones forestales, bosque nativo, etc.) y aspectos hidrológicos (magnitud de caudales medios, caudales extremos, variabilidad de caudales, etc.) determinaron una clasificación hidrológica la cual agrupa ríos con comportamientos y características similares. La Figura 38 muestra esta clasificación hidrológica, la cual responde a un gradiente geológico y morfológico similar a la separación indicada en la Figura 37 (Zona Andina, Pre-andina, Valle Central y Zona Costera) y al descrito en relación con la variación de los regímenes hidrológicos desde la cabecera de la cuenca hacia aguas abajo. En general se observa que, en la cabecera de la cuenca, donde se tienen las mayores elevaciones, una geología volcánica y precipitaciones de tipo pluvial y nival se tiene una clase. En las zonas más bajas (Pre-andina) se tiene una clase diferente asociada a precipitaciones pluviales y consecuentemente un aumento de caudales pluviales, hasta la zona del valle central y costera, en donde la geología es sedimentaria (Valle Central) e intrusivas y metamórficas (Zona Costera) donde en ambos casos se tiene un marcado régimen hidrológico pluvial asociado a precipitaciones sólo de tipo pluvial. Esta

clasificación permite agrupar aquellos ríos que tienen un comportamiento hidrológico y patrones climáticos similares, por tanto, la clasificación responde una diferenciación de cuencas de cabecera asociadas a la cordillera de los andes, cuencas ubicadas en la precordillera, cuencas del valle central y de la cordillera de la costa que contribuirá al desarrollo de un modelo conceptual para la etapa de modelación. Los estudios de Riffo et al. (2017) y Daza et al. (2017) se incluyen en Apéndice H-8 del Anexo H.



Fuente: Elaboración propia en base a Riffo et al. 2017 y Daza et al 2017

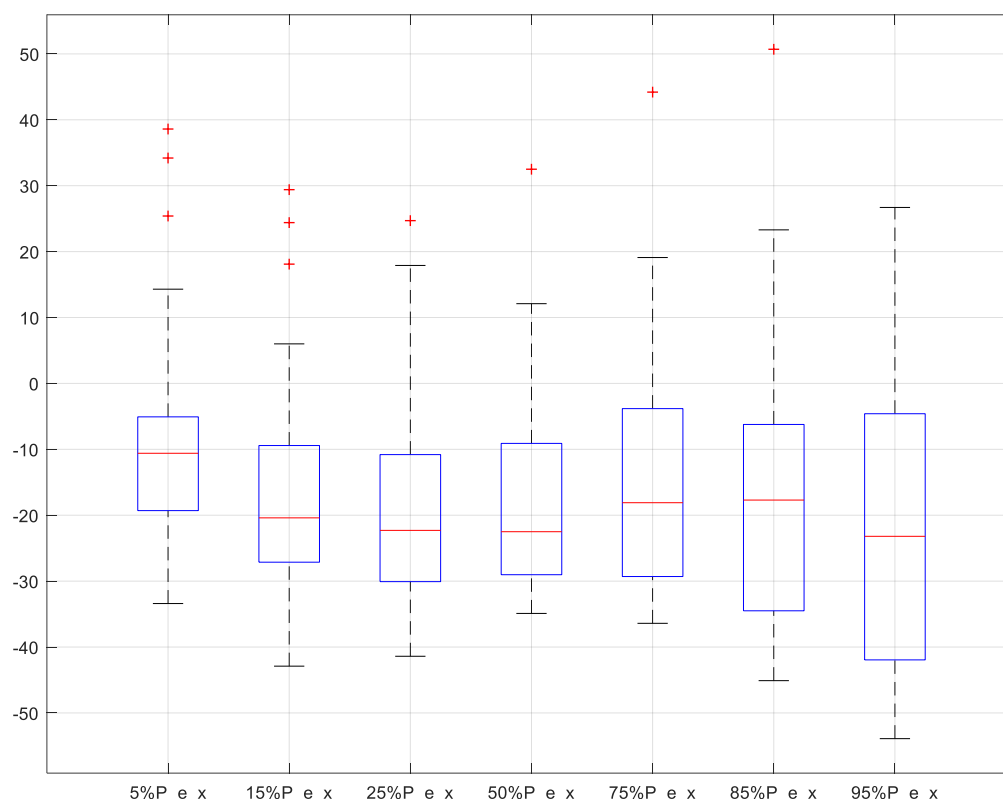
Figura 38. Clasificación hidrológica.

5.1.3 Oferta en la fuente proyectada

Para la estimación de la oferta en la fuente proyectada, se modelaron escenarios de cambio climático hasta 2050. En base a los resultados se estimó la oferta hídrica proyectada considerando aspectos de caudales medios, caudales de diferentes probabilidades de excedencia, DAA otorgados y caudales ecológicos definidos, para cada subcuenca modelada.

De los resultados de la modelación considerando el escenario de cambio climático (para mayor detalle se sugiere referirse a sección 5.1 del Anexo – H), se estimó que la oferta

hídrica en la fuente proyectada se reduciría entre 10% a 22% para probabilidades de excedencia en los caudales de 5% a 95% respectivamente. Los caudales mayores presentan una menor reducción (mediana ~10%), mientras que los caudales asociados al flujo base (caudales de 95% de probabilidad de excedencia) son los más afectados en el escenario de cambio climático (mediana ~22%) (Figura 39).



Fuente: Elaboración propia

Figura 39. Cambio porcentual de los caudales de diferente probabilidad de excedencia en las cuencas del río Biobío para el escenario de E1-CC respecto del periodo histórico o de calibración.

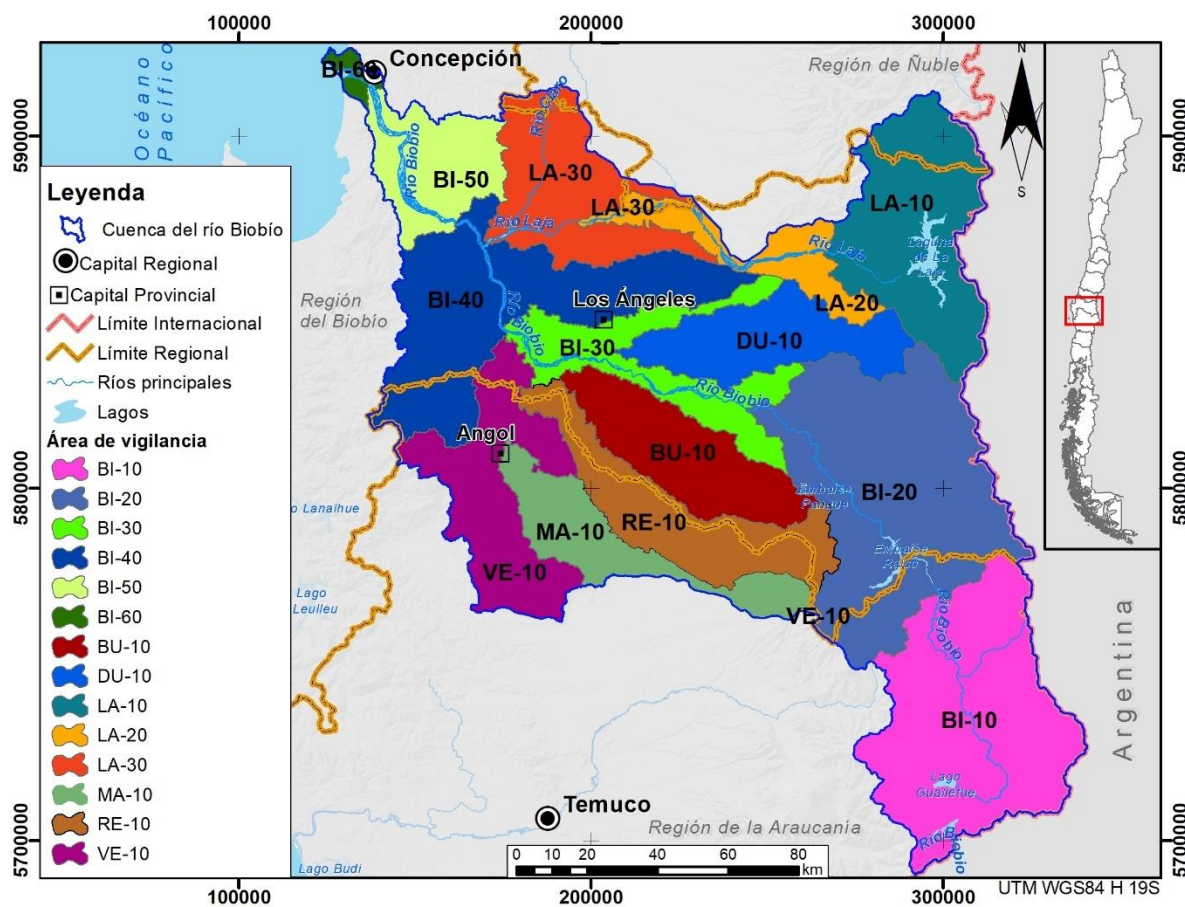
5.1.4 Calidad actual

La cuenca del río Biobío es quizás la cuenca más estudiada de Chile en sus aspectos ambientales gracias al Proyecto EULA y su posterior continuidad a través del Centro EULA³⁵ de la Universidad de Concepción. Un producto destacado del Centro EULA es el Programa de Monitoreo de la cuenca del Biobío, que se ha mantenido por 30 años y que generó los antecedentes básicos para la actual Norma de Calidad Secundaria de ese río (Decreto Supremo N° 9, 2015), fijando 14 áreas de vigilancia (Tabla 17 Anexo F.3.1 y Figura 40).

³⁵ www.eula.cl

a) Calidad del agua superficial del río

La calidad del agua superficial del río será analizada según las distintas áreas de vigilancia del río, tal como se aprecia en la Figura 40.



Fuente: Elaboración propia

Figura 40. Áreas de vigilancia de la cuenca del Biobío.

En cuanto a los límites establecidos por la Norma Secundaria de Calidad del río Biobío (NSCA Biobío) (DS N°9, Ministerio de Medio Ambiente, 27 noviembre del 2015), los límites para cada parámetro quedan establecidos según la Tabla 39.

Desde las primeras evaluaciones de la calidad del río Biobío efectuadas en la década del 90, éste ya evidenciaba un marcado patrón asociado a una buena calidad en la zona de ritrón o parte alta de la cuenca (BI10 y BI20 de la Figura 40), mientras que, en la zona media del río desde Nacimiento y Laja hasta su desembocadura, aparecen valores elevados para algunos parámetros especialmente durante los monitoreos de verano (debido a la menor dilución de los contaminantes). Los parámetros alterados en la zona media y final del río (potamón) corresponden a nutrientes como nitritos, DQO, el pH, metales pesados y microcontaminantes orgánicos tales como fenoles, pentaclorofenol, lindano, aldrín, DDT y derivados. Gran parte de estos contaminantes se asocian a la gran actividad industrial, agrícola y forestal desde la zona de transición ritrón-potamón de la cuenca, en Santa Bárbara, hasta su desembocadura en Concepción (Faranda, Parra, 1993).

Desde la aparición del Decreto Supremo N°9 hasta la fecha, se han desarrollado dos campañas de terreno: la primera ejecutada por EULA entre los años 2015 y 2016 (EULA, 2016), y la segunda ejecutada por el centro CENMA de la Universidad de Chile, entre 2016 y 2017 (CENMA, 2017). Adicionalmente, existen datos de parámetros fisicoquímicos de las aguas de la cuenca, que se pueden obtener desde las estaciones de monitoreo de la DGA, aunque a diferencia de los resultados de los informes previamente mencionados, los datos de la DGA presentan importantes vacíos de información y en muchos casos, la determinación sólo de algunos parámetros para cada estación de monitoreo en la cuenca, especialmente en fechas anteriores al año 2015.

Al comparar la calidad actual del agua superficial de la cuenca respecto al escenario del año 1993 (Parra, Faranda, 1993), es posible indicar que ésta ha cambiado en el tiempo, debido a que según los últimos monitoreos realizados (EULA, 2016; CENMA, 2017), existen concentraciones de nutrientes (especialmente nitrógeno y fósforo) que exceden los valores del Decreto Supremo N°9 a lo largo de toda la cuenca, incluidos los principales afluentes del Biobío. Según los datos de un monitoreo realizado por Parra en 1993, el río ya presentaba altas concentraciones de elementos nitrogenados, lo cual se asocia al hecho de que en esta época aún no existían plantas de tratamiento de aguas servidas en la región de Biobío. Los antecedentes indican los porcentajes de excedencia respecto al valor límite que establecen las distintas áreas de vigilancia, para el Biobío en invierno y en verano (Ecuación 1, Tabla 4 y 5 Anexo F.3.1).

A modo de ejemplo, se presentan una tabla construida con los porcentajes de excedencia (Tabla 38). El resto de las tablas se pueden revisar en el Anexo F.3, desde la Tabla 2 hasta la Tabla 8. En estas tablas, las casillas en blanco indican que, para ese parámetro en esa área de vigilancia del río, no hay excedencia en dicho parámetro.

Tabla 38. Porcentaje de excedencia de los valores recomendados por la NSCA del río Biobío y sus afluentes, para las distintas áreas de vigilancia del Biobío, para el año 2016 (verano y otoño).

Parámetro	Unidad	Verano 2016														Otoño 2016														
		BI-10	BI-20	BI-30	BI-40	BI-50	BI-60	BU-10	DU-10	LA-10	LA-20	LA-30	MA-10	RE-10	VE-10	BI-10	BI-20	BI-30	BI-40	BI-50	BI-60N	BU-10	DU-10	LA-10	LA-20	LA-30	MA-10	RE-10	VE-10	
Aluminio Total	mg/L																													
AOX	mg/L			70	70	30	20																							
Cloruro	mg/L			14	5											22				8		51		77	50	93				
Coliformes Fecales	NMP/100 ml						290													60								120	8	
Conductividad	uS/cm												8																	
DBO5 (a 20°C)	mg/L																			100	100							100		
DQO	mg/L																			180	29							10		
Hierro Total	mg/L												6									13								
Índice de Fenol	mg/L					10					3																			
Nitróg. de Amonio	mg NH4/L	15	55	290		107	30	250	30	15				15																
Nitróg. de Nitrato	mg NO3/L				23	17		67	69		57		465	93	35	100	100	20	313	133	235		275		167	187	175	233	25	
Nitrógeno de Nitrito	mg NO2/L																													
Nitrógeno Total	mg/L			110	33	23		28	3	60	80	3	15	180	35	200	200	250	267	200	300	75	117	400	500	200	200	500	100	
Fósforo Total	mg/L	67	150	25	40	40			20	200	200		100	150					900					900	400	100				
fosforo de Ortofosfato	mg PO4/L							50									30		90	45			20		315	30				
Oxígeno Disuelto	mg/L																			25										
pH	-																		5											
Sól. Suspendidos Totales	mg/L																					140								
Sulfato	mg/L		41	231		33				18							43	82	26	378		1194		829	990	992				

Fuente: Fuente: Datos calculados a partir de EULA (2016) y CENMA (2017). Por ejemplo, AOX con "70" en BI-30, significa que el valor del parámetro se ha excedido en un 70% respecto al valor límite estipulado por la NSCA.

Los parámetros que exceden la norma están asociados preferentemente al nitrógeno. Salvo el valor de sulfato, en la primera zona de vigilancia (BI-10) se aprecia que el río poseía una muy buena calidad de sus aguas. Se observa que en verano existió excedencia de los valores establecidos por la NSCA para otros parámetros además del nitrógeno, tales como DQO, DBO y OD. Esta respuesta es esperable debido a la menor dilución por la bajada de los caudales del río en verano. Sin embargo, en verano se mantiene el hecho de que la cabecera del río poseía una muy buena calidad de sus aguas (observar las columnas BI-10 y BI-20 en Tabla 3 de Anexo F.3). En cuanto a fósforo total, se aprecia su excedencia en diferentes áreas de la cuenca.

Al comparar la calidad del río del año 1993 (Parra, Faranda, 1993), con los datos actuales (EULA, 2016 y CENMA 2017), es posible notar que las formas nitrogenadas continúan presentando valores que exceden la NSCA. En cuanto al fósforo, se aprecia que éste aparece excediendo la NSCA a lo largo de todo el Biobío y en la mayoría de sus tributarios, tales como el Vergara, Laja, Renaico, Malleco y Duqueco. Si bien el origen de los nutrientes presentes en las aguas naturales puede ser de origen natural o antropogénico, es un hecho que al aumentar las actividades humanas como la agricultura (purines y fertilizantes) y la presencia de centros urbanos (aguas residuales) promueven el aumento de los nutrientes en las aguas de las cuencas. Es de interés en futuros estudios poder analizar el origen de los altos niveles de nutrientes, debido a que, la tasa de tratamiento de aguas residuales en la cuenca del Biobío aumentó desde un 55 hasta un 95% desde 1990 y hasta 2012 (y según los últimos datos de la SISS, se encuentra actualmente cercano a un 96%).

Junto a las descargas sanitarias, la actividad agrícola y forestal de la región del Biobío (especialmente esta última) estarían provocando un aumento en los niveles de nutrientes y productos químicos utilizados en los cultivos. Sin ir más lejos, en el año 1997 la cantidad de hectáreas forestales no superaba las 60.000. Actualmente, el valor acumulado en el tiempo supera las 600.000 hectáreas (INFOR, 2018). Este drástico cambio en las últimas décadas, desde pequeñas actividades agrícolas y forestales hacia grandes proyectos y grandes superficies dedicadas a este propósito se relacionan directamente con la presencia de nutrientes en las aguas de la cuenca del Biobío y en otras grandes cuencas de la zona central de Chile (Pizarro et al., 2010). Esta última aseveración explicaría los altos niveles de fósforo (total y ortofosfato) presente en la cuenca en la actualidad en comparación a lo observado en 1993 (Tabla 2 y 3, ver en Anexo F.3). En el caso del amonio, actualmente su aparición es mayormente en verano, lo cual se debe a los bajos caudales y alta temperatura predominante. En efecto, las variaciones observadas para las diferentes temporadas obedecen fundamentalmente a estas variables (el caudal del río y el clima), además de la variabilidad en la carga de contaminantes hacia la cuenca (ver desde la Tabla 4 hasta la Tabla 8 Anexo F.3.1).

Se desprende además que en primavera, verano y otoño se pudieron evidenciar mayores porcentajes de excedencia no sólo de nutrientes, sino que de otros contaminantes como coliformes, DQO, AOX y sulfatos (ver desde la Tabla 4 hasta la Tabla 8 Anexo F.3.1). En el caso de los AOX, ellos están relacionados con las descargas de aguas de las plantas de celulosa y papel (por eso aparecen luego de BI-30, que es donde se ubican las primeras plantas de celulosa en la cuenca). En cuanto a los sulfatos, éstos pueden tener un origen

natural o bien pueden estar relacionados con fuentes de contaminación humana (Jezierski et al., 2006).

En cuanto al patrón de excedentes de contaminantes en los afluentes del río Biobío, se aprecia claramente que siguen una tendencia semejante a las del mismo río, ya que existe una marcada tendencia de exceso de nutrientes en los afluentes (formas nitrogenadas y fosfatadas). Es posible apreciar que todos los afluentes del Biobío, en los distintos períodos del año contribuyen a aumentar la carga de nutrientes hacia su curso principal. En general se puede apreciar que los ríos Laja (LA), Malleco (MA) y Renaico (RE) presentan niveles de nutrientes que superan la norma (ver desde la Tabla 2 hasta la Tabla 8 del Anexo F.3). No se puede indicar que exista algún afluente con mejor calidad que otro ya que, en los diferentes muestreos, todos presentaron excedencias en casi los mismos parámetros.

A modo de resumen, al comparar la información actual (2016, 2017) con información de años anteriores, es posible apreciar que el río siempre presentó valores elevados de las formas nitrogenadas de nutrientes, pero no así de las formas fosforadas (ortofosfato y fósforo total). Lo anterior se sustenta nuevamente con datos antiguos de un informe de la DGA que presenta concentraciones de amonio entre los años 1994 y 1997 (DGA, 2004). Estas concentraciones de amonio presentaron porcentajes de excedencia elevados respecto a la actual NSCA del Biobío, especialmente entre BI-20 y BI-60, en todas las estaciones del año (ver Tabla 16 Anexo F.3). La presencia de contaminantes fosforados prácticamente en toda la cuenca en la actualidad (y no así en la década de los noventa), es motivo de un análisis posterior, siendo una posible fuente la contaminación difusa de nutrientes agrícolas (por la actividad forestal principalmente). En la actualidad faltan estudios que permitan identificar las fuentes, flujos y concentraciones de nutrientes en la cuenca del Biobío. Esta información resultará fundamental para efectos de desarrollar futuros planes de gestión en la zona. Al conocer los flujos de contaminantes distribuidos espacialmente en la cuenca, será posible determinar los caudales mínimos que garanticen estándares de contaminación inferiores a los indicados en la NSCA.

Otro enfoque para analizar la calidad del agua superficial de la cuenca del río Biobío es a partir de las categorías o "clases" establecidas por el Ministerio de Medioambiente, tal como se aprecia en la Tabla 39.

Tabla 39. Límites de clases de calidad de aguas, para la cuenca del río Biobío.

N°	Contaminante	Unidad	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5
1	Aluminio Total	mg/l	0,09	0,72	1,17	1,62	>1,62
2	Amonio	mg N/l	0,02	0,03	0,06	0,09	>0,09
3	Compuestos Orgánicos Halogenados	mg/l	0,002	0,006	0,03	0,05	>0,05
4	Cloruro	mg/l	2	7	54	100	>100
5	Coliformes fecales	NMP/100 ml	5	50	1.000	10.000	>10.000
6	Conductividad Eléctrica	μS/cm	60	80	150	220	>220
7	Demanda Biológica de Oxígeno	mg/l	1	2	5	8	>8
8	Demanda Química de Oxígeno	mg/l	3	10	15	20	>20
9	Fósforo Total	mg/l	0,02	0,03	0,1	0,2	>0,2
10	Hierro Total	mg/l	0,15	0,74	0,11	1,47	>1,47
11	Índice Fenol	mg/l	0,002	0,004	0,007	0,01	>0,01
12	Nitrato	mg N/l	0,02	0,04	0,2	0,4	>0,4
13	Nitrito	mg N/l	0,002	0,003	0,01	0,02	>0,02
14	Nitrógeno Total	mg/l	0,1	0,2	0,3	1	>1
15	Ortofosfato	mg/l	0,01	0,02	0,11	0,2	>0,2
16	Oxígeno Disuelto	mg/l	≥10	<10, ≥9	<9 ≥7	<7≥5	<5
17	pH		6.5-8	6,5-8,5	6,3-8,7	06-sept	<6->9
18	Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	2	15	35	55	>55
19	Sulfato	mg/l	4	6	53	100	>100
Leyenda de colores y clases de calidad							
Clase			1 Muy buena Poco perturbado	2 Buena Medianamente Perturbado	3 Regular Perturbado	4 Mala Muy Perturbado	5 Muy mala Fuertemente Perturbado

Fuente: EULA, 2016

Los resultados obtenidos al efectuar el mismo análisis anterior, pero con la codificación de colores indicada en la Tabla 39, permite establecer que, para las diferentes épocas, las mejores calidades se encuentran en la cabecera de la cuenca, mientras que las peores clases se aprecian en las zonas cercanas a las actividades humanas o industriales, salvo los nutrientes (especialmente nitrógeno y fósforo), que se aprecia alterado a lo largo de todo el río Biobío y en la mayoría de sus afluentes. A modo de ejemplo, se han elaborado tablas codificadas con los colores de calidad conforme a lo indicado en la Tabla 39 (Tabla 10, Tabla 11 y Tabla 12 en Anexo F.3). Estas tablas son un mapa de colores que permite visualizar la calidad del agua superficial de la cuenca (Tabla 40).

Tabla 40. Valores de los parámetros y codificación de colores, según las diferentes calidades establecidas para las aguas superficiales de la cuenca del río Biobío, para verano de 2016 (según los colores establecidos en la Tabla 39).

	Verano 2016													
	BI-10	BI-20	BI-30	BI-40	BI-50	BI-60	BU-10	DU-10	LA-10	LA-20	LA-30	MA-10	RE-10	VE-10
Aluminio Total	0,11	0,09	0,15	0,14	0,24	0,08	0,15	0,15	0,12	< 0,06	0,14	0,17	0,12	0,1
AOX	<0,010	<0,010	0,051	0,051	0,026	0,036	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	0,011
Cloruro	0,8	4,74	8	8,38	7,37	73,06	3,92	3,17	1,28	1,47	1,96	3,68	4,13	4,78
Coliformes Fecales	<1,8	4,5	11,5	2,4	2,5	3900	10	240	<1,8	<1,8	<1,8	9,3	2	7,13
Conductividad	45,6	57,3	90,6	97	90,8	232,9	51,2	64,4	40,3	54,4	67,8	64,8	54,6	70,8
DBO5 (a 20°C)	< 1,0	< 1,0	< 1,0	1,1	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
DQO	4	2	8	6	2	3	4	5	2	2	3	6	5	4
Hierro Total	0,143	0,063	0,13	0,117	0,209	0,045	0,241	0,133	0,079	0,039	0,129	0,317	0,245	0,133
Índice de Fenol	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0044	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0031	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Nitróg. de Amonio	0,023	0,031	0,078	0,016	0,062	0,078	0,07	0,039	0,023	0,023	< 0,016	< 0,016	0,023	0,016
Nitróg. de Nitrato	0,003	0,004	0,144	0,185	0,176	0,141	0,333	0,337	0,024	0,047	0,138	0,226	0,058	0,27
Nitrógeno de Nitrito	<0,0015	<0,0015	<0,0015	<0,0015	<0,0015	<0,0015	<0,0015	<0,0015	<0,0015	<0,0015	<0,0015	<0,0015	<0,0015	<0,0015
Nitrógeno Total	0,12	0,11	0,42	0,4	0,37	0,3	0,51	0,62	0,16	0,18	0,31	0,23	0,28	0,54
Fósforo Total	0,05	0,05	0,05	0,07	0,07	0,07	0,04	0,06	0,06	0,06	0,09	0,06	0,05	0,05
fosforo de Orto-Fosfato	< 0,004	< 0,004	0,014	0,015	0,015	0,023	< 0,004	0,015	0,008	0,015	0,007	0,007	< 0,004	< 0,004
Oxígeno Disuelto	11	10,5	10,1	10	10,2	10,4	11,2	10,3	12,6	10,6	10,3	11,5	11,8	10,5
pH	6,86	7,08	7,71	7,3	7,11	7,15	7,63	7,38	6,91	7,15	8,03	7,24	8,36	7,43
Sól. Suspendidos Totales	3,3	< 1,0	2,3	1,5	2	< 1,0	2,6	2,3	1,1	1	2	1,6	1,9	1,6
Sulfato	2,72	8,48	19,88	21,37	18,65	26,94	4,9	4,12	8,28	4,15	4,68	4,04	4,38	5,38

Fuente: Datos obtenidos a partir de EULA (2016) y CENMA (2017)

En base a la información recopilada, queda en evidencia que los nutrientes (fósforo y nitrógeno principalmente) se asocian a una regular o mala calidad del agua (notar que inclusive el fósforo total se encuentra amarillo, regular a perturbado, a lo largo de toda la cuenca, (ver Tabla 10, Tabla 11 y Tabla 12 de Anexo F.3). Se aprecia además cómo en verano, los AOX en las zonas de vigilancia donde se encuentran las plantas de celulosa, están en color rojo, agua muy mala o fuertemente perturbada.

b) Análisis isotópicos desarrollados en la cuenca del Biobío

Hasta la fecha, prácticamente no se han desarrollado estudios sistemáticos de isótopos en las aguas de la cuenca del Biobío. En general, los análisis isotópicos son de amplio uso en el análisis de aguas, especialmente con fines hidrológicos y además para evaluar y analizar las fuentes de contaminación que se presentan en las cuencas (Barbieri, 2019).

En cuanto a estudios de isótopos en la cuenca del Biobío con fines hidrológicos, se puede mencionar el trabajo de Fiege et al. (2009), quienes analizaron isótopos de estroncio (Sr). El cociente de Sr87 / Sr 86 proporciona información acerca de las interacciones entre las rocas de los acuíferos y el agua. En este estudio se evaluaron las interacciones de las rocas volcánicas de Chile con las aguas de diferentes ríos de Chile, incluyendo el Biobío.

En cuanto a aplicaciones ambientales de los isótopos, no existen estudios en que se hayan evaluado isótopos en las aguas de la cuenca del Biobío, pero sí se han evaluado isótopos de carbono en la biomasa presente en la columna de agua del río, con el fin de identificar los orígenes de las fuentes de carbono que utilizan los microorganismos en diferentes épocas del año (Reynolds Vargas et al., 2013).

5.1.5 Fuentes de contaminación

En cuanto a los potenciales riesgos de contaminación para las aguas de la cuenca del río Biobío, es necesario indicar que a lo largo de los años (entre el inicio de los 90 y la actualidad) se ha evidenciado un aumento en las actividades antrópicas de la cuenca (Tabla 41). La Figura 41 muestra las principales fuentes de contaminación puntal y difusa.

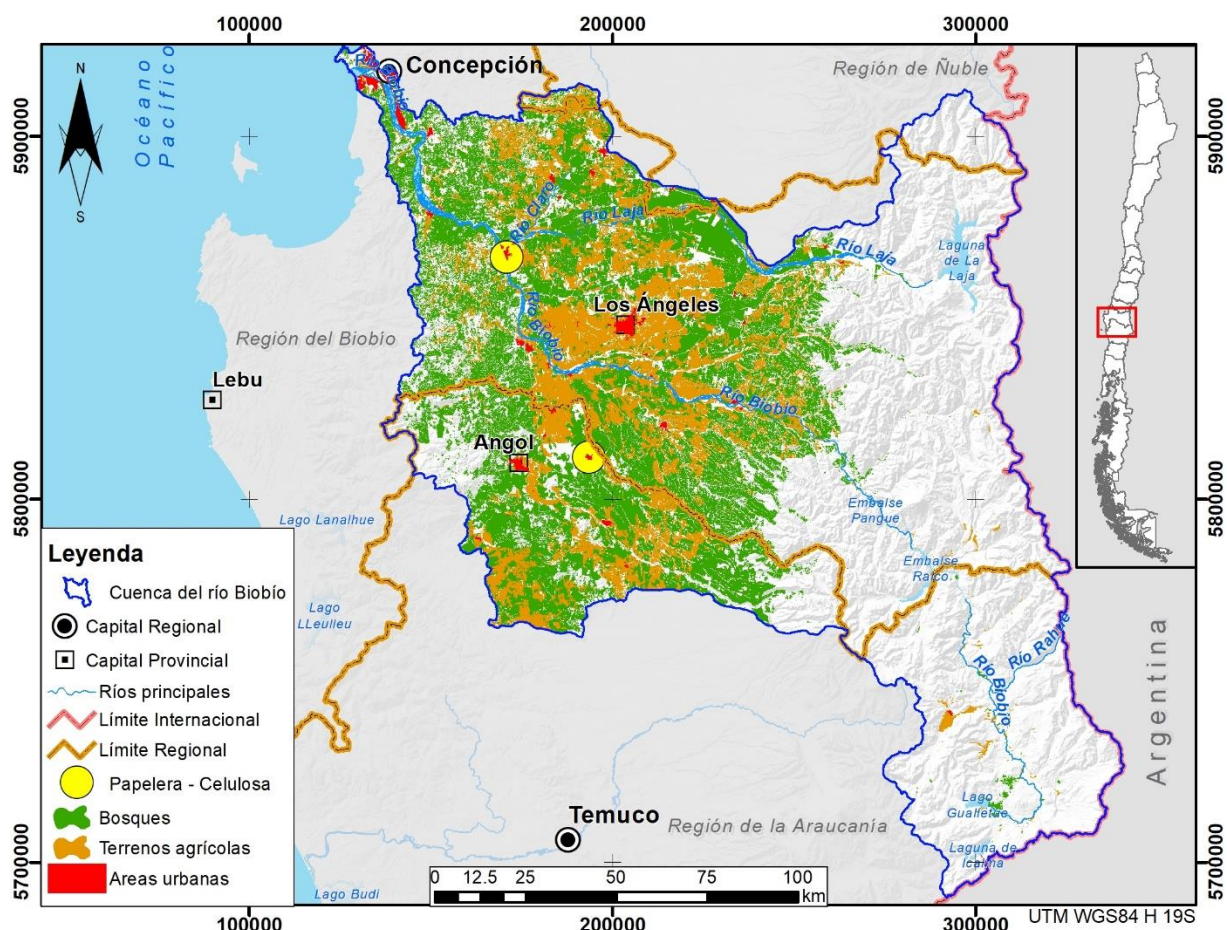


Figura 41. Principales fuentes de contaminación puntuales y difusas.

Junto a la contaminación generada en la misma cuenca, se debe considerar además que existen aportes de contaminación dados por los fenómenos de transporte a mediana y largas distancias (Wania, 1993), que también pueden incidir en la calidad de las aguas de la cuenca del río Biobío; sin embargo, no es posible controlar los flujos de contaminantes

que provienen desde otras regiones, desde otros países o inclusive desde otros continentes. Para reducir los contaminantes a nivel global, existen esfuerzos de todas las naciones que se materializan en acuerdos como los de la COP21 de París el 2015.

Dentro de los actuales y futuros riesgos de contaminación de la cuenca del río Biobío, es indudable, en base al análisis de la calidad de las aguas superficiales, que la presión antrópica ha provocado un aumento en los niveles de nutrientes (nitrógeno y fósforo), AOX especialmente en la época de verano, junto a sulfatos, coliformes y oxígeno disuelto. Estos niveles elevados de contaminación se condicen con la pérdida de biodiversidad que se ha observado en el río, en los diferentes niveles tróficos.

Tabla 41. Resumen comparativo de la situación de la cuenca entre 1990 y 2012

Componentes	Unidad	1990	2012	Observaciones
Población urbana servida	Habitantes (%)	55,4%	95%	Concepción- Talcahuano, Chiguayante, Hualqui, Santa Juana, Cabrero, Laja – San Rosendo, Los Angeles, Monte Águila, Mulchén, Nacimiento, Negrete, Quilaco, Quilleco, Santa Barbara, Yumbel. El año 1990 existían 31 descargas de aguas servidas, dispuestas sin tratamiento previo. Actualmente la totalidad de las aguas servidas urbanas son tratadas (depuradas) previa descarga en la cuenca.
Nº Descargas de aguas servidas	Nº de descargas	13	14	
Q descarga	m³/s	5,26	6,34	
Descargas de aguas servidas con tratamiento	Nº	0	14	
Cobertura de tratamiento de aguas servidas urbanas	%	0	100	
Producción anual de celulosa	AD Ton/año	324115	2.049.600	CMPC Celulosa S.A. (El año 1990 estaba solo operativa planta Laja). (La producción anual al 2015 se ha duplicado a 4.095.000 AD Ton/año).
Q agua industrial y Q RIL	m³/s m³/s	1,46 1,31	3,78 3,38	
Producción anual de papel,	Ton/año	125.000	180.000	Papeles Río Vergara S.A. (ex INFORSA, cerrada 2014) Papeles Bio Bio S.A Papeles Río Vergara S.A. (ex INFORSA, cerrada 2014) Papeles Bio Bio S.A Papeles Río Vergara S.A. (ex INFORSA, cerrada 2014) Papeles Bio Bio S.A
73.000 114.000	m³/s	73.000	114.000	
Q agua industrial		0,27	0,22	
Q RIL	m³/s	0,9 0,25	0,14 0,21	
		0,08	0,12	
Producción anual de acero,	Ton/año	750	1.290.445	
Q agua industrial	m³/s			
Y Q RIL en el mar	m³/s			
Producción anual Refinería ENAP	m³	79417	5520,332	Producción de petróleo en la Región del Biobío.
Q agua industrial	m³/s			
Producción anual azúcar	Ton/día	450	600	Iansa Los Angeles
Cobertura plantaciones Forestales	ha	407.000	514.765	CMPC (*) Forestal Mininco, dato año 2000.
Cobertura bosque nativo	ha	100.046 (*)	137.524	CMPC (*) Forestal Mininco, dato año 2000.
Centrales hidroeléctricas	MW/año	906	2337	Diversas
Sistemas de canales de riego	m³/s	118	158	
Hectáreas		180.000	211.800	

Fuente: EULA, 2016

Dado que las fuentes de contaminación presente en la cuenca ya se conocen, para evitar o reducir los niveles actuales de contaminación, es necesario desarrollar planes de gestión, de manejo y de educación ambiental a nivel de toda la zona. Dado que la Tabla 40 cuenta con información hasta el año 2012, es necesario destacar que en el caso de las aguas servidas descargadas a la cuenca han sufrido modificaciones, ya que según el buscador de

proyectos del SEA (ya sean EIA o DIA en la región del Biobío), se han aprobado 10 proyectos asociados a construcción o mejoramiento de plantas de tratamiento de aguas servidas entre 2012 y 2020. Este escenario de nuevos proyectos de este tipo es favorable en términos de la calidad general de las aguas de la cuenca (ya que se traducen en mayor o mejor capacidad de tratamiento de los efluentes vertidos). En el caso de proyectos de celulosa, no se han encontrado proyectos en este período de tiempo. En el caso de proyectos de plantas papeleras, se ha encontrado sólo 1 aprobado el año 2013, pero su descarga ocurre hacia el mar en la zona de Coronel, por lo que ésta no tributaría hacia una mayor contaminación de la cuenca. En el caso de la producción de azúcar, el año 2016 se ingresó un proyecto de mejoramiento de la planta de tratamientos de los efluentes de la azucarera Iansa de Los Ángeles. Lamentablemente esta planta fue posteriormente cerrada definitivamente el año 2020. Una suerte similar ha tenido las operaciones de refinería y acero en el Biobío, que, si bien no han cesado totalmente su producción, ésta se ha visto fuertemente reducida con los años (y con ello se han reducido los volúmenes de efluentes generados).

Junto con el análisis de calidad de las aguas superficiales, subterráneas y además la evolución de la biota presente en el río, existen una serie de estudios que evidencian los efectos negativos provocados por las actividades humanas sobre los organismos y sobre los servicios que en general brinda el agua del río. Se han desarrollado estudios por ejemplo con salmónidos en jaulas, puestos tanto antes como después de las descargas de las plantas de celulosa en el Biobío (Orrego et al., 2006), como también antes y después de las descargas de plantas de tratamiento de aguas servidas (Saavedra, 2015). En ambos estudios, se evidenciaron efectos negativos en el sistema endocrino y reproductivo de los peces, además de alteraciones en el sistema inmunológico. Posteriormente, se identificaron las moléculas presentes en el agua del río Biobío que poseen actividad estrogénica y que son responsables de la mayoría de las alteraciones sobre los peces. Estas moléculas tienen que ver con la descarga de las plantas de celulosa y en general con moléculas contaminantes de origen antropogénico (Orrego et al., 2009). En otro estudio se evidenció la presencia de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) en diferentes muestras de sedimentos del río Biobío, a lo largo de su cuenca (Barra et al., 2006). En este estudio se compararon los niveles de estos contaminantes con otras cuencas del mundo, concluyéndose que el Biobío posee un nivel moderado de contaminación y que los HAPs depositados en los sedimentos del río son en su mayoría de origen pirolítico (combustión de biomasa). En otro estudio se reafirma además que los sedimentos obtenidos en diferentes puntos de la cuenca del río Biobío poseen microcontaminantes asociados a las plantas de celulosa, a la combustión de biomasa y de derivados de petróleo y debido a las descargas de plantas de tratamiento de aguas servidas (Chamorro et al., 2013).

Los estudios indicados anteriormente son un reflejo de que el río Biobío es un reservorio de contaminantes que viajan a través de sus aguas y que se depositan en sus sedimentos, siendo gran parte de ellos de origen antropogénico. En la actualidad, uno de los contaminantes emergentes presentes en las aguas que es de preocupación mundial son los micro y nanoplásticos. En un estudio realizado el 2019, se identificaron una serie de microplásticos al interior del gastrointestinal de diferentes peces que fueron capturados en la desembocadura del río Biobío (Pozo et al., 2019). Lo más preocupante es que en

muestras de peces que se capturaron lejos de la desembocadura del río, prácticamente no se encontraron microplásticos. Con lo anterior se reafirma el hecho de que las aguas del río Biobío actualmente están presentando una serie de contaminantes antiguos como los nutrientes y otros de tipo “emergentes”, que aún no han sido cubiertos por las actuales normativas. Dentro del conjunto de contaminantes emergentes que destacan en la cuenca del río Biobío, se encuentran la cafeína, el diclofenaco y triclosán (Rozas, 2016), además de gemfibrozilo, ibuprofeno y carbamazepina (Saavedra, 2015), todos ellos detectados y cuantificados en las aguas del Biobío o en las descargas de aguas sanitarias que van hacia el río. Sin lugar a duda que todos estos “nuevos contaminantes” representan un riesgo adicional para la calidad actual y futura de las aguas de la cuenca del río Biobío, teniendo en cuenta también que las plantas de tratamiento de efluentes convencionales no están diseñadas para remover una amplia gama de los denominados “emergentes” (Rizzo et al., 2019).

Otros eventos catastróficos que con cierta frecuencia ocurren en Chile, como los terremotos, pueden generar eventos agudos de contaminación, ya que provocan daños en las plantas de tratamiento de aguas servidas, vertidos y derrames involuntarios de agentes contaminantes en los cuerpos de agua y en el suelo. Cabe preguntarse si realmente toda la infraestructura, no sólo del río Biobío, sino que la de todo el país, está preparada para evitar un evento de contaminación aguda de las aguas de las cuencas debido a un terremoto. Indudablemente que después de lo ocurrido el 2010, el país ha avanzado en cuanto al desarrollo de planes frente a situaciones de riesgo y emergencias (ONEMI, s. f.). Sin embargo, frente a un evento como un terremoto o una erupción volcánica, es necesario contar con planes de contingencia previamente desarrollados para las diferentes zonas de vigilancia del Biobío, con el fin de evitar consecuencias negativas sobre la salud humana, en los cultivos agrícolas, en las empresas alimenticias, industrias y en general en todas las actividades que utilizan aguas de la cuenca. En cuanto al efecto de erupciones volcánicas sobre la calidad de las aguas en Chile, ya existe una experiencia documentada en el volcán Cautín, que alteró las aguas de diferentes cuencas del sur del país, siendo las más afectadas las zonas cercanas al volcán (DGA, 2012).

5.1.6 Derechos concedidos.

La Tabla 42 muestra el caudal concedido expresado en m^3/s para cada subcuenca de acuerdo con los DAA superficiales concedidos. Se observa que la subcuenca del río Biobío entre los ríos Ranquil y Duqueco, es la que presenta el mayor caudal superficial inscrito, siendo predominante el tipo No Consuntivo. En cuanto a los DAA consuntivos, la cuenca del Laja Alto es la que tiene mayor caudal otorgado.

La Tabla 43 y la Tabla 44 muestran la distribución mensual de los caudales inscritos para los tipos de DAA consuntivos y no consuntivos respectivamente. En relación con esta distribución, los caudales consuntivos no presentan una variación interanual importante, no así los caudales no consuntivos, que presentan una concentración de caudales mayores durante los meses de invierno.

Tabla 42. Demanda de agua por naturaleza para cada subcuenca.

Subcuenca	Consuntivo (m ³ /s)	No Consuntivo (m ³ /s)	Total general (m ³ /s)
Laja Bajo	24,5	424,1	448,6
Río Biobío (hasta después junta Río Lomin)	7,6	881,9	889,5
Río Biobío Bajo	75,0	861,7	936,7
Río Biobío entre Río Duqueco y Río Vergara	13,4	575,9	589,3
Río Biobío entre Río Ranquil y Río Duqueco	27,4	5.367,8	5395,3
Río Biobío entre Río Vergara y Río Laja	82,8	717,0	799,8
Río Duqueco	36,3	412,5	448,8
Río Laja Alto (hasta bajo junta Río Rucue)	131,0	695,2	826,1
Río Renaico	13,1	427,8	440,9
Ríos Malleco y Vergara	23,0	327,3	350,3
Total general	434,1	10691,2	11.125,3

Fuente: Elaboración Propia de acuerdo con la base de datos proporcionada por la DGA (Fecha: julio 2020)

Tabla 43. Distribución mensual de caudales superficiales otorgados por DAA de tipo consuntivo.

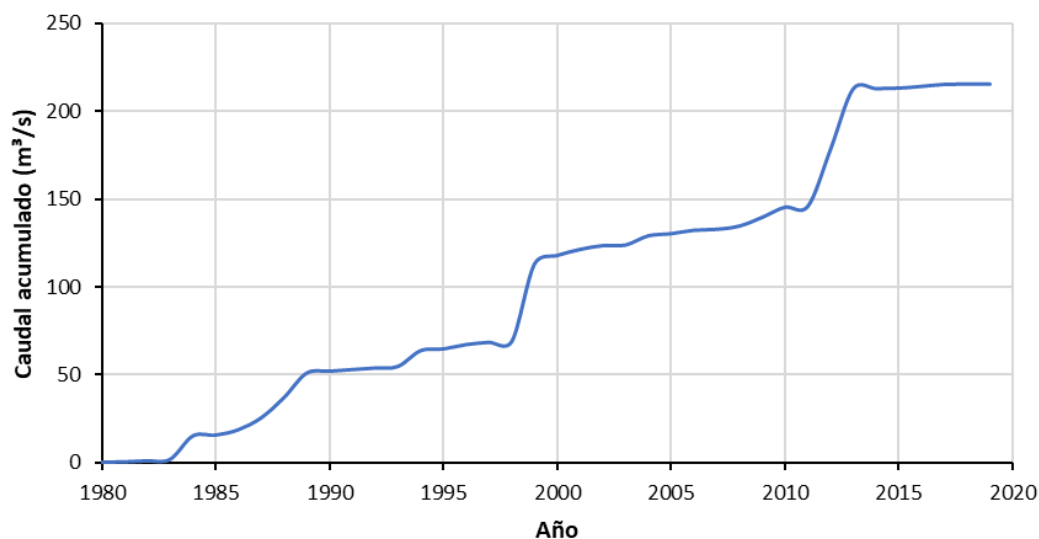
Subcuenca	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Laja Bajo	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0
Río Biobío (hasta después junta Río Lomin)	6,7	6,7	6,7	6,7	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2
Río Biobío Bajo	77,6	50,6	73,0	77,6	77,6	77,7	77,7	77,7	77,6	77,6	77,6	77,6
Río Biobío entre Río Duqueco y Río Vergara	10,3	9,9	9,7	10,1	12,3	13,0	13,2	12,6	12,2	12,0	11,8	11,1
Río Biobío entre Río Ranquil y Río Duqueco	23,2	22,4	21,8	23,6	27,5	27,0	27,7	27,3	27,3	27,9	27,5	25,6
Río Biobío entre Río Vergara y Río Laja	74,7	74,5	74,4	74,9	10,9	12,1	12,7	13,0	77,3	76,6	76,0	75,7
Río Duqueco	17,0	16,4	16,0	20,5	34,9	36,3	35,9	31,3	31,5	25,7	23,8	20,5
Río Laja Alto (hasta bajo junta Río Rucue)	10,0	9,4	9,2	10,3	14,9	16,4	16,2	14,1	13,8	12,9	12,1	11,8
Río Renaico	9,3	7,7	7,5	8,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,4
Ríos Malleco y Vergara	14,6	10,5	10,1	14,3	16,7	16,4	16,5	16,4	16,5	16,2	15,9	15,8
Total	266,5	231,2	251,3	269,5	236,6	240,8	241,6	234,2	298,0	290,7	286,4	279,6

Tabla 44. Distribución mensual de caudales superficiales otorgados por DAA de tipo no consuntivo.

Subcuenca	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Laja Bajo	149,9	112,0	76,5	196,6	579,5	677,3	712,2	636,1	575,6	488,4	457,8	427,6
Río Biobío (hasta después junta Río Lomin)	585,7	345,3	281,1	516,8	993,1	1.295,5	1.323,8	1.096,8	1.093,4	1.154,0	1.054,7	842,2
Río Biobío Bajo	258,3	122,3	138,0	463,8	1.497,6	1.517,6	1.513,5	1.506,7	1.499,0	610,1	608,3	605,2
Río Biobío entre Río Duqueco y Río Vergara	407,1	144,7	115,6	312,7	777,5	932,3	995,1	840,5	730,4	635,2	546,9	472,2
Río Biobío entre Río Ranquil y Río Duqueco	1.794,0	1.136,3	1.667,2	1.989,8	6.605,6	8.822,9	9.141,3	7.638,7	7.173,6	7.491,0	6.608,1	4.345,4
Río Biobío entre Río Vergara y Río Laja	244,0	161,8	137,5	281,7	1.101,4	1.330,5	1.354,6	1.007,1	836,4	830,2	751,4	567,7
Río Duqueco	231,9	193,3	184,0	244,8	701,9	585,4	614,3	551,2	481,5	441,5	387,2	333,1
Río Laja Alto (hasta bajo junta Río Rucue)	456,8	421,8	409,5	465,8	814,8	1.051,6	1.032,3	943,1	823,4	727,3	643,8	551,9
Río Renaico	138,2	88,5	102,7	295,2	623,2	748,5	792,0	658,5	645,2	488,3	332,9	220,3
Ríos Malleco y Vergara	106,9	68,2	76,0	158,8	535,3	618,5	655,0	552,6	410,7	334,8	244,7	166,5
Total	4.372,8	2.794,2	3.187,9	4.926,1	14.230,0	17580,3	18.134,0	15.431,2	14.269,3	13.200,8	11.635,7	8.532,1

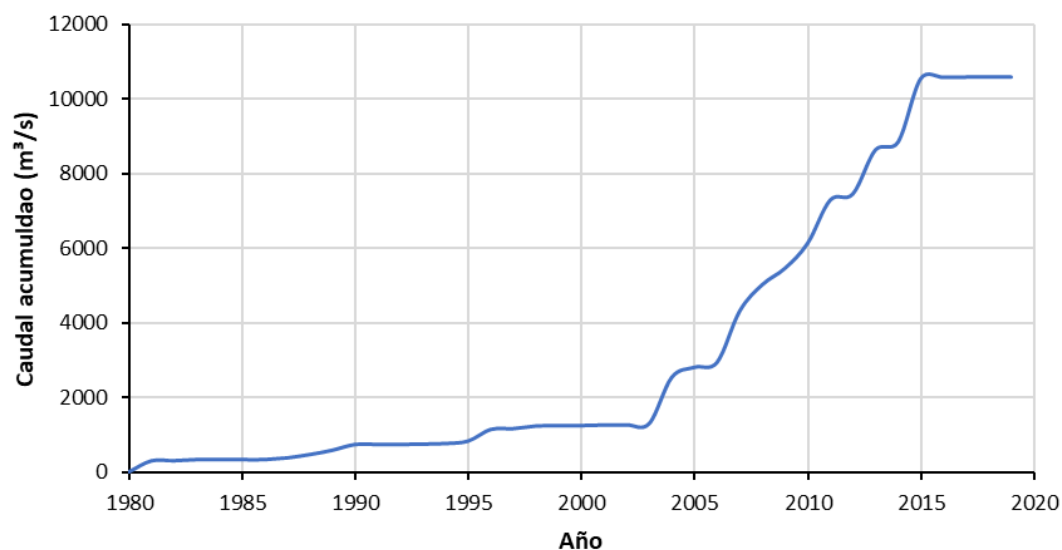
La Figura 42 presenta la distribución del caudal acumulado expresado en m³/s en función del tiempo para naturaleza superficial consuntiva. Entre los años 1997 y 2000 hubo una

crecida importante respecto a los otorgamientos de caudales del tipo consuntivo, lo mismo ocurrió entre 2011 y principios del 2014.



Fuente: Elaboración Propia de acuerdo con la base de datos proporcionada por la DGA (Fecha: julio 2020)
 Figura 42. Distribución del caudal acumulado por año de uso superficial consuntivo.

La Figura 43 presenta la distribución de caudal acumulado en función del tiempo para uso superficial no consuntivo. Existe un aumento significativo de otorgamientos de DAA no consuntivos entre los años 2005 al 2015, esto probablemente por los proyectos hidroeléctricos de la cuenca.



Fuente: Elaboración Propia de acuerdo con la base de datos proporcionada por la DGA (Fecha: julio 2020)
 Figura 43. Distribución del caudal acumulado por año de uso superficial no consuntivo.

5.2 Agua subterránea

5.2.1 Identificación

Se presenta un análisis de la información sobre los sistemas de aguas subterráneas existentes en la cuenca del río Biobío basada en la información elaborada por el Estudio Hidrogeológico cuenca del Biobío elaborado para la DGA el año 2012 (DGA, 2012) y en trabajos de investigación relacionados con los sistemas de agua subterráneas realizados por diferentes autores.

El río Biobío posee las características propias de los ríos principales de la zona central de Chile, que consiste en un río principal que cruza la Cordillera de la Costa a través de un valle estrecho, que se desarrolla entre San Rosendo y Concepción. Aguas arriba de San Rosendo el río recibe una serie de afluentes que se reúnen debido al control geológico de la Cordillera de la Costa. Los afluentes principales del Biobío son los ríos Laja, Huaqui y Duqueco por el Norte y los ríos Vergara y Bureo por el sur.

Para efectos de la caracterización de los sistemas de agua subterránea existentes, se mantendrán la referencia a las grandes unidades geomorfológicas existentes en la cuenca.

a) Descripción de los principales sistemas hidrogeológicos cordillera de los Andes

La Cordillera de los Andes está compuesta por un conjunto de rocas de edad reciente (del período cuaternario) que se formaron principalmente por la acción volcánica, sobre las rocas graníticas asociadas a períodos geológicos más antiguos. Por esta razón, existe un predominio de sistemas de rocas fracturados que pueden constituir unidades acuíferas de interés por su efecto en la recarga del acuífero del Valle Central, y la generación de los caudales base de los cursos de agua superficiales (Arumi et al., 2014; Sandoval et al., 2018; Taucare, 2020).

Debido al volcanismo reciente que ha generado sistema de rocas fracturadas permeables y conectados, se estiman que en esta cordillera existen sistemas acuíferos de roca fracturada que poseen alta permeabilidad. Por otro lado, debido al efecto orográfico y a la existencia de suelos volcánicos arenosos en la Cordillera, las tasas de recarga por precipitación y derretimiento nival deben ser significativas. No se conocen, a la fecha de elaboración de este informe, estudios de los sistemas hidrogeológicos fracturados en la cuenca del Biobío, pero se reconocen estudios similares en las cuencas del Itata que permiten comprender el efecto del volcanismo en la recarga del frente de montaña y en la generación de caudales mínimos en ríos cordilleranos (Arumi et al., 2014; Arumi et al., 2016; Muñoz et al., 2016; Markovich et al 2018, Parra et al., 2019).

Cordillera de la Costa

A diferencia de la Cordillera de los Andes, la Cordillera de la Costa, o Cordillera de Nahuelbuta, está predominantemente constituida por rocas del período Mesozoico e incluso Paleozoico. En general las rocas que componen esta cordillera no son porosas y además por las características de los suelos predominantes, las unidades acuíferas generadas en los valles Inter-cordillerano son de baja permeabilidad y por esa razón las captaciones de agua subterráneas ubicadas en ellos son de bajo rendimiento.

Valle Central

Los rellenos que conforman el valle Central conforman el principal sistema acuífero de la cuenca del río Biobío. Esos rellenos están compuestos por diferentes capas de material de origen volcánico y depósitos fluvio-glacio-volcánicos arrastrados desde la Cordillera de Los Andes, causados por fenómenos de transporte de las aguas o por aluviones; por efecto de avance y retroceso de glaciares o bien por la actividad volcánica de la zona. Estos materiales (bloques, rodados, arenas, limos y arcillas) se distribuyen en la cuenca en forma de conos de deyección asociados a los cajones de los ríos provenientes de la cordillera y precordillera. Por esta razón resulta razonable, a falta de mayores estudios hidrogeológicos, trabajar inicialmente con el supuesto de que los acuíferos poseen una estructura similar a la red de drenaje superficial.

Sin embargo, es importante tener presente la activa historia geológica de la cuenca. El depósito de arena del cono de deyección del río Laja es un producto reciente debido a una cadena de eventos que se suceden en los últimos 10.000 años. La formación de este abanico es descrita por (Thiele et al., 1998), quienes describen las unidades geológicas existentes y los procesos que formaron dicho territorio producto de la actividad del volcán Antuco ocurrida durante el Pleistoceno superior y Holoceno temprano. Una erupción del volcán Antuco cerró el desagüe del Lago Laja provocando una barrera de 100 metros de altura que al aumentar el nivel del lago colapsó generando un gigantesco aluvión que formó el abanico, que localmente se denomina "Arenas del Laja". Estos depósitos tienen un espesor de aproximadamente 10 metros y se encuentran sobre un antiguo lahar que es varias veces menos permeable que las arenas. Esta condición produce que las Arenas del Laja constituyan un sistema superficial de aguas subterráneas que es recargado por infiltraciones del río Laja, los canales de riego y directamente por aguas lluvias y a la vez drenado por cauces ubicados al poniente de la cuenca que se desarrollan en la unión entre los depósitos de arenas y la Cordillera de la Costa como los ríos Claro y Huaqui. Por otra parte, el río Claro se desarrolla en la parte baja de la cuenca del río Laja, drenado la unión entre las Arenas del Laja y la Cordillera de la Costa, escurriendo en una dirección Norte-Sur.

Es lógico suponer que eventos similares al cono del río Laja hayan ocurrido durante la historia geológica de la región y que por ello existan capas acuíferas que posean conexiones que actualmente se desconocen, generando una importante brecha sobre la identificación de las zonas de recarga de los acuíferos que debe ser estudiada en el futuro.

b) Acuíferos definidos por DGA (2012)

En el estudio desarrollado por Aquaterra (DGA, 2012) para la cuenca del río Biobío se determinaron tres grandes unidades acuíferas sedimentarias para la cuenca del río Biobío (Figura 44):

- Sub-Acuífero 1: que considera los depósitos de avalancha volcánica (Q3av)
- Sub-Acuífero 2: que considera los depósitos fluvio-aluviales Sedimentos de valles actuales (Q1), los depósitos Fluvio-Aluviales antiguos (Q1fa); las Terrazas Marinas antiguas (Q1m); los sedimentos de terrazas fluviales (Q1t) y los depósitos del cono fluvial del río Laja (Hcrl)

-
- Mapa de la Cuenca del río Biobío**
- Legenda**
- Cuenca del río Biobío
 - Capital Regional
 - Capital Provincial
 - Límite Internacional
 - Límite Regional
 - Ríos Principales
 - Lagos
 - Acuíferos DGA 2012**
 - Subacuifero 1
 - Subacuifero 2
 - Subacuifero 3
- Mapa de Chile**
- UTM WGS84 H 19S

Figura 44. Acuíferos identificados en la cuenca del río Biobío por DGA (2012).

La DGA ha identificado 9 sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común (SHAC) dentro de la cuenca del río Biobío, los cuales se observan en la Tabla 45 y Figura 45:

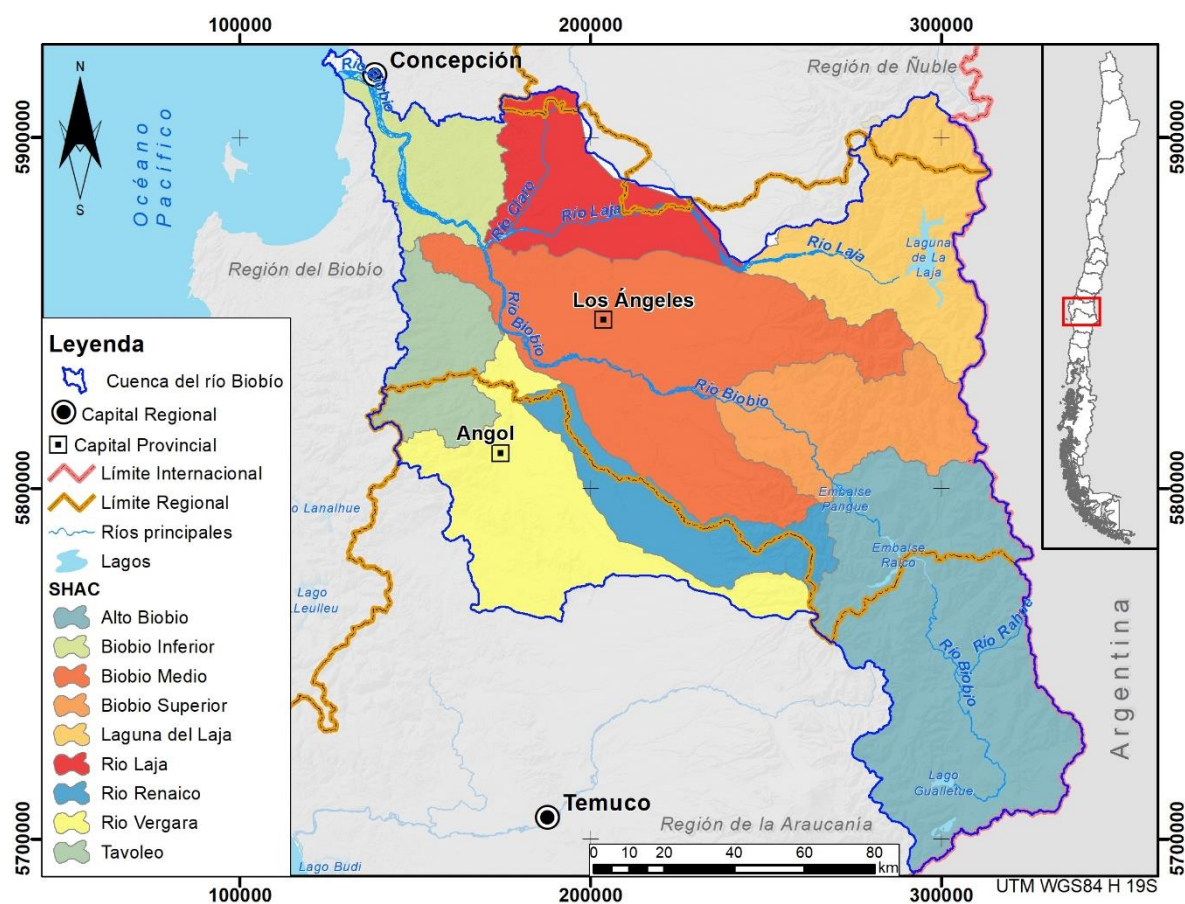
- 128

5. Acuífero de la Laguna del Laja. Comprende la subcuenca del Laja hasta la localidad de Tucapel
6. Acuífero del Río Laja. Comprende la cuenca del río Laja, desde Tucapel hasta San Rosendo e incluye la subcuenca del río Claro
7. Acuífero del Tavoleo. Comprende la subcuenca del Río Tavoleo, que drena la vertiente oriental de la Cordillera de Nahuelbuta.
8. Acuífero del Río Renaico. Comprende la subcuenca del río Renaico y recibe los aportes de los ríos Mininco y Caillin.
9. Acuífero del Río Vergara. Comprende la subcuenca del río Vergara conformada por los ríos Malleco, Huequén y Rehue.

Tabla 45. SHAC existentes en la cuenca del río Biobío.

Sector Acuífero	Área km²	Estado	Unidad geomorfológica predominante
Biobío Inferior	1.305	Abierto	Cordillera de la Costa
Biobío Medio	5.101	Abierto	Valle Central
Biobío Superior	2.014	Abierto	Cordillera de los Andes
Alto Biobío	5.595	Abierto	Cordillera de los Andes
Laguna del Laja	2.756	Abierto	Cordillera de los Andes
Río Laja	1.838	Abierto	Valle Central
Tavoleo	1.306	Abierto	Cordillera de la Costa
Río Renaico	1.532	Abierto	Valle Central
Río Vergara	2.818	Abierto	Valle Central

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia en base a Mapoteca DGA 2021

Figura 45. Sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común (SHAC) definidos en la cuenca del río Biobío.

5.2.2 Stock, recarga y niveles.

a) Niveles freáticos observados

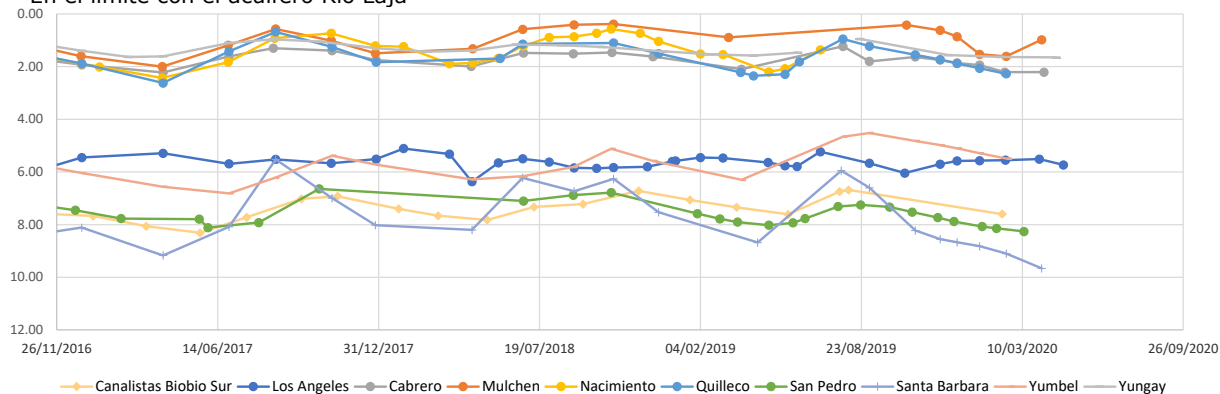
En la cuenca del río Biobío la DGA mantiene 10 pozos de observación (Tabla 46), los cuales constituyen fuentes de datos relevantes para la calibración y validación del modelo integrado. Como se puede observar en la Figura 46, los niveles freáticos se mantienen estables en el período donde se dispone información.

Tabla 46. Pozos de observación presentes en la cuenca del río Biobío.

Nombre	Código BNA	SHAC
Asociación Canalistas Biobío Sur	08358006-2	Río Vergara
Los Ángeles en casa de huéspedes MOP	08366003-1	Biobío Medio
Cabrero en Municipalidad	08384000-5	Río Laja
Mulchén en sector La Granja	08330004-3	Biobío Medio
Nacimiento en piscina municipal	08362002-1	Biobío Medio
Quilleco en estadio municipal	08322000-7	Biobío Medio
San Pedro en colegio Lomas Coloradas	08410004-8	Coronel Norte
Santa Bárbara en liceo Cardenal Samoré	08318003-K	Biobío Medio
Yumbel en estadio municipal	08385005-1	Río Laja
Yungay en posta Campanario	08381012-2	Río Itata Superior*

Fuente: Elaboración propia

* En el límite con el acuífero Río Laja



Fuente: Elaboración propia

Figura 46. Niveles freáticos registrados en los pozos de observación de la DGA.

b) Estimación de recarga de Aguas Subterráneas

El año 2014 la DGA realizó una estimación preliminar de las recargas que reciben los diferentes Sectores Acuíferos de Aprovechamiento Común (SHAC) (Fuente: Elaborada a partir del estudio DGA 2014

Tabla 48), basándose en considerar que la recarga correspondía a un porcentaje de la precipitación que cae sobre la superficie del SHAC. Para la modelación del sistema de aguas subterránea, se mantendrá el criterio definido por los estudios previos realizados por la DGA (2012 y 2014) en el sentido de distribuir uniformemente en el modelo la recarga producida por la infiltración de lluvias sobre la Depresión Intermedia y asignar en la forma de flujos laterales la recarga proveniente de las Cordillera de la Costa y de los Andes.

Tabla 47. Factores de infiltración de cada unidad geomorfológica.

Unidad geomorfológica	Factor de infiltración
Cordillera de los Andes	0,01
Depresión intermedia	0,05
Cordillera de la Costa	0,02

Fuente: Elaborada a partir del estudio DGA 2014

Tabla 48. Estimación preliminar de las recargas en los SHACs existentes en la cuenca del Biobío (DGA, 2014).

Sector Acuífero	Área km ²	Recarga (Mm ³ /año)	Recarga (l/s)
Biobío Inferior	1.305	28,3	896
Biobío Medio	5.101	453,0	14.364
Biobío Superior	2.014	310,0	9.826
Alto Biobío	5.595	132,1	4.190
Laguna del Laja	2.756	68,2	2.164
Río Laja	1.838	101,2	3.207
Tavoleo	1.306	30,8	976
Río Renaico	1.532	156,4	4.960
Río Vergara	2.818	185,4	5.879

Fuente: Elaborada a partir del estudio DGA 2014

5.2.3 Estadística de parámetros de calidad (SHAC)

En lo referente a las aguas subterráneas existe un estudio reciente elaborado por la DGA (2019) que analizó la calidad de agua subterránea en las cuencas de las regiones del Biobío y Ñuble. Este estudio consideró el monitoreo de 105 pozos APR efectuado en el periodo agosto-noviembre de 2018.

Los resultados del estudio DGA (2019) indicaron que la composición química del agua subterránea en la cuenca del río Biobío es principalmente bicarbonatada. En general, las fuentes de aguas subterráneas que abastecen los APR presentan buenas calidades de agua para bebida, con la excepción de un APR localizado en la localidad de Millantu, que presenta un contenido de arsénico que supera la norma NCh 409 (Tabla 49). Otros problemas de calidad de agua detectados se refieren a contenidos de hierro y manganeso detectados en varios pozos, situación que es habitual en la cuenca.

La tendencia actual en cuanto al uso del agua subterránea de la cuenca es que ésta ha ido en aumento, especialmente en la zona central de Biobío. Otras cuencas del país, especialmente las del norte, presentan un uso intensivo de las aguas subterráneas, debido a la gran escasez de fuentes de aguas superficiales. Como no se dispone de una gran cantidad de información en cuanto a la calidad de las aguas subterráneas del Biobío, el análisis aquí presentado se basa en el informe de diagnóstico de la calidad de las aguas subterráneas de Ñuble y Biobío (DGA, 2019). Un aspecto muy importante de este informe es que, para efectos de la calidad química del agua, el balance iónico desarrollado muestra errores muy pequeños, con lo que los diferentes parámetros cuantificados en las aguas subterráneas son confiables

En términos generales se puede indicar que, para el Biobío, naturalmente las aguas son bicarbonatadas, con tendencia cálcica y sódica. En las zonas costeras se produce igualmente de manera natural, un aumento en cloruros, alcalinidad y conductividad, debido al efecto del agua de mar. Este efecto se aprecia en la cuenca de este hacia oeste (DGA, 2019).

En lo que respecta a los límites de calidad establecidos para las aguas subterráneas de la cuenca, la DGA ha tomado como límites de calidad los previamente utilizados en estudios anteriores, información obtenida desde EULA (2016) para agua superficial, DGA (2019) para agua subterránea. Resulta interesante apreciar que, en algunos casos, la NSCA del Biobío, desarrollada para las aguas superficiales de la cuenca, es mucho más estricta en cuanto a los límites establecidos, en comparación a los que fueron utilizados para evaluar la calidad del agua subterránea y también comparables con los límites de la Nch409 de agua potable (Tabla 14, apéndice F.3.1). Se observan algunos parámetros que coinciden tanto para aguas superficiales como subterráneas, apreciándose claramente lo estricta que resulta ser la actual normativa de agua superficial, en comparación a los estándares de calidad que se utilizaron para indicar la muy buena calidad del agua subterránea. Notar por tanto en la Tabla 14 Anexo F.3.1 que, si se considera el nitrato, es evidente que la “muy mala calidad” del agua superficial corresponde a una calidad “excepcional” para el agua subterránea.

En cuanto al tema de calidad de las aguas subterráneas de la cuenca, ésta cuenta con muy buenos índices, reflejado en color verde como la mejor calidad (Tabla 49). Esta situación

contrasta con la calidad de las aguas superficiales de la cuenca, que como ya se mostró anteriormente, presenta patrones alterados respecto a los estándares impuestos por la NSCA de la cuenca.

El agua superficial de la cuenca del río Biobío sufre una gran dilución debido a los altos caudales presentes, tanto en los afluentes como en el brazo principal del río y este hecho explicaría que una baja concentración de cualquier contaminante medida en el agua superficial representa una carga importante de contaminante para la cuenca. En cuanto al nitrato, en otras cuencas con marcada actividad agrícola ya se han detectado concentraciones superiores de éste en aguas subterráneas, en comparación al observado en aguas superficiales (Kazakis et al., 2020). Por otra parte, se observa que la condición “excepcional” del agua subterránea coincide con los límites estipulados por la norma chilena de agua potable (Tabla 14 Anexo F.3.1).

Además de los parámetros de la (Tabla 14 Anexo F.3.1) otros elementos tales como plata, arsénico, cobalto, cromo, cobre, hierro, mercurio, manganeso, plomo, selenio, zinc presentaron valores inferiores al límite de cuantificación de los métodos utilizados, siendo todos inferiores que el límite de calidad “excepcional” (por tanto, todos estos parámetros se encuentran en calidad “excepcional”, respecto a las aguas subterráneas).

En cuanto a otros elementos como molibdeno, níquel, plomo y cadmio, los métodos analíticos utilizados poseían límites de cuantificación superiores que los límites establecidos como calidad “excepcional”, con lo que para estos compuestos no es posible indicar a qué límite de calidad pertenecen para efectos de las aguas subterráneas.

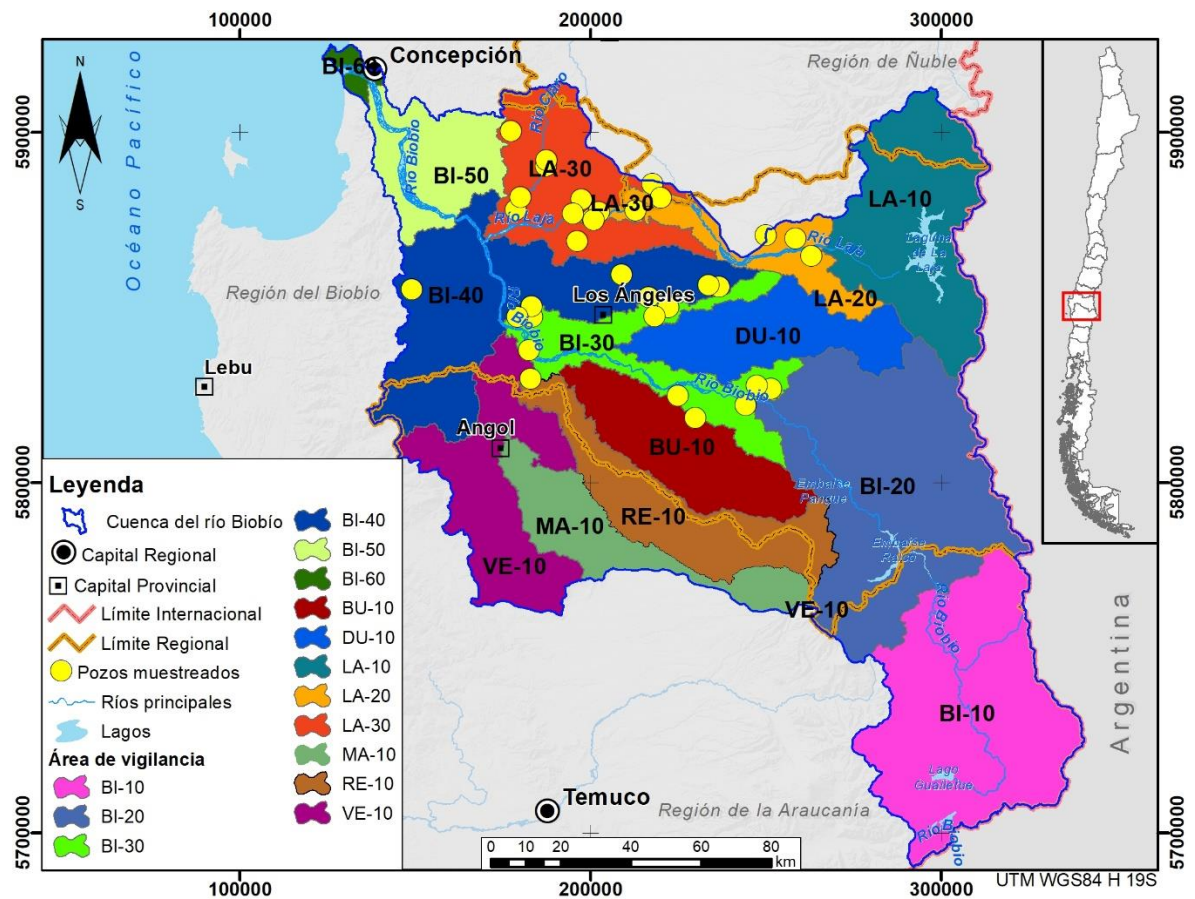
De la Tabla 49 es posible observar además que los pozos muestreados por DGA (2019) se encuentran principalmente en las zonas de vigilancia baja de la cuenca (BI-30, BI-40, LA-20 y LA-30), donde ya existe una importante intervención antrópica (ver los puntos de los pozos en la Figura 47).

Tabla 49. Componentes químicos presentes en aguas subterráneas de la cuenca del río Biobío.

Nombre Pozo	Zona Vigilancia cuenca Biobío	Calcio (mg/L)	Cloruro (mg/L)	Fosfato (mg/L)	Magnesio (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Potasio (mg/L)	Sodio (mg/L)	Sólidos Totales Disueltos (mg/L)	Sulfato (mg/L)
APR RUCALHUE	BI-30	13,0	2,83	0,160	3,31	9,51	0,800	9,670	110,0	1,80
APR LOS JUNQUILLOS	BI-30	9,9	0,95	0,210	2,16	1,29	0,500	5,810	67,0	0,50
APR SANTA FE	BI-30	19,0	8,20	0,210	15,13	4,93	2,140	11,670	217,0	9,83
APR COIHUE	BI-30	22,0	7,88	0,080	8,47	25,09	2,400	7,510	146,0	13,71
APR CAMPAMENTO	BI-30	9,9	0,53	<0,06	3,36	5,26	0,300	6,310	103,0	0,27
APR CHACAYAL NORTE-CHACAYAL SUR	BI-30	13,0	1,82	0,090	3,32	11,49	2,080	5,140	146,0	2,58
APR EL PERAL (SAN LUIS-SANTA LAURA)	BI-30	9,9	0,69	0,100	3,28	2,14	1,530	6,520	115,0	1,21
APR EL HUACHI	BI-30	13,0	4,57	0,190	3,11	1,53	0,740	7,930	93,0	2,78
APR MILLANTU	BI-40	16,0	22,23	0,340	6,72	0,39	2,990	48,41	219,0	0,74
APR LA MONTAÑA	BI-40	25,0	6,81	0,280	13,37	6,37	1,890	8,460	177,0	2,86
APR LA GENERALA	BI-40	12,0	8,90	0,080	1,87	4,55	0,740	11,79	68,0	11,11
APR VILLA MERCEDES	BI-40	7,0	0,35	<0,06	3,42	2,22	0,610	6,450	106,0	1,54
APR CANTERAS EL HUALLE	BI-40	12,0	0,35	<0,06	4,68	2,03	1,270	5,190	100,0	0,34
APR RARINCO-NATRE RARINCO-SANTA CLARA	BI-40	8,3	1,51	0,110	4,41	0,37	1,720	11,84	134,0	2,52
APR EL ALAMO	BI-40	9,9	0,78	0,080	2,34	2,87	0,780	4,880	105,0	1,71
APR SALTO DEL LAJA ORIENTE	LA-20	12,0	1,71	<0,06	6,40	5,65	2,150	6,490	142,0	2,06
APR LA AGUADA	LA-20	21,0	10,92	0,250	9,75	0,81	0,130	9,810	161,0	5,31
APR CHILLANCITO DE CABRERO	LA-20	16,0	2,09	0,480	8,59	0,32	0,600	6,090	138,0	3,43
APR SALTO DEL LAJA	LA-20	7,8	3,79	0,070	8,18	4,74	2,030	7,750	112,0	6,15
APR PARAGUAY	LA-20	10,0	3,17	0,080	7,33	0,60	3,110	6,680	116,0	10,01
APR TRUPAN	LA-20	7,8	1,46	0,240	1,40	2,09	0,670	4,690	48,0	3,35
APR POLCURA	LA-20	10,0	1,29	0,190	1,70	1,92	0,280	4,340	58,0	1,90
APR AGUA Y SOL ANTUCO	LA-20	12,0	0,48	<0,06	2,70	1,70	0,620	7,000	118,0	0,63
APR CERRO PARRA	LA-30	34,0	8,47	0,380	13,73	9,19	4,770	11,810	221,0	11,98
APR TOMECO	LA-30	32,0	18,00	<0,06	9,41	20,55	0,280	20,340	217,0	10,25
APR CAMBRALES	LA-30	25,0	12,07	0,150	19,40	0,43	1,120	10,840	219,0	7,96
APR CAMPANARIO	LA-30	12,0	2,54	0,090	4,06	3,58	1,780	6,050	118,0	4,37
APR LOS TRONCOS	LA-30	6,2	1,99	0,090	6,28	1,94	2,600	6,950	124,0	3,84
APR RÍO CLARO	LA-30	41,0	6,61	<0,06	8,15	1,94	4,370	19,330	281,0	9,38
APR PUENTE TAPIHUE-MISQUE	LA-30	13,0	6,82	<0,06	9,69	1,29	1,540	9,680	118,0	3,83
APR OBRAS DE RÍO CLARO	LA-30	36,0	14,55	<0,06	26,15	2,29	3,140	12,010	272,0	21,93
APR RIHUE	VE-10	16,0	7,51	0,080	8,64	1,83	2,090	8,790	127,0	5,35

Información obtenida desde DGA (2019)

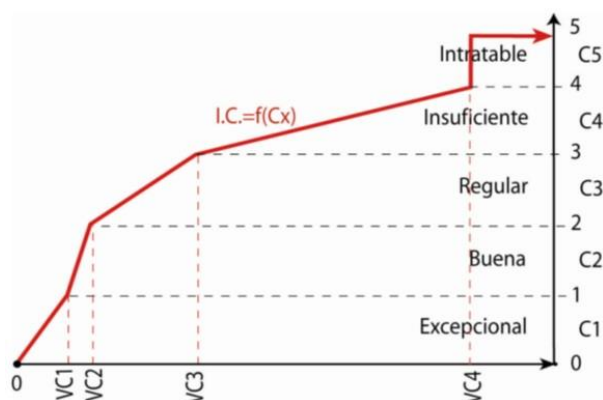
Pese a que el muestreo fue realizado en zonas con mayor intervención antrópica dentro de la cuenca, se puede apreciar en la Tabla 49 que, salvo el potasio, en la gran mayoría de los casos la calidad del agua es excepcional. En cuanto a la presencia elevada de potasio en diferentes pozos de la cuenca (especialmente en las zonas de vigilancia del río Laja, LA, y río Vergara, VE), su origen puede estar asociado a las actividades agrícolas (Griffioen, 2001; Retamal et al., 2012.), mientras que en otros casos puede ser de origen natural, ya que se puede transferir desde las rocas de ciertos acuíferos hacia el agua subterránea (Gambardella et al., 2004). La situación de exceso de nutrientes en ciertas zonas de la cuenca ya fue observada para las aguas superficiales, por lo que existe la posibilidad de que este exceso de potasio también guarde relación con este hecho.



Fuente: Elaboración propia

Figura 47. Ubicación de los puntos de los pozos muestreados en la cuenca del río Biobío (círculos amarillos), en la campaña indicada en el informe DGA (2019).

Las calidades de las aguas subterráneas de la cuenca se pueden transformar en un índice de calidad (IC), que se estima en base a un método establecido por DGA (2019). De manera sencilla, lo que se hace es que se define una función por tramos, que arroja números entre 0 y 5, tal como se aprecia en la Figura 48.



Fuente: DGA 2009

Figura 48. Función definida por tramos para el cálculo del índice de calidad (IC) de aguas subterráneas, según el método establecido por DGA (2009).

Luego, al contar con todos los valores de IC para cada parámetro del agua subterránea, existe un algoritmo de cálculo que permite establecer un IC total del agua de cada pozo (DGA, 2009).

En cuanto a los IC de los pozos de la cuenca del río Biobío, en casi todos ellos su valor fue inferior a 1, por lo que según la Figura 48, la calidad es efectivamente “excepcional”.

Al comparar toda la información de parámetros de calidad de las aguas subterráneas de la cuenca del río Biobío (DGA, 2019) con la NCh-409 de agua potable, fue posible establecer que prácticamente todos los parámetros se encuentran por debajo de los valores que indica esta norma, salvo en algunos pozos para pH, arsénico, hierro y manganeso, tal como se aprecia en la Tabla 50.

Tabla 50. Porcentaje de excedencia de los valores establecidos por la NCh-409, para diferentes pozos de la cuenca del Biobío.

Nombre de pozo	Zona vigilancia cuenca Biobío	pH	As	Fe	Mn
APR COIHUE	BI-30	0			
APR SANTA FE	BI-30				97
APR MILLANTU	BI-40		79		18
APR LA MONTAÑA	BI-40	5			
APR LA GENERALA	BI-40	4		218	941
APR RARINCO-NATRE RARINCO-SANTA CLARA	BI-40				115
APR PARAGUAY	LA-20			172	24
APR POLCURA	LA-20	11			
APR RÍO CLARO	LA-30			1050	753
APR OBRAS DE RÍO CLARO	LA-30				350
APR CERRO PARRA	LA-30	2			
APR TOMECHO	LA-30				17
APR CAMBRALES	LA-30			1044	2042

Fuente: Datos calculados a partir de DGA (2019). El porcentaje de excedencia ha sido calculado de la misma forma indicada anteriormente para las excedencias de los parámetros de aguas superficiales respecto a la NSCA. Casillas en blanco representan que el parámetro está por debajo del límite de la NCh-409.

Por lo tanto, es posible indicar que el agua de la mayoría de los pozos analizados por DGA (2019) es de calidad potable. Se debe recordar además que la NCh-409 (agua potable) establece además un estricto límite bacteriológico, asociado a la ausencia de microorganismos de origen fecal, específicamente del grupo coliforme. En este muestreo de aguas de pozo no se consideró el análisis microbiológico.

Otro aspecto por considerar es que en el muestreo de DGA (2019) no se monitorearon pozos en zonas aún más antropizadas de la cuenca (como por ejemplo BI-60), ni tampoco en zonas menos intervenidas (como BI-10 y BI-20), por lo tanto, no se puede saber realmente cuál es la calidad del agua subterránea del resto de la cuenca. Finalmente, sería de interés contar con monitoreos temporales, para evaluar el efecto de las estaciones del año sobre la calidad de las aguas subterráneas, tal como ya se ha hecho con las aguas superficiales (EULA, 2016; CENMA, 2017).

5.2.4 Fuentes de contaminación

En lo que respecta a los riesgos de contaminación de las aguas subterráneas, llama la atención que de todos los pozos analizados el 2019, casi un 30% de ellos posean elevados niveles de potasio (que también podría tener un origen antrópico relacionado con exceso de nutrientes). Son por lo tanto las actividades humanas actuales y futuras los mayores riesgos de un aumento en la contaminación de las aguas de la cuenca.

5.2.5 Derechos concedidos

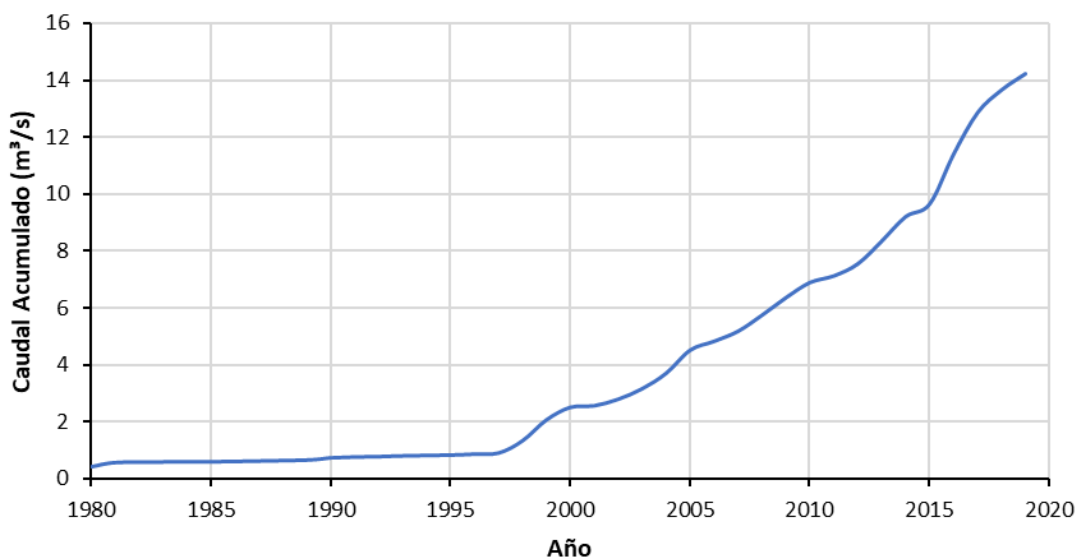
La Tabla 51 muestra el caudal concedido expresado en m^3/s para cada SHAC de acuerdo con los DAA subterráneos concedidos. Se observa que el SHAC del Río Laja posee el mayor caudal asociado a derechos otorgados, mientras que el SHAC menos explotado es el de la Laguna del Laja.

Tabla 51. Caudal de los derechos de aprovechamiento subterráneos concedidos por cada SHAC.

Sector Acuífero	DAA m^3/s
Biobío Inferior	0,676
Biobío Medio	7,475
Biobío Superior	0,727
Alto Biobío	0,070
Laguna del Laja	0,065
Río Laja	3,647
Tavoleo	0,013
Río Renaico	0,370
Río Vergara	1,402

Fuente: Elaborado a partir del estudio DGA 2014

En la Figura 49 se presenta la distribución del caudal acumulado en función del tiempo para los DAA otorgados de naturaleza subterránea, en comparación a los caudales superficiales otorgados, el caudal subterráneo es muy pequeño. En la figura se destaca que desde el año 1980 a 1995 no hay un crecimiento abrupto de caudal acumulado, manteniéndose con valores inferiores a $2 \text{ m}^3/\text{s}$.



Fuente: Elaboración Propia de acuerdo con la base de datos proporcionada por la DGA (Fecha: julio 2020)

Figura 49. Distribución del caudal acumulado por año de naturaleza subterránea.

Antecedentes sobre la Mesa de recuperación del Laja

La crítica situación vivida en torno a los niveles que alcanzó el Lago Laja durante la temporada 2014-2015, nuevamente produjo problemas de disponibilidad de agua a los regantes, pero esta vez también generó una reacción de indignación de la comunidad de la Región del Biobío, quienes vieron afectados dos grandes iconos regionales que son los Saltos del Laja y el Lago.

Esta sensación generalizada de molestia publica motivó a diferentes ministerios iniciar el trabajo de una mesa de trabajo para la recuperación del Lago Laja, iniciativa que planteó el Intendente regional del Biobío a altos ejecutivos de Endesa hoy Enel, que requerían de encuentros para plantear temas relacionados con diversos proyectos de generación de energía en la región. Es así, que comenzó esta mesa dirigida inicialmente por la Seremi de Energía y un Secretario Ejecutivo, al correr el tiempo, esta mesa se dividió en dos mesas ejecutivas, la primera liderada por la DOH relacionada con la recuperación de los niveles del lago Laja y la segunda sobre la formación de la junta de vigilancia del río Laja liderada por el Secretario Ejecutivo.

La mesa ejecutiva técnica de recuperación del Lago Laja está conformada por representantes del sector público DOH, empresas hidroeléctricas Endesa, regantes Asociaciones de Canalistas del Laja y Zañartu y la Junta de Vigilancia del río Diguillín en representación de los usuarios del canal Laja-Diguillín. Esta mesa técnica, una vez que llegue a acuerdo de un uso sustentable del lago Laja, debe invitar a todos los usuarios del río para exponer sobre la propuesta y alcanzar un acuerdo general, lamentablemente a pesar del tiempo transcurrido no ha existido acuerdo por lo cual la reunión ampliada no se ha realizado, como sí ha ocurrido con la mesa de la formación de la Junta de Vigilancia del río Laja.

Los usuarios que presentan esta propuesta requieren de recursos del Lago para satisfacer las necesidades de miles de pequeños y medianos agricultores para mantener y desarrollar sus cultivos. Además, estos usuarios requieren dichos recursos para expandir las hectáreas de riego de acuerdo con un plan de desarrollo el cual se basa en el compromiso establecido en el convenio Riego-ENDESA (1958) en donde se establecen los caudales máximos a utilizar por cada usuario.

Por otra parte, se encuentran los usuarios asociados al turismo que históricamente ha existido en los Saltos del Laja. Estos usuarios esperan que la operación del Lago permita mantener los caudales del río Laja en niveles adecuados durante la temporada estival, para mantener y desarrollar un patrimonio turístico conocido en Chile como los Saltos del Laja. Como parte de la propuesta Regional se incluye esta componente.

En una reunión celebrada en abril del 2016 se acordó crear un comité de trabajo integrado por representantes de los regantes, Endesa y de la DOH, para generar una propuesta de manejo del Lago y presentarla a la mesa de trabajo para la recuperación del Lago. Los representantes de los regantes corresponden a la Junta de Vigilancia del Río Diguillín, en representación de los segundos regantes canal Laja-Diguillín), y a las asociaciones de Canalistas del Zañartu y del Laja en representación de los primeros regantes.

Propuestas de manejo del Lago

Durante el año 2016 se prepararon y presentaron tres propuestas de operación de manejo del Lago Laja, considerando principios de operación que habían sido previamente acordados en la mesa de trabajo:

- 1) Determinar los volúmenes a distribuir durante cada temporada de acuerdo con los volúmenes almacenados en el lago durante la temporada anterior
- 2) No diferenciar los derechos de agua entre los regantes.
- 3) Mantener un caudal mínimo de aporte para el Salto del Laja
- 4) Redefinir nuevos colchones de operación que reemplacen aquellos acordados en el Convenio de 1958.

Tras tres años de trabajo, en noviembre de 2017 se firmó el nuevo acuerdo de operación del Lago Laja, que ha permitido mantener el abastecimiento tanto de los regantes, como de la hidroeléctrica e incluso permitir que se asegure la existencia de un caudal mínimo en los Saltos del Laja, reconociendo el uso del agua para turismo, a pesar de que no existen derechos de aprovechamiento de agua otorgados.

El acuerdo de operación en cuestión y resultado de la mesa técnica se incorpora en el Apéndice H-7 del Anexo H dado que se utiliza para los escenarios de gestión.

6 BALANCE DE AGUA (OFERTA Y DEMANDA, DISPONIBILIDAD FÍSICA)

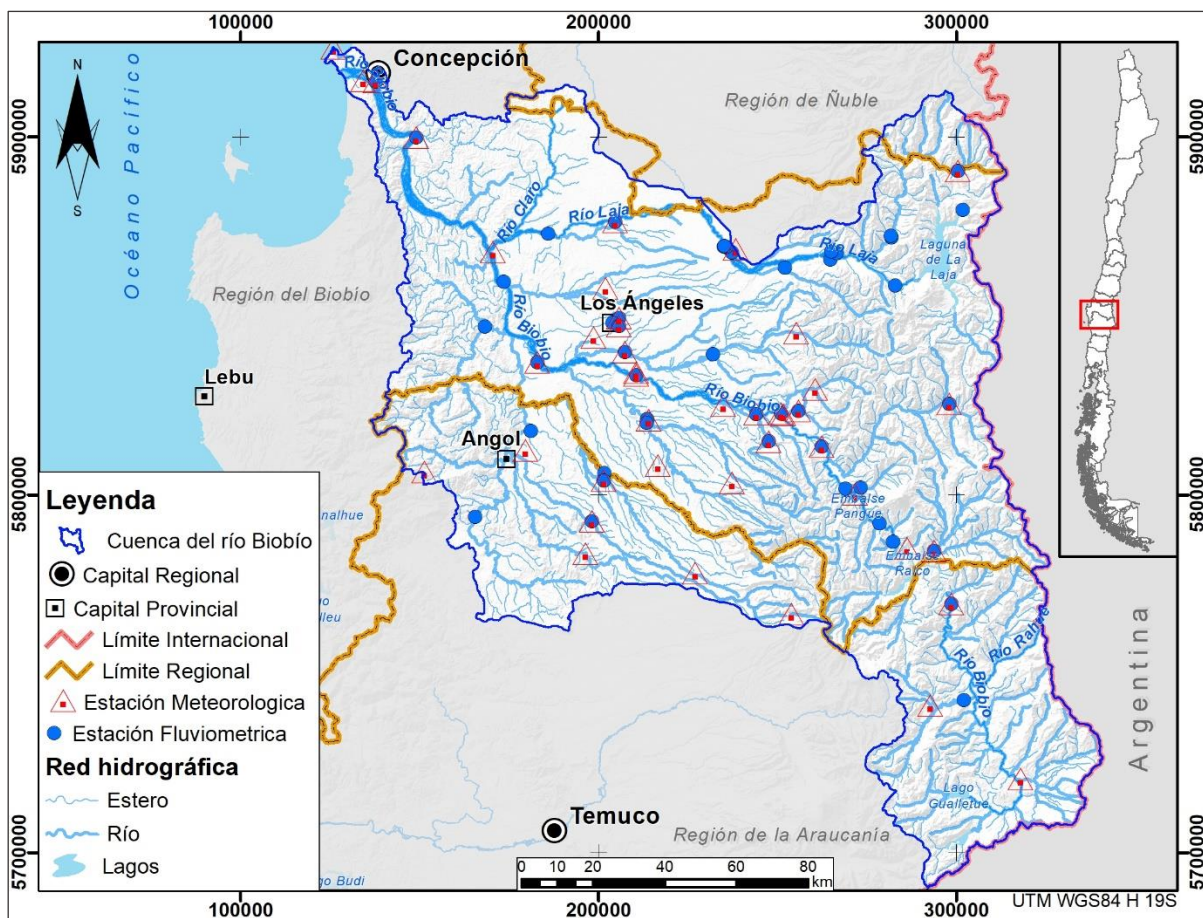
El plan estratégico para la cuenca del Biobío tuvo como objetivo conocer la oferta y demanda actual de agua, establecer balance hídrico y sus proyecciones a 30 años. Este capítulo propone los modelos hidrológicos para las simulaciones de las aguas superficiales con el modelo WEAP y subterráneas con el modelo MODFLOW. Se define la situación actual y los periodos utilizados durante la calibración y validación de los modelos. Se definen los escenarios futuros en el marco del cambio climático y los escenarios de simulación. Posteriormente se analizan brechas, escenarios de sustentabilidad, escenarios de gestión específicos y se analiza el mercado del agua en la cuenca.

6.1 Modelo de simulación

6.1.1 Situación actual (Escenarios de calibración)

El plan estratégico para la cuenca del Biobío tuvo como objetivo conocer la oferta y demanda actual de agua, establecer balance hídrico y sus proyecciones a 30 años, diagnosticar el estado de información, infraestructura e instituciones que toman decisiones respecto al recurso hídrico, y proponer cartera de acciones DGA y de terceros público-privados, que permitan suplir la demanda de agua y adaptación al cambio climático, con un portafolio de acciones que aseguren su abastecimiento en cantidad y calidad. El plan dispone de un modelo hidrológico operacional superficial-subterráneo actualizable en el tiempo, que apoyará el análisis de las estrategias de desarrollo, con el fin de tomar decisiones en función de la mejor información disponible permanentemente. El criterio para la selección del modelo hidrológico se basa principalmente en los objetivos del estudio, las características de la cuenca y la información disponible.

La cuenca del río Biobío abarca un área de 24.000 km² aproximadamente. El río se origina en la Cordillera de Los Andes y desemboca en el Golfo de Arauco. Debido a la influencia de las unidades morfológicas existentes sobre la precipitación pluvial y/o nival, el comportamiento hidrológico del río Biobío y sus tributarios es diferente a lo largo de la cuenca, presentando un régimen mixto (pluvio-nival) en la zona alta y predominantemente pluvial en las zonas medias y baja. En la Figura 50, se muestran las estaciones meteorológicas y fluviométricas existentes que registran al menos 30 años de datos, las cuales indican una escasez de información hidrometeorológica en la zona andina de la cuenca. Esto es particularmente complejo al considerar que existe consenso en el que Cambio Climático afectará particularmente la dinámica del manto nival y de los glaciares, que son importantes sistemas de almacenamiento de los que se tiene poca información.



Fuente: Elaboración propia en base Mapoteca DGA

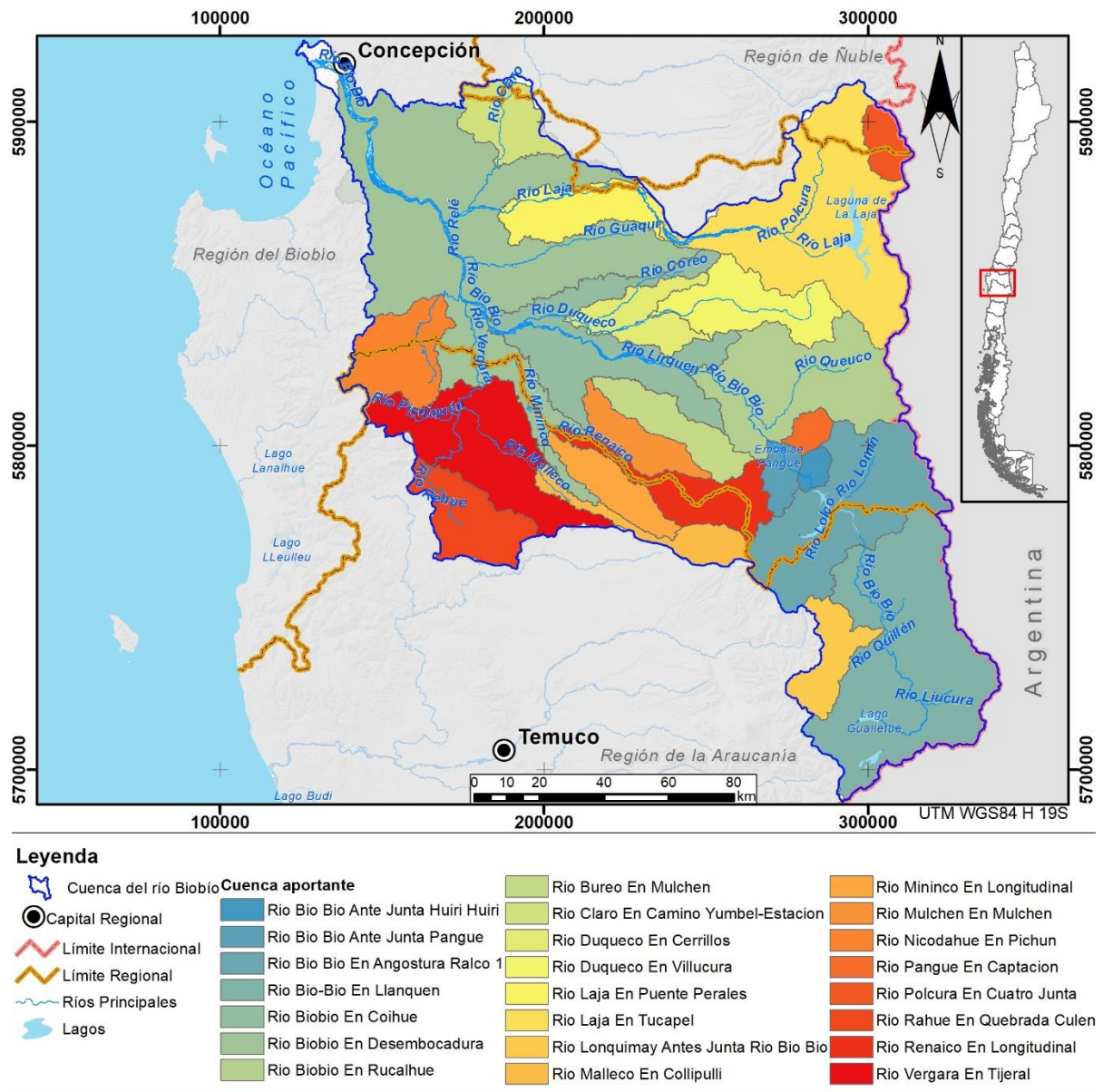
Figura 50. Estaciones fluviométricas y meteorológicas en la cuenca del río Biobío.

a) Características topológicas y mallados

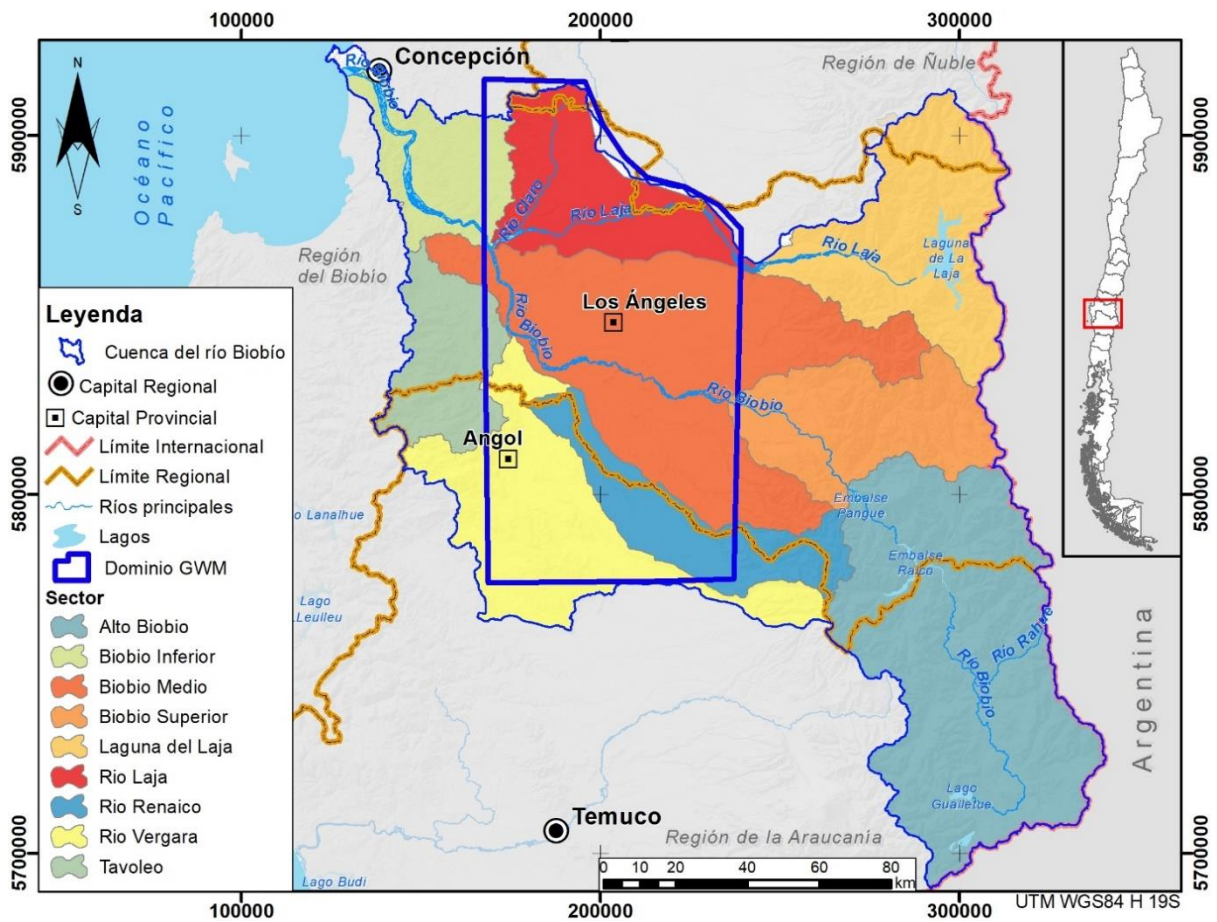
Para efectos de la modelación hidrológica y delimitación de cuencas, se utilizarán datos DEM disponibles en WEAP. Para efectos de la caracterización de ríos, se derivó la red fluvial a partir de imágenes ASTER v3 y esta se incorporó en formato Shapefile al modelo a desarrollar (En Anexo G se presentan las capas). En el caso del modelo de aguas subterráneas, se utilizó una representación topográfica suavizada, que consideró la obtención de un promedio móvil de altura para cada celda considerada en MODFLOW, obtenido a partir de ellos datos ASTER v3.

El dominio de WEAP abarca toda la cuenca hidrográfica separando por subcuencas en donde se disponga de información fluviométrica para control y calibración (Figura 51). Por su parte, la modelación de aguas subterráneas considera los sectores acuíferos indicados en la Figura 52.

MODFLOW desarrolla en diferencias finitas la ecuación del flujo de agua subterránea aplicando la ecuación de continuidad en cada celda (e.g. ver Figura 53). Esto significa que la suma de los caudales que ingresan o salen de la celda debe ser igual a la variación de la tasa de almacenaje en dicha celda; lo que se expresa en la ecuación de balance de masa.

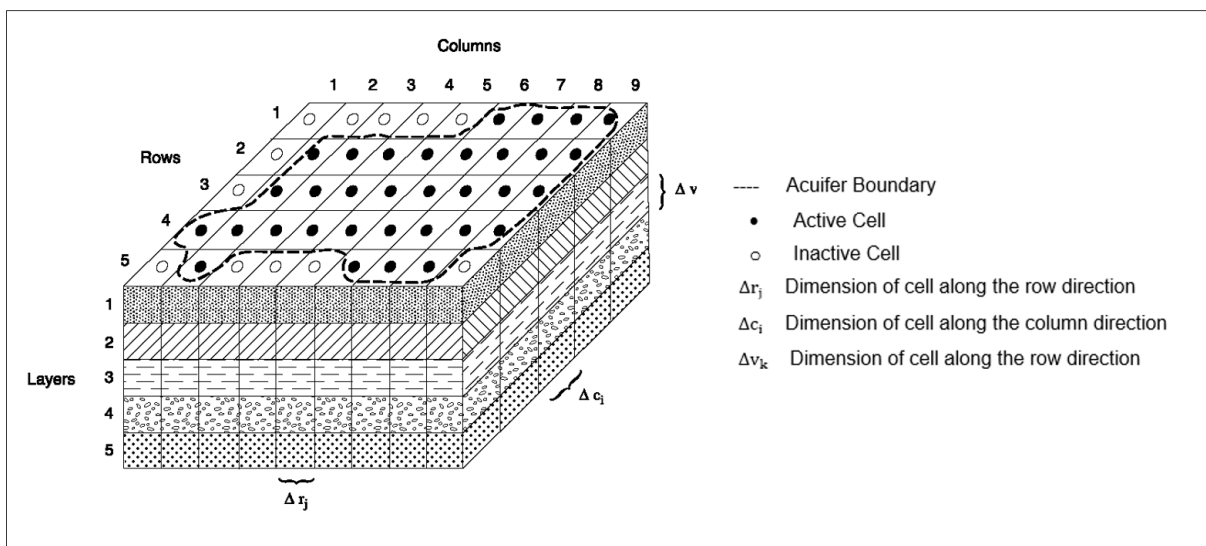


Fuente: Elaboración propia en base a cuencas CAMELS
 Figura 51. Subcuencas utilizadas en la modelación.



Fuente: Elaboración propia

Figura 52. Dominio (GWM) de modelación de aguas subterráneas.



Fuente: Harbaugh, 2005

Figura 53. Sistema de acuífero hipotético discretizado.

b) Variables de entrada

WEAP requiere la entrada de datos climatológicos y de cobertura vegetal para estimar los componentes del balance hídrico. Entre los datos climatológicos se consideran la precipitación, temperatura, humedad relativa y viento, dichas variables son series temporales de datos históricos a paso de tiempo mensual para cada año del período de modelación y para cada subcuenca. También es necesaria información del uso de suelo, un modelo de elevación digital, cobertura de vegetación, entre otros. En el presente proyecto se utilizó información obtenida de la base de datos CAMELS-CL (Álvarez-Garretón et al., 2018), la cual presenta información hidrometeorológica promediada a escala de cuenca asociada a estaciones fluviométricas a lo largo de Chile. Para complementar se utilizó la información presentada en el estudio “Aplicación de la Metodología de Actualización del Balance Hídrico Nacional en las cuencas de la Macrozona Sur y Parte Norte de la Macrozona Austral” (DGA, 2019). Los datos utilizados se encuentran en el Apéndice H-1 del Anexo H.

La información que MODFLOW requiere para su implementación se puede dividir en términos generales en cuatro grupos, los cuales corresponden a:

- Geometría y dominio del sistema a modelar y su malla para la resolución del problema mediante el método de diferencias finitas.
- Parámetros o propiedades físicas del sistema a modelar
- Condiciones de borde en los límites del sistema y condiciones iniciales de funcionamiento.
- La descripción de los forzantes del sistema para régimen no permanente.

c) Análisis de calibración en régimen permanente y transiente

En la etapa de calibración del modelo se busca lograr un set de parámetros hidrológicos y operacionales que permitan obtener una representación de caudales y de operación de obras de infraestructura que asemeje los datos históricos de la forma más cercana posible. Para esto es necesario realizar comparaciones entre series de caudales en puntos específicos de la cuenca versus caudales simulados, así como comparar los datos de niveles de reservorios observados versus simulados y otras variables que representen la operación de los recursos hídricos de la cuenca. En base a estas comparaciones se realizan medidas estadísticas para estimar el desempeño del modelo y de esta manera ajustar los parámetros hasta lograr la mejor respuesta de dichas medidas estadísticas.

El proceso de calibración del modelo, de acuerdo con el análisis de oferta y demanda de agua se realiza en tres etapas consecutivas. Estas etapas permiten revisar el comportamiento del modelo primero en las cuencas aportantes que corresponden a zonas de régimen natural, luego en las cuencas intermedias y finalmente en las cuencas bajas.

La información de niveles de agua subterránea histórico es limitada a algunos años y no presenta variación significativa. Por ello el modelo de aguas subterráneas será calibrado en régimen permanente.

d) Variables de salida para la construcción de balances de agua

Con el modelo hidrológico se dispondrá del balance hídrico a escala mensual considerando por un período de al menos 30 años hidrológicos (históricos y proyectados). En términos

generales, la variación del contenido de agua almacenada en un intervalo de tiempo está dada por la diferencia entre precipitación, la evapotranspiración y el caudal de salida que puede estar determinado por un sistema natural o de intervención (derechos y demandas de agua).

Mediante la simulación de las componentes naturales (evapotranspiración, infiltración, escorrentía superficial, escorrentía subsuperficial y flujo base) y las componentes de infraestructura de los sistemas hídricos, WEAP calcula la demanda, oferta, escorrentía, infiltración, almacenamiento de agua, entre otros para cada paso de tiempo. También permite considerar variados escenarios hidrológicos y de políticas de uso.

La recarga al sistema de aguas subterráneas se obtiene a través de la ejecución del programa WEAP e interactúa, para cada paso de tiempo, con MODFLOW.

El modelo MODFLOW requiere información sobre las captaciones de agua subterráneas y los caudales comprometidos por estas captaciones. Todas las captaciones se deben georreferenciar y unir en torno a una celda del modelo discretizado. Esta información es proporcionada por la DGA al consultor.

e) Establecimiento de la situación histórica

Desde el año 1925 en adelante se han registrado diferentes alteraciones antropogénicas sobre la cuenca. En 1925 comenzó la operación del Canal Laja Sur, este canal capta los recursos del río Laja a través de una bocatoma, la cual consta de una barrera fija de hormigón con protección de enrocados, estructuras de hormigón para compuertas de cierres y admisión. El canal matriz tiene 51 m³/s de capacidad y 29 km de longitud. La superficie de riego alcanza las 55 mil ha.

En la ribera norte del río Laja, frente a Antuco, se encuentra en servicio desde 1928 el canal Zañartu, el cual posee una longitud de 100 km aproximadamente y canales derivados que suman más 300 km de longitud. Posee 45 m³/s de derechos de agua y una superficie de riego de 45 mil ha. El canal matriz traspasa agua del río Laja (cuenca del río Biobío) al río Huepil (cuenca del río Itata). Su bocatoma es del tipo provisorio con patas de cabra que se reconstruye anualmente.

Por otra parte, sobre el río Biobío, en 1944, fue entregado el Canal Biobío Norte, diseñado para regar una superficie de 7 mil ha. La bocatoma del canal está situada en la ribera norte del río Biobío, aproximadamente 25 km aguas arriba del cruce con la Ruta 5 sur, frente a Santa Bárbara. La captación se hace mediante un canal de aducción el que luego de recorrer 300 m descarga en una laguna de pequeñas dimensiones, la cual controla el ingreso de las aguas hacia el canal matriz de 38 km de longitud y 10.5 m³/s de capacidad.

En 1945 se inició la construcción del Canal Biobío Sur. El proyecto riega 45 mil ha en las zonas de Mulchén y al nor-orienté de Angol. Las obras incluyen 132 km de canal matriz y una red de canales derivados y subderivados de más de 300 km. El canal matriz tiene un gasto en su bocatoma de 45 m³/s. En general el trazado incluye importantes obras civiles, entre ellas los túneles de Quillaco y Bretaña de 1500 m de longitud conjunta y principalmente los dos grandes sifones de estructura metálica para cruzar los ríos Bureo y Mulchén, con cargas de 40 y 80 m respectivamente.

A 18 km al oriente de Negrete se ubica la bocatoma permanente y lateral del Canal Biobío Negrete, su canal tiene una capacidad de conducción de 18 m³/s y 12.5 km de longitud. Posee cuatro canales derivados con una longitud total de 27.8 km, la superficie bajo riego es de 10 mil ha. Dichas obras fueron entregadas en el año 1958.

Desde 1961 funciona el Canal Quillaileo, del cual su bocatoma se ubica en la ribera derecha del río Quillaileo, a 200 m aguas arriba de su confluencia con el río Huequecura, en la comuna de Santa Bárbara. La superficie de riego es de 2 mil ha.

En la cuenca del Laja, el manejo hidroeléctrico se ha desarrollado progresivamente entre los años 1948 a 1998. En 1948 se construyó la Central Abanico que aprovecha las filtraciones del lago Laja y sus posibles vertimientos. En 1953, se construyó un vertedero en el frente del lago, cuyo umbral se ubica a 1368 m.s.n.m, y un sistema de compuertas. En 1963, se implementó el túnel de vaciado, destinado a proveer un volumen de emergencia para regadío y bajar la cota del lago al momento de construir una nueva obra. La Central Hidroeléctrica El Toro entró en funcionamiento en 1973. Esta extrae agua directamente desde el lago Laja y a través de un sistema de galería y tuberías en presión, las aguas son llevadas al río Polcura. En 1977 por otra parte, se habilitó la Captación Alto Polcura, que permite llevar el agua de la parte alta de la cuenca del río Polcura, hacia el lago Laja. Entre 1981 y 1998, entran en funcionamiento las centrales Antuco y Rucúe, respectivamente.

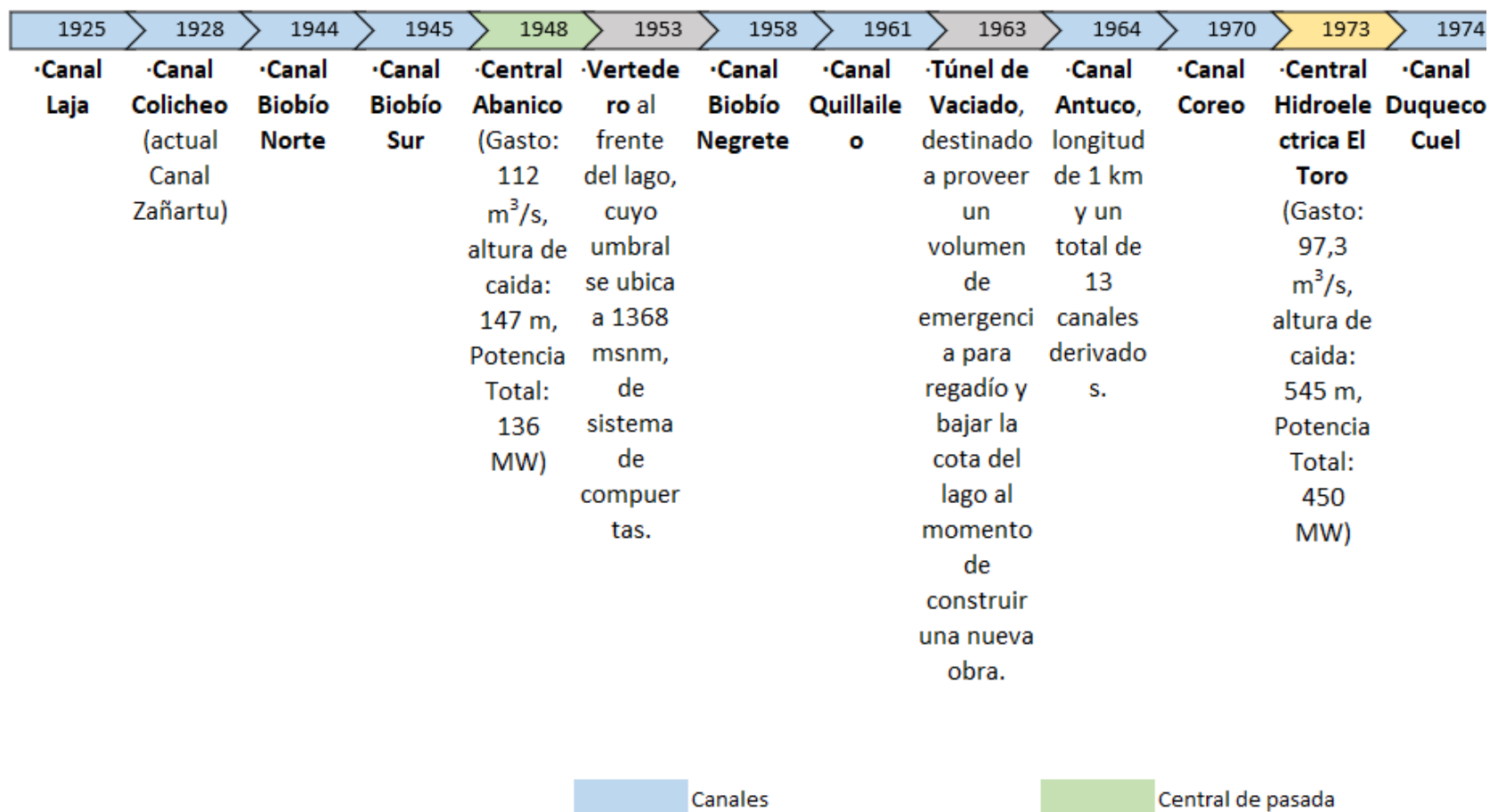
El Canal Laja-Diguillín se encuentra en operación desde el año 2001. En la comuna de Tucapel el proyecto del Canal Laja-Diguillín capta su caudal inicial en la ribera norte del Río Laja, desarrollándose hasta el río Diguillín (cuenca del río Itata). En su recorrido se identifican dos tramos, el primero denominado "Laja Huepil", inicia en la bocatoma Tucapel y conduce su caudal hasta el río Huepil y un segundo tramo "Cholguan Diguillín".

En la cuenca del río Duqueco se encuentran las centrales Peuchén, la cual capta las aguas del Río Duqueco y los esteros Aillín y Quilaquín, y Mampil que capta aguas desde la descarga de la Central Peuchén, ambas construidas en el año 2000. En dicha cuenca también se encuentran las centrales LLeuquereo, Los Padres, Aillín y Las juntas. En la cuenca del Río Queuco, se encuentran las centrales Blanco y Boquiamargo. Todas estas centrales, por su tamaño, se pueden considerar como centrales de pasada, dado que no tiene un efecto regulador importante a escala temporal mensual.

En 2004 entró en operaciones la central Ralco. En 2007 a los pies de la represa Ralco comenzó a operar la central Palmucho, ambas ubicadas en el río Biobío. Un segundo embalse en el río Biobío es Pangue, en la confluencia de los ríos Biobío, Pangue y Huirihuirí, fue construido en 1996. En el río Quillaileo, la central Quillaileo opera desde 2014.

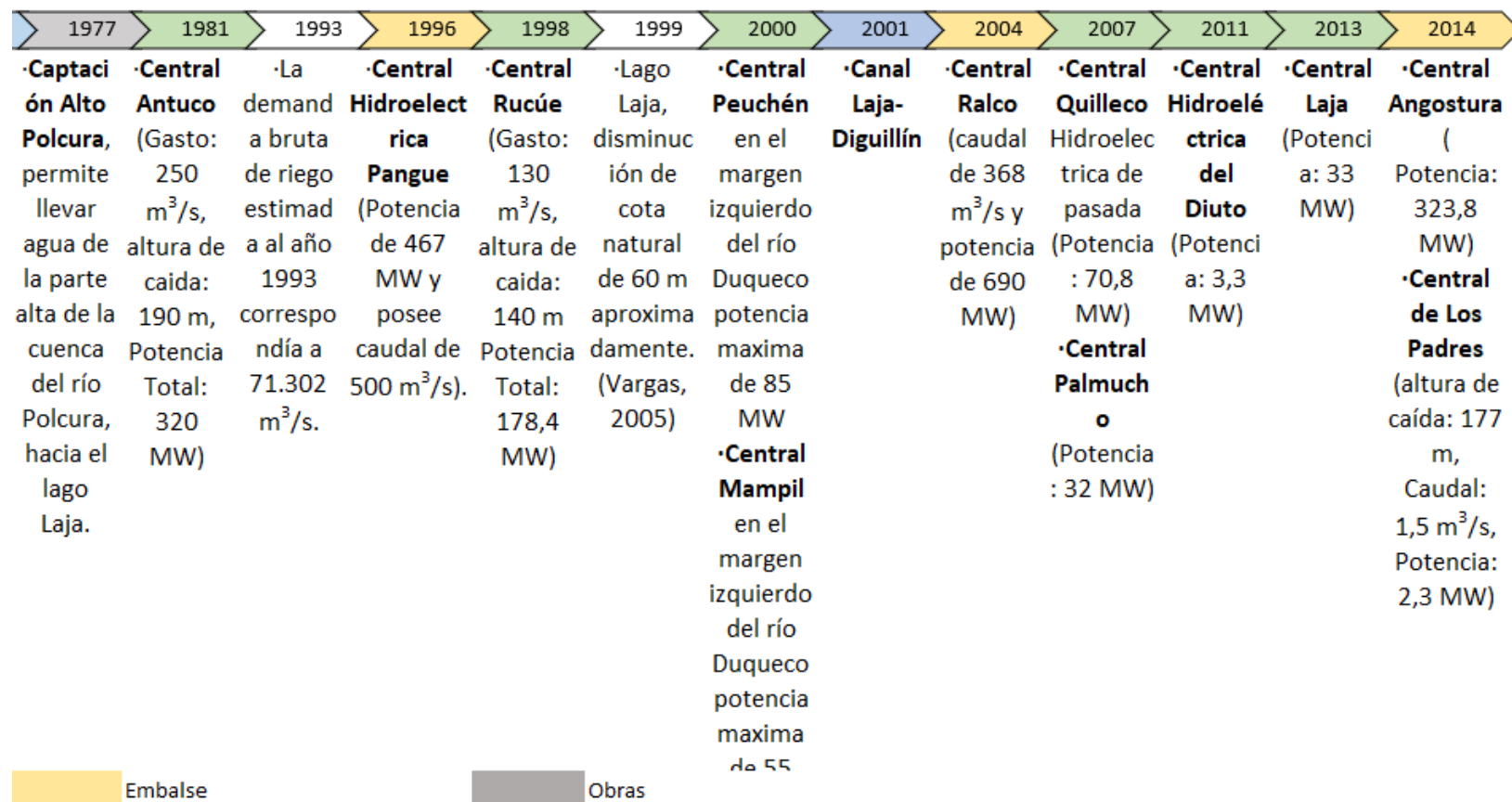
En el Río Biobío también se encuentra el embalse Angostura, el cual opera desde 2014. Río abajo, se ubican las centrales Rucalhue y Quilaco.

La Figura 54 resume las principales intervenciones sobre la cuenca del Biobío a través del tiempo. La Figura 55 por su parte, muestra una discretización de la cuenca por sub-cuencas con control fluviométrico, junto con la ubicación de obras de toma y estaciones meteorológicas dentro de la cuenca. Adicionalmente, las áreas de color indican los diferentes sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común (SHAC).



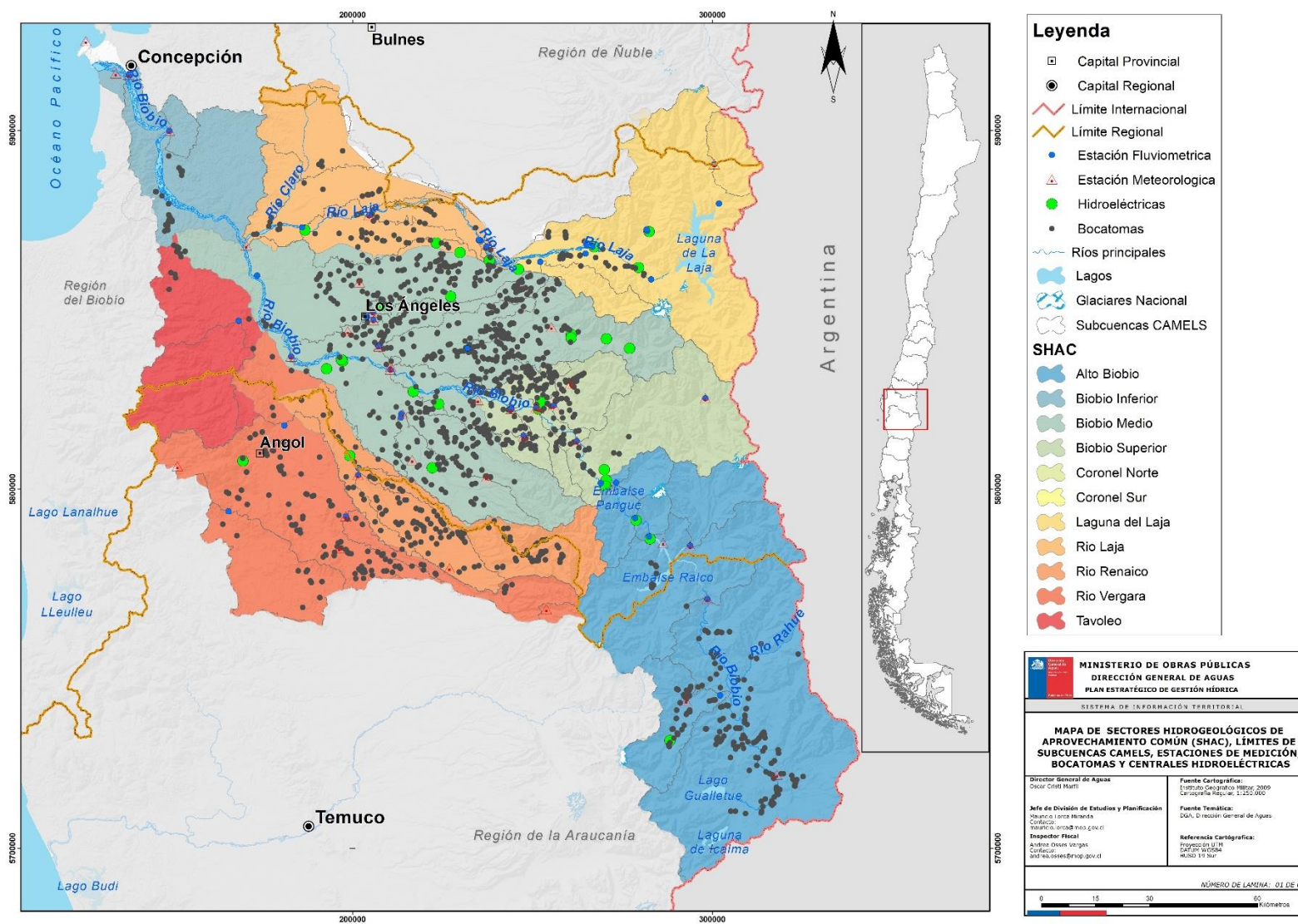
Fuente: Elaboración propia

Figura 54. Línea de tiempo de las principales intervenciones antropogénicas sobre la cuenca del Biobío.



Fuente: Elaboración propia

Figura 54. Línea de tiempo de las principales intervenciones antropogénicas sobre la cuenca del Biobío. (Continuación)



Fuente: Elaboración propia

Figura 55. Mapa de subcuencas, sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común (SHAC), bocatomas, estaciones fluvimétricas y meteorológicas dentro de la cuenca del río Biobío.

f) Modelación actualizada de la oferta sustentable superficial y subterránea de agua

Utilizando registros hidro-meteorológicos disponibles se implementó el modelo WEAP en modo semi-distribuido. Se consideró la implementación a escala de sub-cuenca en la zona alta de la cuenca del río Biobío, mientras en la zona media, donde el acuífero adquiere mayor importancia para efectos del proyecto, se considera una modelación integrada WEAP-MODFLOW. La modelación actualizada de la oferta sustentable superficial y subterránea de agua a nivel de cuenca y SHACs se realizó siguiendo los lineamientos establecidos en el Manual de Normas y Procedimientos para la administración de Recursos Hídricos DGA (DGA, 2008).

El modelo superficial se desarrolló a paso de tiempo mensual en dos partes. Un proyecto que incluye puntos de control que se encuentren fuera del dominio del modelo subterráneo, incluyendo nodos Groundwater para representar las áreas de los SHACs que se encuentran fuera del dominio (WEAP), y otro donde se consideren los puntos de control dentro del dominio del modelo subterráneo (acople WEAP-MODFLOW).

El modelo se calibró mediante el análisis de los puntos de control (estaciones fluviométricas) que se encuentran en la cuenca. La Tabla 53 muestra las subcuencas consideradas en ambos proyectos.

Las funciones objetivo que se considerarán para analizar los resultados de calibración se muestran en la Tabla 52.

Tabla 52. Funciones objetivo y ecuaciones.

Función Objetivo	Ecuación	Ajuste perfecto	Resultados bueno a muy bueno
KGE	$1 - \sqrt{(r - 1)^2 + (\alpha - 1)^2 + (\beta - 1)^2}$	KGE = 1	KGE > 0.6
NSE	$1 - \frac{\sum_{j=1}^n (Q_s - Q_o)^2}{\sum_{j=1}^n (Q_o - \bar{Q}_o)^2}$	NSE = 1	NSE > 0.6
ROCE	$abs\left(\frac{\bar{Q}_s}{\bar{P}} - \frac{\bar{Q}_o}{\bar{P}}\right)$	ROCE = 0	-
PBIAS	$\frac{\sum_{j=1}^n (Q_s - Q_o)}{\sum_{j=1}^n Q_o}$	PBIAS = 0	PBIAS > 10%
R ²	$\frac{COV(Q_s, Q_o)}{\sigma_{Q_s} \cdot \sigma_{Q_o}}$	R ² = 1	-

Fuente: Dawson et al. (2007)

KGE: ling-Gupta Efficiency Index; NSE: Nash-Sutcliffe Efficiency Index; ROCE: Runoff Coefficient Error; PBIAS: Percentage of bias; R²: Coeficiente de correlación; Qs: Caudales simulados, Qo: Caudales Observados; $\bar{Q}_s$: Promedio de los caudales simulados; $\bar{Q}_o$: Promedio de los caudales observados.

Tabla 53. Subcuencas (puntos de control) modeladas para calibración en ambos proyectos.

WEAP			WEAP-MODFLOW		
Código BNA	Nombre	Superficie km ²	Código BNA	Nombre	Superficie km ²
8317001	Rio Biobío En Rucalhue	7.252,5	8394001	Rio Biobío En Desembocadura	24.267,7
8313001	Rio Biobío Ante Junta Pangué	5.437,8	8319001	Rio Biobío En Longitudinal	7.860,0
8312001	Rio Biobío Ante Junta Huirí Huirí	5.233,1	8334001	Rio Biobío En Coihue	11.136,9
8312000	Rio Biobío En Angostura Ralco 1	5.127,5	8358001	Rio Vergara En Tijeral	2.537,0
8307002	Rio Biobío En Llanquén	3.355,6	8356001	Rio Rahue En Quebrada Culen	670,6
8304001	Rio Lonquimay Antes Junta Rio Biobío	466,7	8351001	Rio Malleco En Collipulli	415,1
8362001	Rio Nicodahue En Pichun	739,6	8343001	Rio Mininco En Longitudinal	440,2
8323002	Rio Duqueco En Villucura	817,0	8342001	Rio Renaico En Longitudinal	688,1
8313000	Rio Pangué en captación	135,6	8330001	Rio Mulchén En Mulchén	428,1
8380001	Rio Laja En Tucapel	2.766,9	8332001	Rio Bureo En Mulchén	540,8
8372002	Rio Polcura En Cuatro Junta	235,4	8317002	Rio Lirquen En Cerro El Padre	103,4
8376001	Rio Rucue En Camino A Antuco	210,9	8323001	Rio Duqueco En Cerrillos	1.338,9
			8324002	Estero Paillihue En Ex Longitudinal Sur	20,4
			8385001	Rio Claro En Camino Yumbel-Estación	530,4
			8383001	Rio Laja En Puente Perales	3.424,7

Fuente: Elaboración propia

En MODFLOW 2005 la grilla se configuró como muestra la Tabla 54 (Detalles de discretización en Anexo H).

Tabla 54. Configuración grilla MODFLOW.

	Bordes grillas		Coordenadas del centro grilla	
Coordenadas UTM Norte	5.775.000	5.915.000	5.775.125	5.914.875
Coordenadas UTM Este	168.000	240.000	168.125	239.875
Tamaño celdas	250			
Número de columnas	288			
Número de filas	560			

Fuente: Elaboración propia

g) Calibración-validación del modelo superficial

El proceso de calibración del modelo acoplado superficial subterráneo del río Biobío consistió en ajustar los parámetros de asociados a los flujos superficiales, subterráneos, y aquellos que se interrelacionan, reproduciendo como resultado de la modelación matemática, los flujos medidos en estaciones fluviométricas, niveles medidos en pozos, y flujos subterráneos estimados, desde una perspectiva global en el sistema hidrogeológico.

Dada la visión en conjunto de este ajuste, en el caso de los flujos superficiales, se recalca que la calibración se compone tanto de un cálculo de indicadores de eficiencia como gráficos que permiten dar cuenta de una visión completa del comportamiento del sistema.

Las principales modificaciones en el proceso de calibración fueron los ajustes de variables climáticas (precipitación y temperatura), para la representación de los procesos de derretimiento nival, mientras que en aguas subterráneas se calibró modificando la conductancia de los ríos, de esta manera regular la cantidad de agua que se comunicaba entre el sistema superficial y el subterráneo, ya que de forma independiente presentan una simulación adecuada en general.

Los detalles de parámetros, indicadores y criterios para calibración se presentan en Anexo H.

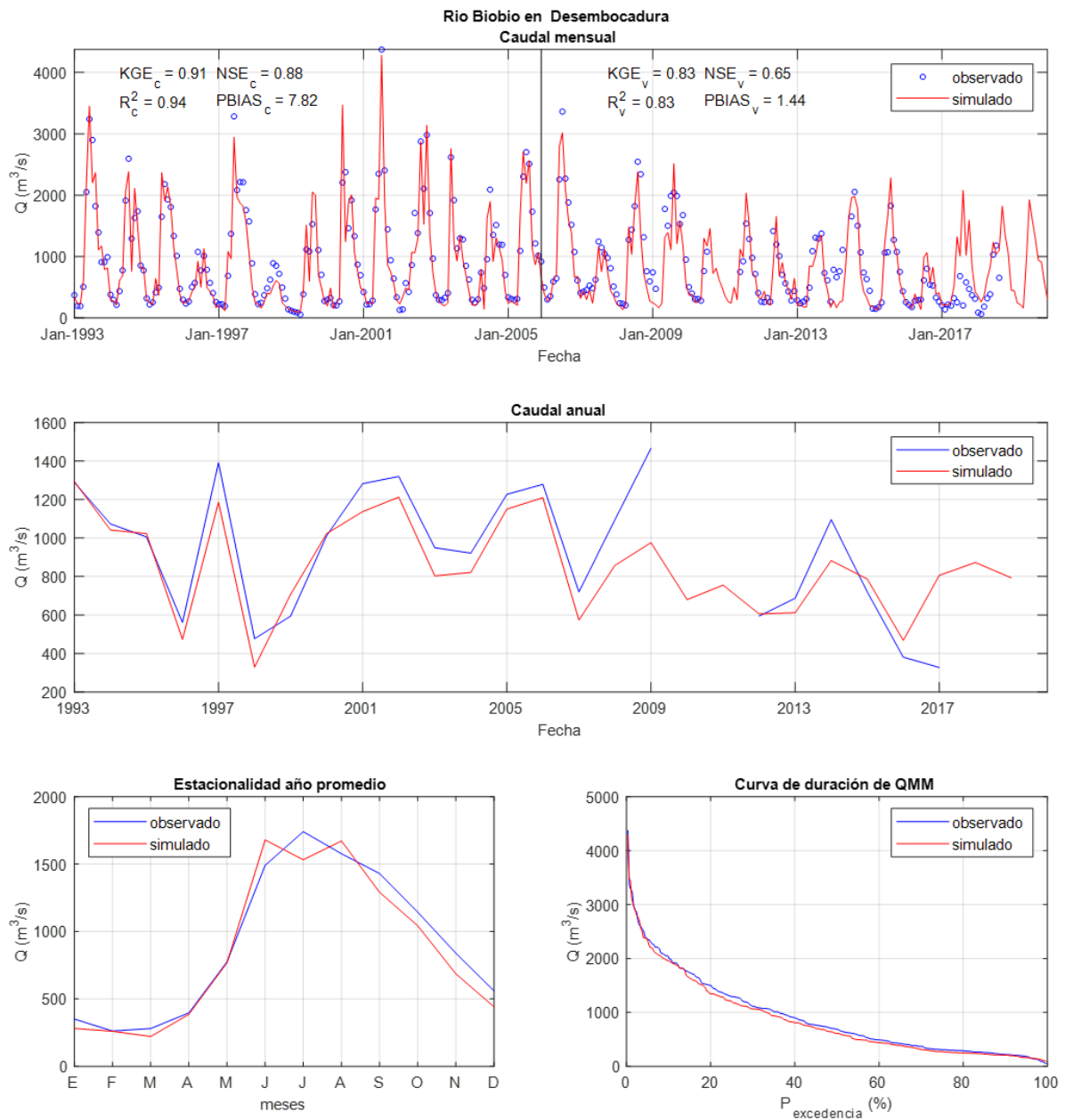
En la Tabla 55 se entregan los indicadores de calibración y validación de las comparaciones de caudales simulados y observados para los elementos topológicos considerados. En términos generales, se verificaron las medidas de desempeño del modelo acoplado. Se observa que para la mayoría de las cuencas modeladas el modelo se puede clasificar como 'Bueno' o 'Muy Bueno'.

Tabla 55. Indicadores de calidad de calibración y validación en las estaciones DGA consideradas.

Nombre Estación	Código	Calibración				Validación			
		KGE	NSE	PBIAS	R ²	KGE	NSE	PBIAS	R ²
Rio Biobío en desembocadura	8394001	0,91	0,88	7,82	0,94	0,83	0,65	1,44	0,83
Rio Lonquimay y ante junta Biobío	8304001	0,72	0,47	-0,24	0,79	0,64	0,23	-2,26	0,65
Rio Biobío en Llanquen	8307002	0,66	0,56	1,82	0,81	0,69	0,37	-5,41	0,74
Rio Biobío ante junta Huiiri Huiiri	8312001	0,46	0,28	15,9	0,74	0,52	-0,03	11,13	0,68
Rio Biobío ante junta Pangué	8313001	0,53	0,43	-7,69	0,82	0,92	0,84	3,25	0,92
Rio Pangué en Captación	8313000	0,87	0,83	7,9	0,91	0,77	0,6	7,96	0,79
Rio en Rucalhue	8317001	0,8	0,74	13,68	0,87	0,96	0,93	2,03	0,97
Rio Duqueco en Villucura	8323002	0,9	0,82	5,19	0,91	0,87	0,75	5,45	0,88
Rio Duqueco en Cerillos	8323001	0,83	0,82	-0,79	0,91	0,81	0,76	-1,94	0,91
Rio Biobío en Coihue	8334001	0,87	0,92	-0,87	0,96	0,91	0,9	-3,12	0,96
Rio Bureo en Mulchen	8332001	0,86	0,76	-7,99	0,89	0,72	0,76	-23,16	0,91
Rio Mulchen en Mulchen	8330001	0,79	0,67	5,98	0,82	0,78	0,54	-6,65	0,83
Rio Renaico en Longitudinal	8342001	0,73	0,73	13,12	0,85	0,79	0,77	2,1	0,9
Rio Mininco en Longitudinal	8343001	0,79	0,62	-1,21	0,8	0,75	0,58	-14,68	0,81
Rio Malleco en Collipulli	8354001	0,82	0,84	10,27	0,94	0,79	0,62	9,69	0,82
Rio Vergara en Tijeral	8358001	0,89	0,81	6,32	0,91	0,89	0,79	3,8	0,89
Rio Rehue en Quebrada Culen	8356001	0,85	0,68	-5,2	0,85	0,81	0,77	-13,67	0,88
Rio Nicodahue en Pichun	8362001	0,8	0,81	-4,64	0,93	0,48	0,79	-22,68	0,93
Rio Iaja en Tucapel	8380001	0,65	0,47	14,07	0,81	0,75	0,6	6,17	0,8
Rio Laja en Puentes Perales	8383001	0,7	0,52	8,4	0,82	0,66	0,49	-27,28	0,8
Rio Claro en Camino Yumbel - Estación	8385001	0,82	0,74	10,3	0,87	NaN	NaN	NaN	NaN

Fuente: Elaboración propia

La Figura 56 muestra, a modo de ejemplo, los resultados obtenidos para la estación de control Biobío en Desembocadura. En los Apéndices H-2, H-3 y H-4 del Anexo H presentan los resultados obtenidos, mientras que la Figura 56 resume los valores de las medidas de desempeño obtenidos.

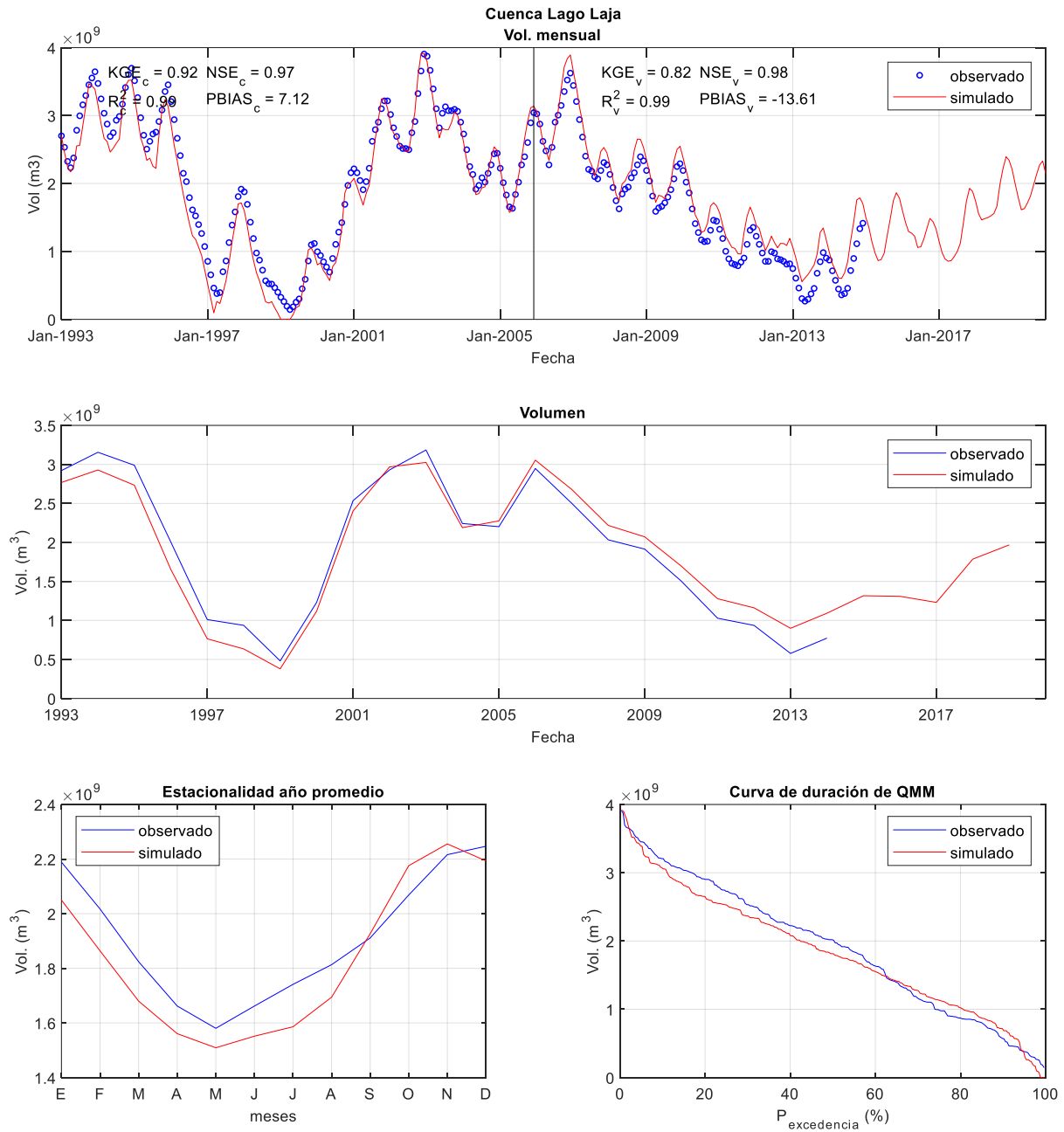


Fuente: Elaboración propia

Figura 56. Resultados de componente superficial del modelo acoplado WEAP-MODFLOW para la estación Biobío en Desembocadura.

Verificación de flujos Simulados para elementos operacionales.

Uno de los elementos operacionales más importantes en la cuenca del río Biobío corresponde al Lago Laja. El Lago Laja es una componente natural del sistema hidrológico, controlado de manera artificial a través de los caudales extraídos para riego y energía desde la central hidroeléctrica El Toro. Para verificar la correcta representación del sistema, en el modelo se incorporó la serie temporal de caudales extraídos por el toro, junto con la ecuación de filtraciones desde el lago, la relación área superficial – elevación de la lámina de agua y la relación volumen lago – elevación de la lámina de agua. Los niveles del lago se simularon y se compararon con registros de elevación y volumen del lago en el tiempo. Se calcularon los indicadores de desempeño correspondientes. Para ello se descartó un periodo inicial de calentamiento de 5 años y el periodo desde el año 2015 en adelante dado que desde dicha fecha se empezaron a realizar varios convenios de flexibilización de la regla de operación, que conllevan a un error en la estimación de los niveles del lago dado que difieren de la regla de operación modelada. La Figura 57 muestra los resultados obtenidos para la modelación acoplada del elemento Lago Laja.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 57. Resultados modelación del Lago Laja en modelo acoplado WEAP – MODFLOW.

h) Verificación del modelo subterráneo

La Figura 58 muestra las líneas isofreáticas obtenidas mediante la modelación a régimen permanente. En esa figura, se constata la tendencia general a la existencia de zonas de recarga de los ríos al acuífero en la zona cercana a la precordillera y de recuperaciones desde el acuífero a los ríos, en la zona más cercana a la Cordillera de la Costa.

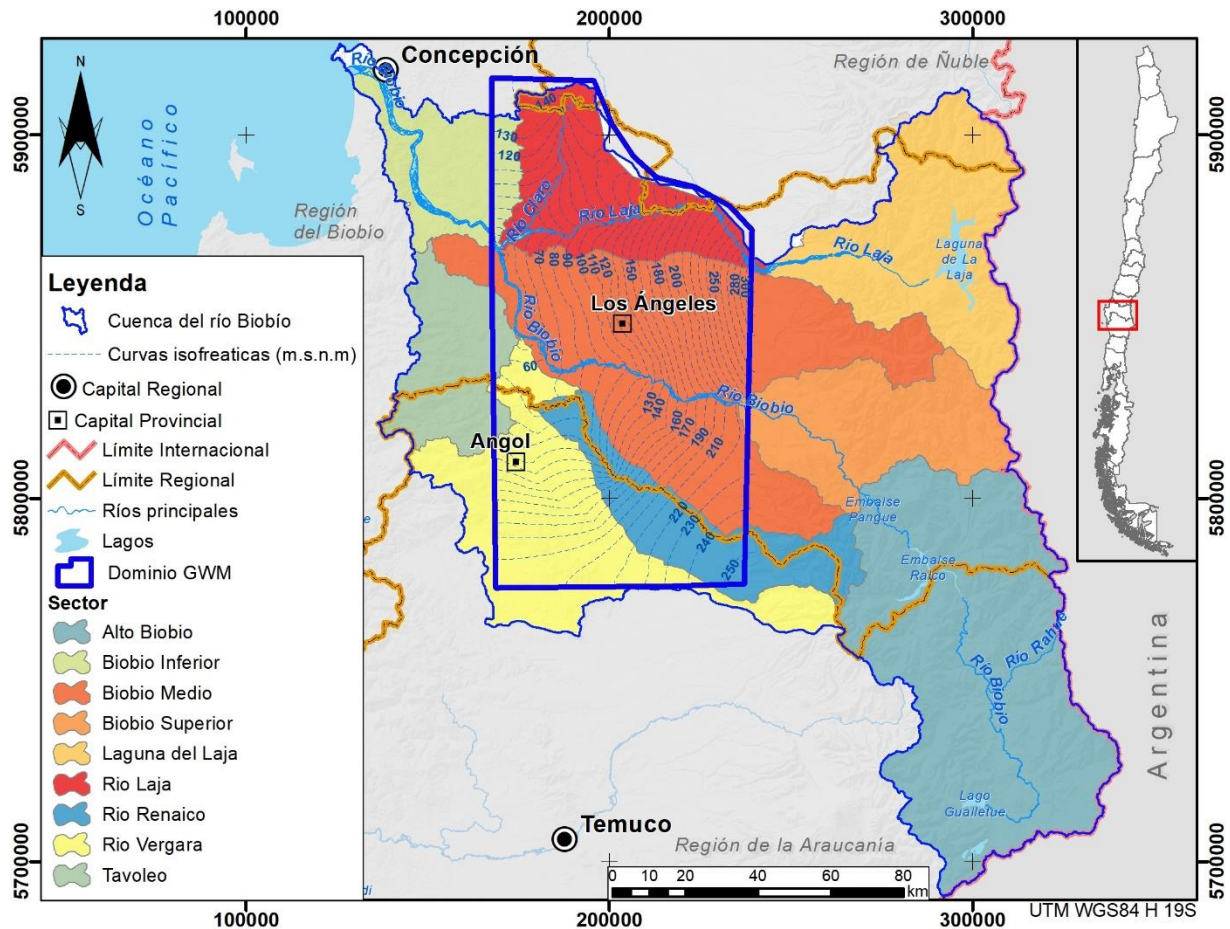


Figura 58. Curvas Isofreáticas.

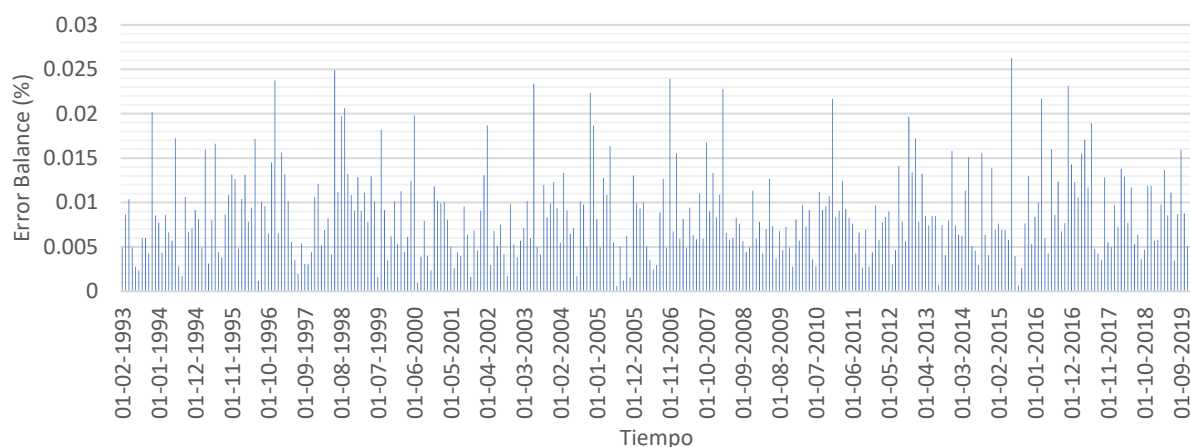
En la Tabla 56 se presenta el balance hidrogeológico global y para cada SHAC en promedio durante el período de modelación.

Tabla 56. Balance Hidrogeológico 1993-2019 calibrado para la zona del sistema acoplado.

Entradas (m³/s)	Laja	BB Medio	Renaico	Vergara	BB Superior	Total
Flujo subterráneo	15.605	31.139	6.279	7.330	2.130	62.483
Entrada desde carga constante	0.110	0.912	0.000	0.000	0.000	1.023
Recarga desde río	5.445	14.681	0.009	0.078	1.572	21.784
Recarga superficial	10.920	40.000	7.108	14.935	0.444	73.407
Total	32.080	86.732	13.396	22.343	4.146	158.697
Salidas (m³/s)	Laja	BB Medio	Renaico	Vergara	BB Superior	Total
Flujo subterráneo	12.132	41.228	8.049	9.493	2.655	73.558
Afloramiento río	16.488	35.159	4.971	11.465	1.378	69.460
Pozos de bombeo	3.462	7.188	0.376	1.386	0.113	12.524
Descarga hacia carga constante	0.000	3.153	0.000	0.000	0.000	3.153
Total	32.082	86.728	13.396	22.343	4.146	158.695
Variación de Almacenamiento (m³/s)	1.215	-4.530	-3.964	-2.777	-0.019	-2.015
Error de Balance	-0.002	0.004	0.000	0.000	0.000	0.002
Error de Balance (%)	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01

Fuente: Elaboración Propia

El error de balance promedio para todo el dominio de modelación es igual a 0.01%, lo que se observa en la Figura 59 (donde queda acotado a un valor de 0.026%) para todos los tiempos de modelación.



Fuente: Elaboración Propia

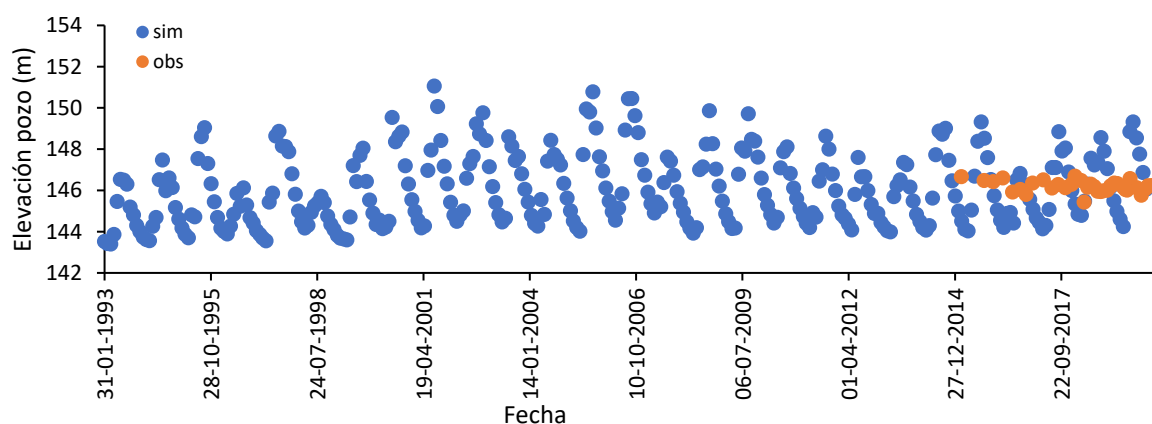
Figura 59. Error en el tiempo del balance hídrico para modelo acoplado Biobío 1993-2019.

Es importante notar que el modelo subterráneo no pudo ser calibrado en régimen transiente debido a que existe limitada información histórica, pues se dispone de sólo 10 pozos de observación con datos desde el año 2015 para una cuenca que supera los 20.000 km². Por otro lado, sólo existe limitada información geofísica para el acuífero, consistente en perfiles gravimétricos realizados para el estudio DGA (2012)

Niveles Simulados Observados y Flujos de Intercambio

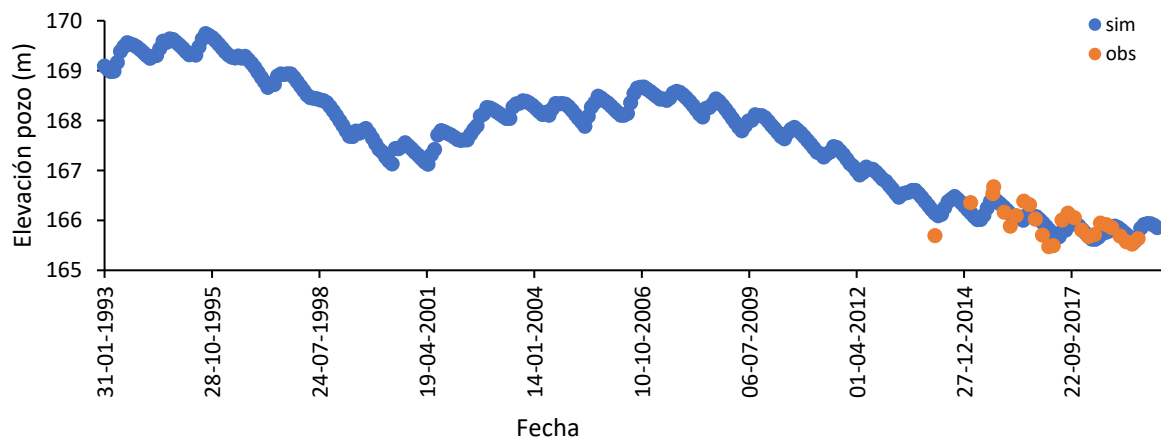
El acople de los modelos WEAP-MODFLOW considera sólo la información del primer período de stress del modelo subterráneo. Se reajustó y se incorporaron las modificaciones y actualizaciones del modelo subterráneo, de manera que mantenga la correcta dinámica de flujos en el sistema subterráneo.

Se realizó un análisis de las tendencias simuladas en las celdas donde existen pozos de observación con datos de históricos. En la Figura 60 a Figura 65 se presenta el registro de los niveles freáticos registrados y simulados en algunos de los pozos de observación.



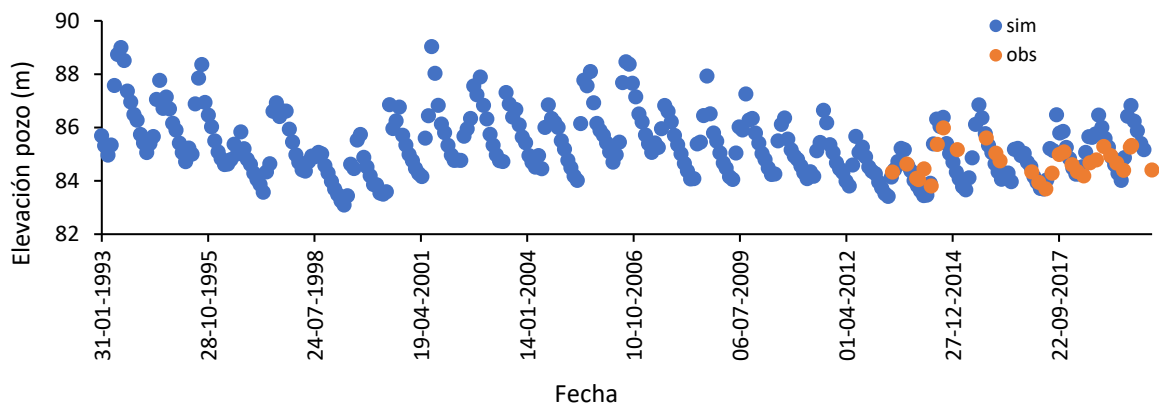
Fuente: Elaboración propia

Figura 60. Calibración en pozo de observación Los Ángeles.



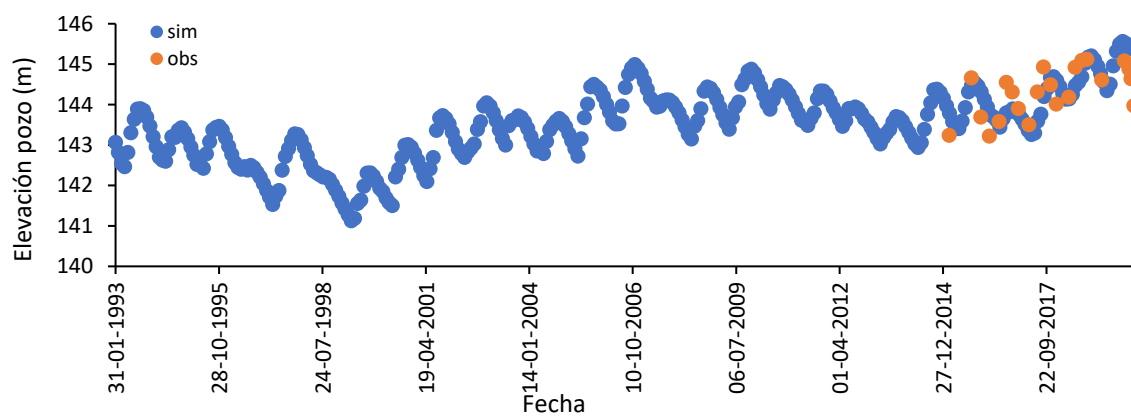
Fuente: Elaboración propia

Figura 61. Calibración en pozo de observación Yungay.



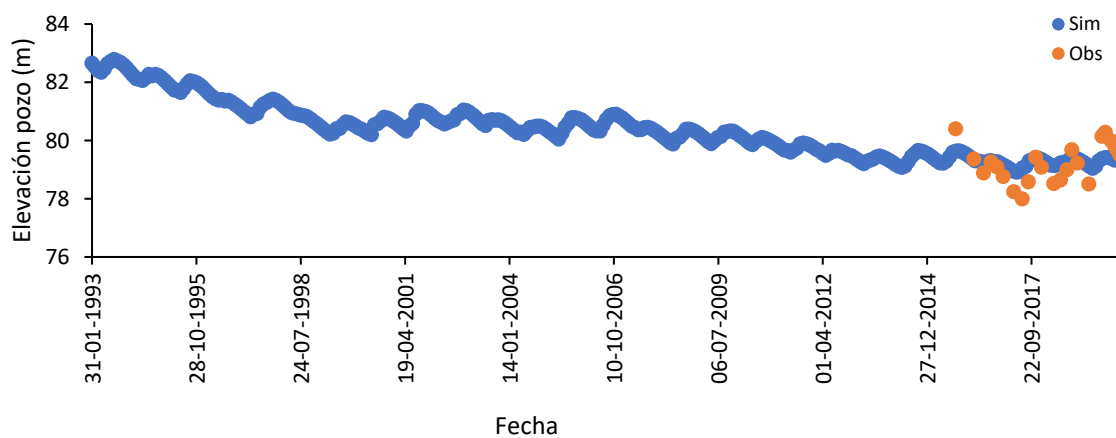
Fuente: Elaboración propia

Figura 62. Calibración en Pozo de Observación Canalistas Biobío Sur.



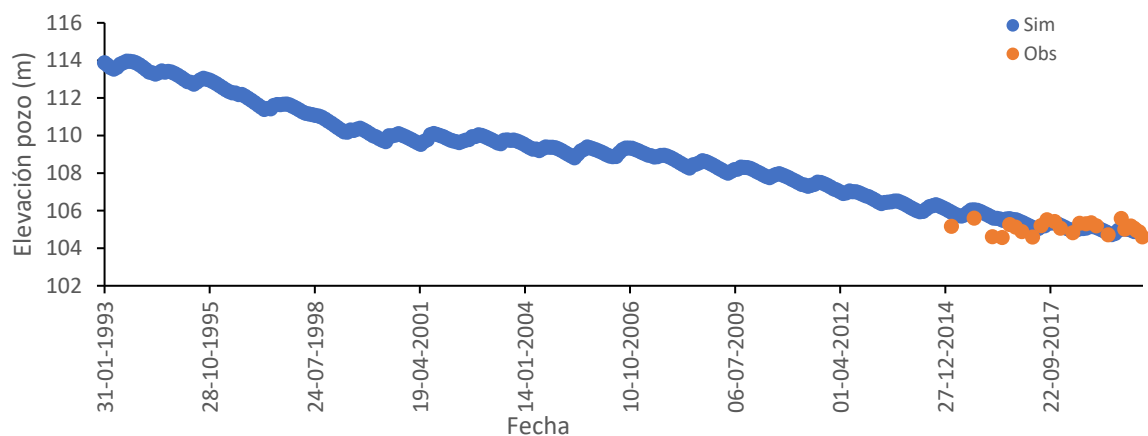
Fuente: Elaboración propia

Figura 63. Calibración en Pozo de Observación Mulchén.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 64. Calibración en Pozo de Observación Yumbel.

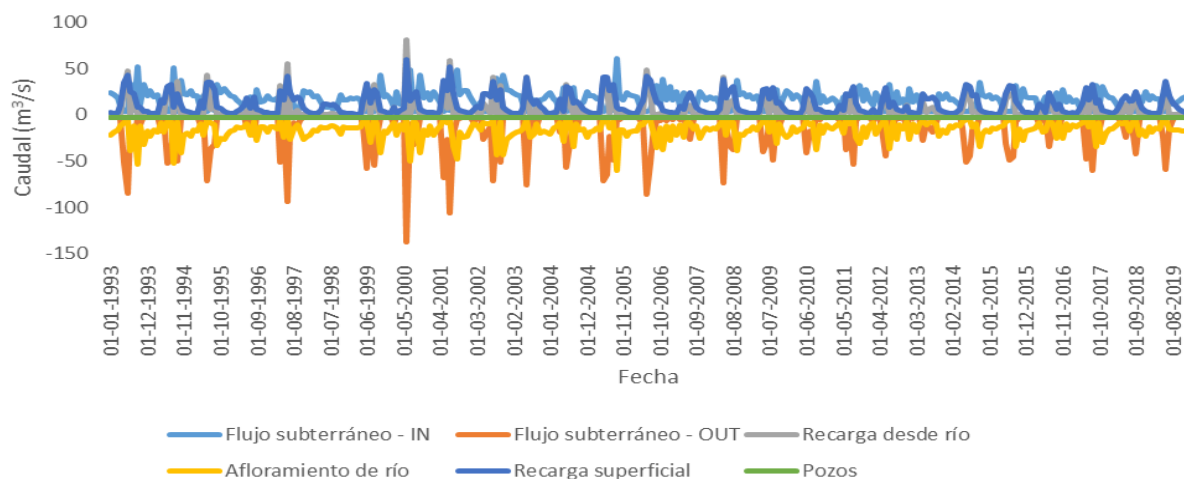


Fuente: Elaboración propia

Figura 65. Calibración en Pozo de Observación Cabrero.

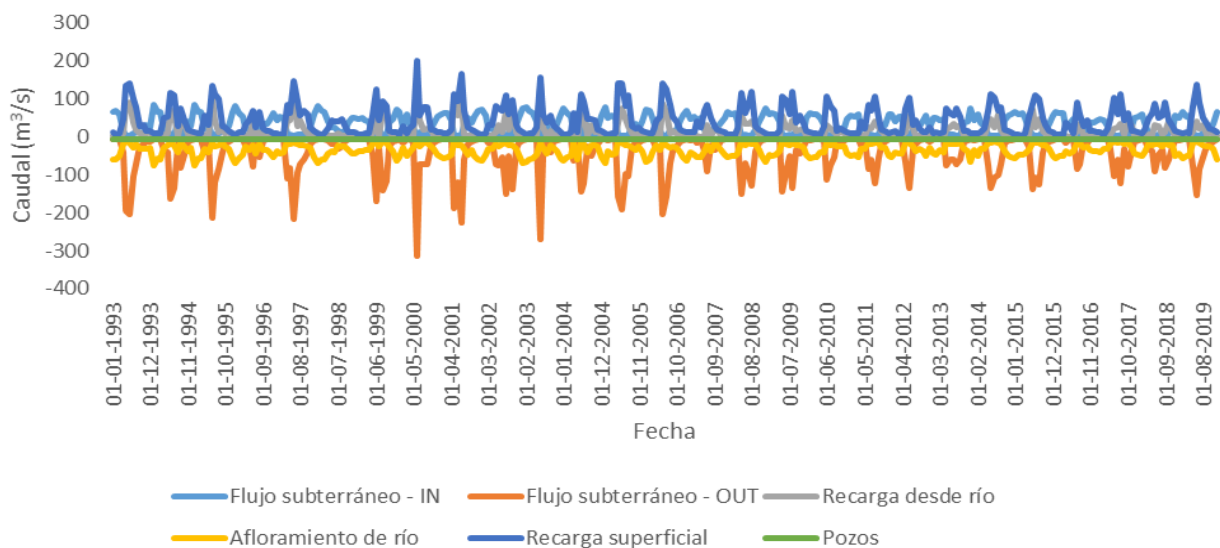
Como se puede apreciar los niveles reproducidos del modelo acoplado son satisfactorios, reproduciendo la estacionalidad de la variación de niveles y la tendencia del nivel observado.

Para evaluar el comportamiento de las variables modeladas del sistema acoplado, en la Figura 66 a la Figura 70 se muestra el resultado gráfico de la simulación mensual, en la que se presentan con valores positivos aquellos flujos de entrada al acuífero y en negativo aquellos flujos que representan las salidas.



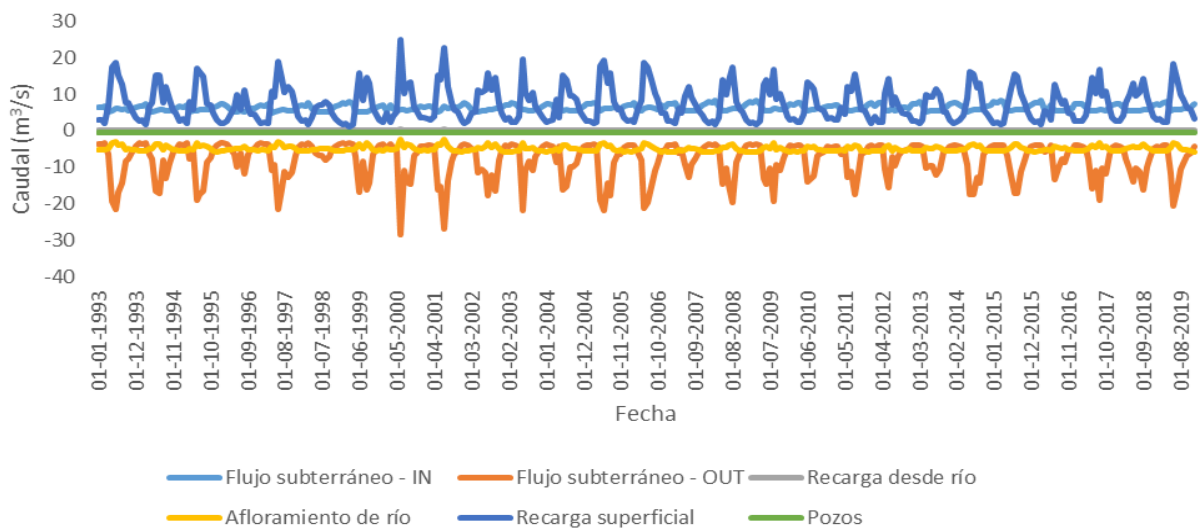
Fuente: Elaboración Propia

Figura 66. Comportamiento de las variables asociadas al Acuífero Laja, período 1993-2019.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 67. Comportamiento de las variables asociadas al Acuífero Biobío Medio, período 1993-2019.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 68. Comportamiento de las variables asociadas al Acuífero Renaico, período 1993-2019.

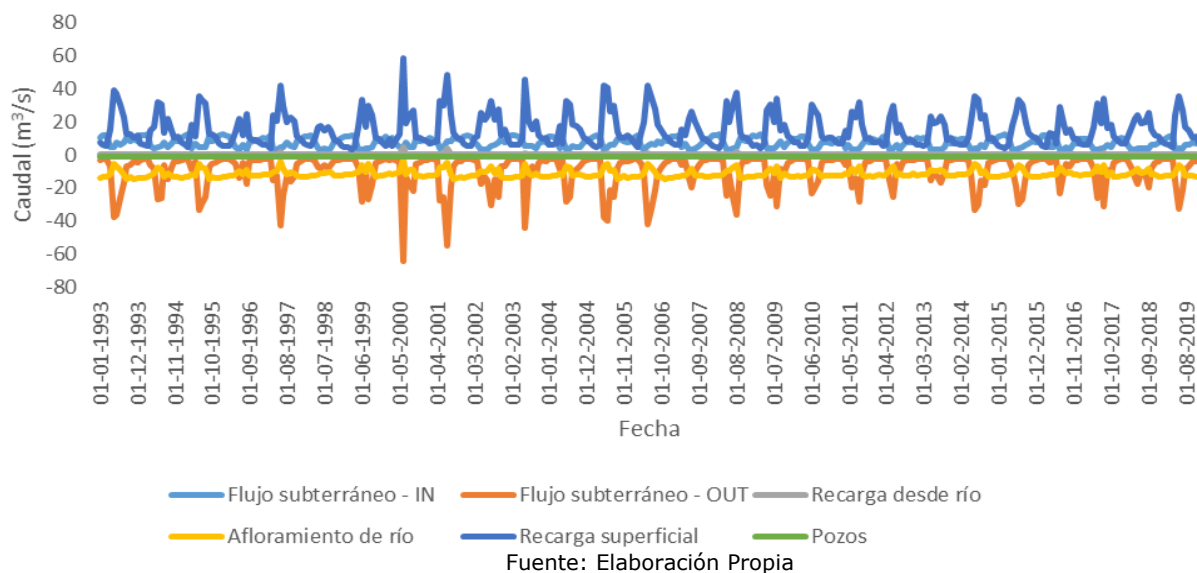


Figura 69. Comportamiento de las variables asociadas al Acuífero Vergara, período 1993-2019.

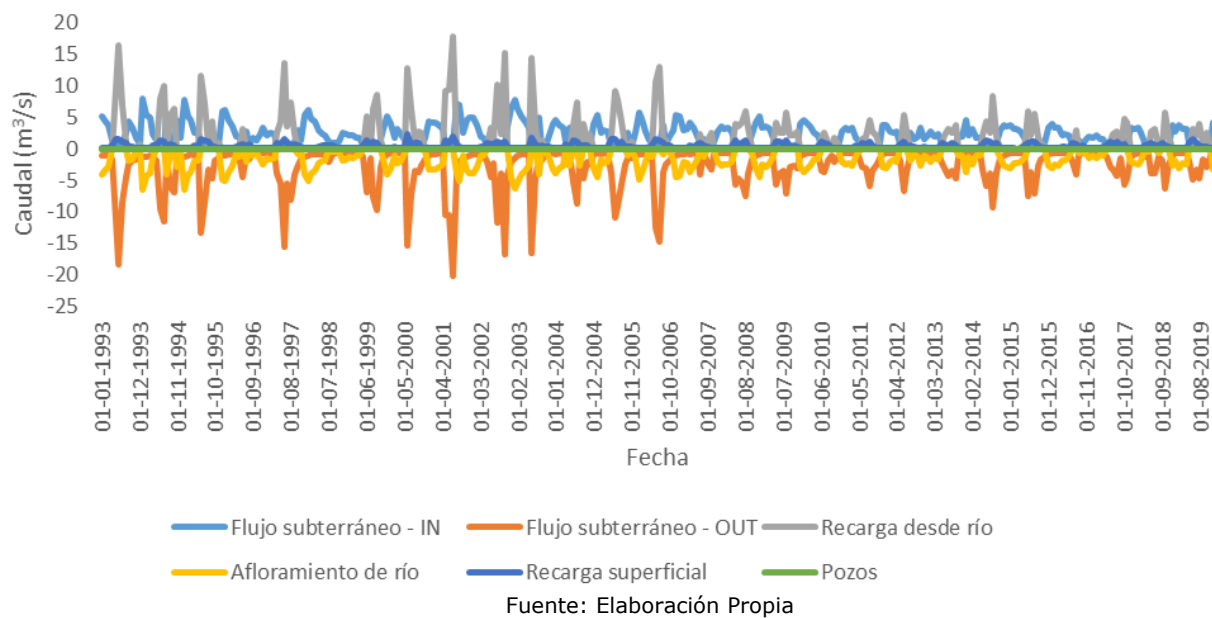


Figura 70. Comportamiento de las variables asociadas al Acuífero Biobío Superior, período 1993-2019.

Verificación de la recarga

Con motivo de comparar la recarga que está siendo ingresada al modelo desde su versión “pre-acople” y la ingresada al modelo “acoplado” se construyó la Tabla 57, (Apéndice H3).

Tabla 57. Verificación de la recarga.

Zona	SHAC	Recarga (m ³ /s) MODFLOW	Recarga (m ³ /s) WEAP-MODFLOW
1	Laja	10.95	10.94
2	BB medio	39.96	39.95
3	Renaico	7.10	7.10
4	Vergara	14.93	14.92
5	BB superior	0.44	0.44

Fuente: Elaboración Propia

Como se puede apreciar, la recarga entre ambos modelos es comparable, con valores en los mismos ordenes de magnitud.

Se analizó la precipitación durante la modelación histórica, de ello se obtuvo que la recarga corresponde a un 15% promedio de la precipitación convertida en recarga del acuífero. La Tabla 58 indica los valores por SHAC. Es importante tener en cuenta el área de cada sector acuífero y que la recarga está compuesta por aportes directos de precipitación e infiltración desde ríos (Tabla 58), por lo que el valor indicado en la Tabla 58 sólo puede ser usado de manera referencial.

Tabla 58. Porcentaje de la precipitación transformada en recarga.

PP% en RCH	% promedio en el período
Laja	15,5
Biobío medio	17,4
Renaico	14,1
Vergara	21,4
Biobío superior	7,4
Promedio Total %	15,2

Fuente: Elaboración propia

6.1.2 Situación proyectada (Escenarios futuros)

Para efectos de responder a los objetivos del proyecto se modelaron diferentes escenarios con diferentes propósitos. La Tabla 59 muestra un resumen de los escenarios considerados y el objetivo para el cual fueron considerados.

Tabla 59. Resumen de escenarios considerados en la modelación.

Escenario	Descripción	Objetivo
Cambio climático	Se utilizan forzantes que considera el cambio climático en el modelo y se mantienen las demandas existentes hasta el año 2019. Estas se replican hacia adelante para el periodo de simulación.	Analizar la variación de la oferta hídrica para conocer cómo responde el sistema hidrológico.
Escenario 1 Caso Base (cambio climático)	Se utilizan forzantes que considera el cambio climático en el modelo. A diferencia del modelo anterior, se modela una proyección (incremento) de las demandas para el periodo de simulación (2020 a 2050).	Evaluar la evolución de los flujos, niveles y balances hídricos, de manera de identificar brechas en el desbalance hídrico en el horizonte de evaluación 2020-2050.

Oferta hídrica superficial sustentable	Se utilizan forzantes históricos determinados en base a registros y no se modelan demandas registradas.	Determinar oferta hídrica histórica y sustentabilidad.
Escenario 2	Escenario de gestión (ver descripción en sección 6.4.1)	Evaluar la nueva regla de operación del Lago Laja.
Escenario 3	Escenario de gestión (ver descripción en sección 6.4.2).	Evaluar iniciativa de recarga artificial de aguas.

Fuente: Elaboración propia

La situación proyectada comprende la decisión del modelo de circulación general a adoptar para la cuenca como también el escenario base sobre el cual se implementarán los escenarios de gestión. A continuación, se presenta la toma de decisiones de estos aspectos para la cuenca del río Biobío.

Las series de datos necesarias para ejecutar estos escenarios se encuentran en los archivos .csv que corresponden a cada cuenca o Unidad Hidrológica. Luego de las columnas con series de datos históricos (1989-2019) se incluyen las columnas con las series de datos proyectados (2020-2050).

a) Selección de Modelo de Circulación General Disponible

Para la selección del modelo de cambio global para análisis de escenarios, se revisaron los modelos globales de clima para representar las proyecciones de cambio climático en Chile seleccionados por DGA (2018). Se revisó la tendencia de las precipitaciones y temperatura de dichos modelos y se comparó con la tendencia registrada para Biobío en Desembocadura. En base a ello se determinó que el modelo climático debería proyectar una tendencia de disminución de precipitaciones entre 5.8% y 24.3% (sin considerar y considerando la reciente megasequía en el cálculo de la línea de tendencia). Dado esto último se consideró que la tendencia promedio de largo plazo debería ser menor que aquella estimada considerando los registros de la sequía existente en la última década (<24.8%), pero superior al valor estimado sin considerar la reciente sequía (>5.8%). Adicionalmente se compararon las curvas de variación estacional de los modelos climáticos con observaciones de estaciones DGA en diferentes puntos de la cuenca. Finalmente considerando que el modelo CCSM4 presentó un mejor ajuste en las curvas de variación estacional de precipitación y temperatura, una estimación de la reducción de precipitaciones dentro del rango estimado (~11%), y una adecuada resolución espacial, se seleccionó para los análisis de escenarios cambio climático. El Apéndice H-4 presenta las figuras utilizadas para el presente análisis.

Con el objetivo de hacer una primera evaluación del modelo y resultados. Se realizó la simulación para el escenario de cambio climático y se analizaron los resultados obtenidos, considerando las demandas de 2019 replicadas a 2050. La Tabla 60 resume las componentes consideradas en el escenario de cambio climático modelado.

Tabla 60. Escenario de Cambio Climático modelado.

Escenarios	Periodo	OBS
E1 CC	Abril 2020 - Mar 2050	
Forzantes	Abril 2020 - Mar 2050	MCG CCSM4
Demandas	Abril 2020 - Mar 2050	Replicadas desde 2019 para analizar variación de oferta hídrica y cómo responde el sistema para garantizar funcionamiento.

Fuente: Elaboración Propia

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

Cambio climático (E1-CC): MCG CCSM4

Los resultados de la implementación de este escenario se presentan en el Apéndice 3 del Anexo H. En términos generales, en lo que respecta a niveles subterráneos, los hidrogramas muestran un descenso de éstos en el periodo 2019-2050, en relación con el periodo base. En lo que respecta al balance subterráneo, la Tabla 61 presenta las variaciones en la recarga superficial en el periodo 2020-2050, con respecto a la registrada en el periodo calibrado 1993-2019. En esta se observa que en total el modelo con cambio climático recibe 38% menos de recarga superficial, siendo este comportamiento variable en cada SHAC. Cabe comentar que estos resultados representan el análisis de un solo periodo y modelo de cambio climático de varios que potencialmente pueden ser susceptibles de evaluar para determinar la incertidumbre asociada a estas proyecciones.

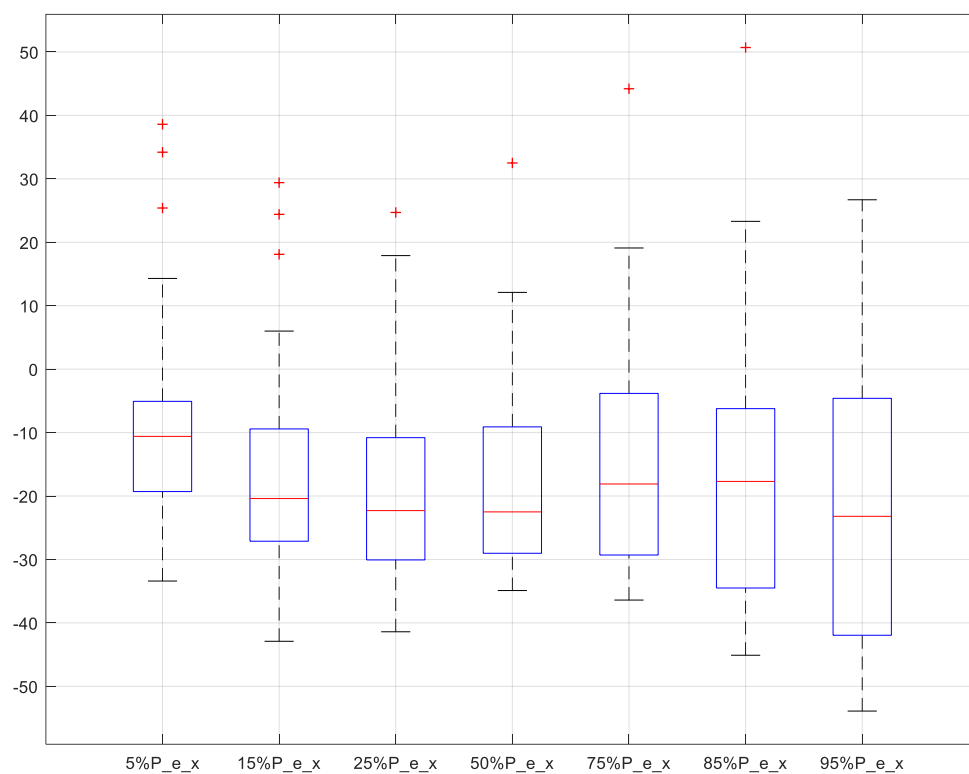
Tabla 61. E1 CC: Variación Recarga Superficial 2020-2050 c/r a 1993-2019.

SHAC	Laja	BB Medio	Renaico	Vergara	BB Superior	Total
Recarga superficial	-43%	-43%	-14%	-33%	-44%	-38%

Fuente: Elaboración Propia

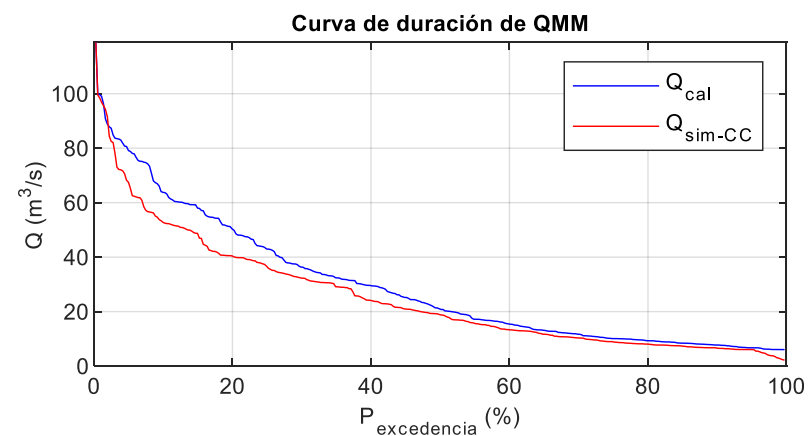
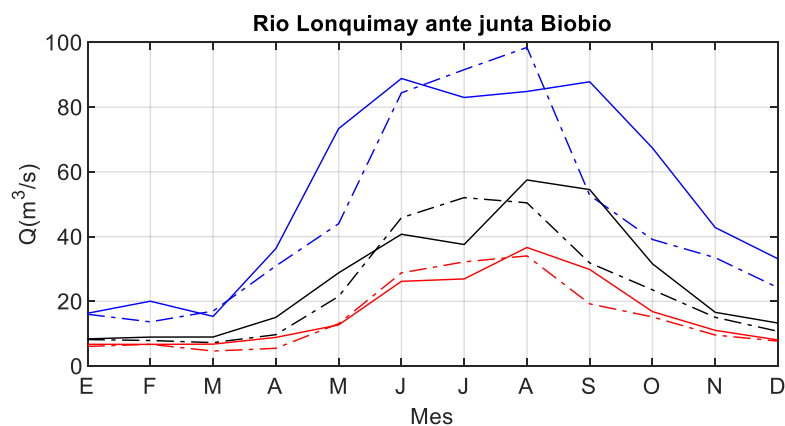
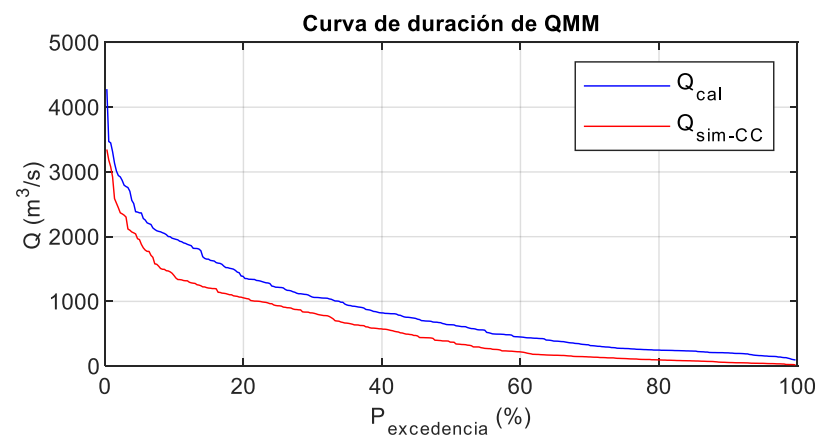
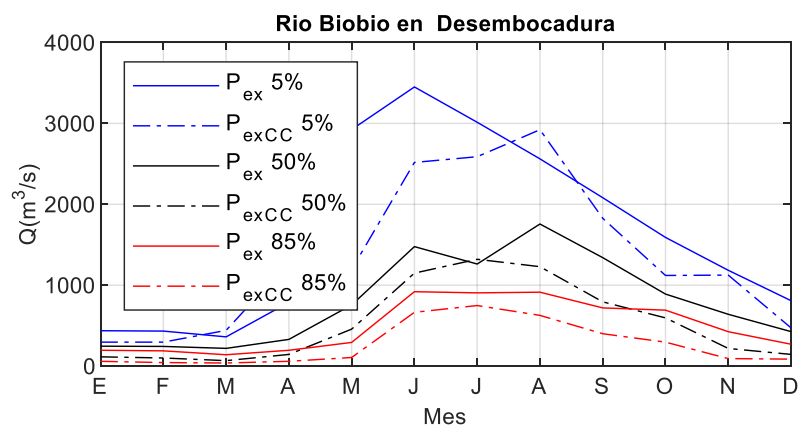
En lo que respecta a caudales superficiales, se observa, en la mayoría de las cuencas, una disminución de estos en el escenario E1-CC respecto del periodo de calibración. Los caudales más grandes (de menor probabilidad de excedencia se reducen en aproximadamente un 10%, mientras que los caudales de estiaje se reducen en torno a 20% (Figura 71). Del mismo modo, se observa un cambio en la estacionalidad (Figura 72) donde los caudales máximos tienden a atrasarse entre uno a tres meses en comparación con el escenario base.

Al revisar las curvas de duración de caudales, se observa que las cuencas de los ríos Bureo, Mininco, Renaico y Mulchén, aumentan los caudales en el escenario E1-CC. En cambio, en todas las cuencas restantes, el resultado es contrario, con una reducción en los caudales para el escenario E1-CC.



Fuente: Elaboración propia

Figura 71. Cambio porcentual de los caudales de diferente probabilidad de excedencia en las cuencas del río Biobío para el escenario de E1-CC respecto del periodo de calibración.



Fuente: Elaboración propia

Figura 72. Curvas de variación estacional de 5, 50 y 85% de probabilidad de excedencia para caudales simulados en periodo de calibración y E1-CC.

En la salida de la cuenca (Biobío en Desembocadura), con el modelo se estima una reducción media del 33.9% en la mediana de los caudales, respecto del periodo 1990 – 2019. Esto responde a la forzante de cambio climático utilizada, la cual representa una reducción de las precipitaciones de 9.4% en relación con el periodo 1990 – 2019.

b) Escenario 1: Caso Base

Con el fin de evaluar la evolución de los flujos, niveles y balances hídricos, de manera de identificar brechas en el desbalance hídrico en el horizonte de evaluación 2020-2050, se modeló el escenario de simulación 1: Caso Base. Esta simulación futura de la cuenca del río Biobío corresponde a la situación en la cual la oferta natural de la cuenca está dada por la implementación de las forzantes meteorológicas obtenidas del MCG CCSM4 y la demanda proyectada (ver Tabla 62). Para la proyección de la demanda se consideró la tasa de crecimiento indicada en DGA (2017). Si bien la tasa de crecimiento varía según el rubro, a su vez, existe una transferencia de uso del agua desde un rubro a otro a medida que existen excedentes. Por tanto, para efectos de evaluación y modelación, en este proyecto se consideró la tasa de crecimiento global de la demanda para la región.

Tabla 62. Descripción Escenario 1, Caso Base.

Escenarios	Periodo	OBS
E1	Abril 2020 - Mar 2050	
Forzantes	Abril 2020 - Mar 2050	MCG CCSM4
Demandas	Abril 2020 - Mar 2050	Proyección de demandas a 2050

Fuente: Elaboración Propia

Si bien las condiciones de simulación del modelo base se definieron en la construcción del modelo acoplado calibrado (Anexo H), en la Tabla 63 se presenta un resumen con las principales características numéricas del modelo acoplado para escenario 1, evaluación 2020-2050.

Tabla 63. Características Básicas Modelo Acoplado E1.

Ítem	Descripción
Periodo de modelación	Abril 2020 - Mar 2050
Periodo de evaluación	Abril 2020 - Mar 2050
Escala	Mensual
Zonas de Balance	SHAC

Fuente: Elaboración Propia

6.2 Brechas

6.2.1 Resultados de Escenario Caso Base (Cambio Climático Seleccionado)

Para realizar un análisis comparativo en términos de balances hídricos, los modelos fueron comparados en ventanas de tiempo equivalentes; puesto que el modelo calibrado comprende el período 1990-2019, la ventana de comparación futura utilizada fue 2020-2050.

Los resultados de la implementación del escenario de cambio climático se sugieren referirse al Anexo H sección 5.1.1 y Apéndice H-4.

En lo que respecta a la componente superficial, a partir de las capacidades de modelación del software WEAP con las forzantes meteorológicas del MCG CCSM4, la escorrentía generada por el modelo acoplado en el escenario de Caso Base se comparó con la escorrentía generada en el modelo calibrado, según se observa en la Figura 73, la Figura 74, y Tabla 64.

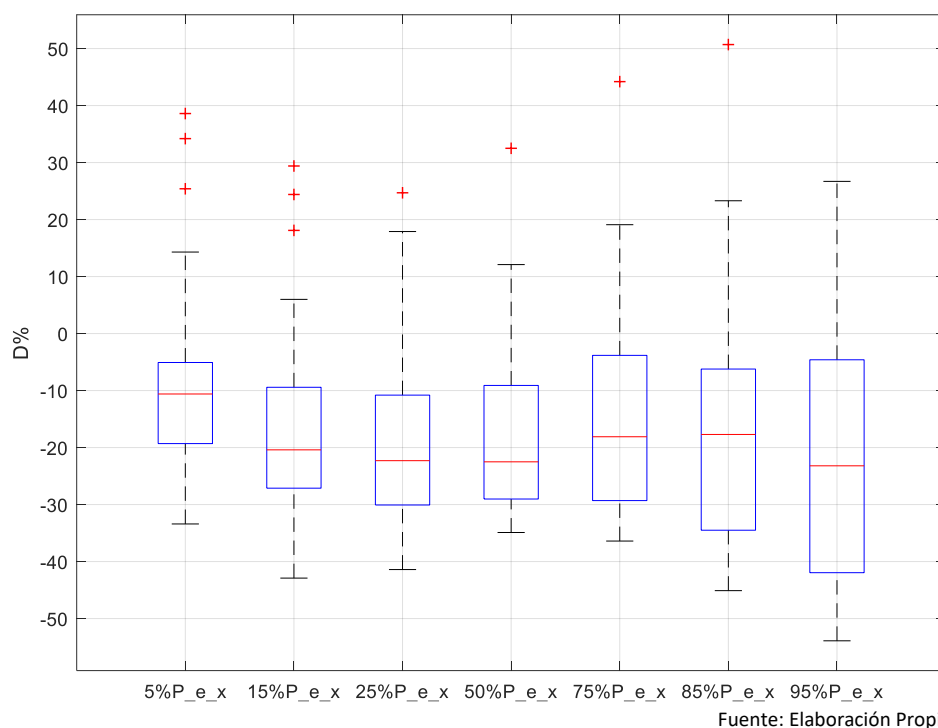
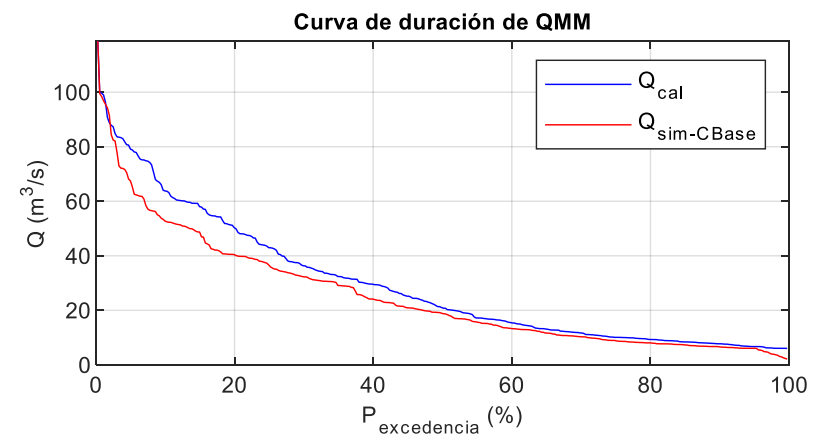
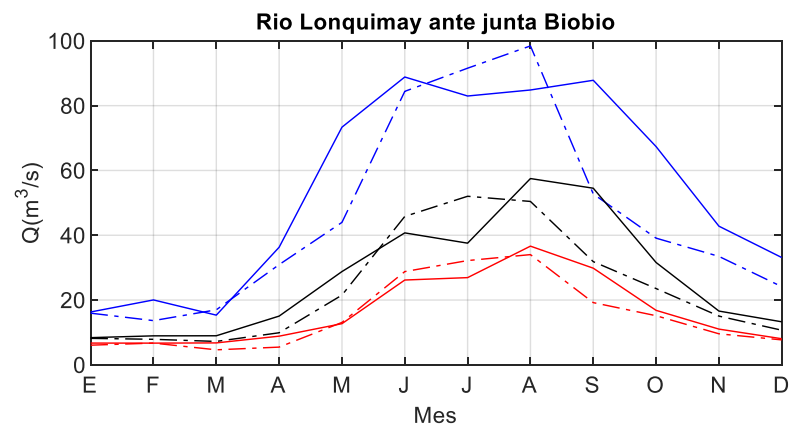
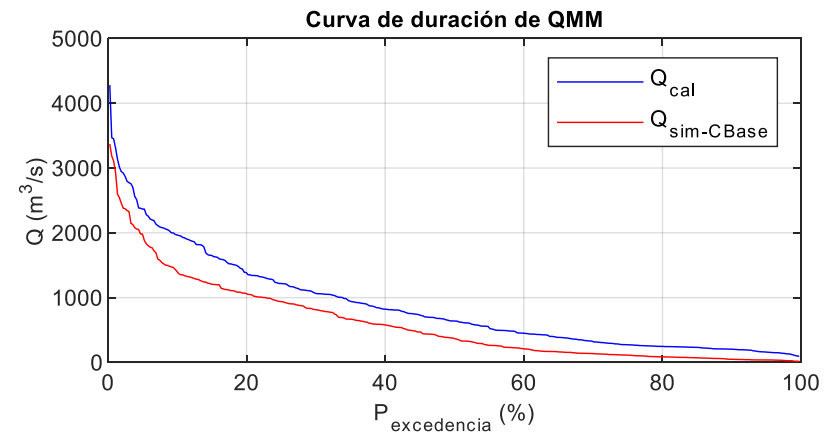
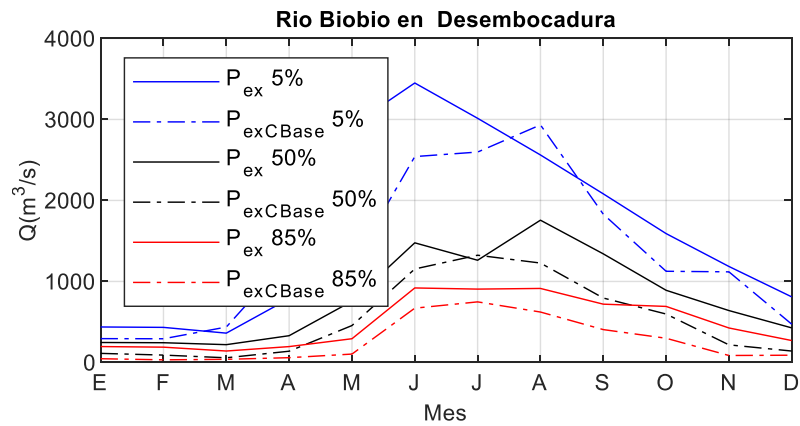


Figura 73. Cambio porcentual de los caudales de diferente probabilidad de excedencia en las cuencas del río Biobío para el escenario de Caso Base respecto del periodo de calibración.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 74. Curvas de variación estacional de 5, 50 y 85% de probabilidad de excedencia para caudales simulados en periodo de calibración (azul) y Caso Base (rojo).

Las figuras muestran resultados similares a los obtenidos del escenario E1-CC considerando cambio climático y demandas replicadas. Para mayor detalle, la Tabla 64 muestra una comparativa del caudal de 50% de probabilidad de excedencia para cada escenario. Se observa que producto del crecimiento de las demandas, se tiene una ligera reducción de la mediana de los caudales en cada subcuenca del proyecto. En promedio, para el E1-CC se tiene una diferencia porcentual de -16,5% en los caudales con respecto al periodo de calibración, mientras que, al considerar el crecimiento de las demandas, esta diferencia cambia a -16,8% indicando una disminución en los caudales de cada subcuenca.

Tabla 64. Resumen de diferencias porcentuales de los escenarios E1-CC y Caso Base respecto del periodo de simulación.

Cuenca	Reducción $Q_{50\% \text{ Pex}}$ resp Caso Base	
	E1-CC: CC + dem 2019 replicadas	Caso Base: CC + crecimiento demandas
Rio Biobio en Desembocadura	-33.9%	-34.2%
Rio Lonquimay ante junta Biobio	-11.8%	-11.7%
Rio Biobio en Llanquen	-29.1%	-29.1%
Rio Biobio ante junta Huir Huir	-18.7%	-18.6%
Rio Biobio ante junta Pangue	-29.4%	-29.4%
Rio Pangue en Captacion	-10.9%	-10.9%
Rio Biobio en Rucalhue	-23.1%	-23.1%
Rio Duqueco en Villucura	-18.1%	-18.1%
Rio Duqueco en Cerrillos	-28.8%	-28.6%
Rio Biobio en Coihue	-29.9%	-30.0%
Rio Bureo en Mulchen	11.8%	11.7%
Rio Mulchen en Mulchen	8.4%	8.5%
Rio Renaico en Longitudinal	32.5%	32.5%
Rio Mininco en Longitudinal	3.4%	3.4%
Rio Malleco en Collipulli	-15.0%	-15.0%
Rio Vergara en Tijeral	-29.1%	-28.7%
Rio Rehue en Quebrada Culen	-22.6%	-22.6%
Rio Nicodahue en Pichun	-23.8%	-23.7%
Rio Laja en Tucapel	-30.3%	-34.7%
Rio Laja en Puente Perales	-34.4%	-37.4%
Rio Claro en Camino Yumbel-Estacion	-13.4%	-12.9%
Promedio	-16.5%	-16.8%

Fuente: Elaboración propia

En lo que respecta a la componente subterránea, en la Tabla 65 se presenta el resultado del balance hídrico subterráneo para el periodo 2020-2050.

Se debe recordar que este escenario impone a futuro una demanda constante igual a la condición del año 2019. En el caso del escenario E1, caso base, se recuerda que la implementación incorpora la proyección de la demanda. El balance hidrogeológico se presenta en la Tabla 66.

Como se puede apreciar con la proyección de la demanda el flujo subterráneo disminuye en promedio 2,6% en la cuenca.

Tabla 65. Escenario Cambio Climático, Balance Hídrico Subterráneo 2020-2050.

Entradas (m³/s)	Laja	BB Medio	Renaico	Vergara	BB Superior	Total
Flujo subterráneo	13,091	33,062	5,715	7,319	2,013	61,200
Entrada desde carga constante	0,110	0,974	0,000	0,000	0,000	1,084
Recarga desde río	5,453	18,391	0,034	0,092	1,770	25,740
Recarga superficial	6,171	22,827	6,127	9,969	0,247	45,341
Total	24,826	75,254	11,876	17,380	4,029	133,365
Salidas (m³/s)	Laja	BB Medio	Renaico	Vergara	BB Superior	Total
Flujo subterráneo	8,942	36,257	7,316	6,860	2,684	62,059
Afloramiento río	12,423	29,678	4,184	9,135	1,232	56,652
Pozos de bombeo	3,462	7,188	0,376	1,386	0,113	12,524
Descarga hacia carga constante	0,000	2,126	0,000	0,000	0,000	2,126
Total	24,827	75,249	11,876	17,380	4,029	133,360
Variación de Almacenamiento (m³/s)	3,069	-0,809	-2,605	-0,422	-0,048	-0,163
Error de Balance	-0,001	0,005	0,000	0,000	0,000	0,005
Error de Balance (%)	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01

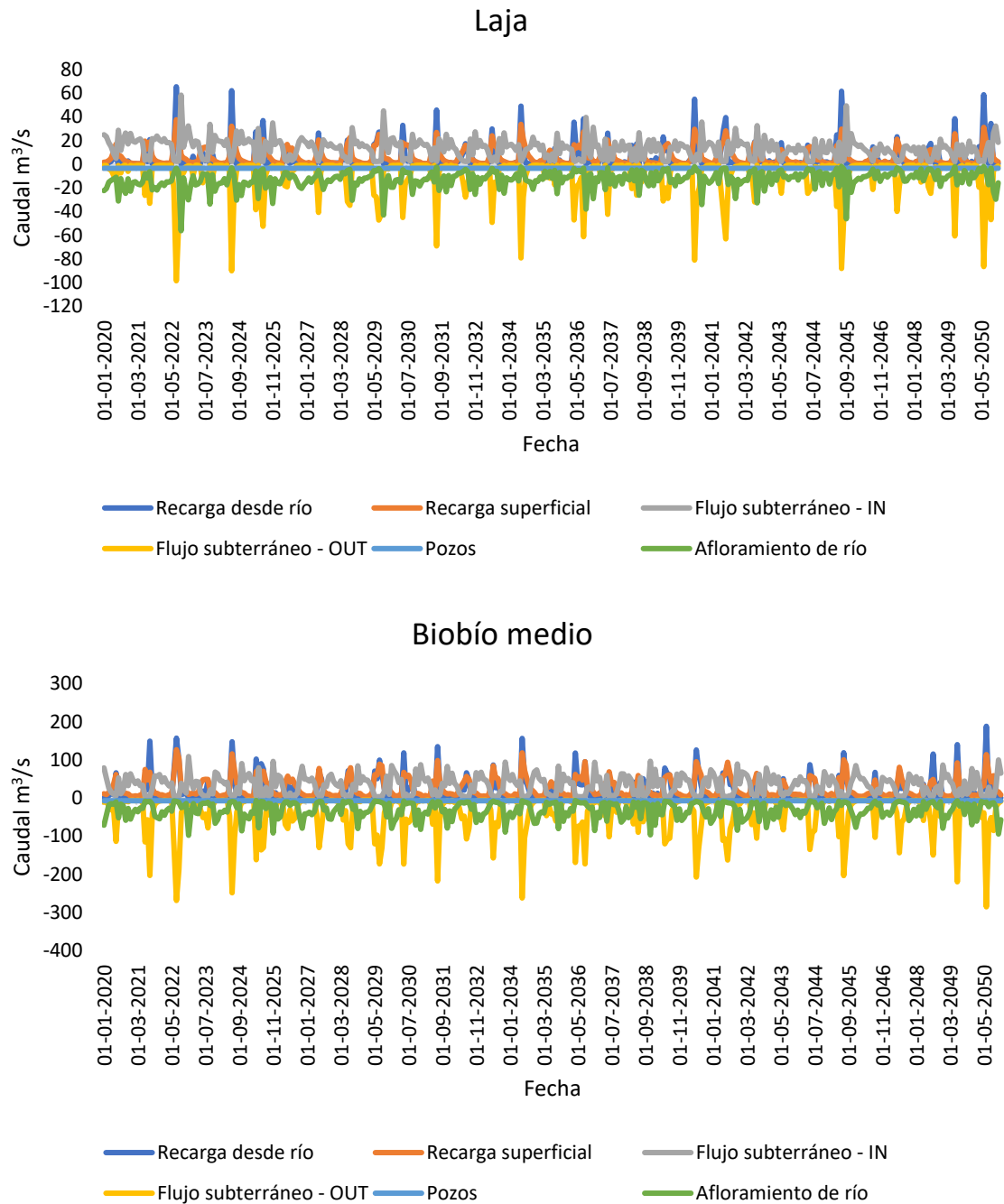
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 66. Escenario Caso Base (E1), Balance Hídrico Subterráneo 2020-2050.

Entradas (m³/s)	Laja	BB Medio	Renaico	Vergara	BB Superior	Total
Flujo subterráneo	12,672	32,594	5,646	6,689	2,005	59,606
Entrada desde carga constante	0,116	0,975	0,000	0,000	0,000	1,091
Recarga desde río	5,203	18,328	0,032	0,043	1,736	25,342
Recarga superficial	6,283	24,694	6,310	10,531	0,268	48,085
Total	24,273	76,591	11,988	17,263	4,008	134,124
Salidas (m³/s)	Laja	BB Medio	Renaico	Vergara	BB Superior	Total
Flujo subterráneo	8,854	36,394	7,390	6,654	2,651	61,942
Afloramiento río	11,958	30,934	4,222	9,223	1,245	57,583
Pozos de bombeo	3,462	7,188	0,376	1,386	0,113	12,524
Descarga hacia carga constante	0,000	2,070	0,000	0,000	0,000	2,070
Total	24,274	76,585	11,988	17,263	4,008	134,119
Variación de Almacenamiento (m³/s)	2,581	-1,014	-2,762	-0,654	-0,042	-0,378
Error de Balance	0,000	0,006	0,000	0,000	0,000	0,005
Error de Balance (%)	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01

Fuente: Elaboración Propia

Un análisis de las componentes del balance hidrogeológico se presenta en la Figura 75. Se puede apreciar que la variación de niveles tiende a ser despreciable en consideración a los supuestos involucrados en la selección del modelo climático y los utilizados para la construcción del modelo de aguas subterráneas.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 75. Análisis de componente por SHAC para la cuenca del río Biobío 2020-2050. Escenario Caso Base.

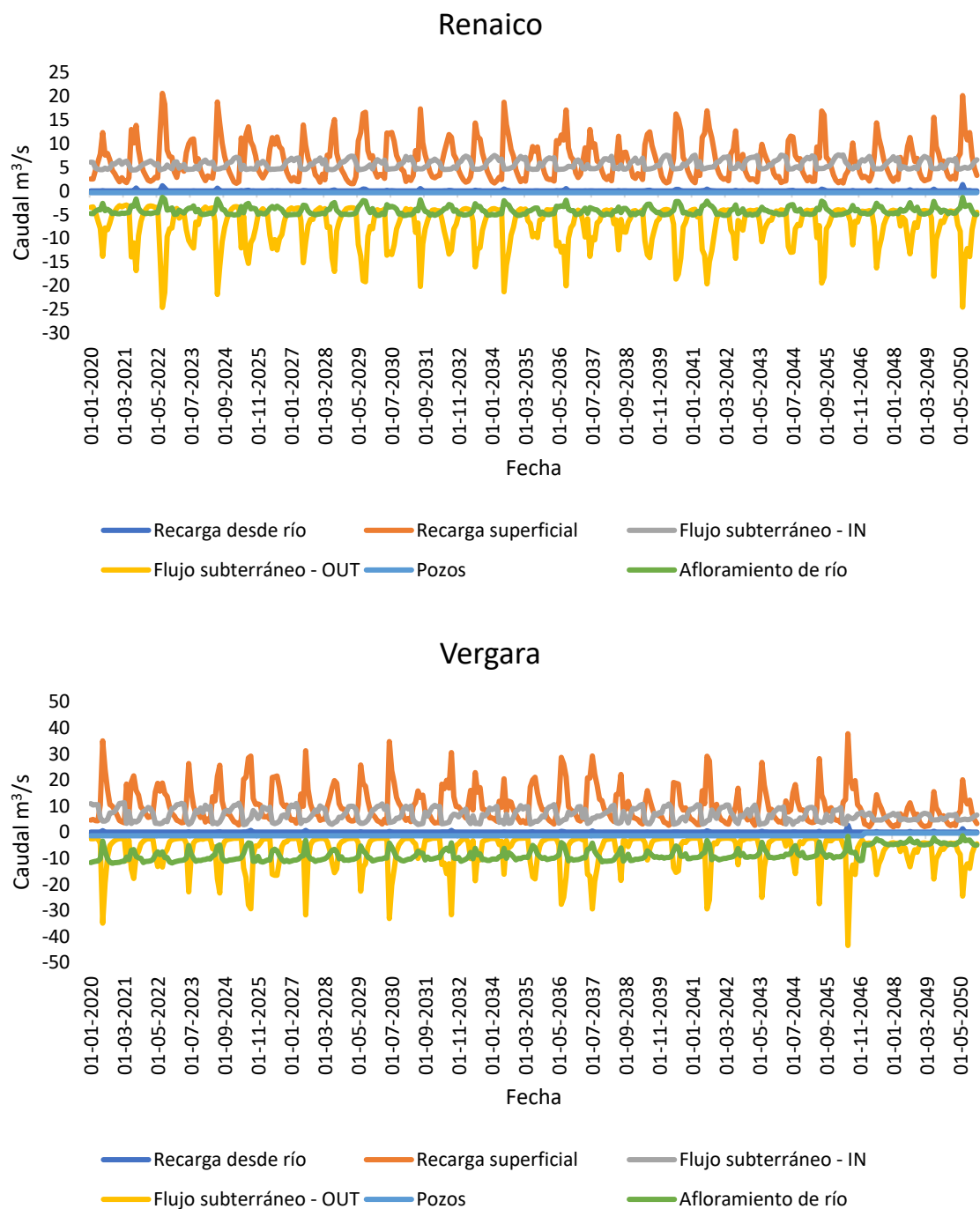
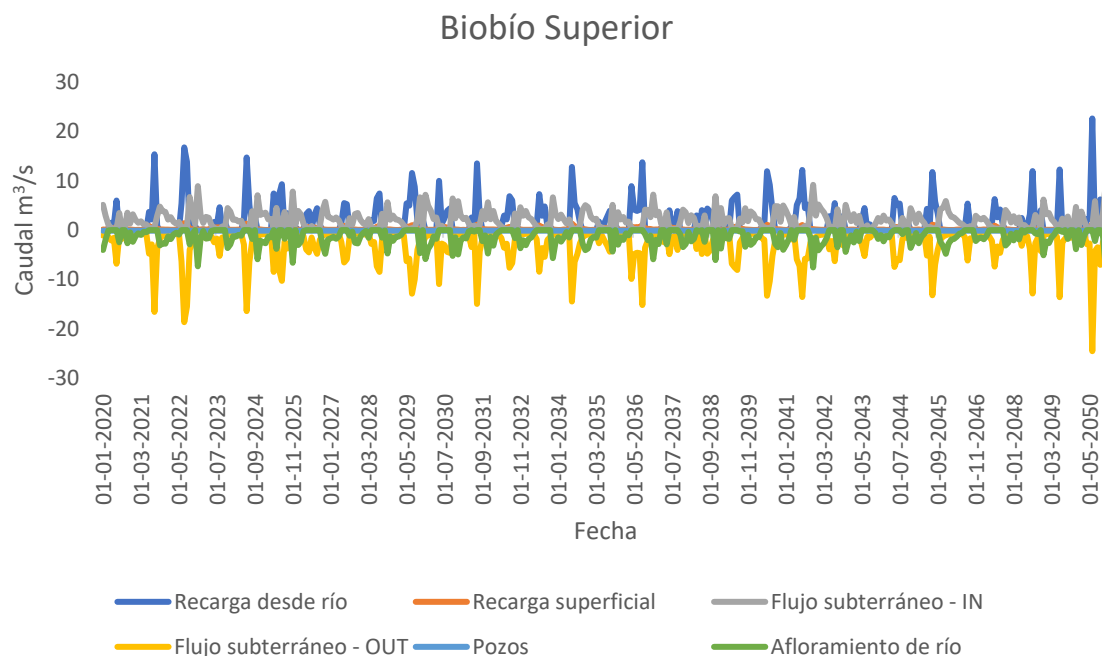


Figura 75. Análisis de componente por SHAC para la cuenca del río Biobío 2020-2050. Escenario Caso Base. (Continuación)

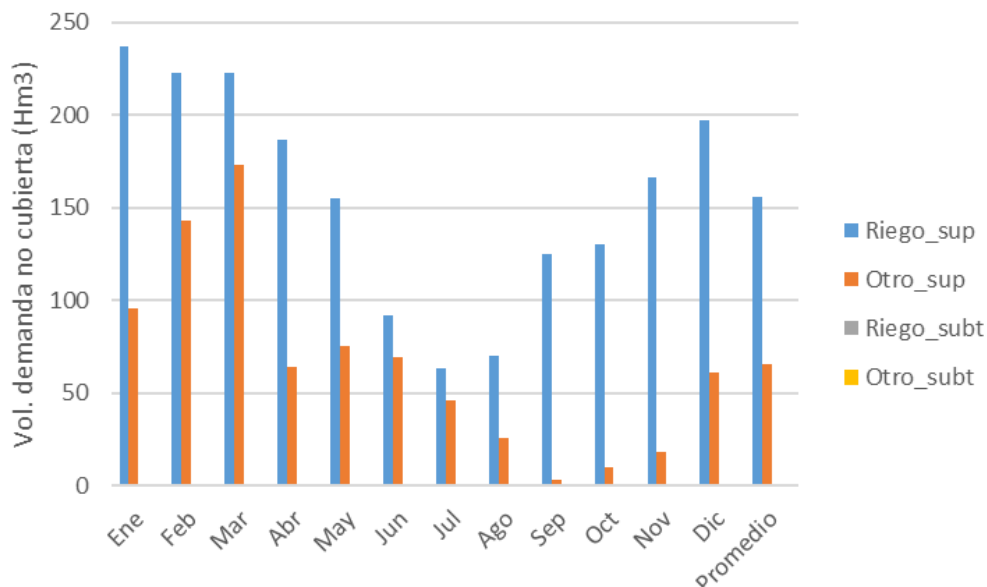


Fuente: Elaboración Propia

Figura 75. Análisis de componente por SHAC para la cuenca del río Biobío 2020-2050. Escenario Caso Base. (Continuación)

Respecto de la Brecha Hídrica, y de acuerdo con las simulaciones actuales, esta se totaliza en 219.8 Mm³ como promedio, para toda la cuenca en el período completo de simulación 2020-2050. El valor se obtiene del análisis de la serie de demanda no satisfecha desde WEAP, en el cual se separa la demanda no satisfecha diferenciada por riego y otros usos tanto para superficial como agua subterránea.

Cabe destacar que la brecha es claramente liderada por el riego. La brecha se puede observar en la Figura 76. Dado que la cuenca del río Biobío tiene una mayor demanda de agua superficial, se observa que la brecha responde directamente a esto. Además, en los periodos de estiaje, donde la oferta superficial se reduce, es donde la brecha hídrica aumenta. Si bien se estimó una brecha hídrica en aguas subterráneas, esta es uno a dos órdenes de magnitud inferior a la brecha de las aguas superficiales, por lo que no se alcanza a observar en la figura.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 76. Brecha Hídrica media mensual en el periodo 1991-2050. Escenario Caso Base.

6.2.2 Gestión OUA

Tal como se ha mencionado en el diagnóstico y caracterización de la gobernanza del agua en la hoya hidrográfica, existen una serie de elementos diferenciadores de otras cuencas que vienen a complejizar la gestión de las aguas, principalmente, cuando se analiza desde la existencia, jurisdicción y funcionamiento de las OUA.

Para efectos de este acápite del informe, brecha de gestión de OUA se define como el diferencial observado entre: (1) el ideario conformado por la legislación vigente, los criterios de la DGA y conceptos relativos a la gestión de las aguas consensuados internacionalmente como óptimos; y (2) la situación actual observada.

A continuación, se denotan las principales brechas de gestión OUA identificadas en la cuenca del río Biobío.

- **Unidad territorial:** es sabido que la unidad territorial más adecuada para la gestión de las aguas es la cuenca hidrográfica, lo que no ocurrió en el caso del Biobío y de acuerdo con la legislación vigente, esta situación no es reversible.
- **Organización de juntas de vigilancia:** El principal cauce de la hoya hidrográfica no cuenta con una organización constituida. No obstante, a pesar de haber iniciado un proceso de organización que presenta un hito relevante, como la firma de la escritura de constitución de la junta de vigilancia, la vía de organización utilizada es la voluntaria, que exige la firma de más del 50% de los usuarios, lo que es muy elevado para la magnitud de la cuenca, lo que podría ralentizar el proceso a niveles extremos. Asimismo, el río Laja ya completa una década desde que inició su proceso de organización, por lo que se hace necesario el apoyo por parte del Estado para materializarlo.

Un territorio tan importante como la cuenca del río Biobío tiene la necesidad de contar con una organización desarrollada, potente y con amplios rangos de acción, razón por la cual, un proceso de constitución de su junta de vigilancia que se extienda en el tiempo puede motivar la creación de otro tipo de sociedad que sea funcional a los intereses de usuarios, pero no necesariamente conforme a la legislación actual en la materia.

- **Jurisdicción de las Juntas de Vigilancia:** El área de influencia del río Huequén no forma parte de la jurisdicción de la junta de vigilancia del río Malleco. Asimismo, de acuerdo con el mapa que se presentó durante la ceremonia de firma de la escritura de constitución de la junta de vigilancia del río Biobío, tampoco es parte de dicha jurisdicción. Sin embargo, de la lectura de los estatutos de ésta última, en rigor, el río Huequén debería ser parte de la junta del Biobío.
En ese sentido, dado que la junta de vigilancia del río Biobío está en proceso de organización, debe clarificar esta situación, de modo de considerar (o no) la organización de una junta de vigilancia para el río Huequén.
- **Rol de usuarios de las juntas de vigilancia:** En el caso del río Biobío, el número de usuarios no ha sido totalmente determinado, lo que complejiza el proceso de organización. En el caso de los ríos Renaico y Malleco, sus estatutos no individualizan a todos los usuarios con sus respectivos derechos de aprovechamiento de aguas, lo que imposibilita la toma de decisiones conforme a derecho.
- **Inclusión de las aguas subterráneas en las juntas de vigilancia:** En los casos de las juntas de vigilancia en proceso de organización (Biobío y Laja), se hace necesario la inclusión de las comunidades de aguas subterráneas organizadas, lo que requiere de procesos de organización de estas comunidades. Asimismo, las juntas de vigilancia en proceso de organización requieren que sus estatutos contengan normas para dicha inclusión y, preferentemente, considerado equivalencias diferenciadas en cuanto al poder accionario de los DAA subterráneos respecto de los superficiales.
- **Coexistencia de DAA consuntivos y no consuntivos en las juntas de vigilancia:** En los casos de las juntas de vigilancia en proceso de organización, se hace necesario la inclusión de normas que consideren equivalencias diferenciadas en cuanto al poder accionario de los DAA consuntivos respecto de los no consuntivos.
- **Instancia de participación de juntas de vigilancia en la cuenca:** En el mediano y largo plazo, parece necesaria la existencia de algún tipo de instancia de coordinación en la que participen todas las juntas de vigilancia de la cuenca hidrográfica.
- **Nivel de desarrollo de las juntas de vigilancia:** por una parte, las juntas de vigilancia de los ríos Malleco y Renaico están en una primera etapa de su existencia, la que coincide con las restricciones sanitarias provocadas por la pandemia que se vive a nivel global, lo que ha impedido el desarrollo organizacional de estas, estando aún vigentes sus directorios provisionales y no habiéndose realizado la junta general ordinaria, para tales efectos.
En consecuencia, se hace necesario fortalecer el funcionamiento de ambas juntas de vigilancia para lograr que den sus primeros pasos de forma correcta, además, deben hacer las modificaciones en sus estatutos que les permitan realizar gestiones conforme a derecho.

Por otro lado, las juntas de vigilancia de los ríos Biobío y Laja están en proceso de constitución, razón por la cual su estado organizacional es aún más bajo, el sentido de que, por razones obvias, no se han realizado juntas generales de usuarios, que es el órgano base de esta OUA.

- **Desarrollo de redes con la sociedad en su conjunto:** como ya se ha dicho, las juntas de vigilancia están conformadas solo por titulares de DAA, no considerando una serie de usos que no cuentan con una expresión legal, como lo son el deporte, la recreación, el paisajismo, servicios ecosistémicos, entre otros.
Esta condición, en el contexto de una sociedad cada vez más exigente en cuanto al uso de los recursos naturales y el agua, permiten sugerir acciones destinadas a generar espacios de diálogo con actores relevantes con competencia en estos usos alternativos, de modo de avanzar hacia una gestión más integrada que considere a las personas, ecosistemas y futuras generaciones.
- **Nivel de desarrollo de las asociaciones de canalistas:** en la cuenca hidrográfica existen asociaciones de canalistas que datan de hace muchos años, tal como se informa en el diagnóstico de gobernanza de este informe. Estas OUA presentan niveles de desarrollo muy superiores al observado en las juntas de vigilancia, en el sentido de que todos sus estamentos funcionan conforme a derecho, han profesionalizado su gestión y se relacionan con la institucionalidad pertinente.

Las brechas observada en estas organizaciones dice relación con: (1) la actualización de sus registros de comuneros conforme al artículo 205 del Código de Aguas; (2) el desarrollo de la infraestructura comunitaria; y (3) la modernización de sus sistemas de información y comunicación de las rendiciones de cuentas, que en el caso de las OUA corresponde a la memoria anual que se presenta en la junta general de usuarios anualmente, en el sentido de que esté disponible en la página web de la organización, de modo de que su revisión por parte de los usuarios y la comunidad.

Es fundamental indicar que la brecha antes dicha no es una exigencia de tipo legal, es decir, las organizaciones no están obligadas a publicar sus memorias anuales. Simplemente, se hace la sugerencia en virtud de las exigencias por parte de la ciudadanía respecto de la transparencia en todo tipo de institución y con más fuerza en el caso de aquellas que administran el agua.

- **Nivel de desarrollo de las comunidades de aguas:** en el caso de las comunidades de aguas, las brechas observadas se relacionan el cumplimiento de algunas tareas que se exigen en la legislación vigente, entre otras se destacan las siguientes: (1) realización de la junta general de comuneros conforme a derecho, es decir, en la fecha que corresponde y convocando según lo indica el Código de Aguas o sus estatutos; (2) la realización de una memoria anual de gestión que sea presentada ante las bases en la junta general ordinaria, permitiendo la designación de un comité revisor de cuentas; (3) llevar un libro de actas; (4) actualizar sus registros de comuneros, según el artículo 205 del Código de Aguas; (5) presentar el presupuesto de gastos anual para su aprobación en la junta general; y (6) realizar la elección de directorios según sus estatutos.

Por otro lado, deben mejorar en diferentes aspectos que, no necesariamente, están indicados en la Ley, por ejemplo, el desarrollo de redes con el entorno institucional,

el uso de instrumentos de fomento existentes, de modo de mejorar su gestión y una mayor transparencia ante sus usuarios y la comunidad.

En consecuencia, en los cauces artificiales existen asociaciones de canalistas con un mayor desarrollo organizacional, con necesidades menores de fortalecimiento y comunidades de aguas, que al igual que en todo el país, requieren los más altos grados de fortalecimiento.

Finalmente, la cuenca hidrográfica del río Biobío presenta un bajo nivel organizacional en torno de sus cauces naturales, por lo que se requiere del fortalecimiento necesario para abordar de mejor manera los desafíos que se avizoran para el futuro cercano.

En ese sentido, las juntas de vigilancia son la OUA más importante en toda cuenca hidrográfica, debido a la jurisdicción que les corresponde administrar, sus competencias en las aguas subterráneas, en la coexistencia de diferentes tipos de derechos, de los cuales, no todos tienen una expresión legal, lo que genera una mayor conflictividad entre sus usuarios y entre estos y la sociedad en su conjunto.

6.3 Sustentabilidad

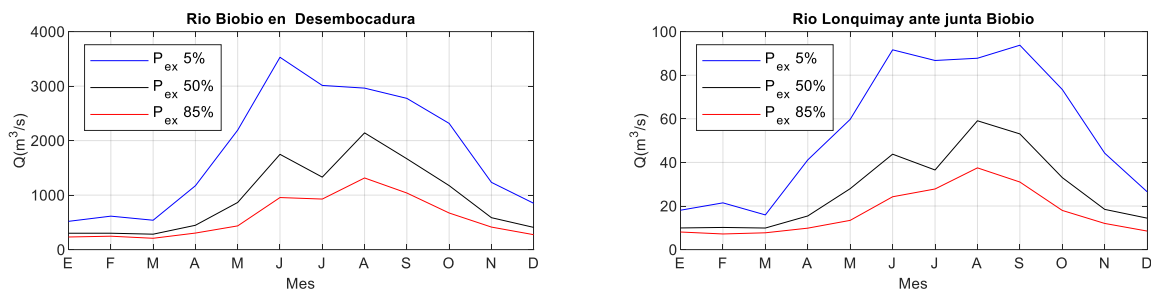
6.3.1 Oferta Hídrica Sustentable Superficial

Para el cálculo de la oferta sustentable de tipo superficial se utilizó el modelo WEAP de toda la cuenca del río Biobío acoplado para el periodo histórico sin considerar demandas (los valores incluidos en cada sitio de demanda antrópica fueron multiplicados por 0 a fin de simular que no existen extracciones de agua) y siguiendo los lineamientos establecidos en el Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos del DARH (DGA, 2008). El análisis realizado es referencial y se ajusta a los datos de derechos de aguas proporcionados en junio del 2020

Para cada unidad hidrológica del proyecto se calcularon los caudales de 5, 50, 85 y 95% de probabilidad de excedencia, la serie de caudales medios mensuales y caudal medio anual. Dicha información se utilizó para calcular la oferta de DAA permanente, eventual, y el caudal ecológico en cada punto de control. Luego, contrastando los resultados con los DAA permanente y eventuales existentes de cada subcuenca y considerando los DAA hacia aguas arriba, se determinó el saldo de DAA permanente, eventual y la oferta sustentable. Las curvas de variación de 5, 50 y 85% de probabilidad de excedencia se muestran en la Figura 77 (y Anexo H). Luego la Tabla 67 consolida los resultados obtenidos para las 21 cuencas del estudio.

De los resultados se observa que las cuencas vertientes al valle central, ubicadas en la cordillera de la costa o precordillera, se obtiene una oferta negativa al considerar el caudal ecológico. Al revisar los resultados, se observa que los caudales de estiaje en estas cuencas tienden a ser más bajos que la media de las otras cuencas del proyecto y resultan muy bajos en comparación al caudal medio anual (el cual, a su vez influye sobre el cálculo del caudal ecológico). Luego al considerar la oferta en relación con el caudal ecológico determinado, se obtienen valores negativos en verano. Por tanto, en dichas cuencas la oferta hídrica resulta nula.

Por otra parte, en la cuenca del río Laja se detecta una sobre asignación de derechos superficiales en verano. En este caso el modelo no considera la capacidad de regulación artificial del lago y por tanto se refleja en los resultados obtenidos.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 77. Muestra de curvas de variación estacional determinadas para los caudales de 5, 50 y 85% de probabilidad de excedencia de las cuencas del proyecto considerando la oferta histórica sin demandas (Mayor detalle en Anexo H).

Tabla 67. Caudales medios mensuales, oferta de DAA permanentes y eventuales, junto con la estimación de oferta sustentable.

Cuenca	Caudal (l/s)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Río Biobío en Desembocadura	Q5% Pex	519	614.1	539.3	1172.1	2193	3529.1	3012.3	2963.3	2775.2	2316.1	1234.1	849.8	1809.8
	Q50% Pex	300.6	301	283.2	446.7	865.5	1748.3	1330	2142.5	1667.1	1174.8	586.1	407.7	937.8
	Q85% Pex	231.8	246.2	208	303.8	435.5	955.5	927.7	1314.7	1038.8	672.1	413.7	273.9	585.1
	Qeco	101	118.8	101	134.3	174	202	202	202	202	202	172.4	108.8	160
	Oferta DAAperm	130.8	127.4	107	169.5	261.5	753.5	725.7	1112.7	836.8	470.1	241.3	165.2	425.1
	DAA perm otorgados	165.7	162.6	161.8	164.8	144.9	158.6	157.9	158.2	220.5	218	213.7	172.4	174.9
	Oferta DAAeven	287.2	368	331.3	868.4	1757.4	2573.6	2084.7	1648.5	1736.4	1644	820.4	575.8	1224.6
	DAA even otorgados	134.7	66.5	65	75.6	62.6	53.2	54.6	46.9	48.4	43.6	43.7	78.2	64.4
	Saldo DAA perm	-34.9	-35.2	-54.8	4.7	116.6	595	567.8	954.6	616.3	252.1	27.6	-7.2	250.2
	Saldo DAA even	152.5	301.5	266.3	792.7	1694.8	2520.4	2030.1	1601.6	1688	1600.4	776.7	497.6	1160.2
Río Lonquimay ante junta Biobío	Q5% Pex	18.1	21.5	15.9	41.2	59.8	91.6	86.8	87.8	93.8	73.4	44.2	26.5	55
	Q50% Pex	9.9	10.2	9.9	15.4	28	43.8	36.5	59.1	53.1	33	18.5	14.4	27.7
	Q85% Pex	8.1	7.2	7.7	9.8	13.4	24.2	27.8	37.5	31	18	12	8.5	17.1
	Qeco	3.4	3.4	3.4	4.5	5.5	6.1	6.1	6.1	6.1	5.5	5.2	3.1	4.9
	Oferta DAAperm	4.7	3.8	4.3	5.3	7.9	18.1	21.7	31.4	24.9	12.4	6.8	5.4	12.2
	DAA perm otorgados	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
	Oferta DAAeven	10	14.3	8.2	31.3	46.3	67.4	58.9	50.3	62.8	55.5	32.2	18	37.9
	DAA even otorgados	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	Saldo DAA perm	3.6	2.7	3.2	4.2	6.8	17.1	20.6	30.3	23.8	11.4	5.7	4.3	11.1
	Saldo DAA even	9.8	14	8	31.1	46.1	67.2	58.7	50	62.5	55.2	32	17.8	37.7
Río Biobío en Llanquén	Q5% Pex	84.8	86.6	66.1	181.2	235.8	385.3	393.1	440.8	550.2	465.1	251	112.8	271.1
	Q50% Pex	35	36.2	34.7	56.6	108.6	164.8	140.8	251.6	322.1	242.2	93.1	54.5	128.4
	Q85% Pex	25.1	22.8	24.2	33.1	44.5	77	90.5	161.7	211.8	143.1	52.6	27.6	76.2
	Qeco	14.5	14.5	14.5	14.5	19.1	19.4	29	29	29	29	22.6	14.5	20.8
	Oferta DAAperm	10.6	8.3	9.7	18.6	25.4	57.6	61.6	132.7	182.9	114.1	30	13.1	55.4
	DAA perm otorgados	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4
	Oferta DAAeven	59.7	63.9	41.9	148.1	191.3	308.3	302.5	279.1	338.4	322	198.4	85.2	194.9
	DAA even otorgados	3.1	3.1	3.1	3.1	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.4
	Saldo DAA perm	7.2	4.8	6.3	15.2	22	54.2	58.1	129.3	179.4	110.7	26.6	9.7	52
	Saldo DAA even	56.6	60.8	38.8	145	187.7	304.7	298.9	275.5	334.8	318.4	194.8	81.7	191.5

Tabla 67. Caudales medios mensuales, oferta de DAA permanentes y eventuales, junto con la estimación de oferta sustentable.(Continuación)

Cuenca	Caudal (l/s)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Rio Biobio ante junta Huiri	Q5% Pex	129.4	137.6	99.6	285.9	348.6	573.3	588	672.3	860.3	810.7	426.7	178.7	425.9
	Q50% Pex	47.7	49.5	47.1	81.2	159.8	242.7	201.4	378.8	513	417.1	145.8	77.8	196.8
	Q85% Pex	31	25.8	29.9	43.5	62	101.3	124.6	237.1	341.9	256.8	77.9	34.8	113.9
	Qeco	22.2	22.2	22.2	22.2	25.2	22.2	44.4	44.4	44.4	44.4	31.4	22.2	30.7
	Oferta DAAperm	8.8	3.6	7.7	21.2	36.8	79.1	80.1	192.7	297.5	212.4	46.4	12.5	83.2
	DAA perm otorgados	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7
	Oferta DAAeven	98.4	111.8	69.7	242.4	286.6	472	463.4	435.2	518.3	553.9	348.8	144	312.1
	DAA even otorgados	3.1	3.1	3.1	3.1	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.6	3.5
	Saldo DAA perm	5.1	-0.1	4	17.5	33.1	75.4	76.4	189	293.8	208.7	42.7	8.9	79.5
	Saldo DAA even	95.4	108.7	66.7	239.4	282.9	468.3	459.8	431.6	514.7	550.2	345.2	140.4	308.6
Rio Biobio ante junta Pangue	Q5% Pex	132.3	140.7	101.7	293.7	363.3	602.7	614.4	696.9	892.3	827.2	437.5	183.1	440.5
	Q50% Pex	48.3	50.4	48.4	83.8	167.5	255.1	211.3	396.9	530.5	426.2	149.8	80.2	204
	Q85% Pex	31.5	26	30.3	44.6	64.4	107.7	132.1	247.5	354.6	264.6	81.4	35.8	118.4
	Qeco	23.1	23.1	23.1	23.1	26.2	23.8	46.1	46.1	46.1	46.1	32.5	23.1	31.9
	Oferta DAAperm	8.4	3	7.2	21.5	38.2	84	86	201.3	308.4	218.4	48.9	12.8	86.5
	DAA perm otorgados	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7
	Oferta DAAeven	100.8	114.7	71.4	249.2	298.9	495	482.3	449.4	537.8	562.7	356.1	147.2	322.1
	DAA even otorgados	3.1	3.1	3.1	3.1	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.6	3.5
	Saldo DAA perm	4.7	-0.7	3.5	17.8	34.5	80.3	82.3	197.7	304.8	214.8	45.2	9.1	82.8
	Saldo DAA even	97.7	111.6	68.4	246.1	295.2	491.3	478.6	445.7	534.1	559	352.4	143.7	318.7
Rio Pangue en Captacion	Q5% Pex	6.6	6.9	6.2	10.6	16.4	26.3	23.5	23.2	25.7	23.1	13.1	9.2	15.9
	Q50% Pex	4.9	5	5	6.2	9.8	13.8	11.5	16.3	17.1	12.9	7.3	6	9.7
	Q85% Pex	4.3	4.6	4.3	4.9	5.9	9	9.3	12	12.7	8.4	5.7	4.6	7.1
	Qeco	2	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2	2.1
	Oferta DAAperm	2.3	2.5	2.3	2.9	3.8	6.9	7.3	9.9	10.7	6.4	3.6	2.6	5.1
	DAA perm otorgados	0.3	0.2	0.2	0.3	0.8	1.3	1.3	1	1	0.9	0.8	0.5	0.7
	Oferta DAAeven	2.3	2.3	1.9	5.7	10.5	17.3	14.2	11.2	13	14.7	7.4	4.6	8.8
	DAA even otorgados	0.7	0.5	0.4	0.6	1.3	0.8	0.8	1	1.1	1.2	1.2	1.1	0.9
	Saldo DAA perm	2	2.3	2.1	2.6	3	5.7	6	8.9	9.7	5.5	2.8	2.1	4.4
	Saldo DAA even	1.6	1.8	1.5	5.1	9.3	16.4	13.4	10.2	11.9	13.5	6.2	3.4	7.9

Tabla 67. Caudales medios mensuales, oferta de DAA permanentes y eventuales, junto con la estimación de oferta sustentable. (Continuación)

Ú en	Caudal (l/s)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Rio Biobio en Rucalhue	Q5% Pex	179.4	194.9	148.5	415.2	592.3	997.7	946.1	1028.4	1264.5	1045.6	569	265.4	637.2
	Q50% Pex	72.1	75.5	78.1	130.4	283.8	442	345.2	685.4	768.5	567.9	211.1	116.9	314.7
	Q85% Pex	48.1	41.7	46.5	69.9	109.4	209.5	242.3	388.7	511.2	338	132.4	57.2	182.9
	Qeco	34.6	34.6	34.6	34.6	44.5	55.1	69.1	69.1	69.1	69.1	49.7	34.6	49.9
	Oferta DAAperm	13.5	7.1	11.9	35.3	64.8	154.5	173.1	319.6	442	268.8	82.7	22.6	133
	DAA perm otorgados	7.7	7	6.5	7.5	9.8	11.1	11.5	11.1	10.9	11	10.5	9.3	9.5
	Oferta DAAeven	131.3	153.2	102	345.3	483	788.2	703.8	639.7	753.3	707.7	436.6	208.3	454.3
	DAA even otorgados	8	6.6	6.1	7.4	11.7	12.4	11.7	11.6	11.3	11.9	11.1	11.2	10.1
	Saldo DAA perm	5.8	0.1	5.3	27.8	55.1	143.4	161.6	308.5	431.2	257.8	72.1	13.3	123.5
	Saldo DAA even	123.3	146.5	95.9	337.9	471.2	775.8	692.1	628.1	742	695.8	425.5	197.1	444.3
Rio Duqueco en Villucura	Q5% Pex	22.9	24.3	22.8	50.9	94.5	166.3	151.2	153.2	150.1	123.5	58.6	40.2	88.2
	Q50% Pex	9.8	9.2	10.1	21	37.5	78.6	71.4	102.1	95.5	62.6	25.6	15.5	44.9
	Q85% Pex	5.8	5	6.2	10.1	17.2	41.8	50.9	62.7	65.7	33.6	12	7	26.5
	Qeco	4.8	4.8	4.8	4.8	6.4	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	5.6	4.8	7
	Oferta DAAperm	1	0.2	1.4	5.3	10.8	32.2	41.3	53.1	56.1	24	6.4	2.2	19.5
	DAA perm otorgados	1.9	1.8	1.8	1.8	2	2.7	2.9	2.8	2.6	2.4	2.2	2.1	2.3
	Oferta DAAeven	17.1	19.4	16.6	40.8	77.3	124.5	100.3	90.5	84.4	90	46.7	33.2	61.7
	DAA even otorgados	0.5	0.4	0.4	0.6	2.3	1.6	1.4	1.6	1.7	1.3	1.1	0.8	1.1
	Saldo DAA perm	-1	-1.6	-0.4	3.5	8.8	29.6	38.4	50.3	53.5	21.5	4.2	0.2	17.2
	Saldo DAA even	16.6	19	16.3	40.2	75	122.8	98.9	89	82.7	88.7	45.6	32.4	60.6
Rio Duqueco en Cerrillos	Q5% Pex	35.4	38.2	35.3	78.1	154.2	268.9	231.8	234.7	215.3	175.7	89.1	61.8	134.9
	Q50% Pex	18.2	15.4	15.9	32.9	59.6	126.1	107.3	161.9	140.4	82.5	41.1	24.6	68.8
	Q85% Pex	12	11.5	11.2	17.1	29.3	68.4	79.4	92.4	90	47.5	21.7	13.8	41.2
	Qeco	7.4	7.4	7.4	7.7	11.1	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8	9.7	7.4	11
	Oferta DAAperm	4.6	4.1	3.8	9.4	18.1	53.6	64.6	77.6	75.2	32.8	12.1	6.4	30.2
	DAA perm otorgados	14.9	14.7	14.7	14.8	14.9	15.6	15.8	15.7	15.5	15.4	15.2	15	15.2
	Oferta DAAeven	23.5	26.7	24.1	61	124.9	200.4	152.5	142.3	125.3	128.1	67.3	48	93.7
	DAA even otorgados	0.5	0.4	0.4	0.6	2.3	1.6	1.4	1.6	1.7	1.3	1.1	0.8	1.1
	Saldo DAA perm	-10.3	-10.6	-10.9	-5.4	3.2	38	48.8	61.9	59.7	17.4	-3.1	-8.6	15
	Saldo DAA even	23	26.3	23.7	60.4	122.6	198.8	151.1	140.7	123.7	126.8	66.2	47.2	92.5

Tabla 67. Caudales medios mensuales, oferta de DAA permanentes y eventuales, junto con la estimación de oferta sustentable. (Continuación)

Cuenca	Caudal (l/s)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Rio Biobio en Coihue	Q5% Pex	302.3	333.2	289.7	685.7	1079.1	1738	1426.3	1594.2	1737.7	1466	776.5	488.2	993.1
	Q50% Pex	158.2	152.3	147.2	237.8	454.6	804.5	603.5	1056.6	1053.7	732.1	314	220.4	494.6
	Q85% Pex	110.3	115.2	98	153.9	195.6	394	429.7	694.2	714.2	392.3	206.7	143.6	304
	Qeco	54.8	55.2	54.8	67.6	70.5	109.6	109.6	109.6	109.6	109.6	82.6	54.8	82.4
	Oferta DAAperm	55.5	59.9	43.1	86.3	125.1	284.4	320.1	584.6	604.5	282.7	124.1	88.8	221.6
	DAA perm otorgados	45.4	44	43.5	45	48.5	51	51.9	51.1	50.5	50.2	49.4	47.5	48.2
	Oferta DAAeven	192	218.1	191.8	531.7	883.4	1344	996.7	900	1023.5	1073.7	569.8	344.6	689.1
	DAA even otorgados	9.7	8.5	7.8	9	17.1	17.8	17.2	16.2	15.8	15.7	14.4	13.7	13.6
	Saldo DAA perm	10	16	-0.3	41.3	76.6	233.3	268.2	533.5	554.1	232.5	74.7	41.3	173.4
	Saldo DAA even	182.3	209.6	184	522.7	866.3	1326.3	979.5	883.8	1007.7	1058	555.3	330.8	675.5
Rio Bureo en Mulchen	Q5% Pex	28	42.1	40	75.4	125.7	164	131.3	138.3	126	111.8	61	42.9	90.5
	Q50% Pex	13.5	13.8	17.4	29.9	51.4	90.7	73.1	102.6	86.2	47.5	27	16.8	47.5
	Q85% Pex	8.3	7.7	9.6	16.7	25.1	43.6	48.2	59.8	53.2	24.4	13.4	9.1	26.6
	Qeco	5	5	5	6.8	9.8	10	10	10	10	10	6.3	5	7.8
	Oferta DAAperm	3.3	2.6	4.6	10	15.4	33.6	38.1	49.7	43.1	14.5	7.1	4.1	18.8
	DAA perm otorgados	0.8	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
	Oferta DAAeven	19.6	34.5	30.4	58.7	100.6	120.4	83.1	78.5	72.8	87.3	47.5	33.8	63.9
	DAA even otorgados	0	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Saldo DAA perm	2.4	1.9	3.8	9.1	14.5	32.7	37.3	48.9	42.3	13.6	6.3	3.2	18
	Saldo DAA even	19.6	34.4	30.3	58.7	100.6	120.4	83.1	78.5	72.8	87.3	47.5	33.8	63.9
Rio Mulchen en Mulchen	Q5% Pex	7.7	13.4	13.7	27.9	43.3	59.1	49.7	52	51.8	45.2	26.1	15.5	33.8
	Q50% Pex	2.7	2.8	4.3	9.4	17.8	31	25.4	37.6	32.2	21	7.8	5.2	16.4
	Q85% Pex	0.8	0.2	1.3	3.8	7.6	13.6	17.7	23	24.1	12.6	5	1.2	9.2
	Qeco	1.8	1.8	1.8	1.8	2.8	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	1.8	1.8	2.6
	Oferta DAAperm	-1	-1.6	-0.5	2	4.9	10	14.1	19.4	20.5	9	3.2	-0.6	6.6
	DAA perm otorgados	0.6	0.4	0.3	0.5	1.4	1.9	2.1	1.9	1.6	1.4	1.2	0.9	1.2
	Oferta DAAeven	6.8	13.2	12.4	24.1	35.7	45.4	32	29	27.7	32.7	21.1	14.3	24.5
	DAA even otorgados	0.9	0.7	0.6	0.8	2.9	3.6	3.8	2.8	2.6	2.4	2	1.5	2.1
	Saldo DAA perm	-1.5	-2	-0.8	1.5	3.5	8.1	12	17.5	18.8	7.6	2	-1.5	5.4
	Saldo DAA even	6	12.4	11.8	23.3	32.8	41.9	28.2	26.1	25.1	30.3	19.1	12.8	22.5

Tabla 67. Caudales medios mensuales, oferta de DAA permanentes y eventuales, junto con la estimación de oferta sustentable. (Continuación)

Cuenca	Caudal (l/s)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Rio Renaico en Longitudinal	Q5% Pex	15.1	17.9	17.8	38.2	103.3	154	140.1	137.5	92.8	86.2	48	27.3	73.2
	Q50% Pex	6.8	5.8	7.4	14	37.1	93.4	70.3	76	51.8	34.7	19.6	12	35.8
	Q85% Pex	3.8	3.2	3.5	7.1	14.6	41.2	42.8	50.2	25	15.5	9.4	4.6	18.4
	Qeco	3.8	3.8	3.8	3.8	5.4	7.7	7.7	7.7	7.7	5.5	4.2	3.8	5.4
	Oferta DAAperm	0	-0.6	-0.4	3.3	9.2	33.6	35.1	42.6	17.3	10	5.2	0.8	13
	DAA perm otorgados	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
	Oferta DAAeven	11.4	14.7	14.4	31.1	88.7	112.7	97.3	87.3	67.8	70.6	38.6	22.6	54.8
	DAA even otorgados	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	Saldo DAA perm	-0.8	-1.4	-1.1	2.6	8.5	32.8	34.4	41.8	16.6	9.3	4.5	0.1	12.3
	Saldo DAA even	11.1	14.5	14.2	30.9	88.5	112.5	97.1	87.1	67.6	70.4	38.4	22.4	54.6
Rio Mininco en Longitudinal	Q5% Pex	5.4	11.7	11.6	25.3	41.6	57.3	48.8	54.4	52.8	43.6	27.2	12.7	32.7
	Q50% Pex	2	1.8	3.4	8.3	17.7	32.7	23.9	35.3	32.9	26.3	9.4	4.5	16.5
	Q85% Pex	0.8	0.3	1	3.8	7.2	13.5	17.5	24.2	26.6	15.7	6.3	1.4	9.8
	Qeco	1.8	1.8	1.8	1.8	2.7	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	1.8	1.8	2.6
	Oferta DAAperm	-1	-1.5	-0.8	2	4.5	9.9	13.9	20.6	23	12.1	4.5	-0.4	7.2
	DAA perm otorgados	1.2	0.8	0.7	0.7	1.5	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.4	2.1	2.4
	Oferta DAAeven	4.6	11.4	10.6	21.5	34.4	43.8	31.3	30.2	26.2	27.9	20.9	11.3	22.8
	DAA even otorgados	2.8	1.7	1.5	2.6	2.7	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.7	2.1	1.3
	Saldo DAA perm	-2.2	-2.3	-1.5	1.3	2.9	6.1	10.1	16.8	19.3	8.4	1.1	-2.5	4.8
	Saldo DAA even	1.8	9.7	9.1	19	31.7	43.3	30.9	29.8	25.7	27.4	20.2	9.2	21.5
Rio Malleco en Collipulli	Q5% Pex	3.6	4.7	3.6	14.8	69.9	111.4	90.7	82.2	57.7	43.2	25	13.4	43.3
	Q50% Pex	1.5	0.7	1.3	3.8	22.2	66.4	55.3	45.2	26.3	18.5	6.9	3.6	21
	Q85% Pex	0.4	0.3	0.2	1.1	5.8	36.6	30.5	26.8	13	6.3	3	1.1	10.4
	Qeco	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	4.4	4.4	4.4	4.4	2.8	2.2	2.2	3
	Oferta DAAperm	-1.9	-2	-2	-1.1	3.6	32.2	26.1	22.3	8.6	3.5	0.8	-1.2	7.4
	DAA perm otorgados	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	Oferta DAAeven	3.3	4.4	3.4	13.6	64.1	74.9	60.2	55.4	44.7	36.9	22	12.4	32.9
	DAA even otorgados	0	0	0	0	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.5	0.5	0.5	0.4
	Saldo DAA perm	-2	-2.1	-2.1	-1.2	3.5	32	26	22.2	8.4	3.4	0.6	-1.3	7.3
	Saldo DAA even	3.3	4.4	3.4	13.6	63.4	74.1	59.5	54.7	43.9	36.4	21.5	11.9	32.5

Tabla 67. Caudales medios mensuales, oferta de DAA permanentes y eventuales, junto con la estimación de oferta sustentable. (Continuación)

Cuenca	Caudal (l/s)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Río Vergara en Tijeral	Q5% Pex	30.1	35.8	35	64.2	211.1	307.4	281.9	257.7	174.3	157	81.9	48.9	140.4
	Q50% Pex	20.6	20.2	19.1	32.8	69.6	176	164.1	155.6	82.7	57	39.3	27.1	72
	Q85% Pex	17.1	17.9	15.2	22.5	39.6	99.4	91.7	96.6	50.7	35.3	26	19.3	44.3
	Qeco	8.1	8.9	7.8	9.8	14.5	15.6	15.6	15.6	15.6	12.1	11.6	8.4	12
	Oferta DAAperm	9	9	7.5	12.7	25	83.8	76.1	81	35.2	23.2	14.3	11	32.3
	DAA perm otorgados	4	4	4	4	4.8	4.9	4.8	4.9	4.9	4.8	4.6	4.1	4.5
	Oferta DAAeven	12.9	17.9	19.7	41.7	171.5	208	190.3	161.1	123.5	121.7	56	29.6	96.2
	DAA even otorgados	1.9	1.9	1.8	1.9	1.9	1.7	1.8	1.6	1.7	1.7	1.5	1.9	1.8
	Saldo DAA perm	5	5	3.4	8.7	20.2	78.9	71.2	76.1	30.2	18.4	9.7	6.9	27.8
	Saldo DAA even	11	16.1	17.9	39.8	169.7	206.3	188.5	159.5	121.9	120	54.4	27.7	94.4
Río Rehue en Quebrada Culen	Q5% Pex	1.4	2.3	3.3	8.2	23.5	29	28.2	27.2	14.5	15	5.4	2.9	13.4
	Q50% Pex	0.5	0.4	0.5	3	7.3	15.5	14.7	13.7	7	3.2	1.8	1.1	5.7
	Q85% Pex	0.2	0.2	0.2	0.9	3.5	8.8	7	8.4	3.9	1.6	0.9	0.4	3
	Qeco	0.7	0.7	0.7	0.7	1.2	1.3	1.3	1.3	1.3	0.7	0.7	0.7	0.9
	Oferta DAAperm	-0.4	-0.5	-0.4	0.2	2.2	7.4	5.7	7.1	2.6	0.9	0.2	-0.3	2.1
	DAA perm otorgados	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.4
	Oferta DAAeven	1.2	2.1	3	7.4	20.1	20.2	21.2	18.8	10.6	13.4	4.5	2.6	10.4
	DAA even otorgados	0.2	0.2	0.2	0.2	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.2	0.4
	Saldo DAA perm	-0.7	-0.7	-0.7	-0.1	1.8	7	5.3	6.6	2.1	0.5	-0.1	-0.6	1.7
	Saldo DAA even	1	1.9	2.8	7.2	19.6	19.7	20.7	18.3	10.1	12.9	4.1	2.4	10.1
Río Nicodahue en Pichun	Q5% Pex	9	11.6	13.1	27.6	50.3	97.5	90.2	96.6	75.6	60.9	27.8	14.5	47.9
	Q50% Pex	6	6.1	6.1	9.9	24.5	40.3	44.4	64.9	53	28.7	11.7	7.8	25.3
	Q85% Pex	5.1	5.3	5.2	6.3	11.5	21.8	28.3	37.2	36.3	16.2	8.8	5.7	15.6
	Qeco	2.7	2.7	2.7	2.8	4.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	3.4	2.7	4.1
	Oferta DAAperm	2.4	2.5	2.5	3.6	7.1	16.3	22.8	31.7	30.8	10.7	5.4	3	11.6
	DAA perm otorgados	0.4	0.1	0.1	0.3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4
	Oferta DAAeven	3.9	6.3	7.9	21.3	38.8	75.7	61.9	59.4	39.3	44.7	19	8.9	32.2
	DAA even otorgados	0.1	0.3	0.3	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1
	Saldo DAA perm	2	2.4	2.4	3.2	6.6	15.8	22.3	31.2	30.4	10.2	4.9	2.5	11.2
	Saldo DAA even	3.8	6	7.7	21.2	38.8	75.7	61.9	59.4	39.3	44.7	19	8.9	32.2

Tabla 67. Caudales medios mensuales, oferta de DAA permanentes y eventuales, junto con la estimación de oferta sustentable. (Continuación)

Cuenca	Caudal (l/s)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Río Laja en Tucapel	Q5% Pex	89.2	115	82.5	162.5	305.1	461.3	388.9	390.2	289.6	246.7	149.3	144.2	235.4
	Q50% Pex	61	62.1	54.6	74.1	103	231.7	172.4	220.6	137.2	131.7	95.8	78.2	118.5
	Q85% Pex	52.7	56.8	46.1	58.1	68	132.5	86.5	124.4	75.9	89.9	84.2	55.3	77.5
	Qeco	23.3	26	21.9	26	26	26	26	26	26	26	26	25.7	25.4
	Oferta DAAperm	29.4	30.8	24.2	32.1	42	106.5	60.5	98.4	49.9	63.9	58.2	29.6	52.1
	DAA perm otorgados	78.3	78	77.9	78.2	14.3	21.9	19.9	20.6	84.7	83	80.5	79.2	59.7
	Oferta DAAeven	36.4	58.2	36.4	104.4	237.1	328.8	302.4	265.8	213.7	156.9	65.1	88.9	157.8
	DAA even otorgados	82	18.9	18.3	23.7	38.4	30.7	32.6	26.1	27.4	23.4	24.5	22.2	30.7
	Saldo DAA perm	-49	-47.3	-53.6	-46.1	27.7	84.6	40.6	77.9	-34.8	-19.1	-22.4	-49.6	-7.6
	Saldo DAA even	-45.5	39.3	18.1	80.7	198.7	298.1	269.8	239.7	186.3	133.5	40.5	66.7	127.2
Río Laja en Puente Perales	Q5% Pex	110.3	144.2	104.9	203.2	378.6	574.7	486.9	481.2	366.9	301.7	182.4	174.7	292.5
	Q50% Pex	78.2	80.5	70.5	95.8	132.9	284.3	214.1	289	181.9	154.8	117.8	97.2	149.8
	Q85% Pex	69.1	74.8	61.9	75.8	89.8	169.9	118.8	160.2	103.3	110.7	105	72.2	101
	Qeco	31.4	32.7	29.6	32.7	32.7	32.7	32.7	32.7	32.7	32.7	32.7	32.7	32.4
	Oferta DAAperm	37.8	42	32.3	43.1	57.1	137.2	86.1	127.4	70.5	78	72.3	39.4	68.6
	DAA perm otorgados	84.5	84.2	84	84.4	20.5	28.1	26.1	26.7	90.9	89.1	86.7	85.4	65.9
	Oferta DAAeven	41.2	69.5	43	127.4	288.8	404.8	368.1	321.1	263.6	191	77.4	102.6	191.5
	DAA even otorgados	83.2	20.1	19.5	24.9	39.6	31.9	33.8	27.3	28.6	24.6	25.7	23.4	31.9
	Saldo DAA perm	-46.7	-42.2	-51.7	-41.3	36.6	109.1	60	100.7	-20.4	-11.2	-14.5	-46	2.7
	Saldo DAA even	-42	49.4	23.5	102.5	249.2	372.9	334.3	293.8	235	166.4	51.7	79.2	159.7
Río Claro en Camino Yumbel-Estacion	Q5% Pex	5.8	6.2	4.8	8.9	18.4	49.2	45.8	41.9	21.1	16.2	8.3	7.3	19.5
	Q50% Pex	5	5.1	4	5.1	7.6	15.8	15.5	17.6	8.4	7.4	5.5	5.1	8.5
	Q85% Pex	4.4	4.6	3.6	4.3	5.2	8.5	8.6	11	5.7	5.3	4.9	4.4	5.9
	Qeco	1.9	2	1.7	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Oferta DAAperm	2.5	2.6	1.9	2.3	3.2	6.5	6.6	9	3.7	3.3	2.9	2.4	3.9
	DAA perm otorgados	1.1	0.9	0.9	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
	Oferta DAAeven	1.4	1.6	1.2	4.6	13.2	40.7	37.2	30.9	15.5	10.8	3.3	2.9	13.6
	DAA even otorgados	0	0.2	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Saldo DAA perm	1.4	1.7	1.1	1.2	2.1	5.4	5.5	7.9	2.6	2.2	1.9	1.3	2.9
	Saldo DAA even	1.4	1.4	1	4.6	13.2	40.7	37.2	30.9	15.5	10.8	3.3	2.9	13.6

6.3.2 Sustentabilidad de Sectores Acuíferos DGA

El estudio y análisis de los criterios de sustentabilidad se aplicaron en aquellos SHAC's ubicados dentro del dominio de acople. Sus resultados se presentan en los acápite siguientes.

Para la implementación de escenarios y análisis de sustentabilidad de los acuíferos, se consideró el modelo descrito en la Tabla 68, tomando como base el modelo de escenario de cambio climático (E CC) seleccionado.

Tabla 68. Descripción modelo considerado para sustentabilidad sectores acuíferos.

Sustentabilidad Acuífero	Periodo	OBS
Periodo de modelación	Abr 1990 - Mar 2050	-
Periodo de evaluación	Abr 2000 - Mar 2050	-
Forzantes	Abr 2019 - Mar 2050	MCG CCSM4
Demandas	Abr 2019 - Mar 2050	Replicadas desde 2019 a 2050, para ver actual operación de la cuenca. Para cálculo de oferta natural también se consideró eliminación de demandas.

Fuente: Elaboración Propia

Criterio 1: Análisis Sustentabilidad en SHACs

Para la cuenca del río Biobío se han analizado 5 SHACs (de un total de 9) presentes en la zona del dominio de modelación. Inicialmente se procedió determinando la condición actual de cada SHAC, definidas a través de la declaración de restricción y prohibición de la DGA, presentadas en la Tabla 69.

Tabla 69. Condicion Actual SHACs Biobío.

SHAC	Condición
Acuífero 1 – Laja	Abierto
Acuífero 2 – Biobío Medio	Abierto
Acuífero 3 – Renaico	Abierto
Acuífero 4 – Vergara	Abierto
Acuífero 5 – Biobío Superior	Abierto

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados del análisis de los criterios de sustentabilidad aplicados a la cuenca del río Biobío se presentan de manera individual, a continuación.

Utilizando el valor de la variable de estado nivel freático para cada celda activa dentro del dominio de modelación del modelo acoplado, se obtuvo la variación del volumen para los 50 años de análisis, siendo sus resultados presentados en la Tabla 70.

Tabla 70. Criterio 1 cuenca Río Biobío.

SHAC	ΔV (%)	Criterio
Laja	8,6%	No Cumple
Biobío medio	4,7%	Cumple
Renaico	0,5%	Cumple
Vergara	1,7%	Cumple
Biobío Superior	5,9%	No Cumple

Fuente: Elaboración Propia

Considerando que el volumen de explotación sustentable para un periodo de 50 años corresponde a una variación de 5%, solo los SHAC's Biobío Medio, Renaico y Vergara cumplen el primer criterio. En consecuencia, estos pasan a ser evaluados en el segundo criterio y para los que no cumplen, se establece que no son capaces de ofertar recursos de forma sustentable.

Criterio 2: Interferencia Río Acuífero

Este criterio implica inicialmente el cálculo del caudal medio anual con una probabilidad de excedencia del 85% (Q₈₅, definidos en Tabla 66). Para ello en el modelo acoplado se consideraron las estaciones de control de flujo superficial a la salida de cada SHAC, de manera de permitir su obtención. Con aquel valor se definió el caudal máximo de interferencia río acuífero posible para cada SHAC, correspondiente al 10% del Q₈₅. El análisis del criterio se concluye mediante el cálculo de la diferencia en el afloramiento neto entre dos escenarios en el periodo de estudio de 50 años, correspondientes a los escenarios con y sin demanda (ΔQ). Finalmente, los resultados son presentados en la Tabla 71.

De acuerdo con lo anterior, se aprecia que los SHACs analizados no cumplen el criterio 2, superando el afloramiento neto a la restricción de flujo.

Tabla 71. Criterio 2 cuenca Río Biobío.

SHAC	ΔQ (%)	Cumplimiento Criterio
Biobío medio	-30	No Cumple
Renaico	-32.5	No Cumple
Vergara	-28.7	No Cumple

Fuente: Elaboración Propia

Criterio 3: Pozos Secos

Bajo este criterio en cada sector no debe haber más de un 5% de pozos desconectados o colgados. En caso contrario el sector quedará cerrado y no posee oferta sustentable.

Tabla 72. Criterio 3 cuenca Río Biobío.

Dominio modelación	
Pozos Secos	Criterio
0	Cumple

Fuente: Elaboración Propia

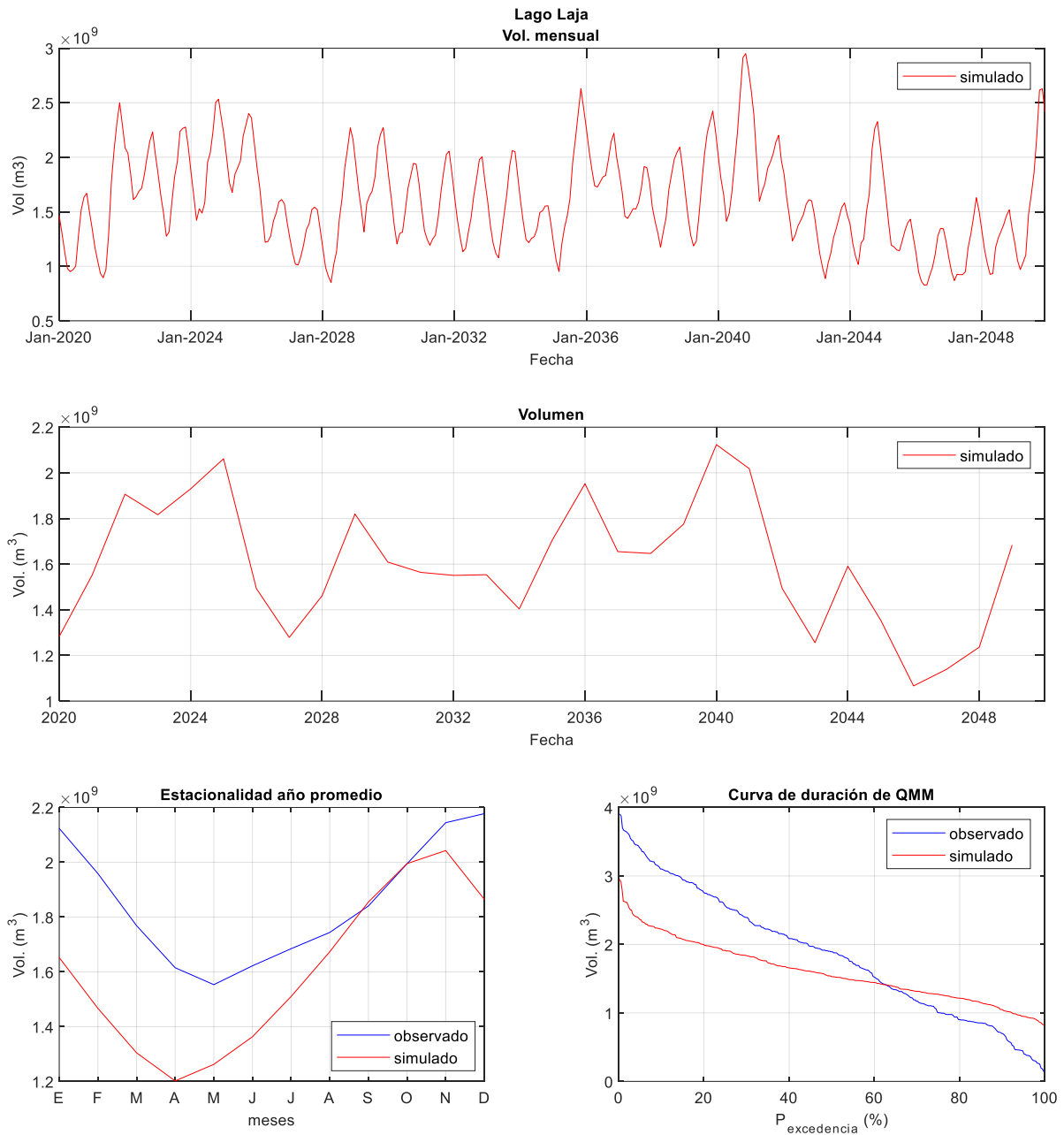
6.4 Escenarios de gestión específicos

6.4.1 Escenario 2

Dado que el año 2017 se firmó el 'Acuerdo de Operación y Recuperación del Lago Laja, Complementa Convenio de 1958' (DOH, 2017) un escenario a analizar consistió en la evaluación de este convenio para estudiar el comportamiento del Lago y brechas. El convenio asigna volúmenes a los diferentes usuarios de la cuenca en función del volumen embalsado al 30 de noviembre de cada año. En base al volumen disponible a finales de noviembre de cada año se asignan volúmenes para riego, generación y reserva para el Lago. Estos volúmenes pueden ser luego complementados con el aporte de la cuenca intermedia para satisfacer las necesidades y demandas de riego en las bocatomas de los canales. Para mayor detalle respecto de la regla de operación se sugiere referirse al convenio de operación del Lago Laja incluido en el Apéndice H-7 del Anexo H. Adicionalmente, busca utilizar un uso eficiente del agua en la cuenca, utilizando los caudales denominados 'excedentes' de la cuenca del río Laja. Por tanto, las extracciones efectivas del lago resultan en aquellas necesarias hasta completar o satisfacer las demandas ubicadas aguas abajo.

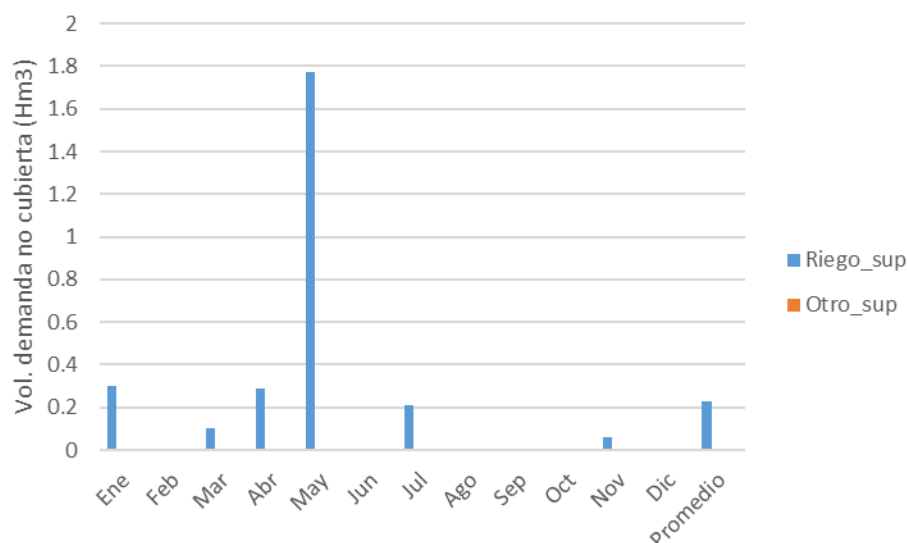
La Figura 78 muestra los resultados de la simulación (línea roja) junto con una comparativa de la estacionalidad y curva de duración de los niveles volúmenes del lago registrados en el pasado (línea azul). Se observan dos aspectos importantes: i) los niveles simulados bajo la nueva regla de operación son menores que los registrados en el pasado. Esto responde a que en el pasado (1990 – 2015) las precipitaciones y por tanto afluentes al lago han sido menores, junto con una explotación (demandas) menor, y ii) los niveles y volúmenes del lago tienden a ser más estables bajo la regla de operación propuesta. Esto es uno de los objetivos de esta al otorgar flexibilidad en escenarios hidrológicos desfavorables y de abundancia. Los resultados concuerdan con conclusiones presentadas en Muñoz et al. (2020) en donde se describe que la nueva regla de operación se mantiene dentro de niveles y volúmenes estables.

Respecto de la Brecha Hídrica, y de acuerdo con las simulaciones actuales, esta se totaliza en 160 Mm³ como promedio para toda la cuenca en el período completo de simulación 2020-2050. Al analizar la brecha mensual en Laja en Tucapel (Figura 79) y considerando las demandas de la cuenca intermedia, se observa, que tanto los promedios mensuales, como la media anual es menor a 0.3 Hm³.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 78. Volúmenes simulados del Lago Laja, considerando la regla de operación del convenio DOH (2017), y comparativa con observaciones del periodo 1990 – 2015.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 79. Brecha hídrica calculada a las demandas superficiales, sin considerar las demandas de agua del Lago. Brecha calculada en río Laja en Tucapel.

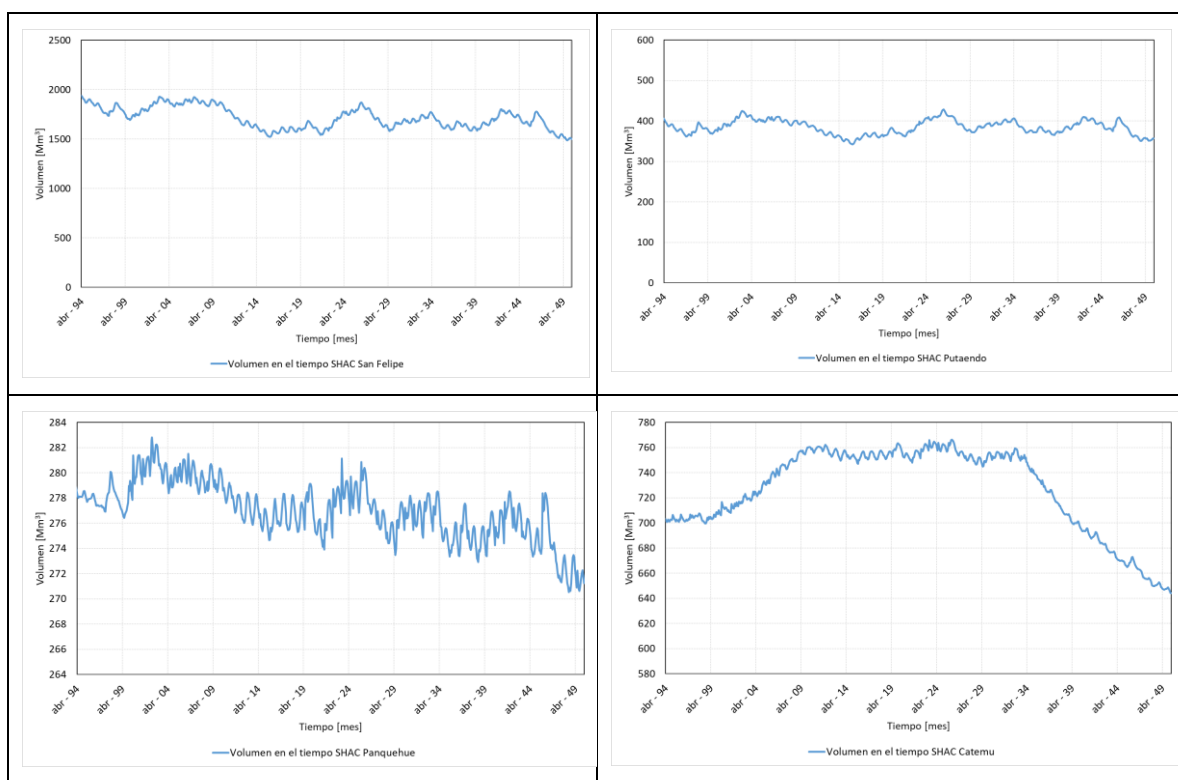
El balance hidrogeológico se presenta en la Tabla 73.

Tabla 73. Escenario Gestión 2 (E2), Balance Hídrico Subterráneo 2020-2050.

Entradas (m³/s)	Laja	BB Medio	Renaico	Vergara	BB Superior	Total
Flujo subterráneo	12,588	32,577	5,647	6,693	2,005	59,510
Entrada desde carga constante	0,116	0,972	0,000	0,000	0,000	1,088
Recarga desde río	4,897	18,334	0,032	0,043	1,736	25,042
Recarga superficial	8,998	24,651	6,307	10,525	0,267	50,747
Total	26,598	76,534	11,986	17,261	4,008	136,387
Salidas (m³/s)	Laja	BB Medio	Renaico	Vergara	BB Superior	Total
Flujo subterráneo	9,611	36,301	7,389	6,655	2,651	62,606
Afloramiento río	13,527	30,968	4,221	9,220	1,245	59,182
Pozos de bombeo	3,462	7,188	0,376	1,386	0,113	12,524
Descarga hacia carga constante	0,000	2,072	0,000	0,000	0,000	2,072
Total	26,600	76,528	11,986	17,261	4,008	136,383
Variación de Almacenamiento (m³/s)	1,874	-1,332	-2,789	-0,689	-0,051	-0,597
Error de Balance	-0,002	0,006	0,000	0,000	0,000	0,004
Error de Balance (%)	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01

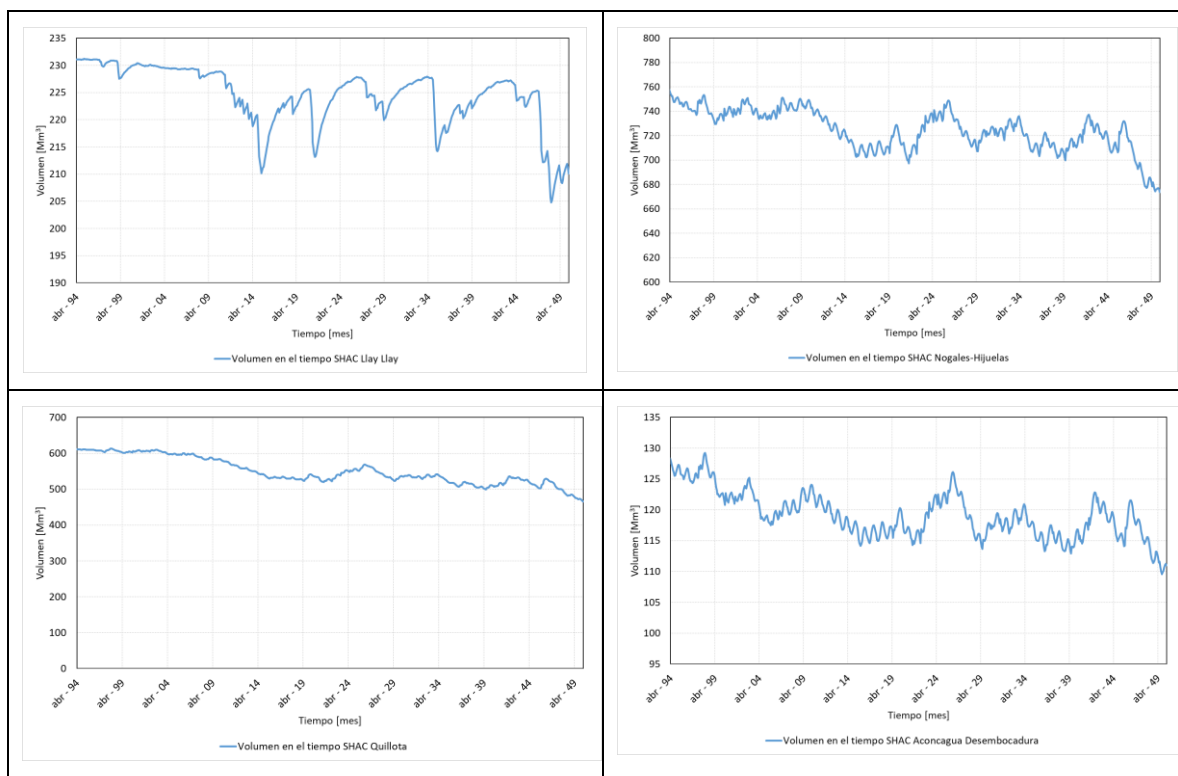
Fuente: Elaboración Propia

Como se puede recordar, el desembalse del escenario E1 era de 0,378 m³/s, y en este caso, es de 0,597 m³/s, por lo que el acuífero se desembalsa más. La variación de los volúmenes de los acuíferos de los SHAC's de la zona media alta de la cuenca se pueden apreciar en la Figura 80.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 80. Variación de los Volúmenes por SHAC para la cuenca del río Biobío 1994-2050. Zona media-alta. Escenario E2.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 81. Variación de los Volúmenes por SHAC para la cuenca del río Biobío 1994-2050. Zona media-baja. Escenario E2.

En el caso de la zona media-baja (Figura 81), se puede observar una señal generalizada al descenso del volumen para todos los SHAC's, manteniendo la tendencia obtenida del período de calibración e intensificándose hacia el 2050.

Esto quiere decir que los flujos de todo el acuífero se encuentran sumamente conectados, y que una solución u iniciativa, en este caso en la parte alta de la cuenca, tiene una repercusión por cierto en los SHAC's de aguas abajo, debido a que las extracciones tienen un impacto mayor sobre los flujos y en el volumen almacenado de los SHAC's.

Un análisis de las componentes del balance hidrogeológico se presenta en la Figura 82. De modo de identificar las variaciones de niveles entre el presente escenario (E2) y el caso base (E1) se calculó la diferencia de cota en el período de 2020 – 2050 para un pozo ubicado en el SHAC Laja, las diferencias resultan ser mínimas, en promedio la cota del pozo disminuye 0.008 m respecto de la situación base

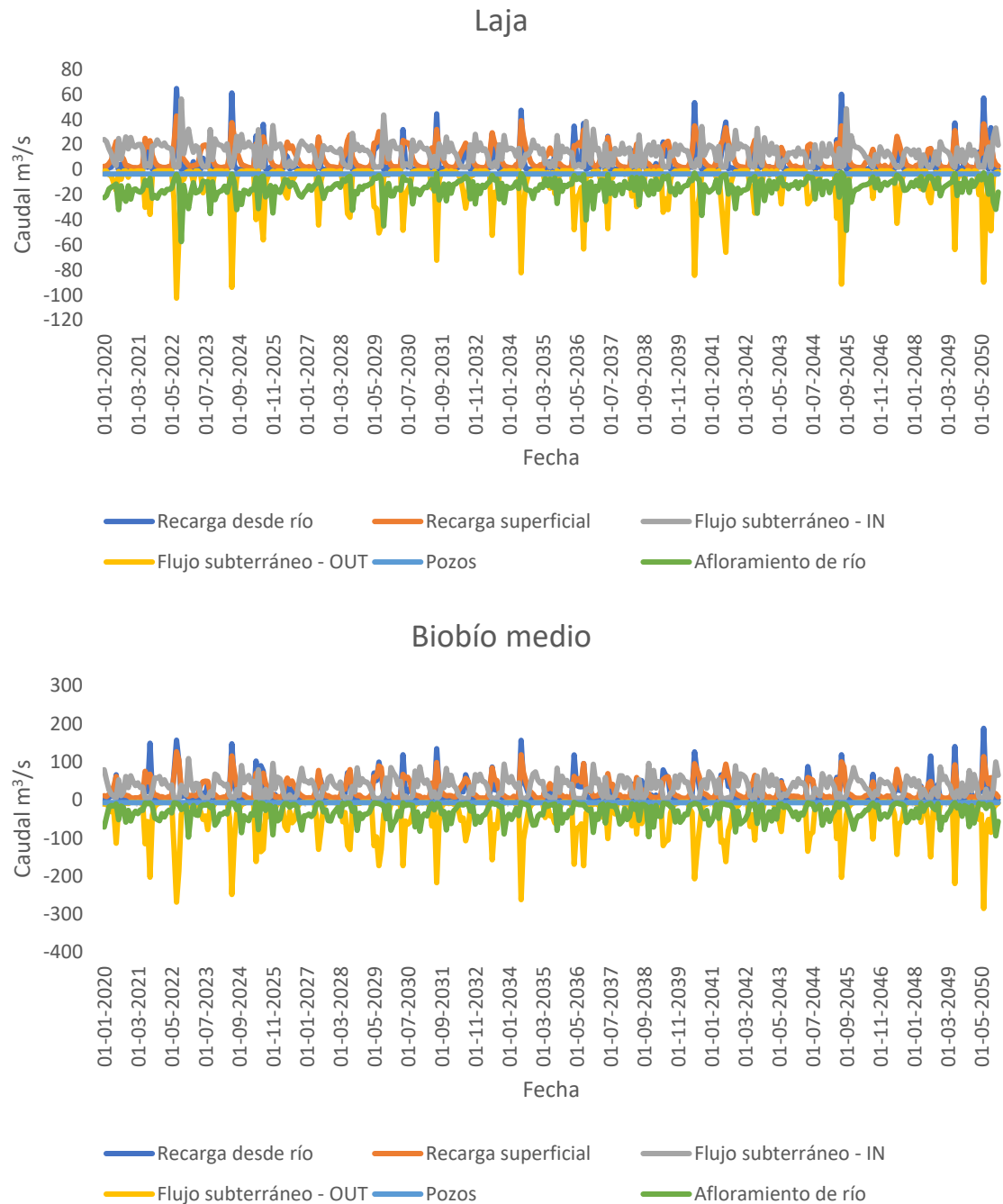


Figura 82. Análisis de componente por SHAC para la cuenca del río Biobío 2020-2050. Escenario E2.

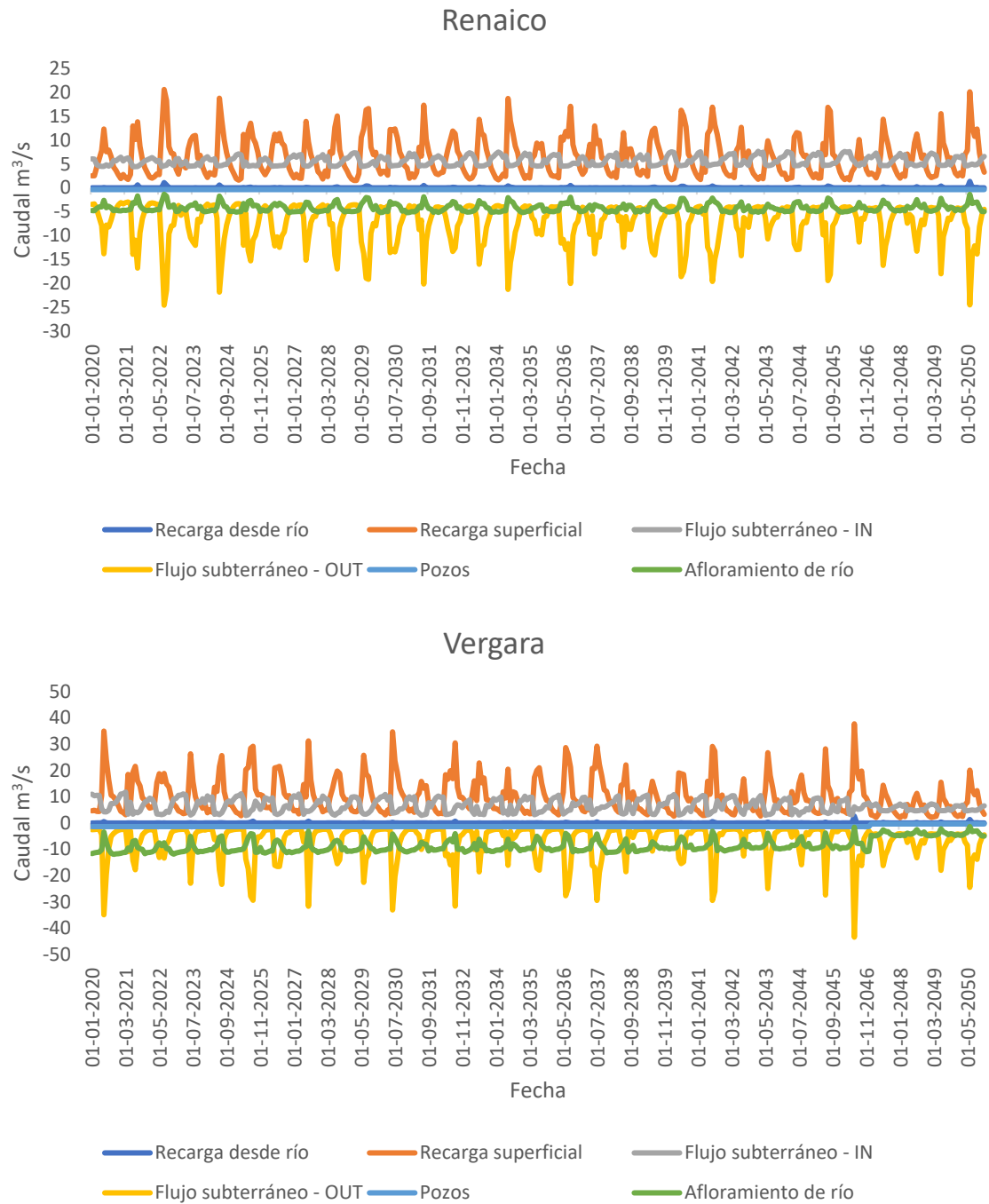


Figura 82. Análisis de componente por SHAC para la cuenca del río Biobío 2020-2050. Escenario E2. (Continuación)

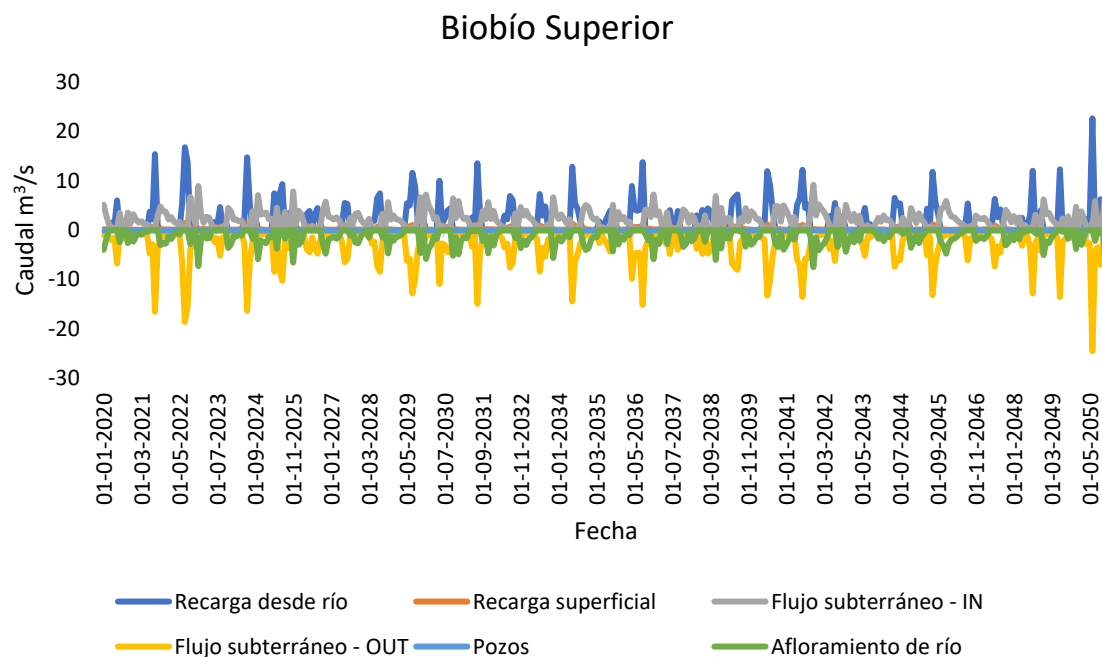


Figura 82. Análisis de componente por SHAC para la cuenca del río Biobío 2020-2050. Escenario E2. (Continuación)

6.4.2 Escenario 3

La iniciativa para implementar corresponde a la implementación de un programa de recarga artificial de aguas subterráneas mediante el uso de canales de riego, donde se implementan áreas de recarga complementarias a las obras de revestimiento de canales. La idea central es implementar zanjas de infiltración paralelas a los canales con un sistema de compuerta que permita conducir el agua en periodos excedentarios (invierno y deshielo).

Para simular este escenario se planteó que los canales pertenecientes a la Sociedad de Canalistas del Laja implementaron esta técnica y permiten el aumento de la recarga distribuida en el SHAC Laja.

El balance hidrogeológico obtenido se presenta en la Tabla 74.

Tabla 74. Escenario Gestión 3 (E3), Balance Hídrico Subterráneo 2020-2050.

Entradas (m³/s)	Laja	BB Medio	Renaico	Vergara	BB Superior	Total
Flujo subterráneo	12,249	32,624	5,650	6,695	2,005	59,222
Entrada desde carga constante	0,114	0,971	0,000	0,000	0,000	1,085
Recarga desde río	4,782	18,348	0,032	0,043	1,737	24,942
Recarga superficial	9,044	24,574	6,303	10,523	0,266	50,710
Total	26,189	76,517	11,985	17,260	4,008	135,958
Salidas (m³/s)	Laja	BB Medio	Renaico	Vergara	BB Superior	Total
Flujo subterráneo	9,364	36,300	7,388	6,655	2,651	62,359
Afloramiento río	13,365	30,955	4,220	9,219	1,244	59,003
Pozos de bombeo	3,462	7,188	0,376	1,386	0,113	12,524
Descarga hacia carga constante	0,000	2,069	0,000	0,000	0,000	2,069
Total	26,190	76,511	11,985	17,260	4,008	135,954
Variación de Almacenamiento (m³/s)	1,819	-1,328	-2,782	-0,687	-0,051	-0,606
Error de Balance	-0,002	0,006	0,000	0,000	0,000	0,004
Error de Balance (%)	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01

Fuente: Elaboración Propia

Como se puede recordar, el desembalse del escenario E1 para el SHAC Laja era de 0,378 m³/s, y en este caso, es de 0,606 m³/s, por lo que el acuífero se desembalsa más. Así también, se aprecia el aumento del afloramiento, puesto que no toda la recarga superficial se almacena en el sistema y parte de ella sólo se transmite al río

6.5 Mercado de aguas

El mercado del agua tiene un rol fundamental para la correcta gestión y reasignación de los DAA. A su vez, es un instrumento que distribuye la carga y las dificultades de la gestión entre una población más numerosa, permite una mayor participación en las decisiones de gestión y puede introducir una mayor flexibilidad en los sistemas de gestión. Sin embargo, el establecimiento de dichos mercados demanda a su vez nuevas competencias y actitudes de parte de la administración pública, los sistemas judiciales y los usuarios del agua, así como inversiones en el registro de derechos, sistemas de seguimiento y medición, y tal vez en mejorar los sistemas de distribución y transporte del recurso. En suma, "los requisitos previos necesarios para la existencia de un mercado del agua viable son los mismos que se necesitan para una gestión adecuada del agua" (Lee & Juravlev, 1998).

Para analizar el mercado del agua en la cuenca del río Biobío se consultaron las transacciones disponibles en la página web de la DGA. Estos datos contienen las transacciones ejecutadas en los Conservadores de Bienes Raíces (CBR) competentes de cada comuna que pertenece a la cuenca. Para realizar el análisis se debió depurar la base datos de acuerdo con la metodología presentada en el Anexo F.4 sección 1.1.

6.5.1 Determinación del precio del agua.

La metodología para determinar el precio del agua y los criterios aplicados son presentados en el Anexo F.4 sección 1.1.2. A continuación, se muestran los resultados de los análisis realizados a la base de datos depurada, con 467 observaciones y, distribuida en dos grandes grupos: DAA para aguas superficiales y aguas subterráneas.

a) Aguas superficiales

Con 426 datos estudiados, se observó que la muestra de $\ln(\text{UF/ls})$ no tiene una distribución normal. Por lo cual, se debió analizar las observaciones atípicas presentes en los datos (*outliers*). El método de Grubbs detectó 3 *outliers* inicialmente, luego por medio del boxplot (Figura 83^a) se determinaron el resto de los *outliers* presentes en la muestra. Eliminando de esta forma los valores presentes en el primer y noveno percentil, dejando fuera 22 *outliers*. Tras remover la dichos *outliers*, el parámetro P-value sigue siendo menor a 0.05, por ende, se rechaza la idea de que la muestra de datos de $\ln(\text{UF/ls})$ tenga una distribución normal con un 95% de confianza.

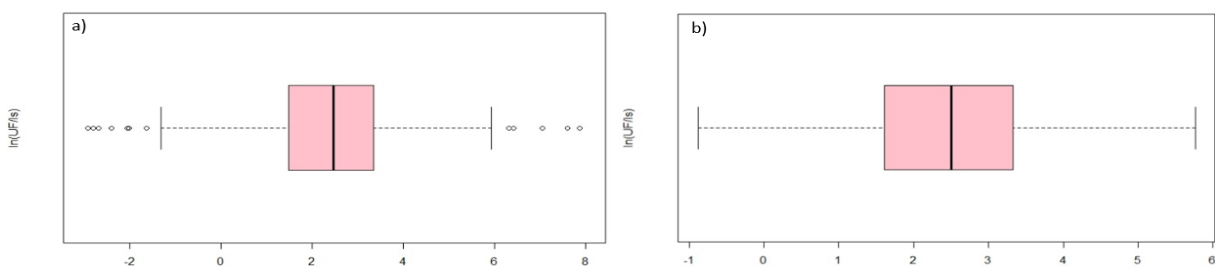
Finalmente se obtuvo una media y mediana de 11,7 UF/ls y 12,2 UF/ls respectivamente, valores que se usaron para obtener el mercado del agua para DAA superficiales.

Tabla 75. Resultados de análisis para los DAA superficiales.

Número de transacciones (UF/ls)		
	Con outliers	Sin outliers
Observaciones	426	404
<i>Outliers</i>	-	22
Media	10,7	11,7
Mediana	11,9	12,2
Intervalo de confianza superior	12,5	13,2
Intervalo de confianza inferior	9,2	10,4
Test de normalidad (p-value)	0,0000	0,0003

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 83, Figura 84 y Figura 85, se ven las comparaciones gráficas de distribución, densidad y frecuencia, para el caso a) con 426 valores y caso b) 404 valores (sin atípicos).



Fuente: Elaboración propia

Figura 83. Distribución de $\ln(UF/Is)$ respecto los cuartiles presentes para la muestra: a) con outliers y b) sin outliers, para aguas superficiales.

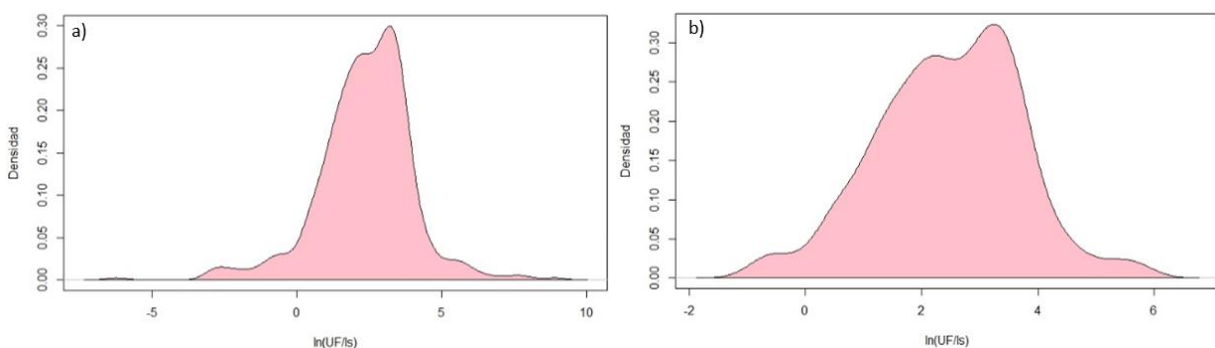
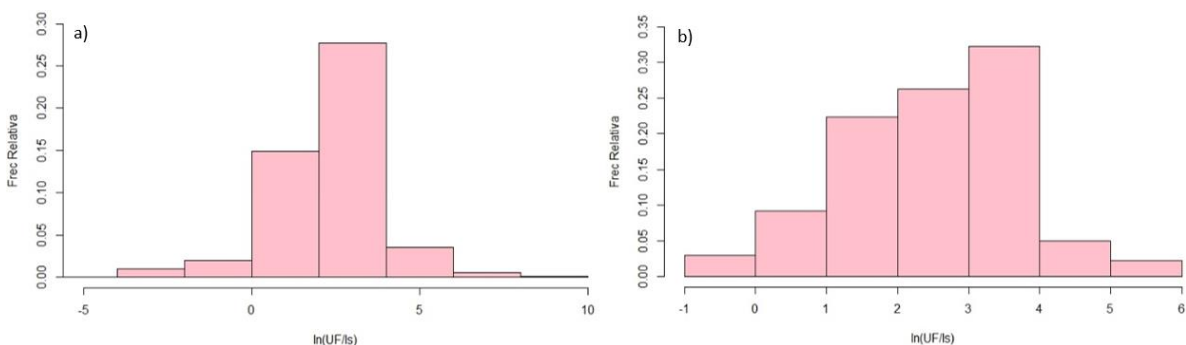


Figura 84. Distribución de $\ln(UF/Is)$, a) considerando valores atípicos y b) sin valores atípicos, para aguas superficiales.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 85 Frecuencia relativa de la variable $\ln(UF/Is)$ para aguas superficiales.

b) Aguas subterráneas

Con un total de 41 observaciones, existe evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula de que la distribución de la variable $\ln(UF/Is)$ es normal al 95% de nivel de confianza. El método de Grubbs identificó 1 observación atípica en la distribución de $\ln(UF/Is)$, y permitió lograr la normalidad en la distribución sin valores *outliers*.

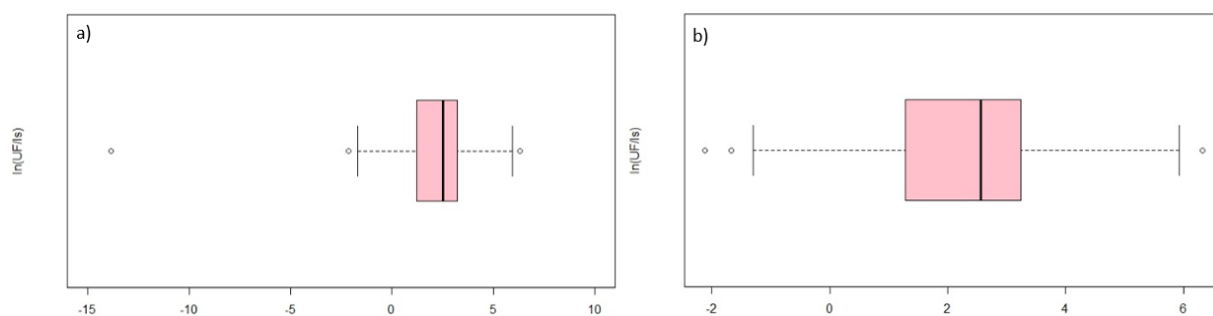
Con esto se obtiene una media y mediana de 9,9 UF/Is y 13 UF/Is respectivamente. En la Tabla 4 se presentan estos valores.

Tabla 76. Resultados de análisis para los DAA subterráneas.

Número de transacciones (UF/ls)		
	Con outliers	Sin outliers
Observaciones	41	40
Outliers	-	1
Media	6,7	9,9
Mediana	12,5	13,0
Intervalo de confianza superior	17,3	18,0
Intervalo de confianza inferior	2,6	5,4
Test de normalidad (p-value)	0,0039	0,1828

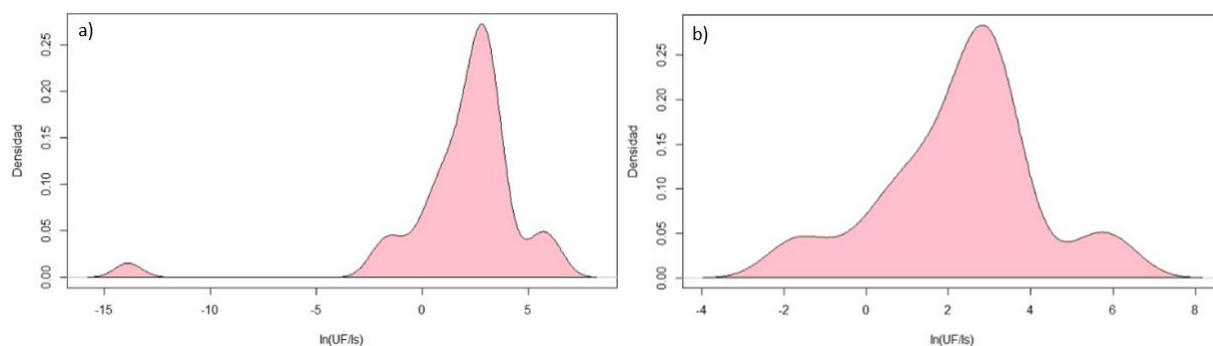
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 86, Figura 87 y Figura 88 se ven las comparaciones de gráficas distribución, densidad y frecuencia, para el caso a) con 41 valores y caso b) 40 valores (sin atípicos).



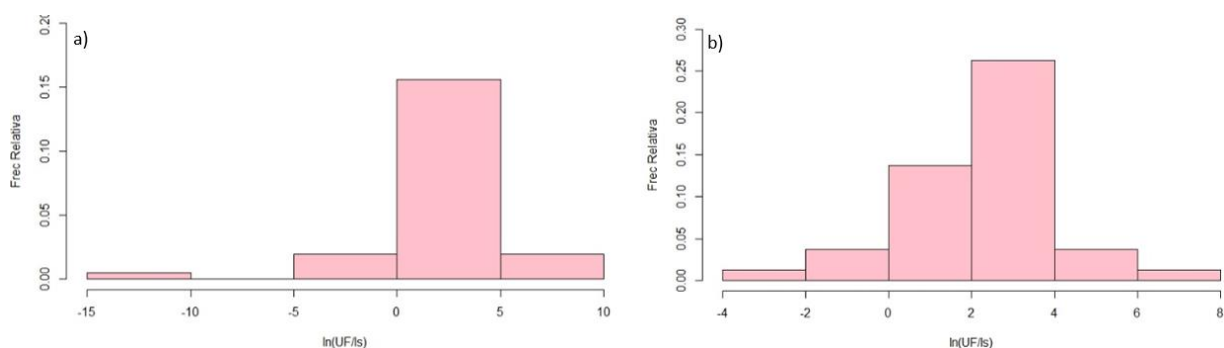
Fuente: Elaboración propia

Figura 86. Distribución de $\ln(UF/ls)$ respecto los cuartiles presentes para la muestra: a) con outliers y b) sin outliers, para aguas subterráneas.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 87. Distribución de $\ln(UF/ls)$, a) considerando valores atípicos y b) sin valores atípicos, para aguas subterráneas.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 88. Frecuencia relativa de la variable $\ln(UF/ls)$ para aguas subterránea.

c) Valor representativo del mercado del agua

Finalmente, el valor que mejor representa el mercado del agua, tanto para las aguas superficiales como subterráneas es la mediana, considerando los intervalos de confianza con un 95% de confianza, calculados para ambas naturalezas.

Es decir, para aguas superficiales el valor de 1 derecho de aprovechamiento de aguas por litro por segundo es: 12,2 UF, y considerando el rango con los intervalos de confianza, el valor del derecho varía entre 10,4 UF y 13,2 UF (Tabla 77).

Para aguas subterráneas el valor de 1 derecho de aprovechamiento de aguas por litro y por segundo es: 13 UF, y nuevamente considerando el rango con los intervalos de confianza, el valor se del derecho oscila entre 5,4 UF y 18 UF (Tabla 77).

Considerando el valor de Unidad de Fomento en \$28.668,36 (30/07/20), el valor de un derecho de aguas superficial por litro por segundo costaría entre \$298.394 y \$379.430, mientras que un derecho de aguas subterráneas costaría entre \$155.161 y \$496.945 (Tabla 77).

Tabla 77. Valor del DAA superficial y subterráneo (por litro por segundo).

Parámetro	Valor DAA Superficial	Valor DAA Subterráneo
Intervalo de confianza inferior (UF)	10,4	5,4
Mediana (UF)	12,2	13,0
Intervalo de confianza superior (UF)	13,2	18,0
Intervalo de confianza inferior (\$)	298.394	155.161
Mediana (\$)	349.413	373.044
Intervalo de confianza superior (\$)	379.430	496.945

Fuente: Elaboración Propia

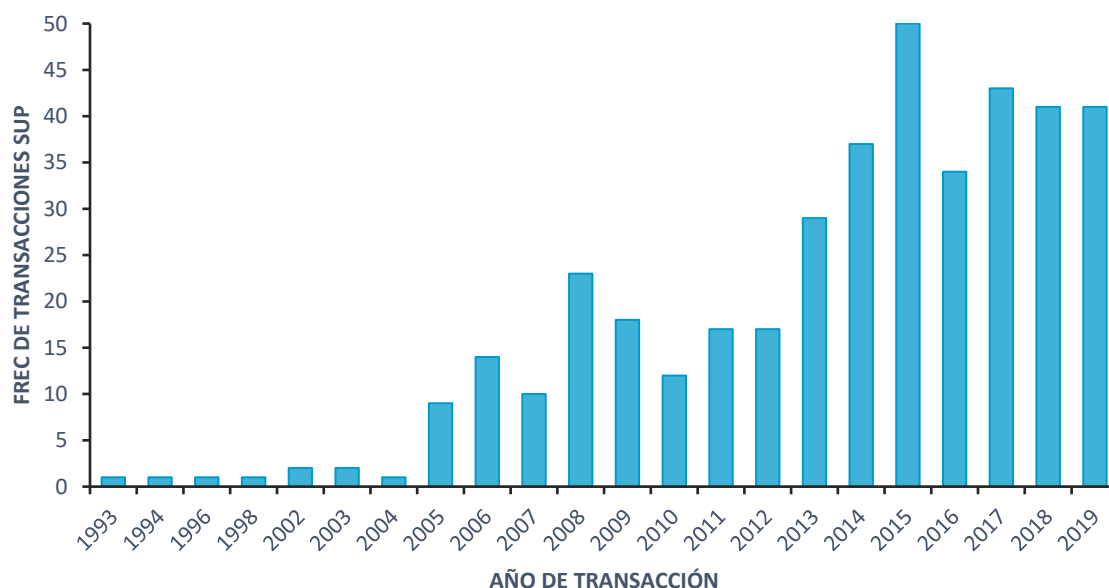
d) Análisis de las transacciones

Sectores con mayor actividad de mercado según fecha de transacción.

Para las transacciones analizadas (sin *outliers*), de acuerdo con los años involucrados y tanto como para aguas superficiales (Figura 89) y subterráneas (Figura 90), se observa un comportamiento inusual el año 2015, teniendo un peak de 50 y 10 transacciones, respectivamente para ese periodo. Esto se puede asociar a lo indicado en el reporte de Actualidad Territorial (aahumada, 2015), donde se expone la preocupante situación del país, con 194 comunas (54% del valor nacional) decretadas en emergencia agrícola como consecuencia de la sequía. Considerando en ese entonces a la región del Biobío con un 87% de sus comunas comprometidas. El impacto de la sequía en la zona vinculado a distintos sistemas productivos, y principalmente cultivos anuales, genera preocupación en el área agrícola, teniendo como resultado este elevado número transacciones realizadas ese año.

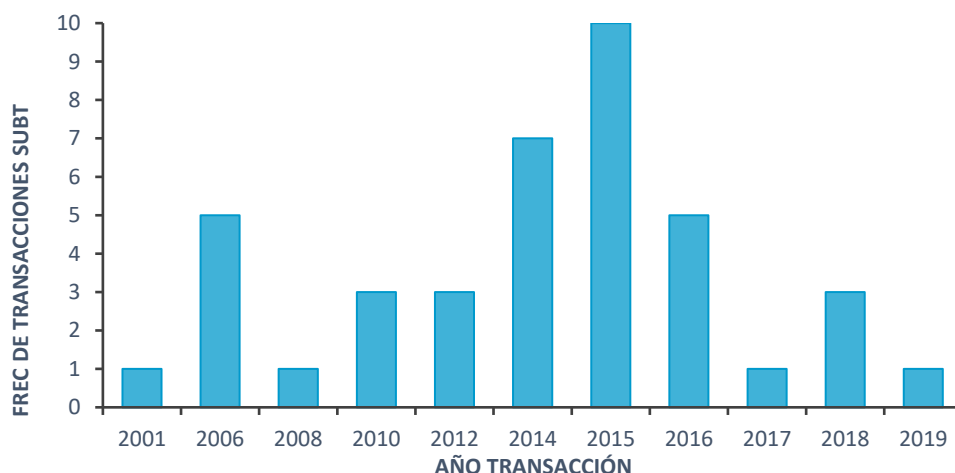
Para transacciones superficiales, desde el año 2013 se comportan de manera ascendente, hasta ver una estabilización en los últimos años. No así para las aguas subterráneas donde, en contraste éstas muestran un descenso en el mercado.

Para determinar la frecuencia de transacciones, se utilizó la columna de base de datos con nombre "Registro año CBR actual".



Fuente: Elaboración Propia

Figura 89. Frecuencia de transacciones de tipo compraventa para aguas superficiales (SUP) por año.

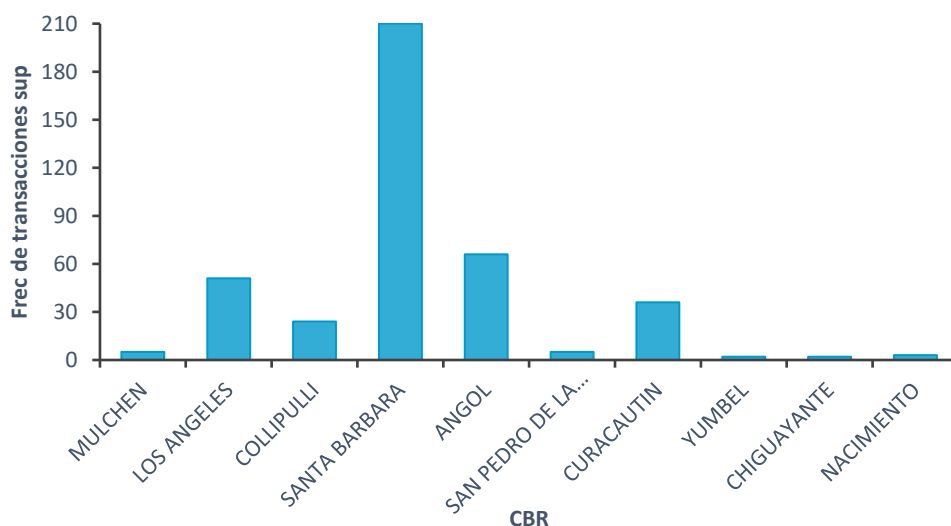


Fuente: Elaboración Propia

Figura 90. Frecuencia de transacciones de tipo compraventa para aguas subterráneas (SUBT) por año.

e) Sectores con mayor actividad de mercado según CBR

Respecto al comportamiento de las transacciones acorde a los CBR analizados para aguas superficiales, se observa en la Figura 91 que el CBR de Santa Bárbara tiene un elevado número de transacciones, un 69% más el CBR que le antecede, Angol. Se debe recordar que el CBR de Santa Barbara contiene 2 comunas en su jurisdicción: Alto Biobío y Santa Barbara.

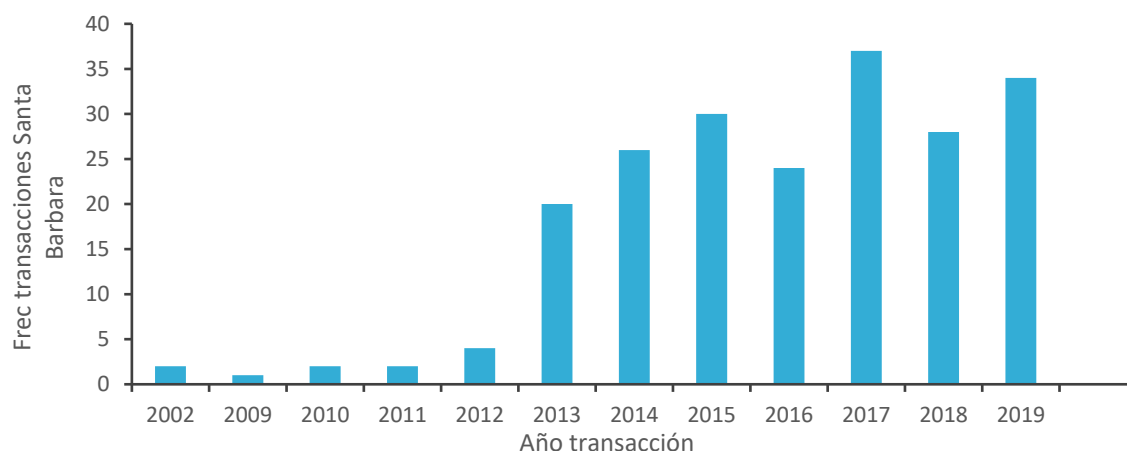


Fuente: Elaboración Propia

Figura 91. Frecuencia de transacciones para aguas superficiales (sup) por Conservador de Bienes Raíces (CBR).

Para comprender mejor que sucedió con el CBR de Santa Bárbara, se analizaron las transacciones superficiales de este CBR (Figura 92). Donde se observa un aumento en la transacción de DAA a partir del 2013. Según un artículo de Biobío, en la misma región el

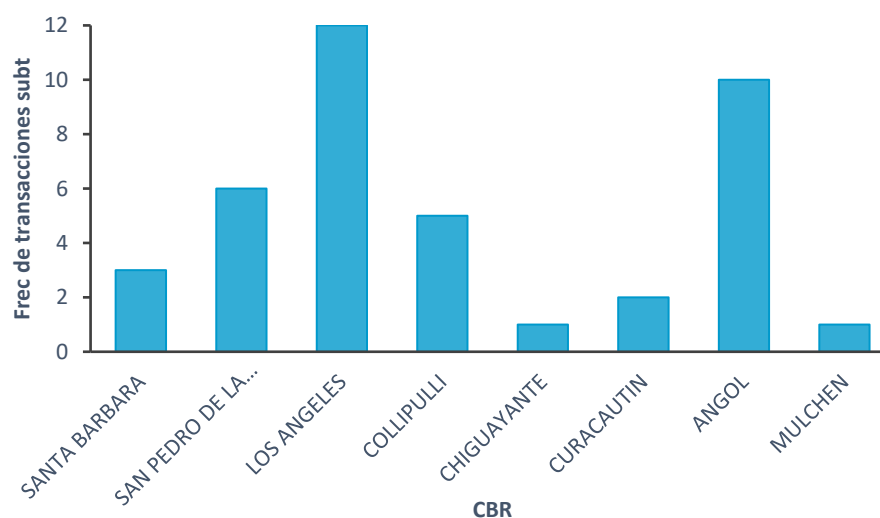
2018 se registró el segundo invierno más seco en 69 años, un comportamiento de pérdidas de lluvia que ha repetido el 2010, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016 y 2017. Hecho que sucede en todo el país pero especialmente en la región del Biobío (Vicencio, 2018).



Fuente: Elaboración Propia

Figura 92. Frecuencia de transacciones para aguas superficiales en el CBR de Santa Bárbara.

En la Figura 93, se muestra la frecuencia de las transacciones subterráneas, donde se observa que los CBR de Los Ángeles y Angol son los que tienen mayor número de transacciones, con 12 y 10 operaciones respectivamente.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 93. Frecuencia de transacciones para aguas subterráneas (subt) por Conservador de Bienes Raíces (CBR).

Tendencia central de valores, caudales y volúmenes

Al calcular la tendencia central para los DAA superficiales y subterráneos en la cuenca del Biobío se tiene (Tabla 78). La tendencia central del valor del DAA se dio a conocer en el análisis anterior (199).

Tabla 78. Tendencia central de caudal y volumen analizado (Hm³: Hectómetro cubico).

Tipo de DAA	Parámetros	Caudal (l/s)	Volumen anual (Hm ³)
Superficiales	Media	31,3	986,5
	Mediana	8,0	252,3
	Moda	1,1	33,8
Subterráneos	Media	75,4	2.376,3
	Mediana	17,7	558,3
	Moda	2,1	67,7

Fuente: Elaboración Propia

f) Evolución y tendencias de precios

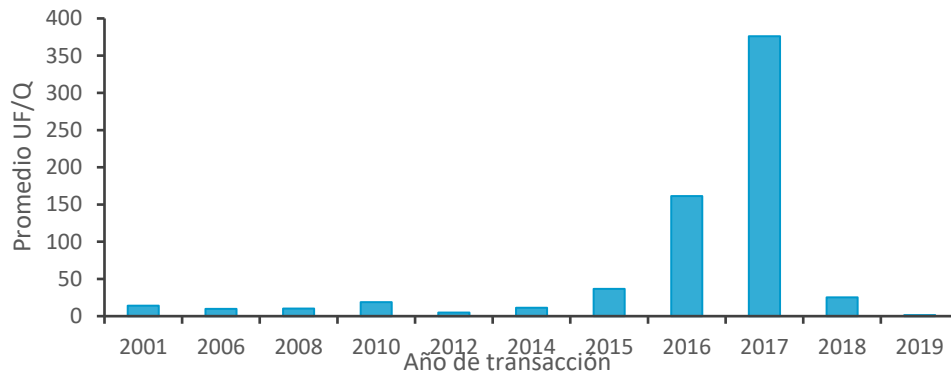
Al analizar la evolución del valor de las transacciones para aguas superficiales (Figura 94) se observa que este en general mantiene o ha disminuido levemente su valor durante los años analizados. También se observa que en el año 1998 se escapa de la media respecto el resto, esto se debe que el valor del DAA es alto y el caudal bajo, propiciando un cociente elevado. Se desconoce la fuente de la transacción de dicho derecho.

De igual forma, al analizar la evolución del valor para aguas subterráneas (Figura 95), se observa que el año 2017 hay un aumento considerable respecto los años restantes. Se desconoce a que fenómeno se asocia el comportamiento de la transacción. El resto de los años muestran una tendencia estable.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 94. Evolución del valor de la transacción (UF) partido por el caudal (Q) en litros por segundo para aguas superficiales.

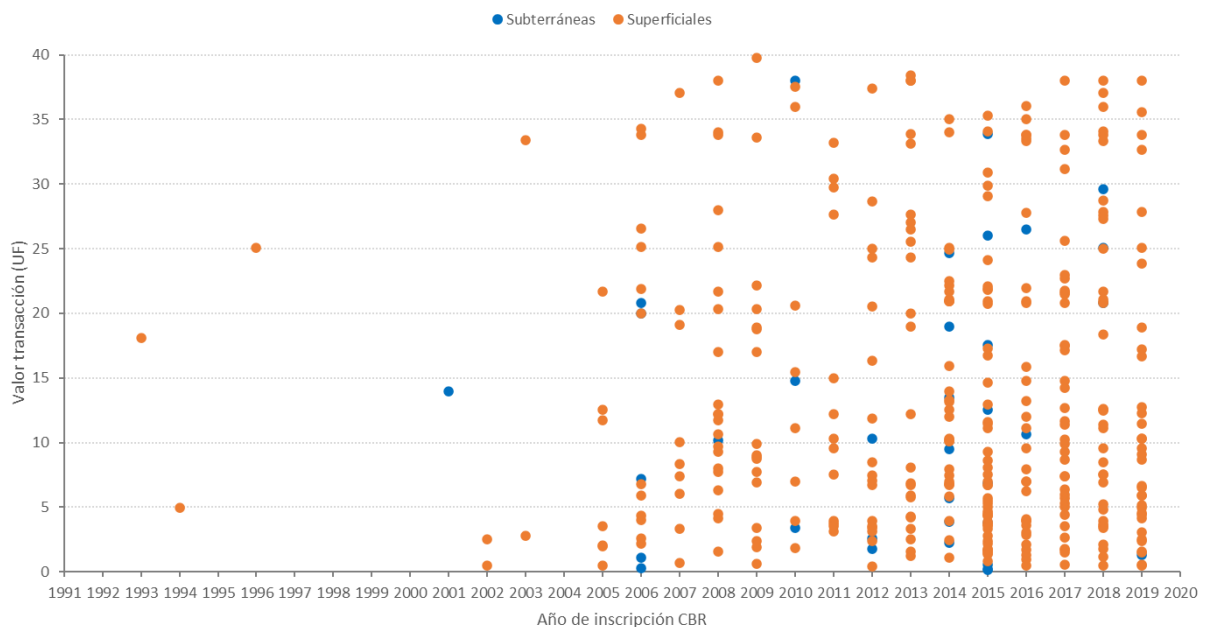


Fuente: Elaboración Propia

Figura 95. Evolución del valor de la transacción (UF) partido por el caudal (Q) en litros por segundo para aguas subterráneas.

g) Transacciones en conjunto

En cuanto a las transacciones en conjunto, se realizó la comparación entre la fecha de inscripción de la transacción superficial y subterránea con su valor en Unidad de Fomento, por unidad de caudal en litros por segundo. El resultado se muestra en la Figura 96, donde los puntos en color naranja representan transacciones superficiales y los azules las subterráneas. En cuanto a la concentración, en general se observan más transacciones agrupadas por debajo de las 15 UF, lo cual es más evidente para los años 2008, 2014 al 2019. El año 2015 se presenta gran movimiento bajo las 10 UF. Además, la frecuencia de las transacciones aumenta a partir del año 2005, como ya se indicó en puntos anteriores.



Fuente: Elaboración propia. Nota: para efectos de apreciación en la gráfica, se dejó fuera las transacciones sobre 40 UF.

Figura 96. Concentración de las transacciones registradas en la zona de estudio.

h) Revisión de plataformas web de compraventa

Existen distintas plataformas de empresas que prestan asesorías a la compra y venta de DAA, que buscan dinamizar a través de la reunión de oferta y demanda de DAA el mercado de las aguas, algunas revisadas a la fecha de entrega de revisión del informe:

- a. www.aguacircular.cl donde se encuentran DAA en venta en la cuenca. Fuente: Río Biobío Sur, derivado Micaquén Rapelco; Tipo: consuntivo; Naturaleza: superficial; Ejercicio: permanente y continuo; Valor: \$3.870.023 por un Caudal: 4.31 l/s;
- b. www.mercadohidrico.cl no se encontró registro de venta o compra de DAA en comunas de la cuenca.
- c. www.gesaguas.cl Se encuentran en venta DAA en la cuenca. Fuente: río Biobío. Naturaleza: superficial; Tipo: consuntivo; Caudal: 1.000 l/s; Valor: 2.700.000/unidad
- d. www.agroinchile.cl no se encontró registro de venta o compra de DAA en comunas de la cuenca.
- e. www.portalhidrico.cl Venta de DAA en la cuenca. Fuente: Estero Quilque, Biobío; Naturaleza: superficial; Tipo: Consuntivo; Valor: 1.500.000 por 1 l/s.

6.5.2 Conclusiones

El precio de un DAA está influenciado por diferentes factores, como la fuente de extracción, ubicación, infraestructura existente en el afluente y principalmente la disponibilidad del recurso (abundante o escaso) lo que conlleva a oferta y demanda de éste.

Según lo establecido al inicio del informe y acorde a los supuestos y condiciones expuestas, considerando la mediana como el parámetro representativo según la metodología seguida; el precio aproximado para un DAA superficial por litro por segundo es de \$349.413.

En cuanto la tendencia de transacciones de tipo compraventa en función del tiempo, se observó un aumento del Mercado del Agua ocurrido desde el año 2005 hasta 2012, luego 2013 hasta 2015, posterior a eso se observa una estabilización en la actividad. La tendencia muestra un peak para el año 2015. De la misma forma, para la distribución de transacciones respecto el sector, Santa Bárbara fue el CBR con apreciable actividad de mercado respecto su entorno, el cual tiene jurisdicción en la comuna del mismo nombre y Alto Biobío.

Para aguas subterráneas el sector con mayor número de transacciones es CBR de Los Ángeles (Jurisdicción en comunas de Antuco, Los Ángeles y Quilleco), seguido por el CBR de Angol (jurisdicción en comunas de Angol y Renaico). En cuanto a las transacciones respecto de los años analizados, se observa que, para la misma naturaleza de aguas, el movimiento se concentra entre los años 2010 y 2016, teniendo un peak el 2015, mismo año que par aguas superficiales.

Respecto al análisis en cuanto a la proporción del valor de la transacción en UF respecto su caudal. Para aguas superficiales, se observa una tendencia estable a lo largo del tiempo (a excepción del año 1998), lo que refleja un comportamiento inesperado, asociado al continuo déficit de precipitaciones y la preocupación por la escasez del recurso que aumenta día a día. Similar evento ocurre para agua subterráneas, las cuales presentan estabilidad

de este valor a excepción de los años 2016 y 2017 donde hay aumento de éste, a lo largo del tiempo.

Los criterios aplicados evitan que se estudie datos con características no deseadas, sin embargo, al reducir de tal forma el número de transacciones, se deja fuera información importante que pudo colaborar con el objetivo del estudio, sólo por el hecho de que esta se encuentre incompleta. Es decir, el estudio podría haber cubierto un mayor número de transacciones, si la información de la sección "Mercado del Agua" del sitio web de la DGA (información otorgada por el CBR), se encontrara a mayor detalle, sin embargo, la DGA recibe información no homogeneizada y/o detallada de parte de los CBR. Con esto, la representatividad de análisis se ve totalmente afectada, puesto que el resultado obtenido solo representa un 2,7% del total de transacciones iniciales.

A continuación, se destacan algunas observaciones a considerar, presentes en la cuenca, las cuales ralentizan el proceso y análisis del Mercado del Agua, evitando el desarrollo y dinamismo del actuar de las organizaciones y entidades a cargo:

- Presencia de conflictos de la comunidad por procesos en relación con el uso y entrega de DAA, como ejemplo se tiene "remates de agua" los cuales debido al desconocimiento del sistema regulatorio causan impacto al existir una creciente crisis hídrica en el país. Este término siempre ha estado en el Código de Aguas, pero en las reformas del 2005 intensifican su rol en el sistema del Mercado de derechos de aguas. (Mostrador, 2019), también existen conflictos asociados al tipo de DAA (consuntivo/no consuntivo) y los intereses contrapuestos de los usuarios.
- La necesaria la organización de la junta de vigilancia del río Biobío.
- La necesaria organización de una junta de vigilancia del río Laja, pese a llevar casi una década desde que se iniciaron acciones para organizarla.
- Solución de conflictos con comunidades indígenas de la zona, las cuales en ocasiones imposibilitan los accesos a las obras de captación por parte de las JV.
- La necesidad de incorporar en la base de datos información en cuanto a la caracterización del sector económico involucrado en la transacción. La ausencia de esta información genera una reducción de alcance del análisis, ignorando si el uso del DAA es para uso agrícola, industrial, consumo humano etc.
- La ubicación o coordenadas geográficas del DAA analizado es un recurso valioso para generar georreferencia espacial. La base de datos no cuenta con esta información.
- Se requiere más información respecto a la fuente o cauce del DAA analizado, lo que facilitaría procesar, por ejemplo, equivalencias de unidades de caudales, logrando tener un análisis con un mayor alcance.
- Actualmente hay ausencia de información para la determinación de ejecución de planes que contribuyan al aumento de la oferta y/o demanda del Mercado del Agua.

Finalmente, es importante mencionar, la existencia de transacciones no registradas en el CBR, las cuales se encuentran en diferentes registros como el Catastro de aguas o en estados de perfeccionamiento, regularización u inscripción (estos procesos demoran años en ejecutarse). Esta información no ha sido considerada en este análisis, debido a la extensa búsqueda que conlleva ese proceso, sin embargo, sería muy beneficioso analizar

toda esta información, desarrollando una base de datos más sólida y verídica, que, considerando los puntos anteriores, tendría una mayor representatividad.

7 ACCIONES

Este capítulo muestra los principales resultados durante la elaboración del portafolio de iniciativas. Este portafolio consideró criterios de desarrollo, situación tendencial y la situación futura, junto con las distintas visiones y expectativas de los usuarios y actores del territorio. Las brechas fueron estimadas a partir de la relación entre el diagnóstico territorial y una imagen objetivo que apunta a facilitar la gestión de los recursos hídricos en la cuenca.

El proceso de construcción participativa del plan de gestión estuvo orientado a identificar, con los distintos actores, las iniciativas que pudiesen disminuir las brechas identificadas en el diagnóstico. En este sentido se han definido las siguientes 8 líneas de acción:

- Fortalecimiento de Organizaciones de Usuarios de Aguas
- Gestión institucional y privada de la explotación de acuíferos
- Infraestructura hidráulica
- Monitoreo de los recursos hídricos
- Calidad de aguas
- Riesgos asociados a las aguas de la cuenca
- Información respecto al mercado del agua y DAA
- Ámbito social y cultural

7.1 Fortalecimiento de Organizaciones de Usuarios de Aguas

Las Organizaciones de Usuarios de Aguas tienen el objetivo de distribuir el agua entre los titulares de derechos, construir, explotar, conservar y mejorar las obras de captación, acueductos y otras que sean necesarias para su aprovechamiento. Lo anterior, requiere que sean capaces de cumplir con cuatro funciones principales relacionadas a la gestión del recurso: a) operación, b) mantención, c) financiamiento, y d) resolución de conflictos.

Sin embargo, problemas relacionados al desarrollo legal, técnico y organizacional, repercuten en que muchas de estas organizaciones no realicen adecuadamente sus funciones básicas. Por esto, surge la necesidad de contar con organizaciones de usuarios funcionales, que por una parte cumplan cabalmente con sus objetivos, realicen sus funciones de manera óptima y, por otro lado, que sean interlocutores válidos ante la institucionalidad y la sociedad en su conjunto. Esta necesidad fue claramente identificada a fines del siglo XX, y con ello se toma conciencia de que el fortalecimiento de estas organizaciones debe ser a través de un proceso participativo orientado al desarrollo de capacidades para lograr el empoderamiento de su funcionalidad y el desarrollo de redes con el entorno institucional, entendiendo a este como actores públicos, privados y la sociedad civil.

En este campo de acción en la cuenca del río Biobío se detectaron las siguientes brechas:

- 1) Pocas capacidades organizacionales en dirigentes y usuarios de los ríos Malleco y Renaico. Además, sus estatutos dificultan la toma de decisiones.
- 2) Escasa información actualizada de las OUA existentes en la cuenca del río Biobío.
- 3) Existe una baja cobertura de los instrumentos o programas de transferencia tecnológica analizados. Además, la gran mayoría no cuentan con mediciones de

resultados. En cuanto a la accesibilidad de los instrumentos, se presenta una baja accesibilidad, producto de que la mayoría de los programas se realizan a grupos focalizados.

- 4) No existe una plataforma que integre información pública y privada de recurso hídrico. La información se encuentra distribuida en diferentes instituciones.

Para abordar estas brechas se proponen las siguientes iniciativas:

Tabla 79. Iniciativas de fortalecimiento de organizaciones de usuarios de aguas.

Iniciativa	Ítem	Descripción
Programa fortalecimiento de las OUA de los ríos Renaico y Malleco.	Objetivo	Mejorar la eficiencia en el uso de las aguas de los ríos Malleco y Renaico mediante el fortalecimiento de sus OUA, reglamentaciones y estatutos.
	Origen de la acción	Resultados diagnóstico gobernanza Capítulo 3.5.
	Descripción	Actualmente, se desarrolla un programa de fortalecimiento de las OUA del río Malleco y prontamente uno similar en el río Renaico, en los cuales se fortalece el funcionamiento de las juntas de vigilancia recién organizadas y se constituyen legalmente algunas comunidades de aguas. Sin embargo, quedarán pendientes acciones fundamentales para el mejoramiento de la gestión de ambos territorios, como lo es la modificación de los estatutos de ambas juntas de vigilancia; constituir aquellas comunidades de aguas que queden pendientes en los programas que se desarrollan actualmente y fortalecer el funcionamiento de las organizaciones de base, en este caso las comunidades de aguas, toda vez que, no está considerado en las actuales iniciativas. En ese sentido, la actualización de los registros de comuneros, el desarrollo de capacidades en los directorios y el mejoramiento de la participación en la junta general juegan un papel fundamental para la activación de estas comunidades. Además, el desarrollo de la infraestructura comunitaria y el desarrollo de redes con la institucionalidad para el buen uso de los instrumentos de fomento disponibles permiten dejar habilidades en estas comunidades que les permitan una mejor eficiencia en el uso de sus aguas y con ello, la calidad de vida de sus habitantes. Es fundamental considerar elementos culturales en este programa, toda vez que, uno de los principales temas a enfrentar dice relación con las comunidades indígenas existentes.
Catastro y diagnóstico de organizaciones de usuarios de aguas de la cuenca del río Biobío	Objetivo	Catastrar y diagnosticar la situación actual de las OUA de la cuenca del río Biobío.
	Origen de la acción	Resultados diagnóstico gobernanza Capítulo 3.5.
	Descripción	Estudio básico para catastrar las OUA de la cuenca hidrográfica del Biobío y diagnosticar su funcionamiento organizacional, estado de infraestructura y situación legal.
Modelo de transferencia tecnológica en gestión y uso del agua	Objetivo	Establecer un programa transferencia tecnológica y de conocimiento en gestión de las aguas.
	Origen de la acción	Resultados diagnóstico gobernanza Capítulo 3.5.
	Descripción	Se espera establecer un programa de transferencia basado en las necesidades de aprendizaje de los diferentes grupos (Juntas de Vigilancia, comunidades de agua, APR, entre otros), las necesidades de información que tengan un efecto en las acciones de manejo, gestión, la apropiación de nuevas técnicas o métodos que propendan al uso eficiente de los recursos hídricos, y el seguimiento y acompañamiento a los usuarios en el proceso de adopción y aplicación de los conocimientos transferidos.

Iniciativa	Ítem	Descripción
Plataforma de Gestión Integrada de Información de recursos hídricos	Objetivo	Desarrollar e implementar una plataforma integrada de información de recursos hídricos libre acceso.
	Origen de la acción	Resultados diagnóstico Infraestructura hídrica Capítulo 3.4 / Resultados Modelación.
	Descripción	La información relacionada a los recursos hídricos proveniente de distintas fuentes, requiere ser integrada y traducida en información útil que permita un real manejo de los recursos hídricos. Por ejemplo, los datos en tiempo real y las estadísticas históricas se convierten en información útil una vez que son procesadas y reportadas a diferentes actores, indicando, por ejemplo, las probabilidades de caudal para distintos meses o bien la estimación del agua en el suelo. La experiencia nacional muestra un avance significativo en la captura de información para fines de diagnóstico. Sin embargo, es necesario avanzar en cuanto a la integración de datos de múltiples fuentes, la interoperabilidad de estos y proveer información útil a la planificación y la transferencia eficaz del conocimiento.

7.2 Gestión institucional y privada de la explotación de acuíferos.

El desarrollo sustentable de los recursos hídricos subterráneos y su manejo dependen en gran medida del conocimiento de los sistemas de acuíferos, de la recarga espacial y temporal de las aguas subterráneas y de la tasa de descarga, así como del almacenamiento de aguas subterráneas. Se debe dar atención específica al manejo de recursos hídricos subterráneos no renovables, cuya explotación siempre lleva a una reducción en las existencias de este recurso.

En este sentido se han detectado las siguientes brechas:

- 1) Existe información dispersa e incompleta sobre los usuarios de aguas subterráneas, tanto legales como ilegales
- 2) La definición actual de los SHACs no corresponde con los límites hidrogeológicos naturales de la cuenca.
- 3) Se requieren sistemas de control efectivo de extracciones implementados en la cuenca

Para abordar estas brechas se proponen las siguientes iniciativas:

Tabla 80. Iniciativas de gestión institucional y privada de la explotación de acuíferos.

Iniciativa	Ítem	Descripción
Actualización del catastro de aguas subterráneas (con y sin registro DGA)	Objetivo	Generar un catastro actualizado de los pozos existentes en la cuenca del río Biobío.
	Origen de la acción	Resultados diagnóstico Infraestructura hídrica Capítulo 3.4 / Modelación aguas subterráneas.
	Descripción	Esta acción busca generar información sobre las captaciones de agua subterráneas, tanto legales como clandestinas que existen en la cuenca, para poder establecer la demanda real de este recurso. Se requiere de un catastro que identifique las captaciones existentes, el tipo de captación, sistema de elevación, caudales y volúmenes anuales, uso del agua y situación legal, entre otros aspectos.
Realizar un análisis de la actual limitación de SHAC	Objetivo	Redefinir los SHACs en la cuenca del río Biobío.
	Origen de la acción	Modelación aguas subterráneas / Brechas en desarrollo de modelo (Anexo H).
	Descripción	Esta acción busca redefinir los Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento común (SHACs) actuales pues los sectores Biobío

Iniciativa	Ítem	Descripción
		inferior, Biobío Medio, Biobío Superior y Alto Biobío poseen al río Biobío en el centro de ellos. Como el río Biobío es una condición de borde que impone una condición de altura sobre el acuífero, las medidas que se tomen al norte del río no tendrán efecto al sur del cauce. Por ello se recomienda dividir cada uno de estos sectores al norte y sur del Río Biobío. Mejorar la red de monitoreo de aguas subterráneas en la cuenca (nivel y caudal). Se debe desarrollar modelos específicos para el sector costero considerando sus particularidades en cuanto a geología, morfología y usos del suelo. Esto dado que la cordillera de la costa representa una condición particular para efectos de modelación de los acuíferos en las cuencas de la ladera occidental de la cordillera de la costa. Para esta iniciativa se debe realizar un análisis geológico detallado. La información geológica disponible es muy pobre. Se requiere la generación de una cartografía geológica a escala 1:100.000 para toda la cuenca. Esta información deberá ser acompañada de una campaña geofísica que permita determinar los límites de los rellenos que conforman unidades acuíferas, validada con el análisis de las estratigrafías de pozos cuya profundidad supere los 100 metros. Para cada SHAC identificado se debe analizar de los coeficientes de almacenamiento y conductividad hidráulica. Se propone seleccionar un conjunto de pozos que superen una profundidad de 100 metros y donde sea posible establecer pozos de observación. A estos pozos se les realizaran nuevas pruebas de bombeo que consideren la estratigrafía, presencia de uno o más acuíferos, condiciones de confinamiento y la medición de valores de descenso medidos en pozos de observación. Con la interpretación de estas pruebas de bombeo se podrán establecer valores representativos de los parámetros elásticos para cada SHAC.
Mejorar la red de monitoreo de aguas subterráneas en la cuenca (nivel y caudal)	Objetivo	Se requieren sistemas de control efectivo de extracciones implementados en la cuenca.
	Origen de la acción	Resultados diagnóstico Infraestructura hídrica Capítulo 3.4/ Modelación aguas subterráneas.
	Descripción	Apoyar la implementación de sistemas de control efectivo de extracciones para pequeños agricultores y APR.

7.3 Infraestructura hidráulica

En general, la infraestructura existente en los canales es defectuosa, y se hace más defectuosa mientras más al sur se encuentre la organización, situación atribuible principalmente a la cantidad que se disponga del recurso agua.

Sin embargo, son pocos los estudios que abordan directamente el estado de la infraestructura hidráulica de la cuenca del río Biobío, por lo que su estado actual es algo desconocido.

Por otra parte, no basta solo conocer el estado estructural de una obra de acumulación, conducción o distribución, sino, que para aumentar la eficiencia en el uso y operación de los sistemas hidráulicos es necesario desarrollar herramientas para promover la adopción de mejores métodos de operación de estos.

En este sentido, en la cuenca del río Biobío se detectaron las siguientes brechas:

- 1) No existen estudios que consideren en detalle la totalidad de la infraestructura de riego de la cuenca. El estudio más reciente catastró bocatomas en el año 2000.
- 2) No existen registros sistematizados de obras de aforo al ingreso de canales.
- 3) No existen antecedentes de la eficiencia de aplicación del agua intrapredial

Para abordar estas brechas se proponen las siguientes iniciativas:

Tabla 81. Iniciativas de infraestructura hidráulica.

Iniciativa	Ítem	Descripción
Diagnóstico de infraestructura de riego en la cuenca del río Biobío	Objetivo	Contribuir a la gestión de los recursos hídricos de la cuenca del río Biobío, mediante el catastro y evaluación de la infraestructura de riego existente, y la planificación de la inversión futura en obras de riego e instrumentación.
	Origen de la acción	Resultados diagnóstico Infraestructura hídrica Capítulo 3.4.
	Descripción	Desarrollo de un catastro y diagnóstico de la situación actual de la infraestructura de riego de la cuenca del río Biobío. Luego de este diagnóstico se espera proponer un plan de reparación/rehabilitación y nuevas obras en función de criterios técnicos y operacionales, de modo que mediante el uso adecuado de la ley de fomento a la inversión privada en riego y drenaje N° 18.450, se contribuya a mejorar la situación hídrica del territorio, mejorando con ello la seguridad de riego y la productividad agrícola, lo que conlleva un alza en la calidad de vida de las personas.
Diagnóstico y propuestas de monitoreo de extracciones en canales (telemetría bocatomas)	Objetivo	Catastrar y diagnosticar red de monitoreo para el control de extracción de aguas superficiales en canales, y proponer una red de telemetría que contribuya a la correcta extracción de las aguas.
	Origen de la acción	Resultados diagnóstico Infraestructura hídrica Capítulo 3.4/ Modelación aguas subterráneas.
	Descripción	Desarrollo de un catastro y diagnóstico de la situación actual de la infraestructura de control de extracciones en canales de la cuenca del río Biobío. Se espera contar con una propuesta de red de monitoreo telemétrica para los principales canales de la cuenca a manera de controlar las extracciones en tiempo real y utilizar datos para la toma de decisiones. La acción busca apoyar el establecimiento de la red de monitoreo de extracción de aguas superficiales de manera tal de sentar las bases para dar cumplimiento a lo dispuesto en el Decreto Supremo N° 53, en 2020, del Ministerio de Obras Públicas, sobre el Reglamento de monitoreo de extracciones efectivas de aguas superficiales. Se espera que al final del estudio se entreguen recomendaciones para instalación de obras en función de las condiciones particulares de cada canal.
Diagnóstico intrapredial de eficiencia del uso del agua y equipos de riego	Objetivo	Evaluar la eficiencia de aplicación del agua intrapredial en predios de distintos estratos según método de riego y proponer acciones para mejorar la eficiencia de aplicación.
	Origen de la acción	Resultados diagnóstico Infraestructura hídrica Capítulo 3.4.
	Descripción	Se busca recopilar antecedentes en torno al riego y gestión hídrica intrapredial en una muestra representativa de agricultores pertenecientes a la cuenca. La información levantada permitirá sentar las bases que permitan generar planes y/o programas de extensión para los agricultores y equipos técnicos.

7.4 Monitoreo de los recursos hídricos

La red hidrométrica, debe dar solución a las distintas problemáticas que tienen relación con la gestión, manejo y disponibilidad de los recursos hídricos, para los distintos usuarios de esta, los que pueden provenir de los sectores público (investigación hídrica, fiscalización, conservación, etc.), como privado (minería, energía, agricultura, sector sanitario, etc.), proyectándose en el corto, mediano y largo plazo.

Durante los últimos años, la demanda de información de recursos hídricos ha cambiado en varios aspectos. El crecimiento demográfico y el desarrollo de las fuentes productivas del país han tenido como consecuencia la necesidad de disponer de más y mejores datos hidrométricos, como por ejemplo de caudales, recursos hídricos subterráneos en nuevas zonas geográficas, como también densificar el número de estaciones de las redes (DGA, 2014).

En este sentido, en la cuenca del río Biobío se detectan las siguientes brechas:

- 1) No existe información sobre el manto nival y el estado de los glaciares.
- 2) No existe una red de monitoreo de humedales en la cuenca del Río Biobío
- 3) Falta de información hidrometeorológica distribuida para gestión y estudios.

Para abordar estas brechas se proponen las siguientes iniciativas:

Tabla 82. Iniciativas de monitoreo de los recursos hídricos.

Iniciativa	Ítem	Descripción
Red de Monitoreo en Nieve y Glaciares	Objetivo	Implementar una red de monitoreo de nieves y glaciares en la cuenca del río Biobío.
	Origen de la acción	Resultados diagnóstico Infraestructura hídrica Capítulo 3.4 / Modelación.
	Descripción	En la cuenca del río Biobío, se requiere de la implementación de una red nivométrica que permita conocer la acumulación y derretimiento del manto Glaciar. Además, se requiere instalar estaciones de control glaciológico que permita conocer el estado de los principales glaciares existentes.
Implementación de una red de monitoreo de humedales y sus ecosistemas (Calidad de aguas, balance hídrico, entre otros)	Objetivo	Proponer e implementar una red de sensoramiento para el monitoreo constante de las variables hídricas de los humedales y ecosistemas asociados.
	Origen de la acción	Actividades PAC.
	Descripción	Se busca implementar un sistema de monitoreo sistemático, que incluya variables que den cuenta de la condición ecológica de los ecosistemas acuáticos y la evolución de estos.
Ampliación de la red instrumental nacional	Objetivo	Determinar zonas y variables para complementar la disponibilidad de información hidro-meteorológica y ecológica existente.
	Origen de la acción	Resultados diagnóstico Infraestructura hídrica Capítulo 3.4 / Modelación.
	Descripción	Esta acción pretende determinar tanto zonas dentro de la cuenca, como variables de medición a complementar dentro de la red de información hidro-meteorológica y ecológica existente en la cuenca. Esta información permitiría apoyar la gestión y toma de decisiones en aspectos tanto de gestión hídrica como ecológica y de gestión preventiva de desastres entre otros.

7.5 Calidad de aguas

La DGA posee una extensa red de estaciones de monitoreo de calidad de agua superficial, subterránea, lagos y embalses, evaluando más de 90 parámetros químicos. Además, la Superintendencia de Medio Ambiente, Superintendencia de Servicios Sanitarios, Ministerio de Medio Ambiente, entre otras, se concentran en conocer y gestionar el estado de calidad de aguas de cauces naturales, principalmente, en desmedro de los artificiales, que no poseen por parte del Estado una red clara de control, monitoreo y gestión.

Desde un punto de vista normativo e institucional, en Chile no existe un instrumento legal que defina claramente obligaciones y responsabilidades de distintos actores, sobre todo en la calidad de agua de cauces artificiales (canales de riego), siendo la principal referencia la Norma Chilena 1333 Requisitos de Calidad para Diversos Usos, que data del año 1978.

En este sentido, en la cuenca del río Biobío se detectan las siguientes brechas:

- 1) Falta de información en torno a los flujos de contaminantes que recibe la cuenca (especialmente nutrientes)
- 2) Actualmente los acuíferos superficiales de la cuenca poseen niveles elevados de ciertos nutrientes.
- 3) Falta de información respecto de alternativas de reutilización y regeneración de aguas para sectores e industrias específicas.
- 4) En la actualidad sólo existen algunos monitoreos puntuales de las aguas subterráneas de la cuenca, y en algunas zonas de vigilancia.

Para abordar estas brechas se proponen las siguientes iniciativas:

Tabla 83. Iniciativas de calidad de aguas.

Iniciativa	Ítem	Descripción
Estudio de las fuentes de contaminación puntual y difusa de la cuenca del río Biobío	Objetivo	Desarrollar un levantamiento de información acerca de todos los flujos de contaminantes que actualmente recibe la cuenca, con el fin de futuros planes de gestión, modelamiento matemático de la contaminación, entre otros.
	Origen de la acción	Resultados diagnóstico Ambiental Capítulo 3.3
	Descripción	El estudio de los flujos de contaminantes son parte esencial de herramientas de análisis y toma de decisiones relacionadas con los ecosistemas y con la sociedad. Gracias al desarrollo de un modelo de cálculo que permita estimar espacial y temporalmente los flujos de contaminantes de la cuenca del río Biobío, permitiría identificar los factores asociados a la presencia de elevados niveles de nutrientes y de otros contaminantes, que pueden ir en aumento en el futuro. Además, esta información puede ser interceptada con la modelación hidrológica. Sin dudas que una herramienta de este tipo puede ser un poderoso aliado para la gestión y la toma de decisiones futuras. Los modelos matemáticos por desarrollar deben establecer un escenario de modelación que asegure caudales mínimos de dilución.
Desarrollo de un plan de manejo de contaminantes asociados a nutrientes	Objetivo	Implementar un plan de gestión de contaminantes (nutrientes) que actualmente están presentes en las aguas superficiales de la cuenca del río Biobío.
	Origen de la acción	Resultados diagnóstico ambiental Capítulo 3.3
	Descripción	Gracias a la identificación de las principales fuentes de emisión de nutrientes en la cuenca, será posible desarrollar un plan de gestión tendiente a reducir los actuales y futuros niveles de este tipo de

Iniciativa	Ítem	Descripción
		contaminantes. Gracias a esta acción, no solamente será posible preservar la calidad de las aguas, sino que también preservar los ecosistemas, promoviendo que las actividades agrícolas e industriales de la cuenca se desarrollen de forma sustentable. Lo anterior deberá desarrollarse con un programa de educación ambiental en los principales rubros de desarrollo en la cuenca.
Analizar la reutilización y regeneración de las aguas residuales del sector sanitario e industrial de la cuenca	Objetivo	Evaluar la factibilidad de reutilizar y regenerar por industria o sector sanitario.
	Origen de la acción	Resultados diagnóstico ambiental / Actividades PAC Anexo I
	Descripción	Se espera analizar la factibilidad y proponer soluciones para contemplar el uso de las aguas tratadas con calidad acorde al D.S. 90/2001 para ser enviadas a un sistema de almacenamiento mediante un sistema de conducción y una posterior impulsión a un uso específico, el cual puede ser industrial, agrícola, minero, pecuario y/o doméstico.
Red de monitoreo de la calidad de las aguas subterráneas de la cuenca del río Biobío	Objetivo	Desarrollar una red de monitoreo de la calidad del agua subterránea de la cuenca del río Biobío.
	Origen de la acción	Resultados diagnóstico Infraestructura hídrica Capítulo 3.4 / Diagnóstico Calidad de Aguas (5.1.4).
	Descripción	Esta acción tiene como propósito desarrollar una red de monitoreo de la calidad de las aguas subterráneas de la cuenca del río Biobío. Lo anterior será de gran importancia a futuro, debido a que se ha observado con el transcurso del tiempo que cada vez se hace un mayor uso del agua subterránea. Por lo tanto, en base a esta tendencia y en base a la importancia de este recurso, es que esta acción permitirá adelantarse a un escenario próximo, donde sea necesario contar con una red que incluya todas las zonas de vigilancia de la cuenca. Esta información puede ser la base para una futura norma de calidad de agua subterránea, más aún si se considera el análisis espacial y temporal de la calidad del agua.

7.6 Riesgos asociados a las aguas de la cuenca

Comúnmente en hidrología es sencillo calcular eventos extremos, como lo son las crecidas y sequías, si se dispone de una base de datos con registros extensos. Por otro lado, existen índices más complejos que requieren análisis detallados de los fenómenos y que pueden considerar la modelación de relaciones precipitación-escorrentía. Además, estando actualmente en un escenario de cambio climático, es necesario entender y determinar una conexión entre este y estos eventos extremos.

Existe incerteza del efecto que pueda tener sobre los habitantes de la cuenca los posibles aumentos en la frecuencia o severidad de eventos como sequías e inundaciones. Además, dada la importancia que significa diseñar obras o medidas de contingencia frente a este tipo de eventos, es necesario analizar la ocurrencia de eventos extremos.

En este sentido, en la cuenca del río Biobío se detectan las siguientes brechas:

- 1) Es necesario generar más estudios sobre el efecto que diferentes proyecciones y/o simulaciones de eventos extremos asociados al cambio climático.
- 2) Existen zonas vulnerables ante eventos de inundación

Para abordar estas brechas se proponen las siguientes iniciativas:

Tabla 84. Iniciativas sobre riesgos asociados a la cuenca.

Iniciativa	Ítem	Descripción
Realizar un análisis de eventos extremos asociados al cambio climático (precipitaciones máximas, sequías, olas de calor)	Objetivo	Determinar desde un punto de vista meteorológico e hidrológico, los efectos del cambio climático en eventos extremos que pueden ocasionar sequías e inundaciones.
	Origen de la acción	Resultados PAC (Anexo I).
	Descripción	"Estando actualmente en un escenario de cambio climático, es necesario entender y determinar una conexión entre este y estos eventos extremos. Se busca determinar tendencias de sequías, olas de calor o eventos de precipitaciones máximas. "
Analizar la vulnerabilidad de áreas críticas respecto a inundaciones (análisis de crecidas producto de lluvias o acción humana)	Objetivo	Reducir la vulnerabilidad de la población urbana y semi urbana de la cuenca del río Biobío
	Origen de la acción	Resultados PAC (Anexo I)
	Descripción	En la cuenca del río Biobío, existen zonas urbanas y semi urbanas que son vulnerables ante eventos de inundación. Dada la disponibilidad de pronósticos de tormentas severas, es posible construir un sistema de alerta temprana de inundaciones. La propuesta considera la generación de una cartografía detallada de las zonas de inundación, determinación de los caudales que generan las inundaciones y de las tormentas que pueden generar dichos caudales. Elaboración de un sistema que relaciones el pronóstico de tormenta, con la generación de caudales máximos y la determinación de áreas inundables. Todo esto debe llevar a la implementación de un sistema de alerta por la ONEMI.

7.7 Información respecto al mercado del agua y DAA

El mercado del agua parece haber estado significativamente más activo en los últimos años que durante las primeras dos décadas de su existencia. Sin embargo, siguen siendo informal y carente de transparencia, lo que redundará en una gran dispersión de precios, costos de transacción adicionales, y una asimetría de información entre los participantes del mercado que puede llevar a una redistribución poco equitativa del agua y sus actividades económicas relacionadas con respecto a las ganancias del intercambio.

La seguridad hidráulica de los DAA está disminuyendo como resultado del cambio climático y de la reducción de los flujos de retorno (derrames y percolación) de los que dependen muchos usos. La disminución de dichos flujos se explica por el hecho de que su generación por los dueños de los DAA consuntivos es facultativa y que, por lo tanto, pueden cesar en cualquier momento debido a cambios de tipo de uso o de tecnología, efectuados por el mismo usuario o derivados de una transacción de mercado, dado que además el ejercicio y la transferibilidad de los DAA no están regulados. La solución práctica adoptada por las organizaciones de usuarios de las aguas superficiales, que consiste en distribuir proporcionalmente el agua disponible en los ríos, puede resultar insuficiente a mediano y largo plazo para evitar que la rentabilidad de la inversión privada de cada usuario quede afectada y que se generen conflictos entre ellos. En el caso de las aguas subterráneas, la falta de organizaciones de usuarios impide que se establezcan ese tipo de reglas consensuadas.

La reforma del Código de Aguas de 2005 junto con la actuación de la Comisión Antimonopolio permitió que la propiedad de DAA haya dejado de ser un elemento de distorsión monopólica en el mercado de la hidroelectricidad, y que los DAA sin uso que aún

existen ya no sean, en general, un obstáculo importante para el desarrollo de las cuencas. Sin embargo, la patente por no uso de agua no resulta un incentivo significativo para asegurar el uso efectivo por los dueños de usos consuntivos de alto valor económico (Banco Mundial, 2011).

En este sentido, en la cuenca del río Biobío se detectan las siguientes brechas:

- 1) Escasa información actualizada de la disponibilidad de derechos de aprovechamiento de aguas superficiales en la cuenca hidrográfica
- 2) No existe información suficiente para caracterizar espacialmente el dinamismo del mercado del agua.

Para abordar estas brechas se proponen las siguientes iniciativas:

Tabla 85. Iniciativas sobre información respecto al mercado del agua y los DAA

Iniciativa	Ítem	Descripción
Catastro de distintas fuentes para actualizar la información existente en el CPA	Objetivo	Conocer la disponibilidad y factibilidad de otorgar DAA en la cuenca del río Biobío en función de la nueva información producto del catastro
	Origen de la acción	Resultados diagnóstico gobernanza (3.5) / Resultados PAC
	Descripción	Estudio técnico que determine la disponibilidad de recursos hídricos en los diferentes cauces de la cuenca hidrográfica, contando con un catastro actualizado que complemente la información del CPA, de modo de contar con información actualizada y certera que permita hacerse cargo de manera responsable del aumento en la demanda de aguas en la zona de estudio. Este estudio determinaría también las fuentes que podrían ser declaradas agotadas. La acción busca facilitar el acceso a la información. Si bien se reconoce que se cuenta con información de los DAA, el acceso a la información no es intuitivo. La fuente de información debe ser variada, no solo el Catastro Público de Aguas, Conservadores de Bienes Raíces; Tribunales, de modo de conocer los derechos actualmente vigentes y aquellos en vías de regularización. Todo contrastado con escenarios de disponibilidad del recurso.
Diagnóstico para desarrollar un visualizador espacializado del mercado del agua	Objetivo	Diagnosticar la calidad de la información de transacciones informada por los CBR y proponer mejoras, para desarrollar un visualizador del mercado del agua donde se identifiquen cuencas con mayor número de transacciones, analizar tendencias de mercado, entre otras.
	Origen de la acción	Resultados caracterización Mercado de Aguas 6.5.
	Descripción	Se espera desarrollar un estudio que levante y analice la información requerida por cada CBR para realizar transacciones de DAA. Se espera proponer mejoras al sistema de modo que permita generar un sistema automatizado y unificado para informar las transacciones de DAA, su ubicación, precio, caudal, entre otros datos relevantes. Se espera que esta acción de dinamismo al mercado de aguas y facilite el acceso de información.

7.8 Ámbito social y cultural

Debido a las características particulares tan demandantes del agua, la coordinación intra- e intersectorial es muy importante dentro de este sector. Estas características plantean la pregunta de cómo coordinarse mejor entre las diferentes entidades del sector, pero también con entidades de sectores usuarios de agua y sus respectivas leyes, actividades, y planes.

Una dificultad particular de los arreglos institucionales de Chile es que la DGA, el órgano con la responsabilidad principal de la supervisión de la gestión del recurso hídrico del país tiene menor jerarquía institucional que, p.ej., el nuevo MMA responsable de la calidad de las aguas. Otro problema se encuentra en el área legal, donde el código de aguas no entra necesariamente en conflicto con las leyes principales de otros sectores como el eléctrico o la minería, pero podría ser considerado secundario y facilitar la puesta en vigor de las otras leyes. Estos y otros temas, como la falta de complementariedad en las funciones, la falta de intercambio de información clave (que además se encuentra fragmentada), y la existencia de diferentes superposiciones, crean una serie de interferencias con otras instituciones dentro y fuera del sector del agua (Banco Mundial, 2011).

En este sentido, en la cuenca del río Biobío se detectan las siguientes brechas:

- 1) Baja participación y acceso muy reducido de las mujeres a las instancias de decisión respecto de los recursos hídricos.
- 2) Los aspectos sociales y culturales de la relación de las comunidades pehuenche con el agua, no se reconocen en la gestión actual de los recursos hídricos de la cuenca.
- 3) Las personas naturales y jurídicas se ven permanente afectadas por la acción intermitente, limitada, no vinculante y descoordinada entre las instituciones públicas.

Para abordar estas brechas se proponen las siguientes iniciativas:

Tabla 86. Iniciativas en el ámbito social y cultural.

Iniciativa	Ítem	Descripción
Incentivar la incorporación de las mujeres en la gestión de los recursos hídricos	Objetivo	Implementar acciones de equidad de género para hacer sustentable la gestión del agua en la cuenca del río Biobío
	Origen de la acción	Resultados diagnóstico PAC Anexo I
	Descripción	Diseño y ejecución de acciones para la que las mujeres aumenten su participación en la gestión del agua. Etapa de diseño de acciones de sensibilización, capacitación, incentivos para las organizaciones e instituciones y promoción de las organizaciones de mujeres. Etapa de ejecución de acciones. Etapa de evaluación de la intervención.
Estudio para formular un modelo intercultural de gestión del agua en la cuenca alta del río Biobío	Objetivo	Compatibilizar el modelo chileno de gestión del agua, con el uso consuetudinario del agua, que hacen las comunidades pehuenches.
	Origen de la acción	Resultados diagnóstico PAC Anexo I
	Descripción	Esta acción consiste en realizar un estudio para construir desde un enfoque de interculturalidad espacios de comunicación y acción, entre el modelo chileno de gestión hídrica y el uso consuetudinario del agua que hacen las comunidades pehuenches. Esto considera al menos el conocimiento intercultural, el diálogo y la colaboración intercultural, como también la toma de decisiones y acción intercultural. Este estudio, permitiría brindar a las partes involucradas en la cuenca alta del río Biobío información para avanzar en la construcción de más y mejores mecanismos de convivencia en el ámbito hídrico.
Incorporación de prácticas de trabajo colaborativo en la gestión del agua de la cuenca del río Biobío	Objetivo	Fortalecer la gestión del agua de la cuenca del río Biobío, en un modelo de trabajo colaborativo, con planificaciones que involucren metas comunes y acciones concertadas.
	Origen de la acción	Resultados diagnóstico PAC Anexo I.
	Descripción	La institucionalidad pública planifica y ejecuta acciones en función de sus propios objetivos y metas. Por tanto, se propone generar un programa que permita que las instituciones relacionadas con el agua y el territorio, como es el caso de los municipios, puedan incorporar prácticas colaborativas para que entre todos puedan abordar objetivos y aporten con sus recursos.

7.9 Sugerencias, ideas y propuestas, de los informantes de las actividades PAC

Las sugerencias, ideas y propuestas proporcionadas (Tabla 87) por los informantes abarcaron diversos temas. Estas, fueron agrupadas en dos categorías: Propuestas efectuadas en el marco de la Encuesta Diagnóstica e Iniciativas propuestas en las actividades PAC.

7.9.1 Propuestas efectuadas en el marco de la Encuesta Diagnóstica

Tabla 87. Propuestas realizadas a actores relevantes.

Informante	Propuesta / Comentario	Respuesta / Acción
Juan Vallejos, Asoc. Canalistas Biobío Negrete	Juntas de vigilancia en todos los ríos de la cuenca y una mesa de coordinación de ellas.	Se debe abordar en las siguientes acciones propuestas: 1. Programa fortalecimiento de las OUA de los ríos Renaico y Malleco 2. Catastro y diagnóstico de organizaciones de usuarios de aguas de la cuenca del río Biobío
Gabriel Quijada, Municipalidad de Nacimiento	Estudio de la afectación en cuanto a calidad y cantidad de agua disponible en la cordillera de Nahuelbuta por la introducción y plantación de especies exóticas (Pino y Eucalipto).	Se debe abordar en las siguientes acciones propuestas: 1. Estudio de las fuentes de contaminación puntual y difusa de la cuenca del río Biobío 1. 2. Desarrollo de un plan de manejo de contaminantes asociados a nutrientes
Francisco Anabalón, Bo Paper	Debería existir un sólo ente regulador o fiscalizador del uso del agua en la cuenca y cualquier proyecto o iniciativa nueva debería pasar por este ente para ver sus implicancias del mediano y largo plazo para la cuenca.	Se debe abordar en la siguiente acción propuesta: Incorporación de prácticas de trabajo colaborativo en la gestión del agua de la cuenca del río Biobío
Luis Duguet, CONADI	Es indispensable un catastro y diagnóstico de organizaciones de usuarios de aguas de la cuenca del río Biobío.	Se debe abordar en la siguiente acción propuesta: Catastro y diagnóstico de organizaciones de usuarios de aguas de la cuenca del río Biobío
Robinson Rojas, SEREMI Agricultura- CNR	Estudios y evaluación de nuevas fuentes de agua, análisis de alternativas para suplir demanda de agua para consumo, búsqueda de incentivos para la protección del bosque nativo sobre todo en la ribera de los cauces Naturales. Proteger las zonas naturales de infiltración. Gestionar la formación de comunidades de aguas subterráneas. Incorporar tecnología de medición para la correcta aplicación de riego (No aplicar más agua de la que necesitan los cultivos), Analizar la posibilidad de la utilización de canales no revestidos como zonas de infiltración. Educar a los regantes para la utilización de tranques nocturno o de fin de semana para realizar riego por turnos.	Se simuló un escenario específico de gestión para determinar el efecto de recarga de acuíferos. Se propone una acción de estudio diagnóstico y propuesta de soluciones para abastecimiento de agua potable de zonas críticas. Gestionar la formación de comunidades de aguas subterráneas y proponer a regantes la utilización de tranques nocturnos se debe abordar en la acción: Modelo de transferencia tecnológica en gestión y uso del agua.
Patricio Pérez, DGA	Desde el punto de vista hidrogeológico, gestionar vínculos de cooperación y trabajo	Se debe abordar en la siguiente acción propuesta:

	colaborativo con SERNAGEOMIN, en lo que respecta a modelos conceptuales más focalizados, en el caso de requerirse.	Incorporación de prácticas de trabajo colaborativo en la gestión del agua de la cuenca del río Biobío
Víctor Montalba, Municipalidad de San Pedro de la Paz	Estudio de impacto intercultural del origen y uso del agua.	Se debe abordar en la siguiente acción propuesta: Estudio para formular un modelo intercultural de gestión del agua en la cuenca alta del río Biobío
Ricardo Figueroa, U de C	No se puede hacer gestión sin información y con un código de agua que permite sacar agua de la cuenca sin preguntar a nadie, solo comprando derechos. A lo más se puede gestionar información disponible e incentivar buenas prácticas de gobernanza.	Se debe abordar en las siguientes acciones propuestas: 1. Plataforma de Gestión Integrada de Información de recursos hídricos 2. Incorporación de prácticas de trabajo colaborativo en la gestión del agua de la cuenca del río Biobío 3. Estudio para formular un modelo intercultural de gestión del agua en la cuenca alta del río Biobío
Gabriel Artigas, Municipalidad de Angol	Acuerdo voluntarios para gestión de cuencas, para las subcuencas tributarias.	Se debe abordar en las siguientes acciones propuestas: 1. Incorporación de prácticas de trabajo colaborativo en la gestión del agua de la cuenca del río Biobío 2. Programa fortalecimiento de las OUA de los ríos Renaico y Malleco 3. Modelo de transferencia tecnológica en gestión y uso del agua
Víctor Reinoso, MOP	Estudio de aguas subterráneas y acuíferos	Se debe abordar en la siguiente acción propuesta: "Realizar un análisis de la actual limitación de SAHC".
Javiera Contreras, DOH	Diagnóstico disponibilidad recurso subterráneo en provincia de Arauco, principalmente zona costera e Isla Santa María.	La zona costera de la provincia de Arauco no corresponde a este PEGH. Se debe abordar el PEGH correspondiente.
Juan Gajardo, CONAF	Determinar los gastos de agua que tienen todos los rubros productivos en la cuenca	Se debe abordar en la siguiente acción propuesta: Plataforma de Gestión Integrada de Información de recursos hídricos
Rodrigo Riquelme, SISS	Es imperativo resguardar la cantidad de agua cruda para producir agua potable, especialmente en los sistemas sanitarios rurales, focalizándose en la eficiencia de los sistemas productivos y de distribución (bajar pérdidas en la red, por ejemplo), así como su uso al interior de los inmuebles y la reutilización de estas (ejemplo aguas grises). En esta misma línea, explorar tecnologías de acumulación de agua cruda, embalses, recarga de acuíferos, etc.	Se propone una acción de estudio diagnóstico y propuesta de soluciones para abastecimiento de agua potable de zonas críticas. Para abordar la reutilización de aguas, se propuso la acción: Analizar la reutilización y regeneración de las aguas residuales del sector sanitario e industrial de la cuenca.

Fuente: Elaboración propia

7.9.2 Iniciativas propuestas producto de las actividades PAC

Las actividades PAC realizadas en este estudio permitieron complementar las iniciativas o acciones propuestas por este estudio y visualizar nuevas brechas, en este sentido, en la cuenca del río Biobío se detectaron las siguientes brechas:

- 1) No existe claridad sobre el uso prioritario del agua para consumo humano. Se requieren estudios que diagnostiquen zonas de escasez y propongan soluciones de sistemas de agua potable rural. Además, no existen estudios que abarquen en detalle la totalidad de la infraestructura de sistemas APR, su estado actual estado operativo, mantención y necesidades de nuevas inversiones.
- 2) En Chile la vigilancia de calidad de agua, se realizar por normativa basada en métodos normalizados, con más de 40 años de antigüedad (Nch 409/01, Nch 1333), lo cuales, por su fundamento analítico, solo pueden dar cuenta a lo sumo del 10% de la cantidad total de bacterias contenidas en el agua. Por este motivo, la normativa analítica actual de ninguna forma provee un marco metodológico, con el nivel de precisión y sensibilidad, que el análisis de calidad microbiológica de aguas reclama, para tributar a modelos de calidad y de vigilancia epidemiológica en el escenario de emergencia de nuevos patógenos que propicia en escenario de cambio climático.
- 3) Falta de definición de deslindes de cauces de ríos aportantes y del propio río Biobío. Esto redundo en intervenciones sin control del mismo cauce.

Para abordar estas brechas se proponen las siguientes iniciativas:

Tabla 88. Iniciativas propuestas en las actividades PAC.

Iniciativa	Ítem	Descripción
Estudio diagnóstico y propuesta de soluciones para sistemas APR.	Línea de acción	Infraestructura hidráulica.
	Objetivo	Identificar y proponer soluciones de sistemas de APR para abastecimiento hídrico de zonas vulnerables o que actualmente estén siendo abastecidas con camiones aljibes. Catastrar y diagnosticar el estado actual de infraestructura, operación y mantención de los sistemas APR, a fin de determinar necesidades de mejoras y establecer programas de formación de capacidades para la correcta operación de los sistemas.
	Origen de la acción	Actividades PAC Anexo I
	Descripción	Se propone desarrollar un completo programa en dos líneas de acción: 1) Catastrar e identificar todas aquellas zonas vulnerables que no tengan acceso al agua y hoy estén siendo alimentadas con camiones aljibes a fin de generar una cartera de proyectos y propuesta de soluciones para el abastecimiento hídrico de las familias 2) Diagnosticar la operatividad y estado de infraestructura de los sistemas APR existentes a fin de detectar las actuales brechas e implementar programas de apoyo a mejoras de infraestructura y programas de capacitación a operarios de los sistemas. Se requiere formar capital humano para la correcta operación y mantención de sistemas APR.

Iniciativa	Ítem	Descripción
Estudio diagnóstico e implementación de sistemas de vigilancia epidemiológica.	Línea de acción	Calidad de aguas
	Objetivo	Diseñar, montar y poner en marcha una herramienta basada en análisis de microbioma, para el monitoreo de calidad microbiológica de aguas y vigilancia epidemiológica en escenario de cambio climático.
	Origen de la acción	Actividades PAC Anexo I
	Descripción	Uno de los efectos de cambio climático en la biosfera, se presenta primariamente en modificaciones de parámetros físicos, fisicoquímicos y químicos ambientales (por ejemplo, incrementos concentración de CO2 y temperatura entre otros. Estas modificaciones sostenidas el tiempo, desencadenan respuestas funcionales adaptativas de microorganismos ambientales, algunas de las cuales enfatizan el poder patógeno de microbios conocidos y propician la aparición de nuevos patógenos emergentes, que afectan al hombre, animales y plantas, para los cuales no hay tratamientos de contención ni terapias conocidas. Son en consecuencia entonces, agentes causales no solo de enfermedades con potencial epidémico/pandémico sino además del colapso económico y social. Dentro del conjunto de estrategias para mitigar estos efectos, monitoreo de calidad microbiológica del agua, resulta ser una alternativa eficaz para conocer anticipadamente episodios de brotes, epidemias y pandemias, debido a que el agua es una matriz natural que moviliza y protege la gran mayoría de los Microorganismos vivientes. Para abordar este desafío, las iniciativas de vigilancia epidemiológica basada en aguas residuales urbanas (en el caso de microorganismos patógenos de humanos) y de aguas continentales y de regadío (en el caso de patógenos de importancia veterinaria, forestal y agrícola), están siendo la alternativa que provee un escenario propicio de relación costo/beneficio, para desarrollar índices de calidad de aguas y modelos de alerta temprana de epidemias/pandemias.
Estudio de definición de deslindes propietarios	Línea de acción	Fortalecimiento de organizaciones de usuarios de aguas
	Objetivo	Definir deslindes de los principales cauces de la cuenca del río Biobío
	Origen de la acción	Actividades PAC Anexo I
	Descripción	El Decreto Supremo N° 609, en 1978, Fija las normas para establecer deslindes propietarios riberanos con el bien nacional de uso público por las riberas de los ríos, lagos y esteros. Sin embargo, no existe claridad sobre estos límites en los principales cauces de la cuenca y se debe iniciar un proceso administrativo para definir estos deslindes. Esto deriva en conflictos con privados e intervenciones en el cauce que quedan fuera de norma. La acción propone un estudio para definir los límites de los cauces (bienes nacionales de uso público), con propiedades privadas. Normas para establecer deslindes propietarios riberanos con el bien nacional de uso público por las riberas de los ríos, lagos y esteros.

7.10 Fichas de iniciativas

Finalmente, cada iniciativa mencionada fue sistematizada en una ficha la cual se encuentra en el Anexo F.5.

La siguiente Tabla 89 muestra un ejemplo de la ficha aplicada donde se identifica la brecha a abordar, objetivos, descripción, montos y tiempo de inversión, entre otros aspectos.

Tabla 89. Ficha aplicada para la identificación de brecha a abordar.

N.º DE FICHA	7
NOMBRE DE LA ACCIÓN:	Programa fortalecimiento de las OUA de los ríos Renaico y Malleco
BRECHA	Pocas capacidades organizacionales en dirigentes y usuarios de los ríos Malleco y Renaico. Además, sus estatutos dificultan la toma de decisiones.
OBJETIVO DE LA ACCIÓN:	Mejorar la eficiencia en el uso de las aguas de los ríos Malleco y Renaico mediante el fortalecimiento de sus OUA, reglamentaciones y estatutos.
DESCRIPCIÓN DE LA ACCIÓN:	Actualmente, se desarrolla un programa de fortalecimiento de las OUA del río Malleco y prontamente uno similar en el río Renaico, en los cuales se fortalece el funcionamiento de las juntas de vigilancia recién organizadas y se constituyen legalmente algunas comunidades de aguas. Sin embargo, quedarán pendientes acciones fundamentales para el mejoramiento de la gestión de ambos territorios, como lo es la modificación de los estatutos de ambas juntas de vigilancia; constituir aquellas comunidades de aguas que queden pendientes en los programas que se desarrollan actualmente y fortalecer el funcionamiento de las organizaciones de base, en este caso las comunidades de aguas, toda vez que, no está considerado en las actuales iniciativas. En ese sentido, la actualización de los registros de comuneros, el desarrollo de capacidades en los directorios y el mejoramiento de la participación en la junta general juegan un papel fundamental para la activación de estas comunidades. Además, el desarrollo de la infraestructura comunitaria y el desarrollo de redes con la institucionalidad para el buen uso de los instrumentos de fomento disponibles permiten dejar habilidades en estas comunidades que les permitan una mejor eficiencia en el uso de sus aguas y con ello, la calidad de vida de sus habitantes Es fundamental considerar elementos culturales en este programa, toda vez que, uno de los principales temas a enfrentar dice relación con las comunidades indígenas existentes.
TIPO DE SOLUCIÓN:	Gestión
TIPO DE MEDIDA	Directa
MÉTRICA	Organizaciones en funcionamiento en ambos territorios
POSIBLE FUENTE DE FINANCIACIÓN:	CNR/GORE/DGA
RANGO DE FINANCIACIÓN (UF)	9.000 a 11.000
TIEMPO DE IMPLEMENTACIÓN	Mediano plazo (2023 a 2025)
TIEMPO DE IMPLEMENTACIÓN DE ACCIÓN (meses)	24
VIDA UTIL DE LA ACCIÓN	Permanente
ENCARGADO IMPLEMENTACIÓN	CNR/DGA
ENCARGADO DE GESTIÓN:	CNR
ETAPAS	1) Sistematización de la información existente. 2) Inserción en el territorio y contacto con actores relevantes. 3) Actualización de registros de comuneros y usuarios de las aguas. 4) Análisis participativo de los estatutos de las JV y propuestas de modificaciones según su aplicabilidad. 5) Capacitación a directores de comunidades de aguas. 6) Constitución de comunidades de aguas. 7) Apoyo en saneamiento de DAA y asesorías a usuarios en materia de riego y situaciones legales en sus DAA.
IMPACTO SOBRE LA BRECHA IDENTIFICADA:	La modificación de estatutos de las juntas de vigilancia permitirá tomar decisiones conforme a derecho. Asimismo, la actualización de los registros de usuarios y la constitución legal de las comunidades de aguas contribuyen con una correcta individualización de los usuarios y con ello la toma de decisiones y gestión de cada OUA. La capacitación viene a contribuir a desarrollar las capacidades en las organizaciones de base, de modo que la participación en la organización de orden superior se haga en forma correcta. Con todo, se mejora la eficiencia en el uso de las aguas.
PROGRAMA DE SEGUIMIENTO Y CONTROL	Las juntas de vigilancia pueden hacer el seguimiento y control del programa. Además, la institucionalidad local puede contribuir con ello.

DURACION DEL SEGUIMIENTO (meses)	24
HITOS E INDICADORES:	1) Comunidades de aguas organizadas 2) Estatutos modificados 3) Registros de comuneros y usuarios actualizados 4) Dirigentes y usuarios capacitados 5) Juntas generales de usuarios realizadas; actas de juntas generales y reuniones de directorios; rendición de cuentas (memoria anual) realizadas y otros indicadores del funcionamiento de una OUA.
REFERENCIAS	Comisión Nacional de Riego-programas de fortalecimiento desarrollados.

Fuente: Elaboración propia

7.11 Cartera de iniciativas actuales existentes en la cuenca

7.11.1 Fortalecimiento de Organizaciones de Usuarios de Aguas

Transferencia para fortalecer gestión de Junta Vigilancia río Malleco (2020-ejecución).

Iniciativa: Pública

Mandante: Comisión Nacional de Riego

Los principales resultados asociados a esta iniciativa son:

- Jornadas de transferencia para el fortalecimiento organizacional, para directivas de la Junta de Vigilancia (JV) y Comunidades de Aguas (CA). El ciclo tendrá una duración total de 6 días. Se desarrollarán presentaciones de especialistas sobre temas técnico-legales y tienen carácter participativo: los dirigentes son parte activa del proceso de aprendizaje, al utilizarse dinámicas de facilitación de grupos y discusión de contenidos.
- Taller participativo para elaborar reglamento operativo de la JV, junto a dirigentes de la JV y las CA. Se desarrolla en un día, a modo de encuentro, en que los asistentes son guiados por el facilitador y se discute, elabora y aprueba una propuesta de reglamento basada en la realidad del territorio y sus necesidades, para que a futuro pueda ser votada en una asamblea general de la OUA.
- Día de campo para dirigentes de la JV y CA. Se visitará un caso de éxito en gestión del recurso hídrico. Durante una jornada, los participantes se trasladan a otro territorio para observar in situ la realidad de una OUA con experiencia exitosa en gestión legal y organizacional, intercambian conocimientos con otros dirigentes y comparan su realidad actual con una situación más cercana al óptimo, a fin de replicar buenas prácticas en su propia OUA.
- Saneamiento de 30 derechos de aprovechamiento de aguas. El especialista legal del programa realizará las tramitaciones requeridas para corregir la inscripción conservatoria de DAA de usuarios que lo requieren, según los procedimientos que establece el código de aguas (rectificación de nombre, posesiones efectivas, entre otras).
- Constitución legal de la JV del río Malleco y de 4 comunidades de aguas. Considera asesoramiento judicial y seguimiento de las tramitaciones necesarias para constituir las OUA, lo que implica iniciar y/o retomar los procedimientos administrativos y judiciales ante la DGA y los tribunales.

Transferencia para organizar Junta de Vigilancia en río Biobío (2020-ejecución).

Iniciativa: Pública

Mandante: Comisión Nacional de Riego

Los principales resultados asociados a esta iniciativa son:

- Inicio del proceso judicial para conformar la Junta de Vigilancia del río Biobío. Evaluación de la infraestructura de riego (obras de abducción, conducción, obras de arte y singularidades). Actualización de registros de comuneros y usuarios de las OUA del territorio. Actualización del catastro de derechos superficiales del territorio. Saneamiento de derechos de aguas. Capacitación a dirigentes, potenciales directores de la Junta de Vigilancia.

Transferencia en fortalecimiento y riego para las OUA precordillera región del Biobío (2020-ejecucion)

Iniciativa: Pública

Mandante: Comisión Nacional de Riego

- Objetivo General: Contribuir al fortalecimiento organizacional de las comunidades de aguas y gestión del riego en la Precordillera de la Región del Biobío.
- Objetivos Específicos: 1) Diagnóstico, apoyo y asesoramiento a las Organizaciones de Usuarios de Aguas en aspectos de desarrollo organizacional, legales y técnicos en gestión del recurso hídrico. 2) Capacitar a dirigentes y celadores en aspectos organizacionales, legales y técnicos para gestionar el recurso hídrico. 3) Capacitar a regantes o usuarios/as de aguas en aspectos de riego, manejo agronómico y desarrollo agroproductivo. 4) Articulación con instituciones del sector público que operan con instrumentos de fomento para la agricultura en el sector precordillera Región del Biobío. 5) Elaboración y postulación de proyectos asociativos para potenciar la producción y/o la comercialización de productos agrícolas.

Transferencia para fortalecer gestión de Junta vigilancia río Renaico (2020-ejecucion)

Iniciativa: Pública

Mandante: Comisión Nacional de Riego

- Objetivo General: Fortalecer la autogestión de la Junta de Vigilancia del río Renaico para el uso eficiente y sustentable del recurso hídrico.
- Objetivos Específicos: a) Capacitar Dirigentes/as del río Renaico para la gestión de la junta de vigilancia. b) Apoyar el funcionamiento operativo de la Junta de Vigilancia. c) Organizar legalmente Comunidades de Aguas del río Renaico.

7.11.2 Gestión institucional y privada de la explotación de acuíferos

No se encontraron iniciativas en gestión institucional y privada de la explotación de acuíferos en la cuenca.

7.11.3 Infraestructura hidráulica

Construcción proyecto de riego embalse río Malleco, comuna de Collipulli (objetado técnicamente)

Iniciativa: Pública

Mandante: Comisión Nacional de Riego

- Desarrollar un estudio de prefactibilidad que permita aumentar la superficie de riego, con una seguridad del 85%, mediante la construcción de un embalse, y su red primaria de canales, sobre el río Malleco.

7.11.4 Monitoreo de los recursos hídricos

Transferencia sistema integrado de monitoreo para la gestión de recursos hídricos (2020-ejecución)

Iniciativa: Pública

Mandante: Gobierno Regional Araucanía

- En una primera etapa se realizará la integración de tecnología IOT que permita la captura a bajo costo de datos de caudal, temperatura y conductividad eléctrica, entre otros. además, se integrará un sistema de transmisión de datos GPRS. Segundo, se desarrollará una plataforma software para integrar datos que vienen en distinto formato y temporalidad de fuentes públicas y privadas. Dado que los datos provenientes de los kits IOT recogen datos en tiempo real, el cruce de estos datos con información proveniente de otras estaciones cercanas al canal permitirá establecer correlaciones para prever situaciones de alerta en temas de disponibilidad y calidad. tercero, se realizará un mapeo de un buffer con imágenes de alta resolución extraídas de UAVS drones de 500 metros alrededor del canal Chufquén identificando usos y coberturas del suelo, posibles fuentes de contaminación del agua, entre otros. Con los datos obtenidos se hará una propuesta de diseño de un paisaje multifuncional para la zona de interés. cuarto, se implementará una plataforma SIG web open source. Esta plataforma contendrá capas de información estáticas y dinámicas desarrolladas en el punto tercero con información de base disponible para la zona de pilotaje del proyecto y esto estará relacionado al sistema dinámico de los kits iot desarrollados en el punto primero más los datos de otras fuentes de información. finalmente se construirá una página web que permita el acceso por niveles de privilegio a la plataforma sig web de recursos hídricos del canal chufquen. quinto, se realizarán pruebas de concepto de sistemas de abatimiento de coliformes totales, se evaluarán 3 tecnologías distintas, una física, una química y una biológica, las que permitirán determinar eficiencias de remoción, parámetros de diseño y una proyección de los costos de inversión, operación y mantención. sexto, se realizarán al menos 2 talleres de capacitación a los usuarios del canal Chufquen y servicios públicos como (DGA, DOH, CNR Y GORE)

Transferencia formación centro de innovación en recursos hídricos y tecnologías sustentables (2020-ejecución)

Iniciativa: Pública

Mandante: Gobierno Regional Araucanía

- En una primera etapa se busca definir la gobernanza y forma jurídica del centro de innovación en recursos hídricos y tecnologías sustentables. Segundo, realizará la integración de tecnología IOT que permita la captura a bajo costo de datos de caudal, temperatura, entre otros, se integrará un sistema de transmisión de datos GPRS. dado que los datos provenientes de los kits IOT se recogen en tiempo real, el cruce de estos datos con información proveniente de otras estaciones cercanas al canal permitirá establecer correlaciones para prever situaciones de alerta en temas

de disponibilidad y calidad. Tercero, se implementarán prototipos eólico - solares que permitirán brindar a las redes de IOT sostenibilidad energética independiente. Cuarto, se implementará una plataforma SIG web open source, que estará directamente relacionado al sistema dinámico de los kits IOT desarrollados en el punto primero más los datos de otras fuentes de información. Finalmente se construirá una página web que permita el acceso por niveles de privilegio a la plataforma SIG web de recursos hídricos del canal Chufquen. Quinto, se realizarán una serie de talleres de capacitación a los usuarios del canal Chufquen y servicios públicos específicos (DGA, DOH, GORE Y CNR), con el objetivo de transferir el conocimiento generado en cuanto a recursos hídricos y tecnologías sustentables. Se realizarán pruebas de concepto de sistemas de abatimiento de coliformes totales, se evaluarán 3 tecnologías distintas, una física, una química y una biológica, las que permitirán determinar eficiencias de remoción, parámetros de diseño y una proyección de los costos de inversión, operación y mantenimiento. Sexto, se desarrollarán actividades tendientes a constituir el centro como una comunidad de aprendizaje de nuevas y mejores prácticas, y un espacio tipo Think Tank que apoye la toma de decisiones estratégicas de futuro en lo que respecta al riego en la región de la Araucanía.

Transferencia centro de innovación en recursos hídricos, energéticos y alimenticios (2020-ejecución)

Iniciativa: Pública

Mandante: Gobierno Regional Araucanía

- Se constituirá una nueva estructura jurídica que implementará el modelo de gobernanza del centro. Se desarrollará y validará una plataforma web, instalación de sensores telemétricos de calidad y operación de APRs y aplicaciones móviles de productividad asociados a la administración y operación de los APRs, que permitirán obtener indicadores como calidad de agua, cumplimiento normativo, número de fiscalizaciones y multas cursadas, entre otros. Se implementará y operará en marcha blanca la plataforma de gestión integral de información asociada a sensorización y captura remota de datos desde sistemas de agua potable rural (APRs). Se validará la captura de datos que provendrá de dos fuentes: (1) sensores instalados (kit IOT) para controlar variables de operación de la planta y calidad físico-química de la misma, y (2) una aplicación móvil que permitirá recabar datos suministrados por los mismos operadores en sus labores de vigilancia de la red de distribución y de la planta misma. Se realizarán una serie de talleres de capacitación a los usuarios finales de la plataforma: operadores y administradores de APR, y servicios públicos (GORE, DGA Y DOH), con el objetivo de transferir el conocimiento generado a recursos hídricos y tecnologías sustentables. Se desarrollará estudios de prospección técnica de mejoras operativas en procesos claves en la producción y procesamiento de maqui, tales como la cosecha y sistemas de congelado/refrigeración, con el objetivo de proponer estrategias de mejoras a la recolección del fruto, así como para su mantención y posterior comercialización. Se implementarán comités técnicos específicos por línea de innovación del centro, compuestos por representantes de la academia, sector público y privado, con el propósito de generar en todo momento apreciabilidad transversal del quehacer del centro y establecer espacios de articulación de las capacidades disponibles por parte de los distintos actores involucrados.

7.11.5 Calidad de aguas

Transferencia gestión de calidad de aguas Asociación de Canalistas Laja Sur (2020-ejecucion)

Iniciativa: Pública

Mandante: Comisión Nacional de Riego

Objetivo general: Fortalecer a la Asociación de Canalistas Laja para mejorar la competitivas del territorio mediante el uso eficiente y sustentable del recurso hídrico. Objetivos específicos: a) Incorporar de buenas prácticas de Riego y Desarrollo productivo Sustentable. b) Crear Habilidades y Capacidades en Regantes y actores territoriales relevantes.

7.11.6 Riesgos asociados a las aguas de la cuenca

No se encontraron iniciativas relacionadas a los riegos asociados a las aguas de la cuenca.

7.11.7 Información respecto al mercado del agua y DAA

No se encontraron iniciativas relacionadas con la información al mercado del agua y DAA.

7.11.8 Ámbito social y cultural

No se encontraron iniciativas asociados al ámbito social y cultural en la gestión de los recursos hídricos en la cuenca.

8 CARTERA DE INICIATIVAS PROPUESTA

8.1 Síntesis de la selección de Alternativas.

Del análisis de las brechas y oportunidades de mejoramiento se proyectaron las posibles soluciones que fueron analizadas mediante jornadas de participación ciudadana para determinar las iniciativas definitivas. En este sentido, en la Tabla 90 se presentan 27 propuestas de posibles soluciones analizadas agrupadas en 8 líneas de acción. Cabe destacar que la cartera de iniciativas presentada fue sometida a una encuesta de priorización, además de ser complementada y discutida por medio de las actividades PAC, esta priorización se presenta en Anexo I.

Tabla 90. Líneas de acción e iniciativas propuestas.

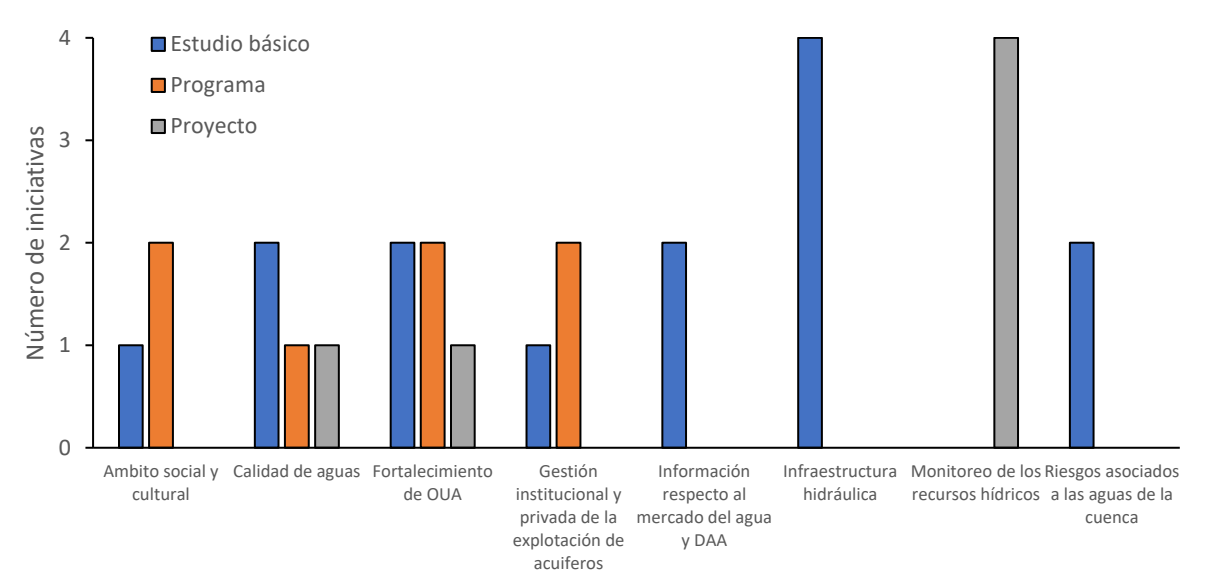
Línea de acción	Nombre acción
Ámbito social y cultural	Incentivar la incorporación de las mujeres en la gestión de los recursos hídricos.
	Estudio para formular un modelo intercultural de gestión del agua en la cuenca alta del río Biobío
	Incorporación de prácticas de trabajo colaborativo en la gestión del agua de la cuenca del río Biobío
Calidad de aguas	Estudio de las fuentes de contaminación puntual y difusa de la cuenca del río Biobío
	Desarrollo de un plan de manejo de contaminantes asociados a nutrientes
	Analizar la reutilización y regeneración de las aguas residuales del sector sanitario e industrial de la cuenca.
	Estudio diagnóstico e implementación de sistemas de vigilancia epidemiológicas.
Fortalecimiento de OUA	Programa fortalecimiento de las OUA de los ríos Renaico y Malleco
	Catastro y diagnóstico de organizaciones de usuarios de aguas de la cuenca del río Biobío
	Modelo de transferencia tecnológica en gestión y uso del agua
	Plataforma de Gestión Integrada de Información de RRHH
	Estudio de definición de deslindes propietarios
Gestión institucional y privada de la explotación de acuíferos	Actualización del catastro de aguas subterráneas (con y sin registro DGA)
	Redefinición de SHACs
	Mejorar la red de monitoreo de aguas subterráneas en la cuenca (nivel y caudal)
Información respecto al mercado del agua y DAA	Catastro de distintas fuentes para actualizar la información existente en el CPA
	Diagnóstico para desarrollar un visualizador espacializado del mercado del agua
Infraestructura hidráulica	Diagnóstico de infraestructura de riego en la cuenca del río Biobío.
	Diagnóstico y propuestas de monitoreo de extracciones en canales (telemetría bocatomas)
	Diagnóstico intrapredial de eficiencia del uso del agua y equipos de riego
	Estudio diagnóstico y propuesta de soluciones para sistemas APR
Monitoreo de los recursos hídricos	Red de Monitoreo en nieve y glaciares
	Red de monitoreo de la calidad de las aguas subterráneas de la cuenca del río Biobío
	Implementación de una red de monitoreo de humedales y sus ecosistemas (Calidad de aguas, balance hídrico, entre otros)
	Ampliación de la red instrumental nacional
Riesgos asociados a las aguas de la cuenca	Realizar un análisis de eventos extremos asociados al cambio climático (precipitaciones máximas, sequías, olas de calor).
	Analizar la vulnerabilidad de áreas críticas respecto a inundaciones (análisis de crecidas producto de lluvias o acción humana).

Fuente: Elaboración propia

Las iniciativas fueron agrupadas en 3 categorías según la clasificación del Ministerio de Desarrollo Social y Familia:

- Estudio básico: Son los gastos por concepto de iniciativas de inversión destinadas a generar información sobre recursos humanos, físicos o biológicos que permiten generar nuevas iniciativas de inversión.
- Programa: Son los gastos por concepto de iniciativas de inversión, destinadas a incrementar, mantener o recuperar la capacidad de generación de beneficios de un recurso humano o físico (natural) y que no corresponden a aquellos inherentes a la institución que lo formula.
- Proyecto: Son los gastos destinados a financiar estudios preinversionales, de prefactibilidad, factibilidad y diseño, los que a su vez sirven para generar información que permite decidir y llevar a cabo la ejecución futura de una iniciativa de un proyecto de inversión.

En este sentido, la categoría más frecuente es Estudio Básico (52%), seguido de Programa (26%) y Proyecto (22%), la distribución de esta categorización por la línea de acción se muestra en la Figura 97.



Fuente: Elaboración propia

Figura 97. Distribución de iniciativas propuestas por tipo de medida y línea de acción.

Para realizar una evaluación de cuáles serán los proyectos priorizados, se utilizó una metodología que multicriterio. Para ello se utilizó un procedimiento basado en la creación de un índice de priorización. Esta metodología se presenta en detalle en el Anexo F.6 y la Tabla 91 muestra valores de ponderación de grupos y sus variables de decisión utilizados.

Tabla 91. Valores de ponderación de grupos y variables de decisión utilizadas.

CRITERIO	VARIABLE	OBJETIVO DE LA VARIABLE	Indicador	ASIGNACIÓN DE NOTA	Peso
Económico	Tiempo de inversión	Busca identificar inversiones de corto plazo a largo plazo. (Priorizar iniciativas entendiendo que el impacto de ésta dependerá de los tiempos de ejecución, y la disposición a asumir esos tiempos).	Plazo de ejecución: Alto; medio; bajo.	Alto=1; Medio=3; Bajo= 5	10%
	Escala de inversión	Busca identificar el alcance del impacto de la iniciativa, y que tan relevante es esto para los usuarios. Busca priorizar alcance de la iniciativa en términos de escala de la inversión de acuerdo con sus expectativas.	Escala territorial: Cuenca; comuna; localidad o grupo de personas.	Cuenca=5; porción de cuenca=3; Comunas=1	10%
Social	Impacto al pequeño agricultor / usuario	Busca definir si la iniciativa beneficia particularmente a pequeños agricultores del territorio	Grupo objetivo: pequeños productores/usuarios	Iniciativa beneficiaria principalmente a pequeños=5; beneficia a todos por igual=3; no considera a pequeños productores=1	15%
	Territorios con población indígena	Busca priorizar aquellos proyectos en comunidades indígenas	Población indígena beneficiaria	Directamente: 5; Beneficio indirecto: 3, no beneficia a comunidades indígenas 1.	5%
Ambiental	Impacto en protección y conservación de los recursos/Vida humana	Busca priorizar aquellos proyectos que tengan implicancia en la protección de recursos hídricos (EJ: Calidad de aguas, saneamiento, reutilización)	Proyectos que impliquen protección de recursos hídricos / Vida humana	Impacta 5; no impacta 1.	20%
Estratégico	Interés de otros actores	Busca priorizar iniciativas que cuente con el interés de otros actores sociales vinculados o no directamente con la iniciativa	Interés de actores políticos y públicos según encuesta PAC	Puntaje de 1 a 5 según interés de los actores públicos y políticos en talleres.	20%
	Contraparte DGA	Busca priorizar aquellos proyectos de competencia DGA	Fuente de financiamiento	DGA = 5 Otras instituciones: 1	10%
	Vida útil	Busca priorizar aquellos proyectos que tengan mayor vida útil.	Vida útil	Nota 5= Permanente; nota 4= 25 años; nota 3= 20 años; nota 2=15 años; nota 1=10 años	10%

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 92 se presentan los resultados de la priorización consolidada. En una primera columna se indica el orden de prioridad alcanzada por la propuesta de iniciativa, en la segunda columna se indica el nombre preliminar propuesto, y en la tercera columna el resultado del ponderador de adhesión que tuvo cada propuesta de iniciativa. Aquellas iniciativas con mayor puntaje son las que resultan prioritarias, lo que permite tener un orden referencial para orientar los esfuerzos requeridos para el Plan.

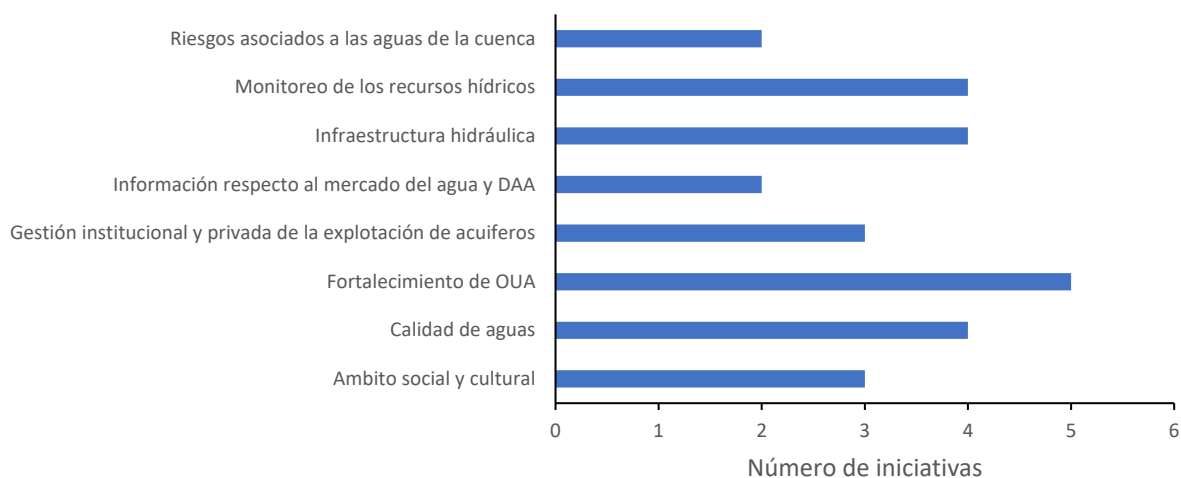
Tabla 92. Consolidación de priorización de iniciativas.

Orden de prioridad	Nombre de la iniciativa	Puntaje
1	Catastro de distintas fuentes para actualizar la información existente en el CPA	4,4
2	Estudio diagnóstico e implementación de sistemas de vigilancia epidemiológicas.	4,0
3	Plataforma de Gestión Integrada de Información de RRHH	3,7
4	Estudio de definición de deslindes propietarios	3,7
5	Estudio de las fuentes de contaminación puntual y difusa de la cuenca del río Biobío	3,6
6	Red de monitoreo de la calidad de las aguas subterráneas de la cuenca del río Biobío	3,6
7	Ampliación de la red instrumental nacional	3,6
8	Incorporación de prácticas de trabajo colaborativo en la gestión del agua de la cuenca del río Biobío	3,6
9	Red de Monitoreo en Nieve y Glaciares	3,5
10	Mejorar la red de monitoreo de aguas subterráneas en la cuenca (nivel y caudal)	3,4
11	Diagnóstico y propuestas de monitoreo de extracciones en canales (telemetría bocatomas)	3,3
12	Implementación de una red de monitoreo de humedales y sus ecosistemas (Calidad de aguas, balance hídrico, entre otros)	3,3
13	Diagnóstico intrapredial de eficiencia del uso del agua y equipos de riego	3,2
14	Analizar la reutilización y regeneración de las aguas residuales del sector sanitario e industrial de la cuenca.	3,1
15	Catastro y diagnóstico de organizaciones de usuarios de aguas de la cuenca del río Biobío	3,1
16	Analizar la vulnerabilidad de áreas críticas respecto a inundaciones (análisis de crecidas producto de lluvias o acción humana).	3,0
17	Programa fortalecimiento de las OUA de los ríos Renaico y Malleco	2,9
18	Modelo de transferencia tecnológica en gestión y uso del agua	2,9
19	Estudio diagnóstico y propuesta de soluciones para sistemas APR	2,9
20	Diagnóstico de infraestructura de riego en la cuenca del río Biobío.	2,9
21	Desarrollo de un plan de manejo de contaminantes asociados a nutrientes	2,8
22	Incentivar la incorporación de las mujeres en la gestión de los recursos hídricos.	2,8
23	Estudio para formular un modelo intercultural de gestión del agua en la cuenca alta del río Biobío	2,7
24	Actualización del catastro de aguas subterráneas (con y sin registro DGA)	2,7
25	Realizar un análisis de eventos extremos asociados al cambio climático (precipitaciones máximas, sequías, olas de calor).	2,5
26	Diagnóstico para desarrollar un visualizador espacializado del mercado del agua	2,4
27	Redefinición de SHACs	2,1

Fuente: Elaboración propia

8.2 Líneas de acción

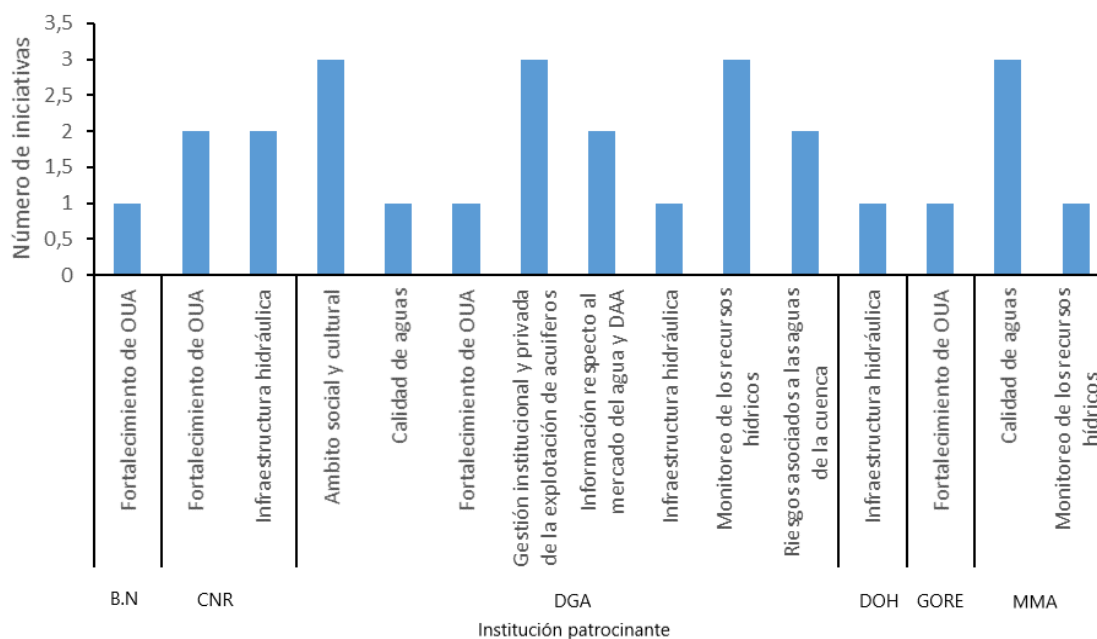
Como se indicó anteriormente se plantearon 8 líneas de acción para el plan estratégico de gestión hídrica de la cuenca del río Biobío. La distribución de las iniciativas por la línea de acción se muestra en la Figura 98, donde un 19% de las iniciativas propuestas corresponde a iniciativas en Fortalecimiento de OUA, seguida por iniciativas de Monitoreo de los recursos hídricos, Infraestructura hidráulica y calidad de aguas con un 15% de iniciativas para cada una.



Fuente: Elaboración propia

Figura 98. Número de iniciativas por la línea de acción.

En relación con la distribución por ente ejecutor de las iniciativas propuestas, la DGA sería el ente ejecutor del 59% de las iniciativas propuestas, seguida de CNR y MMA con un 15% cada institución (Figura 99).

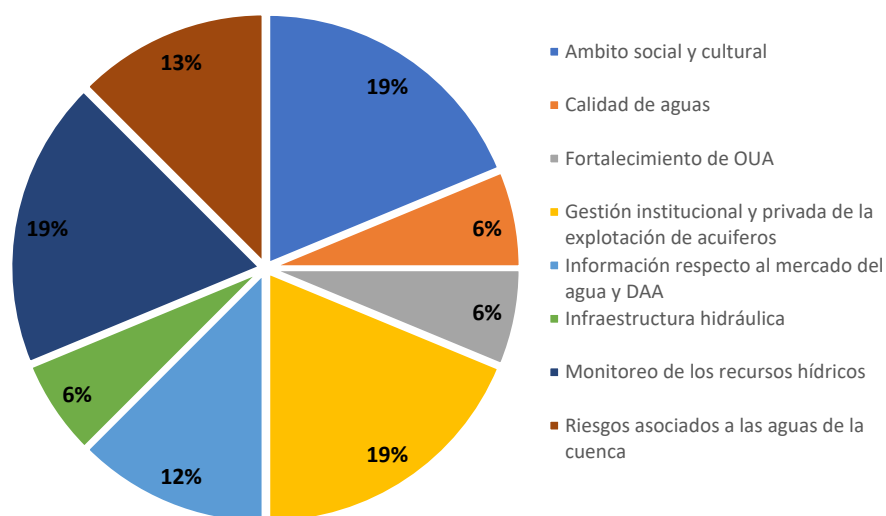


Fuente: Elaboración propia

Figura 99. Distribución de iniciativas por institución patrocinante (B.N: Bienes Nacionales).

8.2.1 Ejecutora o mandante DGA

Según las iniciativas propuestas, a la DGA le correspondería ejecutar un total de 16 iniciativas en todas las líneas de acción propuestas. Particularmente las líneas de acción que tienen el mayor número de iniciativas a desarrollar por la DGA es la Gestión institucional y privada de la explotación de acuíferos, el Ámbito social y cultural, y la línea de Información respecto al mercado del agua y DAA (Figura 100). La Tabla 93 muestra las iniciativas a desarrollar por línea de acción y priorización obtenida en la matriz multicriterio.



Fuente: Elaboración propia

Figura 100. Distribución de las iniciativas a ejecutar por DGA según línea de acción.

Tabla 93. Iniciativas, líneas de acción y priorización para DGA.

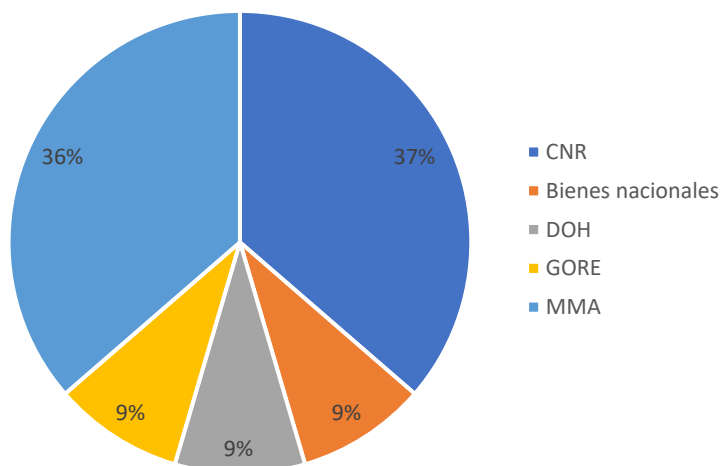
Línea de acción	iniciativa	Priorización
Información respecto al mercado del agua y DAA	Catastro de distintas fuentes para actualizar la información existente en el CPA	1
Calidad de aguas	Estudio diagnóstico e implementación de sistemas de vigilancia epidemiológicas.	2
Fortalecimiento de OUA	Plataforma de Gestión Integrada de Información de RRHH	3
Monitoreo de los recursos hídricos	Red de monitoreo de la calidad de las aguas subterráneas de la cuenca del río Biobío	6
Monitoreo de los recursos hídricos	Ampliación de la red instrumental nacional	7
ámbito social y cultural	Incorporación de prácticas de trabajo colaborativo en la gestión del agua de la cuenca del río Biobío	8
Monitoreo de los recursos hídricos	Red de Monitoreo en Nieve y Glaciares	9
Gestión institucional y privada de la explotación de acuíferos	Mejorar la red de monitoreo de aguas subterráneas en la cuenca (nivel y caudal)	10

Línea de acción	iniciativa	Priorización
Infraestructura hidráulica	Diagnóstico y propuestas de monitoreo de extracciones en canales (telemetría bocatomas)	11
Riesgos asociados a las aguas de la cuenca	Analizar la vulnerabilidad de áreas críticas respecto a inundaciones (análisis de crecidas producto de lluvias o acción humana).	16
Ámbito social y cultural	Incentivar la incorporación de las mujeres en la gestión de los recursos hídricos.	22
Ámbito social y cultural	Estudio para formular un modelo intercultural de gestión del agua en la cuenca alta del río Biobío	23
Gestión institucional y privada de la explotación de acuíferos	Actualización del catastro de aguas subterráneas (con y sin registro DGA)	24
Riesgos asociados a las aguas de la cuenca	Realizar un análisis de eventos extremos asociados al cambio climático (precipitaciones máximas, sequías, olas de calor).	25
Información respecto al mercado del agua y DAA	Diagnóstico para desarrollar un visualizador espacializado del mercado del agua	26
Gestión institucional y privada de la explotación de acuíferos	Redefinición de SHACs	27

Fuente: Elaboración propia

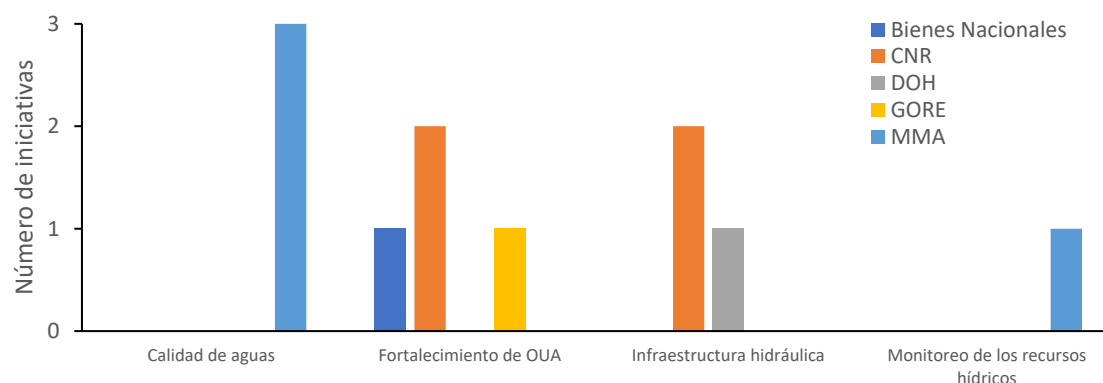
8.2.2 Otras instituciones

En relación con las once restantes iniciativas, estas se distribuyen entre la CNR (4), el MMA (4), DOH (1), GORE (1) y Ministerio de bienes nacionales (1) (Figura 101). Su distribución por línea de acción e institución se muestra en la Figura 102 y el listado de iniciativas en la Tabla 94.



Fuente: Elaboración propia

Figura 101. Distribución porcentual de iniciativas a desarrollar por institución.



Fuente: Elaboración propia

Figura 102. Número de iniciativas a desarrollar por línea de acción según institución.

Tabla 94. Iniciativas, líneas de acción, priorización y ente ejecutor propuesto.

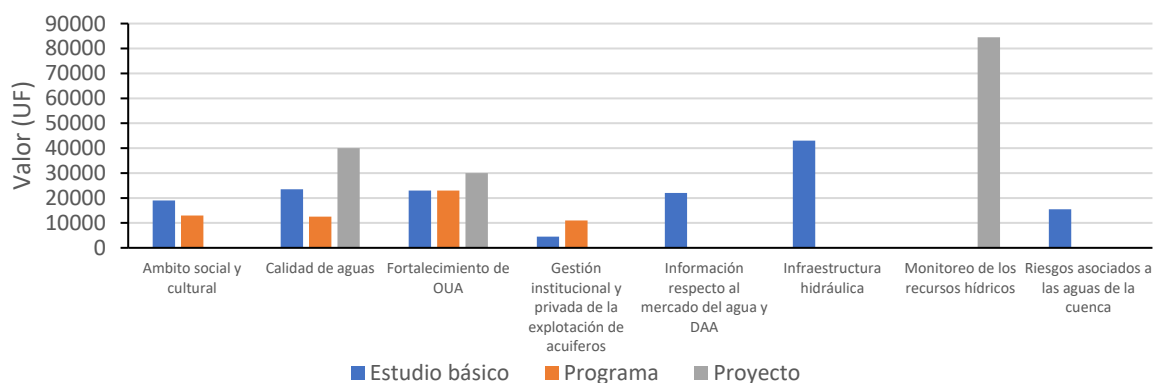
Ámbito	Nombre acción	Ejecutor	Priorización
Fortalecimiento de OUA	Estudio de definición de deslindes propietarios	Bienes Nacionales	4
Calidad de aguas	Estudio de las fuentes de contaminación puntual y difusa de la cuenca del río Biobío	MMA	5
Monitoreo de los recursos hídricos	Implementación de una red de monitoreo de humedales y sus ecosistemas (Calidad de aguas, balance hídrico, entre otros)	MMA	12
Infraestructura hidráulica	Diagnóstico intrapredial de eficiencia del uso del agua y equipos de riego	CNR	13
Calidad de aguas	Analizar la reutilización y regeneración de las aguas residuales del sector sanitario e industrial de la cuenca.	MMA	14
Fortalecimiento de OUA	Catastro y diagnóstico de organizaciones de usuarios de aguas de la cuenca del río Biobío	DGA - CNR	15
Fortalecimiento de OUA	Programa fortalecimiento de las OUA de los ríos Renaico y Malleco	DGA - CNR	17
Fortalecimiento de OUA	Modelo de transferencia tecnológica en gestión y uso del agua	DGA - GORE	18
Infraestructura hidráulica	Estudio diagnóstico y propuesta de soluciones para sistemas APR	DOH	19
Infraestructura hidráulica	Diagnóstico de infraestructura de riego en la cuenca del río Biobío.	CNR	20
Calidad de aguas	Desarrollo de un plan de manejo de contaminantes asociados a nutrientes	MMA	21

Fuente: Elaboración propia

8.3 Valorización económica del Plan estratégico de gestión hídrica

Para cada iniciativa se realizó una estimación de costos estableciendo un rango de inversión por cada acción y para determinar el costo total del plan se utilizó la media del rango.

La Figura 103 muestra la distribución de costos del plan por línea de acción y tipología de iniciativa, donde se observa que la mayor inversión sería en monitoreo de recursos hídricos.



Fuente: Elaboración propia

Figura 103. Distribución de costos por línea de acción y tipo de iniciativa.

El costo estimado total del Plan estratégico de gestión hídrica es de 364.500 UF y su distribución por línea de acción y fuente de financiamiento se muestra en la Tabla 95.

Tabla 95. Costo de las iniciativas del plan según línea de acción y fuente de financiamiento.

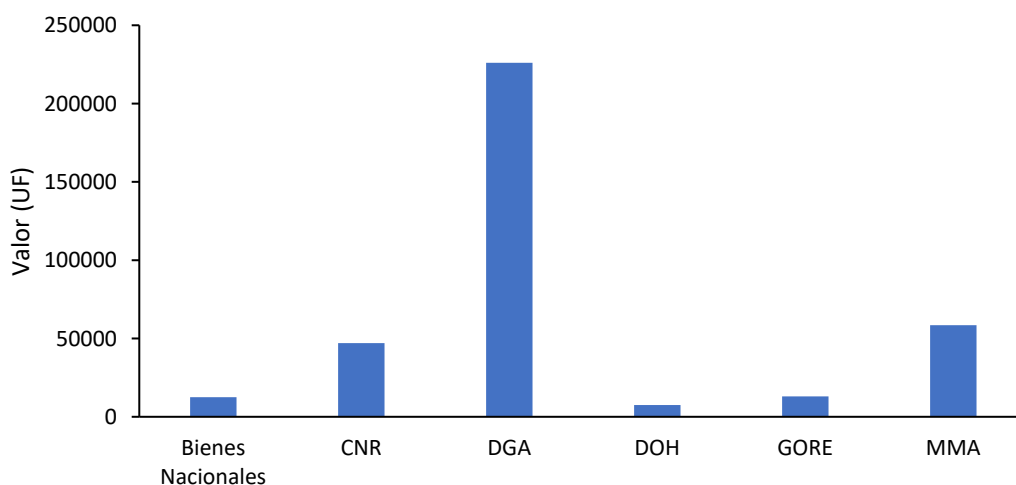
Línea de acción	Nombre acción	Valor del programa (UF)	Fuente de financiamiento principal
Ámbito social y cultural	Incentivar la incorporación de las mujeres en la gestión de los recursos hídricos.	6.500	DGA
	Estudio para formular un modelo intercultural de gestión del agua en la cuenca alta del río Biobío	19.000	DGA
	Incorporación de prácticas de trabajo colaborativo en la gestión del agua de la cuenca del río Biobío	6.500	DGA
Calidad de aguas	Estudio de las fuentes de contaminación puntual y difusa de la cuenca del río Biobío	12.500	MMA
	Desarrollo de un plan de manejo de contaminantes asociados a nutrientes	12.500	MMA
	Analizar la reutilización y regeneración de las aguas residuales del sector sanitario e industrial de la cuenca.	11.000	MMA
	Estudio diagnóstico e implementación de sistemas de vigilancia epidemiológicas.	40.000	DGA
Fortalecimiento de OUA	Programa fortalecimiento de las OUA de los ríos Renaico y Malleco	10.000	DGA - CNR
	Catastro y diagnóstico de organizaciones de usuarios de aguas de la cuenca del río Biobío	10.500	DGA - CNR
	Modelo de transferencia tecnológica en gestión y uso del agua	13.000	GORE
	Plataforma de Gestión Integrada de Información de RRHH	30.000	DGA
	Estudio de definición de deslindes propietarios	12.500	Bienes Nacionales
Gestión institucional y privada de la explotación de acuíferos	Actualización del catastro de aguas subterráneas (con y sin registro DGA)	6.500	DGA
	Redefinición de SHACs	4.500	DGA
	Mejorar la red de monitoreo de aguas subterráneas en la cuenca (nivel y caudal)	4.500	DGA
Información respecto al mercado del agua y DAA	Catastro de distintas fuentes para actualizar la información existente en el CPA	13.000	DGA
	Diagnóstico para desarrollar un visualizador espacializado del mercado del agua	9.000	DGA

Línea de acción	Nombre acción	Valor del programa (UF)	Fuente de financiamiento principal
Infraestructura hidráulica	Diagnóstico de infraestructura de riego en la cuenca del río Biobío.	13.500	CNR
	Diagnóstico y propuestas de monitoreo de extracciones en canales (telemetría bocatomas)	9.000	DGA
	Diagnóstico intrapredial de eficiencia del uso del agua y equipos de riego	13.000	CNR
	Estudio diagnóstico y propuesta de soluciones para sistemas APR	7.500	DOH
Monitoreo de los recursos hídricos	Red de Monitoreo en Nieve y Glaciares	24.500	DGA
	Red de monitoreo de la calidad de las aguas subterráneas de la cuenca del río Biobío	20.000	DGA
	Implementación de una red de monitoreo de humedales y sus ecosistemas (Calidad de aguas, balance hídrico, entre otros)	22.500	MMA
	Ampliación de la red instrumental nacional	17.500	DGA
Riesgos asociados a las aguas de la cuenca	Realizar un análisis de eventos extremos asociados al cambio climático (precipitaciones máximas, sequías, olas de calor).	9.000	DGA
	Analizar la vulnerabilidad de áreas críticas respecto a inundaciones (análisis de crecidas producto de lluvias o acción humana).	6.500	DGA

Fuente: Elaboración propia

8.3.1 Distribución de costos por actores

El costo total del plan es de 364.500 UF, la distribución por actores se muestra en la Figura 104, mientras que la distribución por actores y línea de acción se muestra en la Tabla 96.



Fuente: Elaboración propia

Figura 104. Distribución de costo por actores.

Tabla 96. Costo por actores y línea de acción del plan.

Institución / Línea de acción	Costo (UF)
Bienes Nacionales	12.500
Fortalecimiento de OUA	12.500
CNR	47.000
Fortalecimiento de OUA	20.500
Infraestructura hidráulica	26.500
DGA	226.000
Ámbito social y cultural	32.000
Calidad de aguas	40.000
Fortalecimiento de OUA	30.000
Gestión institucional y privada de la explotación de acuíferos	15.500
Información respecto al mercado del agua y DAA	22.000
Infraestructura hidráulica	9.000
Monitoreo de los recursos hídricos	62.000
Riesgos asociados a las aguas de la cuenca	15.500
DOH	7.500
Infraestructura hidráulica	7.500
GORE	13.000
Fortalecimiento de OUA	13.000
MMA	58.500
Calidad de aguas	36.000
Monitoreo de los recursos hídricos	22.500
Total general	364.500

Fuente: Elaboración propia

8.4 Cronograma de las soluciones

El esquema de la Figura 105 muestra la hoja de ruta del PEGH de la cuenca del río Biobío, donde se observan las 8 líneas de acción propuestas y cada una de sus iniciativas.

	Corto Plazo (0 a 5 años)	Mediano Plazo (6 a 10 años)	Largo Plazo (11 años o más)
Ámbito social y cultural	Incorporación de prácticas de trabajo colaborativo en la gestión del agua de la cuenca del Bio Bio	Incentivar la incorporación de las mujeres en la gestión de los recursos hídricos.	Estudio para formular un modelo intercultural de gestión del agua en la cuenca alta del Biobío
Calidad de aguas	Estudio de las fuentes de contaminación puntual y difusa de la cuenca del río BioBio Analizar la reutilización y regeneración de las aguas residuales del sector sanitario e industrial de la cuenca.	Desarrollo de un plan de manejo de contaminantes asociados a nutrientes Estudio diagnóstico e implementación de sistemas de vigilancia epidemiológicas.	
Fortalecimiento de OUA	Programa fortalecimiento de las OUA de los ríos Renaico y Malleco Catastro y diagnóstico de organizaciones de usuarios de aguas de la cuenca del río Biobío	Modelo de transferencia tecnológica en gestión y uso del agua Plataforma de Gestión Integrada de Información de RRHH Estudio de definición de deslindes propietarios	
Gestión Institucional y privada de la explotación de acuíferos	Actualización del catastro de aguas subterráneas (con y sin registro DGA) Redefinición de SHACs Mejorar la red de monitoreo de aguas subterráneas en la cuenca (nivel y caudal)		

Fuente: Elaboración propia

Figura 105. Hoja de ruta del plan de acción.

	Corto Plazo (0 a 5 años)	Mediano Plazo (6 a 10 años)	Largo Plazo (11 años o más)
Información respecto al mercado del agua y DAA	Catastro de distintas fuentes para actualizar la información existente en el CPA Diagnóstico para desarrollar un visualizador espacializado del mercado del agua		
Información respecto al mercado del agua y DAA	Diagnóstico de infraestructura de riego en la cuenca del río Biobío. Diagnóstico intrapredial de eficiencia del uso del agua y equipos de riego Estudio diagnóstico y propuesta de soluciones para sistemas APR	Diagnóstico y propuestas de monitoreo de extracciones en canales (telemetría bocatomas)	
Monitoreo de los recursos hídricos	Red de Monitoreo en Nieve y Glaciares Ampliación de la red instrumental nacional	Red de monitoreo de la calidad de las aguas subterráneas de la cuenca del Biobío Implementación de una red de monitoreo de humedales y sus ecosistemas (Calidad de aguas, balance hídrico, entre otros)	
Riesgos asociados a la cuenca	Realizar un análisis de eventos extremos asociados al cambio climático (precipitaciones máximas, sequías, olas de calor). Analizar la vulnerabilidad de áreas críticas respecto a inundaciones (análisis de crecidas producto de lluvias o acción humana).		

Figura 105. Hoja de ruta del plan de acción. (Continuación)

9 IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN

El presente capítulo se construye en base a los PEGH de las cuencas de Aconcagua (DGA 2020a), Limarí (DGA 2020b), Choapa (DGA 2020c) y Elqui (DGA 2020d). Se presentan los principales hitos identificados en la implementación del Plan de Acción, atendiendo a su horizonte (corto, mediano o largo plazo). Seguidamente, se exponen algunas directrices a considerar para el éxito del Plan de Acción, tanto en lo relativa a la estrategia de su implementación como comunicacional. Finalmente, se incluye un resumen con la identificación de las fuentes de financiación previstas.

9.1 Hitos de referencia en la implementación del plan

A continuación, se expone un resumen de la estructura del PEGH y los principales hitos a considerar, en función de la temporalidad establecida para cada medida del Plan.

9.1.1 Estructura del plan de gestión

La estructura del PEGH se ha establecido de acuerdo con 4 ejes, alineados según los objetivos del presente estudio (Tabla 97):

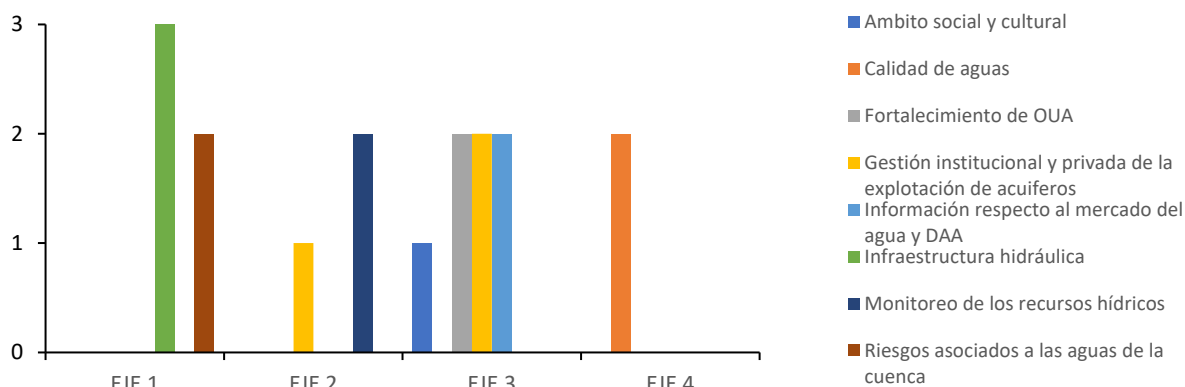
Tabla 97. Ejes estratégicos para la estructura PEGH.

Nº eje	EJE	Nº OBJ PLAN	Objetivos para definición de acciones del plan
EJE 1	USO ESTRATÉGICO DEL RECURSO HÍDRICO: BRECHAS ENTRE OFERTA Y DEMANDA.	1.1	Reducir las brechas entre oferta y demanda de agua considerando cambio climático, sequía e inundaciones.
		1.2	Restaurar condiciones de almacenamiento y calidad de las fuentes de agua potable urbana, tanto para fuentes tanto para las fuentes superficiales y subterráneas.
		1.3	Restaurar condiciones de almacenamiento y calidad de las fuentes de agua potable rural, tanto para fuentes tanto para las fuentes superficiales y subterráneas.
		1.4	Conservar y/o mejorar el estado de la infraestructura hidráulica actual
EJE 2	MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO.	2.1	Mejorar el monitoreo de las aguas de la cuenca (superficial, subterráneo, de montaña y glaciales).
EJE 3	GESTIÓN Y GOBERNANZA DEL AGUA.	3.1	Promover y revitalizar la alianza público- privada en materia hídrica.
EJE 4	CONSERVACIÓN Y PRESERVACIÓN DEL RECURSO Y DEL ECOSISTEMA HÍDRICO.	4.1	Conservar y/o mejorar el estado de la calidad de aguas de las fuentes superficiales y subterráneas.
		4.2	Proteger funciones ecosistémicas críticas relacionadas con los cuerpos de agua en el tiempo.

Fuente: (DGA 2020a, DGA 2020b, DGA 2020c, DGA 2020d)

9.1.2 Corto plazo

Cabe señalar que el 63% de iniciativas del PEGH corresponden a medidas de intervención con un horizonte a corto plazo. Entre ellas, existen acciones de las 8 líneas de acción planteadas. En cualquier caso, las iniciativas planteadas tienden a resolver brechas de los 4 Ejes establecidos. En la Figura 106 se presenta un resumen de lo anterior



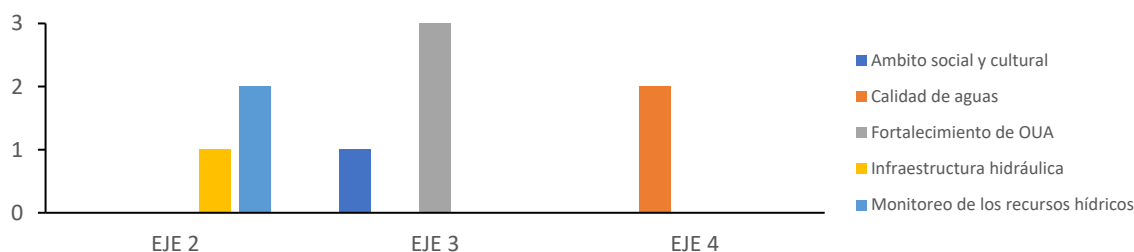
Fuente: Elaboración propia

Figura 106. Distribución de iniciativas a corto plazo.

Como hitos de referencia, se destaca la iniciativa "Estudio de las fuentes de contaminación puntual y difusa de la cuenca del río Biobío", la cual daría pie a la iniciativa "Desarrollo de un plan de manejo de contaminantes asociados a nutrientes". Por otra parte, la iniciativa "Diagnóstico intrapredial de eficiencia del uso del agua y equipos de riego", se considera relevante ya que producto del diagnóstico se espera surjan nuevas iniciativas en materias de formación de capital humano.

9.1.3 Mediano plazo

En la Figura 107, se presenta la distribución de iniciativas en un horizonte a mediano plazo, según la línea de acción. En esta etapa se encuentran presente 3 de los 4 ejes y 4 de las 8 líneas de acción propuestas. En la línea de acción de calidad de aguas, se destaca la iniciativa "Estudio diagnóstico e implementación de sistemas de vigilancia epidemiológicas", considerando el actual escenario de pandemia y nuevos contaminantes, esta iniciativa se recomienda implementar luego del estudio de fuentes de contaminación puntual y difusa en la cuenca.



Fuente: Elaboración propia

Figura 107. Distribución de iniciativas a mediano plazo.

9.1.4 Largo plazo

Finalmente, en la iniciativa de largo plazo se ubica sólo el Eje 3 con la línea de acción “ámbito social y cultural” y la iniciativa “Estudio para formular un modelo intercultural de gestión del agua en la cuenca alta del río Biobío”, el cual se estima debe ejecutarse luego de implementar las iniciativas de “Incorporación de prácticas de trabajo colaborativo en la gestión del agua de la cuenca del Biobío” y “Modelo de transferencia tecnológica en gestión y uso del agua”.

9.2 Estrategia de implementación

El éxito de la ejecución de las iniciativas del PEGH de la cuenca del río Biobío, está sujeto por determinadas condiciones del entorno que pueden facilitar o retardar la implementación de las acciones definidas, entre las cuales se encuentran temas institucionales, culturales, de financiamiento o legales. Seguidamente se exponen estos aspectos condicionantes que pueden afectar la aplicación de cada iniciativa y una propuesta sobre los pasos de implementación del PEGH.

Los aspectos limitantes o condicionantes expuestos seguidamente son en muchos casos comunes a la realidad de otras cuencas, por lo que particularmente se sugiere enfocar los esfuerzos hacia su resolución a una escala mayor que la de la propia cuenca, viéndose beneficiados por ello otros territorios con situaciones similares, tanto a nivel regional como a escala nacional (DGA 2020a, DGA 2020b, DGA 2020c, DGA 2020d).

9.2.1 Aspectos institucionales

Desde el punto de vista estatal, cabe tener presente el diagnóstico y propuestas mencionados en el documento de la Delegación Presidencial de Recursos Hídricos titulado “Política Nacional para los Recursos Hídricos 2015”: “En la actualidad, Chile posee más de 42 instituciones que tienen relación directa con la gestión de los recursos hídricos. Esta situación ha provocado serios problemas de coordinación y ha obstaculizado una adecuada priorización de los recursos e instrumentos destinados a una mejor gestión y administración de los recursos hídricos”.

La institucionalidad existente en materia hídrica puede suponer un condicionante para la implementación de ciertas iniciativas del PEGH. Según FCh (2019), las condicionantes institucionales pueden ser:

- i) De diseño institucional: Corresponden a las limitaciones o facilidades derivadas de la estructura institucional o de las funciones asignadas (o ausentes) a las distintas instituciones. En esta categoría se consideran problemas tales como los de coordinación interinstitucional.
- ii) De capacidades institucionales: Se consideran aquellas limitaciones o facilidades que se originan en las políticas, funcionamiento, y en la disponibilidad de recursos humanos, orgánicos, financieros, logísticos, etc. de las instituciones que tienen la responsabilidad de aplicar los instrumentos incluidos en las normativas.

Seguidamente se exponen ciertas consideraciones de carácter institucional según tipología de las iniciativas o acciones:

- Mejora de la eficiencia de riego a nivel predial. Existe una institucionalidad pública para el apoyo a este tipo de iniciativas, cuyas herramientas de ejecución se gestionan principalmente nivel central, con apoyo técnico a nivel regional o provincial, con limitadas o nula existencia de evaluación a escala cuenca. Sin embargo, pueden tratarse también de iniciativas que pueden ser aplicadas por los propietarios interesados, sin limitaciones institucionales.
- Sistemas de tratamiento de aguas residuales en localidades rurales concentradas o semi-concentradas. En los casos pertinentes, la aplicación requiere de la existencia de un comité de APR. Además, será necesario el apoyo institucional público proveniente desde las Municipalidades en las que se emplacen estos sistemas, quienes actuarán como ejecutoras de estas iniciativas de inversión y contraparte técnica de dichas acciones. Debido a esto, una limitante es el catastro y conocimiento que tengan las Municipalidades sobre el estado de la infraestructura y procesos de saneamiento en su jurisdicción territorial.
- Recarga artificial de acuíferos. En general se trata de actividades que debieran ser coordinadas y evaluadas a nivel de SHAC y/o cuenca. Este tipo de acción queda condicionada al actuar de privados, quienes, a través de instancias de relación con entidades públicas o convenios público-privados, pueden acceder a ejecutar este tipo de acciones, por lo que la realización de estas medidas dependerá de las capacidades técnicas-organizacionales de cada grupo de actores interesados.
- Reúso de aguas residuales urbanas o rurales. Al igual que se mencionó en puntos anteriores, no existe una institucionalidad pública actual para este tipo de iniciativas, por lo que quedan supeditadas a la acción de actores privados interesados y sus capacidades de coordinación y gestión, ya que para la aplicación de estas medidas sería necesaria la intervención de entidades públicas pertinentes para el desarrollo local (GORE, SUBDERE, Municipalidades).

9.2.2 Aspectos de cultura del agua

La implementación de iniciativas se puede topar con condicionantes relativas a la falta de información y/o conocimiento técnico de los actores involucrados, tanto en el nivel de las entidades responsables como de los propios beneficiarios identificados. Por ello, cabe señalar la importancia de la componente social del PEGH, identificando para cada caso los actores implicados.

El proceder individual de las personas, en relación con el aprovechamiento del agua, está influido culturalmente por las costumbres y los hábitos que se tienen en su uso, así como por el grado de conocimiento técnico y acceso a información disponible. La mayor parte (si no todas) de las iniciativas del PEGH tienen intrínsecamente una componente de relativa al aspecto cultural del agua.

Según FCh (2019), la principal fuente de información respecto de los temas relativos al agua lo constituyen los medios de comunicación de masas, los que frecuentemente entregan una visión excesivamente simple, parcial y descontextualizada de la compleja

realidad de la gestión del agua, lo que hace más difícil la formación de una ciudadanía verdaderamente consciente de la naturaleza de los desafíos que presenta el tema en el país. Por lo anterior, las iniciativas del PEGH categorizadas dentro de la temática “Medidas de Gestión”, y explícitamente aquellas relativas a los sistemas de información, capital humano y fortalecimiento organizacional, influyen directamente en el éxito de la implementación de medidas de tipo estructural.

Por otra parte, en la cuenca la presencia de comunidades indígenas hace necesaria tener en cuenta consideraciones culturales a la hora de ejecutar el PEGH, centradas en la inclusión y transparencia en el manejo de la información y difusión de las acciones a ejecutar. Para trabajar con el pueblo indígena es imperante hacerlo en observancia de los derechos de consulta y participación establecidos por el convenio 169 los cual son la columna vertebral de este, como lo ha declarado constantemente la comisión de expertos de la Organización Internacional del Trabajo (OIT, 2003, 2006, 2009).

9.2.3 Aspectos de financiamiento

El financiamiento es, en general, un aspecto limitante en el desarrollo de iniciativas públicas. Las condicionantes financieras incluyen, por ejemplo, restricciones de financiamiento que podrían impedir la implementación de una o varias iniciativas en el año programado, aunque tenga evaluaciones económica, social y ambiental favorable.

A continuación, se identifican algunas condicionantes financieras para la implementación de ciertas iniciativas:

Metodologías para optimizar el control de las pérdidas por conducción en las redes de APU. En teoría el sistema tarifario incentiva la aplicación de estas tecnologías en las redes de agua potable. Sin embargo, los resultados muestran que, en general, la regulación sanitaria no genera incentivos suficientes para su aplicación.

Sistemas de tratamiento de aguas residuales en localidades rurales concentradas o semi-concentradas. En ocasiones, se podrá contar con asistencia financiera desde el sector público, a través de fondos destinados para tales fines. Por ejemplo, SUBDERE, a través de la Unidad de Saneamiento Sanitario y en apoyo a la gestión del GORE, administra la “Provisión Saneamiento Sanitario”, el cual permite cofinanciar los convenios de saneamiento GORE-Municipalidades.

Recarga artificial de acuíferos. Los incentivos económicos para la recarga artificial de acuíferos están en la legislación al autorizar el otorgamiento de derechos provisionales para la extracción de un caudal equivalente al caudal recargado. En cuanto a la financiación de las obras necesarias para su operación, estos fondos se pueden obtener a través convenios entre privados o público-privados, en particular la CNR a implementado estudios y algunos concursos específicos para proyectos de recarga de acuíferos.

9.2.4 Pasos en la implementación

La implementación del Plan de Acción dependerá de diversos factores, entre ellos:

- La identificación de responsabilidades institucionales;
- La buena acogida de la acción por parte de los beneficiarios;
- El financiamiento disponible;
- Otras externalidades positivas o negativas propias de cada medida.

Por lo anterior, se debe definir una institución coordinadora transversal del conjunto de las medidas propuestas. Dado que el PEGH está promovido por la DGA, esta entidad es la responsable de su herramienta de planificación, y dentro de este servicio, se sugiere que sea la Dirección Regional de Aguas quien ostente esta figura de coordinación, por las razones siguientes:

- El PEGH de la cuenca del Biobío tiene un enfoque de gestión de cuenca; en ausencia de una institucionalidad pública de esta escala, la figura más próxima corresponde a la Dirección Regional de Aguas de la región de Biobío.
- DGA Regional es conocedora de la realidad territorial de una forma más próxima que, por ejemplo, podría tener DGA Nivel Central.
- DGA Regional mantiene vínculos con los actores territoriales, tanto públicos de otros servicios (DOH, CNR u otros) como actores.

Considerando la gobernanza como herramienta para gestionar la interacción de los sistemas políticos, sociales y económicos involucrados en la gestión de los recursos hídricos y la provisión de servicios de agua a diferentes niveles de la sociedad, resulta clave la generación de procesos interactivos que impliquen diversas formas de asociatividad, colaboración y negociación entre estos sectores (y actores).

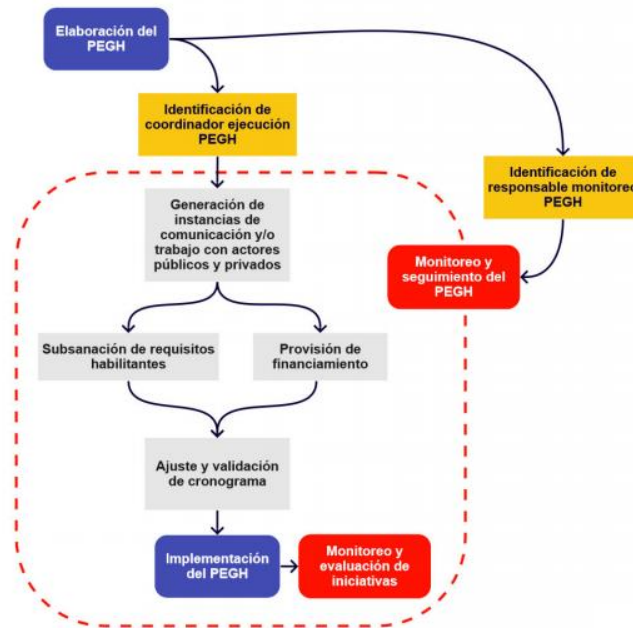
Respecto de la aceptación y la acogida de las medidas por parte de los diferentes actores, se debe considerar que las interacciones entre ellos (no conflicto, colaboración y confianza, u otra situación) pueden cambiar según el tema que los una o relacione y, en consecuencia, también pueden cambiar sus voluntades para hacerse partícipes de las acciones del Plan.

La obtención del financiamiento, en general, irá de la mano con los lineamientos estratégicos de cada institución (principalmente pública) involucrada; para ello, se sugiere que DGA regional establezca una reunión inicial de trabajo invitando a los servicios públicos involucrados en el PEGH, con la finalidad de informar sobre los montos estimados por iniciativa para cada institución.

En relación con externalidades que puedan afectar la correcta ejecución de las iniciativas según la hoja de ruta propuesta, es relevante considerar los aspectos institucionales, de cultura del agua, de financiamiento.

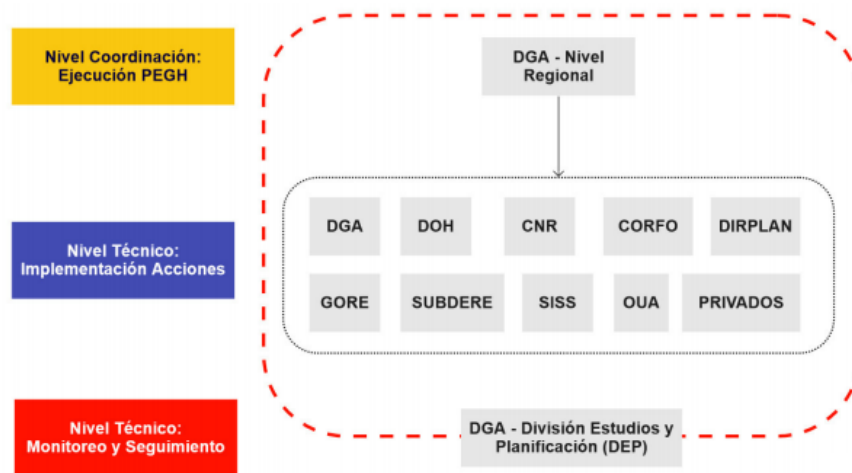
En paralelo a la implementación de las iniciativas del PEGH, el Plan de Monitoreo asociado permitirá un seguimiento y mejora de la pertinencia de las propuestas identificadas y su adaptación a lo largo del tiempo en caso oportuno. Se sugiere que el monitoreo general del Plan podría realizarse desde DGA Nivel Central (por ejemplo, la División de Estudios y Planificación o quien designe el Director General), así como la evaluación de las iniciativas ejecutadas (acciones que aborda la propia DGA). Para el caso de acciones cuyo responsable sea otra institución diferente a la DGA, la evaluación de las iniciativas quedará supeditada a la información facilitada por esta, para lo cual será importante reforzar el diálogo interinstitucional.

En la Figura 108 se presenta un esquema básico de los pasos propuestos a seguir en la implementación de las iniciativas del PEGH, mientras que en la Figura 109 se presenta el modelo de gobernanza asociado.



Fuente: (DGA 2020a, DGA 2020b, DGA 2020c, DGA 2020d)

Figura 108. Esquema simplificado de los pasos de implementación del PEGH.



Fuente: (DGA 2020a, DGA 2020b, DGA 2020c, DGA 2020d)

Figura 109. Modelo de gobernanza del PEGH.

9.3 Estrategia de comunicación

La estrategia de comunicación del “Plan Estratégico de Gestión Hídrica en la cuenca del Biobío” basó su diseño en referencia al universo de personas naturales y jurídicas vinculadas al agua, que requieren ser informadas de los lineamientos y acciones contenidos en este. Por tanto, la estrategia de comunicación tiene por objetivo “Informar a los diferentes actores sociales relevantes y la sociedad en su conjunto acerca del Plan Estratégico de Gestión Hídrica en la cuenca del Biobío”.

Destinatarios

Los grupos principales a los que se dirige la estrategia de comunicación son de dos tipos: directos y generales. Los destinatarios directos corresponden a las personas que integran las Organizaciones de Usuarios de Aguas, organismos públicos y privados relacionados con el agua, municipios de la cuenca, empresas usuarias del agua y entidades académicas. Los destinatarios generales son personas naturales y jurídicas de la comunidad en general.

Medios y actividades

Los canales y actividades diseñadas para ambos tipos de destinatarios se han seleccionado en de acuerdo con la experiencia obtenida mediante la formulación del presente Plan.

Página web: La estrategia a seguir para comunicar el Plan a beneficiarios directos e indirectos, es subir al sitio utilizado en el periodo de formulación, el documento final y sus respectivos anexos. (bit.ly/plancuenca). Así mismo se deben realizar gestiones para subir este mismo documento en páginas web vinculadas al tema del agua en la cuenca del río Biobío.

Uso de correo electrónico: Se reconoce y asume que el uso de internet resulta fundamental para poner en comunicación a destinatarios directos.

Cabe señalar que hubo comunicación en ambos sentidos con los usuarios, al momento de hacer las invitaciones a las actividades PAC, al solicitar contestar la encuesta, la responder la misma, y al momento de enviar los resultados. Además, durante el proceso de realización de los talleres PAC, se enviaron las presentaciones con la información diagnóstica y con el portafolio de acciones.

Estrategia de Difusión del Plan Estratégico

Para lograr visibilidad y posicionamiento del Plan Estratégico entre los destinatarios directos y generales, se propone ampliar los canales utilizados en la etapa de formulación.

Para los destinatarios directos se utilizarán los canales que permitieron un contacto efectivo: correo electrónico en primer lugar y publicación en la página web en segundo término. Considerando que se dispone de una base de datos con las direcciones electrónicas de las personas naturales y jurídicas que fueron convocadas para las actividades PAC, se utilizará esta misma base para enviar información resumida del Plan. Además, se utilizará el mismo sitio web para presentar el Plan en su versión original.

Para los destinatarios generales se propone enviar comunicados de prensa breves a los medios escritos, a fin de dar a conocer sus contenidos principales del Plan, así como las acciones propuestas.

Con el objeto de dar respuestas a consultas que surjan desde la comunidad, se efectuará una coordinación con DGA de la región del Biobío y de La Araucanía para definir esta atención.

9.4 Identificación de fuentes de financiamiento del plan

Las instituciones públicas y privadas implicadas en el financiamiento de las iniciativas del PEGH se han descrito en el acápite 8.3. En la Tabla 98 se presenta un resumen de los costos del Plan de Acción, según sea el mandante DGA u otras instituciones.

Tabla 98. Distribución de costos según mandante DGA u otros.

Mandante	Valor (UF)
DGA	226.000
Otras instituciones	138.500

Fuente: Elaboración propia

10 MONITOREO Y EVALUACIÓN DEL PLAN

El presente capítulo se construye en base a los PEGH de las cuencas de Aconcagua (DGA 2020a), Limarí (DGA 2020b), Choapa (DGA 2020c) y Elqui (DGA 2020d) y se detalla el Plan de Monitoreo del PEGH, así como los mecanismos para análisis y toma de decisiones asociados.

10.1 Plan de monitoreo

El Plan de Monitoreo (PM) asociado al PEGH del Biobío tiene por objetivo establecer el seguimiento y la eficacia de su implementación, determinando los indicadores que permitan trazar el grado de cumplimiento de las iniciativas y de los objetivos del PEGH. Adicionalmente, se especifican los mecanismos para la actualización y/o el rediseño del PEGH, como instrumento de planificación a mediano y/o largo plazo.

La cartera de acciones del PEGH considera un total de 27 iniciativas, de las cuales ninguna está catastrada y las 27 corresponden a propuestas. El PM centrará como índice de cumplimiento, la implementación tanto las iniciativas propuestas como las catastradas; si bien estas últimas poseen sus propios tiempos de implementación establecidos y el PEGH no tiene injerencia directa sobre ellas, se considera fundamental, por coherencia del plan en su conjunto, aplicar el seguimiento correspondiente. Lo anterior supone un esfuerzo de coordinación entre los diferentes servicios públicos, pero justificando, entendiendo que el recurso hídrico es un tema transversal y atañe a un amplio abanico de actores del territorio.

El PM se centrará en dar seguimiento anualmente a los indicadores establecidos para los primeros 5 años, debido al elevado número de iniciativas recogidas en ese horizonte, y sobre todo considerando potenciales reformulaciones futuras del PEGH al final de dicho periodo. Por lo anterior, para el periodo posterior (mediano y largo plazo), el PM asociado deberá ser evaluado, actualizado y rediseñado según lo indicado más adelante relativo a los mecanismos para el análisis y toma de decisiones. El responsable del monitoreo y seguimiento de las iniciativas de este plan debe ser la Dirección General de Aguas.

10.1.1 Indicadores

Las pautas del programa de seguimiento y control del PEGH se han establecido en un Plan de Monitoreo, con el objetivo de verificar la eficacia de las acciones efectivamente implementadas, a través de la definición de indicadores de cumplimiento.

En el establecimiento de indicadores del PM, se han considerado experiencias anteriores en planificación hídrica; específicamente, se ha tomado como referencia principal el último instrumento de características similares promovido por la DGA, correspondiente al estudio DGA (2013).

Así, los indicadores considerados son:

- Indicadores Generales: PIC, PICa, PIF y PIFa.
- Indicadores Específicos.

A su vez, para realizar el seguimiento del PEGH propiamente tal, se han definido una serie de conceptos adicionales:

- Parámetro de referencia.
- Umbrales.
- Frecuencia de revisión.

Consecuentemente, seguidamente se detallan los siguientes indicadores, de tipo general y específicos, así como otros conceptos a tener en cuenta:

- **Indicadores Generales.** Cuantifican el grado de avance del PEGH a nivel global, considerando la relación existente entre iniciativas comenzadas y/o finalizadas versus la programación planificada según la carta Gantt. Considera 4 indicadores:
 - Porcentaje de iniciativas comenzadas (PIC). Se calcula como el cociente entre el número de iniciativas comenzadas en el año i y el número de iniciativas planificadas en el año i .
 - Porcentaje de iniciativas comenzadas acumulada (PICa). Se calcula como el cociente entre el número de iniciativas comenzadas hasta año i y el número de iniciativas planificadas hasta el año i .
 - Porcentaje de iniciativas finalizadas (PIF). Se calcula como el cociente entre el número de iniciativas finalizadas en el año i y el número de iniciativas planificadas en el año i .
 - Porcentaje de iniciativas finalizadas acumulada (PIFa). Se calcula como el cociente entre el número de iniciativas finalizadas hasta año i y el número de iniciativas planificadas hasta el año i .
- **Indicadores Específicos.** Dan cuenta del porcentaje de avance de la implementación de las iniciativas clave del Plan de Acción.
 - Porcentaje de avance iniciativa N°1. Se calcula como el cociente entre el avance real y lo planificado. Este cálculo se obtiene a partir de la carta Gantt específica de la iniciativa 1, cronograma que debe confeccionarse al momento de comenzar el proyecto en particular. Adicionalmente este indicador tiene definido un tiempo máximo para su implementación.
 - Porcentaje de avance iniciativa N°2. Se calcula como el cociente entre el avance real y lo planificado. Este cálculo se obtiene a partir de la carta Gantt específica de la iniciativa 2, cronograma que debe confeccionarse al momento de comenzar el proyecto en particular. Adicionalmente este indicador tiene definido un tiempo máximo para su implementación.

La Tabla 99 muestra una propuesta preliminar de indicador o hito de referencia para cada acción propuesta.

Tabla 99. Propuesta de indicadores por acción.

Línea de acción	Nombre acción	Objetivo	Indicador
Ámbito social y cultural	Incentivar la incorporación de las mujeres en la gestión de los recursos hídricos.	Implementar acciones de equidad de género para hacer sustentable la gestión del agua en la cuenca del Biobío.	1) Número de acciones propuestas 2) Número de mujeres capacitadas 3) Número de Talleres realizados.
Ámbito social y cultural	Estudio para formular un modelo intercultural de gestión del agua en la cuenca alta del río Biobío	Compatibilizar el modelo chileno de gestión del agua, con el uso consuetudinario del agua, que hacen las comunidades pehuenches.	1) Número de Talleres realizados. 2) Al menos una Consulta Indígena 3) Un plan de compatibilización del modelo chileno de gestión del agua.
Ámbito social y cultural	Incorporación de prácticas de trabajo colaborativo en la gestión del agua de la cuenca del Biobío	Fortalecer la gestión del agua de la cuenca del Biobío, en un modelo de trabajo colaborativo, con planificaciones que involucren metas comunes y acciones concertadas.	1) Número de actividades de capacitación realizadas 2) Número de personas capacitadas 3) Número de iniciativas propuestas 4) Manual para el trabajo colaborativo.
Calidad de aguas	Estudio de las fuentes de contaminación puntual y difusa de la cuenca del río Biobío	Desarrollar un levantamiento de información acerca de todos los flujos de contaminantes que actualmente recibe la cuenca, con el fin de futuros planes de gestión, modelamiento matemático de la contaminación, entre otros.	1) Implementación de sistemas de monitoreo de terreno 2) Desarrollo de modelo 3) Ajuste y validación de modelo
Calidad de aguas	Desarrollo de un plan de manejo de contaminantes asociados a nutrientes	Implementar un plan de gestión de contaminantes (nutrientes) que actualmente están presentes en las aguas superficiales de la cuenca del Biobío.	1) Modelo conceptual asociado a las emisiones de nutrientes de la cuenca 2) Identificación de las principales fuentes de emisión de nutrientes 3) Desarrollo de plan de gestión 4) Validación del plan de gestión con actores involucrados
Calidad de aguas	Analizar la reutilización y regeneración de las aguas residuales del sector sanitario e industrial de la cuenca.	Evaluar la factibilidad de reutilizar y regenerar por industria o sector sanitario.	1) Diagnóstico de calidad de aguas 2) Propuestas de solución 3) Número de soluciones por sector.
Calidad de aguas	Estudio diagnóstico e implementación de sistemas de vigilancia epidemiológicas.	Diseñar, montar y poner en marcha una herramienta basada en análisis de microbioma, para el monitoreo de calidad microbiológica de aguas y vigilancia epidemiológica en escenario de cambio climático.	1) Implementación de sistemas de monitoreo de terreno 2) Laboratorio operativo 3) Plataforma de vigilancia operativa.

Línea de acción	Nombre acción	Objetivo	Indicador
Fortalecimiento de OUA	Programa fortalecimiento de las OUA de los ríos Renaico y Malleco	Mejorar la eficiencia en el uso de las aguas de los ríos Malleco y Renaico mediante el fortalecimiento de sus OUA, reglamentaciones y estatutos.	1) Al menos dos comunidades de aguas organizadas 2) Estatutos modificados para cada OUA 3) Registros de comuneros y usuarios actualizados en cada OUA 4) 10 Dirigentes y usuarios capacitados en cada OUA. 5) al menos 2 Juntas generales de usuarios realizadas; actas de juntas generales y reuniones de directorios; rendición de cuentas (memoria anual) realizadas y otros indicadores del funcionamiento de una OUA.
Fortalecimiento de OUA	Catastro y diagnóstico de organizaciones de usuarios de aguas de la cuenca del río Biobío	Catastrar y diagnosticar la situación actual de las OUA de la cuenca del río Biobío	1) Una Base de datos con OUA existentes 2) Un Diagnóstico organizacional, legal y de infraestructura por cada OUA.
Fortalecimiento de OUA	Modelo de transferencia tecnológica en gestión y uso del agua	Establecer un programa transferencia tecnológica y de conocimiento en gestión de las aguas.	1) Un Modelo de transferencia 2) Implementación del modelo 3) Número de talleres realizados
Fortalecimiento de OUA	Plataforma de Gestión Integrada de Información de RRHH	Desarrollar e implementar una plataforma integrada de información de RRHH libre acceso	1) Un diseño de plataforma 2) Una Plataforma implementada
Fortalecimiento de OUA	Estudio de definición de deslindes propietarios	Definir deslindes de los principales cauces de la cuenca del Biobío	1) Una Definición de ribera en base a cálculos hidrológicos 2) Un sistema SIG con áreas y deslindes.
Gestión institucional y privada de la explotación de acuíferos	Actualización del catastro de aguas subterráneas (con y sin registro DGA)	Generar un catastro actualizado de los pozos existentes en la cuenca del Biobío	1) Número de pozos catastrados 2) Un Diagnóstico realizado 3) Una base de datos georeferenciada.
Gestión institucional y privada de la explotación de acuíferos	Redefinición de SHACs	Redefinir los SHACs en la cuenca del Biobío	1) Definición de criterios para redefinición 2) Reporte de actuales SHAC y falencias 3) Número de nuevos sectores definidos
Gestión institucional y privada de la explotación de acuíferos	Mejorar la red de monitoreo de aguas subterráneas en la cuenca (nivel y caudal)	Apoyar a pequeños agricultores y APR a implementar sistema de control de extracciones de pozos	1) Definición de público objetivo 2) Número de entrevistas con actores relevantes 3) Número de visitas técnicas 4) Número de sistemas implementados
Información respecto al mercado del agua y DAA	Catastro de distintas fuentes para actualizar la información existente en el CPA	Conocer la disponibilidad y factibilidad de otorgar DAA en la cuenca del río Biobío en función de la nueva información producto del catastro.	1) Una base de datos con DAA existentes. 2) Estimación de la disponibilidad de DAA.

Línea de acción	Nombre acción	Objetivo	Indicador
Información respecto al mercado del agua y DAA	Diagnóstico para desarrollar un visualizador espacializado del mercado del agua	Diagnosticar la calidad de la información de transacciones informada por los CBR y proponer mejoras, para desarrollar un visualizador del mercado del agua donde se identifiquen cuencas con mayor número de transacciones, analizar tendencias de mercado, entre otras.	1) Diagnóstico desarrollado 2) Diseño de una plataforma 3) Desarrollo de una plataforma en la cuenca del río Biobío.
Infraestructura hidráulica	Diagnóstico de infraestructura de riego en la cuenca del río Biobío.	Contribuir a la gestión de los recursos hídricos de la cuenca del río Biobío, mediante el catastro y evaluación de la infraestructura de riego existente, y la planificación de la inversión futura en obras de riego e instrumentación.	1) Caracterización organizacional 2) Número de canales visitados 3) Un Diagnóstico de infraestructura por canal 4) Al menos 10 Propuestas de solución por canal.
Infraestructura hidráulica	Diagnóstico y propuestas de monitoreo de extracciones en canales (telemetría bocatomas)	Catastrar y diagnosticar red de monitoreo para el control de extracción de aguas superficiales en canales, y proponer una red de telemetría que contribuya a la correcta extracción de las aguas.	1) Número de canales visitados 2) Un Diagnóstico de infraestructura por bocatoma. 3) Al menos una propuesta de sistemas de monitoreo por bocatoma.
Infraestructura hidráulica	Diagnóstico intrapredial de eficiencia del uso del agua y equipos de riego	Evaluar la eficiencia de aplicación del agua intrapredial en predios de distintos estratos según método de riego y proponer acciones para mejorar la eficiencia de aplicación.	1) Definición de tamaño muestral 2) Número de sistemas de riego evaluados 3) Diagnóstico de cada sistema evaluado. 4) Una propuesta de programa de transferencia para mejorar la eficiencia de riego a nivel predial por estrato de agricultor
Infraestructura hidráulica	Estudio diagnóstico y propuesta de soluciones para sistemas APR	1) Identificar y proponer soluciones de sistemas de APR para abastecimiento hídrico de zonas vulnerables o que actualmente estén siendo abastecidas con camiones aljibes. 2) Catastrar y diagnosticar el estado actual de infraestructura, operación y mantención de los sistemas APR, a fin de determinar necesidades de mejoras y establecer programas de formación de capacidades para la correcta operación de los sistemas.	1) Identificación de zonas críticas 2) Diagnóstico de infraestructura 3) Detección de brechas 4) Propuesta de soluciones de infraestructura para cada APR diagnosticada. 5) Una Propuesta de programa de capacitación.
Monitoreo de los recursos hídricos	Red de Monitoreo en Nieve y Glaciares	Implementar una red de monitoreo de nieves y glaciares en la cuenca del río Biobío	1) Caracterización de la zona de estudio 2) Determinación de número de estaciones de la red.

Línea de acción	Nombre acción	Objetivo	Indicador
			3) Implementación de una red de monitoreo de Nieve y Glaciares.
Monitoreo de los recursos hídricos	Red de monitoreo de la calidad de las aguas subterráneas de la cuenca del Biobío	Desarrollar una red de monitoreo de la calidad del agua subterránea de la cuenca del Biobío	1) identificación de red de pozos y punteras operativas en toda la cuenca. 2) Una campaña de monitoreo en al menos dos estaciones del año por pozo. 3) Una plataforma de monitoreo de calida del agua.
Monitoreo de los recursos hídricos	Implementación de una red de monitoreo de humedales y sus ecosistemas (Calidad de aguas, balance hídrico, entre otros)	Proponer e implementar una red de sensoramiento para el monitoreo constante de las variables hídricas de los humedales y ecosistemas asociados	1) Caracterización de la zona de estudio 2) Determinación de número de estaciones 3) Implementación de una plataforma de monitoreo de humedales.
Monitoreo de los recursos hídricos	Ampliación de la red instrumental nacional	Determinar zonas y variables para complementar la disponibilidad de información hidro-meteorológica y ecológica existente.	1) % de aumento de las métricas en relación a lo existente. 2) % de aumento de la densidad de sensores de tipo xx en la cuenca (n sensores xx/km2 de cuenca). 3) % aumento de la densidad de sensores tipo yy a lo largo del río (n sensores yy/km de río).
Riesgos asociados a las aguas de la cuenca	Realizar un análisis de eventos extremos asociados al cambio climático (precipitaciones máximas, sequías, olas de calor).	Determinar desde un punto de vista meteorológico e hidrológico, los efectos del cambio climático en eventos extremos que pueden ocasionar sequías e inundaciones	1) Un reporte con antecedentes previos y revisión bibliográfica del estado del arte. 2) Al menos un modelo de simulación calibrado por evento extremo. 3) Número de simulaciones por evento extremo asociado al cambio climático. 4) Un reporte de efectos de eventos extremos en los recursos hídricos de la cuenca.
Riesgos asociados a las aguas de la cuenca	Analizar la vulnerabilidad de áreas críticas respecto a inundaciones (análisis de crecidas producto de lluvias o acción humana).	Reducir la vulnerabilidad de la población urbana y semi urbana de la cuenca del Biobio mediante la implementación de un sistema de alerta temprana.	1) Número de zonas caracterizadas 2) Número de mapas de riesgo 3) Diseño de un sistema de alerta temprana 4) Un Sistema de alerta temprana implementado

Fuente: Elaboración propia

- **Parámetro de referencia.** Para los indicadores generales representa el número de iniciativas totales por año que deben ser comenzadas o finalizadas para dar cumplimiento en un 100% a la planificación del PEGH. Para los indicadores específicos representa el tiempo al cual la iniciativa debe estar 100% implementada. Este parámetro es sólo referencial y ayudan a la determinación de los umbrales del PM.
- **Umbrales.** Los umbrales corresponden a los valores de avance mínimos aceptados para cada tipo de indicador.

- **Frecuencia de revisión y Plan de Acción.** El PM debe tener en cuenta las posibles revisiones del PEGH, de acuerdo con una frecuencia establecida y siguiendo un Plan de Acción fijado, según se detalla a continuación:
 - El PM considera el seguimiento de la implementación de las iniciativas durante los primeros cinco años, a través de los indicadores descritos anteriormente. Sin embargo, se considera la aplicación de un Plan de Acción, en caso de ser necesario, hasta el cuarto año. Lo anterior debido a la realización de una evaluación y rediseño del plan en su conjunto durante el quinto año, donde una de las variables a evaluar y rediseñar es el PM.
 - Si la evaluación realizada a través del PM indica que no se han cumplido con los umbrales definidos, es decir, existen desviaciones importantes respecto de lo planificado, se ejecutará un plan de acción, que tiene por objetivo replanificar el PEGH de modo de cumplir con los objetivos propuestos en los tiempos propuestos.

Además, se establecen mecanismos para la potencial reformulación del PEGH.

Adicionalmente, para realizar la evaluación de las iniciativas propiamente tal, se han definido en cada caso, siempre que sea posible:

- Indicadores de producto: dan cuenta del grado de cumplimiento de las iniciativas planificadas.
- Indicadores de impacto: permiten evaluar los resultados de las ejecuciones de las iniciativas respecto de las problemáticas o brechas existentes.

10.1.2 Seguimiento

El seguimiento del PEGH Aconcagua se expone en la Tabla 100, detallando los indicadores generales y específicos, los parámetros de referencia en cada caso y el umbral establecido.

Tabla 100. Seguimiento del PEGH Biobío.

Tipo de indicador	Indicador de seguimiento	Umbral
General	PIC N° de iniciativas comenzadas/N° iniciativas planificadas al año	Umbral PIC 80% de las iniciativas propuestas proyectadas a comenzar al año i hasta i+4
	PICa N° de iniciativas comenzadas acumuladas/N° iniciativas acumuladas planificadas al año	Umbral PICa 1) 80% de las iniciativas propuestas proyectadas a comenzar al año i hasta i+3 (valor acumulado) 2) 100% de las iniciativas propuestas proyectadas a comenzar su implementación hasta el año i+4 (valor acumulado)
	PIF N° de iniciativas finalizadas/ N° iniciativas finalizadas planificadas al año	Umbral PIF 80% de las iniciativas propuestas proyectadas a finalizar al año i hasta i+4
	PIFa N° de iniciativas finalizadas acumuladas/N° iniciativas finalizadas acumuladas planificadas al año	Umbral PIFa 1) 80% de las iniciativas propuestas proyectadas a finalizar su implementación el año i hasta i+3 (valor acumulado) 2) 100% de las iniciativas propuestas proyectadas a finalizar su implementación hasta el año i+4 (valor acumulado)
Específico	Porcentaje de avance de cada iniciativa	Iniciativa N°1: 100% año i
		Iniciativa N°2: 100% año i+2

Según lo establecido anteriormente, se presenta seguidamente el Plan de Acción a considerar en el supuesto que no se hayan cumplido con los umbrales fijados en la Tabla 100, teniendo en cuenta que el PM se divide en dos periodos, los primeros 4 años y el año 5:

- Primer periodo (año i hasta i+4): El objetivo del Plan de Acción en este periodo consiste en reprogramar o replanificar las iniciativas que se encuentren atrasadas para el año siguiente al originalmente programado. Su valor corresponderá al número de iniciativas mínimas programadas para un determinado año (PIC, 80% anual) más las iniciativas retrasadas acumuladas.
- Segundo periodo (año i+5): El objetivo del Plan de Acción en este periodo es analizar si el PEGH ha cumplido en un 100% con su planificación. En caso negativo, el PM entregará el número de iniciativas que no fueron ejecutadas, información que será una variable de entrada en la evaluación, actualización y rediseño del PEGH, a través de los mecanismos para el análisis y toma de decisiones.

10.2 Mecanismos para el análisis y toma de decisiones

La planificación tiene una componente dinámica, más aún considerando iniciativas relativas a los recursos hídricos, los cuales van de la mano con la evolución del contexto climático, incidiendo sobre la oferta hídrica en la cuenca, y los cambios inherentes en la demanda de agua del territorio, así como las relaciones entre los actores (fortalecimiento, conflictos).

Lo anterior hace necesario que el PEGH sea evaluado para determinar si el diseño original sigue vigente al cabo de su primer ciclo de 5 años, así como en ciclos consecutivos del mismo periodo.

En el presente mecanismo de análisis y toma de decisiones se expone, la metodología a considerar, y luego cómo debe ejecutarse la etapa de reformulación del PEGH.

En relación con el análisis del PEGH para su reformulación, se recomienda considerar los siguientes aspectos:

- a) Actualización del diagnóstico en la cuenca del río Biobío en materia de recursos hídricos, con especial atención a las brechas entre oferta y demanda, el estado de la infraestructura, la situación de gobernanza en el territorio y el estado ambiental de los cuerpos de agua de la cuenca.
- b) Actualización de la cartera actual de acciones, tanto a nivel público como privado.
- c) Actualización del modelo hidrológico superficial-subterráneo con la nueva data disponible, resolviendo brechas de modelización que hubieron quedado no resueltas durante el diseño del PEGH original.
- d) Evaluación de las condiciones habilitantes de las iniciativas no ejecutadas.
- e) Evaluación del resultado del Plan de Monitoreo el año i+4, mediante la cuantificación de las iniciativas no comenzadas/finalizadas del PEGH.

En base a lo anterior, la DGA deberá establecer la forma de abordar la reformulación del PEGH, ya sea a través de medios propios o con apoyo externo al servicio, estableciendo:

- Revisión y/o actualización de los ejes y objetivos específicos del PEGH.
- Revisión y/o actualización de las iniciativas ya iniciadas, e incorporación de nuevas acciones, a corto/mediano/largo plazo.
- Si corresponde, actualización del Plan de Monitoreo asociado al PEGH.

11 CONCLUSIONES

El Objetivo general de este plan fue “Proponer un plan estratégico indicativo para la cuenca del río Biobío, para que en su realidad se pueda conocer la oferta y demanda actual de agua, establecer un balance hídrico y sus proyecciones a 30 años, diagnosticar el estado de información, infraestructura e instituciones que toman decisiones respecto al recurso hídrico, y proponer cartera de acciones DGA y de terceros público-privados”.

Inicialmente se realizó una Caracterización de la cuenca en su dimensión física que incluyó la dimensión administrativa, la geomorfología y la hidrografía. Al mismo tiempo se analizó el clima para toda la cuenca encontrando 18 distritos agroclimáticos. La precipitación y evapotranspiración ponderada para toda la cuenca resultó en 1.746 mm/año y 1.255 mm/año respectivamente. Se estudió la variación estacional de cada uno de los distritos y se analizó la ocurrencia de eventos extremos históricos y las proyecciones al 2050 de disminución de precipitación (90%) y aumento de temperatura en aproximadamente 1°C (bajo el escenario RCP85). Incluido en la caracterización de la cuenca se realizó una caracterización de la dimensión ambiental donde se analizaron los ecosistemas y la identificación de aguas fósiles en la cuenca además del estado actual de los glaciares. Se incorporó en esta caracterización el estado de la infraestructura hídrica donde se catastraron las obras hidráulicas existentes, encontrando 76 embalses (principalmente destinados a riego), 2200 canales cuya extensión alcanza los 4.800 km y 1.600 bocatomas donde unas 1.500 son de carácter transitorio. Se analizó el estado actual de las redes de medición y la calidad de la red, se evaluó la red hidrométrica superficial y subterránea, la red de calidad de agua y la información en glaciología y de Nieves. Se analizó la gobernanza en toda la cuenca, se evaluó el actual seccionamiento de cauces y de las OUA existentes. En la cuenca existen 4 Juntas de Vigilancia en diferentes grados de formación. Se analizó, en torno a la gobernanza, la integración de aguas superficiales y subterráneas, los conflictos en torno a la gestión, se elaboró un mapa de agentes y se analizaron las brechas que existen.

Similarmente, se analizó y comparó la Demanda de agua tanto física como la legal para los diferentes usos presentes en la cuenca. En la cuenca existen 5694 DAA subterráneos y superficiales (incluyendo consuntivos y no consuntivos). Se determinó el uso humano en agua potable urbana histórica y proyectada, también se analizó el agua potable rural utilizada en la cuenca histórica y proyectada y estos valores se compararon con los derechos de aprovechamiento de agua que existían para dicho consumo. Se documentaron las necesidades mínimas ambientales la consideración de sistemas protegidos, el uso del agua en flujos medioambientales, el uso de agua en usos recreacionales y los derechos de aprovechamiento para el medio ambiente o caudales ecológicos. Se determinó la demanda agrícola específicamente en las zonas de riego modeladas y con los cultivos que fueron modelados durante las simulaciones hidrológicas. Finalmente, se compraron los derechos de agua que existían para su uso en la agricultura. De forma similar se analizó la demanda minera y la demanda industrial comparándola con los derechos de agua asociados a estos rubros. Adicionalmente, se realizó un análisis del mercado del agua en la cuenca, para esto se utilizaron los registros de las transacciones que existían en los conservadores de bienes raíces presentes la cuenca, el análisis separó las transacciones para aguas superficiales y

para aguas subterráneas obteniendo valores medios por l/s de 11,9 UF y 12,5 UF respectivamente. Finalmente se evaluó la evolución en el número de transacciones que han ocurrido en la cuenca observando un aumento a partir del año 2005.

La Oferta Hídrica de agua se analizó separadamente para agua superficial y agua subterránea. Se caracterizó el sistema hidrológico superficial de la cuenca considerando el régimen natural y las alteraciones antropogénicas. El río Biobío tiene una extensión de más de 438 km y una superficie de la cuenca de 24268 km². Según la caracterización, el río Biobío posee las características propias de los principales ríos de la zona central de Chile que consiste en un río principal que cruza la cordillera de la costa a través de un Valle estrecho que se desarrolla entre San Rosendo y Concepción. Aguas arriba de San Rosendo, los afluentes principales del río Biobío son los ríos Laja, río Huaqui y río Duqueco por el norte y los ríos Vergara y río Bureo por el sur. Se analizó el estado de restricciones al uso del agua en la cuenca y según registros disponibles en el sitio web de la DGA el río Laja fue el primer río en Chile en declararse agotado en 1952. En términos de la oferta existe la propuesta de manejo del lago Laja donde la mesa acordó principios de operación que incluyen: determinar los volúmenes a distribuir durante cada temporada de acuerdo con los volúmenes almacenados en el lago la temporada anterior, no diferenciar derechos de agua entre los regantes, mantener un caudal mínimo como aporte para el salto del Laja y redefinir nuevos colchones de operación que reemplacen aquellos acordados en el convenio de 1958. En términos de calidad de agua superficial en la cuenca existe desde el año 2015 una norma secundaria. En la década del 90 ya existían altos niveles de compuestos nitrogenados a lo largo del río como amonio, nitrato y nitrógeno total principalmente y con menor frecuencia otros contaminantes. Actualmente además de compuestos nitrogenados también han aparecido niveles elevados de contaminantes fosforados como el ortofosfato y el fósforo total y con menor frecuencia otros como sulfatos y coliformes. La aparición de los contaminantes es estacional siendo en verano donde aparecen en mayores cantidades, a través del poco tiempo que se lleva estudiando la cuenca ésta ha sufrido alteraciones tanto en la calidad de las aguas superficiales como en la diversidad y distribución de la vida en el río y existe evidencia científica acerca de una serie de compuestos que aún no han sido incorporados en las actuales normativas y que sin duda están tributando en el deterioro del ecosistema. Finalmente, la actual presencia de elevados niveles de nitrógeno y fósforo pueden estar dados tanto por las descargas puntuales al río como por la importante actividad agrícola y forestal de la cuenca que puede generar contaminación difusa.

Respecto al agua subterránea los principales sistemas hidrogeológicos de la cuenca corresponden a un Sistema Andino que aporta recarga distribuida desde el frente de montaña, el Sistema Sedimentario que es la principal unidad de almacenamiento de agua subterránea y el Sistema Nahuelbuta que aporta localmente en recarga y cierra la parte baja de la cuenca. Por otro lado, la DGA ha identificado 9 sectores acuíferos dentro de la Cuenca Biobío inferior, Biobío medio, Biobío superior, alto Biobío, Laguna del Laja, río Laja Tavoleo, río Renaico y río Vergara. En la cuenca existen pocos registros de pozos de observación de agua subterránea, sin embargo, los niveles freáticos recolectados desde el año 2016 muestran niveles que se mantienen estables en el periodo donde se dispone información. Por otro lado, en general la calidad del agua subterránea es buena.

En cuanto a DAA superficiales consuntivos existen un total de 434 m³/s asignados a toda la cuenca siendo la subcuenca río Laja Alto quien posee la mayor cantidad de DAA del orden de 130 m³/s. En aguas subterráneas el total de la cuenca es de 15,9 m³/s siendo la subcuenca río Biobío entre Ríos Vergara y río Laja la subcuenca que posee la mayor cantidad de DAA con un total de 4,3 m³/s.

Para la modelación se seleccionó el modelo WEAP para los flujos de aguas superficiales y el modelo MODFLOW para el agua subterránea. El dominio de WEAP abarca toda la cuenca hidrográfica separando por sus cuencas en donde exista información. Por su parte la modelación de agua subterránea considera a los sectores acuíferos ubicados principalmente en el Valle central. WEAP requiere de datos climatológicos y de cobertura vegetal para estimar los componentes del balance hídrico. Mientras que MODFLOW requiere para su implementación i) la geometría y dominio del sistema a modelar y su malla para la resolución del problema mediante el método de diferencias finitas, ii) parámetros o propiedades físicas del sistema a modelar, iii) condiciones de borde en los límites del sistema y condiciones iniciales de funcionamiento y iv) la descripción de los forzantes del sistema para régimen no permanente. Para la calibración y validación se utilizaron 24 estaciones fluviométricas con al menos 10 años de registros continuos entre los años 1985-2016. De acuerdo con los índices de desempeño para la mayoría de las cuencas modeladas el modelo fue clasificado como "Bueno" o "Muy bueno". Los niveles freáticos mostraron también una buena correlación con los pozos de observación. Para la simulación de los escenarios futuros se utilizó el modelo CCSM4. En términos generales, en lo que respecta a niveles subterráneos, los hidrogramas muestran un descenso de éstos en el periodo 2019-2050, en relación con el periodo base (1993-2019). En lo que respecta a caudales superficiales, se observa, en la mayoría de las cuencas, una disminución. Los caudales más grandes (de menor probabilidad de excedencia) se reducen en aproximadamente un 10%, mientras que los caudales de estiaje se reducen en torno a 20%. También se observó un cambio en la variación estacional de los caudales. Se determinó la oferta sustentable considerando los criterios definidos por el Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos del DARH (DGA, 2008). Se calcularon caudales de diferente probabilidad de excedencia, junto con el caudal ecológico para cada punto de control del modelo y con ello se determinó la oferta superficial sustentable de derechos de aprovechamiento permanentes y eventuales. Se concluyó que la mayoría de las cuencas del valle central se detecta una sobreasignación de derechos de aprovechamiento de tipo permanente, en particular, en estiaje. En dichas cuencas se observa además que los caudales de estiaje son menores que aquellas con origen en la cordillera. En cambio, en la oferta de derechos eventuales no se identifica una sobreasignación de derechos de aprovechamiento. Finalmente se analizaron dos escenarios de gestión, uno para analizar la nueva regla de operación del Lago Laja y uno para estudiar la alternativa de utilizar los canales de riego como fuentes de recarga artificial SHAC Laja. En relación con la nueva regla de operación del lago Laja se observó que con esta regla los niveles del lago tienden a estar más estables en comparación a lo observado en el pasado. Se refleja en los niveles simulados una menor asignación de agua en periodos de bajas precipitaciones, y una mayor asignación en años hidrológicos favorables. En el escenario de recarga del SHAC Laja se modeló una recarga un 60% superior a la estimada sin modelar esta alternativa, por tanto,

la alternativa de gestión de recarga artificial de acuíferos resulta efectiva en casos de escenarios de escasez hídrica y/o de abatimiento de acuíferos.

Finalmente, el proceso de construcción participativa del plan de gestión estuvo orientado a identificar, con los distintos actores, las iniciativas que pudiesen disminuir las brechas identificadas en el diagnóstico. En este sentido durante el diagnóstico y las actividades PAC se definieron 9 líneas de acción. I) Fortalecimiento de Organizaciones de Usuarios de Aguas, ii) Gestión institucional y privada de la explotación de acuíferos, iii) Infraestructura hidráulica iv) Monitoreo de los recursos hídricos, v) Calidad de aguas vi) Riesgos asociados a las aguas de la cuenca vii) Información respecto al mercado del agua y DAA, viii) Ámbito social y cultural y ix) Iniciativas propuestas producto de actividades PAC. En cada línea se propusieron iniciativas sistematizadas en fichas donde se identifica la brecha a abordar, los objetivos, descripción de la iniciativa, montos y tiempo de inversión, entre otros aspectos. Se propusieron un total de 27 iniciativas a la cartera. Posteriormente a esta cartera se le aplicó una matriz de priorización, separando cuales podrían ser líneas de acción DGA y cuales asociadas a otras instituciones. Se realizó una valorización económica de cada una de ellas y un cronograma específico de ejecución a corto mediano y largo plazo. Finalmente se propuso un plan de monitoreo con indicadores para un correcto seguimiento del plan de gestión de la cuenca del río Biobío.

11 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ahumada. 2015. Biblioteca del Congreso Nacional | SIIT | Emergencia Agrícola 2015 por los efectos de la Sequía [Formulario]. Bcn.Cl. <https://www.bcn.cl/siit/actualidad-territorial/emergencia-agricola-2015-por-los-efectos-de-la-sequia>

Aguayo, M., Stehr, A., Link, O. 2016. Respuesta hidrológica de una cuenca de meso escala frente a futuros escenarios de expansión forestal. *Revista de Geografía Norte Grande*, 65, 197-214.

Alegría María Angélica y Valdés Fernando. "El agua y los pueblos originarios aymarás y atacameños". Dirección General de Aguas - Ministerio de Obras Públicas, Jornadas de Derecho de Aguas, Santiago de Chile, 2000.

Arcadis. (s. f.). Central Hidroeléctrica Angostura. Arcadis. Recuperado 21 de julio de 2020, de <https://www.arcadis.com/es-cl/chile/lo-que-hacemos/nuestros-proyectos/latin-america/chile/central-hidroelectrica-angostura/>

Arnold, J.G., Srinivasan, R., Muttiah, R.S. Williams, J.R. 1998 Large area hydrologic modeling and assessment - Part I: model development, *JAWRA*, 34, 73-89.

Arenas, J. 1995. Composición y distribución del macrozoobentos del curso principal del río Biobío, Chile. *Medio Ambiente*, 12(2), 39-50.

Arumí, J. L., Rivera, D., Muñoz, E., & Billib, M. 2012. Interacciones entre el agua superficial y subterránea en la región del Bío Bío de Chile. *Obras y proyectos*, (12), 4-13.

Arumí JL, H. Maureira, M. Souvignet, C. Pérez, D. Rivera & R. Oyarzún 2016: Where does the water go? Understanding geohydrological behaviour of Andean catchments in south-central Chile, *Hydrological Sciences Journal*, VOL. 61, NO. 5, 844–855 DOI: 10.1080/02626667.2014.934250

Arumí JL; Oyarzún R; Muñoz E; Rivera D; y Aguirre E. 2014. Caracterización de dos grupos de manantiales en el río Diguillín, Chile. *Water Technology and Sciences*. Vol. V, núm. 6, noviembre-diciembre de 2014, pp. 151-158

Barra, R., Popp, P., Quiroz, R., Treutler, HC, Araneda, A., Bauer, C., & Urrutia, R. 2006. Flujos de hidrocarburos aromáticos policíclicos durante los últimos 50 años observados en núcleos de sedimentos datados de lagos de montaña andina en el centro sur de Chile. *Ecotoxicología y seguridad ambiental* , 63 (1), 52-60.

Barbieri, M. 2019. Isótopos en hidrología e hidrogeología. *Agua* , 11 (2), 291.

Bertrán, C., Arenas, J., & Parra, O. 2001. Macrofauna del curso inferior y estuario del río Biobío (Chile): cambios asociados a ocasionales del caudal hídrico. *Revista chilena de historia natural* , 74 (2), 331-340.

Beltrán Romero, M. H. 2017. Calidad del agua del río Biobío a través de macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores: 20 años después.

Basualto, S., A. Acuña & O. Parra. 1992. Contribución de biomasa fitoplanctónica del río Bio-Bío en el golfo de Arauco (36°42'-37°00'S y 73°10'-73°25'W). *Rev. Biol. Mar.*, 27: 235-248.

BND. (s. f.). Pangué y Ralco—Memoria Chilena, Biblioteca Nacional de Chile. Memoria chilena. Recuperado 2 de agosto de 2020, de <http://www.memoriachilena.gob.cl/602/w3-article-96731.html>

Bozkurt, D., Rojas, M., Boisier, J. P., Valdivieso, J. 2017. Climate change impacts on hydroclimatic regimes and extremes over Andean basins in central Chile. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss*, 2017, 1-29.

Brown Ernesto. "INVESTIGACIÓN SISTÉMICA SOBRE REGÍMENES DE GESTIÓN DEL AGUA - EL CASO DE CHILE. Sistema de administración. GWP. 2004.

Bucak, T., Trolle, D., Andersen, H. E., Thodsen, H., Erdoğan, Ş., Levi, E. E., Filiz, N., Jeppesen, E., & Beklioğlu, M. 2017. Future water availability in the largest freshwater Mediterranean lake is at great risk as evidenced from simulations with the SWAT model. *Science of The Total Environment*, 581-582, 413-425. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.149>

Buchi Hernán. "LA TRANSFORMACIÓN ECONÓMICA DE CHILE: DEL ESTATISMO A LA LIBERTAD ECONÓMICA". Grupo Editorial Norma. Santiago de Chile, 1993.

Campos, H., Alay, F., Ruiz, V., Gavilán, J. 1993. Antecedentes biológicos de la fauna íctica presente en la hoya hidrográfica del río Biobío. En: *Seminario Limnología y Evaluación de Impacto Ambiental* (Eds. Faranda F, Parra O). Ediciones Centro EULA-Chile, Universidad de Concepción, Chile. 70-72.

Cancino, S. (2011). Variación espacio-temporal de comunidades fitoplanctónicas en el continuo río-mar, en relación a los nutrientes inorgánicos. *Congreso de ciencias del mar*.

Cayuqueo, P. (2006, marzo 20). Amplio respaldo a marcha mapuche por el agua. *América Latina en movimiento*. <https://www.alainet.org/es/active/10920>

Centro de Cambio Global-Universidad Católica de Chile, Stockholm Environment Institute. 2009. Guía Metodológica – Modelación Hidrológica y de Recursos Hídricos con el Modelo WEAP.

Chamorro, S., Hernández, V., Matamoros, V., Domínguez, C., Becerra, J., Vidal, G., & Bayona, J. M. (2013). Chemical characterization of organic microcontaminant sources and biological effects in riverine sediments impacted by urban sewage and pulp mill discharges. *Chemosphere*, 90(2), 611-619.

Chen, H., Ma, L., Guo, W., Yang, Y., Guo, T., & Feng, C. 2013. Linking Water Quality and Quantity in Environmental Flow Assessment in Deteriorated Ecosystems: A Food Web View. *PLOS ONE*, 8(7), e70537. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0070537>

Chow, V. T., Maidment, D. R., Mays, L. W. 1994. *Hidrología Aplicada*. Bogotá: McGraw-Hill.

CNR. 1998. Proyecto Canal Laja-Diguillin Informe. Sociedad de Ingeniería y Planificación Ltda. Chile.

CNR. 2003. Diagnóstico actual del riego y drenaje en Chile y su proyección. Informe final. Diagnóstico del riego y drenaje en la VIII Región. <http://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/123456789/9342>

CNR. 2017a. Estudio básico Diagnóstico para desarrollar plan de riego en Cuenca del Biobío. Informe final. <http://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/123456789/26762>

CNR. 2017b. Estudio básico. Diagnóstico del estado actual de los tranques CORA VIII y IX región. Ministerio de Agricultura. <http://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/123456789/26782>

CNR. "ESTUDIO BÁSICO DIAGNÓSTICO SITUACIÓN LEGAL DE LAS ORGANIZACIONES DE USUARIOS DEL AGUA (OUA) REGIONES IX, XIV Y X", Santiago de Chile, 2013.

CNR. "MANUAL AVANZADO PARA PROFESIONALES DE LAS ORGANIZACIONES DE USUARIOS DE AGUAS". Santiago de Chile, 2018.

CNR. ESTUDIO BÁSICO DIAGNÓSTICO PARA DESARROLLAR PLAN DE RIEGO EN LA REGIÓN DE LA ARAUCANÍA". Santiago de Chile, 2017.

Código Civil. Biblioteca del Congreso Nacional, mayo de 2020.

Código de Aguas. Biblioteca del Congreso Nacional, enero de 2018.

Colbún, A. 2008. Resumen Ejecutivo, EIA Proyecto central hidroeléctrica Angostura. <https://seia.sea.gob.cl/documentos/documento.php?idDocumento=3142188>

CONADI. "REGISTRO DE COMUNIDADES Y ASOCIACIONES INDÍGENAS". <http://siic.conadi.cl/>.

Dawson, C. W., R. J. Abrahart and L. M. See 2007, HydroTest: A web-based toolbox of evaluation metrics for the standardised assessment of hydrological forecasts, Environmental Modelling & Software, 22, 1034-1052

Daza, G., Peñas, F. y Muñoz, E. 2017. Análisis espacial de variables ambientales a través del desarrollo y estudio de cuencas virtuales en Chile (Tesis de Pregrado). Universidad Católica de la Santísima Concepción, Concepción, Chile.

De Pesca, S. 2015. Informe Técnico AMERB Nº 008/2015. Evaluación técnica 6º informe de seguimiento.

Demaria, E. M. C., Maurer, E. P., Thrasher, B., Vicuña, S., Meza, F. J. 2013. Climate change impacts on an alpine watershed in Chile: Do new model projections change the story?. Journal of hydrology, 502, 128-138.

DGA. 2013. Levantamiento hidrogeológico en cuencas pluviales costeras en la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins y Región del Bío-bío. Realizado por Aqualogy Medioambiente Chile S.A. Para la Dirección General de Aguas.

DGA. 1987. Balance hidrológico de Chile. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas. Santiago, Chile.

DGA. 1991. Estudio de síntesis de Catastros de usuarios de agua e infraestructuras de aprovechamiento. Ministerio de Obras Públicas. <http://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/123456789/2427>

DGA. 2000. Levantamiento de bocatomas en cauces naturales. <http://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/123456789/2756>

DGA. 2004. Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad: Cuenca del río Imperial. Dirección General de Aguas Ministerio de Obras Públicas Santiago.

DGA. 2004. Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Cuenca del río Biobío. Dirección General de Aguas, Santiago, Chile.

DGA. 2008. Manual de Normas y Procedimientos para la administración de Recursos Hídricos DGA

DGA. 2009. Informe técnico DEP N° 03. Caudal de reserva para abastecimiento de la población en la cuenca del río Queuco, región del Biobío. Ministerio de Obras Públicas.

DGA. 2010. Aplicación de modelación superficial en cuencas pluviales de las regiones del Maule, Bío bío y la Araucanía. Ministerio de Obras Públicas.

DGA. 2011. Estudio Hidrogeológico Cuencas Bío Bío e Itata. Ministerio de Obras Públicas; Dirección General de Aguas, Santiago, Chile. Disponible en internet en: <http://documentos.dga.cl/SUB5348v1.pdf>

DGA. 2012. Estudio hidrogeológico cuenca Bío Bío (S.I.T. N° 297). DGA. <https://snia.mop.gob.cl/sad/SUB5433v1.pdf>

DGA. 2014. Inventario Publico de Glaciares (IPG). Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas. Santiago, Chile.

DGA. 2016. Atlas del agua -Chile 2016. Santiago, MOP.

DGA. 2017. ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA ACTUAL, PROYECCIONES FUTURAS Y CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN CHILE. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas. Santiago, Chile.

DGA. 2018. "DIAGNÓSTICO NACIONAL DE ORGANIZACIONES DE USUARIOS DE AGUAS". SIT 422. Santiago de Chile, agosto de 2018.

DGA. 2018a. Análisis de Mercados de Derechos de Aprovechamientos de Aguas en Chile (p. 90).

DGA. 2018b. SUSTENABILIDAD DE ASENTAMIENTOS HUMANOS RURALES EN CHILE. ANALISIS DESDE LOS COMITÉS DE AGUA POTABLE RURAL- CUENCA DEL COPIAPÓ, HUASCO Y QUEBRADA TOTORAL (Y COSTERAS HASTA QUEBRADA CARRIZAL). 93.

DGA. 2019. "APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE ACTUALIZACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO NACIONAL EN LAS CUENCAS DE LA MACROZONA SUR Y PARTE NORTE DE LA MACROZONA AUSTRAL", diciembre de 2019.

DGA. 2019a. Desarrollo de Herramienta para el Análisis de Gestión en el Marco del Plan Nacional de Recursos Hídricos, SIT N° 445 desarrollado por DICTUC S.A. & SEI. Santiago de Chile.

DGA. 2019b. Migración de modelos hidrogeológicos desarrollados en VISUAL-MODFLOW y GROUNDWATER VISTAS hacia su estado nativo de código MODFLOW. SIT N° 447 desarrollado por Pontificia Universidad Católica. Santiago de Chile.

DGA. 2020a. Plan estratégico de gestión hídrica en la cuenca de Aconcagua. Noviembre 2020.

DGA. 2020b. Plan estratégico de gestión hídrica en la cuenca de Limarí. Noviembre 2020.

DGA. 2020c. Plan estratégico de gestión hídrica en la cuenca de Choapa. Noviembre 2020.

DGA. 2020d. Plan estratégico de gestión hídrica en la cuenca de Elqui. Noviembre 2020.

DGA. 2019. Diagnóstico de la calidad de las aguas subterráneas de las regiones de Ñuble y del Biobío. Ministerio de Obras Públicas.

DGA. "Página web del registro público de organizaciones de usuarios": <https://dga.mop.gob.cl/administracionrecursosshidricos/OU/Paginas/default.aspx>.

Diario Concepción. "EL MILLONARIO NEGOCIO DE VENTAS DE DERECHOS DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO Y REGADÍOS EN BIOBÍO". 19 de enero de 2020: <https://www.diarioconcepcion.cl/economia/2020/01/19/el-millonario-negocio-de-ventas-de-derechos-de-agua-para-consumo-humano-y-regadios-en-bio-bio.html>.

Díaz Arellano, P., Jaque Castillo, E., Ojeda, C. G., Díaz Arellano, P., Jaque Castillo, E., & Ojeda, C. G. 2018. HIDRIC RESOURCE PRESSURE IN HIGH MOUNTAIN LAKE ENVIRONMENTS: BETWEEN CLIMATE CHANGE AND ENERGY DEVELOPMENT. LAGUNA DEL LAJA, CHILE. *Diálogo andino*, 55, 143-158. <https://doi.org/10.4067/S0719-26812018000100143>

Donoso Guillermo, Jouravlev Andrei, Peña Humberto, Zegarra Eduardo. "MERCADO (DE DERECHOS) DE AGUA: EXPERIENCIAS Y PROPUESTAS EN AMÉRICA DEL SUR". CEPAL. División de Recursos Naturales e Infraestructura. Santiago de Chile. 2004.

Dourojeanni Axel, Jouravlev Andrei. "EL CÓDIGO DE AGUAS DE CHILE: ENTRE LA IDEOLOGÍA Y LA REALIDAD". CEPAL, División de Recursos Naturales e Infraestructura. Santiago de Chile, octubre de 1999.

Duhart Daniela. 2019. "DEBILIDAD INSTITUCIONAL EN LA GESTIÓN DE LAS AGUAS EN CHILE: REFLEXIONES A PARTIR DEL ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE INGLATERRA Y AUSTRALIA (NEW SOUTH WALES) Y OTRAS EXPERIENCIAS COMPARADAS". La regulación de las aguas: nuevos desafíos del siglo XXI. Actas de las II Jornadas del régimen jurídico de las aguas, Costa, Ezio; Montenegro, Sergio (dir.), DER Ediciones. pp. 3-46.

Duhart Daniela. "GESTIÓN INSTITUCIONAL DEL AGUA: ALGUNAS EXPERIENCIAS COMPARADAS", revista de derecho ambiental. Año IX, N° 9, diciembre 2017.

E. Muñoz, J. L. Arumí, T. Wagener, R. Oyarzún, and V. Parra 2016, Unraveling complex hydrogeological processes in Andean basins in south-central Chile: An integrated assessment to understand hydrological dissimilarity, *Hydrol. Process.*, doi: 10.1002/hyp.11032

EMOL. 05 de mayo de 2018: <https://www.emol.com/noticias/Nacional/2018/05/05/905013/Mapa-Camina-Alto-Biobio-y-Colchane-son-las-comunas-con-un-porcentaje-mayor-de-poblacion-de-pueblos-origenarios.html>

ENDESA, & Electrowatt Ingenieros Consultores (Chile) S.A. 1996. Resumen ejecutivo. Evaluación de impacto ambiental, central hidroeléctrica Ralco. https://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?id_expediente=56&iidExpediente=56

Equipo Nizkor. 2000, enero. El Proyecto Ralco de ENDESA en Chile: Un caso de genocidio. <http://www.derechos.org/nizkor/espana/doc/endesa/arcis.html>

Espinosa Marín, J. A. Evaluación de la vulnerabilidad climática de la cuenca del río Limarí usando un modelo semidistribuido SWAT. Universidad de Concepción, 2010, Chillán, Chile. (Tesis de Doctorado).

Estatutos de la Junta de Vigilancia del Río Malleco y sus Afluentes. DGA.

Falvey, M. y Garreaud, RD 2005. Variabilidad de la humedad sobre el altiplano sudamericano durante la temporada de observación del experimento de chorro de

bajo nivel sudamericano (SALLJEX). Revista de Investigación Geofísica: Atmósferas , 110 (D22).

Fiege, K., Miller, CA, Robinson, LF, Figueroa, R. y Peucker-Ehrenbrink, B. 2009. Isótopos de estroncio en ríos chilenos: el flujo de Sr continental no radiogénico al agua de mar. Geología química , 268 (3-4), 337-343.

Figueroa, R., Valdovinos, C., Araya, E., Parra, O. 2003. Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua de ríos del sur de Chile. Revista Chilena de Historia Natural. 76, 275-285.

Figueroa, R., Palma, A., Ruiz, V., Niell, X. 2007. Análisis comparativo de índices bióticos utilizados en la evaluación de la calidad de las aguas en un río mediterráneo de Chile: río Chillán, VIII Región. Revista Chilena de Historia Natural. 80, 225-242.

Fuente: Emol.com -
<https://www.emol.com/noticias/Nacional/2018/05/05/905013/Mapa-Camina-Alto-Biobio-y-Colchane-son-las-comunas-con-un-porcentaje-mayor-de-poblacion-de-pueblos-originarios.html>

Fundación Chile. "RADIOGRAFÍA DEL AGUA: BRECHA Y RIESGO HÍDRICO EN CHILE", junio 2018.

Gabay Mónica. "APUNTES SOBRE LA GOBERNANZA DEL AGUA EN ARGENTINA". Gobernanza del agua en un contexto iberoamericano. Sao Paulo, Brasil, 2015.

Gajardo Michell, R. 1994. La vegetación natural de Chile. Clasificación y distribución geográfica. Santiago, Chile: Editorial Universitaria.

Galleguillos, M., Zambrano, M., Puelma, C., & Jopia, A. 2017. Evaluación espaciotemporal del déficit hídrico para las cuencas de Chile a partir de información satelital. Escenarios Hídricos, 2030.

Gambardella, B., Cardellini, C., Chiodini, G., Frondini, F., Marini, L., Ottonello, G., & Zuccolini, M. V. (2004). Fluxes of deep CO₂ in the volcanic areas of central-southern Italy. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 136(1-2), 31-52.

García María del Pilar. "Los derechos a la naturaleza pueden ser más humo que protección". Entrevista publicada en La Silla Académica. Febrero de 2020: <https://lasillavacia.com/silla-academica/universidad-externado-colombia/los-derechos-naturaleza-pueden-ser-mas-humo>.

Garreaud, R. D., Alvarez-Garretón, C., Barichivich, J., Boisier, J. P., Christie, D., Galleguillos, M., LeQuesne, C., McPhee, J., & Zambrano-Bigiarini, M. 2017. The 2010–2015 megadrought in central Chile: Impacts on regional hydroclimate and vegetation. Hydrology and Earth System Sciences, 21(12), 6307-6327. <https://doi.org/10.5194/hess-21-6307-2017>

Garreaud, R. D., Boisier, J. P., Rondanelli, R., Montecinos, A., Sepúlveda, H. H., & Veloso-Aguila, D. 2020. The Central Chile Mega Drought (2010–2018): A climate dynamics perspective. International Journal of Climatology, 40(1), 421-439. <https://doi.org/10.1002/joc.6219>

Garreaud, R., M. Falvey, and A. Montecinos, 2016: Orographic Precipitation in Coastal Southern Chile: Mean Distribution, Temporal Variability, and Linear Contribution. J. Hydrometeor., 17, 1185–1202, <https://doi.org/10.1175/JHM-D-15-0170.1>

Griffioen, J. 2001. Relaciones de adsorción de potasio como indicador del destino del potasio agrícola en las aguas subterráneas. Diario de hidrología , 254 (1-4), 244-254.

Gutiérrez Ricardo. "TEORÍA Y PRAXIS DE LOS DERECHOS AMBIENTALES EN ARGENTINA". Temas y debates 30/año 19/julio-diciembre 2015/pp 13 a 36.

Habit, E., Belk, M., Tuckfield, C., Parra, O. 2006a. Response of the fish community to human-induced changes in the Biobío River in Chile. *Freshwater Biology*. 51(1), 1 – 11.

Harbaugh, A.W. 2005. MODFLOW-2005, The U.S. Geological Survey Modular Ground-Water Model—the Ground-Water Flow Process. U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6-A16.

Harlin, J. 1991. Development of a process oriented calibration scheme for the HBV hydrological model. *Nord. Hydrol.* 1991, 22, 15–36. doi:10.2166/nh.1991.0002.

Horan, R.; Rickards, N.J.; Kaelin, A.; Baron, H.E.; Thomas, T.; Keller, V.D.J.; Mishra, P.K.; Nema, M.K.; Muddu, S.; Garg, K.K.; Pathak, R.; Houghton-Carr, H.A.; Dixon, H.; Jain, S.K.; Rees, G. Extending a Large-Scale Model to Better Represent Water Resources without Increasing the Model's Complexity. *Water* 2021, 13, 3067. <https://doi.org/10.3390/w13213067>

INDAP y CNR. "PROYECTO "FORTALECIMIENTO DE LA GESTIÓN PRIVADA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DEL RÍO RENAICO, REGIONES DEL BIO BÍO Y ARAUCANÍA", Santiago de Chile, 2013.

Jouravlev Andrei. "LOS MUNICIPIOS Y LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS". CEPAL, División de Recursos Naturales e Infraestructura. Santiago de Chile, noviembre de 2003.

Kilroy, C., Larned, ST y Biggs, BJF 2009. La diatomea no autóctona *Didymosphenia geminata* altera las comunidades bentónicas en los ríos de Nueva Zelanda. *Biología de agua dulce* , 54 (9), 1990-2002.

Kiparsky, M., Owen, D., Nylen, N. M. G., Doremus, H., Christian-Smith, J., Cosens, B. A., Fisher, A. T., & Milman, A. 2016. Designing Effective Groundwater Sustainability Agencies: Criteria for Evaluation of Local Governance Options. Undefined. /paper/Designing-Effective-Groundwater-Sustainability-for-Kiparsky-Owen/69a15c8682958275c01c0defe74b19117443507f

Krogh, S. A., Pomeroy, J. W., McPhee, J. 2015. Physically based mountain hydrological modeling using reanalysis data in Patagonia. *Journal of Hydrometeorology*, 16, 172-193.

Kundu, S., Khare, D., & Mondal, A. 2017. Individual and combined impacts of future climate and land use changes on the water balance. *Ecological Engineering*, 105, 42-57. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.04.061>

La pesquería, D. E. (2014). Informe Técnico (R. Pesq.) N 083/2014.

La Tribuna. 2020, enero 16. Acuerdo por las aguas del Laja en su peor momento: "Esto no es solo culpa del clima". La Tribuna. <https://www.latribuna.cl/cronica/2020/01/16/acuerdo-por-las-aguas-del-laja-en-su-peor-momento-esto-no-es-solo-culpa-del-clima.html>

Lee, T. R., & Juravlev, A. S. 1998. Los precios, la propiedad y los mercados en la asignación del agua. 100.

Léniz, B., Vargas, C. A., & Ahumada, R. 2012. Characterization and comparison of microphytoplankton biomass in the lower reaches of the Biobío River and the adjacent

coastal area off Central Chile during autumn-winter conditions. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 40(4), 847-857.

Ley 19.253. "ESTABLECE NORMAS SOBRE PROTECCION, FOMENTO Y DESARROLLO DE LOS INDIGENAS, Y CREA LA CORPORACION NACIONAL DE DESARROLLO INDIGENA". Biblioteca del Congreso Nacional, julio de 2020.

Taucare, M., Daniele, L., Viguier, B., Vallejos, A., & Arancibia, G. 2020. Recursos hídricos subterráneos y procesos de recarga en el Frente Andino Occidental de Chile Central. *Ciencia del Medio Ambiente Total* , 722 , 137824.

Mandujano Nicolás y Crocco Juan José. GOBERNANZA Y DERECHO DE AGUAS EN CHILE. Universidad Autónoma de Chile, 2017.

Markovich, K., H. Dahlke, J.L. Arumí, R. Maxwell and G. E. Fogg. 2019. Bayesian hydrograph separation in a minimally gauged alpine watershed in central Chile. *Journal of Hydrology*, 575, pp 1288-1300. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.06.014>. IP 3.727)

McDonald, M.G., Harbaugh, A.W. A Modular Three-Dimensional Finite-Difference Ground-Water Flow Model; Scientific Publications Company: Reston, VA, USA, 1984.

McPhee, J., Videla, Y. 2014. Combining point and distributed snowpack data with landscape-based discretization for hydrologic modeling of the snow-dominated Maipo River basin, in the semi-arid Andes of Central Chile. In EGU General Assembly Conference Abstracts (Vol. 16).

Medina, Y., Muñoz, E. 2020. Estimation of Annual Maximum and Minimum Flow Trends in a Data-Scarce Basin. Case Study of the Allipén River Watershed, Chile. *Water*, 12, 162.

Melo Ovidio, "EXPERIENCIAS DE INTEGRACIÓN DE LA GESTIÓN DE LAS AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS". Revista AGRYD N°30, Santiago de Chile, diciembre de 2019.

Melo Ovidio. "LA GOBERNANZA DEL AGUA EN CHILE – UNA VISIÓN DESARROLLADA A PARTIR DEL FORTALECIMIENTO DE LAS ORGANIZACIONES DE USUARIOS DE AGUAS". Gobernanza del agua en un contexto iberoamericano. Sao Paulo, Brasil, 2015.

Méndez Nestor. "NUEVOS SUJETOS EN EL DERECHO AMBIENTAL, UN TEMA DE ALTA ACTUALIDAD". Agosto de 2019.

Minagri. 2013. [en línea] <https://ide.minagri.gob.cl/geoweb/2019/11/22/planificacion-catastral/> Consulta :14 mayo 2021]

Molina Raul. "DESCRIPCIÓN DE LAS COMUNIDADES PEWENCHE DEL QUEUCO Y ALTO BIOBÍO". Ralco, modernidad o etnocidio en Territorio mapuche. Roberto Morales (Compilador), Instituto de Estudios Indígenas, Universidad de La Frontera, Temuco, Chile, 1998.

Mostrador, E. 2019, octubre 14. ¿Quién da más por el Renaico y el Queuco? El insólito remate de ríos y esteros en plena crisis hídrica. El Mostrador. <https://www.elmostrador.cl/noticias/pais/2019/10/14/quien-da-mas-por-el-renaico-y-el-queuco-el-insolito-remate-de-rios-y-esteros-en-plena-crisis-hidrica/>

Ministerio de Medio Ambiente (MMA). 2016. Monitoreo para la vigilancia de la norma secundaria de calidad de aguas de la cuenca del río Biobío. Centro de Ciencias Ambientales EULA-Chile.

Mundial, B. 2011. Diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos. Santiago: Publicación del.

Muñoz, MD y Urrutia, R. 2000. Ambiente y territorio en el proyecto Costanera del río Biobío. Urbano , Centro EULA. 3 (3), 23-31.

Muñoz, E., Mendoza, G. y Valdovinos, C. 2001. Evaluación rápida de la biodiversidad en cinco sistemas lénticos de Chile central: macroinvertebrados bentónicos. Gayana (concepción) , 65 (2), 173-180.

Muñoz, R., Köllner, C., Guieysse, B., & Mattiasson, B. 2003. Salicylate biodegradation by various algal-bacterial consortia under photosynthetic oxygenation. Biotechnology letters, 25(22), 1905-1911.

Muñoz, E. 2010. Desarrollo de un modelo hidrológico como herramienta de apoyo para la gestión del agua. Aplicación a la cuenca del Río Laja, Chile. Universidad de Cantabria, febrero de 2010, Santander, España. (Tesis de Máster).

Muñoz, E., Arumí, J. L., Rivera, D., Montecinos, A., Billib, M., Álvarez, C. 2014c. Gridded data for a hydrological model in a scarce-data basin. In Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water Management, 167, 249-258. Thomas Telford Ltd.

Muñoz, E., Acuña, M., Lucero, J., & Rojas, I. 2018. Correction of precipitation records through inverse modeling in watersheds of south-central Chile. Water, 10(8), 1092.

Muñoz, E., Guzmán, C., Medina, Y., Boll, J., Parra, V., & Arumí, J. L. 2019. An Adaptive Basin Management Rule to Improve Water Allocation Resilience under Climate Variability and Change—A Case Study in the Laja Lake Basin in Southern Chile. Water, 11(8), 1733. <https://doi.org/10.3390/w11081733>

Muñoz, E., Rivera, D., Vergara, F., Tume, P., Arumí, J. L. 2014a. Identifiability analysis: towards constrained equifinality and reduced uncertainty in a conceptual model. Hydrological Sciences Journal, 59, 1690-1703.

Muñoz, E., Tume, P., Ortiz, G. 2014b. Uncertainty in rainfall input data in a conceptual water balance model: effects on outputs and implications for predictability. Earth Sciences Research Journal, 18, 69-75.

OCDE. "PRINCIPIOS DE GOBERNANZA DEL AGUA DE LA OCDE". Comité de Políticas de Desarrollo Regional de la OCDE, 11 de mayo de 2015.

ODEPA. 2016. Protocolo de agricultura sustentable. Oficina de Estudios y Política Agrarias, Ministerio de Agricultura. <http://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/123456789/26445>

ONEMI. (s. f.). Planes Nacionales. ONEMI: Ministerio del Interior y Seguridad Pública -. Recuperado 2 de agosto de 2020, de <https://www.onemi.gov.cl/planes-nacionales/>

Orrego, R., Burgos, A., Moraga-Cid, G., Inzunza, B., González, M., Valenzuela, A., Barra, R., Gavilán, J.A. 2006. Effects of pulp and paper mill discharges on caged rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): Biomarker responses along a pollution gradient in the Biobío River, Chile. Environmental Toxicology and Chemistry. 25, 2280-2287.

Orrego, R., Guchardi, J., Hernandez, V., Krause, R., Roti, L., Armour, J., Ganeshakumar, M., Holdway, D. 2009. Pulp and paper mill effluent treatments have differential endocrine-disrupting effects on rainbow trout. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 28, 181–188.

Parra, O., Chuecas, L., Campos, H., Vighi, M., Vismara, R. 1993. Caracterización física y química y evaluación de la calidad para uso múltiple del agua del río Biobío (Chile Central). En: *Evaluación de la calidad del agua y ecológica del sistema limnético y fluvial del río Biobío* (F., Faranda y O., Parra, Eds.). Serie Monografías Científicas, vol. 2, Centro EULA, Universidad de Concepción, Chile.

Parra, O. & C. M. Bicudo. 1996. *Algas de Aguas Continentales: Introducción a la Biología y Sistemática*. Ediciones Universidad de Concepción. 268 pp.

Parra, O., Figueroa, R., Valdovinos, C., Habit, E., Díaz, M.E. 2013. Programa de monitoreo de calidad del agua del sistema río Biobío 1994-2012: Aplicación del anteproyecto de norma de la calidad del agua del río Biobío. Editorial Universidad de Concepción.

Parra, V., Arumí, J. L., Muñoz, E. 2019. Identifying a Suitable Model for Low-Flow Simulation in Watersheds of South-Central Chile: A Study Based on a Sensitivity Analysis. *Water*, 11, 1506.

Parra, V., J. L. Arumí, E. Muñoz, J. Paredes. 2019. Characterization of the groundwater storage systems in south-central Chile: An approach based on recession flow analysis. *Water* 2019, 11, 2324; doi:10.3390/w11112324.

Parra, V.; Fuentes-Aguilera, P.; Muñoz, E. 2018. Identifying advantages and drawbacks of two hydrological models based on a sensitivity analysis: a study in two Chilean watersheds. *Hydrolog. Sci. J.* 2018, 63, 1831–1843. doi:10.1080/02626667.2018.1538593.

Peña Humberto. "GESTIÓN INTEGRADA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN CHILE". Documento presentado en el taller nacional Hacia un Plan Nacional de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos. Chile, 2003.

Pizarro, R. 1993. Elementos Técnicos de Hidrología III. Proyecto Regional Mayor sobre Uso y Conservación de Recursos Hídricos en Areas Rurales de América Latina y el Caribe. Universidad de Talca, Talca, Chile. 135 p.

Pizarro, J., Vergara, P. M., Rodríguez, J. A., Sanhueza, P. A., & Castro, S. A. 2010. Nutrients dynamics in the main river basins of the centre-southern region of Chile. *Journal of Hazardous Materials*, 175(1-3), 608-613.

Poblete, D., Vicuña, S., Meza, F., Bustos, E. 2012. Water resources modeling under Climate Change scenarios of Maule River Basin (Chile) with two main water intensive and competing sectors: Agriculture and Hydropower Generation. In *IWA World Congress on Water, Climate and Energy*.

Pochat Víctor. "ENTIDADES DE GESTIÓN DEL AGUA A NIVEL DE CUENCAS: EXPERIENCIA DE ARGENTINA". CEPAL, Recursos Naturales e Infraestructura, Santiago de Chile, 2005.

Pozo, K., Gomez, V., Torres, M., Vera, L., Nuñez, D., Oyarzún, P., ... & Klanová, J. 2019. Presencia y caracterización de microplásticos en peces de importancia comercial de la región del Biobío en Chile central. *Boletín de contaminación marina*, 140, 315-319.

Raddatz Delgado, D. A. Efecto del cambio climático en la seguridad hidrológica de obras hidráulicas. Análisis en cuencas pluviales de la Zona Central de Chile para el Escenario A2. Universidad de Chile, 2011, Santiago, Chile. (Tesis Pregrado).

Reynolds Vargas, J., Fraile Merino, J., & Hirata, R. 2013. Tendencias en las concentraciones de nitratos y determinación de sus orígenes usando isótopos estables (^{18}O y ^{15}N) en el agua subterránea de la parte oeste del Valle Central, Costa Rica.

Retamal, M.R., Melo, O., Arumí, J.L., Parra O. 2012. " SUSTAINABLE WATER GOVERNANCE AND CLIMATE CHANGE IN CHILE: FROM THE SECTORAL MANAGEMENT SYSTEM TO AN INTEGRATED ONE?". Department Water Resources, Faculty of Agricultura Engineering, University of Concepción, Chile. Environmental, Political and Social Issues. Nova Science Publishers.

Retamal, M. R., Andreoli, A., Arumi, J. L., Rojas, J., & Parra, O. (2013). Gobernanza del agua y cambio climático: fortalezas y debilidades del actual sistema de gestión del agua en Chile. Análisis interno. Interciencia, 38(1), 8-16.

Ricardo Oyarzun, PhD; Jorge Oyarzún, DSc; Jerry P. Fairley, PhD; Jorge Núñez, Dr.; Nora Gómez; Jose Arumí L Arumí, PhD; Hugo Maturana. 2017. A simple approach for the analysis of the structural-geologic control of groundwater in an arid rural, mid-mountain, granitic and volcanic-sedimentary terrain: The case of the Coquimbo Region, North-Central Chile, Journal of Arid Environments 2017), <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2017.03.003>

Riffo, A., Peñas, F. y Muñoz, E. 2017. Clasificación de los regímenes de caudales naturales en los ríos de Chile (Tesis de Pregrado). Universidad Católica de la Santísima Concepción, Concepción, Chile.

Rivera, P., Basualto, S. y Cruces, F. 2013. Acerca de la diatomea *Didymosphenia geminata* (Lyngbye) M. Schmidt: su morfología y distribución en Chile. Gayana. Botánica , 70 (1), 154-158.

Rizzo, L., Malato, S., Antakyali, D., Beretsou, VG, Đolić, MB, Gernjak, W., ... & Fatta-Kassinos, D. 2019. Métodos de tratamiento avanzados consolidados frente a nuevos para la eliminación de contaminantes de preocupación emergente de las aguas residuales urbanas. Ciencia del Medio Ambiente Total , 655 , 986-1008.

Rojas, O., Mardones, M., Arumí, J. L., & Aguayo, M. 2014. Una revisión de inundaciones fluviales en Chile, período 1574-2012: causas, recurrencia y efectos geográficos. Revista de Geografía Norte Grande, (57), 177-192.

Rozas, O., Vidal, C., Baeza, C., Jardim, WF, Rossner, A., & Mansilla, HD 2016. Microcontaminantes orgánicos (OMPs) en aguas naturales: Oxidación por tratamiento UV/H₂O₂ y evaluación de toxicidad. Investigación del agua , 98 , 109-118.

Ruelland, D., Dezetter, A., Hublart, P. 2014. Sensitivity analysis of hydrological modelling to climate forcing in a semi-arid mountainous catchment. In Hydrology in a Changing World: Environmental and Human Dimensions, Proc. 7th FRIEND Int. Conf., Montpellier, France (pp. 24-28).

Sandoval, E., Giacomo Baldo, Jorge Núñez, Jorge Oyarzún, Jerry P. Fairley, Hoori Ajami, José Luis Arumí, Evelyn Aguirre, Hugo Maturana & Ricardo Oyarzún (2018) Groundwater recharge assessment in a rural, arid, mid-mountain basin in North-Central Chile, Hydrological Sciences Journal, 63:13-14, 1873-1889, DOI: 10.1080/02626667.2018.1545095

Sandoval, Julio. 2003. El Riego en Chile. Dirección de obras hidráulicas, Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile.

Santibáñez, F. 2017. Atlas agroclimático de Chile. Estado actual y tendencias del clima. Retrieved from Santiago de Chile. <http://www.agrimed.cl/images/contenido/Tomo4.pdf>.

Sanzana. P., Aguirre I. Villegas R. 2020. Extracto: Curso Capacitación "Modelación Integrada Superficial y Subterránea Enfoques y casos de aplicación utilizando WEAP-MODFLOW". CEAZA 2020. Clase-Tutorial 8: Criterios de Sustentabilidad de Acuífero: Estrategias para abordarlos mediante librería Python: FloPy (Extracción de datos de Balances y Niveles). Rutina Python.

Sanzana, P., Moncada, A., Vicuña, S., Purkey, D., Suárez, F., Muñoz, J. F., & Gironás, J. 2021. Consideraciones Metodológicas para la Modelación Integrada Superficial y Subterránea en Planes de Gestión Hídrica a partir de proyectos realizados en Chile. URL: <https://libros.uchile.cl/files/presses/1/monographs/1185/submission/proof/54/index.html>.

Saavedra Mondaca, M. F. 2015. Evaluación de los efectos de efluentes de plantas tratamiento de aguas servidas sobre oncorhynchus mykiss mediante el uso de experimentos de laboratorio y terreno en la cuenca del río Bío-Bío.

Segovia Macarena. "¿QUIÉN DA MÁS POR EL RENAICO Y EL QUEUCO? EL INSÓLITO REMATE DE RÍOS Y ESTEROS EN PLENA CRISIS HÍDRICA?". Diario El Mostrador, 14 de octubre de 2019.

Seguel Alfredo. "LA LUCHA POR EL AGUA EN TERRITORIO MAPUCHE". https://www.ecoportal.net/temas-especiales/pueblos-indigenas/la_lucha_por_el_agua_en_territorio_mapuche/. Santiago de Chile, 2006.

Sentencia T-622/16. <https://www.corteconstitucional.gov.co/relatoria/2016/t-622-16.htm>.

Servicio de Evaluación Ambiental (SEA). 2012. Guía para el uso de Modelos de Aguas Subterráneas en el SEIA. https://www.sea.gob.cl/sites/default/files/migration_files/guias/Guia_uso_modelo_aguas_subterraneas_seia.pdf.

Silva Hernando. "EL DERECHO HUMANO AL AGUA DE LOS PUEBLOS INDÍGENAS Y EL PROYECTO DE REFORMA AL CÓDIGO DE AGUAS". Derechos humanos y pueblos indígenas en Chile hoy: Las amenazas al agua, a la biodiversidad y a la protesta social. Temuco, 2017.

Silva Hernando. "LA PROTESTA SOCIAL MAPUCHE Y LA RESPUESTA ESTATAL: CRIMINALIZACIÓN Y VIOLENCIA POLICIAL". Derechos humanos y pueblos indígenas en Chile hoy: Las amenazas al agua, a la biodiversidad y a la protesta social. Temuco, 2017.

Skoknic Francisca. "ANGOSTURA: LA HIDROELÉCTRICA QUE VUELVE A DESPERTAR AL BIOBÍO". <https://ciperchile.cl/2008/12/04/angostura-la-hidroelectrica-que-vuelve-a-despertar-al-bio-bio/>.

SMA (2014). Informe de fiscalización ambiental. Inspección ambiental y examen de la información CH Ralco. Superintendencia del Medio Ambiente, Gobierno de Chile.

Souvignet, M., Gaese, H., Ribbe, L., Kretschmer, N., Oyarzun, R. 2008. Climate change impacts on water availability in the Arid Elqui Valley, North Central Chile: a preliminary assessment. In IWRA World Water Congress, Montpellier, France.

Stehr, A., Debels, P., Arumí, J. L. 2008a. Modelling hydrological response to climate change; experiences from two south-central Chilean Watersheds. In 21st Century Watershed Technology: Improving Water Quality and Environment Conference Proceedings, 29 March-3 April 2008, Concepcion, Chile (p. 12). American Society of Agricultural and Biological Engineers.

Stehr, A., Debels, P., Arumí, J. L., Romero, F., Alcayaga, H. 2009. Combining the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) and MODIS imagery to estimate monthly flows in a data-scarce Chilean Andean basin. *Hydrological Sciences Journal*, 54, 1053-1067.

Stehr, A., Debels, P., Romero, F., Alcayaga, H. 2008b. Hydrological modelling with SWAT under conditions of limited data availability: evaluation of results from a Chilean case study, *Hydrological Sciences Journal*, 53, 588-601.

Stockholm Environment Institute. Water Evaluation And Planning System:Tutorial. 2017.

SUBDERE. (2018). Estudio de soluciones sanitarias para el sector rural (Unidad de Saneamiento Sanitario (Coordinador)). Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo. <https://isbn.cloud/9789568468545/estudio-de-soluciones-sanitarias-para-el-sector-rural/>

Thiele, R., Moreno, H., Elgueta, S., Lahsen, A., Rebolledo, S. y Petit-Breuilh M.E. (1998). Evolución geológico-geomorfológica cuaternaria del tramo superior del valle del río Laja. *Revista geológica de Chile* 25(2), 229-253.

Toledo, C., Muñoz, E., Zambrano-Bigiarini, M. 2015. Comparison of stationary and dynamic conceptual models in a mountainous and data-sparse catchment in the south-central Chilean Andes. *Advances in Meteorology*, 2015.

Universidad de Chile. Selección y aplicación de un modelo hidrológico para estimar los impactos del cambio climático en la generación de energía del sistema interconectado central. Ministerio de Energía, 2011, Santiago, Chile.

Urrutia, A. 1993. Difusividades en la pluma del río Biobío para un período de alta descarga. *Cien. Tec. Mar., CONA*, 16, 21-32.

Valdovinos, C., & Parra, O. 2006. La cuenca del río Biobío: Historia natural de un ecosistema de uso múltiple. *Publicaciones Centro EULA*, 1-25.

Vargas Ramón. "LA CULTURA DEL AGUA: LECCIONES PARA AMÉRICA INDÍGENA" Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO, 2006.

Vargas, J., Mardones, M. 2005. Efectos hidrológicos de los usos eléctrico y agrícola en la cuenca del río Laja (Chile centro-sur). *Revista de Geografía del Norte Grande*. Vol. 33.

Vega Quintana, A. I. 2016. Balance hídrico de la cuenca del Salar del Huasco mediante el modelo hidrológico de simulación TopModel usando información del reanálisis atmosférico. Universidad de Chile, 2016, Santiago, Chile. (Tesis Pregrado).

Vergara Alejandro. "DERECHO DE AGUAS, TOMO II". Editorial Jurídica de Chile, Santiago, 1998.

Vivas, S., Casas, J., Pardo, I., Robles, S., Bonada, N., Mellado, A., ... & Moyá, G. 2002. Aproximación multivariante en la exploración de la tolerancia ambiental de las familias de macroinvertebrados de los ríos mediterráneos del proyecto GUADALMED. *Limnetica*, 21(3-4), 149-173.

Vicencio, J. 2018, septiembre 14. Biobío: Epicentro de la sequía meteorológica este invierno. *Meteochile Blog*. <http://blog.meteochile.gob.cl/2018/09/14/biobio-epicentro-de-la-sequia-meteorologica-este-invierno/>

Wania, F., & Mackay, D. (1993). Modelling the global distribution of toxaphene: a discussion of feasibility and desirability. *Chemosphere*, 27(10), 2079-2094.

Yáñez Rodrigo. "EL MERCADO DE LAS AGUAS EN CHILE". Instituto Libertad. ISSN 0717-7933. Noviembre de 2008.

Yates, D., Sieber, J., Purkey, D., & Huber-Lee, A. (2005). WEAP21—A demand-, priority-, and preference-driven water planning model: part 1: model characteristics. *Water International*, 30(4), 487-500

Zambrano Mera, Y. E. R. I. E. L. 2016. Posibilidades de implementación un sistema de indicadores para la gestión de la sequía en la Demarcación Hidrográfica de Manabí-Ecuador.