



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

**DIRECCIÓN REGIONAL DE AGUAS –  
REGIÓN DE VALPARAÍSO**

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

**CUENCAS LIGUA Y PETORCA**

**RESUMEN EJECUTIVO**

**REALIZADO POR:**

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

**S.I.T N°458**

**SANTIAGO, AGOSTO 2020**

**MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS**

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

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

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

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

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

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

**Asesor Modelación Integrada  
Pedro Sanzana Cuevas**

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

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

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

**Profesionales Equipo Complementario  
Biólogo Marino y Ambiental Sr. Shaw Nozaky Lacy  
Ingeniero Civil Sr. Felipe Figueroa Barrientos  
Ingeniero Civil Sr. Diego Soto Rodríguez  
Socióloga Sra. Camila Donoso Acosta  
Antropólogo Social Sr. Mauricio Cortez  
Ingeniero Civil Sr. Juan Pablo Herane  
Ingeniero Forestal Sr. Raúl Díaz Vasconcellos  
Ingeniero Civil Sr. Felipe Aguilar Morales**

# ÍNDICE

## Página

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>7</b>
<b>1.1 OBJETIVOS</b>	<b>8</b>
1.1.1 Objetivo general	8
1.1.2 Objetivos específicos	8
<b>1.2 Alcances generales y metodológicos</b>	<b>9</b>
<b>2. PRINCIPALES RESULTADOS</b>	<b>13</b>
<b>2.1 Balance hídrico</b>	<b>13</b>
2.1.1 Oferta hídrica	13
2.1.2 Demanda histórica y proyectada	17
2.1.3 Brecha hídrica	24
2.1.4 Sustentabilidad	29
<b>2.2 Calidad del agua y ecosistemas</b>	<b>31</b>
2.2.1 Estado actual	31
2.2.2 Brechas de calidad del agua y ecosistemas	35
<b>2.3 Institucionalidad y gobernanza</b>	<b>35</b>
2.3.1 Estado actual	35
2.3.2 Brechas de coordinación	40
<b>3. PLAN DE ACCIÓN</b>	<b>41</b>
<b>3.1 Indicadores de la cuenca</b>	<b>41</b>
<b>3.2 Estructura del Plan de Gestión</b>	<b>41</b>
<b>3.3 Acciones e iniciativas</b>	<b>41</b>
<b>3.4 Cartera de Iniciativas</b>	<b>47</b>
<b>3.5 Priorización</b>	<b>49</b>
<b>3.6 Evaluación conjunta</b>	<b>52</b>
<b>4. IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN</b>	<b>58</b>
<b>4.1 Aspectos institucionales</b>	<b>60</b>
<b>4.2 Financiamiento del Plan</b>	<b>60</b>
<b>5. MONITOREO Y EVALUACIÓN</b>	<b>61</b>
<b>5.1 Indicadores de déficit hídrico</b>	<b>62</b>
<b>5.2 Indicadores de gestión</b>	<b>62</b>
<b>5.3 Indicadores de información</b>	<b>62</b>
<b>5.4 Seguimiento</b>	<b>62</b>
<b>5.5 Mecanismos para el análisis y toma de decisiones</b>	<b>65</b>

# ÍNDICE DE FIGURAS

## Página

Figura 1-1. Mapa conceptual metodológico del Plan Estratégico de Gestión Hídrica en las cuencas Río Ligua y Río Petorca.....	10
Figura 1-2. Área de estudio.....	12
Figura 2-1. Curva de variación estacional, estación fluviométrica "Alicahue en Colliguay", cuenca río La Ligua. Intervalo 1979 -2018. ....	13
Figura 2-2. Curva de variación estacional, estación fluviométrica "Río Pedernal en Tejada" y "Río sobrante en Piñadero", cuenca río Petorca. Intervalo 1979 -2018. ....	14
Figura 2-3. Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común (SHAC) cuencas Ligua – Petorca. ....	15
Figura 2-4. Recarga sistema Ligua – Petorca. ....	16
Figura 2-5. Esquema metodológico de determinación de las demandas de agua potable rural y urbana para la condición actual y proyectada. ....	18
Figura 2-6. Distribución espacial de los Servicios Sanitarios Rurales MOP en las cuencas Río Ligua y Río Petorca. ....	19
Figura 2-7. Zona de riego modeladas por cultivos. ....	22
Figura 2-8. Demanda agrícola real y potencial histórica en las cuencas La Ligua y Petorca. ....	23
Figura 2-9. Balance Hídrico anual de la cuenca del Río Petorca. ....	24
Figura 2-10. Balance Hídrico anual de la cuenca del Río Ligua. ....	25
Figura 2-11. Balance hídrico proyectado hasta el año 2060 para el río Ligua basado en escenario CSIRO.....	26
Figura 2-12. Balance hídrico proyectado hasta el año 2060 para el río Petorca basado en escenario CSIRO.....	27
Figura 2-13. Brecha hídrica en las cuencas del río Ligua y Petorca en el periodo 2010-2019. ....	28
Figura 2-14. Déficit hídrico medio proyectado para la década 2040-2050 en los ríos Ligua y Petorca considerando escenario MIROC.....	29
Figura 2-15. Pisos vegetacionales presentes en las cuencas Río Ligua y Río Petorca. ....	32
Figura 2-16. Tipos de humedales y tipos de SP en cuencas La Ligua y Petorca. ....	34
Figura 2-17. Mapa principales actores en las cuencas de Ligua y Petorca. ....	36
Figura 2-18. Institucionalidad actual del agua en las cuencas de los ríos Ligua y Petorca y la relación entre los distintos actores. ....	39
Figura 3-1. Ejes y Objetivos del Plan de Acción.....	41
Figura 3-2. Criterios considerados para la priorización de las actividades a implementar en el Plan Estratégico. ....	48
Figura 3-3. Esquema temporal de la simulación del PEGH para las cuencas de los ríos Ligua y Petorca. ....	53
Figura 3-4. Evolución temporal de la brecha agrícola bajo escenario histórico, futuro y con la implementación del Plan en la cuenca del río Ligua.....	54

Figura 3-5. Evolución temporal de la brecha de agua potable bajo escenario histórico, futuro y con la implementación del Plan en la cuenca del río Ligua. ....	55
Figura 3-6. Evolución temporal de la brecha agrícola bajo escenario histórico, futuro y con la implementación del Plan en la cuenca del río Petorca.....	56
Figura 3-7. Evolución temporal de la brecha de agua potable bajo escenario histórico, futuro y con la implementación del Plan en la cuenca del río Petorca. ....	57
Figura 4-1. Línea de tiempo de implementación de las acciones y su prioridad de implementación.....	59
Figura 4-2. Distribución de los costos de implementación y operación del Plan Estratégico de Gestión Hídrica de las cuencas Ligua y Petorca.....	61
Figura 5-1. Esquema de los pasos de implementación y seguimiento del Plan y su interacción entre ellos. ....	64

# ÍNDICE DE TABLAS

## Página

Tabla 2-1. Recarga directa promedio decadal sistema Ligua – Petorca.....	17
Tabla 2-2. Demanda hídrica actual de Consumo de agua potable por SHAC (Mm <sup>3</sup> /año), para la condición histórica (2010-2019) como para la condición futura (2040-2050). ....	20
Tabla 2-3 Sustentabilidad de los SHAC pertenecientes a las cuencas de los ríos Ligua y Petorca para la condición actual (periodo 2010-2019) .....	30
Tabla 3-1. Listado de acciones seleccionadas que comprenden el PEGH de las cuencas de los ríos Ligua y Petorca. ....	43
Tabla 3-2. Priorización de las acciones. ....	48
Tabla 3-3. Priorización de las acciones definidas. ....	49
Tabla 4-1. Rol de las instituciones sectoriales y regionales en la implementación del Plan. ....	60

## 1. INTRODUCCIÓN

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

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

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

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

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

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

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo general

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

### 1.1.2 Objetivos específicos

- **Objetivo 1:** Conocer el estado actual de las cuencas de los ríos Ligua y Petorca en cuanto a oferta, demanda, balance de agua y sus respectivas herramientas de cálculo (modelos), control de extracciones, calidad fisicoquímica de fuentes de agua superficiales y subterráneas, gobernanza y red hidrométrica superficial y subterránea de calidad.
- **Objetivo 2:** Actualizar los 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 estado de la calidad de agua de las fuentes superficiales y subterráneas. Definir acciones para proteger funciones ecosistémicas críticas relacionadas con los cuerpos de agua en el tiempo.
- **Objetivo 5:** Diagnosticar el estado de infraestructura hidráulica actual y proponer acciones para mejorar el monitoreo de las aguas de la cuenca (superficial y subterráneo).
- **Objetivo 6:** Identificar brechas entre la oferta y la demanda de agua en distintos escenarios de cambio climático, sequía e inundaciones, estableciendo un portafolio de acciones (estrategias de gestión) para reducirlas. Se deberá establecer un caso base y distintos escenarios para la evaluación.
- **Objetivo 7:** Entregar estrategias para mejorar la toma de decisiones, mediante la utilización de modelos operativos de gestión, los cuales deben tener escenarios planificación a corto, mediano y largo plazo, y ser adaptativos en el tiempo.



- **Objetivo 8:** Entregar estrategias para promover y revitalizar la alianza público-privada y así incrementar cualitativamente la inversión requerida en infraestructura.

## **1.2 Alcances generales y metodológicos**

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

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

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

A continuación, se llevará a cabo el diagnóstico de la cuenca a hoy día y a 30 años más, pudiendo determinar la brecha existente entre un estado ideal de la cuenca o para no perder el estado actual diagnosticado. Para el desarrollo del diagnóstico fue fundamental el desarrollo de las entrevistas, reuniones sectoriales y talleres de diagnóstico, actividades de Participación Ciudadana.



**Figura 1-1. Mapa conceptual metodológico del Plan Estratégico de Gestión Hídrica en las cuencas Río Ligua y Río Petorca.**

*Fuente: Elaboración propia a partir de los requerimientos planteados en las Bases Técnicas 1019-68-LQ19 (Resolución D.G.A. Exenta 1582, 213 de agosto de 2019).*

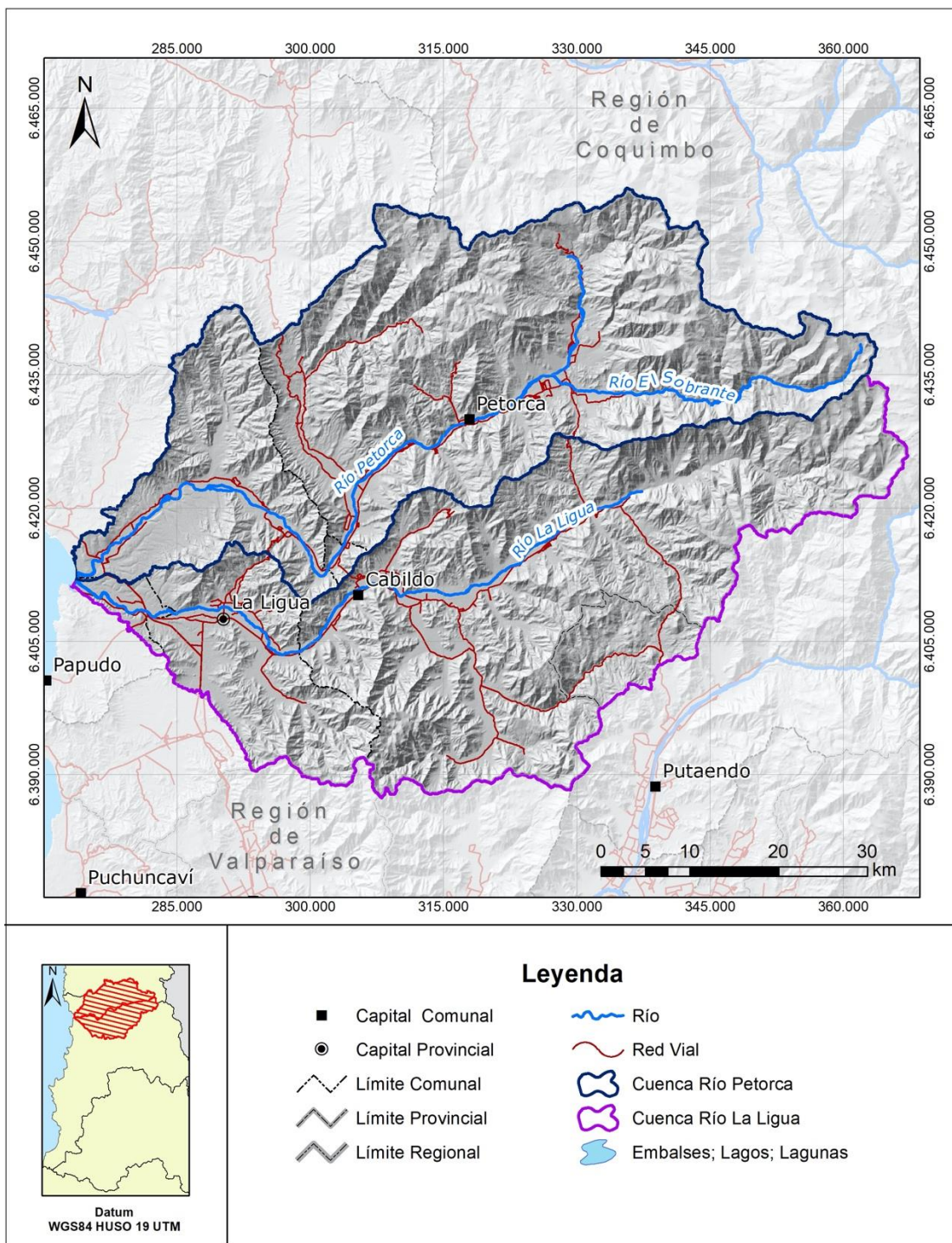
De forma simultánea se desarrollaron la modelación superficial en la plataforma WEAP, la modelación hidrogeológica en MODFLOW, y la integración de ambos modelos; las actividades de participación ciudadana y la elaboración del sistema de información geográfica del PEGH.

Los productos obtenidos de la modelación son fundamentales para el PEGH ya que apoyaron en el análisis de las estrategias de desarrollo, con el fin de tomar las decisiones en función de la mejor información disponible permanentemente. Por su parte, las instancias de participación ciudadana fueron fundamentales en tanto nos acercaron al territorio y permitieron conocer desde la fuente las problemáticas locales tanto acerca del recurso

hídrico como de gobernanza e institucionalidad. Finalmente, el sistema de información geográfica facilitó la presentación de la información territorial, su actualización, manipulación y modificaciones futuras, dando trazabilidad y permanencia al conocimiento generado a nivel espacial.

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

La cuenca del río Ligua se ubica en la región de Valparaíso, específicamente en la provincia de Petorca. Presenta como cuencas colindantes a la cuenca del río Petorca en el norte y a la cuenca del río Aconcagua en el sur. La superficie de la cuenca es de 1.980 km<sup>2</sup>, mientras que la cuenca del río Petorca se ubica en la región de Valparaíso, específicamente en la provincia de Petorca. Presenta como cuencas colindantes a la cuenca del río Quilimarí por el norte y a la cuenca del río Ligua por el sur. La superficie de la cuenca total es de 1.988 km<sup>2</sup> (ver Figura 1-2).



**Figura 1-2. Área de estudio.**

*Fuente: Elaboración propia a partir de información contenida en la Mapoteca Digital DGA (DGA, 2019d ver en Anexo B referencias Bibliográficas).*

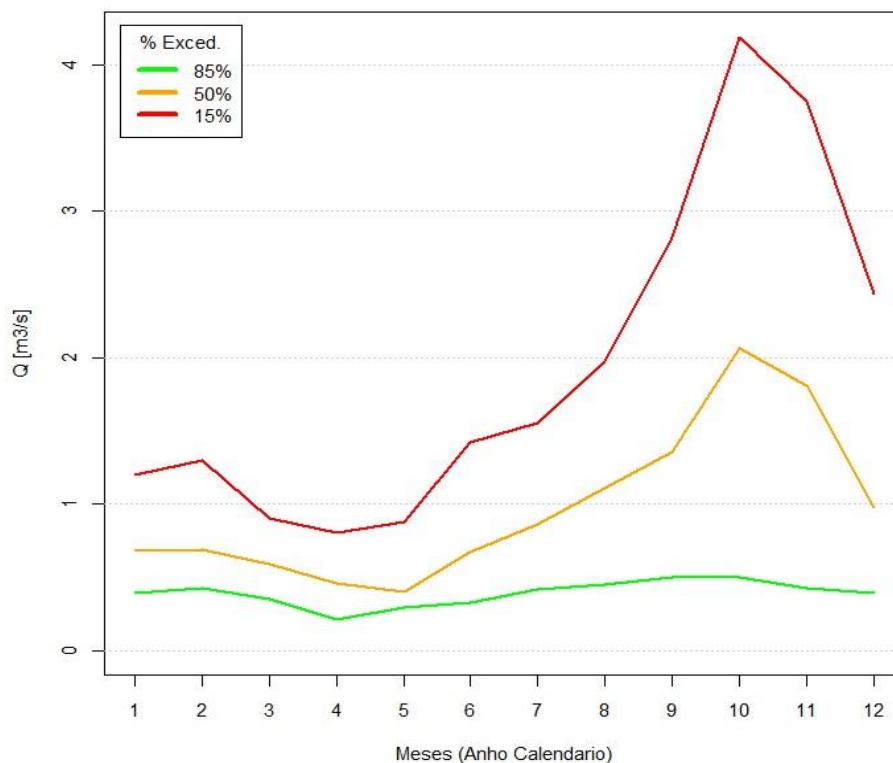
## 2. PRINCIPALES RESULTADOS

### 2.1 Balance hídrico

#### 2.1.1 Oferta hídrica

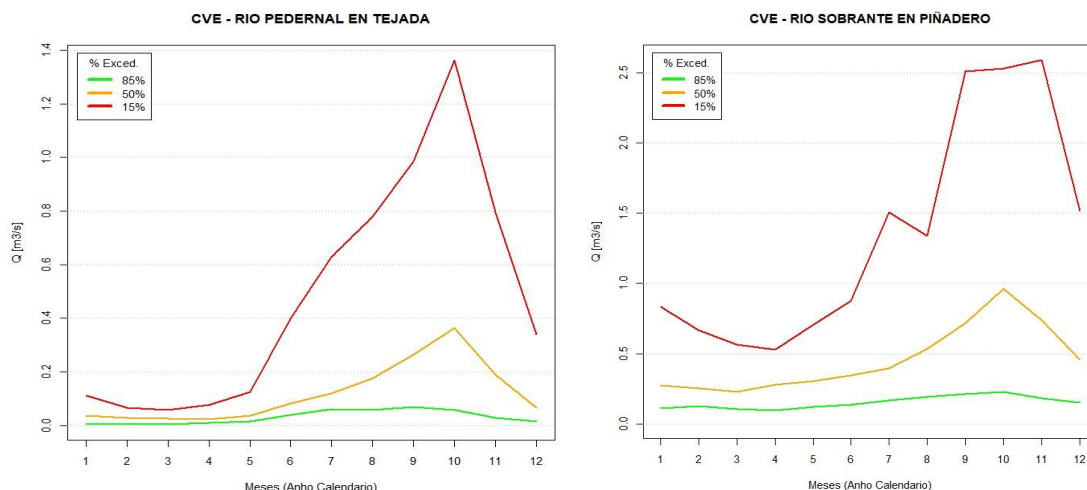
Luego de más de 10 años de sequía la oferta hídrica a nivel superficial en las dos cuencas es prácticamente nula. Solamente se registran caudales superficiales en el río solamente en las zonas cordilleranas y precordilleranas, específicamente en el Estero Alicahue en la cuenca del río La Ligua y en la subcuenca del río del Sobrante en la cuenca del río Petorca.

En la Figura 2-1 se presenta la curva de variación estacional para distintas probabilidades de excedencia correspondiente a la parte alta del río La Ligua, específicamente en la estación DGA "Estero Alicahue en Colliguay". En la Figura 2-2 se muestran las curvas de variación estacional para la parte alta de la cuenca del río Petorca, específicamente en las estaciones DGA "río Sobrante en Piñadero" y "río Pedernal en Tejada". Aguas abajo de estas estaciones fluviométricas el agua superficial es desviada por las asociaciones de canalistas hacia sus respectivos canales.



**Figura 2-1. Curva de variación estacional, estación fluviométrica "Alicahue en Colliguay", cuenca río La Ligua. Intervalo 1979 -2018.**

*Fuente: Elaboración propia (ver Anexo J Descripción y Diagnóstico, capítulo 5.2.1).*



**Figura 2-2. Curva de variación estacional, estación fluviométrica “Río Pedernal en Tejada” y “Río sobrante en Piñadero”, cuenca río Petorca. Intervalo 1979 - 2018.**

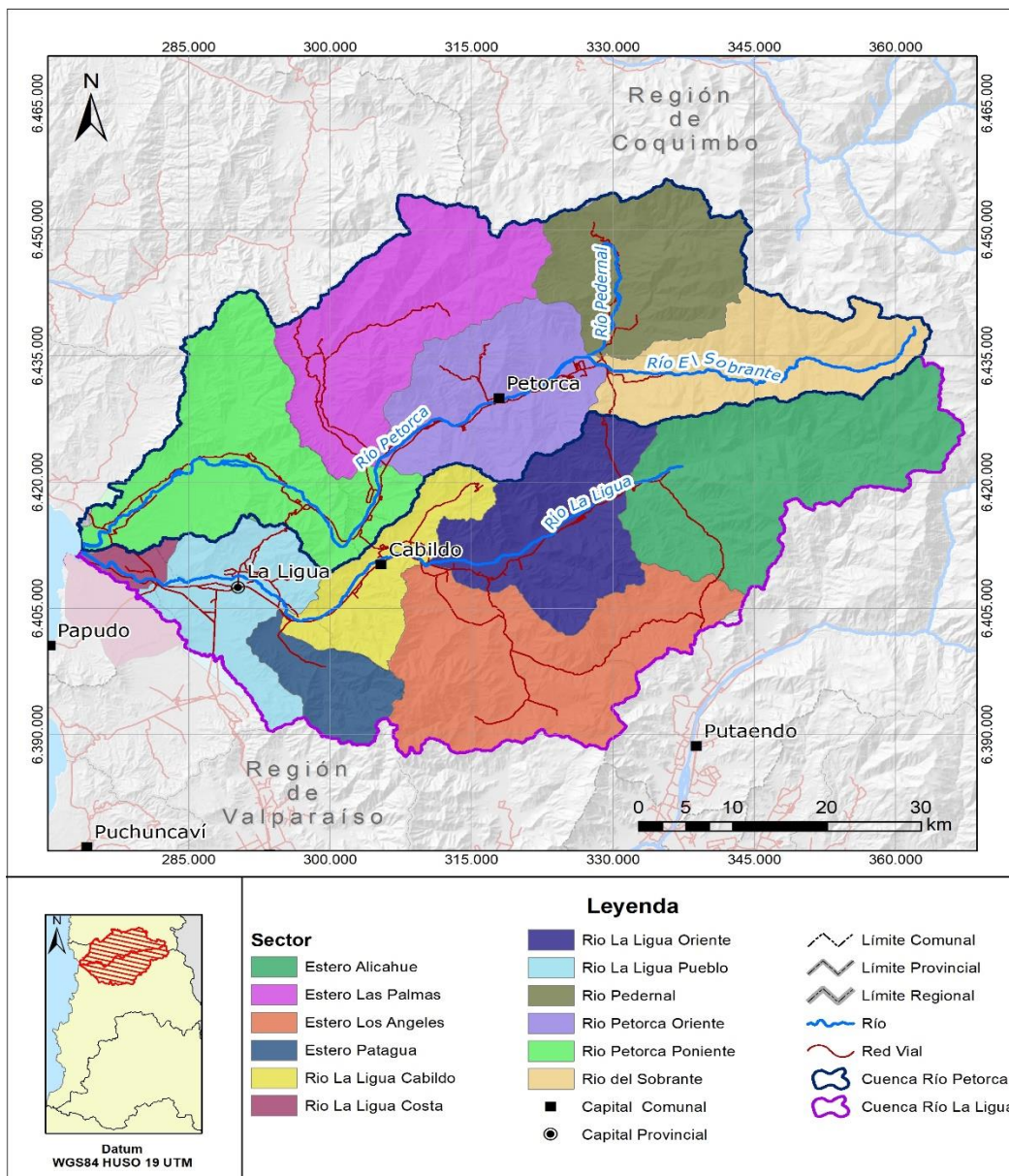
*Fuente: Elaboración propia (ver Anexo J Descripción y Diagnóstico, capítulo 5.2.1).*

Estos caudales se traducen en una oferta superficial disponible de 24,6 hm<sup>3</sup>/año en la cuenca del río Ligua y en Petorca de 30,4 hm<sup>3</sup>/año.

En la zona media y baja de ambas cuencas, el caudal superficial es nulo y por lo tanto, también la oferta superficial.

Respecto a la oferta subterránea de ambas cuencas, el acuífero de la zona de estudio está compuesto por un conjunto de sectores acuíferos (12 en total, 5 en la cuenca del río Petorca y 7 en la cuenca del río La Ligua, ver Figura 2-3).

Según lo establecido por la DGA, un SHAC es acuífero o parte de un acuífero, cuyas características hidrológicas espaciales y temporales permiten una delimitación para efectos de su evaluación hidrogeológica o gestión de forma independiente (DGA, 2016). Esta subdivisión se utiliza en el proyecto para presentare resultados y evaluar la situación hídrica subterránea.



**Figura 2-3. Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común (SHAC) cuencas Ligua – Petorca.**

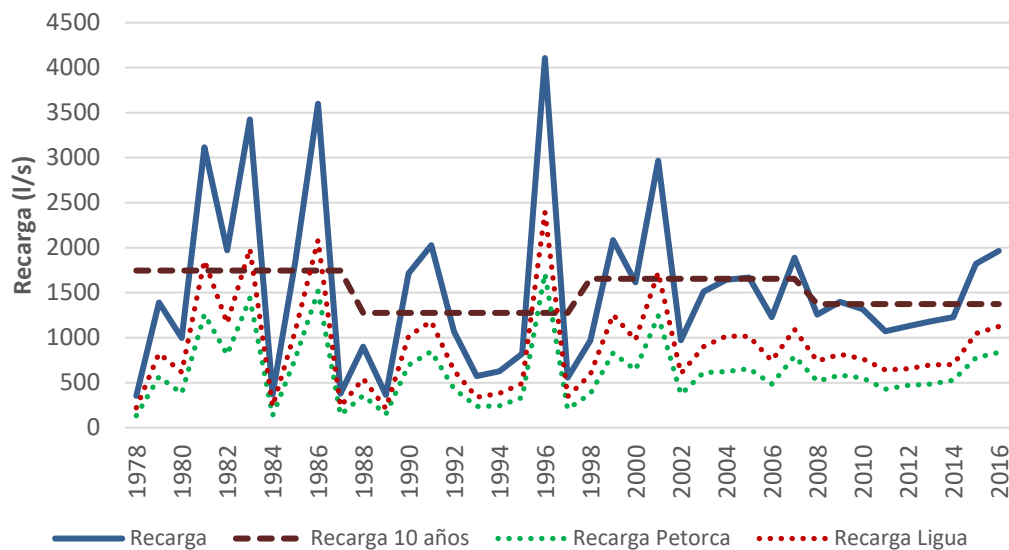
*Fuente: elaboración propia a partir de cartografía oficial suministrada por DGA (2020).*

El acuífero del río Ligua, así como el del río Petorca de acuerdo a la Resolución DGA N° 19 del 25 de julio del 2018, están considerados como zonas de prohibición<sup>1</sup>. Esto debido a que se estableció que los descensos sostenidos en los acuíferos de las cuencas de La Ligua y Petorca corresponden a un déficit permanente y no a un efecto temporal, se demostró que,

<sup>1</sup> DGA, (2018). Evaluación del Actual Nivel de Explotación de los Acuíferos de la Ligua y Petorca, SDT N° 415.

en la mayoría de los sectores, la extracción, supera la oferta hídrica sustentable de largo plazo.

La recarga se ha conceptualizado considerando su dependencia de la precipitación directa sobre la zona aluvial, los aportes laterales desde cuencas de cabecera y en menor medida de los aportes de las zonas cultivadas, debido a los excedentes de riego.. En la Figura 2-4 se presenta la recarga directa general para todo el sistema Liga – Petorca, donde se observa que un descenso de la última década evaluada (2010 – 2017) respecto a la década anterior (2000 – 2009), influenciada por la sequía identificada en la literatura en Chile en los últimos años. En la figura se observa un comportamiento en la tendencia similar tanto en la cuenca de La Liga como la de Petorca.



**Figura 2-4. Recarga sistema Liga – Petorca.**

*Fuente: Elaboración propia a partir de la modelación integrada (Anexo H Modelación Hidrológica acoplada, capítulo 5).*

Según la siguiente Tabla 2-1, los cambios decadales en la recarga por precipitaciones han variado desde 1.275 l/s en la década de 1990, a 1.655 l/s en la década de 2000 y 1.374 l/s en la última década (2010 a 2017).



**Tabla 2-1. Recarga directa promedio decadal sistema Ligua – Petorca.**

Década	Recarga promedio (l/s)
	Sistema Ligua - Petorca
1980	1.746
1990	1.275
2000	1.655
2010	1.374

*Fuente: Elaboración propia a partir de la modelación integrada (Anexo H Modelación integrada, capítulo 5).*

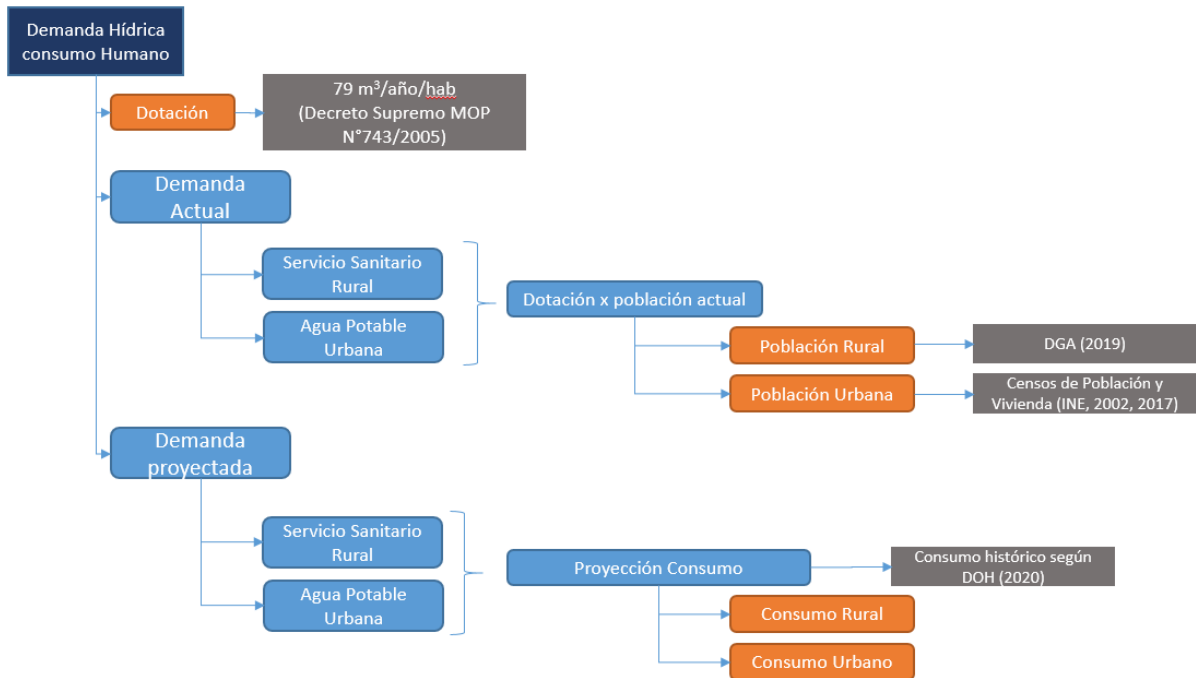
Cabe señalar que se ha generado un aumento sostenido del consumo del agua almacenada en los acuíferos de ambas cuencas, dado un progresivo incremento de los bombeos en la actualidad, lo que redujo los afloramientos y las recuperaciones en los cauces (DGA-GCF, 2019, ver en Anexo B Referencias bibliográficas), generando un exceso en la capacidad natural de recarga de los acuíferos. Dicho aumento de la explotación desde la década del 2000 ha deprimido los niveles freáticos (identificado también en los niveles simulados y observados), generando un espacio para admitir recarga. De esa forma, una mayor proporción de la recarga actualmente logra infiltrar hacia las zonas deprimidas de los acuíferos y que no tenía cabida anteriormente en el estado de equilibrio (sin extracciones).

### **2.1.2 Demanda histórica y proyectada**

Las cuencas de los ríos Ligua y Petorca presentan un marcado uso agrícola y en menor medida consumo humano y rural. Si bien existen otros usos como el minero y el industrial, estos presentan consumos bastante menores respecto a los dos primeros. En adelante se detallarán las demandas identificadas en este estudio.

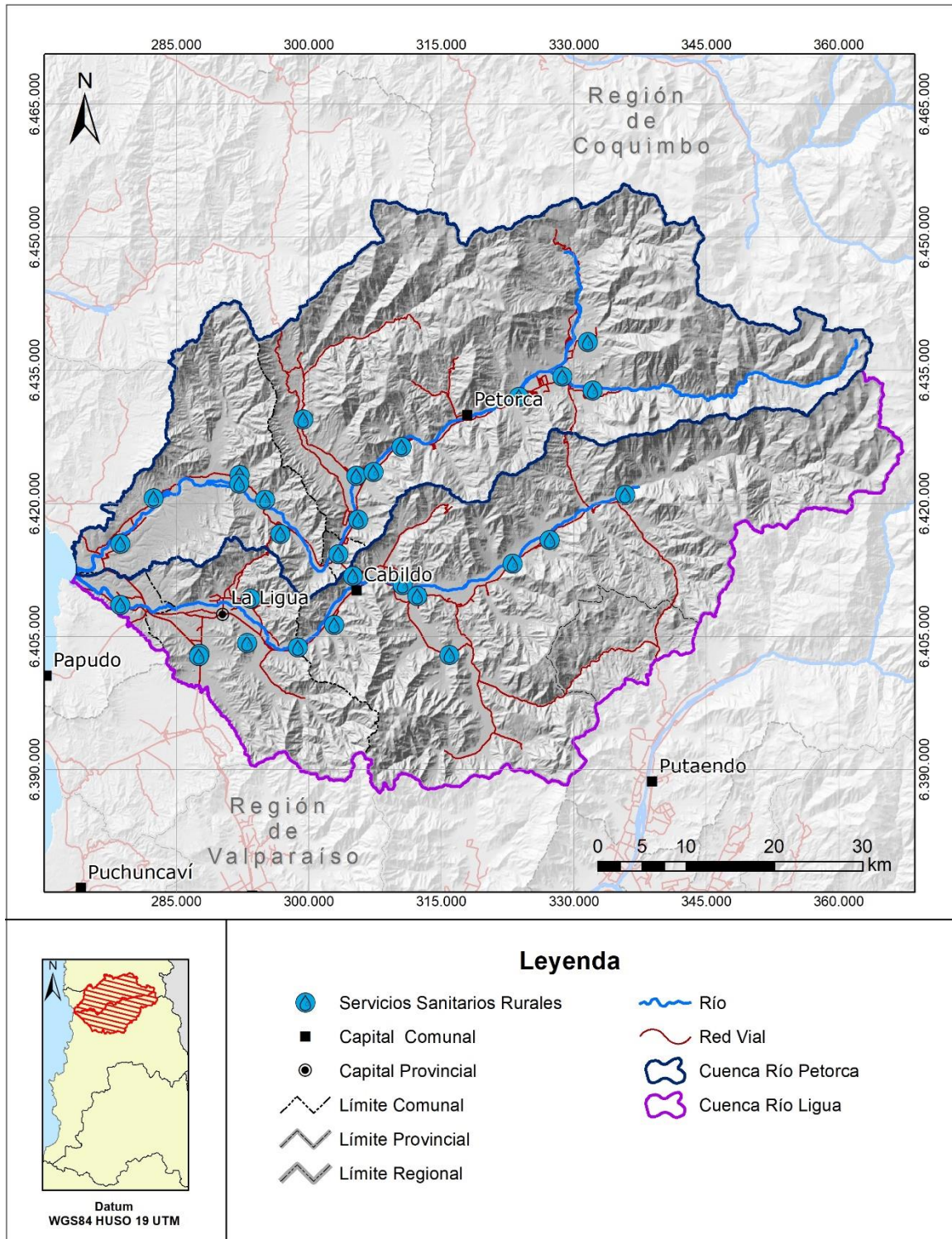
El consumo de agua potable en ambas cuencas es principalmente rural. En esta cuenca existen 58 SSR MOP y no MOP. De las SSR MOP éstas se encuentran distribuidos principalmente a lo largo de los propios cauces. En la Figura 2-6 se muestra la ubicación de las SSR inscritas en el MOP. El Agua Potable Urbana se ve representada principalmente por las localidades de la Ligua, Petorca y Cabildo.

Las demandas de consumo humano se determinaron a partir de la dotación anual dada por la DOH (79 m<sup>3</sup>/año/hab) multiplicada por la población. En forma análoga se determinaron las demandas proyectadas a partir de esta misma dotación y una población futura proyectada (Figura 2-5)



**Figura 2-5. Esquema metodológico de determinación de las demandas de agua potable rural y urbana para la condición actual y proyectada.**

*Fuente: elaboración propia (Ver anexo F, aspectos metodológicos).*



**Figura 2-6. Distribución espacial de los Servicios Sanitarios Rurales MOP en las cuencas Río Ligua y Río Petorca.**

*Fuente: Elaboración propia en base a datos DGA 2020.*

En la Tabla 2-2 se presenta el consumo en miles de m<sup>3</sup> (Mm<sup>3</sup>) de agua potable por SHAC y si el consumo corresponde a rural o urbano en cada cuenca para la condición histórica como para la condición futura (periodo 2040-2050) de acuerdo a las proyecciones de crecimiento

**Tabla 2-2. Demanda hídrica actual de Consumo de agua potable por SHAC (Mm<sup>3</sup>/año), para la condición histórica (2010-2019) como para la condición futura (2040-2050).**

Cuenca	SHAC	Periodo 2010-2019		Periodo 2040-2050	
		Rural	Urbana	Rural	Urbana
Río La Ligua	Estero Alicahue	37,13	N/A	58,91	N/A
	La Ligua Oriente	633,98	N/A	1005,82	N/A
	Estero Los Ángeles	117,32	N/A	186,12	N/A
	La Ligua Cabildo	212,91	1240*	337,78	1967,29*
	Estero Pataguas	70,71	N/A	112,18	N/A
	La Ligua Pueblo	1276,32	2332,35**	2024,92	3700,33**
	La Ligua Costa	16,99	N/A	26,95	N/A
Total (Mm <sup>3</sup> /año)		2365,36	3572,35	3752,68	5667,62
Río Petorca	Río del Pedernal	91,01	N/A	144,39	N/A
	Río del Sobrante	164,72	N/A	261,32	N/A
	Petorca Oriente	687,46	692,04***	1090,67	1097,94
	Estero Las Palmas	55,3	N/A	87,73	N/A
	Petorca Poniente	545,65	N/A	865,69	N/A
Total (Mm <sup>3</sup> /año)		1544,14	692,04	2449,8	1097,94

(\*) Hace referencia a la ciudad de Cabildo

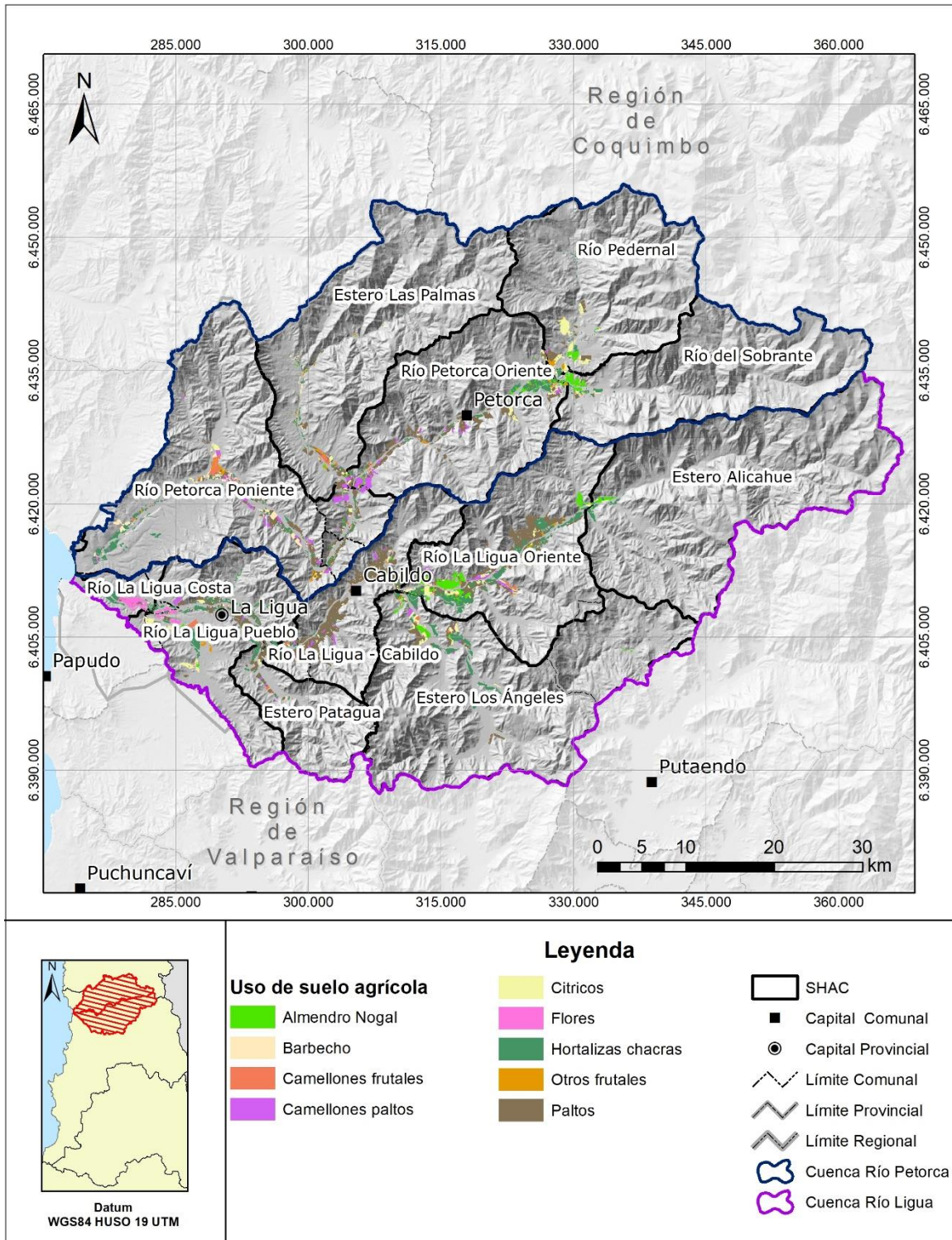
(\*\*) Hace referencia a la ciudad de La Ligua

(\*\*\*) Hace referencia a la ciudad de Petorca

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

Las demandas ambientales fueron identificadas como la permanencia de un caudal ambiental en ambos ríos y como la evapotranspiración del bosque nativo de clima semiárido presente en las cuencas.

La demanda neta agrícola fue calculada en base a la actualización del uso del suelo 2018 (ver Anexo J Descripción y Diagnóstico, Capítulo 2, Apéndice J.2.2), en la cual se ha estimado que hay 15.363 ha bajo riego en la cuenca del río Ligua y 9936 ha bajo riego en la cuenca del Río Petorca. En la Figura 2-7 se presenta los distintos cultivos modelados para las 2 cuencas.

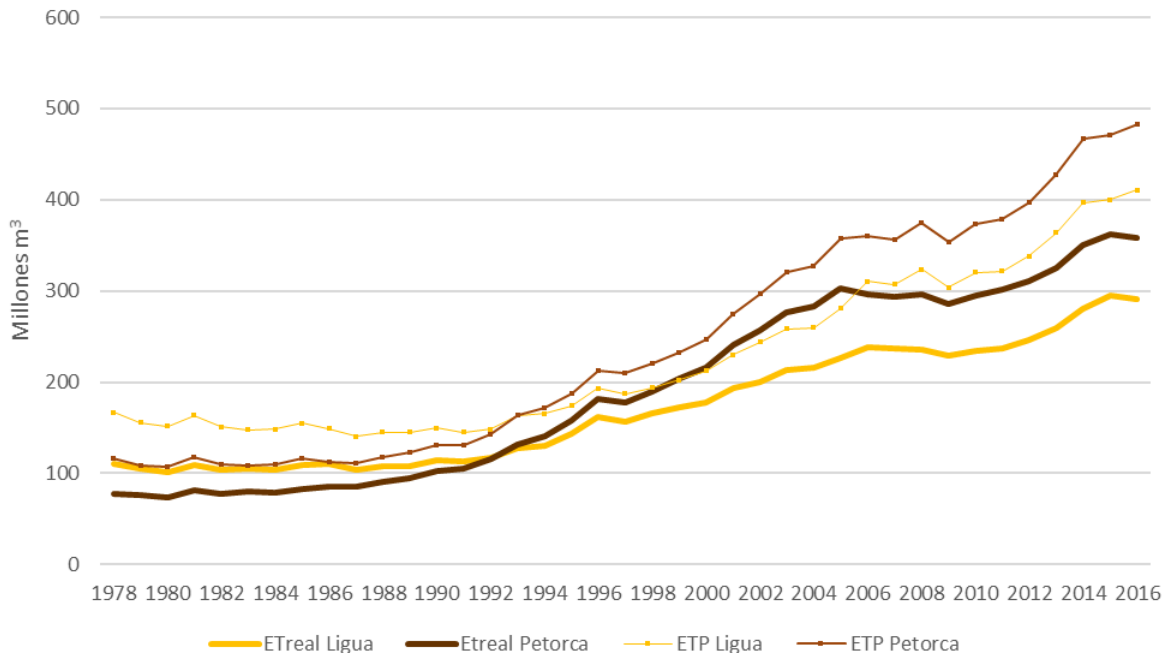


**Figura 2-7. Zona de riego modeladas por cultivos.**

*Fuente: Elaboración propia a partir de actualización del uso de suelo al año 2018.*

De los resultados obtenidos del modelo WEAP, la demanda agrícola actual de las demandas para la cuenca del río Ligua es de 156,5 hm<sup>3</sup> promedio para toda la cuenca en el año Valores de Coeficientes de cultivos

La demanda de agua agrícola ha ido aumentando en forma sostenida desde el año 1985 aproximadamente con demandas de 100 hm<sup>3</sup> hasta las demandas actuales del orden de 200 hm<sup>3</sup> entre ambas cuencas. Ambas cuencas han aumentado en forma similar la demanda agrícola (Figura 2-8).



**Figura 2-8. Demanda agrícola real y potencial histórica en las cuencas La Ligua y Petorca.**

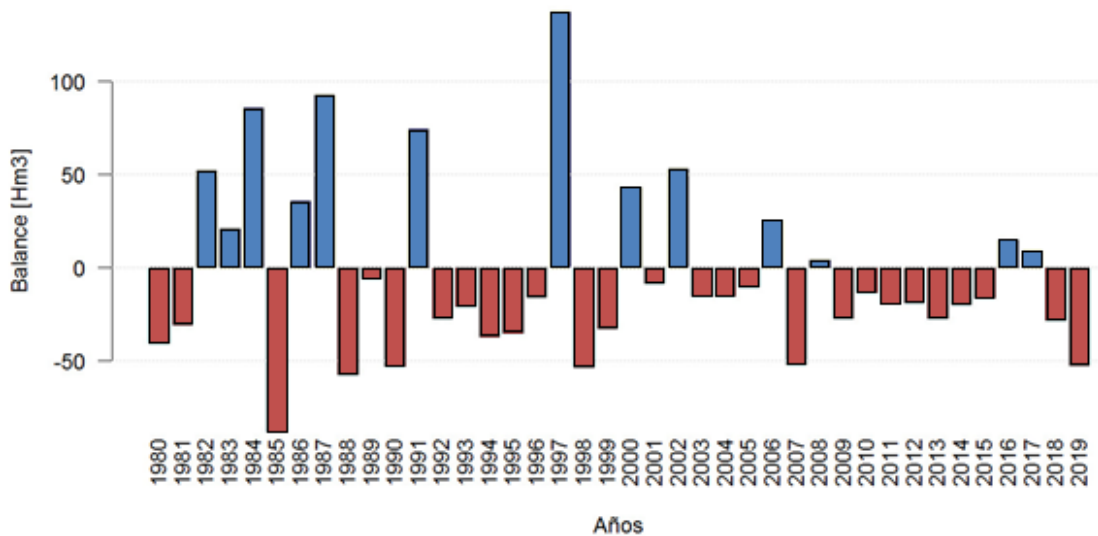
*Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados de la modelación integrada (ver Anexo Modelación Hidrológica acoplada, capítulo 2).*

A pesar de este crecimiento sostenido de la superficie agrícola en el periodo histórico, se consideró que la demanda futura no sufre un aumento respecto a la demanda actual al 2019, es decir, manteniendo la superficie actual para Ligua (15.363 ha) y para Petorca (9.963 ha). El motivo de esta decisión fue que de acuerdo a salidas a terreno y en conversaciones con agricultores de la cuenca fue posible apreciar que bajo las condiciones hidrológicas actuales muchos de ellos debieron reducir la superficie de cultivo, ya que la disponibilidad hídrica, no era suficiente para mantener los cultivos actuales. Esto puede generar que la superficie actual determinada esté sobreestimada y deberá ser corregida cuando se realice un catastro más exhaustivo.

### 2.1.3 Brecha hídrica

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

En la Figura 2-9 se muestra el balance hídrico para la cuenca del río Petorca y en la Figura 2-10 para la cuenca del río Ligua.



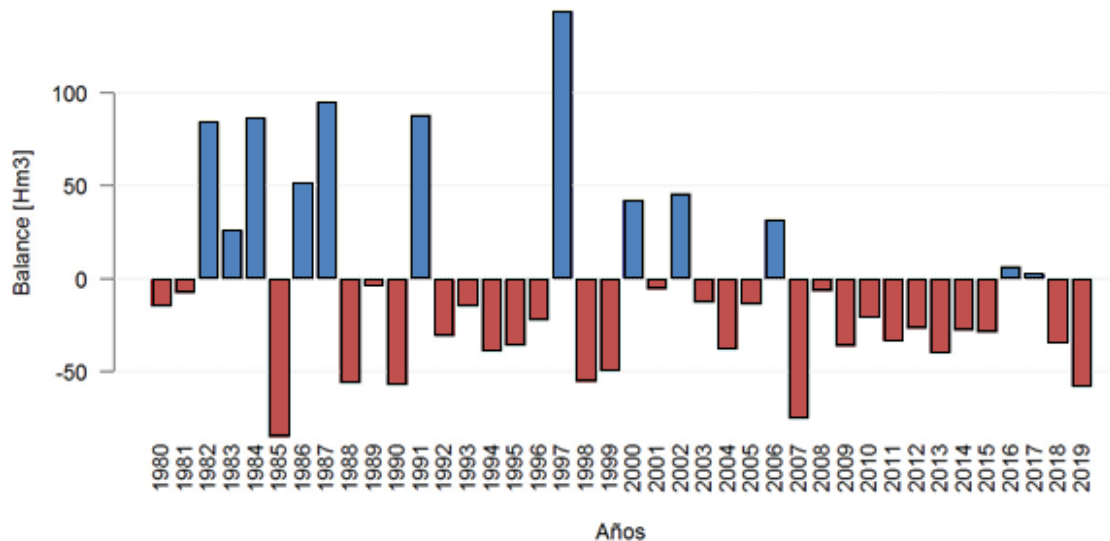
**Figura 2-9. Balance Hídrico anual de la cuenca del Río Petorca.**

*Fuente: Elaboración propia a partir de la modelación hidrológica superficial (ver Anexo H Modelación hidrológica acoplada, capítulo 5).*

De la Figura 2-9 se aprecia que la cuenca Río Petorca ha presentado constantes déficit desde el año 1985 en adelante, en donde dicho déficit se ha acentuado. A partir del año 2005 el déficit medio es del orden de 8 hm<sup>3</sup>.

En la Figura 2-10 se muestra el balance en la cuenca del río Ligua, en se aprecia que hay una tendencia histórica hacia el déficit y solo algunos años se han presentado superávit. Además, en la última década, esta cuenca sólo ha presentado déficit del orden de 4 hm<sup>3</sup>.





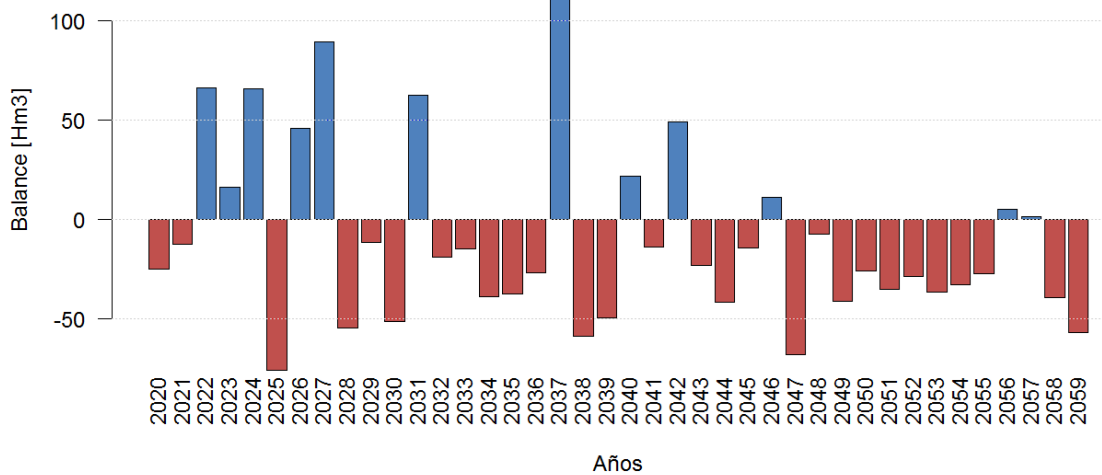
**Figura 2-10. Balance Hídrico anual de la cuenca del Río Ligua.**

*Fuente: Elaboración propia a partir de la modelación hidrológica superficial (ver Anexo H Modelación hidrológica acoplada, Capítulo 5).*

Se proyectó el balance hídrico para la cuenca del río Petorca (Figura 2-11) y para el río Ligua (Figura 2-12) considerando las proyecciones de cambio climático con los escenarios MIROC y CSIRO. Cabe mencionar que se utilizó el mismo patrón de la serie histórica para proyectar las series climáticas hasta 2060.

El Balance hídrico proyectado al año 2060 del río Ligua muestra que solo un 30% de los años el balance es positivo, lo cual se traduce en una condición más crítica que la condición actual.

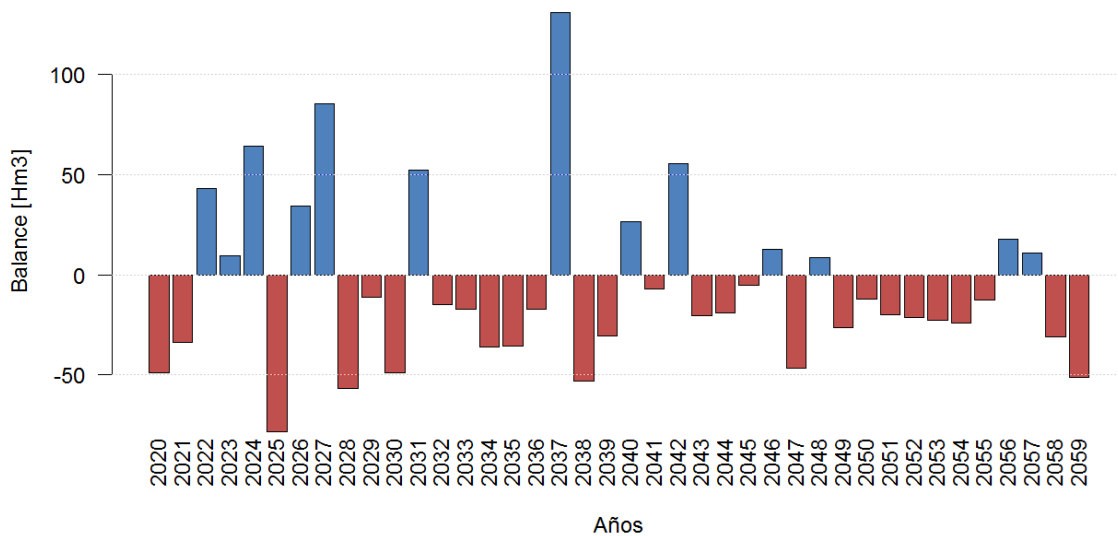
Por otra parte, es posible indicar que los años en los cuales el acuífero será recargado en mayores niveles a los cuales están siendo extraído, se traducen a 12 años (hasta 2060).



**Figura 2-11. Balance hídrico proyectado hasta el año 2060 para el río Ligua basado en escenario CSIRO.**

*Fuente: elaboración propia a partir de la modelación hidrológica superficial (ver Anexo H Modelación hidrológica acoplada, Capítulo 5).*

De igual forma, el balance proyectado para el río Petorca muestra una condición similar que el río Ligua, en donde solo un 33% de los años hay un balance positivo. De esta forma, es posible indicar que los años en los cuales el acuífero será recargado en mayores niveles a los cuales están siendo extraído, se traducen a 13 años (hasta 2060).



**Figura 2-12. Balance hídrico proyectado hasta el año 2060 para el río Petorca basado en escenario CSIRO.**

*Fuente: Elaboración propia a partir de la modelación hidrológica superficial (ver Anexo H Modelación hidrológica acoplada, Capítulo 5).*

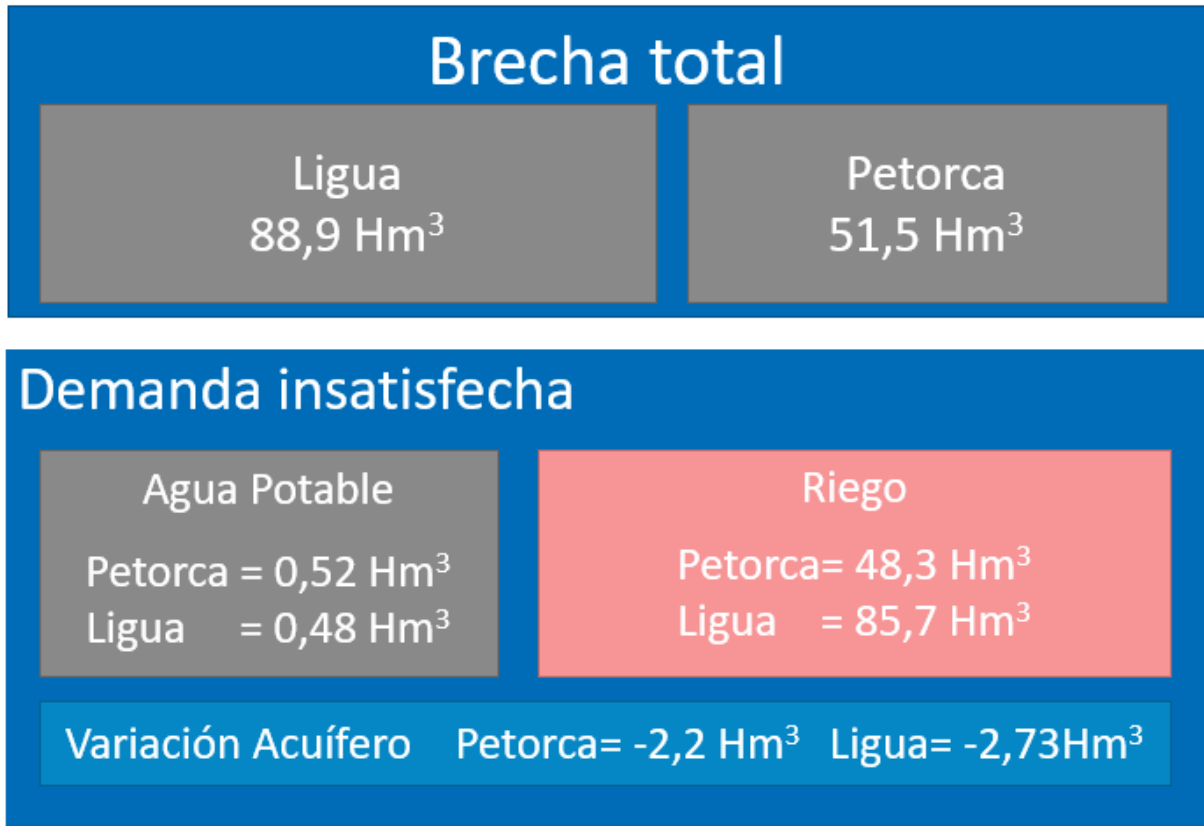
La brecha asociada al déficit generado para poder satisfacer las demandas evidenciadas en cada cuenca, fueron abordadas mediante el concepto de demanda insatisfecha y por el déficit anual en el recurso subterráneo.

Si en cada cuenca se considera la totalidad de la brecha (brecha de APR y agrícola) y además el déficit medio decadal del acuífero, es posible determinar el déficit hídrico total de cada cuenca, el cual fue considerado como la brecha hídrica en cada cuenca.

En este sentido, la brecha hídrica correspondiente al promedio entre los años 2010-2019 en la cuenca del río Ligua es igual a  $-88,9 \text{ hm}^3$  y para el río Petorca es igual a  $-51,5 \text{ hm}^3$  (Figura 2-13).

La existencia de estas brechas hídricas, tanto agrícola como de consumo humano, pone en evidencia la crítica situación de ambas cuencas, en donde el consumo humano para agua potable rural debe ser abastecido con camiones aljibe y en donde la APR es capaz de abastecer a sus socios, la dotación a entregar ha disminuido por debajo de los 150 l/hab/día, llegando a valores cercanos a 100 l/hab/día.

Por otra parte, la brecha hídrica agrícola, muestra la realidad actual de los agricultores en donde han tenido que disminuir la superficie regada en un 30 a 40% de la superficie total, pasando estas hectáreas a barbecho.



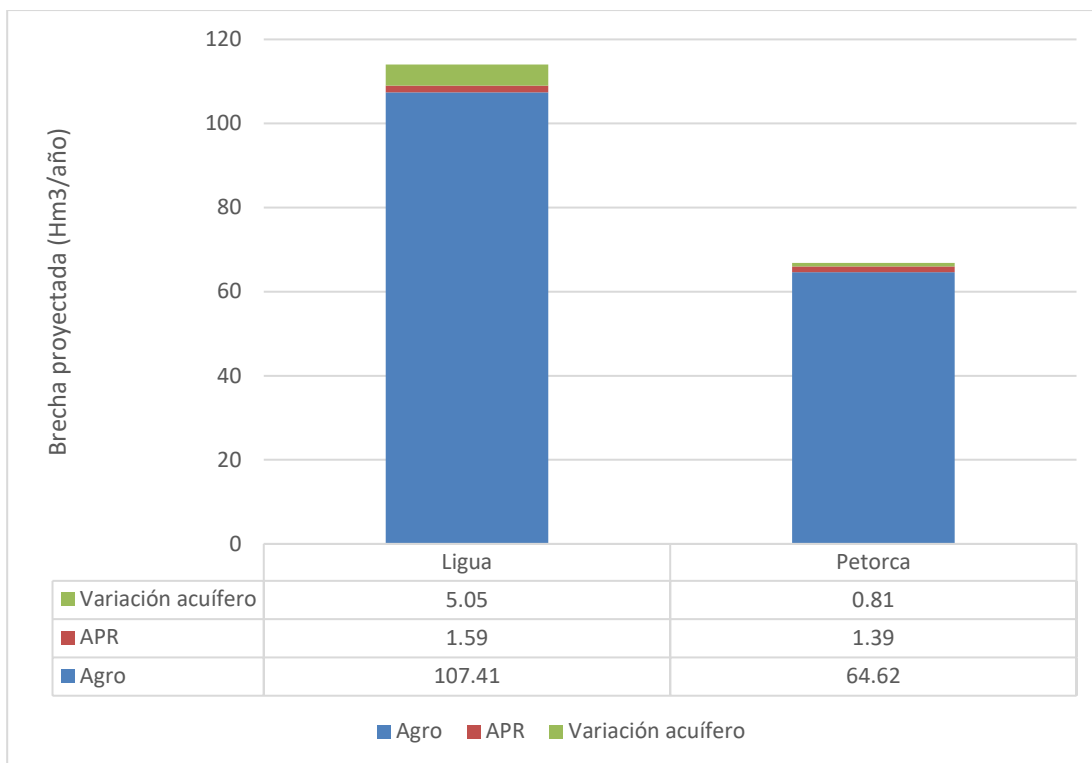
**Figura 2-13. Brecha hídrica en las cuencas del río Ligua y Petorca en el periodo 2010-2019.**

*Fuente: Elaboración propia a partir de la modelación hidrológica superficial (ver Anexo H Modelación hidrológica acoplada, Capítulo 5.2.1).*

El balance medio decadal muestra que ambas cuencas son deficitarias y presentan déficit en cada uno de los aspectos analizados (Agricultura, Agua potable rural y disminución del acuífero). Esto lleva a concluir que ambas cuencas están siendo altamente explotadas en niveles mayores a los permitidos para asegurar una sustentabilidad del recurso.

Debido al elevado déficit hídrico de ambas cuencas, el PEGH buscará reducir dicho déficit incorporando medidas o iniciativas que permiten una mejor distribución espacial y temporal del recurso hídrico, una mejor eficiencia en su distribución y gestión, así como la incorporación de nuevas fuentes de agua, permitiendo un uso sostenible de recurso hídrico y sus fuentes naturales.

Las brechas proyectadas muestran una tendencia similar a la tendencia actual. Considerando un escenario de cambio climático MIROC, el déficit hídrico proyectado entre los años 2040 y 2050 es de 114,1 hm<sup>3</sup> en Ligua y 66,8 hm<sup>3</sup> para Petorca (Figura 2-14).



**Figura 2-14. Déficit hídrico medio proyectado para la década 2040-2050 en los ríos Ligua y Petorca considerando escenario MIROC.**

*Fuente: Elaboración propia a partir de la modelación hidrológica superficial (ver Anexo H Modelación hidrológica acoplada, Acápite 5.2).*

Se aprecia que para la condición proyectada la condición hídrica de la cuenca será más desfavorable que la condición actual (periodo 2010-2019), aumentando en un 15% el déficit hídrico en el río Ligua y un 18% en el río Petorca para la década del año entre los años 2040 y 2050.

#### 2.1.4 Sustentabilidad

Se analizaron 5 criterios para definir la sustentabilidad del acuífero, tanto en la condición histórica como en la condición futura. Estos criterios van orientados a: 1) evaluar descensos generales en cada SHAC, 2) no afectar los recursos superficiales ya comprometidos, 3) satisfacción de la demanda al 95%, 4) la inexistencia de más de un 5% desconectados y 5) que las extracciones realizadas en un SHAC no afecten las condiciones de los SHAC vecinos.

Debido a la información existente, no pudo ser evaluados los criterios 4 y 5. De la evaluación de los tres restantes, se indica que la totalidad de los SHAC de la cuenca del río

Ligua como Petorca no son sustentable, tanto, en su condición histórica como proyectada (Tabla 2-3).

**Tabla 2-3 Sustentabilidad de los SHAC pertenecientes a las cuencas de los ríos Ligua y Petorca para la condición actual (periodo 2010-2019)**

Cuenca	SHAC	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3
Ligua	Estero Alicahue	Sustentable	Sustentable	No Sustentable
	Estero Los Ángeles	No Sustentable	No Sustentable	No Sustentable
	Estero Patahua	No Sustentable	Sustentable	No Sustentable
	Río La Ligua Cabildo	Sustentable	Sustentable	No Sustentable
	Río La Ligua Costa	Sustentable	Sustentable	No Sustentable
	Río La Ligua Oriente	No Sustentable	Sustentable	No Sustentable
	Río La Ligua Pueblo	Sustentable	Sustentable	No Sustentable
Petorca	Río Petorca Oriente	No Sustentable	No Sustentable	No Sustentable
	Río Petorca Poniente	No Sustentable	Sustentable	No Sustentable
	Río Pedernal	No Sustentable	Sustentable	No Sustentable
	Estero Las Palmas	Sustentable	Sustentable	No Sustentable
	Río Sobrante	No Sustentable	Sustentable	No Sustentable

Fuente: elaboración propia a partir de la modelación hidrológica superficial (ver Anexo H Modelación hidrológica acoplada, capítulo 6).

## **2.2 Calidad del agua y ecosistemas**

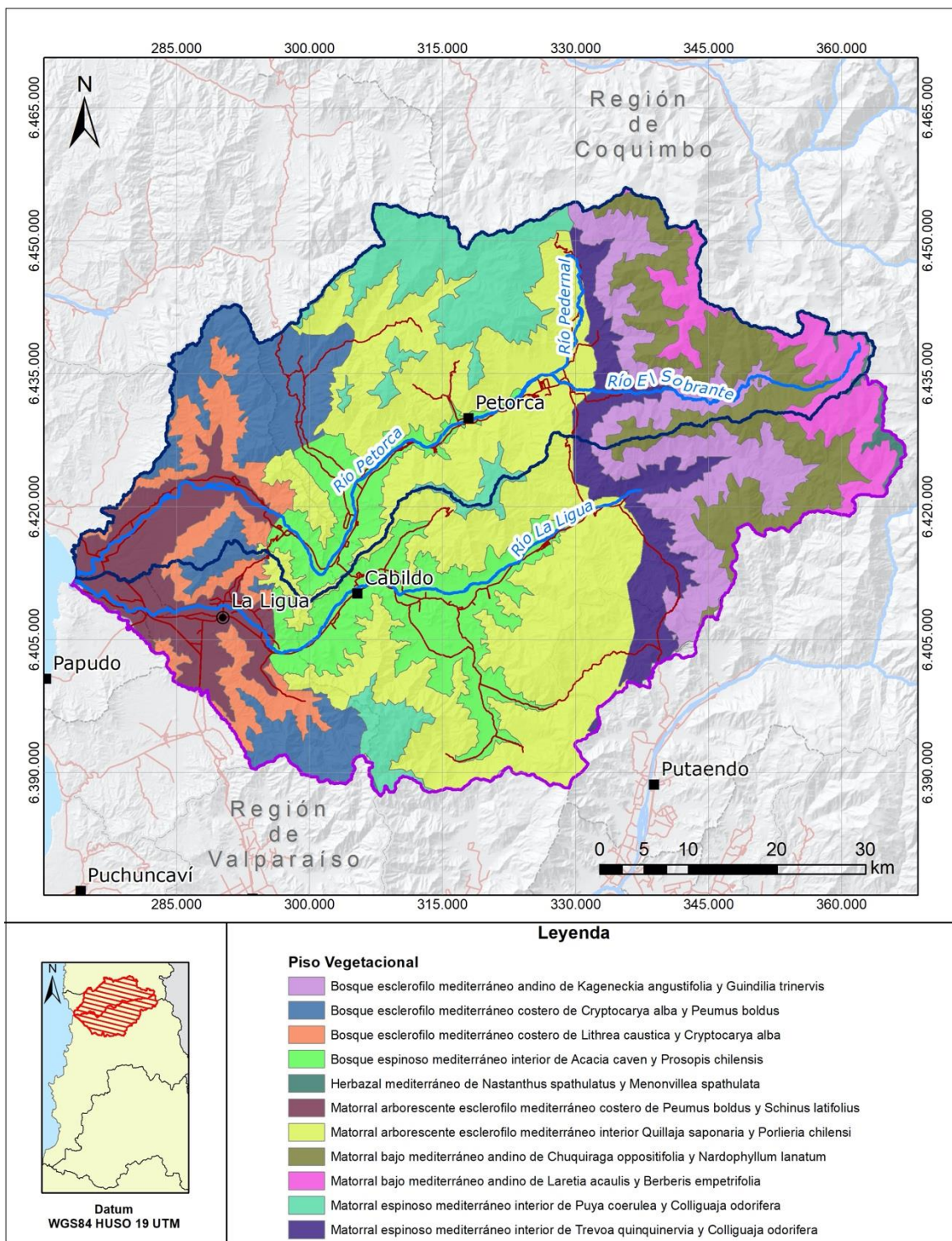
### **2.2.1 Estado actual**

Respecto a la calidad del agua, los ríos Petorca y Ligua presentan una condición casi idéntica. Se caracterizan en toda su extensión por bajos niveles de salinidad, con predominancia de los bicarbonatos por sobre los cloruros, bajas conductividades eléctricas, y bajos niveles de elementos metálicos. Dentro de éstos últimos, el más abundante en términos relativos es el boro, aunque se encuentra por debajo de los límites recomendados para el uso del agua en riego.

Particularmente, en el Río Ligua, los sectores: alto, medio y bajo de la cuenca presentan aguas del tipo bicarbonatado cálcico, superando el nivel máximo de Molibdeno Total y Mercurio Total en la parte media y baja de la cuenca.

En el río Petorca, los sectores alto y medio presentan aguas de composición bicarbonatada cálcica y con composición bicarbonato en el sector bajo, superando el nivel máximo de Molibdeno Total y Mercurio Total en la parte alta y media de la cuenca

Desde el punto de vista de ecosistemas terrestres, La "Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile", permite distinguir 6 formaciones y 11 pisos vegetacionales en la cuenca del río Ligua, al igual que en la cuenca del río Petorca (Figura 2-15). Dichas formaciones presentan un gradiente este-oeste siguiendo el gradiente altitudinal de las cuencas. Las principales formaciones tipo son: herbazal de altitud y matorral bajo de altitud (zona alta), bosque espinoso (en el valle cercano al río principal) y matorral arborescente (desembocadura del río).



**Figura 2-15. Pisos vegetacionales presentes en las cuencas Río Ligua y Río Petorca.**

*Fuente: Elaboración propia a partir de Luebert & Plischoff (2006).*



A modo de caracterización faunística se indican algunas especies identificadas en el Inventario Nacional de Especies. Estas especies han sido identificadas para la provincia de Petorca y/o Región de Valparaíso:

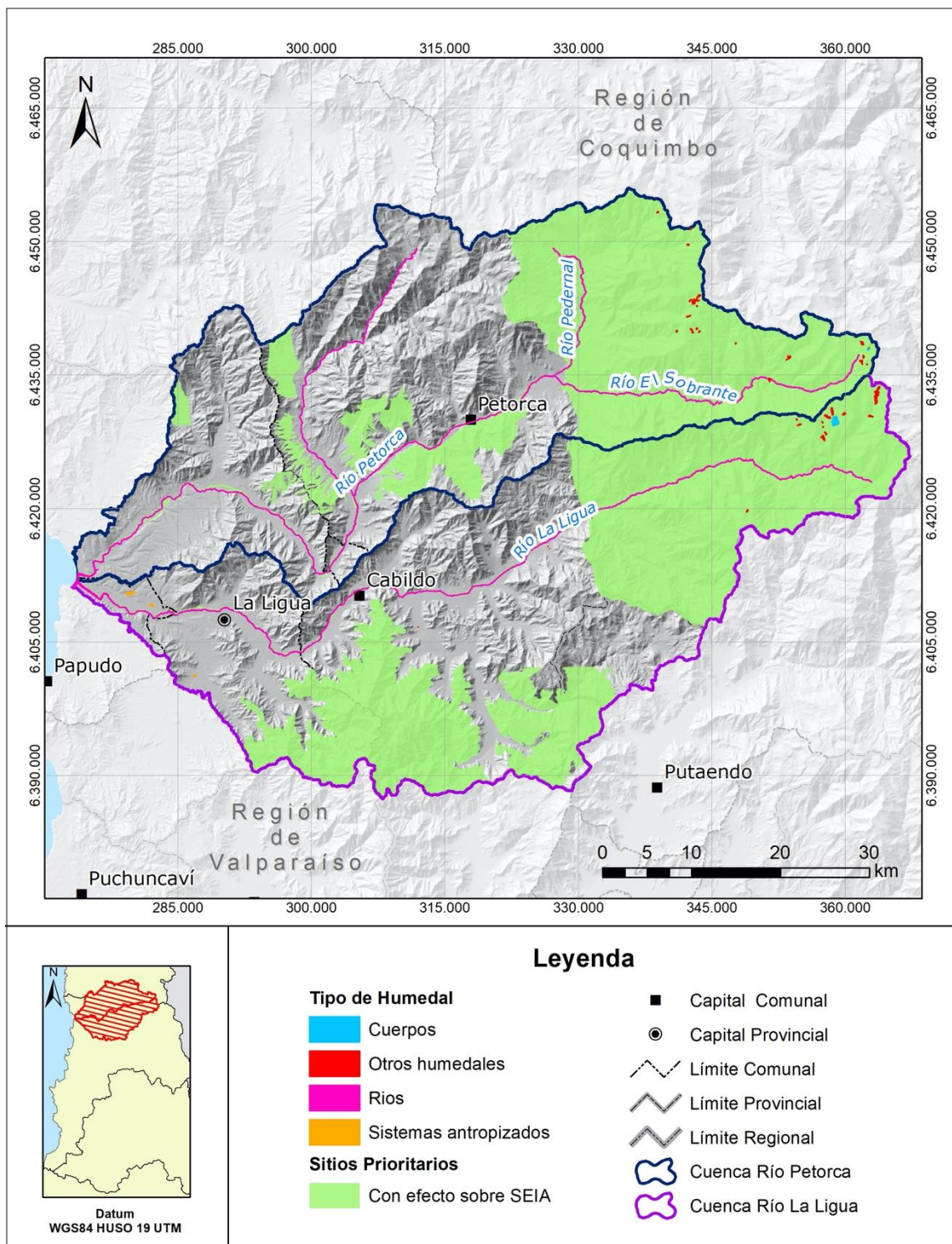
- Para los mamíferos se puede destacar el Guanaco (*Lama guanicoe*) y el Puma (*Puma concolor*).
- Para las aves el Cóndor (*Vultur grypus*), Aguilucho chico (*Buteo albigula*).
- Para reptiles y anfibios, la culebra de cola larga (*Philodra yassimonsii*) y el sapo de rulo (*Rhinella arunco*).

En relación a los ecosistemas acuáticos, en ambas cuencas hay presencia de los siguientes humedales (Figura 2-16):

- En la cuenca del río la Ligua se presentan 186 unidades de humedales, que cubren 381 ha, siendo los humedales tipo río principal y secundario los que cubren mayor superficie (174 ha).
- En la cuenca del río Petorca se presentan 201 unidades de humedales, que cubren 309 ha, siendo los humedales tipo río principal y secundario los que cubren mayor superficie (217 ha).

Para las cuencas del río La Ligua y Petorca no se encuentran categorías dentro del **Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE)**, esto es que no se encuentran Parques Nacionales, ni Reservas Naturales, etc. Respecto a las iniciativas de conservación privadas, en la cuenca del río Petorca no se encuentra ninguna iniciativa ni comunitaria ni privada.

En ambas cuencas se encuentran dos tipos de **Sitios Prioritarios de conservación de la biodiversidad (SP)**, aquellos que poseen una línea base y que poseen efecto sobre el SEA, y, aquellos que no poseen línea base y consecuentemente, no tienen efecto en el SEA (Figura 2-16). En la cuenca La Ligua se encuentran dos SP con efecto en SEA: 1) Altos de Petorca y 2) Alicahue y Cordillera el Melón; cuatro SP sin efecto en SEA: 1) Cerro tabaco, Estuario 2) Río La Ligua, 3) Río La Ligua y 4) Zona Media Río La Ligua. En la cuenca del río Petorca se presenta un único SP con efecto SEA Altos de Petorca y Alicahue, compartido con la cuenca La Ligua, y cuatro SP sin efecto en SEA: 1) Palmas de Tilama, 2) Petorca, 3) Río Petorca y 4) Zona Media Superior Petorca.



**Figura 2-16. Tipos de humedales y tipos de SP en cuencas La Ligua y Petorca.**

*Fuente: Elaboración propia a partir del IDE (2021c; 2021d, ver en Anexo B Referencias Bibliográficas).*

## **2.2.2 Brechas de calidad del agua y ecosistemas**

Existe una carencia de información respecto a la calidad del agua, tanto superficial como subterránea, debido al escurrimiento superficial limitado a la parte alta de en ambas cuencas.

Por otra parte, el monitoreo de calidad del agua subterránea es incipiente, puesto que la DGA logró generar un acuerdo para realizar el monitoreo desde pozos APR el año 2018

La información disponible respecto de unidades ecosistémicas muestra un desbalance en el conocimiento de ecosistemas terrestres y acuáticos. Para los ecosistemas acuáticos la información ha sido recopilada de Estudios de Impacto Ambiental que se localizan en la cuenca, pero que no necesariamente reflejan esfuerzos de muestreos a escala de cuenca.

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

Producto de todo lo anterior, es que se desconocen las relaciones de flujo de servicios ecosistémicos a escala reducida del territorio, además de la relación entre su dinámica y la mantención de fuentes de agua o zonas de recarga o de provisión de servicios ecosistémicos hídricos, por ejemplo, se desconoce el aporte en provisión hídrica producto del aumento de superficies dedicadas a la conservación

## **2.3 Institucionalidad y gobernanza**

### **2.3.1 Estado actual**

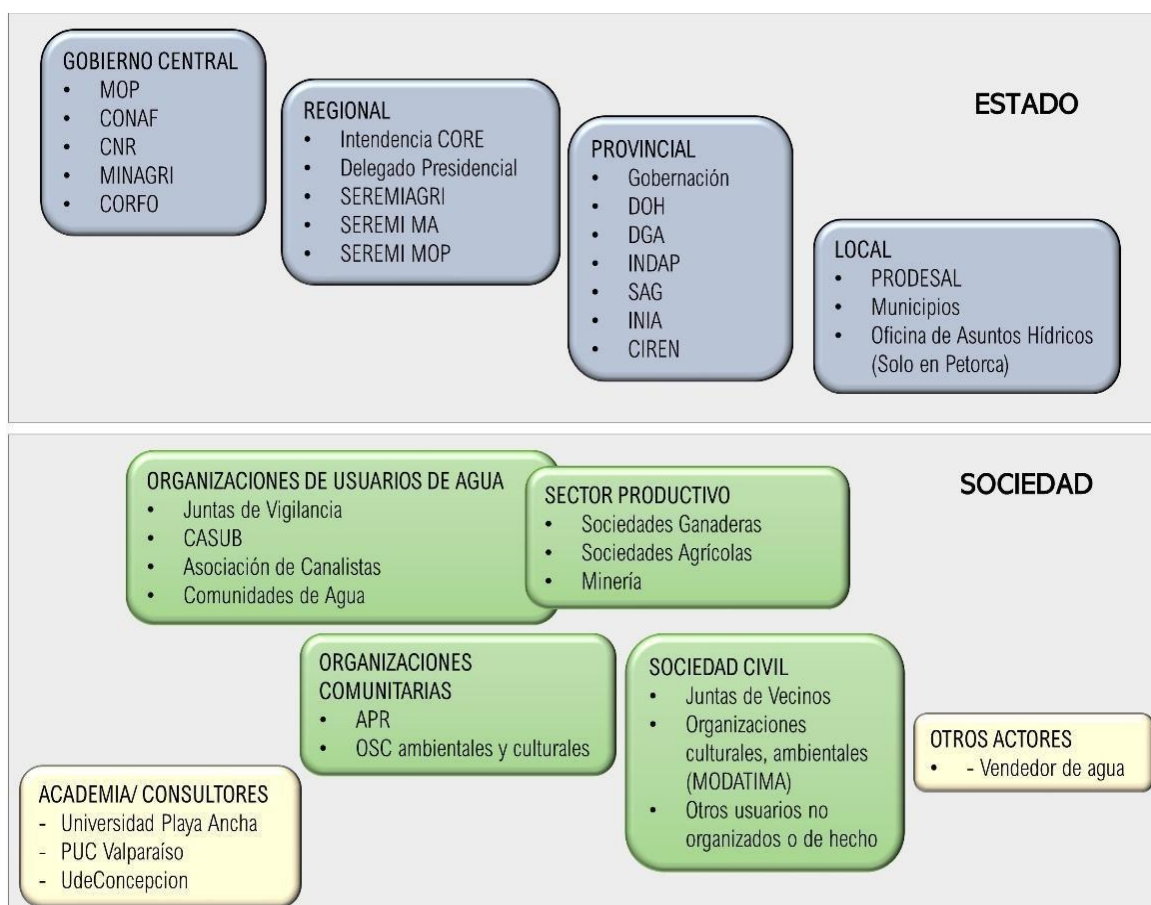
Cada uno de los Ministerios mencionados a nivel nacional tiene una Secretaría Regional Ministerial (SEREMI), que son la representación de los ministerios en las regiones. En el caso de la Provincia de Petorca, a nivel regional existe también un Delegado Presidencial o coordinador regional de recursos hídricos y un encargado sólo para la provincia de Petorca que dependen directamente de la Presidencia.

A nivel provincial, existe también la Oficina Provincial del Agua, en convenio entre el Ministerio de Obras Públicas y la gobernación de Petorca. Esta oficina, con funcionarios de la DOH y DGA, tiene el objetivo de atender los requerimientos de los usuarios en la zona; asesoramiento, entre otros.

A nivel Municipal, la comuna de Petorca cuenta con una Oficina de Asuntos Hídricos que fue inaugurada el 2016, con el objetivo de abordar los problemas de coordinación e integración de las políticas públicas sectoriales en materia territorial y del agua especialmente con las

APR, promover la participación comunitaria, proporcionar información y orientación para la gestión y el desarrollo de acciones que permitan asegurar el acceso al agua, tanto en cantidad como en calidad.

Con esta información se actualizó un mapa de actores (Figura 2-17) para la Provincia de Petorca<sup>2</sup>.



**Figura 2-17. Mapa principales actores en las cuencas de Ligua y Petorca.**

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

Estos actores se involucran de distinta manera en el territorio y dependiendo de la contingencia. Los principales actores de esta lista tienen también distintos grados de interés e influencia.

En la cuenca del río Ligua existe 1 asociación de canalistas y 35 Comunidades de Aguas, un 70% de ellas legalizada en 1985. En la cuenca del río Petorca existen 2 Juntas de

<sup>2</sup> Debido a la emergencia sanitaria, con la consiguiente imposibilidad de realizar talleres presenciales, se estableció una estrategia de consulta a través de formularios online (enviados a **103** correos electrónicos y mensajes a **29** números de WhatsApp) y llamadas telefónicas (**80** personas).

Vigilancia, 1 asociación de canalistas y 76 comunidades de agua, un 60% ingresadas en 1986 (ver Anexo J Descripción y diagnóstico, Apéndice J.4).

El análisis de la información referente a las OUA muestra una débil presencia y desigual capacidad de gestión entre las OUA en las cuencas de los ríos La Ligua y Petorca.

En la cuenca del río Petorca existen dos JdV: la Junta de Vigilancia del río Petorca Sección El Monte y La Vega conformada en 2006 y la recientemente conformada Junta de Vigilancia de la Cuenca del Río Petorca (2018). Sin embargo, la historia muestra que las juntas han tenido dificultades para estar operativas debido en parte al nulo escurrimiento superficial de los cauces superficiales en la zona media y baja y el debilitamiento de las asociaciones de canalistas.

El río Ligua no cuenta con una Junta de Vigilancia, la cual ha contado con varios intentos durante los años, pero ha sufrido similares desafíos como en la cuenca del Río Petorca. En los años 2000, la conformación de una Junta de Vigilancia en La Ligua fue conflictiva al no consensuar si era mejor una Junta para la parte alta y otra para la parte baja del valle dado que parte del río fluye subterráneamente.

Actualmente existen 12 CAS, cada una en un Sector Hidrogeológico de Aprovechamiento Común SHAC. El año 2018 la mayoría de las CAS se constituyen por elecciones de asamblea, es decir por votación de los usuarios.

Las asociaciones de canalistas activas son las de los canales Chicolco (cuenca de Petorca) y del Ingenio y canal Alicahue (Ligua). Muchas agrupaciones de canalistas no están legalizadas o tienen necesidad de regularización de los DAA. La desaparición de agua de los cauces superficiales es una de las razones para la escasa presencia de Asociaciones de canalistas en las cuencas de Ligua y Petorca.

Respecto a organizaciones sociales, la Provincia de Petorca aglutina una diversidad de organizaciones centradas en la disponibilidad y gestión del agua, debido a que la falta de este recurso amenaza su supervivencia. Una de las organizaciones civiles más conocidas del territorio y de Chile es el Movimiento Defensa por el Agua, Tierra y Medio Ambiente (MODATIMA), agrupación social creado en 2011 que aglutina profesionales, agricultores, dueñas de casa, comerciantes, jóvenes y estudiantes buscando soluciones al problema del agua en la provincia y en Chile. Otras organizaciones como Escuela Agroecológica Germinar, y diversas ONG a nivel nacional han participado también en algún momento de las discusiones respecto a los recursos hídricos en Petorca y La Ligua. La ONG Chile Sustentable, asimismo, ha contribuido con el movimiento social a través de apoyo técnico-legislativo, en donde destaca la publicación del documento "Los conflictos por el agua en Chile" (2012), que ha permitido ordenar la dispersa agenda de los movimientos sociales.

Además de las organizaciones de la sociedad civil son importantes en la provincia la Asociación Gremial de Petorca (AGAPE) que aglutina a productores agrícolas, Asociación de Agricultores de Petorca (AGROPETORCA) también asociación agrícola, y la Fundación para el Desarrollo de Petorca (FODEPE) asociación sin fines de lucro para el apoyo a pequeños agricultores y APRs. Sus miembros son también miembros de la CORCASUB

(Corporación de Comunidades de Agua Subterráneas) y algunos de ellos conforman FODEPE. AGROPETORCA es la asociación gremial con más antigüedad, mientras que AGAPE es una agrupación más nueva.

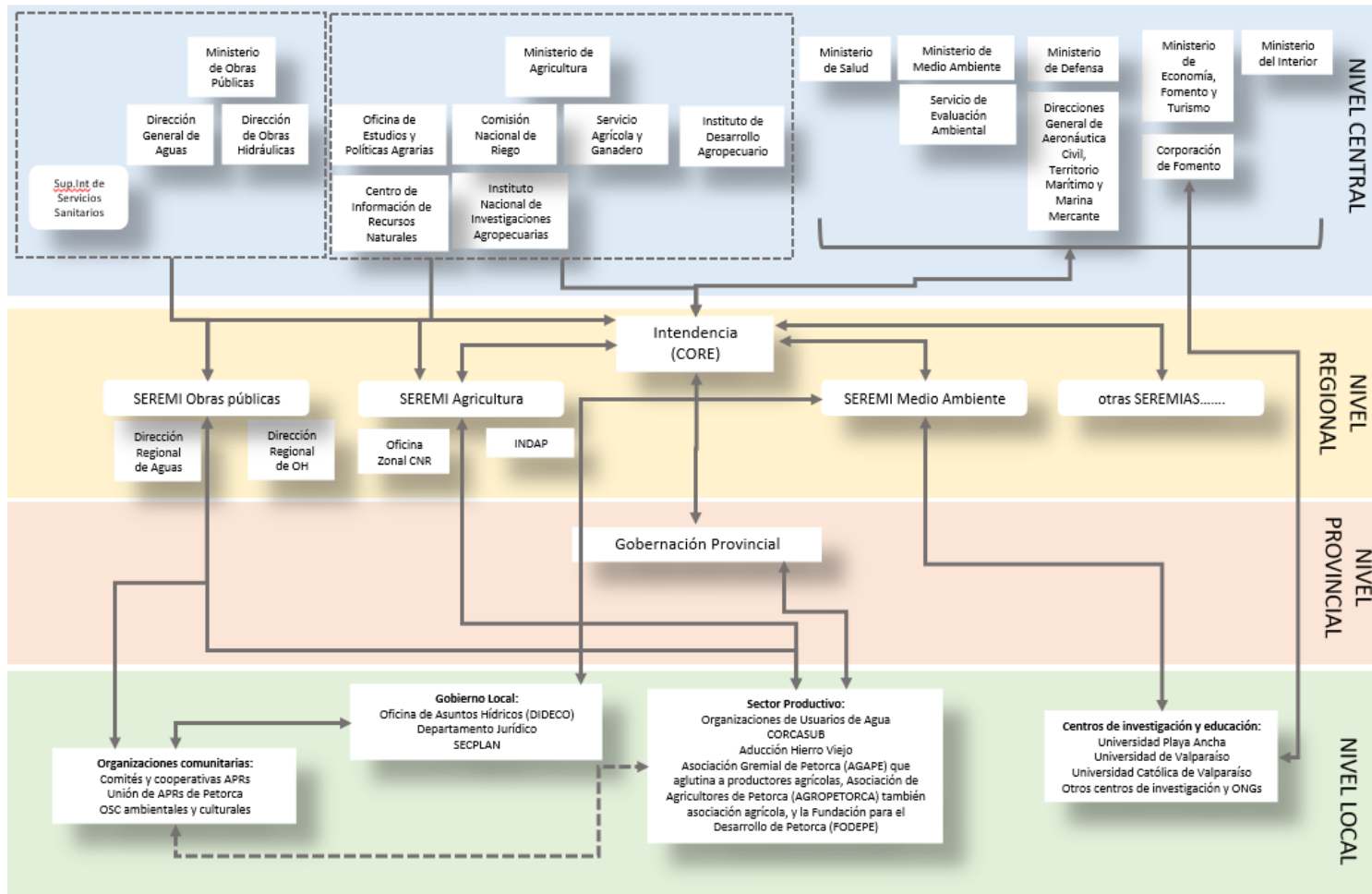
Además del rol que cumplen las instituciones públicas, existen organismos privados que han participado de la gestión del agua y presentan relaciones entre sí. Por ejemplo, la CORCASUB, participa de la oficina hídrica quienes en conjunto han liderado proyectos para la solución a la escasez de agua potable rural en la provincia, como por ejemplo la aducción Hierro Viejo que fue desarrollada en conjunto con la Subdirección Regional, la Seremi de Obras Públicas, la mesa regional de APR, la municipalidad y la DOH.

Además existen la Unión de agua potable Rural en donde se realizan distintas actividades para fortalecer las capacidades de las APR existentes en la provincia, como la realización de las denominadas "Mingas del Agua". Esta iniciativa busca construir de forma artesanal el sistema de redes de agua potable, con todos los estándares que establecen las normas vigentes y los proyectos DOH<sup>3</sup>.

En la Figura 2-18 se puede apreciar esquemáticamente la relación entre las distintas instituciones gubernamentales y organismos privados en las cuencas de Ligua y Petorca.

---

<sup>3</sup> <https://www.aguaparatodos.cl/>



**Figura 2-18. Institucionalidad actual del agua en las cuencas de los ríos Ligua y Petorca y la relación entre los distintos actores.**

*Fuente: Elaboración propia (anexo J Descripción y Diagnóstico, Capítulo 1.6 y Anexo I Procesos participativos).*

### 2.3.2 Brechas de coordinación

La Política de Desarrollo y Sostenibilidad Hídrica para la Región de Valparaíso, propone una Gobernanza a nivel Regional en coordinación con las Organizaciones de Usuarios de Aguas existentes a nivel de las cuencas. Sin embargo, a nivel de cuenca, en este momento las instancias de coordinación son acotadas a las emergencias y con limitada participación de tipo de usuarios. De manera global, se identificaron una serie de debilidades y dificultades que generan brechas de coordinación entre actores públicos y privados, problemas en la gestión hídrica y altos niveles de conflictividad en la cuenca.

En la Provincia existen dos Mesas de Agua, la Provincial y la de APRs, las cuales no suelen interactuar. Las CASUB miembros de la Mesa Regional tienen directa llegada a las Autoridades Provinciales y Regionales, mientras que la Mesa de las APR tiene mayor coordinación con el nivel Municipal. El *Plan Agua para Petorca 2018-2022*, generó una diversidad de interesantes iniciativas de coordinación puntual entre los niveles Regional, Local, usuarios y privados que sin embargo se encuentran desarticulados actualmente y sin una visión en común sobre la priorización de los recursos hídricos. Actualmente las iniciativas público-privadas son puntuales y no incorporan a todos los actores en la cuenca. Una encuesta (ver Anexo I, procesos Participativos) a actores de la cuenca de la Ligua (20 personas, 50% de las cuales eran representantes de APR y servicios de agua, 35% organizaciones del Estado local y regional, 20% asociación de usuarios o productores, y 10% de agrupaciones sociales o independientes), mostró que con las organizaciones que más coordinan ya sea temporal o constante, se tienen las Cooperativas de Agua Rural, Organizaciones sociales, la Gobernación y la Dirección de Obras Hidráulicas. Con la Dirección General de Aguas se menciona más una relación temporal u ocasional, aunque con el SEREMI MOP, solo una organización dijo coordinar. En cuanto a las organizaciones o instancias relacionadas con el agua con las que "Nunca" han coordinado, resaltan el Juzgado de Policía local, el Departamento Jurídico Municipal, la Oficina de Asuntos Hídricos (que solo atiende las APR) y las empresas mineras. A la pregunta de con que organizaciones les gustaría vincularse más, la mayoría responde que, con la DGA, DOH y CNR.

Debido a la grave crisis hídrica se generaron colaboraciones entre OUA y organizaciones del Estado y sociedad civil, que pueden dar señales de como debiese ser la coordinación inter-sectorial. Sin embargo, la mayor parte de las coordinaciones han sido reactivas y puntuales debido a la crisis de escasez hídrica en la Provincia de Petorca. Una de las cuáles sigue vigente son las Mesas del Agua, estando tres mesas activas que abordan las problemáticas de Petorca.

Las dos mesas que todavía operan activamente en la Provincia de Petorca (Unión APRs, Mesa del Agua Provincial) enfrentan retos de financiamiento, descoordinación y poca vinculación entre ellas.



### 3. PLAN DE ACCIÓN

Seguidamente se presenta la estructura del Plan de Acción y se identifican las iniciativas que lo conforman, como resultado del diagnóstico previo, los resultados de las actividades de Participación Ciudadana, el apoyo de la herramienta de modelación hidrológica y la evaluación de la cartera de acciones actualmente existente.

#### 3.1 Indicadores de la cuenca

#### 3.2 Estructura del Plan de Gestión

La estructura del PEGH se ha establecido de acuerdo a cuatro (4) ejes alineados según los objetivos específicos del presente estudio, y que se identifican en la Figura 3-1.

- Eje 1) Uso estratégico del Recurso Hídrico: responde al objetivo específico de “reducir las brechas entre oferta y demanda de agua considerando cambio climático, sequía y riesgos naturales”.
- Eje 2) Sistemas de Información y Monitoreo: se relaciona con el objetivo específico de “mejorar conocimiento y monitoreo de las aguas de la cuenca, sus ecosistemas y sus fuentes naturales asociadas
- Eje 3) Medidas Gestión y Gobernanza del Agua: responde a los objetivos específicos “promover la conformación de OUA y fortalecer las existentes” y “promover y revitalizar la alianza público-privada en materia hídrica (gobernanza, plataformas de servicios de información y mercado de DAA)”.
- Eje 4) Conservación y Protección de ecosistemas y fuentes hídricas: en relación al objetivo específico “proteger funciones ecosistémicas, tanto terrestres como acuáticos, relacionados con los cuerpos de agua superficiales y acuíferos en el tiempo”.



**Figura 3-1. Ejes y Objetivos del Plan de Acción.**

*Fuente: Elaboración propia.*

#### 3.3 Acciones e iniciativas

Se implementarán 33 acciones en el PEGH de las cuencas de los ríos Ligua y Petorca. Estas acciones buscan mejorar los indicadores definidos para la cuenca. Como ya se explicó anteriormente, es necesario desarrollar acciones o iniciativas que favorezcan la eficiencia

en el uso, su redistribución temporal, recuperación de acuíferos e incluso la incorporación de nuevas fuentes de agua.

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

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

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

Bajo este concepto, las acciones del Plan Estratégico de Gestión Hídrica se muestran a continuación (Tabla 3-1):

**Tabla 3-1. Listado de acciones seleccionadas que comprenden el PEGH de las cuencas de los ríos Ligua y Petorca.**

CÓDIGO	ACCIONES	BRECHA QUE ABORDA	Organismo encargado	Eje		
AG-02	Creación y fortalecimiento de las Oficinas de Asuntos Hídricos como ente técnico a nivel Municipal	Desvinculación con el Municipio y desiguales capacidades de las organizaciones de usuarios en cuanto al acceso a recursos económicos y técnicos.	GORE			
AG-03	Apoyo a la creación de Mesas del Agua de la Sociedad Civil	Desvinculación de iniciativas de gestión hídrica con la sociedad civil organizada.	GORE			
AG-01	Fortalecimiento Mesas del Agua APR: Apoyo a las APR y las Mingas del Agua.	Falta de mecanismos para el fortalecimiento homogéneo de las asociaciones de agua potable rural Dificultades para fortalecer y masificar iniciativas de coordinación exitosas	DOH			
AG-04	Creación y promoción de un Comité coordinador a nivel de cuencas	Brecha de coordinación entre OUAs con otros actores en la cuenca.	GORE			
CH-01	Generación de un fondo provincial, regional y/o nacional para mejoramiento de infraestructura y capacidades de APR	Falta de mecanismos para el fortalecimiento homogéneo de las asociaciones de agua potable rural	DOH			
CH-02	Creación de programa de acompañamiento continuo a OUA y especialmente a APR	Falta de mecanismos para el fortalecimiento homogéneo de las OUAs y asociaciones de agua potable rural	DOH			
FO-01	Programa de apoyo a la conformación y legalización de las Juntas de Vigilancia	Fortalecimiento y Formación de Organizaciones de Usuarios de Agua Inexistencia de Juntas de Vigilancia operativas	CNR			

CÓDIGO	ACCIONES	BRECHA QUE ABORDA	Organismo encargado	Eje		
FO-02	Programa de apoyo a conformación de las OUA.	Inexistencia de Comunidades de Usuarios de Aguas Subterráneas	CNR			
FO-03	Programa de mentorías para el fortalecimiento y modernización de APRs/CASUB de la Provincia	Limitadas iniciativas de fortalecimiento y formación de capital humano entre usuarios.	OUA			
NF-01	Reutilización de aguas servidas tratadas	Déficit de 88,9 hm <sup>3</sup> en Ligua y 51,5 hm <sup>3</sup> en Petorca	DOH			
NF-04	Aporte de agua a las cuencas del río Petorca y La Ligua proveniente de desalación	Déficit de 88,9 hm <sup>3</sup> en Ligua y 51,5 hm <sup>3</sup> en Petorca	DOH			
NF-05	Construcción de embalse de regadío Las Palmas	Déficit de 48,3 hm <sup>3</sup> en riego en la cuenca del Río Petorca	DOH			
NF-06	Construcción de embalse de regadío Los Ángeles	Déficit de 85,7 hm <sup>3</sup> en riego en la cuenca del Río Ligua	DOH			
NF-07	Construcción de embalse de regadío La Chupalla	Déficit de 85,7 hm <sup>3</sup> en riego en la cuenca del Río Ligua	DOH			
NF-08	Construcción de embalse de regadío Pedernal	Déficit de 48,3 hm <sup>3</sup> en riego en la cuenca del Río Petorca	DOH			
NF-02	Aducción APR Alicahue	Déficit de 0,48 hm <sup>3</sup> de APR en la cuenca del Río Ligua	DOH			
RA-02	Construcción de piscinas de infiltración en llanura de inundación en ríos Ligua y Petorca	Disminución del acuífero de -2,2 hm <sup>3</sup> en Petorca y de 2,73 hm <sup>3</sup> en Ligua	DOH			
NF-03	Aducción APR Hierro Viejo	Déficit de 0,52 Hm <sup>3</sup> de APR en la cuenca del Río Petorca	DOH			
ME-01	Mejora eficiencia en la conducción de canales de regadío	Déficit de 85,7 hm <sup>3</sup> en riego en la cuenca del Río Ligua y de 48,3 hm <sup>3</sup> en la cuenca del Río Petorca	CNR			
AI-01	Creación plataforma única de visualización de datos en cada cuenca	Complejo acceso a la información existente	DGA			

CÓDIGO	ACCIONES	BRECHA QUE ABORDA	Organismo encargado	Eje		
AI-02	Estándares de medición y envío de datos por terceros de acuerdo a requerimientos DGA	Carencia de estaciones de monitoreo que permita caracterizar los recursos hídricos en la cuenca	DGA	1		
AI-03	Ampliación de la red de monitoreo para la caracterización del recurso hídrico	Carencia de estaciones de monitoreo que permita caracterizar los recursos hídricos en la cuenca	DGA	1		
AI-04	Programa de Monitoreo ciudadano	Desvinculación de iniciativas de gestión hídrica con la sociedad civil organizada.	Soc Civil	1		
ME-02	Mejora riego intrapredial	Déficit de 85,7 hm <sup>3</sup> en riego en la cuenca del Río Ligua y de 48,3 hm <sup>3</sup> en la cuenca del Río Petorca	CNR		1	
AI-05	Catastro infraestructura de conducción y distribución de agua para riego	Déficit de 85,7 hm <sup>3</sup> en riego en la cuenca del Río Ligua y de 48,3 hm <sup>3</sup> en la cuenca del Río Petorca	CNR	1		
AI-06	Catastro superficies agrícolas sin tecnificar	Déficit de 85,7 hm <sup>3</sup> en riego en la cuenca del Río Ligua y de 48,3 hm <sup>3</sup> en la cuenca del Río Petorca	CNR	1		
AI-08	Diseño e implementación de un plan de monitoreo de calidad de aguas	Inconsistencia en la cantidad de estaciones de monitoreo "vigentes" con datos, en la cantidad de días muestreados y la cantidad de parámetros medidos en el tiempo	DGA	1		
EC-01	Actualización del inventario Nacional de Humedales a nivel local	Reducido entendimiento sobre la dinámica espacio temporal de los ecosistemas acuáticos, con énfasis en límites fijos y estáticos de los humedales	MMA			1

CÓDIGO	ACCIONES	BRECHA QUE ABORDA	Organismo encargado	Eje		
EC-02	Estudios técnicos sobre funcionamiento ecológico y social de los humedales	Carencia de información y desconocimiento sobre la biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas	MMA			
EC-03	Desarrollar estudios e investigaciones holísticas con el objetivo de cuantificar las relaciones de causalidad entre el ecosistema y la generación de bienestar social.	Carencia de conocimiento sobre los servicios ecosistémicos que genera el ecosistema en la cuenca.	MMA			
EC-04	Iniciar estudios que valoran y relacionan el flujo de servicios ecosistémicos a diversas escalas.	Carencia de conocimiento sobre los servicios ecosistémicos que genera el ecosistema en la cuenca	MMA			
AI-07	Estudios hidrogeológicos locales en APR	Déficit de agua para consumo humano de 0,48 hm <sup>3</sup> de APR en la cuenca del Río Ligua y de 0,52 hm <sup>3</sup> en la cuenca del Ro Petorca	DOH			
RA-01	Promover la conversión de los Sitios Prioritarios existentes a territorios bajo protección legal para la conservación biológica	Pérdida de superficie de vegetación nativa que presta servicios ecosistémicos de provisionamiento y regulación, así como fuente hídrica para la recarga de acuíferos.	DGA			

	Eje: Uso estratégica de los recursos hídricos
	Eje: Sistemas de información y monitoreo
	Eje: Medidas de gestión y gobernanza
	Eje: Conservación y Protección de ecosistemas y fuentes hídricas

*Fuente: Elaboración propia (Ver Anexo D, Plan de acción).*

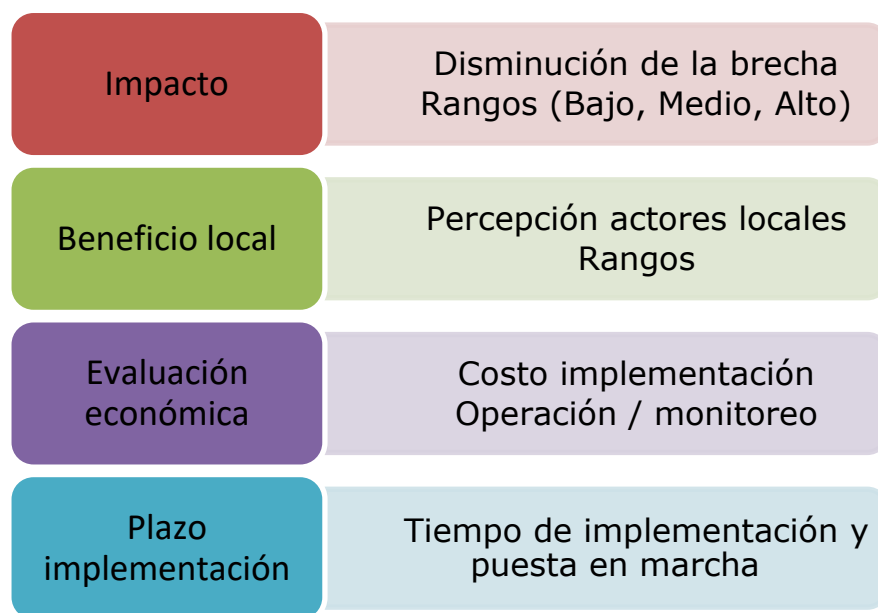
### 3.4 Cartera de Iniciativas

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

La priorización de las acciones se llevó a cabo de manera multidimensional (ver Figura 3-2), considerando:

- 1) El impacto sobre la brecha: Efectividad de la iniciativa en disminuir la brecha identificada
- 2) Beneficio local: Aceptación de las iniciativas por parte de los actores locales
- 3) Evaluación económica: costo de implementación (CAPEX) y operación (OPEX) de cada iniciativa
- 4) Plazo de implementación: Plazo en el cual la iniciativa puede empezar a operar en el PEGH

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



**Figura 3-2. Criterios considerados para la priorización de las actividades a implementar en el Plan Estratégico.**

*Fuente: Elaboración propia.*

La combinación de escalas en los 4 criterios anteriores se estableció según **Reglas De Criterio Experto**, donde son más importantes, e igualmente relevante entre ellas, el impacto en la brecha y la importancia para los actores, seguidas por el costo y el tiempo de implementación. De esta manera si una acción tiene un alto impacto en la brecha y es altamente valorada (beneficio), el tiempo y costo se consideran como irrelevantes. En cambio, si los primeros criterios tienen menor valoración, se evalúa el costo (menor costo mejor) y el tiempo (menor tiempo mejor) en la evaluación general de la acción. De esta manera se incorpora la opinión local sobre el beneficio de las acciones en las cuencas, dando como resultado la Tabla 3-2:

**Tabla 3-2. Priorización de las acciones.**

Impacto en la brecha específica (ALTO, MEDIO, BAJO)	Beneficio percibido por actores locales (ALTO, MEDIO, BAJO)	Costo de implementación y operación (ALTO, MEDIO, BAJO)	Tiempo de implementación (CORTO, MEDIO, LARGO)	Prioridad
ALTO	ALTO	No se considera	No se considera	ALTA
ALTO	MEDIO	BAJO, MEDIO	No se considera	ALTA
ALTO	MEDIO	ALTO	CORTO, MEDIO	ALTA



<b>Impacto en la brecha específica (ALTO, MEDIO, BAJO)</b>	<b>Beneficio percibido por actores locales (ALTO, MEDIO, BAJO)</b>	<b>Costo de implementación y operación (ALTO, MEDIO, BAJO)</b>	<b>Tiempo de implementación (CORTO, MEDIO, LARGO)</b>	<b>Prioridad</b>
ALTO	MEDIO	ALTO	LARGO	MEDIA
ALTO	BAJO	BAJO, MEDIO	No se considera	MEDIA
ALTO	BAJO	ALTO	CORTO, MEDIO	MEDIA
ALTO	BAJO	ALTO	LARGO	BAJA
MEDIO	ALTO	BAJO, MEDIO	No se considera	ALTA
MEDIO	ALTO	ALTO	No se considera	MEDIA
MEDIO	MEDIO	BAJO, MEDIO	No se considera	MEDIA
MEDIO	MEDIO	ALTO	CORTO, MEDIO	MEDIA
MEDIO	MEDIO	ALTO	LARGO	BAJA
MEDIO	BAJO	BAJO, MEDIO	No se considera	MEDIA
MEDIO	BAJO	ALTO	No se considera	BAJA
BAJO	ALTO	BAJO, MEDIO	No se considera	MEDIA
BAJO	ALTO	ALTO	No se considera	BAJA
BAJO	MEDIO, BAJO	No se considera	No se considera	BAJA

Fuente: Elaboración propia.

### 3.5 Priorización

Todas las alternativas identificadas provienen de una selección de ideas del territorio que además fueron evaluadas con mayoría de aceptación por los actores locales. Por lo tanto, la totalidad de las acciones fueron seleccionadas para ser incorporadas como parte del Plan Estratégico, solo se somete a discusión la implementación de la totalidad de los embalses proyectados, puesto que ellos en su operación conjunta no logran disminuir completamente la brecha.

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

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

**Tabla 3-3. Priorización de las acciones definidas.**

<b>CÓDIGO</b>	<b>ACCIONES</b>	<b>PRIORIDAD</b>
AG-02	Creación y fortalecimiento de las Oficinas de Asuntos Hídricos como ente técnico a nivel Municipal	<b>MEDIA</b>

<b>CÓDIGO</b>	<b>ACCIONES</b>	<b>PRIORIDAD</b>
AG-03	Apoyo a la creación de Mesas del Agua de la Sociedad Civil	<b>MEDIA</b>
AG-01	Fortalecimiento Mesas del Agua APR: Apoyo a las APR y las Mingas del Agua.	<b>ALTA</b>
AG-04	Creación y promoción de un Comité coordinador a nivel de cuencas	<b>ALTA</b>
CH-01	Generación de un fondo provincial, regional y/o nacional para mejoramiento de infraestructura y capacidades de APR	<b>ALTA</b>
CH-02	Creación de programa de acompañamiento continuo a OUA y especialmente a APR	<b>ALTA</b>
FO-01	Programa de apoyo a la conformación y legalización de las Juntas de Vigilancia	<b>ALTA</b>
FO-02	Programa de apoyo a conformación de las OUA.	<b>ALTA</b>
FO-03	Programa de mentorías para el fortalecimiento y modernización de APRs/CASUB de la Provincia	<b>ALTA</b>
NF-01	Reutilización de aguas servidas tratadas	<b>BAJA</b>
NF-04	Aporte de agua a las cuencas del río Petorca y La Ligua proveniente de desalación	<b>ALTA</b>
NF-05	Construcción de embalse de regadío Las Palmas	<b>ALTA</b>
NF-06	Construcción de embalse de regadío Los Ángeles	<b>MEDIA</b>
NF-07	Construcción de embalse de regadío La Chupalla	<b>MEDIA</b>
NF-08	Construcción de embalse de regadío Pedernal	<b>MEDIA</b>
NF-02	Aducción APR Alicahue	<b>MEDIA</b>

<b>CÓDIGO</b>	<b>ACCIONES</b>	<b>PRIORIDAD</b>
RA-02	Construcción de piscinas de infiltración en llanura de inundación en ríos Ligua y Petorca	<b>MEDIA</b>
NF-03	Aducción APR Hierro Viejo	<b>ALTA</b>
ME-01	Mejora eficiencia en la conducción de canales de riego	<b>ALTA</b>
AI-01	Creación plataforma única de visualización de datos en cada cuenca	<b>ALTA</b>
AI-02	Estándares de medición y envío de datos por terceros de acuerdo a requerimientos DGA	<b>ALTA</b>
AI-03	Ampliación de la red de monitoreo para la caracterización del recurso hídrico	<b>ALTA</b>
AI-04	Programa de Monitoreo ciudadano	<b>ALTA</b>
ME-02	Mejora riego intrapredial	<b>ALTA</b>
AI-05	Catastro infraestructura de conducción y distribución de agua para riego	<b>MEDIA</b>
AI-06	Catastro superficies agrícolas sin tecnificar	<b>MEDIA</b>
AI-08	Diseño e implementación de un plan de monitoreo de calidad de aguas	<b>ALTA</b>
EC-01	Actualización del inventario Nacional de Humedales a nivel local	<b>ALTA</b>
EC-02	Estudios técnicos sobre funcionamiento ecológico y social de los humedales	<b>ALTA</b>
EC-03	Desarrollar estudios e investigaciones holísticas con el objetivo de cuantificar las relaciones de causalidad entre el ecosistema y la generación de bienestar social.	<b>ALTA</b>

<b>CÓDIGO</b>	<b>ACCIONES</b>	<b>PRIORIDAD</b>
EC-04	Iniciar estudios que valoran y relacionan el flujo de servicios ecosistémicos a diversas escalas.	<b>ALTA</b>
AI-07	Estudios hidrogeológicos locales en APR	<b>MEDIA</b>
RA-01	Promover la conversión de los Sitios Prioritarios existentes a territorios bajo protección legal para la conservación biológica	<b>ALTA</b>

*Fuente: elaboración propia (Anexo D, Plan de Acción).*

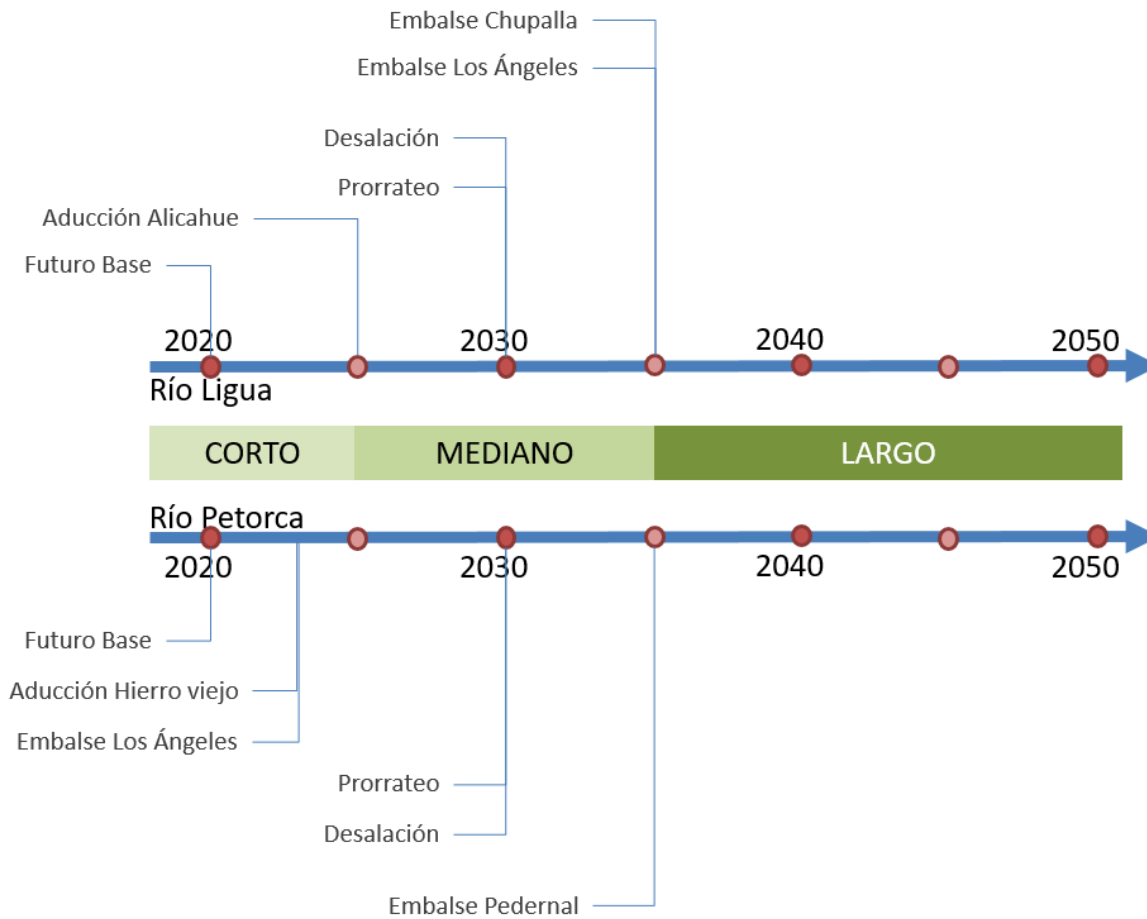
Un alto porcentaje de las acciones (70%) presenta una alta prioridad de implementación, un 24% presenta una prioridad media y solo un 6% presenta baja prioridad. De las acciones con alta prioridad predominan las acciones asociadas a carencia de información, nuevas fuentes y medio ambiente.

### **3.6 Evaluación conjunta**

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

En el río Ligua se consideraron los escenarios: Aducción Alicahue, Prorrato, Desalación, Embalse Los Ángeles y Embalse Chupalla. En el río Petorca se consideraron los escenarios: Aducción Hierro Viejo, Embalse Las Palmas, Desalación, Prorrato y Embalse Pedernal. En la Figura 3-3 se puede apreciar los escenarios considerados y su fecha propuesta para su puesta en marcha en el PEGH.

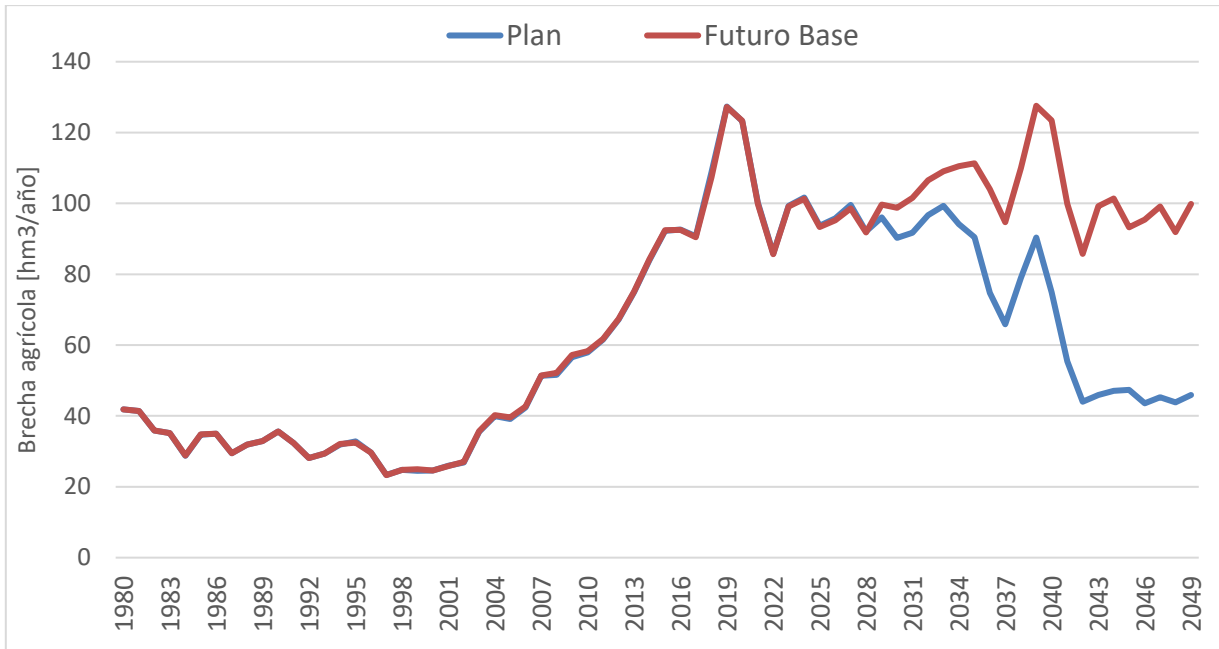
Los escenarios del PEGH para ambos ríos fueron comparados con la situación futura de las cuencas, en caso de no implementar el PEGH (escenario Futuro). Esta condición futura considera que se mantienen los derechos de agua otorgados al 2019, así como la superficie de riego.



**Figura 3-3. Esquema temporal de la simulación del PEGH para las cuencas de los ríos Ligua y Petorca.**

*Fuente: Elaboración propia.*

La variación temporal de la brecha hídrica en el periodo 1980-2050 (que incluye los escenarios históricos y futuros) y la disminución temporal de la brecha agrícola una vez implementado el Plan se muestra en la Figura 3-4

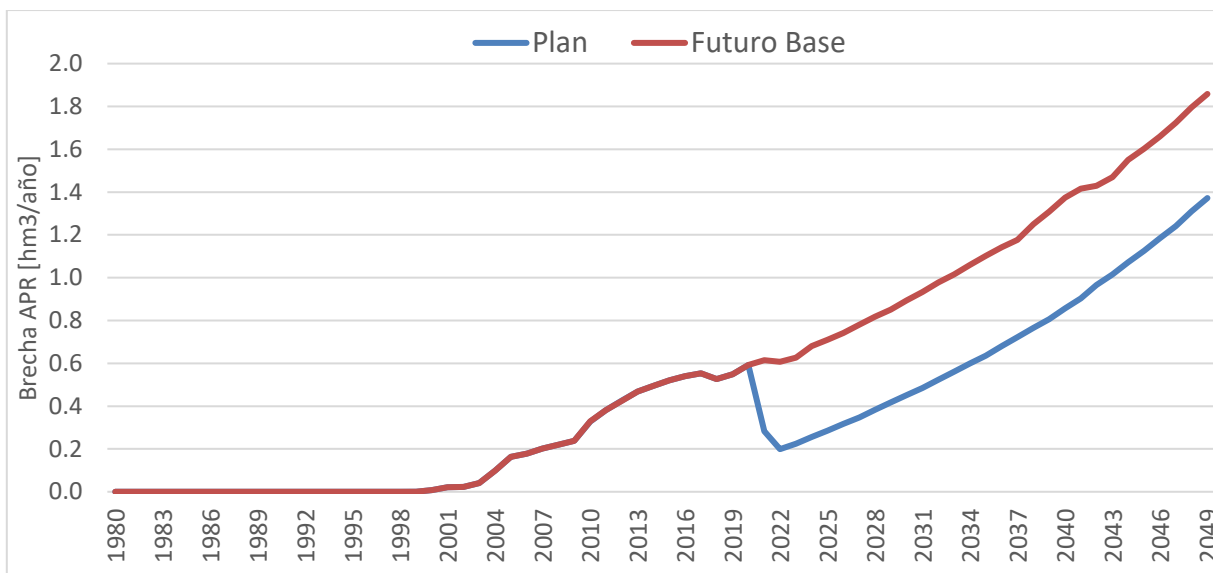


**Figura 3-4. Evolución temporal de la brecha agrícola bajo escenario histórico, futuro y con la implementación del Plan en la cuenca del río Ligua.**

*Fuente: Elaboración propia basado en resultados modelación hidrológica acoplada (Anexo H modelación hidrológica acoplada, capítulo 5.2.2).*

Se aprecia que la brecha agrícola disminuye levemente a partir del año 2020 al 2028. A partir de dicho año se aprecia una reducción notoria de la brecha, y la mayor reducción se logra en torno en los 2030 cuando la desalación está operativa.

En forma análoga, se muestra la evolución temporal de la brecha de agua potable para la cuenca del río Ligua, considerando la condición histórica, la futura y la aplicación del Plan (Figura 3-5).

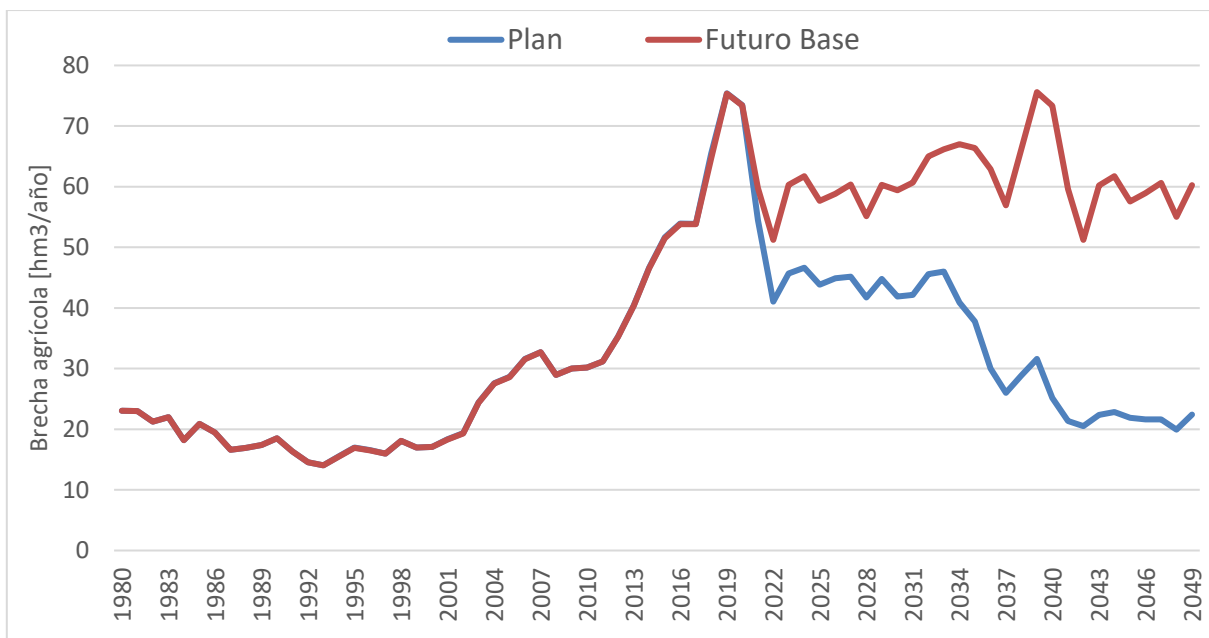


**Figura 3-5. Evolución temporal de la brecha de agua potable bajo escenario histórico, futuro y con la implementación del Plan en la cuenca del río Liga.**

*Fuente: Elaboración propia basado en resultados modelación hidrológica acoplada (Anexo H modelación hidrológica acoplada, capítulo 5.2.2).*

Se aprecia que bajo la aplicación el PEGH, la brecha de agua potable disminuye cuando se implementa el Plan. Esta disminución obedece principalmente a la puesta en operación de la aducción Alicahue. La brecha no disminuye completamente ya que esta aducción no abarca a la totalidad de SSR presentes en la cuenca.

La variación temporal de la brecha agrícola en el río Petorca en el periodo 1980-2050 (que incluye los escenarios históricos y futuros) y la disminución temporal de la brecha agrícola una vez implementado el Plan se muestra en la Figura 3-6.



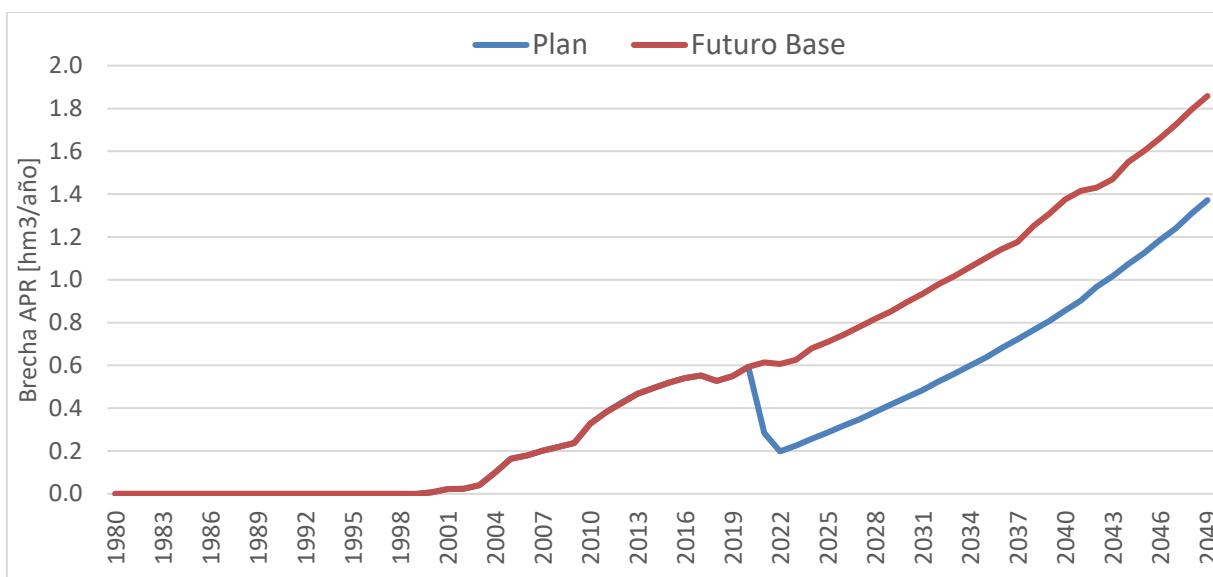
**Figura 3-6. Evolución temporal de la brecha agrícola bajo escenario histórico, futuro y con la implementación del Plan en la cuenca del río Petorca.**

*Fuente: Elaboración propia basado en resultados modelación hidrológica acoplada (Anexo H modelación hidrológica acoplada, capítulo 5.2.2).*

Se aprecia que la brecha agrícola comienza a disminuir a partir del año 2020. En el año 2022 se aprecia una mantención de la brecha y posterior al año 2030 la brecha sigue disminuyendo en forma sostenida, logrando una disminución del orden del 65% respecto a la condición futura proyectada para el año 2050.

En forma análoga, se muestra la evolución temporal de la brecha de agua potable para la cuenca del río Ligua, considerando la condición histórica, la futura y la aplicación del Plan (Figura 3-7).





**Figura 3-7. Evolución temporal de la brecha de agua potable bajo escenario histórico, futuro y con la implementación del Plan en la cuenca del río Petorca.**

*Fuente: Elaboración propia basado en resultados modelación hidrológica acoplada (Anexo H modelación hidrológica acoplada, capítulo 5.2).*

En términos generales, la implementación del PEGH permite mejorar la situación hídrica en ambas cuencas, las iniciativas que componen el Plan no son suficiente para eliminar las brechas completamente.

La agricultura pareciera ser la mayor beneficiada, ya que la brecha disminuye en mayor porcentaje, así como su cobertura logran un mayor aumento, el aumento del consumo de agua potable es importante, pero no es suficiente.

Esto lleva a analizar más en detalle las iniciativas planteadas, particularmente aquellas que están el Banco integrado de proyecto. Por ejemplo, los 4 embalses proyectados no logran disminuir considerablemente las brechas agrícolas ni las de agua potable, por lo tanto, será necesario desarrollar estudios más profundos en cuanto a la hidrología proyectada, demandas estimadas y la regla de operación con el fin de encontrar soluciones más eficientes. Los embalses ubicados en la cuenca del río Petorca logran una mayor disminución de la brecha, pero no es sustancial el aporte de ellos en el PEGH. Las aducciones proyectadas logran una mejor importante en las APR, en donde la aducción Hierro viejo permite obtener una cobertura igual al 100% de las APR conectada a dicha aducción. En el caso de la aducción Alicahue, en la cuenca del río Ligua, los 42 l/s no son suficiente para satisfacer a todas las APR conectadas. En ambas aducciones, se ve la efectividad de las medidas, pero estas no son suficientes para la completa disminución de la brecha, por lo que será necesario evaluar la factibilidad técnica, hidrológica y económica de ampliar la cantidad de aducciones internas.

La totalidad de las medidas simuladas, no eliminan completamente el déficit hídrico, lo cual conlleva a concluir sobre la necesidad de disminuir la demanda principalmente agrícola, cambiando a cultivos con menor demanda o bien disminuyendo la superficie asociada a riego.

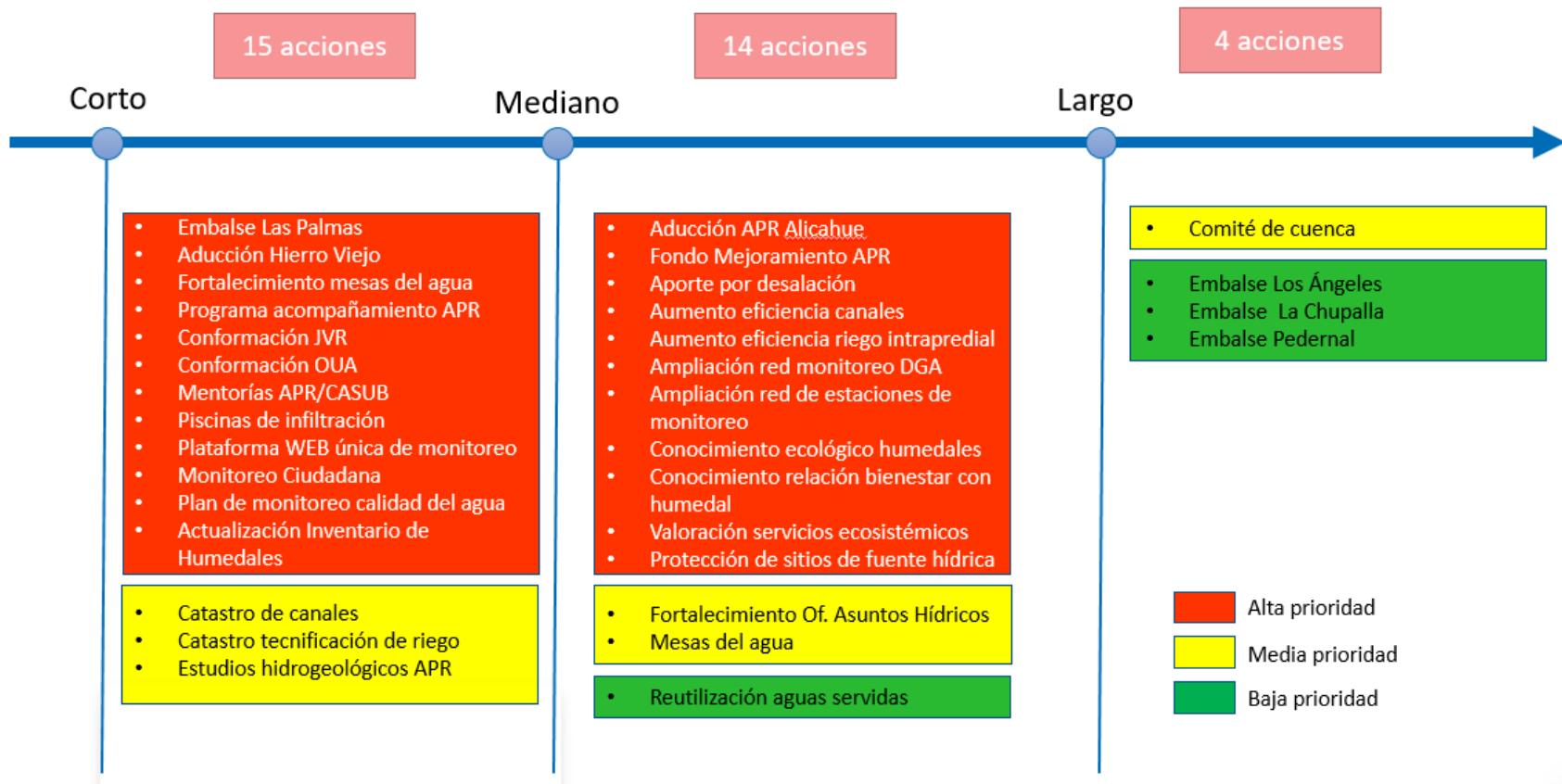
#### **4. IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN**

La estrategia de implementación del plan obedece a la priorización realizada anteriormente y al plazo de ejecución de dichas acciones, tal como se muestra en la Figura 4-1.

En ella se observa que para el corto plazo 15 son las acciones que deben ser implementadas. En términos generales, estas acciones obedecen a la infraestructura que está en construcción actualmente (Embalse Las Palmas y la aducción de Hierro Viejo) y a la construcción de piscinas de infiltración en las llanuras de inundación de los ríos Petorca y, a la conformación y legalización de Organismos Usuarios del Agua y a la generación de información para el monitoreo.

En el mediano plazo, se implementan fuertemente las acciones que permiten conocer los humedales existentes en la cuenca, su funcionamiento y servicios ecosistémicos existentes, y finalmente su relación entre dichos servicios ecosistemas y provisión de recursos hídricos. Dentro de esto mismo, se consideró la protección oficial de sitios prioritarios existentes en la cuenca como sitios de provisión hídrica. Además, se incluyen las obras de aducción de Alicahue, la implementación de fondos para el mejoramiento continuo de las APR, instalación de estaciones de monitoreo y el fortalecimiento de instancias coordinadoras en asuntos hídricos.

Finalmente, en el largo plazo se espera que el comité de cuencas se encuentre operativo y permita llevar a cabo la gestión de cuencas. Además, los restantes embalses en carpeta deberían estar entrando en operación.



**Figura 4-1. Línea de tiempo de implementación de las acciones y su prioridad de implementación.**

*Fuente: Elaboración propia (Ver Anexo D, apéndice D.3).*

#### 4.1 Aspectos institucionales

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

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

**Tabla 4-1. Rol de las instituciones sectoriales y regionales en la implementación del Plan.**

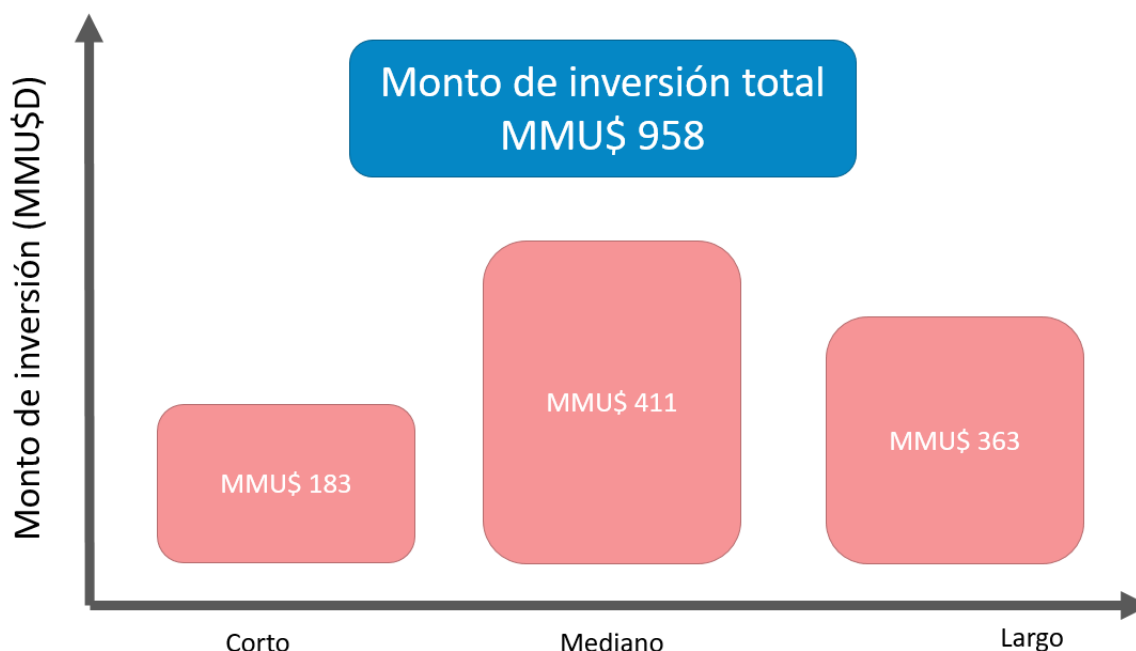
Institución	Rol	Inversión Millones de USD
Dirección General de Aguas	Definición de acciones orientadas a la obtención de información y a la conformación de las mesas del agua y el comité del agua	6,9
Dirección de Obras Hidráulicas	Construcción de grandes obras de regulación, particularmente de los 4 embalses planteados como iniciativa estatal Mejoramiento de la infraestructura de las APR, así como sus capacidades técnicas. Construcción de las aducciones de Hierro Viejo y Alicahue	900,8
Comisión Nacional de Riego	Mejoramiento de eficiencia en el riego y fortalecimiento y modernización de Juntas de vigilancia y CASUB	30,4
Ministerio de Medio Ambiente	Aumento del conocimiento y caracterización de los humedales existentes. Participación activa en la generación de figuras de protección oficial de zonas como fuentes de provisión de recursos hídricos	15,0
Gobierno Regional	Implementación de medidas no estructurales (soluciones basadas en la naturaleza) y apoyo en la conformación de las mesas del agua y del comité de cuencas	5,7
Organizaciones de Usuarios de agua	Permitir y facilitar la gestión del agua, participando en reforzar las capacidades técnicas y de gestión. Tecnificación de riego e implementación de sistemas de medición, telemetría y automatización intra y extrapredial	2,2
Sociedad civil	Conformación y participación en mesas de la sociedad civil y en el monitoreo ciudadano	0,2

*Fuente: elaboración propia (Anexo D, Plan de Acción).*

#### 4.2 Financiamiento del Plan

El costo del Plan es de 958,159 MMUSD para las 33 acciones definidas, en donde un 94% de dicho monto es considerando las obras de infraestructura hidráulica

De acuerdo a la estrategia de implementación del Plan y a la cartera de acciones a implementar en el corto, mediano y largo plazo, la inversión a realizar en dichos plazos se distribuye según se muestra en la Figura 4-2.



**Figura 4-2. Distribución de los costos de implementación y operación del Plan Estratégico de Gestión Hídrica de las cuencas Ligua y Petorca.**

*Fuente: elaboración propia (Anexo D. Acciones del Plan Apéndice D.3).*

El financiamiento proviene principalmente de las instituciones que participan en la implementación de las acciones. La DOH es la principal fuente de financiamiento, en conjunto con la CNR de acuerdo a las mejoras en infraestructura de obras de riego y la incorporación de mayores hectáreas con riego tecnificado.

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

## **5. MONITOREO Y EVALUACIÓN**

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

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

### **5.1 Indicadores de déficit hídrico**

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

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

### **5.2 Indicadores de gestión**

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

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

### **5.3 Indicadores de información**

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

- a) Inversión: Cumplimiento de los montos de inversión programada para el periodo
- b) Operación: Cumplimiento de los montos de operación programados para el periodo
- c) Cantidad de estaciones hidrométricas instaladas y en operación

### **5.4 Seguimiento**

Tal como se mencionó anteriormente, el seguimiento debe ser llevado a cabo por profesionales capacitados que pertenezcan a la secretaría técnica del comité de cuenca.

Los resultados de este seguimiento deben ser transparentadas en las distintas instancias de la gobernanza de la cuenca, tanto a nivel público como privado.

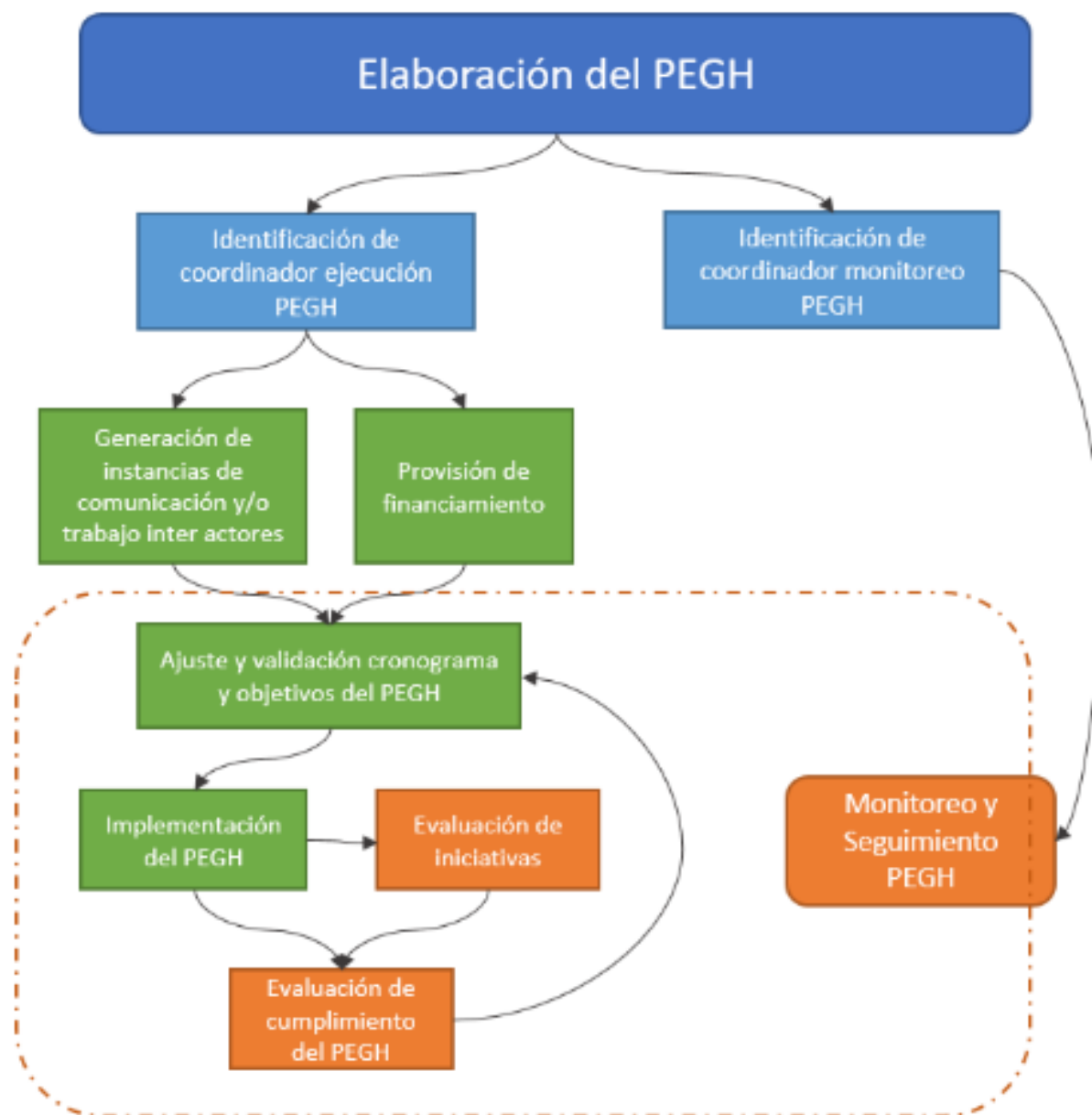
En paralelo a la implementación de las iniciativas del PEGH, el Plan de Monitoreo asociado permitirá un seguimiento y mejora de la pertinencia de las propuestas identificadas y su adaptación a lo largo del tiempo en caso oportuno. Se sugiere que el monitoreo general del Plan podría realizarse desde DGA 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 5-1 se presenta un esquema básico de los pasos propuestos para la implementación del Plan y la interacción con el monitoreo y seguimiento.

En esta implementación se distingue los roles del coordinador de la implementación del Plan y del coordinador de monitoreo, que si bien sus roles y funciones son distintas, estos entes deben interactuar entre sí.

El rol de implementador del Plan no solo debe velar por la implementación de las iniciativas en sí y la gobernanza de Plan y de cada una de sus medidas, sino que también debe velar por el financiamiento de ellas.

El rol del coordinador de monitoreo debe evaluar la efectividad de las medidas y trabajar coordinadamente con el coordinador de la implementación del Plan, con el fin de dotar de adaptabilidad y por tanto de flexibilidad al Plan. Así este podrá modificarse a medida que las incertidumbres iniciales van disminuyendo, como por ejemplo la proyección de cambio climático y/o los intereses o vocación de la cuenca va sufriendo cambios.



**Figura 5-1. Esquema de los pasos de implementación y seguimiento del Plan y su interacción entre ellos.**

*Fuente: Elaboración propia.*



## **5.5 Mecanismos para el análisis y toma de decisiones**

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

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