



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

# **PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA EN CUENCAS COSTERAS ENTRE LAS CUENCAS DE LOS RÍOS LIGUA Y ACONCAGUA**

## **RESUMEN EJECUTIVO**

**REALIZADO POR  
HIDROGESTIÓN S.A.**

**S.I.T. N° 512**

**SANTIAGO, DICIEMBRE DE 2022**

## **MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS**

### **Ministro de Obras Públicas**

Sr. Juan Carlos García Pérez de Arce, Arquitecto

### **Director General de Aguas**

Sr. Rodrigo Sanhueza Bravo, Ingeniero Civil en Industrias Forestales

### **Jefa (S) División Estudios y Planificación**

Sra. Andrea Osses Vargas, Ingeniero Civil

### **Inspector Fiscal**

Sr. Oscar López Arenas, Ingeniero Civil

### **Inspectores Fiscales Subrogantes**

Sr. Sebastián Menares Lira, Geólogo

Sra. Ximena Molina Tudesca, Geógrafa

## **Consultora**

### **Jefe de Proyecto**

Sr. Claudio Reyes Hurtado, Ingeniero Forestal

### **Especialistas y Profesionales**

Sr. Eugenio Celedón Cariola, Ingeniero Civil

Sr. Eugenio Celedón Correa, Ingeniero Civil

Sr. Alejandro Rodríguez Lazcano, Ingeniero Civil

Sra. Vanessa Mancisidor Univaso, Periodista

Sr. Víctor Gómez Coa, Geógrafo

Sra. Karina Aguilera Casanueva, Bióloga MSc

Sra. Virginia Carter Gamberini, Geógrafa PhD

Sr. Marcial Valenzuela Celis, Ingeniero Forestal

Sr. Diego Carpentier Nazal, Ingeniero Civil

Sr. Diego Niklitschek Flores, Ingeniero Civil

Sra. Danitza Berríos Toro, Geóloga

Sr. Cristián Jordán Díaz, Ingeniero Forestal PhD

Sra. Carolina Varas Valiente, Relacionadora Pública

Sr. Simón France Lanás, Sociólogo



# Índice del Resumen Ejecutivo

|  | <b>Página</b> |
|--|---------------|
| 1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO .....           | 1-7           |
| 1.1 Introducción .....                                 | 1-7           |
| 1.2 Objetivos.....                                     | 1-7           |
| 1.2.1 Objetivo general .....                           | 1-7           |
| 1.2.2 Objetivos específicos del Plan Estratégico ..... | 1-8           |
| 2 CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA .....                   | 2-9           |
| 2.1 Geología y geomorfología .....                     | 2-9           |
| 2.2 Suelos, uso y variación temporal .....             | 2-10          |
| 2.3 Hidrología.....                                    | 2-11          |
| 2.4 Ciudades y población .....                         | 2-12          |
| 2.4.1 Pueblos Originarios.....                         | 2-12          |
| 2.4.2 Actividad Económica .....                        | 2-12          |
| 2.5 Clima .....  | 2-14          |
| 2.5.1 Eventos Extremos y Variabilidad Climática.....   | 2-14          |
| 2.5.2 Escenarios de Cambio Climático .....             | 2-15          |
| 2.6 Dimensión Ambiental .....                          | 2-15          |
| 2.6.1 Unidades Ecosistémicas .....                     | 2-15          |
| 2.6.2 Áreas Silvestres Protegidas.....                 | 2-21          |
| 2.7 Infraestructura Hídrica .....                      | 2-21          |
| 2.7.1 Infraestructura sanitaria.....                   | 2-21          |
| 2.8 Nuevas fuentes de agua .....                       | 2-24          |
| 2.9 Gobernanza del Agua a Nivel de Cuenca .....        | 2-24          |
| 3 DEMANDA FÍSICA Y LEGAL .....                         | 3-25          |
| 4 OFERTA HÍDRICA .....                                 | 4-25          |
| 4.1 Aguas Superficiales.....                           | 4-25          |
| 4.1.1 Hidrología .....                                 | 4-25          |



---

|       |  |      |
|-------|--|------|
| 4.1.2 | Oferta en la fuente .....  | 4-26 |
| 4.1.3 | Calidad del agua .....   | 4-27 |
| 4.1.4 | Fuentes de contaminación .....   | 4-28 |
| 4.2   | Aguas subterráneas .....   | 4-29 |
| 4.2.1 | Hidrogeología .....  | 4-29 |
| 4.2.2 | Oferta en la Fuente .....  | 4-29 |
| 4.2.3 | Calidad del Agua .....   | 4-31 |
| 4.2.4 | Fuentes de contaminación .....   | 4-35 |
| 5     | BALANCE DE AGUA .....  | 5-35 |
| 5.1   | Modelo de Simulación .....   | 5-35 |
| 5.1.1 | Modelo Conceptual Hidrogeológico.....  | 5-35 |
| 5.1.2 | Descripción del Modelo Numérico superficial .....                                  | 5-35 |
| 5.1.3 | Escenarios de Cambio Climático .....   | 5-36 |
| 5.1.4 | Balance de Agua Actual.....  | 5-36 |
| 5.1.5 | Balance de Agua Proyectado.....  | 5-37 |
| 5.2   | Brechas Hídricas.....  | 5-45 |
| 5.3   | Sustentabilidad de Acuíferos .....   | 5-46 |
| 5.4   | Indicadores Hídricos de la Cuenca .....  | 5-46 |
| 5.5   | Análisis de sensibilidad.....  | 5-49 |
| 5.5.1 | ESCENARIO 1: Aumento intensificado de demanda poblacional .....                    | 5-49 |
| 5.5.2 | ESCENARIO 2: Incorporación de plantas desaladoras.....                             | 5-50 |
| 5.5.3 | ESCENARIO 3: Reutilización de las aguas tratadas de la localidad de Quintero ..... | 5-50 |
| 6     | ACCIONES .....   | 6-52 |
| 6.1   | Seguridad Hídrica para las Personas .....  | 6-52 |
| 6.2   | Seguridad Hídrica para los Ecosistemas.....  | 6-52 |
| 7     | INICIATIVAS PROPUESTAS.....  | 7-52 |
| 7.1   | Alternativas seleccionadas .....   | 7-53 |
| 7.2   | Líneas de Acción.....  | 7-58 |
| 7.3   | Valorización económica del Plan .....  | 7-59 |

---



---

|       |  |       |
|-------|--|-------|
| 7.4   | Cronograma de soluciones .....                   | 7-61  |
| 8     | IMPLEMENTACIÓN.....                              | 8-63  |
| 8.1   | Estrategia de implementación .....               | 8-67  |
| 8.1.1 | Aspectos Institucionales .....                   | 8-67  |
| 8.1.2 | Aspectos de financiamiento .....                 | 8-71  |
| 8.2   | Estrategia de comunicación.....                  | 8-72  |
| 8.3   | Identificación de fuentes de financiamiento..... | 8-72  |
| 9     | MONITOREO Y EVALUACIÓN DEL PLAN .....            | 9-73  |
| 10    | ASPECTOS NORMATIVOS .....                        | 10-78 |

---

## Índice de Tablas

|  |      |
|--|------|
| Tabla 2-1. Superficies según usos de suelo en área de estudio .....  | 2-10 |
| Tabla 2-2. Porcentajes según categorías de erosión en la zona de estudio .....   | 2-11 |
| Tabla 2-3. Población total de las comunas de la cuenca .....   | 2-12 |
| Tabla 2-4. Población indígena acreditada por comuna .....  | 2-12 |
| Tabla 2-5. Resumen de Información de Actividades Económicas .....  | 2-13 |
| Tabla 2-6. Uso del suelo de las explotaciones agropecuarias con tierra .....   | 2-14 |
| Tabla 2-7. GCM utilizados en DGA (2018) para representar las forzantes meteorológicas (precipitación y temperatura) en el periodo proyectado, considerando cambio climático .... | 2-15 |
| Tabla 2-8. Servicios Ecosistémicos Asociados a Ecosistemas Naturales .....   | 2-18 |
| Tabla 2-9. Abastecimiento de agua potable en sectores urbanos.....   | 2-22 |
| Tabla 2-10. Sistemas de agua potables rurales área estudio .....   | 2-22 |
| Tabla 2-11. Plantas de tratamiento de aguas servidas .....   | 2-23 |
| Tabla 2-12. Estaciones meteorológicas DGA.....   | 2-23 |
| Tabla 2-13. Estaciones fluviométricas vigentes.....  | 2-23 |
| Tabla 2-14. Estaciones de Calidad de Aguas.....  | 2-24 |
| Tabla 3-1 Demanda total Periodo actual y proyectado (2022-2060) .....  | 3-25 |
| Tabla 4-1. Cuerpos de Agua, Embalses y Humedales.....  | 4-26 |
| Tabla 4-2. Oferta superficial. Periodo histórico y actual.....   | 4-27 |
| Tabla 4-3 Oferta superficial proyectada. ....  | 4-27 |
| Tabla 4-4. Cálculo indicador ODS 6.3.2 (aguas subterráneas) .....  | 4-28 |
| Tabla 4-5 Sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común (SHAC) definidos en la zona de estudio y sus situaciones de restricción .....  | 4-29 |
| Tabla 4-6 Volúmenes de agua por SHAC (hm <sup>3</sup> ) promediados para periodos histórico y actual .....   | 4-30 |
| Tabla 4-7. Volúmenes de agua por SHAC (hm <sup>3</sup> ) promediados por décadas para el periodo proyectado .....  | 4-30 |
| Tabla 4-8. Cálculo indicador ODS 6.3.2 (aguas subterráneas) .....  | 4-31 |
| Tabla 4-9 Resumen de estadísticas para los parámetros de las 10 muestras .....   | 4-31 |
| Tabla 4-10. Resumen estadístico general datos hidroquímicos analizados en laboratorio....  | 4-33 |
| Tabla 5-1 Balance hídrico superficial. Periodo histórico y actual .....  | 5-36 |
| Tabla 5-2 Balance subterráneo por SHAC. Periodo histórico y actual .....   | 5-36 |
| Tabla 5-3. Balance hídrico de aguas superficiales, periodo proyectado (primera parte).....   | 5-37 |
| Tabla 5-4. Balance hídrico de aguas superficiales, periodo proyectado (segunda parte) .....  | 5-38 |
| Tabla 5-5. Balance proyectado para aguas subterráneas .....  | 5-39 |
| Tabla 5-6. Indicadores de Estado.....  | 5-46 |

---



---

|   |      |
|---|------|
| Tabla 5-7. Indicadores de Impacto para la cuenca .....                              | 5-47 |
| Tabla 5-8 Escenarios de gestión seleccionados .....                                 | 5-49 |
| Tabla 7-1. Alternativas Seleccionadas .....   | 7-54 |
| Tabla 7-2. Resumen de iniciativas de inversión.....                                 | 7-59 |
| Tabla 7-3. Resumen de inversión por Organismo Ejecutor y Plazo.....                 | 7-60 |
| Tabla 7-4. Cronograma de Implementación de Iniciativas .....                        | 7-61 |
| Tabla 8-1. Hitos de referencia del Plan (inversión a corto plazo) .....             | 8-63 |
| Tabla 8-2. Hitos de referencia del Plan (inversión a mediano y largo plazo).....    | 8-66 |
| Tabla 8-3 Comparación entre propuestas de Gobernanza de los recursos hídricos ..... | 8-68 |
| Tabla 8-4. Análisis de Fuentes de Financiamiento .....                              | 8-72 |
| Tabla 9-1. Indicadores del Proceso .....  | 9-73 |



---

## Índice de Figuras

|   |     |
|---|-----|
| Figura 2-1. Cuenca costera entre los ríos Ligua y Aconcagua ..... | 2-9 |
|---|-----|

## Índice de Ilustraciones

|   |      |
|---|------|
| Ilustración 2-1 Esquema de Servicios Ecosistémicos Asociados a Ecosistemas Naturales ....       | 2-17 |
| Ilustración 7-1 Líneas de Acción del Plan Estratégico .....                                     | 7-58 |
| Ilustración 8-1 Propuesta de gobernanza de recursos hídricos para la región de Valparaíso ..... | 8-70 |



---

## 1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO

### 1.1 Introducción

El presente documento presenta el Informe Final del Plan Estratégico de Gestión Hídrica en Cuencas Costeras entre las Cuencas de los Ríos Ligua y Aconcagua. El propósito de este Plan es 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 una 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.

Para dar cuenta del propósito del Plan, se adoptó como concepto estructurante la **Seguridad Hídrica**, entendida como la capacidad de proveer de agua en cantidad, calidad y oportunidad requerida para las personas, los ecosistemas y las actividades productivas. Complementariamente, esta provisión de agua debe ser resiliente frente a eventos extremos. Asimismo, se adopta el concepto de **Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH)** como una aproximación que trasciende el manejo del recurso, extendiéndose hacia las fuentes o componentes del ciclo hidrológico en su totalidad. De esta forma, la GIRH implica la atención a las múltiples necesidades de diferentes actores, pero en consideración a los diferentes estados del recurso hídrico en cada cuenca. Esta aproximación desde la Seguridad Hídrica y la GIRH se alinean con la propuesta de **Gobernanza** conversada con los usuarios, que se operativiza a través de Comités de Seguridad Hídrica, reunidos en un Consejo de Cuenca.

Para el desarrollo del presente Plan Estratégico se tomó como propósito la Seguridad Hídrica del territorio, a partir de lo cual se establecieron los siguientes ejes estratégicos: Seguridad Hídrica para las Personas, para los Ecosistemas, para el Desarrollo Productivo y ante Eventos Extremos; y dos ejes transversales de gestión: Gestión Institucional y Gobernanza.

### 1.2 Objetivos

#### 1.2.1 Objetivo general

Proponer un plan estratégico de gestión hídrica indicativo en Cuencas Costeras entre las Cuencas de los Ríos Ligua y Aconcagua, que oriente la toma de decisiones de agua, mediante la generación de portafolios de acciones para la seguridad hídrica, enfocadas en el mejoramiento de la información, instituciones, e infraestructura de agua, adaptación al cambio climático, y gobernanza.



---

### 1.2.2 Objetivos específicos del Plan Estratégico

**Objetivo N°1:** Describir el estado hídrico actual del área de estudio.

**Objetivo N°2:** Caracterizar la hidrogeología del área de estudio con técnicas geofísicas, pruebas hidráulicas, y muestras en terreno.

**Objetivo N°3:** Construir un modelo numérico representativo de las características principales hidrológicas del sistema hídrico del área de estudio.

**Objetivo N°4:** Diagnosticar el estado hídrico del área de estudio para obtener los contenidos del plan estratégico de gestión hídrica.

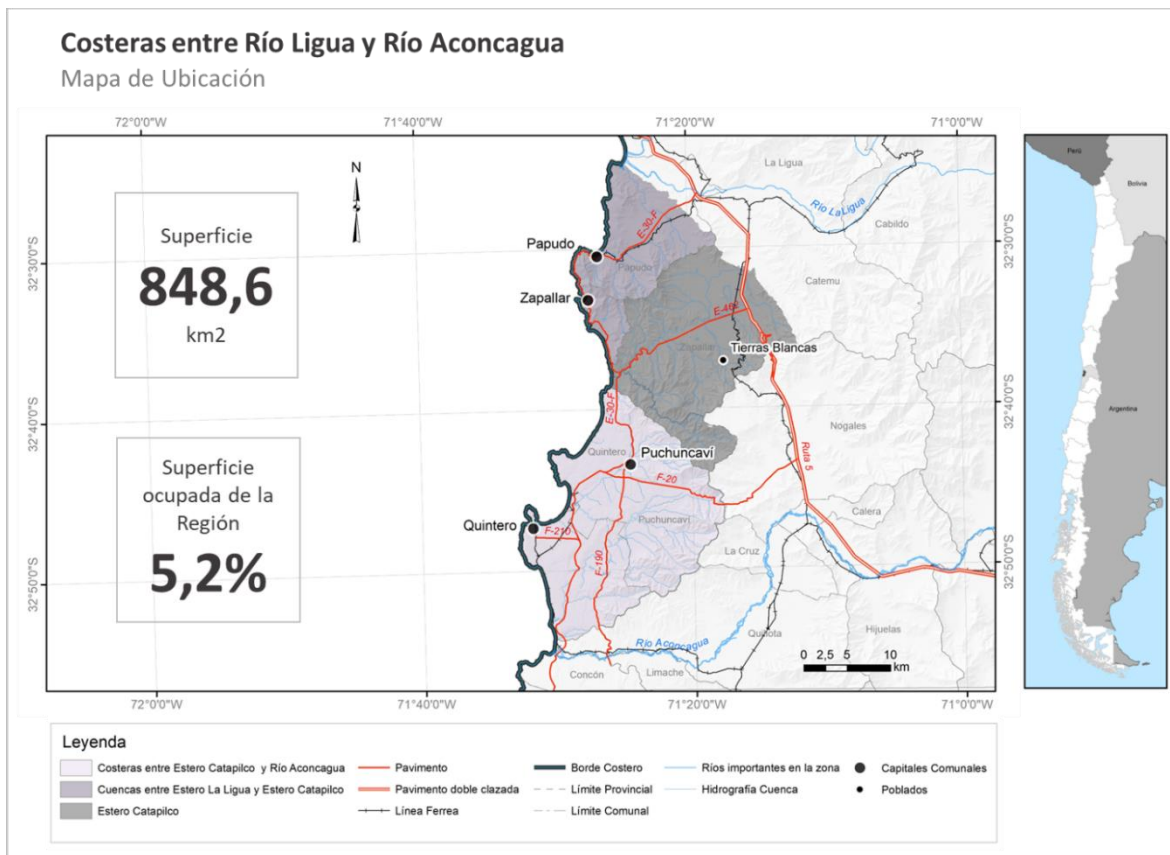
**Objetivo N°5:** Realizar un proceso de participación ciudadana que informe y consulte a la institucionalidad del agua relevante del área de estudio, para retroalimentar la formulación del plan estratégico de gestión hídrica.

**Objetivo N°6:** Formular un plan estratégico de gestión hídrica que contemple un portafolio de acciones que promuevan la seguridad hídrica y sostenibilidad de uso del agua en el área de estudio.

**Objetivo N°7:** Compilar avances y productos finales en un sistema de información geográfico, informes y actividades de difusión.

## 2 CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA

La cuenca costera entre los ríos Ligua y Aconcagua tiene una superficie de 848,6 km<sup>2</sup>, y comprende total o parcialmente a las comunas de Papudo, Zapallar, Puchuncaví y Quintero. En la Figura 2-1 se presenta una vista general de la cuenca.



Fuente: Elaboración propia

**Figura 2-1. Cuenca costera entre los ríos Ligua y Aconcagua**

### 2.1 Geología y geomorfología

El área de estudio desde el punto de vista físico está inserta entre las planicies litorales y los cordones transversales pertenecientes a la cordillera de la costa. En el sector norte de la cuenca, dominado por la Comuna de Zapallar, se levanta el cordón costero El Espinal y

al sur-orienté de la Comuna de Puchuncaví, el Cerro Puntas Trepadas con 1.135 metros de altitud. En el caso de las planicies marinas emplazadas en el sector norte de la cuenca, se ubican las terrazas fluviales en ambas riberas del Río La Ligua.

De acuerdo a la información incluida en la carta geológica de Sernageomin (2003), hacia el NE de las Cuencas Costeras entre las Cuencas de los Ríos Ligua y Aconcagua afloran localmente secuencias sedimentarias marinas del Triásico Superior asociadas a la Formación Quebrada del Pobre caracterizadas por conglomerados, areniscas, fangolitas fosilíferas y tobos (Tr2c), siendo rocas que tienen la capacidad para transmitir el agua.

La mayor parte de estas cuencas se encuentra caracterizada por afloramiento de rocas de origen plutónico del Carbonífero-Pérmico correspondientes a granitos, granodioritas, tonalitas y dioritas de hornblenda y biotita (CPg). Posteriormente y de manera muy puntual, durante el Jurásico Inferior ocurren pulsos magmáticos que forman rocas ígneas intrusivas félsicas a intermedias (Jig).

## 2.2 Suelos, uso y variación temporal

Respecto al uso de suelo, para la cuenca en estudio al año 2013 fueron catastradas más de 56,33 km<sup>2</sup> de plantaciones forestales y 417,18 km<sup>2</sup> de bosque nativo, mientras que fueron identificadas más de 127,00 km<sup>2</sup> de matorrales y 67,79 de Ciudades, Pueblos, Zonas Industriales (CONAF, 2013). La Tabla 2-1 entrega referencia porcentual respecto a los usos categorizados para la cuenca.

**Tabla 2-1. Superficies según usos de suelo en área de estudio**

| Subuso de suelo                       | Superficie (ha) | % por subuso de suelo |
|---------------------------------------|-----------------|-----------------------|
| Bosque Nativo                         | 41.718          | 49,2%                 |
| Matorral Arborescente                 | 12.739          | 15,0%                 |
| Matorral                              | 4.087           | 4,8%                  |
| Praderas                              | 4.424           | 5,2%                  |
| Rotación Cultivo-Pradera              | 5.880           | 6,9%                  |
| Plantación                            | 5.633           | 6,6%                  |
| Ciudades, Pueblos, Zonas Industriales | 6.779           | 8,0%                  |
| Otros                                 | 3.600           | 4,2%                  |
| <b>TOTAL</b>                          | <b>84.860</b>   | <b>100%</b>           |

Fuente: CONAF (2013)

Como un componente más de la caracterización de suelos, en la Tabla 2-2 se entregan los porcentajes por categoría de erosión.

**Tabla 2-2. Porcentajes según categorías de erosión en la zona de estudio**

| <b>Erosión</b>      | <b>% del área de Estudio</b> |
|---------------------|------------------------------|
| Erosión Muy Severa  | 0%                           |
| Erosión Severa      | 6%                           |
| Erosión Moderada    | 27%                          |
| Erosión Ligera      | 36%                          |
| Erosión No Aparente | 18%                          |
| Sin Erosión         | 6%                           |
| Otros Usos          | 7%                           |

Fuente: Elaboración propia a partir de información de CIREN (2010)

### **2.3 Hidrología**

Los cauces superficiales de la zona de estudio nacen en las cumbres de la cordillera de La Costa, en la zona litoral de la región de Valparaíso, en la zona comprendida aproximadamente entre las localidades de La Ligua y Concón. Estos cauces realizan su avance en dirección oeste a través de la vertiente occidental de la cordillera de La Costa, hasta sus desembocaduras en el océano Pacífico. Con un acuífero más bien menor en la cuenca (comparado con otras cuencas mayores como Maule, Maipo, Rapel, Biobío, etc.), que no realiza aportes suficientemente importantes a los cauces superficiales como para generar un caudal superficial base que se mantenga durante todo el año, y dado el régimen pluvial de la cuenca, con nula presencia de nieve o glaciares, los cauces superficiales de la zona de estudio tienen un comportamiento intermitente, activándose principalmente por las lluvias que se concentran mayoritariamente entre los meses de mayo a septiembre (cerca de un 90% según DGA (2005)). Dentro de los principales cauces, se pueden mencionar el Estero Las Salinas y la Quebrada Cruz de Piedra, junto a los esteros Catapilco, Puchuncaví y Mantagua.

## 2.4 Ciudades y población

La cuenca analizada se encuentra formada por 4 comunas, de las cuales la Tabla 2-3 entrega la población total.

**Tabla 2-3. Población total de las comunas de la cuenca**

| Comuna       | Total hombres | Total mujeres | Total Comunal |
|--------------|---------------|---------------|---------------|
| Papudo       | 3.341         | 3.015         | 6.356         |
| Zapallar     | 3.704         | 3.635         | 7.339         |
| Quintero     | 15.834        | 16.089        | 31.923        |
| Puchuncaví   | 9.358         | 9.188         | 18.546        |
| <b>Total</b> |               |               |               |

Fuente: Elaboración propia a partir de información de antecedentes INE (2017)

### 2.4.1 Pueblos Originarios

De acuerdo con las estadísticas sociales de la CONADI (2020) existen 67.433 personas indígenas (3,63% de la población regional). La población acreditada como indígena se distribuye de acuerdo con lo expuesto en la Tabla 2-4.

**Tabla 2-4. Población indígena acreditada por comuna**

| Comuna       | Personas     |
|--------------|--------------|
| Quintero     | 597          |
| Papudo       | 254          |
| Puchuncaví   | 201          |
| Zapallar     | 153          |
| <b>Total</b> | <b>1.205</b> |

Fuente: CONADI, 2020

### 2.4.2 Actividad Económica

La actividad económica dentro de la cuenca se centra, principalmente, en los sectores productivos de la industria, turismo, pesca y agricultura (Tabla 2-5).

**Tabla 2-5. Resumen de Información de Actividades Económicas**

| Comuna     | Nombre asentamiento   | Actividad Principal  | Período de Desempeño                 |
|------------|-----------------------|--|--------------------------------------|
| Papudo     | Papudo                | Pesca artesanal, procesamiento de productos del mar, turismo | Todo el año, preferentemente estival |
| Zapallar   | Zapallar              | Turismo  | Todo el año, preferentemente estival |
| Zapallar   | Cachagua              | Turismo  |                                      |
| Zapallar   | Catopilco             | Turismo  |                                      |
| Zapallar   | La Laguna de Zapallar | Turismo  |                                      |
| Zapallar   | El Blanquillo         | Turismo  |                                      |
| Puchuncaví | Puchuncaví            | Industria y Turismo  | Todo el año                          |
| Puchuncaví | Ventanas              | Pesca artesanal y Turismo                                    | Todo el año, preferentemente estival |
| Puchuncaví | Los Maitenes          | Sin información  | Sin información                      |
| Quintero   | Loncura               | Pesca artesanal y Turismo                                    | Todo el año, preferentemente estival |
| Quintero   | Quintero              | Industria y Turismo  | Todo el año                          |
| Quintero   | Valle Alegre          | Sin información  | Sin información                      |
| Quintero   | Ritoque               | Turismo  | Todo el año, preferentemente estival |
| Quintero   | Santa Julia           | Sin información  | Sin información                      |
| Quintero   | Mantagua              | Turismo  | Todo el año, preferentemente estival |
| Quintero   | Las Gaviotas          | Turismo  |                                      |

Fuente: Elaboración propia a partir de información de Ilustre Municipalidad de Papudo (2014), Ilustre Municipalidad de Puchuncaví (2017), Ministerio del Medio Ambiente (2017), Ilustre Municipalidad de Zapallar (2019)

Con respecto al uso productivo del suelo agrícola en el área de estudio, la Tabla 2-6 muestra la distribución por los principales rubros de cultivos.

**Tabla 2-6. Uso del suelo de las explotaciones agropecuarias con tierra**

| Cultivo o Plantación         | Superficie (ha) | Superficie (%) |
|------------------------------|-----------------|----------------|
| Cereales                     | 35,1            | 0,1%           |
| Leguminosas y tubérculos     | 55,8            | 0,1%           |
| Cultivos industriales        | 1               | 0,0%           |
| Hortalizas                   | 164,2           | 0,4%           |
| Flores                       | 30,1            | 0,1%           |
| Plantas forrajeras           | 594,1           | 1,4%           |
| Praderas naturales           | 34.660          | 79,1%          |
| Praderas mejoradas           | 2.760           | 6,3%           |
| Frutales*                    | 427,3           | 1,0%           |
| Viñas y parronales viníferos | 16,8            | 0,0%           |
| Viveros                      | 6,9             | 0,0%           |
| Semilleros                   | 9,7             | 0,0%           |
| Plantaciones forestales      | 5.070           | 11,6%          |
| <b>Total</b>                 | <b>43.831,0</b> | <b>100,0%</b>  |

Fuente: Elaboración propia a partir de INE (2007)

## 2.5 Clima

Según la clasificación de Köppen, el área en estudio está determinada por dos tipos de climas a nivel regional:

- Clima Mediterráneo de Lluvia Invernal e influencia costera
- Clima Mediterráneo de Lluvia Invernal

### 2.5.1 Eventos Extremos y Variabilidad Climática

Los Eventos extremos están estrechamente ligados al concepto de riesgo, que se puede definir como el producto de la probabilidad de que se produzca un evento y sus consecuencias negativas, tales como muertes, lesiones, daños a la propiedad, pérdida de medios de vida, interrupción de actividad económica o deterioro ambiental, como resultado de interacciones entre las amenazas naturales o tecnológicas y las condiciones de vulnerabilidad (DMC, 2018a). Los eventos asociados a precipitaciones con consecuencias negativas sobre la población en la Región de Valparaíso se han configurado históricamente como algunos de los hechos importantes a considerar dentro de los eventos extremos.

## 2.5.2 Escenarios de Cambio Climático

Para la caracterización de las forzantes meteorológicas de precipitación y temperatura en el periodo de modelación proyectado, en el presente plan se toman en consideración los cuatro Modelos de Circulación General (conocidos como GCM en inglés) incluidos en el estudio "Aplicación de la Metodología de Actualización del Balance Hídrico Nacional en las Cuencas de las Macrozonas Norte y Centro" (DGA, 2018). Estos modelos consideran una trayectoria de concentración de gases de efecto invernadero equivalente a un forzamiento radiactivo de 8,5 W/m<sup>2</sup> en el año 2100 (escenario de cambio climático RCP 8.5) (Tabla 2-7). Se seleccionó el modelo **MIROC-ESM** para las proyecciones del Plan Estratégico.

**Tabla 2-7. GCM utilizados en DGA (2018) para representar las forzantes meteorológicas (precipitación y temperatura) en el periodo proyectado, considerando cambio climático**

| Modelo        | Institución   | Sensibilidad climática |
|---------------|---|------------------------|
| CSIRO-MK3-6-0 | Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization in collaboration with Queensland Climate Change Centre of Excellence, Australia.                           | Baja Extrema           |
| CCSM4         | National Center for Atmospheric Research, USA   | Baja Moderada          |
| MIROC-ESM     | Agency for Marine-Earth Science and Technology, Atmosphere and Ocean Research Institute (University of Tokyo), and National Institute for Environmental Studies, Japan. | Alta Moderada          |
| IPSL-CM5A-LR  | Institut Pierre-Simon Laplace, France.  | Alta extrema           |

Fuente: DGA (2018)

## 2.6 Dimensión Ambiental

### 2.6.1 Unidades Ecosistémicas

#### 2.6.1.1 Ecosistemas Terrestres

Según Gajardo (1994), los ecosistemas terrestres originales en las cuencas costeras bajo estudio corresponden principalmente a bosque esclerófilo costero (77% del territorio) y secundariamente a matorral estepario arborescente, localizado en la parte norte de la micro cuenca del estero Catapilco y costeras entre Ligua y estero Catapilco (23% restante del territorio). No obstante, estudios más recientes de Lüebert y Pliscoff (2017) indican que la mayor parte (65%) de las Cuencas Costeras entre las Cuencas de los Ríos Ligua y

Aconcagua se encuentran conformadas por matorral arborescente esclerófilo mediterráneo costero, y el restante 35% por bosque esclerófilo costero. Esta formación de matorral arborescente se emplaza desde el sur de Coquimbo a la parte norte de la Región de Valparaíso, dominada por Boldo (*Peumus boldus*) y Molle (*Schinus latifolius*) y posee características similares a los bosques esclerófilos, pero presenta una vegetación en estados sucesionales regresivos, cuya degradación favorece la penetración de elementos con afinidades desérticas. A su vez, el bosque esclerófilo mediterráneo costero se encuentra en mayor proporción (27%) dominado por Peumo (*Cryptocarya alba*) y Boldo (*P. boldus*), y secundariamente dominado con la asociación Litre (*Lithrea caustica*) – Peumo (*C. alba*), en las zonas interiores de las cuencas costeras estudiadas.

Estudios de fauna realizados en los ecosistemas de interés (Inmobiliaria El Refugio Ltda., 2017) han registrado la presencia de 4 especies de anfibios, 3 nativos, correspondientes a la Rana chilena (*Calyptocephalella gayi*), Sapito de 4 ojos (*Pleurodema thaul*) y Rana de ceja (*Batrachyla taeniata*), todos en categoría de conservación. Además, se han encontrado 3 especies de lagartijas *Liolaemus* (*L. lemniscatus*, *L. chiliensis* y *L. zapallarensis*), y la culebra de cola larga (*Philodryas chamissonis*) y de cola corta (*Tachymenis chilensis*). Todos estos reptiles se encuentran en categoría de conservación Preocupación Menor. Se encontraron 81 aves, 6 de las cuales se encuentran en categoría de conservación, destacándose la presencia de Choroy (*Enicognathus leptorhynchus*, En Peligro), y en la costa de Quirilluca la nidificación del Piquero (*Sula variegata*). Respecto de los mamíferos, se han registrado la presencia de 14 especies de mamíferos, 7 en categoría de conservación, destacándose la presencia de familias de Chungungos (*Lontra felina*).

### 2.6.1.2 Ecosistemas Acuáticos Continentales

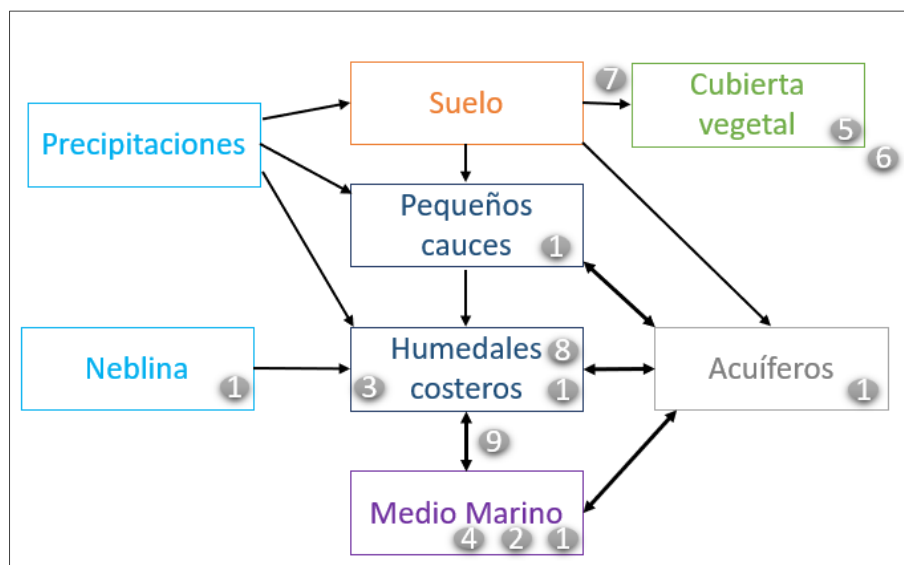
Dentro del área de estudio, las Cuencas Costeras entre el río Catapilco y Aconcagua son las que presentan mayor cantidad de humedales. En éstas, de norte a sur se encuentran los Humedales de Quirilluca, Humedal Maitenes-Campiche, Humedales de Quintero (incluye al Humedal Juanes) y Humedales de Mantagua. Los Humedales de Quirilluca fueron reconocidos como "Humedal Urbano" mediante Res. Exe. N° 772/2021 del MMA, donde se estableció la protección de 34,5 hectáreas, que incluyen los humedales Quirilluca 1 y 2, detectándose como principales amenazas ecosistémicas la presencia de infraestructura vial, desarrollo inmobiliario, descargas de aguas contaminadas, deforestación, presencia de flora y fauna exótica, y existencia de concesiones y servidumbres para proyectos futuros.

### 2.6.1.3 Ecosistemas Marinos

Los ecosistemas marinos frente a las Cuencas Costeras entre las Cuencas de los Ríos Ligua y Aconcagua se caracterizan por poseer una zona de litoral principalmente de sustrato duro (“Litoral Duro – Los Molles”), encontrándose dos zonas de sustrato blando: en la zona de la bahía de Quinteros y en el extremo sur de las cuencas bajo estudio, en la zona de Ritoque (MMAa, 2016). Luego, en la zona más profunda se entremezclan zonas epibentónicas de sustrato duro con sustrato blando, en la formación de Los Molles. No se encuentran zonas de surgencias en las costas de las cuencas costeras entre La Ligua y Aconcagua (MMA, 2016).

### 2.6.1.4 Servicios Ecosistémicos

En la Ilustración 2-1 se encuentra un esquema de los servicios ecosistémicos detectados a través del presente estudio, relacionados con el flujo de agua a través de los ecosistemas terrestres, acuáticos y marinos. En Tabla 2-8 se presenta el conjunto de servicios ecosistémicos identificados relacionados con el recurso hídrico.



Fuente: Elaboración propia

**Ilustración 2-1 Esquema de Servicios Ecosistémicos Asociados a Ecosistemas Naturales**

**Tabla 2-8. Servicios Ecosistémicos Asociados a Ecosistemas Naturales**

| ID | Sección                            | División  | Grupo  | Clase   | Servicio ecosistémico  |
|----|------------------------------------|---|--|---|--|
| 1  | Aprovisionamiento                  | Agua  | Agua superficial y subterránea para nutrición                          | Agua superficial y subterránea para bebida                      | Disponibilidad de agua de buena calidad para consumo humano. Recarga a acuíferos – reservas frente a eventos de sequía |
| 1  | Aprovisionamiento                  | Agua  | Agua superficial y subterránea como insumo                             | Agua superficial y subterránea para actividades productivas     | Disponibilidad de agua de buena calidad para actividades productivas   |
| 1  | Aprovisionamiento                  | Agua  | Otros ingresos de agua – neblinas costeras                             | Agua superficial para bebida                                    | Recolección de agua desde neblina para consumo humano  |
| 1  | Aprovisionamiento                  | Agua  | Otros ingresos de agua – agua desalada                                 | Agua desalada para bebida u otro uso                            | Recolección y tratamiento de agua de mar para consumo humano u otro uso  |
| 2  | Regulación y mantención (abiótico) | Transformación de insumos bioquímicos o físicos a los ecosistemas | Mediación de desechos, tóxicos y otras molestias por procesos no vivos | Dilución mediada por ecosistemas acuáticos terrestres y marinos | Uso de la capacidad de dilución de contaminantes en zona marina  |
| 3  | Regulación y mantención (abiótico) | Regulación de condiciones físicas, químicas y biológicas          | Regulación de flujos de base y eventos extremos                        | Flujos de masas de agua   | Humedales costeros como barreras protectoras contra tsunamis   |
| 4  | Aprovisionamiento                  | Biomasa   | Animales y plantas silvestres para nutrición, materiales o energía     | Animales y plantas silvestres para uso nutricional              | Aprovisionamiento de alimentos (especies marinas)  |



| ID | Sección                           | División   | Grupo   | Clase  | Servicio ecosistémico  |
|----|-----------------------------------|--|---|--|--|
| 5  | Aprovisionamiento                 | Biomasa  | Plantas silvestres para nutrición, materiales o energía | Plantas silvestres como fuente de energía  | Aprovisionamiento de leña como combustible   |
| 5  | Aprovisionamiento                 | Biomasa  | Plantas silvestres para nutrición, materiales o energía | Plantas silvestres como fuente de nutrición para ganado                              | Aprovisionamiento de biomasa para pastoreo de ganado   |
| 6  | Aprovisionamiento                 | Material genético de toda la biota                       | Material genético de animales, plantas, algas y hongos  | Organismos que se utilizan para generar nuevas cepas                                 | Nuevos usos a partir de endemismo local (genes únicos)   |
| 7  | Regulación y mantención (biótico) | Regulación de condiciones físicas, químicas y biológicas | Regulación de flujos de base y eventos extremos         | Estabilización y control de las tasas de erosión                                     | Protección contra la erosión, control de deslizamientos de tierra debido a la estabilización de los ecosistemas por cubierta vegetal |
| 8  | Regulación y mantención (biótico) | Regulación de condiciones físicas, químicas y biológicas | Calidad del agua  | Regulación de la condición química de las aguas dulces por procesos vivos/ecológicos | Humedales urbanos y costeros como agentes purificadores  |



| ID | Sección            | División  | Grupo  | Clase   | Servicio ecosistémico  |
|----|--------------------|---|--|---|--|
| 9  | Cultural (biótico) | Interacciones directas, in situ y al aire libre con sistemas vivos que dependen de la presencia en el entorno ambiental | Interacciones físicas y vivenciales con el entorno natural | Características de los sistemas vivos que posibilitan actividades que promuevan la salud, la recuperación o el disfrute a través de interacciones activas o inmersivas. | Cualidades de los humedales costeros y zona marina atractivos para excursionistas y turismo. Promoción de actividades de buceo, nado, actividades deportivas, ecoturismo, <i>birdwatching</i> , etc. |

Fuente: Elaboración propia en base a clasificaciones y criterios de CICES (2018).



### 2.6.1.5 Amenazas

Se han detectado una serie de actividades antrópicas que amenazan:

- Deforestación y reemplazo de la vegetación nativa por plantaciones forestales
- Incendios forestales
- Extracciones de agua fresca para diferentes actividades humanas desde cuerpos de agua superficiales generan una fuerte presión sobre los ecosistemas y sus servicios.
- Descargas de aguas contaminadas con nutrientes o alta carga orgánica.
- Presión sobre humedales costeros y urbanos
- Cambio climático en cuanto a la disminución de las precipitaciones y aumentos de temperatura.

### 2.6.2 Áreas Silvestres Protegidas

- Santuario de la Naturaleza Isla Cachagua
- Santuario de la Naturaleza Las Petras de Quintero y su entorno
- Sitios Prioritarios (Estrategia Regional de Biodiversidad)
  - Papudo
  - Entre Caleta Papudo y Monumento Natural Islote de Cachagua
  - Estero Catapilco
  - Cuesta El Melón – Altos de Pucalán – La Canela
  - Acantilados Quebrada Quirilluca
  - Estero Mantagua
  - Humedal de Mantagua y Dunas de Ritoque
  - Parque El Boldo (privada)
  - Lote Invernaderos Mantagua (privada)

## 2.7 Infraestructura Hídrica

La infraestructura hídrica da cuenta de cómo las personas han intervenido los sistemas naturales, y en particular el ciclo hidrológico, con el propósito de acceder al agua, disponer de ella en otras estaciones, trasvasarla, depurarla, e incluso desalarla, accediendo de esta forma a las aguas marinas del borde costero.

### 2.7.1 Infraestructura sanitaria

La zona cuenta con infraestructura sanitaria de conducción, asociada a los sistemas de provisión de agua potable y saneamiento tanto a nivel urbano como rural.

### 2.7.1.1 Provisión de agua potable en sectores urbanos

La empresa sanitaria ESVAL S.A. abastece a las localidades de Cachagua, Papudo, Puchuncaví, Quintero y Zapallar. La red urbana se estructura en sistemas, los que se presentan brevemente en la Tabla 2-9.

**Tabla 2-9. Abastecimiento de agua potable en sectores urbanos**

| Empresa    | Localidades con cobertura | Cobertura comunal |                |                               |
|------------|---------------------------|-------------------|----------------|-------------------------------|
|            |                           | Agua potable      | Alcantarillado | Tratamiento de aguas servidas |
| ESVAL S.A. | Cachagua                  | 100,0%            | 49,5%          | 100,0%                        |
| ESVAL S.A. | Papudo                    | 100,0%            | 87,8%          | 100,0%                        |
| ESVAL S.A. | Puchuncaví                | 100,0%            | 91,9%          | 100,0%                        |
| ESVAL S.A. | Quintero                  | 99,7%             | 91,3%          | 100,0%                        |
| ESVAL S.A. | Zapallar                  | 100,0%            | 57,9%          | 100,0%                        |

Fuente: Plan de Desarrollo ESSBIO

Sobre las áreas rurales, en la zona de estudio se identifican 14 sistemas SSR (Tabla 2-10).

**Tabla 2-10. Sistemas de agua potables rurales área estudio**

| ID | SSR                                      | Nº de arranques | Nº de Personas abastecidas | Fuente     |
|----|--|-----------------|----------------------------|------------|
| 01 | Agüita de Los Potrerillos (Aguas Claras) | 42              | 126                        | Sub+aljibe |
| 02 | Campiche                                 | 250             | 750                        | Sub+52Bis  |
| 03 | El Paso                                  | 119             | 357                        | Sub        |
| 04 | El Rincón                                | 97              | 291                        | Sub        |
| 05 | El Rungue                                | 320             | 960                        | Sub        |
| 06 | Horcón - La Chocota                      | <b>1.750</b>    | 5.250                      | Sub+52Bis  |
| 07 | La Greda                                 | <b>725</b>      | 2.175                      | 52Bis      |
| 08 | La Quebrada                              | 50              | 150                        | Sub        |
| 09 | Los Maitenes de Puchuncaví               | 82              | 246                        | Sub        |
| 10 | Pucalán-Los Maquis                       | 153             | 459                        | Sub        |
| 11 | Ventanas Alto (CAPOVEN)                  | <b>1.650</b>    | 4.950                      | 52Bis      |
| 12 | Mantagua                                 | 167             | 501                        | Sub        |
| 13 | Renacer                                  | 293             | 879                        | Sub        |
| 14 | Santa Julia                              | 123             | 369                        | Sub        |
| 15 | Valle Alegre                             | 150             | 450                        | Sub        |
| 16 | El Blanquillo                            | 72              | 216                        | Sub        |
| 17 | Ex Hacienda Catapilco                    | <b>602</b>      | 1.806                      | Sub+aljibe |
| 18 | John Kennedy                             | <b>696</b>      | 2.088                      | Sub        |
|    | <b>Total</b>                             | <b>7.341</b>    | <b>22.023</b>              |            |

Fuente: DOH, 2021

En la Tabla 2-11 se entrega el listado de plantas de tratamiento de aguas servidas en las comunas correspondientes a la cuenca de estudio. La empresa sanitaria es ESSBIO.

**Tabla 2-11. Plantas de tratamiento de aguas servidas**

| Empresa    | Nombre Planta    | Comuna que Atiende | Sistema                               | Tipo de Tecnología | Curso Receptor      |
|------------|------------------|--------------------|---------------------------------------|--------------------|---------------------|
| ESVAL S.A. | PTAS - Papudo    | Papudo             | La Ligua - Puchuncaví - Litoral Norte | -                  | Río - Sin dilución  |
| ESVAL S.A. | PTAS-Zapallar    | Zapallar           |                                       | -                  |                     |
| ESVAL S.A. | PTAS-Cachagua    | Zapallar           |                                       | -                  |                     |
| ESVAL S.A. | PTAS-La Laguna   | Zapallar           |                                       | -                  |                     |
| ESVAL S.A. | PTAS- Puchuncaví | Puchuncaví         |                                       | -                  |                     |
| ESVAL S.A. | ES-Quintero      | Quintero           |                                       | -                  | Mar fuera de la ZPL |

Fuente: Superintendencia de Servicios Sanitarios (2019)

Sobre las redes de mediciones, las estaciones meteorológicas de la DGA dentro de la cuenca son 2 (Tabla 2-12).

**Tabla 2-12. Estaciones meteorológicas DGA**

| Estación                        | Código BNA | UTM E [m] | UTM N [m] |
|---------------------------------|------------|-----------|-----------|
| Laguna de Zapallar              | 05310001-5 | 274.127   | 6.387.860 |
| Estero Quintero en Valle Alegre | 05320001-K | 273.644   | 6.368.492 |

Fuente: Elaboración propia en base a BNA (<https://snia.mop.gob.cl/observatorio>)

Las estaciones fluviométricas se muestran en la Tabla 2-13.

**Tabla 2-13. Estaciones fluviométricas vigentes**

| Estación                        | Código BNA | UTM E [m] | UTM N [m] |
|---------------------------------|------------|-----------|-----------|
| Estero Quintero en Valle Alegre | 05320001-K | 273.644   | 6.368.492 |

Fuente: Elaboración propia en base a Mapoteca Digital DGA

Se identificó 5 estaciones de calidad de aguas vigentes, así como 3 Servicios Sanitarios Rurales donde se hace seguimiento adicional (Tabla 2-14).

**Tabla 2-14. Estaciones de Calidad de Aguas**

| <b>Código BNA</b> | <b>Nombre</b>                                    | <b>Coord. E.<br/>WGS 84 H19</b> | <b>Coord. N.<br/>WGS 84 H19</b> |
|-------------------|--|---------------------------------|---------------------------------|
| 05320004-4        | ESTERO QUINTERO EN DESEMBOCADURA<br>(suspendida) | 264.369                         | 6.358.408                       |
| 05320001-K        | ESTERO QUINTERO EN VALLE ALEGRE                  | 273.445                         | 6.368.169                       |
| 05320005-2        | SSR CAMPICHE                                     | 272.564                         | 6.375.706                       |
| 05320006-0        | SSR MANTAGUA                                     | 268.753                         | 6.361.563                       |
| 05310003-1        | SSR EL BLANQUILLO                                | 288.341                         | 6.394.546                       |
| 05320007-9        | SSR PUCALAN LOS MAQUIS                           | 282.337                         | 6.373.183                       |
| 05427021-6        | SSR LOS LAURELES                                 | 283.452                         | 6.373.361                       |
| 05310002-3        | POZO RIEGO BERNAL                                | 273.721                         | 6.387.476                       |
| 05310004-K        | SSR JOHN KENNEDY                                 | 286.621                         | 6.395.649                       |

Fuente: Elaboración propia en base a Mapoteca Digital DGA

## 2.8 Nuevas fuentes de agua

El uso creciente de los recursos hídricos producto de una mayor demanda poblacional, por las actividades productivas, al mismo tiempo que se dispone de una oferta decreciente producto de una explotación de las aguas por sobre la disponibilidad real, resulta en una necesidad constante por acceder a nuevas fuentes de agua que permitan reducir el riesgo de abastecimiento y contribuir a la seguridad hídrica de las personas, de los ecosistemas y de las actividades productivas. Las nuevas fuentes potenciales de agua identificadas son las siguientes.

- Acuíferos
- Trasvases
- Desalinización
- Uso de Aguas Servidas Tratadas (Reutilización)

## 2.9 Gobernanza del Agua a Nivel de Cuenca

En lo principal, se pueden distinguir actores públicos y privados. Los primeros corresponden a los organismos del Estado con facultad normativa, fiscalizadora, de estudio, planificación y fomento sobre las aguas y los usuarios. Los actores privados corresponden principalmente a titulares o beneficiarios directos de un derecho de aprovechamiento de agua consuntivo o no consuntivo, superficial o subterránea. (Comités de APR, dueños de pozos) y, por

último, a los representantes de la sociedad civil, en estos actores se encuentran los dirigentes de organizaciones territoriales y funcionales, formales e informales, de grupos de ciudadanos afectados o beneficiados, directa o indirectamente. Además, en este grupo de actores se encuentran aquellas instituciones que poseen conocimiento específico sobre el tema que está trabajando, por ejemplo, universidades, centros de investigación, fundaciones y ONGs.

### 3 DEMANDA FÍSICA Y LEGAL

En la Tabla 3-1 se resumen las demandas hídricas en las Cuencas entre Ligua y Aconcagua.

**Tabla 3-1 Demanda total Periodo actual y proyectado (2022-2060)**

| Demanda                              | No consuntiva | Consuntiva     |                    |
|--------------------------------------|---------------|----------------|--------------------|
|                                      |               | Demanda actual | Demanda proyectada |
| Consumo humano urbano <sup>(1)</sup> | --            | 5,72           | 7,98               |
| Consumo humano rural <sup>(1)</sup>  |               | 1,01           | 2,10               |
| Necesidades mínimas ambientales      | S/I           | --             | --                 |
| Agricultura Riego <sup>(2)</sup>     | --            | 7,59           | 8,30               |
| Agricultura Secano                   | 234,01        | --             | --                 |
| Forestal                             | 145,96        | --             | --                 |
| Minera                               | S/I           | S/I            | S/I                |
| Industrial                           | S/I           | 0,46           | 0,46               |
| <b>Total</b>                         | <b>379,97</b> | <b>14,78</b>   | <b>18,84</b>       |

(1) Demanda para consumo humano (Bruta) y (2) Demanda para consumo agrícola bajo riego bruta

Fuente: Elaboración propia

### 4 OFERTA HÍDRICA

El cálculo de los valores se obtiene a partir de informes anteriores y de las campañas en terreno.

#### 4.1 Aguas Superficiales

##### 4.1.1 Hidrología

Los principales cursos de agua son el estero Las Salinas y la quebrada Cruz de Piedra, junto a los esteros Catapilco, Puchuncaví y Mantagua. La zona de estudio incluye 4 subcuencas DARH: Estero Catapilco, Cuencas Costeras de Papudo, Estero Maquis y Estero Puchuncaví. La cuenca de estudio presenta cuerpos de agua del tipo lago, laguna, humedales, aunque no se identifican salares ni embalses. Se verificó para esto el Inventario Público de Cuencas

Hidrográficas y Lagos, de la Dirección General de Aguas<sup>1</sup>; y el Inventario Nacional de Humedales del Ministerio del Medio Ambiente<sup>2</sup>. El resumen sobre lagunas, humedales, u otros cuerpos de aguas, para la zona de estudio se entregan los antecedentes en Tabla 4-1.

**Tabla 4-1. Cuerpos de Agua, Embalses y Humedales**

| Comuna     | Tipo y Número                         | Cuerpos Principales  |
|------------|---------------------------------------|--|
| Papudo     | 1 Embalse<br>1 humedal urbano         | Embalse Los Culenes<br>Humedal Estero Agua Salada  |
| Zapallar   | 5 Embalses<br>1 humedal urbano        | Embalse El Tebal<br>Embalse La Laguna<br>Embalse Aguas Claras<br>Embalse El Membrillo<br>Embalse Las Represas<br>Embalse Madre Del Agua<br>Humedal Laguna y Estero Catapilco |
| Quintero   | 5 Lagunas<br>1 humedal urbano         | S/N<br>Los Juanes  |
| Puchuncaví | 1 Laguna menor<br>3 humedales urbanos | S/N<br>Humedales de Quirilluca<br>Humedal Los Maitenes – Campiche<br>Humedal Laguna y Estero Catapilco   |

Fuente: Elaboración propia en base a MMA<sup>3</sup>

#### 4.1.2 Oferta en la fuente

El presente análisis se definen los siguientes conceptos.

- Oferta histórica (1990-2014): Promedio de la oferta entregada en el periodo de tiempo entre abril de 1990 y marzo de 2015.
- Oferta actual (2015-2020): Promedio de la oferta entregada en el periodo de tiempo entre abril de 2020 y marzo de 2021.
- Oferta proyectada (2021-2059): Promedio de la oferta entregada en el periodo de tiempo entre abril de 2021 y marzo de 2060. Adicionalmente se analiza la última década de este periodo por separado.

Dichas ofertas se analizan para el régimen hidrológico comentado:

- Oferta en régimen intervenido

<sup>1</sup> Revisado en [https://dga.mop.gob.cl/administracionrecursosahidricos/inventario\\_cuencas\\_lagos/Paginas/default.aspx](https://dga.mop.gob.cl/administracionrecursosahidricos/inventario_cuencas_lagos/Paginas/default.aspx)

<sup>2</sup> Revisado en <https://gis.mma.gob.cl/portal/apps/webappviewer/index.html?id=19ff876d63ed4a53aef1a57e39370474>

<sup>3</sup> Revisado en <https://gis.mma.gob.cl/portal/apps/webappviewer/index.html?id=19ff876d63ed4a53aef1a57e39370474>

- Oferta régimen natural

#### 4.1.2.1 Histórica y actual

En las Tabla 4-2 se entrega la oferta para el periodo histórico y actual de la cuenca en régimen intervenido y natural, respectivamente.

**Tabla 4-2. Oferta superficial. Periodo histórico y actual**

| 1990 – 2019<br>(hm <sup>3</sup> /año) | Histórico<br>1990 - 2014<br>(hm <sup>3</sup> /año) | Actual 2015 -<br>2019 (hm <sup>3</sup> /año) |
|---------------------------------------|--|--|
| 39,06                                 | 39,57  | 30,67  |

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.2.2 Oferta proyectada

Para el escenario evaluado la proyección de la oferta se presenta en la Tabla 4-3.

**Tabla 4-3 Oferta superficial proyectada.**

| 2020-2029<br>(hm <sup>3</sup> /año) | 2030-2039<br>(hm <sup>3</sup> /año) | 2040-2049<br>(hm <sup>3</sup> /año) | 2050-2059<br>(hm <sup>3</sup> /año) |
|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 29,20                               | 31,48                               | 19,27                               | 14,72                               |

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.3 Calidad del agua

La buena calidad del agua, desde ríos, lagos y acuíferos, es esencial para el desarrollo sostenible y la salud de ecosistemas, por lo tanto, conocer la calidad de las masas de agua se vuelve fundamental para su gestión. La calidad ambiental de las aguas se entiende como un agua natural no tratada que se ve afectada por la combinación de influencias naturales y actividades antropogénicas, como las aguas residuales o escorrentía agrícola.

##### 4.1.3.1 ODS 6.3.2

La DGA posee un cálculo del ODS 6.3.2 en el acuífero La Ligua para el año 2018 y 2019 (Tabla 4-4). Se observa un detrimento de la calidad del agua subterránea para este acuífero desde el año 2018 al 2019.

**Tabla 4-4. Cálculo indicador ODS 6.3.2 (aguas subterráneas)**

| Acuífero | 2018     |           | 2019     |           |
|----------|----------|-----------|----------|-----------|
|          | Promedio | Indicador | Promedio | Indicador |
| La Ligua | 100      | Bueno     | 67       | No Bueno  |

Fuente: Minuta DCPRH N°13, Cálculo del Indicador ODS 6.3.2 en Aguas Subterráneas de fuentes SSR, período 2018-2019

#### 4.1.3.2 Análisis hidroquímico e isotópico

Se realizó un análisis hidroquímico para la muestra LA19, la que se puede clasificar como clorurada-sódica. Las aguas cloruradas terrestres que presentan elevada mineralización se originan por disolución de halita, mineral abundante en las rocas sedimentarias. El punto LA19 se encuentra ubicado sobre secuencias sedimentarias del Pleistoceno-Holoceno, en particular a depósitos de tipo aluvial y litoral. Junto con este antecedente, la cercanía al mar de esta zona del estero de Catapilco y bajas cotas del sector también podría tener alguna componente de intrusión salina que pueda afectar la composición de las aguas del estero en dicha zona.

Desde el punto de vista isotópico, la muestra superficial LA19 que se ubica distanciada con respecto al resto en el gráfico, con valores positivos para  $\delta^2\text{H}$  y  $\delta^{18}\text{O}$  (2,914 y 2,789, respectivamente). Es muy probable que su signatura isotópica se deba a que es una zona de dicho estero cercano a la costa de la región.

#### 4.1.4 Fuentes de contaminación

Si bien la cuenca presenta un desarrollo industrial intensivo, este se encuentra concentrado en el borde costero, siendo las matrices más afectadas la atmósfera y el medio marino. Se estima, no obstante, que las plumas de dispersión de las fuentes fijas resultan en áreas de suelo contaminadas por depositación de material particulado, así como bioacumulación en la vegetación y fauna asociada. No se cuenta con antecedentes cuantitativos de esta contaminación, de la misma forma que no se identificó presencia de contaminantes en las aguas superficiales.

## 4.2 Aguas subterráneas

### 4.2.1 Hidrogeología

En la cuenca existen catorce Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común (SHAC) definidos y delimitados por la Dirección General de Aguas, que se presentan en la Tabla 4-5.

**Tabla 4-5 Sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común (SHAC) definidos en la zona de estudio y sus situaciones de restricción**

| SHAC                    | Situación           | Superficie (km <sup>2</sup> ) |
|-------------------------|---------------------|-------------------------------|
| Aconcagua Desembocadura | Zona de Prohibición | 8,0 (*)                       |
| Dunas de Quintero       | Área de Restricción | 69,8                          |
| Estero Cachagua         | Zona de Prohibición | 19,0                          |
| Estero Catapilco        | Zona de Prohibición | 231,8                         |
| Estero La Canela        | Área de Restricción | 58,8                          |
| Estero Mantagua         | Área de Restricción | 26,0                          |
| Estero Papudo           | Área de Restricción | 47,1                          |
| Estero Pucalán          | Área de Restricción | 150,4                         |
| Estero Puchuncaví       | Área de Restricción | 110,1                         |
| Horcón                  | Zona de Prohibición | 17,3                          |
| La Laguna - Catapilco   | Zona de Prohibición | 17,0                          |
| Río La Ligua Costa      | Zona de Prohibición | 68,4 (*)                      |
| Rocas Punta La Ligua    | Abierto             | 9,9                           |
| Rocas Zapallar          | Abierto             | 15,1                          |

Fuente: Elaboración propia a partir de DARH (2014)

### 4.2.2 Oferta en la Fuente

La oferta subterránea se considera como el volumen de agua que ingresa al subsuelo de la cuenca, y que recarga los acuíferos. A continuación, se presenta la oferta de agua subterránea estimada para la cuenca.

Para la caracterización de la oferta subterránea en los SHAC, se utiliza la Recarga (hm<sup>3</sup>/año), el Volumen (hm<sup>3</sup>) (Tabla 4-6).

La oferta proyectada corresponde a los valores de recarga y volumen húmedo de cada SHAC para el periodo futuro bajo el modelo de cambio climático MIROC-ESM. En la Tabla 4-7 se presenta la recarga media anual para el periodo proyectado y la comparación con el periodo actual.

**Tabla 4-6 Volúmenes de agua por SHAC (hm<sup>3</sup>) promediados para periodos histórico y actual**

| Periodo                               | SHAC               |               |                  |                 |                       |        |                   |                   |                |                 |                         | Cuenca completa |
|---------------------------------------|--------------------|---------------|------------------|-----------------|-----------------------|--------|-------------------|-------------------|----------------|-----------------|-------------------------|-----------------|
|                                       | Río La Ligua Costa | Estero Papudo | Estero Catapilco | Estero Cachagua | La Laguna - Catapilco | Horcón | Estero Puchuncaví | Dunas de Quintero | Estero Pucalán | Estero Mantagua | Aconcagua desembocadura |                 |
| <b>Histórico (1990-2014)</b>          | 161                | 38            | 321              | 6               | 16                    | 42     | 1.511             | 1.552             | 684            | 19              | 40                      | <b>4.389</b>    |
| <b>Actual (2015-2019)</b>             | 155                | 38            | 292              | 6               | 15                    | 41     | 1.497             | 1.550             | 696            | 17              | 39                      | <b>4.345</b>    |
| <b>Δ% Histórico y Actual</b>          | -4%                | -1%           | -9%              | -6%             | -8%                   | -2%    | -1%               | 0%                | 2%             | -13%            | -2%                     | <b>-1%</b>      |
| <b>Histórico y Actual (1990-2019)</b> | 160                | 38            | 316              | 6               | 16                    | 42     | 1.509             | 1.551             | 686            | 19              | 39                      | <b>4.382</b>    |

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4-7. Volúmenes de agua por SHAC (hm<sup>3</sup>) promediados por décadas para el periodo proyectado**

| Periodo                       | SHAC               |               |                  |                 |                       |        |                   |                   |                |                 |                         | Cuenca completa |
|-------------------------------|--------------------|---------------|------------------|-----------------|-----------------------|--------|-------------------|-------------------|----------------|-----------------|-------------------------|-----------------|
|                               | Río La Ligua Costa | Estero Papudo | Estero Catapilco | Estero Cachagua | La Laguna - Catapilco | Horcón | Estero Puchuncaví | Dunas de Quintero | Estero Pucalán | Estero Mantagua | Aconcagua desembocadura |                 |
| <b>Proyectado (2020-2029)</b> | 153                | 37            | 271              | 6               | 14                    | 40     | 1.470             | 1.531             | 681            | 16              | 37                      | <b>4.256</b>    |
| <b>Proyectado (2030-2039)</b> | 145                | 34            | 244              | 6               | 12                    | 39     | 1.425             | 1.495             | 650            | 15              | 35                      | <b>4.100</b>    |
| <b>Proyectado (2040-2049)</b> | 132                | 28            | 205              | 5               | 10                    | 36     | 1.366             | 1.444             | 599            | 12              | 32                      | <b>3.868</b>    |
| <b>Proyectado (2050-2059)</b> | 116                | 22            | 171              | 4               | 9                     | 34     | 1.298             | 1.376             | 542            | 10              | 29                      | <b>3.612</b>    |

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.3 Calidad del Agua

Se presenta la calidad de las aguas subterráneas mediante el índice de calidad de aguas del ODS 6.3.2, el análisis hidrogeoquímico e isotópico.

##### 4.2.3.1 ODS 6.3.2

La DGA posee un cálculo del ODS 6.3.2 en el acuífero La Ligua para el año 2018 y 2019. Se observa un detrimento de la calidad del agua subterránea para este acuífero desde el año 2018 al 2019.

**Tabla 4-8. Cálculo indicador ODS 6.3.2 (aguas subterráneas)**

| Acuífero | 2018     |           | 2019     |           |
|----------|----------|-----------|----------|-----------|
|          | Promedio | Indicador | Promedio | Indicador |
| La Ligua | 100      | Bueno     | 67       | No Bueno  |

Fuente: Minuta DCPRH N°13, Cálculo del Indicador ODS 6.3.2 en Aguas Subterráneas de fuentes SSR, período 2018-2019

##### 4.2.3.2 Análisis hidrogeoquímico e isotópico

El análisis hidrogeoquímico se realizó según la norma NCh 409 de Agua Potable, para 10 puntos. A modo de resumen, se presenta la Tabla 4-9 con las estadísticas de valores medidos para cada uno de los parámetros analizados y los rangos o límites permitidos según la NCh 409 y NCh 1333 (Riego).

**Tabla 4-9 Resumen de estadísticas para los parámetros de las 10 muestras**

| Parámetro    | Unidad     | promedio | mín   | máx   | desv    | Límites NCh 409 | Límites NCh 1333 |
|--------------|------------|----------|-------|-------|---------|-----------------|------------------|
| Alcalinidad  | mg CaCO3/L | 48,96    | 23,3  | 91,1  | 1,9E+01 | -               | -                |
| Aluminio     | mg Al/L    | 0,21     | 0,01  | 1,05  | 3,4E-01 | -               | 5                |
| Antimonio    | mg Sb/L    | 0,05     | 0,05  | 0,05  | 7,3E-18 | -               | -                |
| Arsénico     | mg As/L    | 0,002    | 0,001 | 0,005 | 1,6E-03 | 0,010           | 0,100            |
| Bario        | mg Ba/L    | 0,017    | 0,003 | 0,038 | 1,1E-02 | -               | 4                |
| Berilio      | mg Be/L    | 0,001    | 0,001 | 0,001 | 2,3E-19 | -               | 0,100            |
| Bicarbonatos | mg CaCO3/L | 48,96    | 23,3  | 91,1  | 1,9E+01 | -               | -                |
| Bismuto      | mg Bi/L    | 0,02     | 0,02  | 0,02  | 3,7E-18 | -               | -                |
| Boro         | mg B/L     | 0,07     | 0,02  | 0,203 | 5,9E-02 | -               | 1,750            |
| Cadmio       | mg Cd/L    | 0,001    | 0,001 | 0,001 | 2,3E-19 | 0,010           | 0,010            |

| Parámetro                       | Unidad       | promedio | mín   | máx   | desv    | Límites<br>NCh 409 | Límites<br>NCh 1333 |
|---------------------------------|--------------|----------|-------|-------|---------|--------------------|---------------------|
| Calcio                          | mg Ca/L      | 18,55    | 6,35  | 43,9  | 1,3E+01 | -                  | -                   |
| Cinc                            | mg Zn/L      | 0,042    | 0,004 | 0,153 | 4,7E-02 | <=3                | 2                   |
| Cloro residual en terreno       | mg/L         | 0        | 0     | 0     | 0,0E+00 | -                  | -                   |
| Cloruro                         | mg Cl/L      | 23,22    | 3,94  | 69,7  | 2,1E+01 | 400                | 200                 |
| Cobalto                         | mg Co/L      | 0,005    | 0,005 | 0,005 | 9,1E-19 | -                  | 0,050               |
| Cobre                           | mg Cu/L      | 0,049    | 0,005 | 0,106 | 4,4E-02 | 2                  | 0,200               |
| Conductividad                   | us/cm        | 59,33    | 42,2  | 91,7  | 2,8E+01 | -                  | <750                |
| Cromo                           | mg Cr/L      | 0,005    | 0,005 | 0,005 | 9,1E-19 | 0,050              | 0,100               |
| Estaño                          | mg Sn/L      | 0,05     | 0,05  | 0,05  | 7,3E-18 | -                  | -                   |
| Estroncio                       | mg Sr/L      | 0,104    | 0,038 | 0,236 | 6,9E-02 | -                  | -                   |
| Fluoruro                        | mg F/L       | 0,11     | 0,1   | 0,19  | 2,8E-02 | 1,5                | -                   |
| Hierro                          | mg Fe/L      | 1,465    | 0,02  | 10,25 | 3,1E+00 | <=0,3              | 5                   |
| Litio                           | mg Li/L      | 0,006    | 0,003 | 0,015 | 3,8E-03 | -                  | 0,075-2,5           |
| Magnesio                        | mg Mg/L      | 8,73     | 1,45  | 27,3  | 1,0E+01 | 125                | -                   |
| Manganeso                       | mg Mn/L      | 0,085    | 0,001 | 0,412 | 1,3E-01 | 0,100              | 0,200               |
| Mercurio                        | mg Hg/L      | 0,001    | 0,001 | 0,001 | 2,3E-19 | 0,001              | 0,001               |
| Molibdeno                       | mg Mo/L      | 0,005    | 0,005 | 0,005 | 9,1E-19 | -                  | 0,010               |
| Níquel                          | mg Ni/L      | 0,005    | 0,005 | 0,005 | 9,1E-19 | -                  | 0,200               |
| Nitrato                         | mg N/L       | 0,92     | 0,2   | 4,1   | 1,2E+00 | 50                 | -                   |
| Nitrito                         | mg N/L       | 0,031    | 0,03  | 0,04  | 3,2E-03 | 3                  | -                   |
| Nitrógeno amoniacal             | mg N/L       | 0,16     | 0,133 | 0,205 | 2,6E-02 | -                  | -                   |
| Nitrógeno total                 | mg N/L       | 1,46     | 0,561 | 4,684 | 1,2E+00 | -                  | -                   |
| Nitrógeno total Kjeldahl        | mg N/L       | 0,62     | 0,521 | 0,777 | 9,2E-02 | -                  | -                   |
| pH                              | unidad de pH | 7,22     | 6,45  | 8,28  | 5,7E-01 | 6,5<pH<8,5         | 5,5 - 9,0           |
| pH en terreno                   | unidad de pH | 6,70     | 5,89  | 8,06  | 8,2E-01 | -                  | 5,5 - 9,0           |
| Plata                           | mg Ag/L      | 0,002    | 0,002 | 0,002 | 4,6E-19 | -                  | 0,200               |
| Plomo                           | mg Pb/L      | 0,01     | 0,01  | 0,01  | 1,8E-18 | 0,050              | 5,000               |
| Potasio                         | mg K/L       | 2,53     | 0,212 | 14,3  | 4,3E+00 | -                  | -                   |
| Potencial-Oxido Reducción (ORD) | mv           | 183,1    | 128   | 209   | 2,3E+01 | -                  | -                   |
| Selenio                         | mg Se/L      | 0,005    | 0,005 | 0,005 | 9,1E-19 | 0,010              | 0,020               |
| Silicio                         | mg Si/L      | 13,36    | 5,58  | 29,39 | 7,2E+00 | -                  | -                   |
| Sodio                           | mg Na/L      | 18,43    | 9,12  | 62,4  | 1,6E+01 | -                  | 35                  |
| Sulfatos                        | mg SO4/L     | 9,93     | 1     | 56,8  | 1,8E+01 | 500                | 250                 |
| Temperatura                     | °C           | 20,45    | 19,5  | 20,9  | 6,1E-01 | -                  | -                   |
| Temperatura en terreno          | °C           | 15,86    | 15    | 16,8  | 5,6E-01 | -                  | -                   |
| Vanadio                         | mg V/L       | 0,008    | 0,008 | 0,008 | 1,8E-18 | -                  | 0,100               |

Fuente: Elaboración propia

A modo de resumen de los resultados obtenidos en la campaña hidrogeoquímica, se presenta la Tabla 4-10 con las estadísticas generales de todas las muestras y variables recopiladas. Como análisis general se observa que la calidad del agua es levemente básica con respecto a neutralidad total, rondando un pH promedio de 7,66. Junto con eso, las concentraciones de metales pesados no resultan significativas, excediendo algunos valores las normas de agua potable, de riego, o ambas. En particular, se identificaron

concentraciones de cloruro altas con respecto a la norma, lo que es congruente con su alta conductividad eléctrica, significando también una alta concentración de sales disueltas lo probablemente tenga relación con que la cuenca se ubica cercana a la costa.

**Tabla 4-10. Resumen estadístico general datos hidroquímicos analizados en laboratorio**

| Parámetro                          | Unidad                 | Promedio | Desviación estándar | Valor máximo | Valor mínimo |
|------------------------------------|------------------------|----------|---------------------|--------------|--------------|
| Temperatura en terreno             | °C                     | 19,3     | 1,5                 | 23,2         | 16,2         |
| pH en terreno                      | pH                     | 7,25     | 0,31                | 7,89         | 6,67         |
| Conductividad eléctrica en terreno | µS/cm                  | 1216     | 852                 | 4506         | 196          |
| Nivel freático en terreno          | m                      | 20,99    | 22,51               | 95,57        | 1,82         |
| Alcalinidad                        | mg HCO <sub>3</sub> /L | 224,8    | 133,5               | 669,8        | 53,7         |
| Aluminio                           | mg Al/L                | 0,16     | 0,44                | 2,74         | 0,01         |
| Antimonio                          | mg Sb/L                | < 0,05   | -                   | < 0,05       | < 0,05       |
| Arsénico                           | mg As/L                | 0,005    | 0,008               | 0,036        | 0,001        |
| Bario                              | mg Ba/L                | 0,027    | 0,033               | 0,196        | 0,002        |
| Berilio                            | mg Be/L                | < 0,001  | -                   | < 0,001      | < 0,001      |
| Bicarbonatos                       | mg HCO <sub>3</sub> /L | 193,50   | 134,55              | 761,28       | 1            |
| Bismuto                            | mg Bi/L                | < 0,02   | -                   | < 0,02       | < 0,02       |
| Boro                               | mg B/L                 | 0,153    | 0,291               | 2            | 0,026        |
| Cadmio                             | mg Cd/L                | 0,002    | 0,001               | 0,003        | 0,001        |
| Calcio                             | mg Ca/L                | 93,24    | 76,97               | 432,00       | 8,85         |
| Cinc                               | mg Zn/L                | 0,034    | 0,040               | 0,200        | 0,003        |
| Cloruro                            | mg Cl/L                | 221,6    | 247,1               | 1416         | 19,5         |
| Cobalto                            | mg Co/L                | < 0,005  | -                   | < 0,005      | < 0,005      |
| Cobre                              | mg Cu/L                | 0,11     | 0,09                | 0,39         | 0,01         |
| Conductividad                      | us/cm                  | 1130,01  | 856,07              | 4580         | 63,4         |
| Cromo                              | mg Cr/L                | < 0,005  | -                   | < 0,005      | < 0,005      |
| Estaño                             | mg Sn/L                | < 0,05   | -                   | < 0,05       | < 0,05       |
| Estroncio                          | mg Sr/L                | 0,530    | 0,568               | 3,490        | 0,079        |
| Fluoruro                           | mg F/L                 | 0,35     | 0,42                | 2,26         | 0,12         |
| Hierro                             | mg Fe/L                | 1,08     | 2,46                | 13,20        | 0,02         |

| Parámetro                 | Unidad                | Promedio | Desviación estándar | Valor máximo | Valor mínimo |
|---------------------------|-----------------------|----------|---------------------|--------------|--------------|
| Litio                     | mg Li/L               | 0,009    | 0,015               | 0,083        | 0,003        |
| Magnesio                  | mg Mg/L               | 37,89    | 34,85               | 238          | 6,15         |
| Manganeso                 | mg Mn/L               | 0,472    | 0,824               | 3,760        | 0,001        |
| Mercurio                  | mg Hg/L               | < 0,001  | -                   | < 0,001      | < 0,001      |
| Molibdeno                 | mg Mo/L               | 0,009    | 0,006               | 0,019        | 0,006        |
| Níquel                    | mg Ni/L               | <0,005   | -                   | <0,005       | <0,005       |
| Nitrato                   | mg N/L                | 7,01     | 6,87                | 27           | 0,3          |
| Nitrito                   | mg N/L                | 0,08     | 0,05                | 0,22         | 0,03         |
| Nitrógeno amoniacal       | mg N/L                | 0,355    | 0,353               | 1,400        | 0,104        |
| Nitrógeno total           | mg N/L                | 6,67     | 6,68                | 27,70        | 0,28         |
| Nitrógeno total Kjeldahl  | mg N/L                | 0,82     | 0,55                | 2,70         | 0,27         |
| pH                        | unidad pH             | 7,66     | 0,36                | 8,41         | 6,95         |
| Plata                     | mg Ag/L               | 0,003    | 0,001               | 0,006        | 0,002        |
| Plomo                     | mg Pb/L               | 0,014    | 0,003               | 0,016        | 0,011        |
| Potasio                   | mg K/L                | 10,27    | 38,32               | 270          | 0,67         |
| Potencial Óxido Reducción | mV                    | 217,85   | 34,22               | 305          | 144          |
| Selenio                   | mg Se/L               | < 0,005  | -                   | < 0,005      | < 0,005      |
| Silicio                   | mg Si/L               | 16,20    | 5,99                | 28,22        | 2,35         |
| Sodio                     | mg Na/L               | 115,68   | 89,3                | 519          | 25,1         |
| Sulfatos                  | mg SO <sub>4</sub> /L | 142,1    | 132,9               | 589          | 6,51         |
| Vanadio                   | mg V/L                | <0,008   | -                   | <0,008       | <0,008       |
| Temperatura               | °C                    | 19,9     | 0,5                 | 20,9         | 19           |

Nota: (i) Los resultados corresponden al promedio de las 50 muestras analizadas

(ii) Las desviaciones estándar con guiones (-) no pueden ser calculadas debido a que los resultados del análisis del parámetro correspondiente se encuentran en un rango y no es un valor específico

Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de laboratorio

En paralelo a la campaña de hidroquímica se realizó un análisis isotópico de las muestras. Las precipitaciones generadas a partir de una nube formada por la evaporación del agua de mar se sitúan a lo largo de la Línea Meteorológica Mundial (LMM). Esto ocurre con 14 de las muestras analizadas, al considerar un margen de desviación para  $\delta^2\text{H}$  de  $\pm 1,5\text{‰}$ . Por otra parte, las aguas que han experimentado evaporación presentan pendientes más bajas, ubicándose a la derecha y bajo la LMM.



---

#### **4.2.4 Fuentes de contaminación**

La actividad industrial se concentra en el borde costero de la cuenca, por lo que la actividad que se desarrolla al interior de esta corresponde principalmente a agricultura extensiva y desarrollo urbano, principalmente de tipo rural. En consecuencia, la contaminación de las aguas subterráneas correspondería principalmente a fuentes difusas, sin que existan fuentes puntuales identificadas.

### **5 BALANCE DE AGUA**

#### **5.1 Modelo de Simulación**

##### **5.1.1 Modelo Conceptual Hidrogeológico**

A partir de una serie de antecedentes y datos recopilados, entre los que se incluyen pruebas de bombeo de expedientes de derechos de agua, imágenes satelitales, carta geológica y geomorfológica de la cuenca y la interpretación de los resultados de las campañas geofísicas realizadas, se ha creado el modelo conceptual subterráneo de la cuenca. En dicho modelo se observa la delimitación del área acuífera, las cotas del basamento y niveles estáticos estimadas, la ubicación de las extracciones subterráneas y se representan también las condiciones de borde y direcciones de flujo, con el fin de lograr un entendimiento global del funcionamiento subterráneo de la cuenca.

La base del modelo es la capa de delimitación de sectores acuíferos, la cual se construyó principalmente a partir de cartas geológicas y estudios anteriores. Un atributo importante de estos sectores acuíferos es la profundidad que alcanzan, ya que se relaciona directamente con su capacidad de almacenar agua, esta información se conceptualiza en la capa de profundidad de basamento, la cual se construyó a partir de resultados de la campaña gravimétrica ejecutada.

La zona acuífera más interesante es la ubicada en el sector de las ciudades de Concepción y Talcahuano, donde se encontraron profundidades mayores a 300 m en algunos puntos.

##### **5.1.2 Descripción del Modelo Numérico superficial**

En la construcción del modelo en WEAP se han considerado los elementos que listan en los párrafos que siguen.

- Cauces superficiales (elementos "Río" o "River")
- Subcuencas (elementos "Unidad Hidrológica" o "Catchment")
- Bandas de elevación

- Forzantes meteorológicas
- Demandas de Agua

No obstante, todo lo recientemente descrito, en el Anexo H se incluye una descripción al detalle del modelo hidrológico elaborado para este plan.

### 5.1.3 Escenarios de Cambio Climático

El modelo **MIROC-ESM** es el que mejor ajuste entrega en el periodo histórico y por tanto es el que se decide usar para la proyección futura en WEAP.

### 5.1.4 Balance de Agua Actual

Se obtiene el balance para el periodo histórico y actual, presentado en la Tabla 5-1.

**Tabla 5-1 Balance hídrico superficial. Periodo histórico y actual**

| Componentes balance                         | 1990 - 2020 (hm <sup>3</sup> /año) | Comparación periodo histórico y actual       |   |                          |             |
|---|------------------------------------|--|---|--------------------------|-------------|
|   |                                    | Histórico 1990 - 2014 (hm <sup>3</sup> /año) | Actual 2015 - 2020 (hm <sup>3</sup> /año) | Δ (hm <sup>3</sup> /año) | Variación % |
| <b>Entradas</b>                             | 305,16                             | 304,54                                       | 308,27                                    | 3,73                     | 1%          |
| <b>Salidas</b>                              | 303,21                             | 302,70                                       | 305,78                                    | 3,09                     | 1%          |
| <b>Variación de volumen almacenado (ΔV)</b> | -0,02                              | -0,20  | 0,90                                      | 1,10                     | 546%        |
| Balance                                     | <b>1,97</b>                        | <b>2,04</b>                                  | <b>1,59</b>                               | -                        | -           |
| Error %                                     | <b>1%</b>                          | <b>1%</b>                                    | <b>1%</b>                                 | -                        | -           |

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 5-2 se presenta el balance subterráneo del periodo histórico y actual de los SHAC de la cuenca de estudio, a modo de ejemplo.

**Tabla 5-2 Balance subterráneo por SHAC. Periodo histórico y actual**

| Componentes balance             | SHAC Río La Ligua Costa           |                                   | SHAC Estero Papudo                |                                   |
|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
|                                 | 1990 -2020 (hm <sup>3</sup> /año) | 2015- 2020 (hm <sup>3</sup> /año) | 1990 -2020 (hm <sup>3</sup> /año) | 2015- 2020 (hm <sup>3</sup> /año) |
| <b>Entradas</b>                 | 8,23                              | 7,49                              | 12,17                             | 11,42                             |
| <b>Salidas</b>                  | 8,44                              | 8,15                              | 12,01                             | 11,24                             |
| <b>Variación almacenamiento</b> | -0,21                             | -0,66                             | -0,03                             | 0,18                              |
| <b>Error %</b>                  | 0%                                | 0%                                | 3%                                | 0%                                |

Fuente: Elaboración propia

### 5.1.5 Balance de Agua Projectado

Como se ha mencionado a lo largo de este informe, el periodo proyectado se extiende entre abril del 2021 y marzo del 2060. El balance superficial futuro para la cuenca completa se muestra en la Tabla 5-3.

**Tabla 5-3. Balance hídrico de aguas superficiales, periodo proyectado (1ª parte)**

| Entradas y salidas                       | 2020-2029<br>(hm <sup>3</sup> /año) | 2030-2039<br>(hm <sup>3</sup> /año) | Comparación periodos               |                |                                    |                |
|--|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|----------------|------------------------------------|----------------|
|  |                                     |                                     | 1990-2019 y<br>2020-2029           |                | 1990-2019 y<br>2030-2039           |                |
|  |                                     |                                     | $\Delta$<br>(hm <sup>3</sup> /año) | Variación<br>% | $\Delta$<br>(hm <sup>3</sup> /año) | Variación<br>% |
| <b>Total entradas</b>                    | <b>240,43</b>                       | <b>261,27</b>                       | <b>-64,73</b>                      | <b>-21%</b>    | <b>-43,90</b>                      | <b>-14%</b>    |
| Precipitación                            | 219,97                              | 239,87                              | -65,68                             | -23%           | -45,78                             | -16%           |
| Caudal desde planta Concón               | 9,36                                | 10,22                               | 1,97                               | 27%            | 2,83                               | 38%            |
| Caudal subterráneo afluente para APU     | 0,32                                | 0,32                                | 0,00                               | 0%             | 0,00                               | 0%             |
| Caudal subterráneo afluente para SSR     | 0,59                                | 0,65                                | 0,19                               | 49%            | 0,26                               | 65%            |
| Caudal subterráneo afluente para riego   | 10,20                               | 10,21                               | -1,22                              | -11%           | -1,21                              | -11%           |
| <b>Total salidas</b>                     | <b>239,78</b>                       | <b>258,45</b>                       | <b>-63,43</b>                      | <b>-21%</b>    | <b>-44,76</b>                      | <b>-15%</b>    |
| Evapotranspiración real                  | 100,57                              | 99,66                               | -21,29                             | -17%           | -22,19                             | -18%           |
| Percolación natural                      | 91,22                               | 107,58                              | -32,91                             | -27%           | -16,55                             | -13%           |
| Evapotranspiración riego                 | 5,15                                | 5,16                                | 0,34                               | 7%             | 0,35                               | 7%             |
| Percolación riego                        | 0,30                                | 0,30                                | -0,14                              | -32%           | -0,14                              | -31%           |
| Efluente CLN a P. La Ligua y La Ligua    | 2,13                                | 2,18                                | 0,20                               | 11%            | 0,26                               | 13%            |
| Agua consumida por APU                   | 1,14                                | 1,26                                | 0,26                               | 30%            | 0,38                               | 44%            |
| Pérdidas desde APU a acuífero            | 2,42                                | 2,64                                | 0,50                               | 26%            | 0,72                               | 37%            |
| Agua consumida por SSR                   | 0,10                                | 0,11                                | 0,03                               | 49%            | 0,04                               | 65%            |
| Agua percolada por SSR                   | 0,37                                | 0,42                                | 0,12                               | 49%            | 0,16                               | 65%            |
| Efluente por emisarios submarinos        | 3,58                                | 3,95                                | 0,81                               | 29%            | 1,18                               | 42%            |
| Efluente al mar por cauces superficiales | 32,81                               | 35,20                               | -11,37                             | -26%           | -8,98                              | -20%           |
| <b><math>\Delta V</math></b>             | <b>-1,02</b>                        | <b>1,15</b>                         | <b>-1,00</b>                       | <b>-5504%</b>  | <b>1,17</b>                        | <b>6452%</b>   |
| Incremento humedad suelo                 | 31,03                               | 33,84                               | -4,63                              | -13%           | -1,83                              | -5%            |
| Disminución humedad suelo                | 32,05                               | 32,68                               | -3,63                              | -10%           | -3,00                              | -8%            |
| <b>Balance (hm<sup>3</sup>/año)</b>      | <b>1,67</b>                         | <b>1,66</b>                         | -                                  | -              | -                                  | -              |
| <b>Error de balance (%)</b>              | <b>1%</b>                           | <b>1%</b>                           | -                                  | -              | -                                  | -              |

Nota: CLN corresponde a la conducción Litoral Norte.

Fuente: Elaboración propia con base en resultados del Modelo numérico actual (WEAP)

**Tabla 5-4. Balance hídrico de aguas superficiales, periodo proyectado (2ª parte)**

| Entradas y salidas                       | 2040-2049<br>(hm <sup>3</sup> /año) | 2050-2059<br>(hm <sup>3</sup> /año) | Comparación periodos               |                |                                    |                |
|--|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|----------------|------------------------------------|----------------|
|  |                                     |                                     | 1990-2019 y<br>2040-2049           |                | 1990-2019 y<br>2050-2059           |                |
|  |                                     |                                     | $\Delta$<br>(hm <sup>3</sup> /año) | Variación<br>% | $\Delta$<br>(hm <sup>3</sup> /año) | Variación<br>% |
| <b>Total entradas</b>                    | <b>200,17</b>                       | <b>161,32</b>                       | <b>-105,00</b>                     | <b>-34%</b>    | <b>-143,84</b>                     | <b>-47%</b>    |
| Precipitación                            | 177,76                              | 137,61                              | -107,88                            | -38%           | -148,04                            | -52%           |
| Caudal desde planta Concón               | 11,13                               | 12,11                               | 3,75                               | 51%            | 4,73                               | 64%            |
| Caudal subterráneo afluente para APU     | 0,32                                | 0,32                                | 0,00                               | 0%             | 0,00                               | 0%             |
| Caudal subterráneo afluente para SSR     | 0,72                                | 0,79                                | 0,32                               | 82%            | 0,40                               | 101%           |
| Caudal subterráneo afluente para riego   | 10,23                               | 10,49                               | -1,19                              | -10%           | -0,93                              | -8%            |
| <b>Total salidas</b>                     | <b>199,03</b>                       | <b>160,22</b>                       | <b>-104,18</b>                     | <b>-34%</b>    | <b>-142,99</b>                     | <b>-47%</b>    |
| Evapotranspiración real                  | 88,06                               | 71,02                               | -33,79                             | -28%           | -50,84                             | -42%           |
| Percolación natural                      | 70,96                               | 52,44                               | -53,17                             | -43%           | -71,69                             | -58%           |
| Evapotranspiración riego                 | 5,16                                | 5,30                                | 0,36                               | 8%             | 0,50                               | 10%            |
| Percolación riego                        | 0,30                                | 0,31                                | -0,14                              | -31%           | -0,13                              | -30%           |
| Efluente CLN a P. La Ligua y La Ligua    | 2,28                                | 2,42                                | 0,35                               | 18%            | 0,50                               | 26%            |
| Agua consumida por APU                   | 1,38                                | 1,50                                | 0,51                               | 58%            | 0,63                               | 72%            |
| Pérdidas desde APU a acuífero            | 2,88                                | 3,13                                | 0,96                               | 50%            | 1,21                               | 63%            |
| Agua consumida por SSR                   | 0,12                                | 0,13                                | 0,05                               | 82%            | 0,06                               | 101%           |
| Agua percolada por SSR                   | 0,46                                | 0,51                                | 0,21                               | 82%            | 0,26                               | 101%           |
| Efluente por emisarios submarinos        | 4,33                                | 4,71                                | 1,56                               | 56%            | 1,94                               | 70%            |
| Efluente al mar por cauces superficiales | 23,11                               | 18,75                               | -21,07                             | -48%           | -25,43                             | -58%           |
| <b><math>\Delta V</math></b>             | <b>-0,53</b>                        | <b>-0,57</b>                        | <b>-0,51</b>                       | <b>-2801%</b>  | <b>-0,55</b>                       | <b>-3032%</b>  |
| Incremento humedad suelo                 | 24,87                               | 21,78                               | -10,80                             | -30%           | -13,88                             | -39%           |
| Disminución humedad suelo                | 25,39                               | 22,35                               | -10,29                             | -29%           | -13,33                             | -37%           |
| <b>Balance (hm<sup>3</sup>/año)</b>      | <b>1,66</b>                         | <b>1,67</b>                         | -                                  | -              | -                                  | -              |
| <b>Error de balance (%)</b>              | <b>1%</b>                           | <b>1%</b>                           | -                                  | -              | -                                  | -              |

Nota: CLN corresponde a la conducción Litoral Norte.

Fuente: Elaboración propia con base en resultados del Modelo numérico actual (WEAP)

1) **Balance hídrico subterráneo:** De la misma forma que en el punto anterior, se genera un balance proyectado de aguas subterráneas tomando como volumen de control los SHAC. En este punto, nuevamente es importante recalcar que estos valores deben ser tomados y considerados con el cuidado necesario al momento de la toma de decisiones por no venir de una modelación subterránea más robusta.

**Tabla 5-5. Balance proyectado para aguas subterráneas**

| SHAC               | Entradas y salidas            | Flujos por década                 |                                   |                                   |                                   | Variación % respecto al periodo 1990-2019 |             |              |              |
|--------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---|-------------|--------------|--------------|
|                    |                               | 2020-2029<br>hm <sup>3</sup> /año | 2030-2039<br>hm <sup>3</sup> /año | 2040-2049<br>hm <sup>3</sup> /año | 2050-2059<br>hm <sup>3</sup> /año | 2020-2029                                 | 2030-2039   | 2040-2049    | 2050-2059    |
| Río La Ligua Costa | <b>Total entradas</b>         | <b>6,74</b>                       | <b>8,04</b>                       | <b>4,96</b>                       | <b>3,72</b>                       | <b>-18%</b>                               | <b>-2%</b>  | <b>-40%</b>  | <b>-55%</b>  |
|                    | Recarga                       | 6,74                              | 8,04                              | 4,96                              | 3,72                              | -18%                                      | -2%         | -40%         | -55%         |
|                    | <b>Total salidas</b>          | <b>8,08</b>                       | <b>7,68</b>                       | <b>6,97</b>                       | <b>6,16</b>                       | <b>-4%</b>                                | <b>-9%</b>  | <b>-17%</b>  | <b>-27%</b>  |
|                    | Salida hacia otros SHAC       | 5,33                              | 5,06                              | 4,60                              | 4,06                              | -4%                                       | -9%         | -17%         | -27%         |
|                    | Salida al Mar                 | 2,76                              | 2,62                              | 2,38                              | 2,10                              | -4%                                       | -9%         | -17%         | -27%         |
|                    | <b>ΔV</b>                     | <b>-1,34</b>                      | <b>0,37</b>                       | <b>-2,01</b>                      | <b>-2,44</b>                      | <b>531%</b>                               | <b>272%</b> | <b>-845%</b> | <b>1047%</b> |
|                    | Incremento en el stock        | 4,39                              | 5,71                              | 2,89                              | 2,26                              | -17%                                      | 8%          | -45%         | -57%         |
|                    | Disminución en el stock       | 5,74                              | 5,34                              | 4,90                              | 4,71                              | 4%  | -3%         | -11%         | -15%         |
|                    | Balance                       | 0,00                              | 0,00                              | 0,00                              | 0,00                              | -82%                                      | 285%        | 311%         | 58%          |
|                    | Error%                        | 0,00                              | 0,00                              | 0,00                              | 0,00                              | -   | -           | -            | -            |
| Estero Papudo      | <b>Total entradas</b>         | <b>10,60</b>                      | <b>11,17</b>                      | <b>8,63</b>                       | <b>7,14</b>                       | <b>-13%</b>                               | <b>-8%</b>  | <b>-29%</b>  | <b>-41%</b>  |
|                    | Recarga                       | 4,97                              | 5,80                              | 3,70                              | 2,73                              | -21%                                      | -8%         | -42%         | -57%         |
|                    | Entradas desde otros SHAC     | 5,33                              | 5,06                              | 4,60                              | 4,06                              | -4%                                       | -9%         | -17%         | -27%         |
|                    | Infiltración riego            | 0,12                              | 0,12                              | 0,12                              | 0,12                              | -13%                                      | -13%        | -13%         | -12%         |
|                    | Pérdidas desde APU a acuífero | 0,19                              | 0,20                              | 0,22                              | 0,23                              | 20%                                       | 30%         | 40%          | 50%          |
|                    | <b>Total salidas</b>          | <b>11,47</b>                      | <b>10,67</b>                      | <b>9,43</b>                       | <b>8,32</b>                       | <b>-5%</b>                                | <b>-11%</b> | <b>-21%</b>  | <b>-31%</b>  |
|                    | Extracción para riego         | 3,45                              | 3,44                              | 3,46                              | 3,52                              | -10%                                      | -10%        | -10%         | -9%          |
|                    | Salida al Mar                 | 8,02                              | 7,23                              | 5,97                              | 4,80                              | -2%                                       | -11%        | -27%         | -41%         |

| SHAC             | Entradas y salidas            | Flujos por década    |                      |                      |                      | Variación % respecto al periodo 1990-2019 |              |              |              |
|------------------|-------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---|--------------|--------------|--------------|
|                  |                               | 2020-2029<br>hm³/año | 2030-2039<br>hm³/año | 2040-2049<br>hm³/año | 2050-2059<br>hm³/año | 2020-2029                                 | 2030-2039    | 2040-2049    | 2050-2059    |
|                  | <b>ΔV</b>                     | <b>-0,87</b>         | <b>0,50</b>          | <b>-0,81</b>         | <b>-1,17</b>         | <b>3369%</b>                              | <b>2082%</b> | <b>3100%</b> | <b>4556%</b> |
|                  | Incremento en el stock        | 4,00                 | 4,93                 | 3,13                 | 2,41                 | -20%                                      | -2%          | -38%         | -52%         |
|                  | Disminución en el stock       | 4,87                 | 4,43                 | 3,93                 | 3,59                 | -4%                                       | -12%         | -22%         | -29%         |
|                  | Balance                       | 0,01                 | 0,00                 | 0,00                 | 0,00                 | -96%                                      | -100%        | -100%        | -100%        |
|                  | Error%                        | 0,00                 | 0,00                 | 0,00                 | 0,00                 | -   | -            | -            | -            |
| Estero Catapilco | <b>Total entradas</b>         | <b>27,15</b>         | <b>32,31</b>         | <b>21,10</b>         | <b>15,89</b>         | <b>-24%</b>                               | <b>-9%</b>   | <b>-41%</b>  | <b>-55%</b>  |
|                  | Recarga                       | 26,88                | 32,03                | 20,79                | 15,56                | -24%                                      | -9%          | -41%         | -56%         |
|                  | Infiltración riego            | 0,09                 | 0,09                 | 0,09                 | 0,09                 | 76%                                       | 76%          | 77%          | 82%          |
|                  | Infiltraciones desde SSR      | 0,18                 | 0,20                 | 0,22                 | 0,24                 | 53%                                       | 69%          | 87%          | 107%         |
|                  | <b>Total salidas</b>          | <b>33,32</b>         | <b>30,38</b>         | <b>26,25</b>         | <b>22,78</b>         | <b>-8%</b>                                | <b>-16%</b>  | <b>-27%</b>  | <b>-37%</b>  |
|                  | Extracción para riego         | 3,74                 | 3,75                 | 3,76                 | 3,87                 | 103%                                      | 103%         | 103%         | 110%         |
|                  | Salida hacia otros SHAC       | 29,30                | 26,32                | 22,16                | 18,53                | -14%                                      | -23%         | -35%         | -46%         |
|                  | Extracciones para SSR         | 0,28                 | 0,31                 | 0,34                 | 0,37                 | 53%                                       | 69%          | 87%          | 107%         |
|                  | <b>ΔV</b>                     | <b>-6,11</b>         | <b>2,00</b>          | <b>-5,09</b>         | <b>-6,81</b>         | <b>963%</b>                               | <b>447%</b>  | <b>-784%</b> | <b>1084%</b> |
|                  | Incremento en el stock        | 17,71                | 23,31                | 13,54                | 10,25                | -23%                                      | 1%           | -41%         | -56%         |
|                  | Disminución en el stock       | 23,82                | 21,32                | 18,63                | 17,06                | 1%  | -10%         | -21%         | -28%         |
| Balance          | -0,06                         | -0,06                | -0,07                | -0,07                | -53%                 | -69%                                      | -87%         | -107%        |              |
| Error%           | 0,00                          | 0,00                 | 0,00                 | 0,00                 | -                    | -   | -            | -            |              |
| Estero Cachagua  | <b>Total entradas</b>         | <b>2,61</b>          | <b>2,94</b>          | <b>2,04</b>          | <b>1,62</b>          | <b>-7%</b>                                | <b>5%</b>    | <b>-27%</b>  | <b>-42%</b>  |
|                  | Recarga                       | 2,34                 | 2,64                 | 1,72                 | 1,28                 | -9%                                       | 2%           | -33%         | -50%         |
|                  | Pérdidas desde APU a acuífero | 0,28                 | 0,30                 | 0,32                 | 0,34                 | 20%                                       | 29%          | 39%          | 48%          |
|                  | <b>Total salidas</b>          | <b>2,88</b>          | <b>2,63</b>          | <b>2,17</b>          | <b>1,87</b>          | <b>2%</b>                                 | <b>-7%</b>   | <b>-23%</b>  | <b>-34%</b>  |
|                  | Salida al Mar                 | 2,88                 | 2,63                 | 2,17                 | 1,87                 | 2%  | -7%          | -23%         | -34%         |
|                  | <b>ΔV</b>                     | <b>-0,26</b>         | <b>0,30</b>          | <b>-0,13</b>         | <b>-0,25</b>         | <b>546%</b>                               | <b>842%</b>  | <b>-224%</b> | <b>515%</b>  |

| SHAC                  | Entradas y salidas            | Flujos por década        |                          |                          |                          | Variación % respecto al periodo 1990-2019 |               |               |               |
|-----------------------|-------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---|---------------|---------------|---------------|
|                       |                               | 2020<br>-2029<br>hm³/año | 2030<br>-2039<br>hm³/año | 2040<br>-2049<br>hm³/año | 2050<br>-2059<br>hm³/año | 2020<br>-2029                             | 2030<br>-2039 | 2040<br>-2049 | 2050<br>-2059 |
|                       | Incremento en el stock        | 1,54                     | 1,91                     | 1,12                     | 0,84                     | -8%                                       | 15%           | -33%          | -50%          |
|                       | Disminución en el stock       | 1,81                     | 1,61                     | 1,25                     | 1,09                     | 6%  | -6%           | -27%          | -36%          |
|                       | Balance                       | 0,00                     | 0,00                     | 0,00                     | 0,00                     | 100%                                      | -100%         | -100%         | -100%         |
|                       | Error%                        | 0,00                     | 0,00                     | 0,00                     | 0,00                     | -   | -             | -             | -             |
| La Laguna - Catapilco | <b>Total entradas</b>         | <b>18,07</b>             | <b>16,70</b>             | <b>13,70</b>             | <b>11,35</b>             | <b>-15%</b>                               | <b>-21%</b>   | <b>-36%</b>   | <b>-47%</b>   |
|                       | Recarga                       | 1,77                     | 2,04                     | 1,36                     | 1,02                     | -23%                                      | -11%          | -41%          | -56%          |
|                       | Entradas desde otros SHAC     | 16,28                    | 14,62                    | 12,31                    | 10,30                    | -14%                                      | -23%          | -35%          | -46%          |
|                       | Pérdidas desde APU a acuífero | 0,03                     | 0,03                     | 0,03                     | 0,04                     | 35%                                       | 49%           | 63%           | 77%           |
|                       | <b>Total salidas</b>          | <b>18,40</b>             | <b>16,57</b>             | <b>13,96</b>             | <b>11,70</b>             | <b>-14%</b>                               | <b>-22%</b>   | <b>-34%</b>   | <b>-45%</b>   |
|                       | Salida al Mar                 | 18,40                    | 16,57                    | 13,96                    | 11,70                    | -14%                                      | -22%          | -34%          | -45%          |
|                       | <b>ΔV</b>                     | <b>-0,32</b>             | <b>0,13</b>              | <b>-0,26</b>             | <b>-0,35</b>             | <b>1131%</b>                              | <b>582%</b>   | <b>-884%</b>  | <b>1225%</b>  |
|                       | Incremento en el stock        | 1,13                     | 1,44                     | 0,84                     | 0,64                     | -23%                                      | -2%           | -43%          | -57%          |
|                       | Disminución en el stock       | 1,45                     | 1,32                     | 1,10                     | 0,98                     | -3%                                       | -12%          | -27%          | -35%          |
|                       | Balance                       | 0,00                     | 0,00                     | 0,00                     | 0,00                     | 355%                                      | 174%          | 102%          | -353%         |
|                       | Error%                        | 0,00                     | 0,00                     | 0,00                     | 0,00                     | -   | -             | -             | -             |
| Horcón                | <b>Total entradas</b>         | <b>21,21</b>             | <b>20,97</b>             | <b>19,41</b>             | <b>18,12</b>             | <b>-6%</b>                                | <b>-7%</b>    | <b>-14%</b>   | <b>-19%</b>   |
|                       | Recarga                       | 1,97                     | 2,32                     | 1,53                     | 1,13                     | -28%                                      | -15%          | -44%          | -59%          |
|                       | Entradas desde otros SHAC     | 19,24                    | 18,65                    | 17,88                    | 16,99                    | -3%                                       | -6%           | -9%           | -14%          |
|                       | <b>Total salidas</b>          | <b>21,54</b>             | <b>20,83</b>             | <b>19,68</b>             | <b>18,49</b>             | <b>-4%</b>                                | <b>-7%</b>    | <b>-12%</b>   | <b>-18%</b>   |
|                       | Salida al Mar                 | 21,54                    | 20,83                    | 19,68                    | 18,49                    | -4%                                       | -7%           | -12%          | -18%          |
|                       | <b>ΔV</b>                     | <b>-0,33</b>             | <b>0,14</b>              | <b>-0,27</b>             | <b>-0,37</b>             | <b>1573%</b>                              | <b>796%</b>   | <b>1268%</b>  | <b>1764%</b>  |
|                       | Incremento en el stock        | 1,29                     | 1,66                     | 0,96                     | 0,71                     | -27%                                      | -6%           | -46%          | -60%          |
|                       | Disminución en el stock       | 1,62                     | 1,52                     | 1,22                     | 1,08                     | -10%                                      | -15%          | -32%          | -40%          |
| Balance               | 0,00                          | 0,00                     | 0,00                     | 0,00                     | 1074%                    | 474%                                      | -562%         | 980%          |               |

| SHAC                          | Entradas y salidas            | Flujos por década        |                          |                          |                          | Variación % respecto al periodo 1990-2019 |               |               |               |
|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---|---------------|---------------|---------------|
|                               |                               | 2020<br>-2029<br>hm³/año | 2030<br>-2039<br>hm³/año | 2040<br>-2049<br>hm³/año | 2050<br>-2059<br>hm³/año | 2020<br>-2029                             | 2030<br>-2039 | 2040<br>-2049 | 2050<br>-2059 |
|                               | Error%                        | 0,00                     | 0,00                     | 0,00                     | 0,00                     | -   | -             | -             | -             |
| Estero Puchuncaví             | <b>Total entradas</b>         | <b>15,20</b>             | <b>17,40</b>             | <b>12,15</b>             | <b>9,43</b>              | <b>-26%</b>                               | <b>-15%</b>   | <b>-41%</b>   | <b>-54%</b>   |
|                               | Recarga                       | 12,54                    | 14,82                    | 9,73                     | 7,19                     | -30%                                      | -17%          | -46%          | -60%          |
|                               | Entradas desde otros SHAC     | 2,45                     | 2,34                     | 2,16                     | 1,95                     | -1%                                       | -5%           | -13%          | -21%          |
|                               | Infiltraciones desde SSR      | 0,08                     | 0,09                     | 0,10                     | 0,11                     | 53%                                       | 69%           | 87%           | 107%          |
|                               | Pérdidas desde APU a acuífero | 0,13                     | 0,14                     | 0,16                     | 0,17                     | 37%                                       | 55%           | 73%           | 91%           |
|                               | <b>Total salidas</b>          | <b>20,78</b>             | <b>20,16</b>             | <b>19,35</b>             | <b>18,42</b>             | <b>-2%</b>                                | <b>-5%</b>    | <b>-9%</b>    | <b>-13%</b>   |
|                               | Salida hacia otros SHAC       | 20,12                    | 19,50                    | 18,70                    | 17,77                    | -3%                                       | -6%           | -9%           | -14%          |
|                               | Salida al Mar                 | 0,53                     | 0,51                     | 0,49                     | 0,47                     | -3%                                       | -6%           | -9%           | -14%          |
|                               | Extracciones para SSR         | 0,13                     | 0,15                     | 0,16                     | 0,18                     | 53%                                       | 69%           | 87%           | 107%          |
|                               | <b>ΔV</b>                     | <b>-5,55</b>             | <b>-2,73</b>             | <b>-7,17</b>             | <b>-8,95</b>             | <b>679%</b>                               | <b>-284%</b>  | <b>-906%</b>  | <b>1156%</b>  |
|                               | Incremento en el stock        | 7,35                     | 9,60                     | 4,81                     | 3,59                     | -35%                                      | -15%          | -57%          | -68%          |
|                               | Disminución en el stock       | 12,90                    | 12,34                    | 11,98                    | 12,54                    | 7%  | 3%            | 0%            | 4%            |
|                               | Balance                       | -0,03                    | -0,03                    | -0,03                    | -0,04                    | -53%                                      | -69%          | -87%          | -107%         |
|                               | Error%                        | 0,00                     | 0,00                     | 0,00                     | 0,00                     | -   | -             | -             | -             |
|                               | Dunas de Quintero             | <b>Total entradas</b>    | <b>35,08</b>             | <b>35,45</b>             | <b>30,30</b>             | <b>26,22</b>                              | <b>-11%</b>   | <b>-10%</b>   | <b>-23%</b>   |
| Recarga                       |                               | 8,47                     | 9,95                     | 6,88                     | 4,92                     | -29%                                      | -17%          | -43%          | -59%          |
| Entradas desde otros SHAC     |                               | 25,44                    | 24,20                    | 21,97                    | 19,69                    | -4%                                       | -9%           | -17%          | -26%          |
| Infiltraciones desde SSR      |                               | 0,10                     | 0,11                     | 0,12                     | 0,13                     | 53%                                       | 69%           | 87%           | 107%          |
| Pérdidas desde APU a acuífero |                               | 1,06                     | 1,19                     | 1,33                     | 1,47                     | 42%                                       | 60%           | 78%           | 97%           |
| <b>Total salidas</b>          |                               | <b>39,03</b>             | <b>38,14</b>             | <b>36,85</b>             | <b>35,17</b>             | <b>-1%</b>                                | <b>-3%</b>    | <b>-7%</b>    | <b>-11%</b>   |
| Salida al Mar                 |                               | 38,59                    | 37,69                    | 36,39                    | 34,70                    | -1%                                       | -4%           | -7%           | -11%          |
| Extracciones para APU         |                               | 0,32                     | 0,32                     | 0,32                     | 0,32                     | 0%  | 0%            | 0%            | 0%            |
| Extracciones para SSR         | 0,12                          | 0,13                     | 0,14                     | 0,16                     | 53%                      | 69%                                       | 87%           | 107%          |               |

| SHAC            | Entradas y salidas       | Flujos por década    |                      |                      |                      | Variación % respecto al periodo 1990-2019 |               |               |               |
|-----------------|--------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---|---------------|---------------|---------------|
|                 |                          | 2020-2029<br>hm³/año | 2030-2039<br>hm³/año | 2040-2049<br>hm³/año | 2050-2059<br>hm³/año | 2020-2029                                 | 2030-2039     | 2040-2049     | 2050-2059     |
| SHAC            | <b>ΔV</b>                | <b>-3,94</b>         | <b>-2,68</b>         | <b>-6,55</b>         | <b>-8,96</b>         | <b>1737 %</b>                             | <b>1150 %</b> | <b>2949 %</b> | <b>4072 %</b> |
|                 | Incremento en el stock   | 4,90                 | 6,24                 | 3,07                 | 2,11                 | -35%                                      | -18%          | -60%          | -72%          |
|                 | Disminución en el stock  | 8,84                 | 8,92                 | 9,62                 | 11,07                | 13%                                       | 14%           | 23%           | 42%           |
|                 | Balance                  | 0,00                 | 0,00                 | 0,00                 | 0,00                 | 117%                                      | -245%         | -161%         | -339%         |
|                 | Error%                   | 0,00                 | 0,00                 | 0,00                 | 0,00                 | -   | -             | -             | -             |
|                 | <b>Total entradas</b>    | <b>21,03</b>         | <b>24,66</b>         | <b>16,70</b>         | <b>12,38</b>         | <b>-27%</b>                               | <b>-14%</b>   | <b>-42%</b>   | <b>-57%</b>   |
| Estero Pucalán  | Recarga                  | 20,88                | 24,51                | 16,54                | 12,21                | -26%                                      | -14%          | -42%          | -57%          |
|                 | Infiltración riego       | 0,10                 | 0,10                 | 0,10                 | 0,10                 | -66%                                      | -66%          | -66%          | -65%          |
|                 | Infiltraciones desde SSR | 0,05                 | 0,06                 | 0,06                 | 0,07                 | 53%                                       | 69%           | 87%           | 107%          |
|                 | <b>Total salidas</b>     | <b>25,95</b>         | <b>24,92</b>         | <b>23,23</b>         | <b>21,41</b>         | <b>-11%</b>                               | <b>-15%</b>   | <b>-20%</b>   | <b>-27%</b>   |
|                 | Extracción para riego    | 3,01                 | 3,02                 | 3,02                 | 3,11                 | -51%                                      | -50%          | -50%          | -49%          |
|                 | Salida hacia otros SHAC  | 22,88                | 21,84                | 20,13                | 18,22                | -1%                                       | -5%           | -13%          | -21%          |
|                 | Extracciones para SSR    | 0,06                 | 0,07                 | 0,07                 | 0,08                 | 53%                                       | 69%           | 87%           | 107%          |
|                 | <b>ΔV</b>                | <b>-4,92</b>         | <b>-0,26</b>         | <b>-6,53</b>         | <b>-9,03</b>         | <b>863 %</b>                              | <b>48%</b>    | <b>1178 %</b> | <b>1667 %</b> |
|                 | Incremento en el stock   | 13,62                | 17,29                | 9,97                 | 7,23                 | -30%                                      | -11%          | -49%          | -63%          |
|                 | Disminución en el stock  | 18,54                | 17,56                | 16,49                | 16,25                | -7%                                       | -12%          | -18%          | -19%          |
|                 | Balance                  | 0,00                 | 0,00                 | 0,00                 | 0,00                 | 172%                                      | -266%         | 65%           | -42%          |
| Error%          | 0,00                     | 0,00                 | 0,00                 | 0,00                 | -                    | -   | -             | -             |               |
| Estero Mantagua | <b>Total entradas</b>    | <b>3,63</b>          | <b>4,24</b>          | <b>2,89</b>          | <b>2,07</b>          | <b>-26%</b>                               | <b>-14%</b>   | <b>-41%</b>   | <b>-58%</b>   |
|                 | Recarga                  | 3,63                 | 4,24                 | 2,89                 | 2,07                 | -26%                                      | -14%          | -41%          | -58%          |
|                 | <b>Total salidas</b>     | <b>4,13</b>          | <b>3,85</b>          | <b>3,17</b>          | <b>2,65</b>          | <b>-18%</b>                               | <b>-23%</b>   | <b>-37%</b>   | <b>-47%</b>   |
|                 | Salida hacia otros SHAC  | 4,13                 | 3,85                 | 3,17                 | 2,65                 | -18%                                      | -23%          | -37%          | -47%          |
|                 | <b>ΔV</b>                | <b>-0,50</b>         | <b>0,39</b>          | <b>-0,28</b>         | <b>-0,57</b>         | <b>368 %</b>                              | <b>466%</b>   | <b>-162%</b>  | <b>434%</b>   |

| SHAC                    | Entradas y salidas      | Flujos por década    |                      |                      |                      | Variación % respecto al periodo 1990-2019 |             |              |             |
|-------------------------|-------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---|-------------|--------------|-------------|
|                         |                         | 2020-2029<br>hm³/año | 2030-2039<br>hm³/año | 2040-2049<br>hm³/año | 2050-2059<br>hm³/año | 2020-2029                                 | 2030-2039   | 2040-2049    | 2050-2059   |
|                         | Incremento en el stock  | 2,36                 | 3,01                 | 1,83                 | 1,28                 | -24%                                      | -4%         | -42%         | -59%        |
|                         | Disminución en el stock | 2,86                 | 2,62                 | 2,11                 | 1,85                 | -11%                                      | -19%        | -35%         | -43%        |
|                         | Balance                 | 0,00                 | 0,00                 | 0,00                 | 0,00                 | 111%                                      | 223%        | 207%         | 502%        |
|                         | Error%                  | 0,00                 | 0,00                 | 0,00                 | 0,00                 | -   | -           | -            | -           |
| Aconcagua Desembocadura | <b>Total entradas</b>   | <b>1,02</b>          | <b>1,20</b>          | <b>0,85</b>          | <b>0,61</b>          | <b>-26%</b>                               | <b>-13%</b> | <b>-38%</b>  | <b>-55%</b> |
|                         | Recarga                 | 1,02                 | 1,20                 | 0,85                 | 0,61                 | -26%                                      | -13%        | -38%         | -55%        |
|                         | <b>Total salidas</b>    | <b>1,33</b>          | <b>1,26</b>          | <b>1,16</b>          | <b>1,06</b>          | <b>-6%</b>                                | <b>-11%</b> | <b>-18%</b>  | <b>-25%</b> |
|                         | Salida al Mar           | 1,33                 | 1,26                 | 1,16                 | 1,06                 | -6%                                       | -11%        | -18%         | -25%        |
|                         | <b>ΔV</b>               | <b>-0,31</b>         | <b>-0,06</b>         | <b>-0,31</b>         | <b>-0,45</b>         | <b>650%</b>                               | <b>-53%</b> | <b>-646%</b> | <b>983%</b> |
|                         | Incremento en el stock  | 0,61                 | 0,79                 | 0,48                 | 0,32                 | -28%                                      | -8%         | -45%         | -62%        |
|                         | Disminución en el stock | 0,92                 | 0,85                 | 0,78                 | 0,77                 | 3%  | -5%         | -13%         | -14%        |
|                         | Balance                 | 0,00                 | 0,00                 | 0,00                 | 0,00                 | 115%                                      | 104%        | 128%         | -492%       |
| Error%                  | 0,00                    | 0,00                 | 0,00                 | 0,00                 | -                    | -   | -           | -            |             |

Fuente: Elaboración propia con base en resultados del Modelo numérico actual (WEAP)

---

## 5.2 Brechas Hídricas

Las brechas hídricas en la cuenca se identifican como resultado del diagnóstico de la línea base realizada para el presente estudio. Esta información es presentada según la estructura planteada para la formulación del plan.

### Seguridad Hídrica para las Personas

- BPER 1 Aumento de la demanda de agua en zonas urbanas
- BPER 2 Aumento de la demanda de agua en zonas rurales
- BPER 3 Población en riesgo de abastecimiento de agua potable
- BPER 4 Déficit de saneamiento en sectores urbanos y rurales
- BPER 5 Problemas de operación y administración de Servicios Sanitarios Rurales

### Seguridad Hídrica para los Ecosistemas

- BECO 1 Caudal ecológico insuficiente
- BECO 2 Deterioro de ecosistemas acuáticos
- BECO 3 Pérdida y degradación de vegetación terrestre
- BECO 4 Degradación y desertificación

### Seguridad Hídrica para el Desarrollo Productivo

- BPRO 1 Problemas de Abastecimiento de agua sector Catapilco y norte de la cuenca
- BPRO 2 Problemas de Abastecimiento de agua sector Canal Mauco
- BPRO 3 Seguridad Hídrica para la Agricultura Familiar Campesina
- BPRO 4 No se cuenta con organizaciones de usuarios de agua

### Seguridad Hídrica ante Eventos Extremos:

- BEXT1 Insuficiencia de mecanismos de respuesta ante la escasez hídrica

**Gestión Institucional:** En este eje se identifican las siguientes brechas:

- BGES 1 Deficiencias en la generación y análisis de información hidrológica e hidrogeológica
- BGES 2 Deficiencias en el estado de los derechos de aprovechamiento de aguas
- BGES 3 Deficiencias en la fiscalización de usos irregulares del agua

### Gobernanza

- BGOB 1 Insuficiencia de las estructuras actuales para dar cuenta de la complejidad de los problemas de la cuenca

### 5.3 Sustentabilidad de Acuíferos

En síntesis, para la correcta evaluación de los criterios de sustentabilidad es necesaria la construcción de un modelo integrado de aguas superficiales y subterráneas, que considere un modelo hidrogeológico distribuido y para lo cual podría ser considerado un modelo acoplado WEAP-MODFLOW. Sin embargo, para la construcción de este modelo es necesario contar también con información hidrométrica en la cuenca, con estadísticas de estaciones fluviométricas en los cauces superficiales y pozos de observación de niveles estáticos. Esta estadística hidrométrica debe ser lo más sistemática y continua posible, y debe abarcar una extensión temporal mínima de 5 años (idealmente 10 años o más) con estaciones estratégicamente situadas en la cuenca. A esta información hidrométrica también se le podría sumar la estimación de constantes elásticas del acuífero obtenidas en pruebas de bombeo, que podrían dar un apoyo más firme para la caracterización del acuífero en la modelación numérica subterránea.

### 5.4 Indicadores Hídricos de la Cuenca

Se diferencian tres tipos de indicadores, de estado, impacto y de proceso.

- Indicadores de Estado
- Indicadores de Impacto
- Indicadores de Proceso (correspondientes al seguimiento del Plan)

**Tabla 5-6. Indicadores de Estado**

| Indicador                   | Unidad          | Línea de Base<br>(1990 - 2014) | Valor Actual<br>(2015 - 2020) | Valor Proyectado<br>(2050 - 2060) |
|-----------------------------|-----------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| IES 01 - Oferta Superficial | hm <sup>3</sup> | 52,1                           | 45,0                          | 18,7                              |
| IES 02 - Oferta Subterránea | hm <sup>3</sup> | 124,5                          | 124,0                         | 54,8                              |

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 5-7. Indicadores de Impacto para la cuenca**

| Eje Estratégico   | Indicador  | Unidad               | Valor Actual        | Meta                      | Plazo      |
|---|--|----------------------|---------------------|---------------------------|------------|
| <b>Seguridad Hídrica para las Personas</b>                | IPER01<br>Proporción de la población que utiliza servicios de suministro de agua potable gestionados sin riesgos | %                    | 89,3%               | <b>100,0 %</b>            | 10 años    |
|   | IPER 02<br>Proporción de la población que utiliza servicios de saneamiento gestionados sin riesgos               | %                    | 61,4%               | <b>90,2%</b>              | 30 años    |
|   | IPER 03<br>Brecha hídrica para consumo humano proyectada a 30 años   | hm <sup>3</sup> /año | 3,1 hm <sup>3</sup> | <b>0,0 hm<sup>3</sup></b> | 30 años    |
| <b>Seguridad Hídrica para los Ecosistemas</b>             | IECO 01<br>Proporción de aguas residuales tratadas de manera adecuada  | %                    | 0,0%                | <b>59,9%</b>              | 30 años    |
|   | IECO 02<br>Calidad de Aguas Superficiales  | %                    | 67%                 | <b>&gt;80%</b>            | Permanente |
|   | IECO 03<br>Estado de Ecosistemas Acuáticos   | %                    | 28,3 %              | <b>&gt;80%</b>            | 5 años     |
|   | IECO 04<br>Superficie de Bosque nativo   | %                    | 49,2 %              | <b>&gt;50,2 %</b>         | 10 años    |
|   | IECO 05<br>Superficie de suelo sin degradación severa  | %                    | 78,9%               | <b>100,0 %</b>            | 10 años    |
|   | IECO 06<br>Brecha hídrica para Ecosistemas al año 2060   | %                    | 55,6%               | <b>70,0%</b>              | Permanente |
| <b>Seguridad de agua para las actividades productivas</b> | I PRO 01<br>Nivel de Estrés Hídrico  | %                    | 5,1%                | <b>5,1%</b>               | Permanente |
|   | I PRO 02<br>Huella hídrica verde   | %                    | 150,8%              | <b>150,8%</b>             | Permanente |
|   | I PRO 03<br>Reutilización de agua  | %                    | 0,0%                | <b>57,7%</b>              | 30 años    |
|   | I PRO 04<br>Brecha hídrica para Actividades Productivas  | hm <sup>3</sup> /año | 5,07                | <b>3,97</b>               | 30 años    |



---

| <b>Eje Estratégico</b>                         | <b>Indicador</b>   | <b>Unidad</b>       | <b>Valor Actual</b> | <b>Meta</b> | <b>Plazo</b> |
|--|--|---------------------|---------------------|-------------|--------------|
| <b>Seguridad Hídrica ante Eventos Extremos</b> | IEXT 01<br>Índice de riesgo potencial a la escasez hídrica | Índice<br>(0 a 100) | 37,7                | <b>73,3</b> | 5 años       |

Fuente: Elaboración propia

## 5.5 Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad define escenarios que permiten proyectar situaciones futuras que resulten del cambio climático y de distintas estrategias de gestión. Los escenarios de gestión seleccionados se presentan en la Tabla 5-8.

**Tabla 5-8 Escenarios de gestión seleccionados**

| Escenario   | Objetivo  | Resultados Esperados  |
|---|---|---|
| Escenario Tendencial                                    | Estimar la respuesta del sistema a la proyección de cambio climático seleccionada   | Estado: evolución de la oferta de agua superficial; recarga y volumen húmedo de acuíferos.<br><br>Personas: satisfacción de fuentes de APU + SSR agrupados y N° de meses al año en que no se satisface la demanda de producción)<br><br>Ecosistemas: Variación del caudal entrante por humedal seleccionado<br><br>Desarrollo Productivo: N° de meses al año por debajo de precipitación promedio mensual |
| EG 01<br>Aumento poblacional                            | Evaluar la satisfacción de la demanda de agua para las personas bajo un supuesto de aumento acelerado de la población                                       |   |
| EG 02<br>Aporte externo por desalación                  | Evaluar la satisfacción de la demanda de agua para las personas bajo un supuesto de aumento acelerado de la población y cobertura de brechas con desalación |   |
| EG 03<br>Reutilización de aguas servidas desde Quintero | Evaluar la oferta de agua a partir de la reutilización de aguas servidas de la localidad de Quintero  |   |

Fuente: Elaboración propia

### 5.5.1 ESCENARIO 1: Aumento intensificado de demanda poblacional

En este escenario se tienen en cuenta las capacidades actuales de abastecimiento de las fuentes, sin contemplar ampliaciones de sus capacidades. De esta forma, los niveles de cobertura de las demandas urbanas comienzan a ser menores que 100% desde el año hidrológico 2044, llegando a coberturas de 67%. Por otra parte, en el escenario base esto no ocurre, y las localidades urbanas tienen un abastecimiento completo hasta el final del periodo modelado.

Para efectos de análisis socioeconómico, se supuso que, en un escenario de escasez máxima, se suspende el abastecimiento de aquellos servicios que están fuera del territorio operacional de la empresa sanitaria, así como aquellos que hoy reciben aportes de camiones aljibe. Este efecto podría llegar a 5.019 arranques y 15.057 personas (el



18,6% de la población de la cuenca). La brecha de abastecimiento podría llegar a 0,77 hm<sup>3</sup> al año (consumo). Una forma de valorar económicamente el costo de esta brecha es suponer que se deberá recurrir a fuentes alternativas de agua, es decir, camiones aljibe provistos por particulares. Si se supone un costo promedio de \$10 pesos por litro de agua provisto, la brecha equivale a \$7.680 millones de pesos al año.

### **5.5.2 ESCENARIO 2: Incorporación de plantas desaladoras**

Este escenario de gestión considera aportes desde una planta desaladora de agua de mar para el abastecimiento de agua potable de las localidades urbanas. La idea conceptual evaluada consiste en que la planta de desalación inyecta sus aguas en la Conducción Litoral Norte, logrando abastecer a todas las localidades urbanas de la cuenca. La capacidad de producción de agua desalada de la planta es de 300 (L/s) y comienza su funcionamiento en abril de 2043. El crecimiento poblacional tomado en cuenta es el intensificado.

De esta manera, la cobertura en las localidades urbanas alcanza el 100% en todo el horizonte de modelación (hasta marzo de 2060) considerando el crecimiento intensificado de población.

Para la evaluación socioeconómica se determinó el costo de proveer la brecha hídrica determinada en el escenario 1, mediante agua desalada, bajo supuestos de valores de venta de agua. Se tuvo que el costo de compra mínimo es de \$45.717 millones de pesos (brecha de abastecimiento multiplicada por el valor base, \$1.500/m<sup>3</sup>) y el máximo es de \$60.956 (brecha multiplicada por valor Spot). El ejercicio arroja \$48.407 millones de pesos. En este caso, el costo promedio anual es de \$3.026 millones de pesos, inferior al costo de camiones aljibe evaluado en el escenario 1, lo que permite concluir que es conveniente avanzar en desalación por sobre la mantención de camiones aljibe.

### **5.5.3 ESCENARIO 3: Reutilización de las aguas tratadas de la localidad de Quintero**

Dado que en la actualidad la localidad de Quintero descarga sus aguas sanitarias hacia el océano Pacífico a través de un emisario submarino, este escenario de gestión evaluado corresponde al tratamiento de aguas de la localidad de Quintero para su posterior elevación hacia uno de los tranques disponibles en el área de riego del canal Mauco, que permitiría almacenar estas aguas, que posteriormente serían utilizadas para riego. El efecto producido es la reducción en la utilización de las aguas subterráneas del SHAC Pucalán. De esta manera, el caudal impulsado iría desde 40 L/s en 2026, hasta 60 L/s en 2060 debido al aumento en la demanda de agua de Quintero (se considera un crecimiento tendencial de la población, no intensificado). Esto se traduciría en un aporte

---

para riego en la zona de entre 1,2 hm<sup>3</sup>/año a 1,9 hm<sup>3</sup>/año, que podrían evitar estar siendo extraídos desde el acuífero, tal como ocurre en la actualidad.

Para la evaluación socioeconómica se realizó un análisis financiero simple, con los siguientes parámetros:

- Período de evaluación, 30 años
- Tasa de interés, 10%
- Costo financiero, se consideró nulo para este análisis
- Costo de inversión, USD 48 millones, que se cargan en el primer año
- Costo de operación de la PTAS y de la impulsión, de \$500 pesos por m<sup>3</sup> de agua entregada, invariable en el tiempo
- Precio del agua invariable en el tiempo
- El volumen de agua a vender corresponde a la recuperación de aguas servidas, que se estima comienza en 1 hm<sup>3</sup> al año 1, y llega a 2 hm<sup>3</sup> al año 30, producto del aumento poblacional.

En una primera consulta, se fijó la tasa de interés se determinó el precio teórico al cual debe venderse el agua dentro de la concesión, el que resultó ser de \$3.020 pesos/m<sup>3</sup>. En este caso, el factor que incide en mayor medida es el costo de inversión (CAPEX), ya que incluso, si el costo de operación fuese igual a \$0/m<sup>3</sup>, el precio por m<sup>3</sup> de agua sería de \$2.520/m<sup>3</sup>. Es decir, el costo del agua siempre será \$2.520/m<sup>3</sup> más el costo de tratamiento e impulsión.

En este caso, el costo de producción de 1 m<sup>3</sup> de agua se deberá distribuir entre los usuarios de la empresa sanitaria, y los agricultores u otros beneficiarios. Si se compara con alternativas de provisión de agua, como la desalación, se estima que el costo de producción estará alrededor de \$700/m<sup>3</sup>, más el costo de impulsión (\$200/m<sup>3</sup>), lo que da cerca de \$900 a \$1.000 / m<sup>3</sup>.

La conveniencia de la iniciativa dependerá de las siguientes decisiones:

- La proporción de pago de los agricultores, que no superaría el 10% del costo de producción de agua
- Esta proporción depende, a su vez, de la decisión estratégica de que se modifique la PTAS, y que se distribuya el costo de inversión y de operación entre los habitantes del territorio operacional.
- Dado el evidente menor costo de la adquisición de agua desalada como fuente alternativa, se debe considerar que los agricultores no podrían acceder a pagarlo sin un subsidio operacional, lo que no se ve viable.
- En consecuencia, la decisión estratégica debe considerar los beneficios ambientales del tratamiento de agua, e incluir el beneficio de incorporar entre 1.000 a 2.000 ha de nuevo riego en una zona altamente deprimida, la que podría



resultar en nuevos ingresos de 5.000 a 10.000 millones de pesos al año, con los encadenamientos productivos y generación de empleo que esto produce. En 30 años, esta cifra sería de USD 150 a USD 300 millones, de 3 a 6 veces el costo de inversión.

- En consecuencia, más allá de la evaluación socioeconómica realizada, se debe incorporar el efecto multiplicativo de la inversión.

## **6 ACCIONES**

Se presentan las iniciativas público privadas identificadas en la cuenca, con el propósito de conectarlas a la propuesta realizada en el contexto del presente Plan Estratégico.

### **6.1 Seguridad Hídrica para las Personas**

En la cuenca no se han identificado iniciativas particulares para el aseguramiento de agua para las personas, distintas a las realizadas por la empresa sanitaria ESVAL para asegurar el funcionamiento del sistema Litoral Norte, que se abastece de la PTAP de Concón, la que a su vez da seguridad al Gran Valparaíso.

El Programa para la Recuperación Ambiental y Social de Quintero y Puchuncaví cuenta con acciones para las personas.

### **6.2 Seguridad Hídrica para los Ecosistemas**

Se identificó el proyecto GEF de Humedales Costeros, para el caso del Humedal de Mantagua, y el Plan de Recuperación Ambiental y Social de Quintero Puchuncaví y el Programa para la Recuperación Ambiental y Social de Quintero y Puchuncaví.

## **7 INICIATIVAS PROPUESTAS**

El proceso de formulación del Plan Estratégico consiste en la descripción de las estrategias de evaluación de las soluciones para la definición de iniciativas requeridas para la Seguridad Hídrica, Gestión Institucional y Gobernanza.

A continuación, se presenta la síntesis de alternativas priorizadas y seleccionadas por eje estratégico. En cada una de ellas se describe el proceso de análisis (árbol de soluciones), las acciones de validación realizadas con los actores de la cuenca y el análisis económico que justifica su valorización.



## **7.1 Alternativas seleccionadas**

En la Tabla 7-1 se presenta la cartera de iniciativas propuestas en formato de ficha, para cada uno de los seis ejes estratégicos de planificación: Balance, Seguridad Hídrica (para las personas, ecosistemas, actividades productivas, eventos extremos, gestión institucional y gobernanza).

**Tabla 7-1. Alternativas Seleccionadas**

| Eje                                    | Línea de Acción                                      | Iniciativa   | Costo (UF) | Organismo Formulator | Organismo Ejecutor                                    |
|--|--|--|------------|----------------------|---|
| 01 Seguridad Hídrica para las Personas | PER 1 – Seguridad Hídrica para la Red Pública Urbana | PER 1.1 - Estudio de Interconexión hídrica a nivel regional                                    | 23.175     | MOP                  | MOP   |
| 01 Seguridad Hídrica para las Personas | PER 1 – Seguridad Hídrica para la Red Pública Urbana | PER 1.2 - Aumento de eficiencia en el uso de agua en el contexto urbano                        | 2.897      | Municipios           | Municipios de Quintero, Puchuncaví, Zapallar y Papudo |
| 01 Seguridad Hídrica para las Personas | PER 2 – Seguridad Hídrica para la Red Pública Rural  | PER 2.1 - Capacitación y Acreditación de dirigentes, administradores y operadores              | 15.643     | DOH SSR              | DOH SSR   |
| 01 Seguridad Hídrica para las Personas | PER 2 – Seguridad Hídrica para la Red Pública Rural  | PER 2.2 - Profesionalización de los SSR  | 18.829     | DOH SSR              | DOH SSR   |
| 01 Seguridad Hídrica para las Personas | PER 2 – Seguridad Hídrica para la Red Pública Rural  | PER 2.3 - Apoyo para la elaboración del Planes de Inversión y de Mantenimiento Preventiva      | 18.771     | DOH SSR              | DOH SSR   |
| 01 Seguridad Hídrica para las Personas | PER 2 – Seguridad Hídrica para la Red Pública Rural  | PER 2.4 - Sistema de información para los Servicios Sanitarios Rurales                         | 17.381     | DOH SSR              | DOH SSR   |
| 01 Seguridad Hídrica para las Personas | PER 2 – Seguridad Hídrica para la Red Pública Rural  | PER 2.5 - Instalación de Telemetría en los Servicios Sanitarios Rurales                        | 3.963      | DOH SSR              | DOH SSR   |
| 01 Seguridad Hídrica para las Personas | PER 2 – Seguridad Hídrica para la Red Pública Rural  | PER 2.6 - Aumento de la cobertura de agua potable en sectores rurales por arranques pendientes | 748.241    | DOH SSR              | DOH SSR   |



| Eje  | Línea de Acción  | Iniciativa   | Costo (UF) | Organismo Formulator | Organismo Ejecutor |
|--|--|--|------------|----------------------|--------------------|
| 01 Seguridad Hídrica para las Personas             | PER 2 – Seguridad Hídrica para la Red Pública Rural                                  | PER 2.7 - Aumento en la cobertura de Saneamiento Rural                         | 5.135.392  | DOH SSR              | DOH SSR            |
| 01 Seguridad Hídrica para las Personas             | PER 3 – Seguridad Hídrica para Viviendas desconectadas de las Redes Públicas de Agua | PER 3.1 - Plan para viviendas desconectadas de las Redes Públicas de Agua      | 482.613    | Gobierno Regional    | Gobierno Regional  |
| 01 Seguridad Hídrica para las Personas             | PER 3 – Seguridad Hídrica para Viviendas desconectadas de las Redes Públicas de Agua | PER 3.2 - Piloto para Reutilización de aguas grises en sectores rurales        | 17.671     | Municipios           | Gobierno Regional  |
| 02 Seguridad Hídrica para los Ecosistemas          | ECO 1 – Protección de Humedales  | ECO 1.1 - Acuerdo de Gestión de Humedales Urbanos y Rurales                    | 0          | MMA                  | No aplica          |
| 02 Seguridad Hídrica para los Ecosistemas          | ECO 1 – Protección de Humedales  | ECO 1.2 - Programa de Seguimiento de humedales                                 | 69.107     | MMA                  | Gobierno Regional  |
| 02 Seguridad Hídrica para los Ecosistemas          | ECO 1 – Protección de Humedales  | ECO 1.3 - Estudio de cuña salina en desembocadura de Estero Catapilco          | 2.086      | DGA DEP              | DGA                |
| 02 Seguridad Hídrica para los Ecosistemas          | ECO 2 – Protección de Ecosistemas Terrestres   | ECO 2.1 - Protección de ecosistemas mediterráneos                              | 80.242     | MMA                  | Gobierno Regional  |
| 02 Seguridad Hídrica para los Ecosistemas          | ECO 2 – Protección de Ecosistemas Terrestres   | ECO 2.2 - Restauración de Vegetación Terrestres                                | 66.395     | CONAF                | CONAF              |
| 02 Seguridad Hídrica para los Ecosistemas          | ECO 2 – Protección de Ecosistemas Terrestres   | ECO 2.3 - Recuperación de suelos degradados                                    | 28.816     | SAG                  | SAG                |
| 03 Seguridad Hídrica para el Desarrollo Productivo | PRO 1 – Sistemas productivos adaptados al cambio climático                           | PRO 1.1 - Reutilización de aguas servidas tratadas de la localidad de Quintero | 1.436.019  | MOP                  | Empresa sanitaria  |



| Eje  | Línea de Acción  | Iniciativa   | Costo (UF) | Organismo Formulator | Organismo Ejecutor |
|--|--|--|------------|----------------------|--------------------|
| 03 Seguridad Hídrica para el Desarrollo Productivo | PRO 1 – Sistemas productivos adaptados al cambio climático | PRO 1.2 - Gestión Dinámica del SHAC Pucalán y sector Valle Alegre  | 40.556     | MOP DOH              | MOP DOH            |
| 03 Seguridad Hídrica para el Desarrollo Productivo | PRO 1 – Sistemas productivos adaptados al cambio climático | PRO 1.3 - Mejoras en el acceso al agua en la Agricultura Familiar Campesina  | 124.564    | INDAP                | INDAP              |
| 03 Seguridad Hídrica para el Desarrollo Productivo | PRO 1 – Sistemas productivos adaptados al cambio climático | PRO 1.4 - Piloto mixto de captura de aguas lluvia y atrapanieblas en subcuenca que va entre el Estero Catapilco y el río Aconcagua | 2.897      | INDAP                | INDAP              |
| 03 Seguridad Hídrica para el Desarrollo Productivo | PRO 2 – Constitución de Comunidad de Aguas Subterráneas    | PRO 2.1 - Saneamiento y Regularización de derechos de aprovechamiento de agua subterráneos   | 7.300      | DGA OUA              | DGA OUA            |
| 03 Seguridad Hídrica para el Desarrollo Productivo | PRO 2 – Constitución de Comunidad de Aguas Subterráneas    | PRO 2.2 - Constitución de comunidades de aguas subterráneas  | 7.879      | DGA OUA              | DGA OUA            |
| 04 Seguridad Hídrica ante Eventos Extremos         | EXT 1 – Adaptación a condición permanente de escasez       | EXT 1.1 - Propuesta de Instrumentos de adaptación a condición permanente de escasez  | 7.242      | Gobierno Regional    | Gobierno Regional  |
| 05 Gestión Institucional                           | GES 1 - Generación de Información                          | GES 1.1 - Determinación de caudal ecológico y ambiental en humedales de la cuenca  | 2.897      | DGA DCyPRH           | Gobierno Regional  |
| 05 Gestión Institucional                           | GES 1 - Generación de Información                          | GES 1.2 - Nuevas Estaciones de la Red Hidrométrica   | 17.381     | DGA Hidrología       | DGA                |

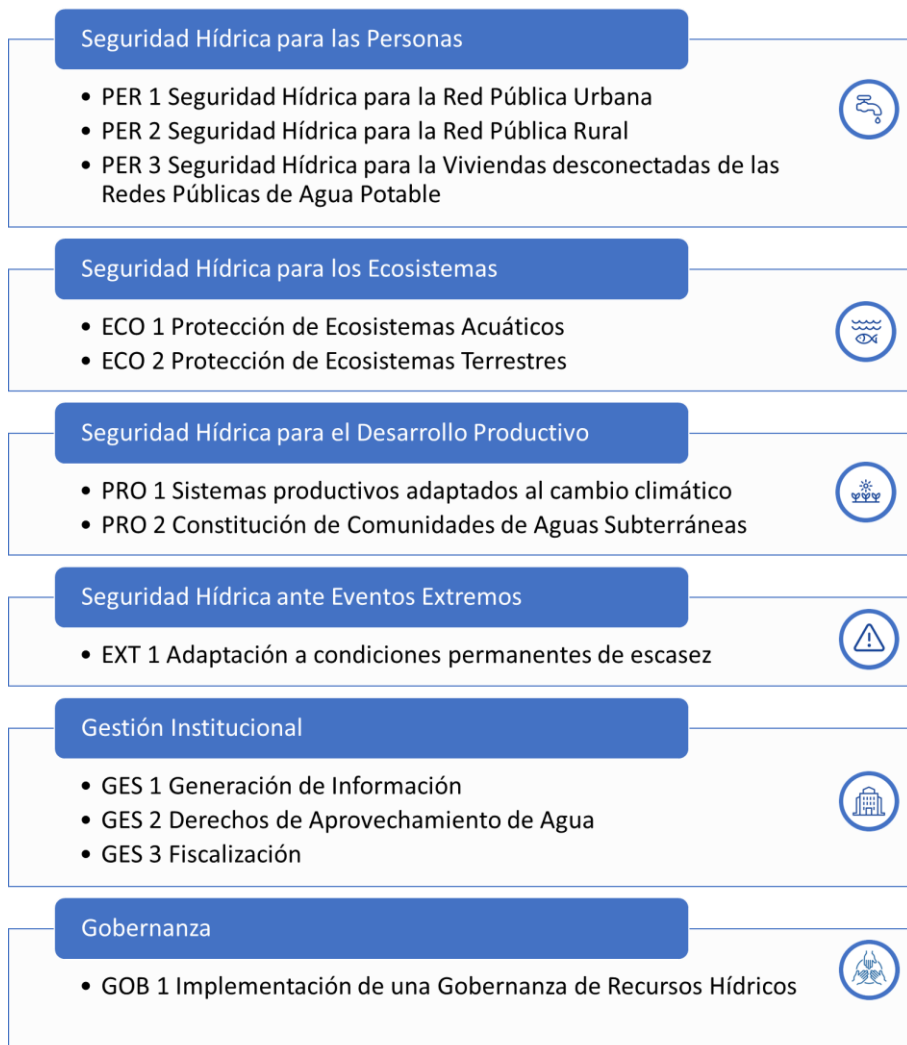


| Eje                      | Línea de Acción   | Iniciativa   | Costo (UF)       | Organismo Formulator | Organismo Ejecutor |
|--------------------------|---|--|------------------|----------------------|--------------------|
| 05 Gestión Institucional | GES 2 - Derechos de Aprovechamiento de Agua                   | GES 2.1 - Programa de Difusión para el Saneamiento de derechos de aprovechamiento de aguas | 1.101            | DGA DARH             | DGA                |
| 05 Gestión Institucional | GES 3 - Fiscalización   | GES 3.1 - Mejoras en las capacidades de fiscalización                                      | 3.273            | DGA Fiscalización    | Gobierno Regional  |
| 06 Gobernanza            | GOB 1 - Implementación de una Gobernanza de Recursos Hídricos | GOB 1.1 - Implementación de una gobernanza de recursos hídricos para la cuenca             | 4.287            | Gobierno Regional    | Gobierno Regional  |
| 06 Gobernanza            | GOB 1 - Implementación de una Gobernanza de Recursos Hídricos | GOB 1.2 - Implementación de una Secretaría Técnica permanente                              | 175.548          | DGA                  | DGA                |
|                          |   | <b>TOTAL</b>   | <b>8.562.166</b> |                      |                    |

Fuente: Elaboración propia

## 7.2 Líneas de Acción

El Plan Estratégico se formuló a partir de una estructura de Ejes Estratégicos, Líneas de Acción e iniciativas que ya han sido mencionadas en este documento (Ilustración 7-1).



Fuente: Elaboración propia

**Ilustración 7-1 Líneas de Acción del Plan Estratégico**

### 7.3 Valorización económica del Plan

El costo total del Plan Estratégico es de UF **8.562.166**. En la Tabla 7-2 se presenta el resumen de inversión por cada línea de acción.

**Tabla 7-2. Resumen de iniciativas de inversión**

| Ejes Estratégicos y Líneas de Acción   | Costo (UF)       | %             |
|--|------------------|---------------|
| <b>01 Seguridad Hídrica para las Personas</b>  | <b>6.484.576</b> | <b>75,7%</b>  |
| PER 1 – Seguridad Hídrica para la Red Pública Urbana                                 | 26.072           | 0,3%          |
| PER 2 – Seguridad Hídrica para la Red Pública Rural                                  | 5.958.221        | 69,6%         |
| PER 3 – Seguridad Hídrica para Viviendas desconectadas de las Redes Públicas de Agua | 500.283          | 5,8%          |
| <b>02 Seguridad Hídrica para los Ecosistemas</b>                                     | <b>246.647</b>   | <b>2,9%</b>   |
| ECO 1 – Protección de Humedales  | 71.193           | 0,8%          |
| ECO 2 – Protección de Ecosistemas Terrestres   | 175.454          | 2,0%          |
| <b>03 Seguridad Hídrica para el Desarrollo Productivo</b>                            | <b>1.619.215</b> | <b>18,9%</b>  |
| PRO 2 – Constitución de Comunidad de Aguas Subterráneas                              | 15.179           | 0,2%          |
| PRO 1 – Sistemas productivos adaptados al cambio climático                           | 1.604.035        | 18,7%         |
| <b>04 Seguridad Hídrica ante Eventos Extremos</b>                                    | <b>7.242</b>     | <b>0,1%</b>   |
| EXT 1 – Adaptación a condición permanente de escasez                                 | 7.242            | 0,1%          |
| <b>05 Gestión Institucional</b>  | <b>24.652</b>    | <b>0,3%</b>   |
| GES 1 - Generación de Información  | 20.278           | 0,2%          |
| GES 2 - Derechos de Aprovechamiento de Agua  | 1.101            | 0,0%          |
| GES 3 - Fiscalización  | 3.273            | 0,0%          |
| <b>06 Gobernanza</b>   | <b>179.835</b>   | <b>2,1%</b>   |
| GOB 1 - Implementación de una Gobernanza de Recursos Hídricos                        | 179.835          | 2,1%          |
| <b>Total general</b>   | <b>8.562.166</b> | <b>100,0%</b> |

Fuente: Elaboración propia

El cuadro siguiente resume la inversión por institución responsable y período de ejecución. El responsable principal es el MOP, que en forma directa y a través de la Dirección de Obras Hidráulicas y la Subdirección de Servicios Sanitarios Rurales de la Dirección de Obras Hidráulicas. concentra el 87,1 % del total de las partidas. El detalle se presenta en la Tabla 7-3.

**Tabla 7-3. Resumen de inversión por Organismo Ejecutor y Plazo**

| <b>Organismo Formulator de las iniciativas</b> | <b>Total (UF)</b> | <b>Corto Plazo (1 a 5 años)</b> | <b>Mediano Plazo (6 a 10 años)</b> | <b>Largo Plazo (11 a 30 años)</b> | <b>%</b>      |
|--|-------------------|---------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|---------------|
| MOP  | 1.459.193         | 23.175                          |                                    | 1.436.019                         | 17,0%         |
| MOP DOH  | 40.556            |                                 |                                    | 40.556                            | 0,5%          |
| MOP DOH SSR                                    | 5.958.221         | 420.029                         | 379.856                            | 5.158.335                         | 69,6%         |
| DGA  | 175.548           | 29.258                          | 29.258                             | 117.032                           | 2,1%          |
| DGA Hidrología                                 | 17.381            | 8.691                           | 8.691                              |                                   | 0,2%          |
| DGA Fiscalización                              | 3.273             | 3.273                           |                                    |                                   | 0,0%          |
| DGA DEP  | 2.086             | 2.086                           |                                    |                                   | 0,0%          |
| DGA DCyPRH                                     | 2.897             | 2.897                           |                                    |                                   | 0,0%          |
| DGA DARH                                       | 1.101             | 1.101                           |                                    |                                   | 0,0%          |
| DGA OUA  | 15.179            | 15.179                          |                                    |                                   | 0,2%          |
| SAG  | 28.816            | 14.408                          | 14.408                             |                                   | 0,3%          |
| INDAP  | 127.461           | 127.461                         |                                    |                                   | 1,5%          |
| CONAF  | 66.395            | 66.395                          |                                    |                                   | 0,8%          |
| MMA  | 149.349           | 91.760                          | 11.518                             | 46.071                            | 1,7%          |
| Gobierno Regional                              | 494.142           | 252.836                         | 241.306                            |                                   | 5,8%          |
| Municipios                                     | 20.568            | 20.568                          |                                    |                                   | 0,2%          |
| <b>Total general</b>                           | <b>8.562.166</b>  | <b>1.079.116</b>                | <b>685.037</b>                     | <b>6.798.013</b>                  | <b>100,0%</b> |
| Total (%)                                      |                   | 12,6%                           | 8,0%                               | 79,4%                             |               |

Fuente: Elaboración propia



## 7.4 Cronograma de soluciones

En la Tabla 7-4 se presentan las iniciativas según plazo de implementación.

**Tabla 7-4. Cronograma de Implementación de Iniciativas**

| Eje Estratégico y Líneas de Acción   | Total (UF)       | Corto Plazo<br>(1 a 5 años) | Mediano Plazo<br>(6 a 10 años) | Largo Plazo<br>(11 a 30 años) | %            |
|--|------------------|-----------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------|
| <b>01 Seguridad Hídrica para las Personas</b>  | <b>6.484.576</b> | <b>705.078</b>              | <b>621.162</b>                 | <b>5.158.335</b>              | <b>75,7%</b> |
| PER 1 – Seguridad Hídrica para la Red Pública Urbana                                 | 26.072           | 26.072                      |                                |                               | 0,3%         |
| PER 2 – Seguridad Hídrica para la Red Pública Rural                                  | 5.958.221        | 420.029                     | 379.856                        | 5.158.335                     | 69,6%        |
| PER 3 – Seguridad Hídrica para Viviendas desconectadas de las Redes Públicas de Agua | 500.283          | 258.977                     | 241.306                        |                               | 5,8%         |
| <b>02 Seguridad Hídrica para los Ecosistemas</b>                                     | <b>246.647</b>   | <b>174.649</b>              | <b>25.926</b>                  | <b>46.071</b>                 | <b>2,9%</b>  |
| ECO 1 – Protección de Humedales  | 71.193           | 13.604                      | 11.518                         | 46.071                        | 0,8%         |
| ECO 2 – Protección de Ecosistemas Terrestres   | 175.454          | 161.046                     | 14.408                         |                               | 2,0%         |
| <b>03 Seguridad Hídrica para el Desarrollo Productivo</b>                            | <b>1.619.215</b> | <b>142.640</b>              |                                | <b>1.476.574</b>              | <b>18,9%</b> |
| PRO 2 – Constitución de Comunidad de Aguas Subterráneas                              | 15.179           | 15.179                      |                                |                               | 0,2%         |
| PRO 1 – Sistemas productivos adaptados al cambio climático                           | 1.604.035        | 127.461                     |                                | 1.476.574                     | 18,7%        |
| <b>04 Seguridad Hídrica ante Eventos Extremos</b>                                    | <b>7.242</b>     | <b>7.242</b>                |                                |                               | <b>0,1%</b>  |
| EXT 1 – Adaptación a condición permanente de escasez                                 | 7.242            | 7.242                       |                                |                               | 0,1%         |
| <b>05 Gestión Institucional</b>  | <b>24.652</b>    | <b>15.962</b>               | <b>8.691</b>                   |                               | <b>0,3%</b>  |
| GES 1 - Generación de Información  | 20.278           | 11.587                      | 8.691                          |                               | 0,2%         |
| GES 2 - Derechos de Aprovechamiento de Agua  | 1.101            | 1.101                       |                                |                               | 0,0%         |



---

|   |                  |                  |                |                  |             |
|---|------------------|------------------|----------------|------------------|-------------|
| GES 3 - Fiscalización   | 3.273            | 3.273            |                |                  | 0,0%        |
| <b>06 Gobernanza</b>  | <b>179.835</b>   | <b>33.545</b>    | <b>29.258</b>  | <b>117.032</b>   | <b>2,1%</b> |
| GOB 1 - Implementación de una Gobernanza de Recursos Hídricos | 179.835          | 33.545           | 29.258         | 117.032          | 2,1%        |
| <b>Total general</b>  | <b>8.562.166</b> | <b>1.079.116</b> | <b>685.037</b> | <b>6.798.013</b> |             |
| <b>Total (%)</b>  |                  | 12,6%            | 8,0%           | 79,4%            |             |

Fuente: Elaboración propia

## 8 IMPLEMENTACIÓN

La Tabla 8-1 presenta las iniciativas propuestas para el corto plazo (1 a 5 años), identificando la inversión total, la parcial, el responsable, el financiamiento y el origen de las mismas.

**Tabla 8-1. Hitos de referencia del Plan (inversión a corto plazo)**

| Iniciativa   | Organismo Formulador | Organismo Financiero                                  | Fuente de financiamiento | Inversión en Corto Plazo (UF) | %      |
|--|----------------------|---|--------------------------|-------------------------------|--------|
| PER 1.1 - Estudio de Interconexión hídrica a nivel regional                                    | MOP                  | MOP   | Público (Sectorial)      | 23.175                        | 2,15%  |
| PER 1.2 - Aumento de eficiencia en el uso de agua en el contexto urbano                        | Municipios           | Municipios de Quintero, Puchuncaví, Zapallar y Papudo | Público (Municipal)      | 2.897                         | 0,27%  |
| PER 2.1 - Capacitación y Acreditación de dirigentes, administradores y operadores              | DOH SSR              | DOH SSR   | Público (Sectorial)      | 2.607                         | 0,24%  |
| PER 2.2 - Profesionalización de los SSR  | DOH SSR              | DOH SSR   | Público (Sectorial)      | 18.829                        | 1,74%  |
| PER 2.3 - Apoyo para la elaboración del Planes de Inversión y de Mantenimiento Preventiva      | DOH SSR              | DOH SSR   | Público (Sectorial)      | 3.129                         | 0,29%  |
| PER 2.4 - Sistema de información para los Servicios Sanitarios Rurales                         | DOH SSR              | DOH SSR   | Público (Sectorial)      | 17.381                        | 1,61%  |
| PER 2.5 - Instalación de Telemetría en los Servicios Sanitarios Rurales                        | DOH SSR              | DOH SSR   | Público (Sectorial)      | 3.963                         | 0,37%  |
| PER 2.6 - Aumento de la cobertura de agua potable en sectores rurales por arranques pendientes | DOH SSR              | DOH SSR   | Público (Sectorial)      | 374.120                       | 34,67% |



| Iniciativa   | Organismo Formulator | Organismo Financiero | Fuente de financiamiento | Inversión en Corto Plazo (UF) | %      |
|--|----------------------|----------------------|--------------------------|-------------------------------|--------|
| PER 3.1 - Plan para viviendas desconectadas de las Redes Públicas de Agua  | Gobierno Regional    | Gobierno Regional    | Público (Regional)       | 241.306                       | 0,00%  |
| PER 3.2 - Piloto para Reutilización de aguas grises en sectores rurales  | Municipios           | Gobierno Regional    | Público (Regional)       | 17.671                        | 22,36% |
| ECO 1.1 - Acuerdo de Gestión de Humedales Urbanos y Rurales  | MMA                  | No aplica            | No aplica                | -                             | 1,64%  |
| ECO 1.2 - Programa de Seguimiento de humedales   | MMA                  | Gobierno Regional    | Público (Regional)       | 11.518                        | 0,00%  |
| ECO 1.3 - Estudio de cuña salina en desembocadura de Estero Catapilco  | DGA DEP              | DGA                  | Público (Sectorial)      | 2.086                         | 1,07%  |
| ECO 2.1 - Protección de ecosistemas mediterráneos  | MMA                  | Gobierno Regional    | Público (Regional)       | 80.242                        | 0,19%  |
| ECO 2.2 - Restauración de Vegetación Terrestres  | CONAF                | CONAF                | Público (Sectorial)      | 66.395                        | 7,44%  |
| ECO 2.3 - Recuperación de suelos degradados  | SAG                  | SAG                  | Público (Sectorial)      | 14.408                        | 6,15%  |
| PRO 1.3 - Mejoras en el acceso al agua en la Agricultura Familiar Campesina  | INDAP                | INDAP                | Público (Sectorial)      | 124.564                       | 1,34%  |
| PRO 1.4 - Piloto mixto de captura de aguas lluvia y atrapanieblas en subcuenca que va entre el Estero Catapilco y el río Aconcagua | INDAP                | INDAP                | Público (Sectorial)      | 2.897                         | 0,00%  |
| PRO 2.1 - Saneamiento y Regularización de derechos de aprovechamiento de agua subterráneos   | DGA OUA              | DGA OUA              | Público (Sectorial)      | 7.300                         | 0,00%  |
| PRO 2.2 - Constitución de comunidades de aguas subterráneas  | DGA OUA              | DGA OUA              | Público (Sectorial)      | 7.879                         | 11,54% |



| Iniciativa   | Organismo Formulador | Organismo Financiero | Fuente de financiamiento | Inversión en Corto Plazo (UF) | %              |
|--|----------------------|----------------------|--------------------------|-------------------------------|----------------|
| EXT 1.1 - Propuesta de Instrumentos de adaptación a condición permanente de escasez        | Gobierno Regional    | Gobierno Regional    | Público (Regional)       | 7.242                         | 0,27%          |
| GES 1.1 - Determinación de caudal ecológico y ambiental en humedales de la cuenca          | DGA DCyPRH           | Gobierno Regional    | Público (Regional)       | 2.897                         | 0,68%          |
| GES 1.2 - Nuevas Estaciones de la Red Hidrométrica   | DGA Hidrología       | DGA                  | Público (Sectorial)      | 8.691                         | 0,73%          |
| GES 2.1 - Programa de Difusión para el Saneamiento de derechos de aprovechamiento de aguas | DGA DARH             | DGA                  | Público (Sectorial)      | 1.101                         | 0,67%          |
| GES 3.1 - Mejoras en las capacidades de fiscalización                                      | DGA Fiscalización    | Gobierno Regional    | Público (Regional)       | 3.273                         | 0,27%          |
| GOB 1.1 - Implementación de una gobernanza de recursos hídricos para la cuenca             | Gobierno Regional    | Gobierno Regional    | Público (Regional)       | 4.287                         | 0,81%          |
| GOB 1.2 - Implementación de una Secretaría Técnica permanente                              | Gobierno Regional    | Gobierno Regional    | Público (Regional)       | 29.258                        | 0,10%          |
| <b>TOTAL</b>   |                      |                      |                          | <b>1.079.116</b>              | <b>100,00%</b> |

Fuente: elaboración propia

En la tabla que sigue se presenta el plan de mediano y largo plazo

**Tabla 8-2. Hitos de referencia del Plan (inversión a mediano y largo plazo)**

| Iniciativa   | Organismo Formulador | Organismo Financiero | Fuente de financiamiento | Inversión en Mediano Plazo (UF) | Inversión en Largo Plazo (UF) | %              |
|--|----------------------|----------------------|--------------------------|---------------------------------|-------------------------------|----------------|
| PER 2.1 - Capacitación y Acreditación de dirigentes, administradores y operadores              | DOH SSR              | DOH SSR              | Público (Sectorial)      | 2.607                           | 10.429                        | 0,17%          |
| PER 2.3 - Apoyo para la elaboración del Planes de Inversión y de Mantención Preventiva         | DOH SSR              | DOH SSR              | Público (Sectorial)      | 3.129                           | 12.514                        | 0,21%          |
| PER 2.6 - Aumento de la cobertura de agua potable en sectores rurales por arranques pendientes | DOH SSR              | DOH SSR              | Público (Sectorial)      | 374.120                         | -                             | 5,00%          |
| PER 2.7 - Aumento en la cobertura de Saneamiento Rural   | DOH SSR              | DOH SSR              | Público (Sectorial)      | -                               | 5.135.392                     | 68,63%         |
| PER 3.1 - Plan para viviendas desconectadas de las Redes Públicas de Agua                      | Gobierno Regional    | Gobierno Regional    | Público (Regional)       | 241.306                         | -                             | 3,22%          |
| ECO 1.2 - Programa de Seguimiento de humedales   | MMA                  | Gobierno Regional    | Público (Regional)       | 11.518                          | 46.071                        | 0,77%          |
| ECO 2.3 - Recuperación de suelos degradados  | SAG                  | SAG                  | Público (Sectorial)      | 14.408                          | -                             | 0,19%          |
| PRO 1.1 - Reutilización de aguas servidas tratadas de la localidad de Quintero                 | MOP                  | Empresa sanitaria    | Privado                  | -                               | 1.436.019                     | 19,19%         |
| PRO 1.2 - Gestión Dinámica del SHAC Pucalán y sector Valle Alegre                              | MOP DOH              | MOP DOH              | Público (Sectorial)      | -                               | 40.556                        | 0,54%          |
| GES 1.2 - Nuevas Estaciones de la Red Hidrométrica   | DGA Hidrología       | DGA                  | Público (Sectorial)      | 8.691                           | -                             | 0,12%          |
| GOB 1.2 - Implementación de una Secretaría Técnica permanente                                  | Gobierno Regional    | Gobierno Regional    | Público (Regional)       | 29.258                          | 117.032                       | 1,95%          |
| <b>TOTAL</b>   |                      |                      |                          | <b>685.037</b>                  | <b>6.798.013</b>              | <b>100,00%</b> |

Fuente: Elaboración propia



---

## 8.1 Estrategia de implementación

La estrategia de implementación del Plan recoge la estructura del instrumento, los aspectos institucionales y de gobernanza, de cultura del agua y de financiamiento.

### 8.1.1 Aspectos Institucionales

Se propone la instalación de un Consejo de Cuenca, público privado, que trabaje en conjunto con grupos de trabajo por eje de seguridad hídrica, con el soporte técnico de una Secretaría ad hoc. Los componentes de la gobernanza propuestos.

- Consejo de Cuenca: Corresponde a una instancia público-privada compuesta por representantes del Estado, de los Gobiernos Locales, de los usuarios directos e indirectos de las aguas, así como la sociedad civil organizada (Centros de estudio, organizaciones funcionales, ONGs).
- Comités de Seguridad Hídrica: Corresponden a una instancia operativa, donde se aborda en particular cada uno de los ejes de Seguridad Hídrica empleados en el estudio (y otros que a futuro se estime conveniente). Por definición, son instancias técnicas orientadas a la definición y cumplimiento de objetivos y metas.
- Ejes Habilitantes: Corresponden a aspectos transversales de la seguridad hídrica con otros aspectos clave de la seguridad a nivel país (alimentaria, energética, social), pero particularmente aspectos clave que son requisito para la implementación de la estrategia propuesta: ordenamiento territorial, I+D+i (investigación, desarrollo e innovación), género e inclusión, entre otros que sean de relevancia a nivel local.
- Secretaría Técnica: De carácter permanente que de soporte a la gobernanza propuesta.
- Hitos de la Gobernanza: Los hitos para la instalación de la gobernanza consideran una instalación progresiva del conjunto de definiciones, acuerdos, responsabilidades, deberes y derechos asociados a la gobernanza. Una de las limitantes principales que debe ser abordada es la ausencia de una definición previa del sistema de gobernanza, por lo que el proceso de instalación requiere de un carácter convocante, inclusivo, y sobre todo progresivo, de manera tal que las definiciones recojan la participación de todos los actores, y se adapten a las necesidades de cada cuenca.

En la actualidad, la Política Regional de Recursos hídricos define tres niveles de participación colaborativa: En primer lugar, se encuentra el nivel político-estratégico, representado por un **Comité Estratégico**, compuesto por la autoridad regional (gobernador) y los servicios públicos. En segundo lugar, el nivel técnico estratégico, representado por un **Consejo**

**Consultivo de Expertos**, compuesto sólo por profesionales destacados o expertos en la materia y tiene por finalidad entregar un asesoramiento científico y técnico especializado en la gestión integral de los recursos hídricos. Finalmente, el nivel técnico-operativo, representado por una **Secretaría Técnica** que recae en el Jefe del Departamento de Desarrollo Regional de la División de Planificación y Desarrollo del Gobierno Regional de Valparaíso, y que también está integrada por los distintos organismos públicos con competencia en la materia y las organizaciones de usuarios del agua y otras entidades con injerencia en la administración y/o gestión del recurso hídrico de la Región de Valparaíso. A su vez, la Secretaría Técnica ha implementado **Mesas Provinciales** abordando tres temas relevantes: Mesa de agua para consumo humano y saneamiento; Mesa con foco de agua para la producción agroalimentaria y Mesa con foco de agua para la preservación ecosistémica.

Existen diferencias entre la estructura propuesta por el presente Plan Estratégico y la Política Regional de Recursos Hídricos de Valparaíso, las que se presentan en la Tabla 8-3.

**Tabla 8-3 Comparación entre propuestas de Gobernanza de los recursos hídricos**

| Nivel                                  | Política de Recursos Hídricos  | Plan Estratégico de Gestión Hídrica   |
|--|--|---|
| <b>Comité Estratégico</b>              | Compuesta por la autoridad regional y los Servicios Públicos.<br><br>Énfasis en el largo plazo.  | Compuesto por Gobierno Local, Gobierno Central (servicios públicos), usuarios y sociedad civil.<br><br>Énfasis en el largo plazo.   |
| <b>Consejo Consultivo de Expertos</b>  | Compuesto por académicos y expertos  | Los expertos están dentro de la Secretaría Técnica  |
| <b>Secretaría Técnica</b>              | Compuesto por Servicios Públicos y usuarios del agua<br><br>Énfasis en la operación.   | Compuesto por Servicios Públicos y usuarios del agua<br><br>Énfasis en la operación.  |
| <b>Participación Ciudadana (Mesas)</b> | La convocatoria de las mesas es prerrogativa de la Secretaría Técnica, la que ha implementado mesas provinciales y por ejes temáticos. | La Participación es transversal, ya que la sociedad civil queda incorporada dentro del Consejo de Cuenca y los Comités de Seguridad Hídrica.<br><br>Se proponen además audiencias o instancias locales de participación ampliada. |

Fuente: Elaboración propia



En un nivel general, ambas propuestas de gobernanza coinciden al establecer una diferenciación entre un nivel de toma de decisiones estratégico (Comité Estratégico vs Consejo de Cuenca), y operacional (Secretaría técnica vs Comités Ejecutivos). Adicionalmente incorporan la participación de expertos externos (Consejo Consultivo de Expertos vs Secretaría Técnica), aunque aquí se aprecia una diferencia en el rol de coordinación, ya que en la política recae en el gobierno regional (DIPLAD), y en la propuesta del Plan recae en una Secretaría Técnica externa.

Mientras que la propuesta de gobernanza de la Política Regional centra la toma de decisiones estratégica respecto de los recursos hídricos en el gobierno local (Gobernador) y los Servicios Públicos (Gobierno Central), y la amplía al incluir a los usuarios de agua en la toma de decisiones operacional; reserva la participación ciudadana para instancias abiertas, como las Mesas Provinciales. En cambio, la propuesta del presente Plan incorpora a la sociedad civil organizada dentro de los niveles de toma de decisiones estratégico y operacional.

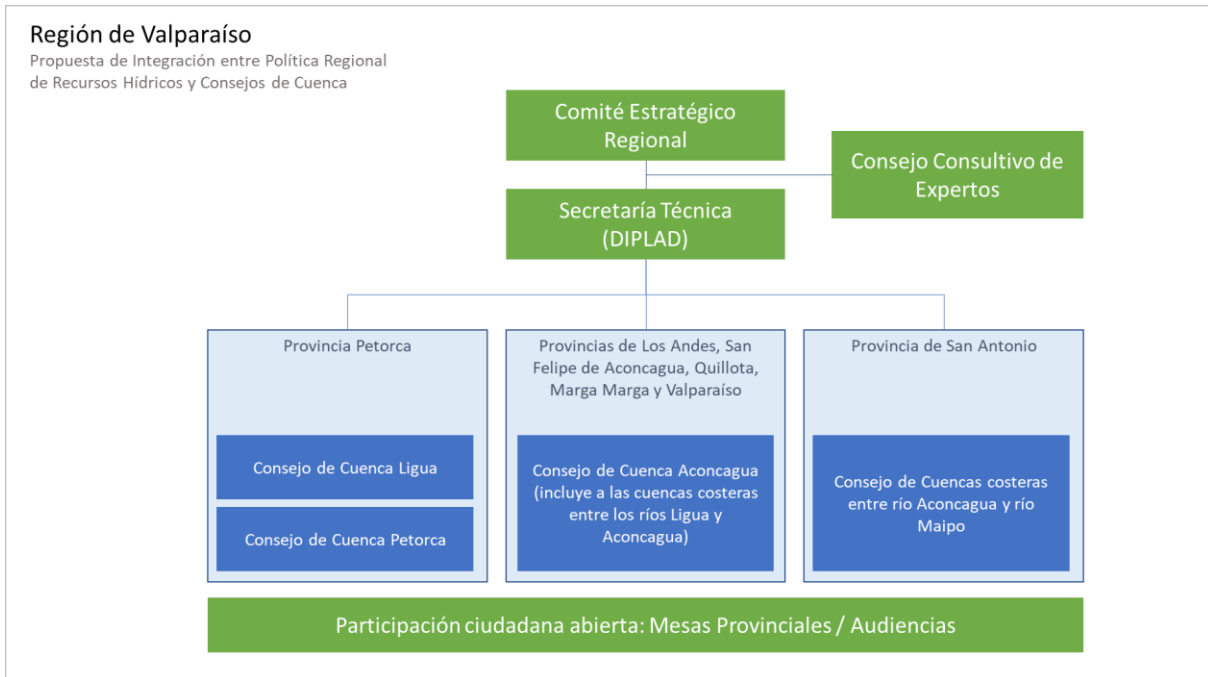
Existe, además, una diferencia desde el punto de vista territorial. Mientras la política se organiza a nivel administrativo, distinguiendo entre provincias: Petorca, Los Andes, San Felipe de Aconcagua, Quillota, Marga Marga, Valparaíso y San Antonio; los Consejos de Cuenca se estructuran por cuenca hidrográfica: Ligua, Petorca, Aconcagua y cuencas costeras entre los ríos Ligua y Aconcagua; y entre los ríos Aconcagua y Maipo.

La Ilustración 8-1 presenta una propuesta de integración de ambas propuestas de gobernanza, reconociendo que ambas provienen de procesos distintos, y que incluso se aproximan de manera diferente al territorio.

En lo principal, se propone que la política regional de recursos hídricos se instale como una capa estratégica a nivel regional, a través del Comité Estratégico, y que cuente con un Consejo consultivo de expertos a nivel regional.

A nivel operacional, la Secretaría Técnica -que actualmente coordina a los servicios públicos y usuario del agua- debiera reemplazar la aproximación provincial por una de cuencas hidrográficas, permitiendo la conexión con los futuros Consejos de Cuenca (propuestos en la Ilustración 8-1). De esta forma, los Consejos de Cuenca operan según lo propuesto en el presente Plan, pero jerárquicamente sujetos a una coordinación regional. Esta aproximación permite mantener las lógicas territoriales administrativas e hidrográficas, y al mismo tiempo que permite una coordinación política de tipo vertical. La propuesta de Consejos de cuenca incorpora, además, la participación de la sociedad civil organizada en distintas instancias.

### Ilustración 8-1 Propuesta de gobernanza de recursos hídricos para la región de Valparaíso



Fuente: Elaboración propia

Un aspecto no definido es el rol del apoyo técnico que requiere cada Consejo de Cuenca, distinto del apoyo técnico requerido a nivel regional y del que proporciona la secretaría técnica instalada en la DIPLAD. Se propone mantener una asesoría técnica externa por Consejo de Cuenca -o una transversal a nivel regional- responsable de, por ejemplo, actualizar modelaciones, presentar información y resultados, evaluar escenarios de gestión, y otros que están fuera del alcance técnico de la secretaría técnica propuesta en la política regional, que es más bien una instancia de coordinación.

Finalmente, se propone incorporar una instancia abierta de participación ciudadana abierta, en la forma de las mesas provinciales, o bien en audiencias públicas, donde la sociedad civil en general pueda manifestar sus inquietudes y ser acogidas por las instancias de gestión operacional o estratégica.

Respecto de los pilares y ejes estratégicos de la Política Regional, se debe procurar que estos operen como marco conceptual o guía para el trabajo de las instancias territoriales (a nivel de Consejo de Cuenca), sin perjuicio de las consideraciones particulares de cada territorio. En este sentido, el presente Plan es un insumo de la Política regional. La coincidencia entre ambos se presenta en el numeral 10.2 de este informe.



---

Complementariamente, en la región existen otras instancias de coordinación en torno a los recursos hídricos, cuya integración se comenta a continuación:

- **Plan de Recuperación Ambiental y Social de Quintero y Puchuncaví.** Esta instancia debe participar directamente dentro del Consejo de Cuenca ampliado del río Aconcagua, que incluye a las cuencas costeras entre los ríos Ligua y Aconcagua. Dado su carácter transversal, su participación debiera ser en a lo menos los comités de seguridad hídrica para las personas, ecosistemas y desarrollo productivo, procurando que las iniciativas contenidas en el PRAS se consideren dentro del conjunto de iniciativas del Consejo de Cuenca.
- **Mesa Intersectorial de Servicios Sanitarios rurales.** Si bien esta instancia puede mantener una operación paralela y complementaria, se propone que sea absorbida por los Comités de Seguridad Hídrica del eje Personas (y que se coordine dentro de la Secretaría Técnica encabezada por la DIPLAD).
- **Mesas comunales (por ejemplo, Quintero).** Esta instancia de gestión queda comprendida dentro del concepto de gestión hídrica local (numeral 8.2.2.5). En consecuencia, se propone que continúe en el tiempo y se fomente su continuidad. Sin embargo, se propone que se diferencie la parte técnica del trabajo respecto de las audiencias públicas, ya que se tiende a confundir lo urgente y lo importante, dificultándose la obtención de resultados concretos.
- **GEF Humedales (Mantagua).** En este caso, esta instancia debe participar dentro del Comité de Ecosistemas de la cuenca ampliada del río Aconcagua.

### 8.1.2 Aspectos de financiamiento

El financiamiento del Plan Estratégico corresponde principalmente a actores estatales (recae principalmente en el Ministerio de Obras Públicas), estando concentrada la inversión en obras civiles, de saneamiento, y tecnificación de zonas de riego. Destaca también el presupuesto asignado a recuperación de suelos degradados en la cuenca, como una estrategia para la recuperación del ciclo hidrológico en los sectores afectados.

En general, el presupuesto requerido por el Plan Estratégico supera a la inversión histórica que se ha realizado en la cuenca, tanto a nivel de infraestructura tradicional (embalses), como tecnificación. Este aspecto representa una complejidad en tanto las instituciones sectoriales responsables no disponen de las estructuras para gestionar este financiamiento adicional, lo que en sí requiere de reformas internas.

Respecto de la gobernanza, mencionada en los aspectos institucionales, se propone como una instancia público-privada que debe contar con una Secretaría Técnica, que proporcione



un apoyo técnico permanente, manteniendo la continuidad de las actividades que se realizan en la cuenca o en la región.

Este aporte debiera ser de carácter permanente en el tiempo, sin embargo no existe claridad de la fuente de financiamiento de esta Secretaría. Si bien, por un parte, pudiera ser financiada por fondos regionales dependientes del Gobierno Regional, pudiera ser también abordada desde el punto de vista sectorial. En esta misma línea, la Secretaría pudiera ser de carácter pública (compuesta por funcionarios de servicios públicos), privada (mediante licitaciones a empresas o centros de estudio), o mixta (con funcionarios y terceros como ejecutores de tareas específicas).

Independientemente de estas consideraciones, se estima que se requiere de una oficina técnica específica y dedicada a estos efectos.

## 8.2 Estrategia de comunicación

La estrategia de comunicación del Plan considera la difusión y discusión del mismo con los actores públicos y privados que participan de la gobernanza, así como su comunicación al resto de los actores regionales con interés en la gestión de los recursos hídricos.

## 8.3 Identificación de fuentes de financiamiento

Las fuentes de financiamiento público de las iniciativas propuestas pueden ser sectoriales, regionales o mixtas, cuando resultan de un Convenio de Programación. En la Tabla 8-4 se entrega el análisis de fuentes de financiamiento.

**Tabla 8-4. Análisis de Fuentes de Financiamiento**

| Fuente de Financiamiento | Total (UF)         | %             |
|--------------------------|--------------------|---------------|
| Privado                  | 1.436.018,8        | 16,8%         |
| Público (Regional)       | 667.332,2          | 7,8%          |
| Público (Sectorial)      | 6.455.918,7        | 75,4%         |
| Público (Municipal)      | 2.896,8            | 0,0%          |
| <b>Total general</b>     | <b>8.562.166,4</b> | <b>100,0%</b> |

Fuente: Elaboración propia

## 9 MONITOREO Y EVALUACIÓN DEL PLAN

En la tabla que sigue se presentan los indicadores para cada una de las iniciativas del Plan.

**Tabla 9-1. Indicadores del Proceso**

| Iniciativa   | Programa de Seguimiento y control   | Duración (años) | Métrica   | Hitos e Indicadores  |
|--|---|-----------------|---|--|
| PER 1.1 - Estudio de Interconexión hídrica a nivel regional                            | El seguimiento consiste en la verificación de la ejecución del estudio correspondiente.   | 1               | 1 estudio ejecutado   | Acta de ejecución del estudio  |
| PER 1.2 - Aumento de eficiencia en el uso de agua en el contexto urbano                | El seguimiento consiste en la verificación de la elaboración de las ordenanzas hídricas comunales (en primera instancia), en un segundo punto, sobre la implementación de la campaña de difusión, y en tercer lugar, la medición del impacto de la campaña. | 1               | indicadores de penetración de la campaña de difusión y del consumo estacional | 50 % de penetración de la campaña en la población local, en población estacional.<br>5 % Reducción del consumo de agua base y estacional |
| PER 2.1 - Capacitación y Acreditación de dirigentes, administradores y operadores      | El seguimiento corresponde a la verificación de las capacitaciones, diseño y aprobación de cursos, y convocatoria.  | Permanente      | Nº de personas acreditadas en 5 años  | más de 100 personas acreditadas en 5 años  |
| PER 2.2 - Profesionalización de los SSR  | Generación de subsidio a la contratación de administradores   | 5               | Nº de SSR beneficiados  | 13 SSR beneficiados  |
| PER 2.3 - Apoyo para la elaboración del Planes de Inversión y de Mantención Preventiva | Verificación de aprobación de programas de desarrollo por SSR   | Permanente      | Nº de SSR con Plan de Desarrollo al día                                       | 18 SSR con plan de desarrollo implementado   |



| Iniciativa   | Programa de Seguimiento y control   | Duración (años) | Métrica   | Hitos e Indicadores                                 |
|--|---|-----------------|---|---|
| PER 2.4 - Sistema de información para los Servicios Sanitarios Rurales                         | Seguimiento al desarrollo del sistema (3 módulos), puesta en marcha y carga de SSR  | 5               | Nº de SSR conectados a la plataforma                    | 18 SSR conectados a la plataforma                   |
| PER 2.5 - Instalación de Telemetría en los Servicios Sanitarios Rurales                        | Verificación de instalación de sistemas de medición y de telemetría   | 5               | Nº de SSR con sistemas de medición y telemetría         | 18 SSR con telemetría de sus captaciones            |
| PER 2.6 - Aumento de la cobertura de agua potable en sectores rurales por arranques pendientes | El seguimiento consiste en la verificación de las etapas del proceso de ingeniería, pero sobre todo en el número de arranques instalados.<br>Los hitos asociados son la realización del Plan de Desarrollo de los SSR y la posterior implementación de las soluciones de infraestructura. | 5               | Nº de arranques pendientes instalados                   | 3.112 arranques instalados                          |
| PER 2.7 - Aumento en la cobertura de Saneamiento Rural   | El seguimiento es permanente, y se puede expresar en población cubierta, o bien por el porcentaje de la población rural con acceso al saneamiento dentro del territorio operacional, el que debe tender al 100,0%.  | 30              | Nº de SSR con sistema de tratamiento de aguas servidas  | 17 SSR con sistema de tratamiento de aguas servidas |
| PER 3.1 - Plan para viviendas desconectadas de las Redes Públicas de Agua                      | El seguimiento corresponde a la cantidad de viviendas con diagnóstico y con solución implementada.  | 10              | Nº de viviendas con diagnóstico y solución implementada | 1.500 viviendas (estimado)                          |
| PER 3.2 - Piloto para Reutilización de aguas grises en sectores rurales                        | El seguimiento corresponde a la evaluación de la eficiencia y eficacia de los sistemas de reutilización de aguas lluvia implementados   | 1               | Número de viviendas beneficiadas                        | 50 viviendas  |



| Iniciativa   | Programa de Seguimiento y control  | Duración (años) | Métrica  | Hitos e Indicadores   |
|--|--|-----------------|--|---|
| ECO 1.1 - Acuerdo de Gestión de Humedales Urbanos y Rurales                    | Suscripción del acuerdo por parte de los actores de cada hoyo, tanto públicos como privados  | Permanente      | Acuerdos alcanzados  | 1 acuerdo de gestión, validado mediante el acta respectiva  |
| ECO 1.2 - Programa de Seguimiento de humedales                                 | Seguimiento a las campañas trimestrales de monitoreo.  | Permanente      | Nº de campañas de monitoreo ejecutadas   | 120 campañas en 30 años   |
| ECO 1.3 - Estudio de cuña salina en desembocadura de Estero Catapilco          | El seguimiento consiste en la verificación de la ejecución del estudio técnico.  | 1               | Nº estudios ejecutados   | 1 estudio ejecutado, verificado mediante recepción de informe final   |
| ECO 2.1 - Protección de ecosistemas mediterráneos                              | El seguimiento a la iniciativa está dado por el número de iniciativas a escala territorial efectivamente implementadas.  | 5               | Nº de IET implementadas  | 20 IET implementadas<br>Coordinación de ECO 2.2 y ECO 2.3   |
| ECO 2.2 - Restauración de Vegetación Terrestres                                | Implementación de los subsidios a recuperación de la vegetación  | 10              | Nº de ha bonificadas   | 1.042 ha recuperadas  |
| ECO 2.3 - Recuperación de suelos degradados                                    | superficie efectivamente bonificada para la restauración de suelos degradados.   | 10              | superficie efectivamente bonificada para la restauración de suelos degradados. | 5.092 ha de suelo recuperadas   |
| PRO 1.1 - Reutilización de aguas servidas tratadas de la localidad de Quintero | El seguimiento corresponde a la verificación del avance en las etapas del proyecto, tanto a nivel de ingeniería como evaluación ambiental. En este nivel, se trata de indicadores de cumplimiento por hitos. Posteriormente, el indicador de proceso se refiere a la cantidad de hm3 aportados efectivamente al año por la PTAS. | Permanente      | hm3 tratados   | Obtención de los permisos ambientales (indicador de cumplimiento)<br>Construcción de las 2 PTAS (indicador de cumplimiento)<br>Operación en régimen (indicador de |



| Iniciativa   | Programa de Seguimiento y control   | Duración (años) | Métrica                                     | Hitos e Indicadores  |
|--|---|-----------------|---|--|
|  |   |                 |   | operación = hm3 aportados al año)  |
| PRO 1.2 - Gestión Dinámica del SHAC Pucalán y sector Valle Alegre  | El seguimiento de la iniciativa considera la implementación progresiva de las distintas obras y actividades del proyecto. La unidad es el hm3 de agua efectivamente gestionado (recargado).                                       | 10              | Hm3 de agua efectivamente gestionados       | Reutilización mayor a 1 hm3 al año o superior.                             |
| PRO 1.3 - Mejoras en el acceso al agua en la Agricultura Familiar Campesina  | El seguimiento de la iniciativa corresponde a la verificación del número de beneficiarios que efectivamente recibieron apoyo para la implementación de una solución predial.  | 10              | Nº de usuarios beneficiados                 | 215 usuarios beneficiados  |
| PRO 1.4 - Piloto mixto de captura de aguas lluvia y atrapanieblas en subcuenca que va entre el Estero Catapilco y el río Aconcagua | El seguimiento corresponde a la verificación de la implementación de la medida, y sobre todo al registro de caudales producidos de esta forma.  | 5               | Hm3 de agua efectivamente recolectados      | Instalación del piloto Seguimiento y evaluación de la eficacia de la media |
| PRO 2.1 - Saneamiento y Regularización de derechos de aprovechamiento de agua subterráneos   | El seguimiento de la iniciativa se realiza sobre el programa a licitar para la regularización de derechos de aprovechamiento. El avance se mide en función del número de derechos de aprovechamiento efectivamente regularizados. | 2               | Nº de derechos de aprovechamiento inscritos | 300 derechos inscritos   |
| PRO 2.2 - Constitución de comunidades de aguas subterráneas  | El seguimiento corresponde a la verificación del proceso de constitución de CAS, ya sea   | 2               | Nº de CAS inscritas                         | 5 CAS constituidas   |



| Iniciativa   | Programa de Seguimiento y control   | Duración (años) | Métrica                                    | Hitos e Indicadores   |
|--|---|-----------------|--|---|
|  | desarrollado en forma interna o mediante licitación.  |                 |  |   |
| EXT 1.1 - Propuesta de Instrumentos de adaptación a condición permanente de escasez        | El seguimiento consiste en la verificación de la ejecución del estudio correspondiente.                                     | 1,5             | 1 estudio ejecutado                        | Acta de ejecución del estudio   |
| GES 1.1 - Determinación de caudal ecológico y ambiental en humedales de la cuenca          | El seguimiento consiste en la verificación de la ejecución del estudio correspondiente.                                     | 1               | Nº estudios ejecutados                     | 1 estudio ejecutado, verificado mediante recepción de informe final             |
| GES 1.2 - Nuevas Estaciones de la Red Hidrométrica   | El seguimiento consiste en la verificación de la implementación de los pozos de monitoreo                                   | 1               | Nº de estaciones implementadas             | 6 estaciones  |
| GES 2.1 - Programa de Difusión para el Saneamiento de derechos de aprovechamiento de aguas | El seguimiento consiste en la implementación de la campaña de difusión  | 1               | Nº de actividades de difusión realizadas   | 1.000 trípticos<br>5 videos<br>1.000 menciones en radiodifusión<br>4 seminarios |
| GES 3.1 - Mejoras en las capacidades de fiscalización                                      | El seguimiento consiste en la verificación de la ejecución del estudio correspondiente y de las capacitaciones a municipios | 1               | Nº de estudios y capacitaciones ejecutadas | Acta de ejecución del estudio   |
| GOB 1.1 - Implementación de una gobernanza de recursos hídricos para la cuenca             | El seguimiento consiste en la verificación de la ejecución del programa correspondiente.                                    | 1               | 1 programa ejecutado                       | Acta de ejecución del programa  |
| GOB 1.2 - Implementación de una Secretaría Técnica permanente                              | El seguimiento consiste en la verificación de la ejecución del estudio correspondiente.                                     | 1               | Años de operación de la Secretaría Técnica | Definición de alcances, financiamiento y licitación de Secretaría Técnica       |

Fuente: Elaboración propia



---

## 10 ASPECTOS NORMATIVOS

Los Planes Estratégicos de Gestión Hídrica (PEGH) son instrumentos de carácter sectorial, que definen un conjunto de acciones tendientes a alcanzar y mantener la seguridad hídrica en el territorio.

En atención a lo evaluado en esta cuenca, se identificó la necesidad de instrumentos de planificación de carácter regional, interregional (macrozonas) y nacional que definan las políticas generales respecto de la gestión de los recursos hídricos, al estilo de una Estrategia Nacional de Recursos Hídricos y una Política Nacional de Recursos Hídricos. En este sentido, el análisis por cuenca, si bien es adecuado a la escala local, no permite la discusión de soluciones que, por su escala, trascienden el ámbito de la cuenca, como puede ser la evaluación de las carreteras hídricas, el rol de la Ley de Riego en la eficiencia hídrica, y particularmente una Estrategia Nacional de Desalinización.

En los puntos que sigue se mencionan algunos aspectos normativos relevantes para la gestión de los recursos hídricos en la cuenca. El detalle de cada uno de estos puntos se presenta en el Anexo K.

1. Las modificaciones al Código de Aguas
2. La nueva Ley Marco de Cambio Climático
3. Reutilización de Aguas grises tratadas
4. Normativa de compensaciones forestales
5. Integración de aguas terrestres y marítimas
6. Integración con otros instrumentos de planificación, como la política regional de recursos hídricos y el PRAS Quintero Puchuncaví.