

# Diagnóstico infraestructura y monitoreo de caudales para optimizar la gestión del recurso hídrico en la región del Maule

## RESUMEN EJECUTIVO



Marzo 2023





## **DIAGNÓSTICO INFRAESTRUCTURA Y MONITOREO DE CAUDALES PARA OPTIMIZAR LA GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO EN LA REGIÓN DEL MAULE**

### **RESUMEN EJECUTIVO**

**REALIZADO POR:**



**MARZO 2023**





**Mejor Riego  
para Chile**

yo  
cuido  
el agua

## **ONTRAPARTE CNR**

### **Wilson Ureta Parraguéz**

Secretario Ejecutivo CNR

### **André Moreau López**

Jefe División de Estudios, Desarrollo y Políticas CNR

### **Gastón Valenzuela Lillo**

Coordinador Unidad de Estudios CNR

### **Claudio Cortés González**

Coordinador Zonal Maule CNR

### **Norberto Werner Sánchez**

Coordinador del Estudio CNR

### **Claudia Lizana Zapata**

### **Patricio Espinoza Caniullán**

Profesionales Revisores CNR

## **EQUIPO CONSULTORA**

**Álvaro Isla Figueroa**

Jefe del Estudio

**María Ignacia Orell Fuentes**

Coordinadora territorial

**Gastón Sagredo Tapia**

Especialista SIG

**Valentina Aliste Salas**

**Daniela Vergara Mercado**

**Loreto Chávez Friz**

**Gabriela Rojas Peña**

**Javier Aguas Villagra**

**Camila Villagra Ortiz**

**Javier Oviedo Jiménez**

**Marcela Vergara Bustamante**

Profesionales Arrebol

**Alexis Varas Quezada**

**Susan Valenzuela Aránguiz**

**Jorge Romero Parada**

Apoyo técnico

## ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1	OBJETIVOS.....	2
1.2	LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN GEOGRÁFICA.....	3
1.3	CUENCA DEL RÍO MATAQUITO.....	3
1.4	CUENCA RÍO MAULE.....	5
<b>2</b>	<b>INFORMACIÓN DE LAS ORGANIZACIONES DE USUARIOS DE AGUAS.....</b>	<b>8</b>
2.1	DIAGNÓSTICO ORGANIZACIONAL.....	8
2.1.1	Metodología.....	8
2.1.2	Identificación de Juntas de Vigilancia de la región del Maule.....	8
2.1.3	Caracterización general de las OUs.....	9
<b>3</b>	<b>DIAGNÓSTICO INFRAESTRUCTURAS DE RIEGO .....</b>	<b>10</b>
3.1	METODOLOGÍA DE TRABAJO EN TERRENO.....	10
3.2	RESULTADOS DEL CATASTRO DE SINGULARIDADES.....	12
3.3	ANÁLISIS DE RESULTADOS CATASTRO.....	14
3.3.1	Análisis estadístico a nivel general.....	14
3.3.2	Análisis estadístico por cuenca.....	15
3.4	REUNIONES DE VALIDACIÓN CON ACTORES PRINCIPALES.....	17
3.4.1	Ejecución de reuniones.....	17
3.4.2	Conclusiones de las reuniones.....	17
<b>4</b>	<b>PLAN DE DESARROLLO DE INFRAESTRUCTURA.....</b>	<b>18</b>
4.1	METODOLOGÍA.....	18
4.1.1	Catastro de infraestructura.....	18
4.1.2	Priorización de puntos catastrados.....	18
4.1.3	Selección de compuertas automatizadas y sistemas de telemetría.....	19
4.1.4	Elaboración de presupuestos.....	21
4.1.5	Propuesta de Plan de Inversión.....	21
4.2	RESULTADOS.....	22
4.3	TALLER PARTICIPATIVO PARA ELABORACIÓN DE PLAN DE DESARROLLO DE INFRAESTRUCTURA	23
4.4	ANÁLISIS DE COSTOS .....	24
4.5	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.....	25
<b>5</b>	<b>DIAGNÓSTICO DE ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS EN CUENCA DEL RÍO MAULE EN ARMERILLO</b>	<b>26</b>
5.1	OBJETIVOS.....	26

5.2	ESTACIONES EN ESTUDIO .....	26
5.3	DIAGNÓSTICO DE LAS ESTACIONES EN ESTUDIO .....	27
5.4	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	28
5.4.1	Análisis crítico de las estaciones en estudio.....	28
5.4.2	Estación Río Maule en Armerillo .....	30
5.4.3	Optimización red actual .....	31
<b>6</b>	<b>CENTRO DE INFORMACIÓN HÍDRICA .....</b>	<b>32</b>
<b>7</b>	<b>PROYECTO SIG.....</b>	<b>34</b>
<b>8</b>	<b>CONCLUSIONES Y COMENTARIOS.....</b>	<b>35</b>

### ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1:	División político-administrativa región del Maule .....	4
Figura 1.2:	Principales cuencas región del Maule .....	5
Figura 1.3:	Red hidrográfica cuencas río Mataquito y río Maule.....	6
Figura 3.1:	Catastro infraestructura.....	13
Figura 3.2:	Estado de singularidades catastradas considerando factores técnicos .....	14
Figura 3.3:	Estado de singularidades catastradas considerando factores de gestión.....	14
Figura 3.4:	Estado de singularidades catastradas considerando grado de mantención.....	15
Figura 3.5:	Estado de las obras catastradas en cuenca río Mataquito .....	16
Figura 3.6:	Estado de las obras catastradas en cuenca río Maule .....	16
Figura 4.1:	Obras tipo de mejora de infraestructura.....	20
Figura 4.2:	Análisis de costos vs caudal para proyectos de 1 compuerta.....	24
Figura 4.3:	Análisis de costos vs caudal para proyectos de 2 compuertas.....	25
Figura 5.1:	Metodología empleada en el diagnóstico de estaciones fluviométricas.....	27
Figura 7.1:	Visualización proyecto en QGIS.....	34
Figura 8.1:	Montos de inversión por año .....	37

### ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1:	Campos completados en la evaluación de singularidades .....	11
Tabla 3.2:	Cantidad de singularidades catastradas por cuenca.....	15
Tabla 4.1:	Puntos priorizados por organización.....	19
Tabla 4.2:	Segmentación de caudales para selección de compuertas.....	20
Tabla 4.3:	Inversión anual a nivel regional.....	22
Tabla 4.4:	Costos totales y costos medios anuales por organización (pesos chilenos).....	23
Tabla 4.5:	Análisis de sensibilidad Plan de Inversión .....	25
Tabla 5.1:	Estaciones fluviométricas en estudio.....	26



**Mejor Riego  
para Chile**

yo  
cuido  
el agua

Tabla 5.2: Resumen analisis crítico de las estaciones en estudio.....29

## ACRÓNIMOS

OUA	: Organización de Usuarios de Aguas
AC	: Asociación de Canalistas
CA	: Comunidad de Agua
JV	: Junta de Vigilancia
INDAP	: Instituto de Desarrollo Agropecuario
DGA	: Dirección General de Aguas
EF	: Estación Fluviométrica
PDI	: Plan de Desarrollo de Infraestructura

## 1 INTRODUCCIÓN

La disminución de los recursos hídricos es uno de los hechos más evidentes del cambio climático en distintas partes del mundo. Para la comunidad científica local, es un tema complejo y urgente porque Chile se ha visto afectado por el aumento de las temperaturas y las consecuencias de ello en cuanto a disponibilidad de agua.

El Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)<sup>2</sup> publicó el año 2015 el “Informe a la Nación. La megasequía 2010–2015: Una lección para el futuro”, documento que aborda las causas, consecuencias y respuestas frente a la sequía que ha experimentado Chile. Desde 2010, el territorio comprendido entre las regiones de Coquimbo y La Araucanía ha experimentado un déficit de precipitaciones que ha variado entre un 30% y un 60%. Además, la pérdida de lluvia se ha producido en la década más cálida registrada en Chile central, lo que ha influido en el aumento del agua evaporada y, por consiguiente, el agravamiento del déficit hídrico.

En términos concretos, los efectos del cambio climático en Chile son notorios y se expresan con mucha fuerza en la disminución de las precipitaciones en casi en todo el país, cambio en los regímenes pluviométricos que se concentran en periodos más breves, a lo que se suma la disminución de nieve en los sectores cordilleranos afectando la escorrentía superficial y subterránea y por lo tanto disminuyendo la disponibilidad de recurso hídrico en los periodos de ausencia de lluvias, de acuerdo con el trabajo del profesor Santibáñez (2019) se estima esta disminución en 4 mm por año en promedio.

Por otra parte, en 2011, se estimó para Chile una Brecha Hídrica de 82,6 m<sup>3</sup>/s, que al año 2030, si no se toman las medidas adecuadas y en el momento oportuno, aumentará a 149 m<sup>3</sup>/s (Ministerio del Interior, 2015).

Lo que deja en evidencia el Informe a la Nación, es que Chile deberá adaptarse a un clima futuro más seco y cálido que el actual. Eso también es compartido por el científico chileno Fernando Santibáñez, quien indica que la escasez de agua es la mayor amenaza que trae el cambio climático; sin embargo, informa que estos cambios son más bien graduales, lo que permite ir implementando opciones de adaptación a las tendencias observadas.

En consecuencia, el desafío principal para el sector agroalimentario es la adaptación al cambio climático, especialmente en lo que se refiere a estructuras de acumulación de agua, infraestructura eficiente y **gestión de recursos hídricos**.

Teniendo en cuenta lo anterior, se tiene la necesidad de establecer modelos de Gobernanza por Cuencas que permitan realizar Gestión Integrada de Recursos Hídricos. Para esto, dentro de los aspectos fundamentales requeridos para una gestión eficiente, se requiere contar con **infraestructura adecuada, información de calidad y en oportunidad, y plataformas de apoyo para la toma de decisiones**, todos aspectos abordados en el presente estudio según los objetivos que se señalan más adelante.

La Comisión Nacional de Riego (CNR) es una persona jurídica de derecho público, creada mediante el Decreto de Ley 1.172 en el año 1975 con el objetivo de “asegurar el incremento y mejoramiento de la superficie regada del país” y hoy tiene por misión institucional “Dirigir la acción pública en materia de riego, mediante la realización de estudios, programas, proyectos e instrumentos de fomento tendientes a asegurar el incremento y mejora de la superficie regada del país en un marco sustentable, social, económico y ambiental”.

Para lograr este objetivo tiene atribuciones y funciones, donde destacan: planificar, estudiar y elaborar proyectos integrales de riego; supervigilar, coordinar y complementar la acción de los diversos organismos públicos y privados que intervienen en la construcción de obras de riego, destinación y explotación de esas obras; celebrar convenios con particulares o con empresas nacionales o extranjeras sobre estudios o proyectos integrales de riego; gestionar la aplicación de la Ley 18.450 de Fomento a la Inversión Privada en Obras de Riego y Drenaje, entre otros.

De acuerdo con lo anterior, la CNR adjudica a la consultora Arrebol Ingeniería y Gestión del Agua SpA (en adelante, Arrebol o Arrebol SpA) la ejecución del estudio denominado “Diagnóstico Infraestructura y Monitoreo de Caudales para Optimizar la Gestión del Recurso Hídrico en la Región del Maule”, con el propósito de fortalecer las capacidades de gestión de los recursos hídricos de las cuencas del Río Maule y Río Mataquito.

## **1.1 OBJETIVOS**

Los objetivos del estudio son los siguientes:

### **a) Objetivo general**

Contribuir a la optimización en la gestión de los recursos hídricos de la zona de riego de la región del Maule, mediante el catastro y evaluación de la infraestructura de captación de aguas superficiales, y la planificación de la inversión futura en obras de automatización de compuertas a nivel de bocatomas y obras de captación desde canales matrices.

### **b) Objetivos específicos**

- Actualizar el catastro existente de bocatomas y diagnosticar una selección de bocatomas del sistema de riego de la región del Maule con el fin de instalar obras de telemetría y telecontrol a nivel de captaciones de aguas de las OUA.
- Desarrollar un Sistema de Información Geográfica (SIG) con la información catastrada y los puntos donde instalar antenas de comunicación para el manejo de compuertas automatizadas en la zona de estudio.
- Evaluar técnicamente las alternativas posibles para implementar estaciones de telemetría o telecontrol en las bocatomas y obras de captación desde cauces naturales y canales matrices.

- Evaluar las capacidades de las Juntas de vigilancia para la operatividad de los sistemas de telemetría o telecontrol.
- Diseñar un plan de desarrollo de infraestructura (captación) a corto, mediano y largo plazo, que contemple un trabajo coordinado con las OUA de la región, y que considere los escenarios de una distribución moderna y dinámica para el mayor y mejor uso del agua.
- Diseñar un Centro de Información Hídrica para la región que permita visualizar en tiempo real la información de caudales en los cauces de la región. Implementar una plataforma WEB y aplicación con información en línea de las estaciones fluviométricas DGA y proponer una metodología que permita implementar datos de telemetría y del Monitoreo de Extracciones Efectivas de las bocatomas estudiadas.
- Realizar un diagnóstico y proponer mejoras de las estaciones fluviométricas de la DGA en la cuenca del río aguas arriba del embalse Colbún, o proponer nuevas estaciones, considerando una visión hidráulica e hidrométrica del aforo.

## 1.2 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN GEOGRÁFICA

El área de influencia del presente estudio corresponde a la región del Maule, cuya división político-administrativa se encuentra en la Figura 1.1. En dicha región, se encuentran las provincias de Cauquenes, Curicó, Linares y Talca, las que se subdividen en 30 comunas.

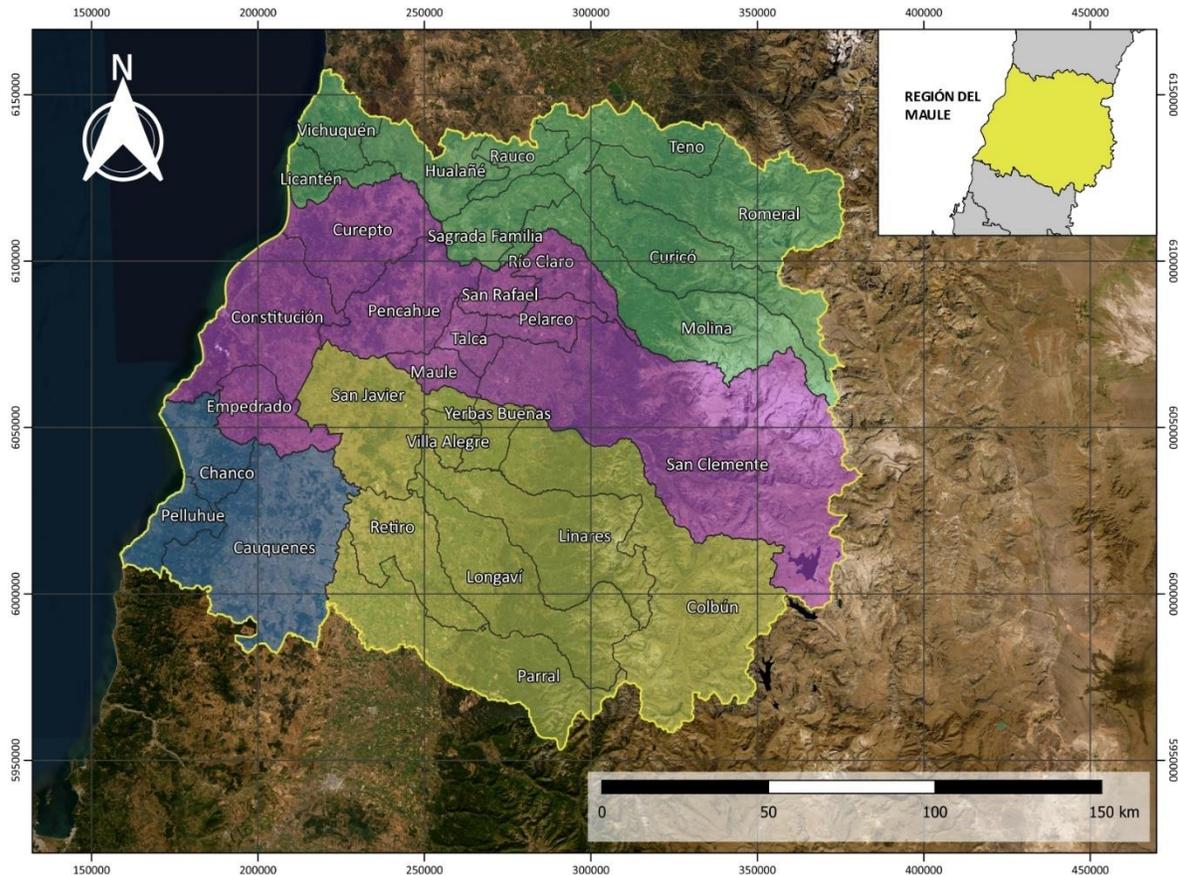
La región del Maule cuenta principalmente con dos grandes cuencas hidrográficas: la cuenca del río Mataquito y la cuenca del río Maule, como se indica en la Figura 1.2. La primera tiene una superficie de 6.190 km<sup>2</sup>, mientras que la cuenca del río Maule posee una extensión de 20.295 km<sup>2</sup>. La red hidrográfica que las constituye se presenta en la Figura 1.3.

## 1.3 CUENCA DEL RÍO MATAQUITO

El principal afluente del sistema es el río Teno, el que tiene las cabeceras de sus formativos en las Lagunas de Teno, situadas al norte del volcán Planchón. El Teno se forma a partir de la confluencia de los ríos Nacimiento y Malo, drenando una superficie de 1.590 km<sup>2</sup> en un recorrido de 102 km, aunque si se considera el formativo más alejado, el río alcanza 120 km. Por el sur, el principal tributario es el río Claro, el que se incorpora al Teno en el sector de Los Queñes, aproximadamente a 30 km del río Nacimiento. El río El Manzano, que corresponde a un afluente de menor importancia, se ubica en la ribera derecha y se incorpora al Teno en el sector de La Montaña.

El río Lontué se forma en la Cordillera de los Andes, en el encuentro entre el río Colorado y el río Patos de San Pedro, 48 km al sureste antes de su unión con el río Teno. Recorre un total de 126 km, considerando su principal afluente, el río Colorado. El río Patos de San Pedro tiene un recorrido paralelo al río Colorado, con una longitud de 55 km. Por la ribera derecha, el río Lontué recibe dos tributarios: estero Upeo y estero Chequenlemillo.

**Figura 1.1: División político-administrativa región del Maule**



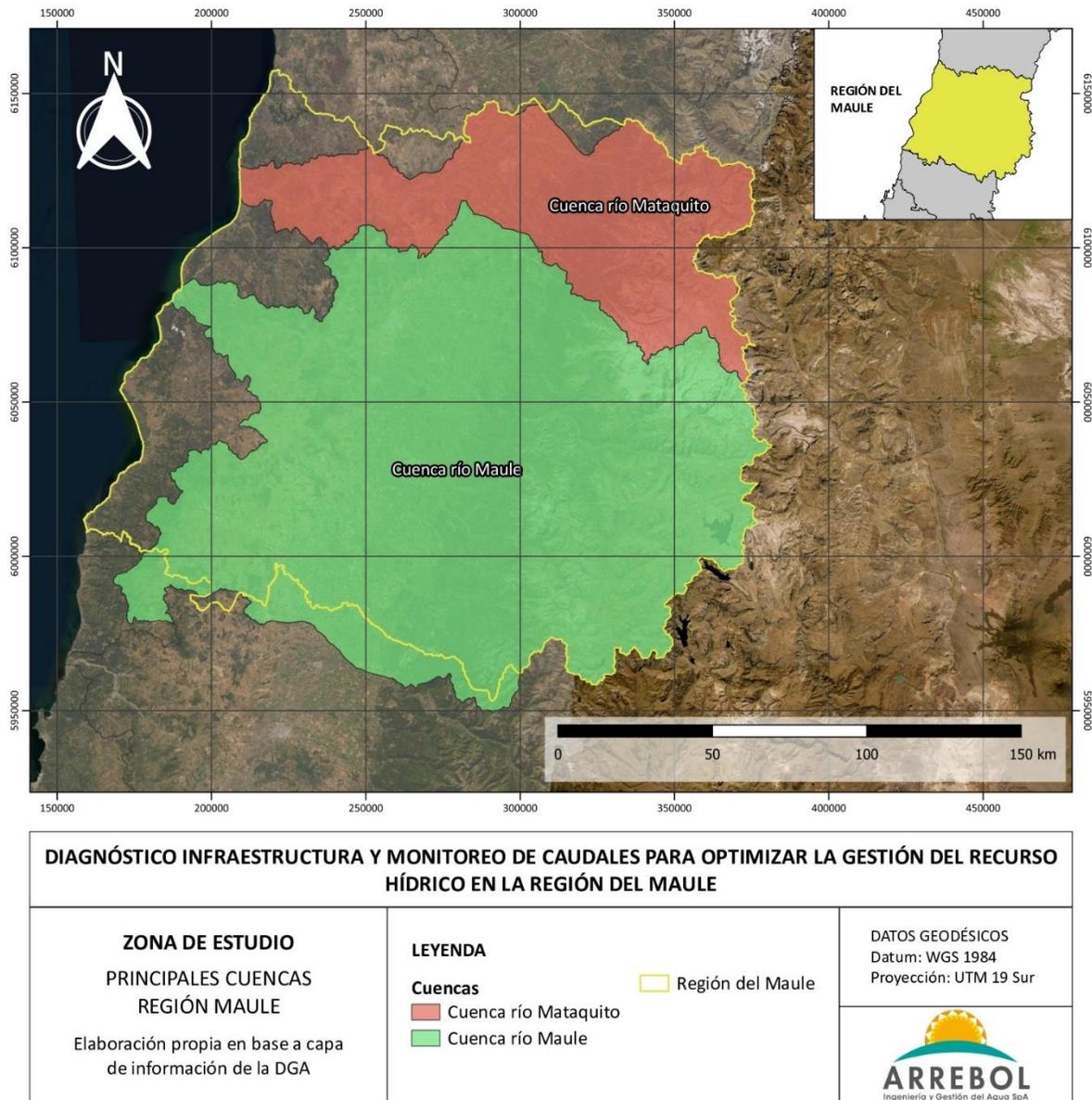
DIAGNÓSTICO INFRAESTRUCTURA Y MONITOREO DE CAUDALES PARA OPTIMIZAR LA GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO EN LA REGIÓN DEL MAULE		
<p><b>ZONA DE ESTUDIO</b></p> <p>DIVISIÓN POLÍTICO ADMINISTRATIVA REGIÓN MAULE</p> <p>Elaboración propia en base a capa de información de la BCN</p>	<p><b>LEYENDA</b></p> <p><b>Provincias</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: green;">■</span> Curicó</li> <li><span style="color: purple;">■</span> Talca</li> <li><span style="color: yellowgreen;">■</span> Linares</li> <li><span style="color: blue;">■</span> Cauquenes</li> </ul> <p><span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px; vertical-align: middle;"></span> Comunas</p> <p><span style="border: 2px solid yellow; display: inline-block; width: 10px; height: 10px; vertical-align: middle;"></span> Región del Maule</p>	<p>DATOS GEODÉSICOS</p> <p>Datum: WGS 1984</p> <p>Proyección: UTM 19 Sur</p> <div style="text-align: center;">  <p><b>ARREBOL</b> Ingenieria y Gestión del Agua SpA</p> </div>

**Fuente: Elaboración propia en base a capa de información BCN, 2021.**

En la confluencia de los ríos Teno y Lontué se origina el río Mataquito, lo que ocurre 12 km al oeste de Curicó, desde donde el Mataquito serpentea por el valle en dirección oeste, hasta desembocar en el mar luego de recorrer 95 km. En su recorrido, el río Mataquito recibe afluentes que en su mayoría se han originado en depresiones de la Cordillera de La Costa<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Estudio básico: Diagnóstico para desarrollar plan de riego cuenca del Mataquito (CNR, 2017).

Figura 1.2: Principales cuencas región del Maule



Fuente: Elaboración propia en base a capa de información DGA, 2021.

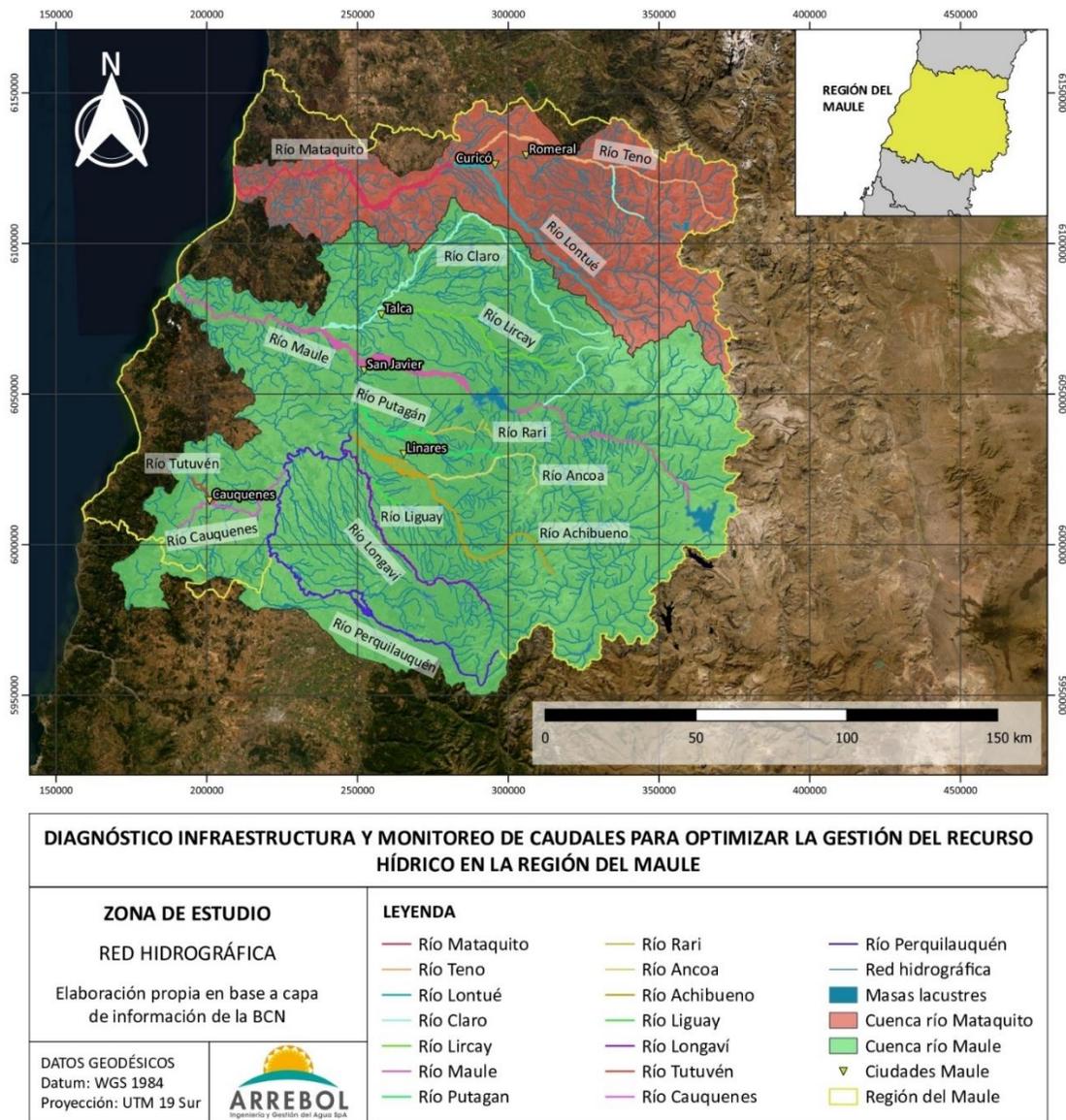
## 1.4 CUENCA RÍO MAULE

La cuenca del río Maule es la cuarta de mayor extensión en el país. Se origina en la Laguna del Maule y sus principales tributarios son el río Puelche, río Cipreses y río Melado, aunque los de mayor relevancia son el río Loncomilla por el sur y el río Claro, que drena la zona norte de la cuenca.

El río Maule nace en el norponiente de la Laguna del Maule, dirigiéndose hacia el norte y luego el noroeste por un lecho angosto y encajonado en un relieve montañoso. A 31 km se incorpora el río Puelche, siguiendo una trayectoria en dirección al norte y noroeste que se mantiene por 240 km, hasta la desembocadura del río Maule, la que se encuentra a la altura de Constitución. Luego de 90 km desde su

origen, el cauce del Maule se expande para atravesar 80 km e ingresar en la Cordillera de la Costa donde, a pesar de recibir escasos afluentes, se une el río Claro por el norte.

**Figura 1.3: Red hidrográfica cuencas río Mataquito y río Maule**



**Fuente: Elaboración propia en base a capa de información DGA, 2021.**

El curso superior del río Claro tiene una trayectoria paralela al río Lontué. En las proximidades de Molina, su rumbo cambia abruptamente en 90°, desde noroeste a suroeste, lo que lleva a su junta con el río Maule a los pies de la Cordillera de la Costa. En su trayectoria, se encuentra con importantes afluentes como lo son el estero Pangue y el río Lircay.

El río Guaiquivilo-Melado nace de la confluencia del río Cajón Troncoso con el río Palaleo. De la cadena del Melado, bajan hacia Guaiquivilo arroyos que profundizan los cajones glaciales. El río San Pedro o La Puente es el principal afluente del río Melado por la ribera derecha, desde esta unión (Guaiquivilo-San

Pedro), el río deja de llamarse Guaiquivilo para dar inicio al río Melado. El Guaiquivilo-Melado recorre una trayectoria en orientación sur a norte, constituyendo un valle interandino longitudinal. A 75 km desde su nacimiento, se une al río Maule.

El río Huenchullami se desarrolla en el interfluvio costero del río Mataquito y Maule, siendo su principal tributario el estero Coipué el que, a su vez, se forma de la confluencia entre los esteros Tabunco (desde el norte) y Colorado (desde el sur).

El río Loncomilla es uno de los principales afluentes del río Maule, cuya junta ocurre por el sur, en las cercanías de San Javier. El Loncomilla, a su vez, se forma de la confluencia de los ríos Longaví y Perquilauquén. Por la ribera oeste, el río Loncomilla tiene como afluentes dos esteros, mientras que por la ribera este, recibe principalmente los ríos Achibueno y Putagán. El río Ancoa aporta al Achibueno, mientras que el río Perquilauquén drena parte de la Cordillera de La Costa, hacia el río Purapel, el que confluye a 2 km aguas debajo de la junta con el río Cauquenes<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> Estudio básico: Diagnóstico para desarrollar plan de riego cuenca del Maule (CNR, 2017).

## 2 INFORMACIÓN DE LAS ORGANIZACIONES DE USUARIOS DE AGUAS

### 2.1 DIAGNÓSTICO ORGANIZACIONAL

#### 2.1.1 Metodología

Se identificó y contactó a las distintas Juntas de Vigilancia y Organizaciones de Usuarios de Aguas de la Región y se estableció una reunión por teléfono para tener un primer acercamiento y obtener información general sobre su organización interna, además de conocer el estado y cantidad de sus bocatomas y otras singularidades. Luego, con la mayoría de ellas, se llevó a cabo una reunión presencial o por videollamada (vía Zoom o Google Meet), donde se presentó brevemente el Estudio y se aplicó una entrevista semi estructurada para realizar un diagnóstico inicial y una caracterización cualitativa de las organizaciones de usuarios de aguas, en términos de su estructura organizacional, fortalezas y debilidades, estado de infraestructuras hídricas, acceso a capital e inversiones, entre otros, se aplicó una entrevista semi estructurada.

#### 2.1.2 Identificación de Juntas de Vigilancia de la región del Maule

En la región del Maule se identificó un total de 23 Organizaciones de Usuarios de Aguas (OUA) que tienen funciones de administración y gestión del agua en la cuenca del Mataquito y del Maule y con las cuales se trabajó para cumplir los objetivos de este estudio. La mayoría de ellas se encuentran constituidas y con funcionamiento activo, a excepción de la Junta de Vigilancia del Río Mataquito y Teno que se encuentran aún en proceso de conformación y constitución legal.

Además de estas, se identificó que la Junta de Vigilancia del río Putagán no se encuentra en funcionamiento ni realiza labores de gestión y coordinación con sus usuarios. Sin embargo, se incluye dentro de este estudio la caracterización de algunas de sus Asociaciones de Canalistas y Comunidades de Agua del río Putagán. Además, se decidió incorporar en el estudio a la Asociación de Canalistas del Embalse Tutuvén debido a su importancia en la gestión del agua en la zona de secano interior del sur de la Región. Finalmente, en etapas posteriores del estudio se incorporó a la Asociación Canal Melado.

A continuación, se presenta el listado de las OUA identificadas en la región del Maule, que participaron del estudio:

1. Junta de Vigilancia del río Teno
2. Junta de Vigilancia del río Mataquito
3. Junta de Vigilancia del río Lontué
4. Junta de Vigilancia del río Seco de Lontué
5. Junta de Vigilancia del estero Pichuco
6. Junta de Vigilancia del estero Carretón
7. Junta de Vigilancia del Estero Patagual
8. Junta de Vigilancia del río Claro
9. Junta de Vigilancia del río Lircay
10. Junta de Vigilancia del río Maule (sección norte)

11. Cooperativa de Riego
12. Asociación de Canales Maule Sur Ltda.
13. SORPAM (Sociedad Regantes Particulares del Maule)
14. Asociación canal Melado
15. Asociación de Canalistas del Canal Putagán
16. Comunidad de Aguas Canal Melozal
17. Comunidad de Aguas La Unión
18. Comunidad de Aguas Canal Viznaga
19. Junta de Vigilancia del río Ancoa
20. Junta de Vigilancia del río Achibueno
21. Junta de Vigilancia del río Longaví
22. Asociación de Canalistas Embalse Tutuvén
23. Junta de Vigilancia del río Perquilauquén

### **2.1.3 Caracterización general de las OUAs**

Las OUAs entrevistadas cuentan con directivas de diversa complejidad organizacional. Adicionalmente algunas cuentan con personal contratado para funciones técnicas y administrativas. En cuanto a la constitución legal de las OAU entrevistadas, se puede decir que alrededor del 80% se encuentran constituidas legalmente y cuentan con estatutos, el resto está en proceso de regularización ya sea por vías judiciales o administrativas.

Las preocupaciones legales se centran principalmente en regularización de derechos individuales, tema en el que ven deficiencias por contar con una ley poco expedita, y subsidios insuficientes.

A modo general, para todas las Organizaciones de Usuarios de Aguas, el principal problema, en este momento, tienen que ver con escasez hídrica, lo que, sumado a falta de infraestructura adecuada de captación, distribución, control y medición, que les permitan hacer un uso más eficiente y una mejor gestión del agua, les ha generado serias complicaciones en los últimos años

En este sentido, como uno de los aspectos más urgente, identifican la necesidad de instalar compuertas automatizadas y secciones de aforo con telemetría que les permite mejorar sus niveles de gestión.

### **3 DIAGNÓSTICO INFRAESTRUCTURAS DE RIEGO**

#### **3.1 METODOLOGÍA DE TRABAJO EN TERRENO**

Para realizar el trabajo de terreno, se implementó una metodología que permitiera establecer redes de contacto y lazos de confianza con los representantes o administradores de las Organizaciones de Usuarios de Aguas, ya que éstas han sido consideradas como actores claves para lograr el éxito en el desarrollo de este estudio.

Es por esto que luego de realizar un primer acercamiento con cada organización con el fin de presentar el estudio y caracterizar a cada una de acuerdo a su funcionamiento y gestión, se coordinó el trabajo en terreno directamente con los celadores de cada OUA, los cuales acompañaron al equipo técnico a visitar, caminando o en vehículo, cada una de las singularidades y sus respectivas obras de regulación y devolución al río. El equipo de inspectores en terreno se compone de dos técnicos residentes en la región del Maule con vasta experiencia en riego: Susan Valenzuela, ex funcionaria de la Dirección General de Aguas de la región del Maule y Alexis Varas, ex técnico encargado del Embalse Convento Viejo. Para efectos logísticos, uno de ellos se enfocó en la zona norte de la Región y otra en la zona sur.

Las Organizaciones de Usuarios de Aguas evaluadas se listan a continuación:

1. Junta de Vigilancia del río Teno
2. Junta de Vigilancia del río Mataquito
3. Junta de Vigilancia del río Lontué
4. Junta de Vigilancia del río Seco de Lontué
5. Junta de Vigilancia del estero Pichuco
6. Junta de Vigilancia del estero Carretón
7. Junta de Vigilancia del Estero Patagual
8. Junta de Vigilancia del río Claro
9. Junta de Vigilancia del río Lircay
10. Junta de Vigilancia del río Maule (sección norte)
11. Cooperativa de Riego
12. Maule Sur
13. SORPAM (Sociedad Regantes Particulares del Maule)
14. Asociación de Canalistas del canal Putagán
15. Comunidad de Aguas canal Melozal
16. Comunidad de Aguas canal La Unión
17. Comunidad de Aguas Canal Viznaga
18. Junta de Vigilancia del río Ancoa
19. Junta de Vigilancia del río Achibueno
20. Junta de Vigilancia del río Longaví
21. Asociación de Canalistas Embalse Tutuvén
22. Junta de Vigilancia del río Perquilauquén

### 23. Asociación canal Melado

Para realizar la evaluación de cada singularidad se utilizó la aplicación para teléfono móvil “Memento Database<sup>3</sup>”, la cual permite completar formularios de forma simple y rápida en modo online y offline. Además de esto, la aplicación permite la sincronización de la información obtenida en una planilla de cálculo online, lo cual facilita el tratamiento posterior de los datos. Los campos de evaluación completados por cada técnico se pueden observar en la Tabla 3.1, los cuales concuerdan con los indicados en el formulario de inspección de obras incluido en los términos de referencia.

**Tabla 3.1: Campos completados en la evaluación de singularidades**

Criterio de evaluación	Campos Memento Database
Datos iniciales	Nombre usuario, Nombre OUA, ID, Singularidad, Nombre del Canal, Acciones de agua por canal.
Evaluación técnica de la bocatoma	Evaluación del funcionamiento hidráulico, estado estructural, factores de riesgo, facilidad de operación y grado de mantención de la singularidad.
Características de la obra y observaciones	Descripción técnica y observaciones de la singularidad.
Croquis e imágenes	Croquis realizado e imágenes de la obra.
Ubicación y otros	Región, provincia, comuna, nombre del canal, km y sección, fecha, número de obra y cantidad de fotos.
Georreferenciación	Coordenadas UTM, huso, cota, waypoint y sector.

A continuación, se explican en detalle los criterios de evaluación técnica de los puntos catastrados:

- 1) Los **factores técnicos** se componen de dos elementos: Por un lado, el funcionamiento hidráulico en el cual se observa el cumplimiento de la obra con su propósito, considerando erodabilidad, embancamiento, socavación, pendientes y vegetación. Por otro lado, el estado estructural considera un riesgo de colapso de la estructura asociado al deterioro de materiales de la estructura y de sus componentes. Los valores que pueden tomar ambos factores son: 0; 0.25; 0.5; 0.75 y 1. Una vez obtenido estos factores, se calculó el índice técnico de la siguiente forma:

$$\text{Índice Técnico} = 0,5 * (\text{Nota funcionamiento hidráulico}) + 0,5 * (\text{Nota Estado Estructural})$$

- 2) Los **factores de gestión** se componen de dos elementos. El primero corresponde al factor de riesgo, los que son externos a la obra, tales como el riesgo de ingreso de animales, ingreso de maquinaria, o riesgos de obstrucción del flujo por derrumbes y/o caída de elementos próximos a la obra. En segundo lugar, se encuentra la facilidad de operación, donde se observan posibles dificultades que se presenten para el adecuado manejo de la obra, tales como: dificultades de acceso a la obra, nivel tecnológico y existencia de aforador. Los valores que toman los factores

<sup>3</sup> Para más información, revisar: <https://mementodatabase.com/>

de gestión pueden ser: 0; 0.25; 0.5; 0.75 y 1. Una vez obtenido estos factores, se calculó el índice de gestión de la siguiente forma:

$$\text{Índice de Gestión} = 0,6 * (\text{Nota factor de riesgo}) + 0,4 * (\text{Nota facilidad de operación})$$

- 3) **El Grado de mantención** corresponde al grado de mantenimiento de la obra en sus aspectos operacionales. Los valores que toma son: 0; 0.25; 0.5; 0.75 y 1.

Luego de obtener el índice técnico, de gestión y el grado de mantención, se clasificó el estado de la obra en "deficiente" si los valores de los índices se encuentran entre 0 y 0.34; estado de la obra "regular" si los valores de los índices se encuentran entre 0.34 y 0.67; y estado de la obra "bueno" si los valores de los índices se encuentran entre 0.67 y 1.

Una vez realizada la evaluación de la obra o singularidad, toda la información fue consolidada y organizada en una planilla Excel, a partir de la cual se completaron las fichas de la plataforma eSIIR. Por otro lado, las imágenes obtenidas fueron codificadas según la cantidad de puntos catastrados por OUA y el tipo de archivo al que corresponde ("C" para Croquis e "I" para Imagen), y se encuentran agrupadas por Organización de Usuarios de Aguas.

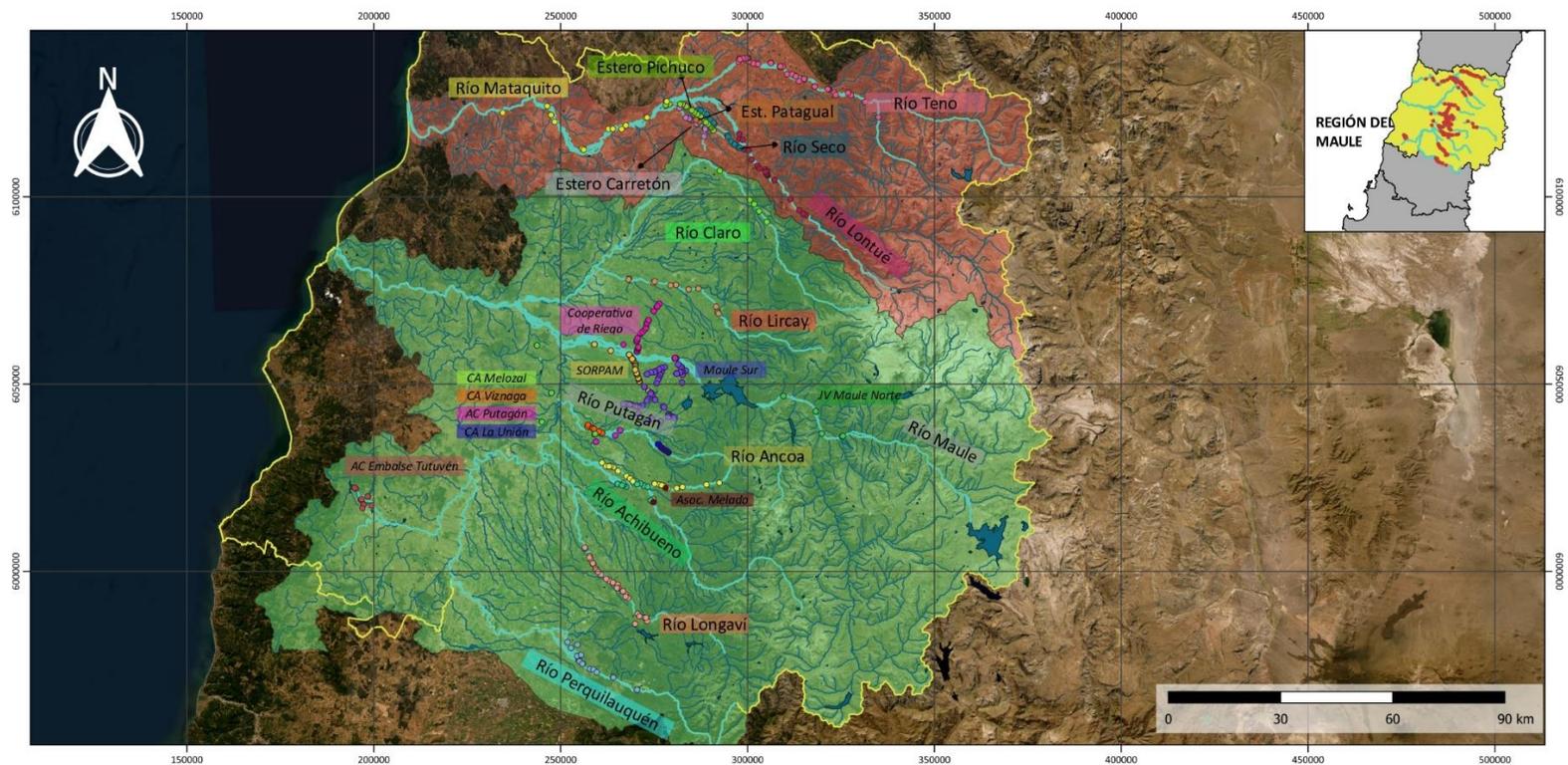
Para cumplir con el objetivo del estudio se utilizó el siguiente criterio para definir el tipo de singularidad a evaluar: si la bocatoma y las compuertas de entrega están a más de 100 metros de distancia, se deben considerar como dos singularidades independientes que se evalúan por separado. Si la bocatoma y las compuertas de entrega, o la obra de distribución respectiva, están a menos de 100 metros de distancia, se deben considerar como una única singularidad. De acuerdo con esto, el catastro considera la evaluación de bocatomas, compuertas, marco partidores y otras obras puntuales (ej. Bomba sumergible).

### 3.2 RESULTADOS DEL CATASTRO DE SINGULARIDADES

En total se catastraron 432 singularidades en la Región, de las cuales, 132 corresponden a la cuenca del río Mataquito y 300 a la cuenca del río Maule. Cerca de la mitad de las obras corresponden a compuertas de entrega o automatizadas (51% aprox.), luego un 41% aprox. corresponde a bocatomas, mientras que un 7,7% corresponde a marco partidores y otras singularidades. La ubicación de cada singularidad catastrada se observa en la Figura 3.1.

El detalle de la evaluación de cada una de las singularidades se puede consultar en la plataforma eSIIR de la CNR, en la página web <https://esiir.cnr.gob.cl/>.

Figura 3.1: Catastro infraestructura



**DIAGNÓSTICO INFRAESTRUCTURA Y MONITOREO DE CAUDALES PARA OPTIMIZAR LA GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO EN LA REGIÓN DEL MAULE**

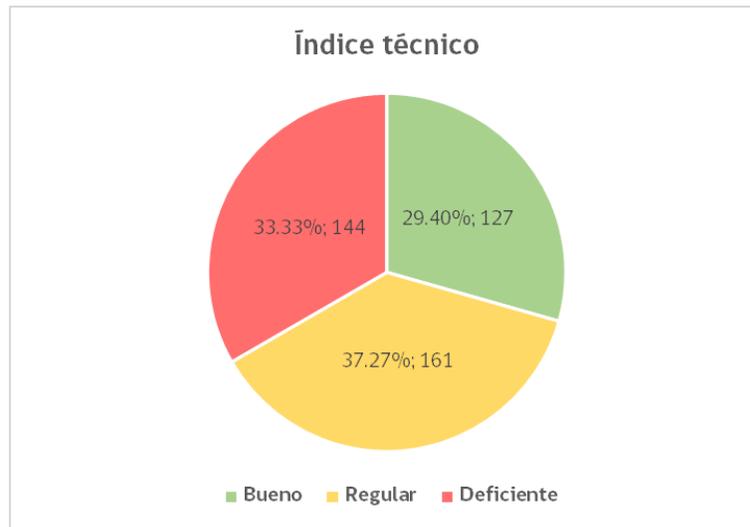
<p><b>CATASTRO SINGULARIDADES (SG) REGIÓN DEL MAULE</b></p> <p>CUENCA RÍO MATAQUITO: 132 SG CUENCA RÍO MAULE: 300 SG</p>	<p><b>LEYENDA</b></p> <p><b>Catastro singularidades</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● JV río Mataquito</li> <li>● JV estero Carretón</li> <li>● JV estero Patagual</li> <li>● JV estero Pichuco</li> <li>● JV río Seco de Lontué</li> <li>● JV río Teno</li> <li>● JV río Lontué</li> <li>● JV río Claro</li> <li>● JV río Lircay</li> <li>● JV río Ancoa</li> <li>● Asociación canal Melado</li> <li>● JV río Achibueno</li> <li>● JV río Longavi</li> <li>● JV río Perquilauquén</li> <li>● AC embalse Tutuvén</li> <li>● OUs río Putagán             <ul style="list-style-type: none"> <li>● AC canal Putagán</li> <li>● CA canal La Unión</li> </ul> </li> <li>● CA canal Melozal</li> <li>● CA canal Viznaga</li> </ul> <p><b>OUs río Maule</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Cooperativa de Riego</li> <li>● JV río Maule (sec. norte)</li> <li>● Soc. Asoc. Maule Sur</li> <li>● SORPAM</li> </ul>	<p><b>DATOS GEODÉSICOS</b> Datum: WGS 1984 Proyección: UTM</p>
--	--	--

### 3.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS CATASTRO

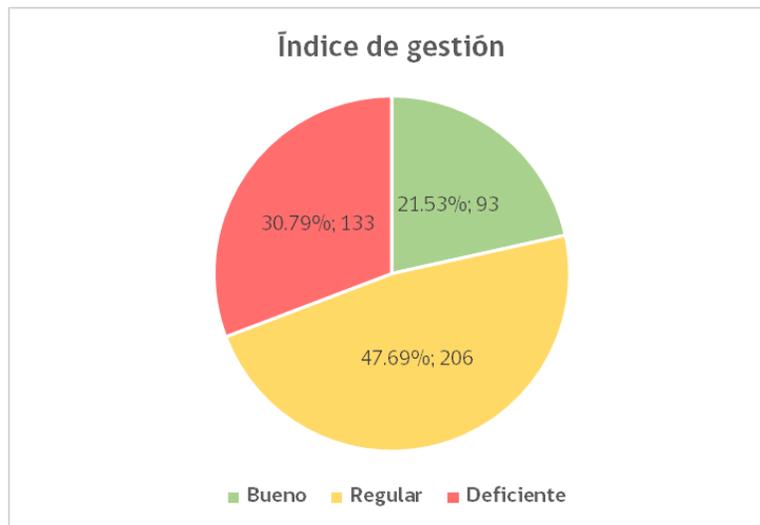
#### 3.3.1 Análisis estadístico a nivel general

A continuación, se presenta un resumen del estado de las singularidades catastradas de acuerdo con los resultados obtenidos. Así, considerando un total de 432 singularidades, se muestra a nivel general la evaluación de los factores técnicos (Figura 3.2), factores de gestión (Figura 3.3) y grado de mantención (Figura 3.4).

**Figura 3.2: Estado de singularidades catastradas considerando factores técnicos<sup>4</sup>**

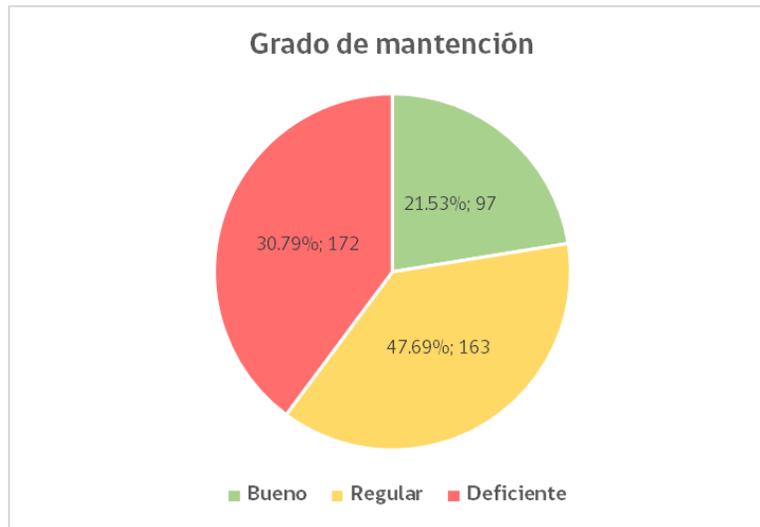


**Figura 3.3: Estado de singularidades catastradas considerando factores de gestión<sup>4</sup>**



<sup>4</sup> Dentro de cada sección del gráfico, se presenta el porcentaje respecto al total y la cantidad de singularidades catastradas.

Figura 3.4: Estado de singularidades catastradas considerando grado de mantención<sup>5</sup>



### 3.3.2 Análisis estadístico por cuenca

Además, dado que las singularidades catastradas se encuentran distribuidas en dos cuencas, cuenca del río Mataquito y cuenca del río Maule, en la Figura 3.5 y Figura 3.6 se muestran los mismos criterios de evaluación para cada una de ellas.

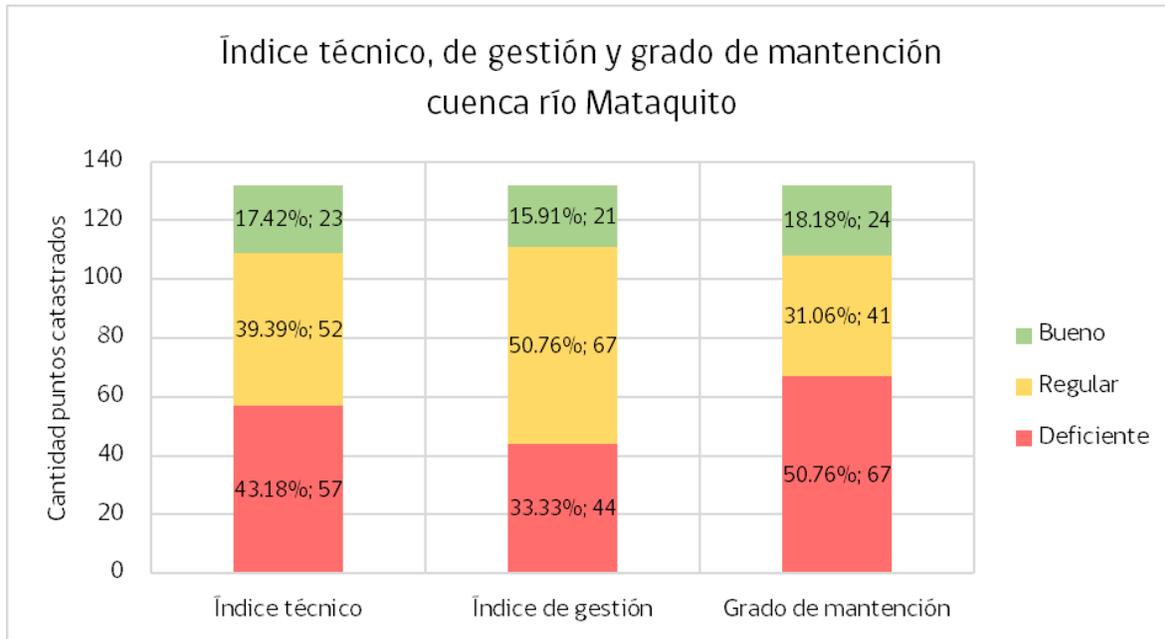
Cabe considerar que existe una diferencia en la cantidad de puntos catastrados por cuenca, lo que se presenta en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2: Cantidad de singularidades catastradas por cuenca

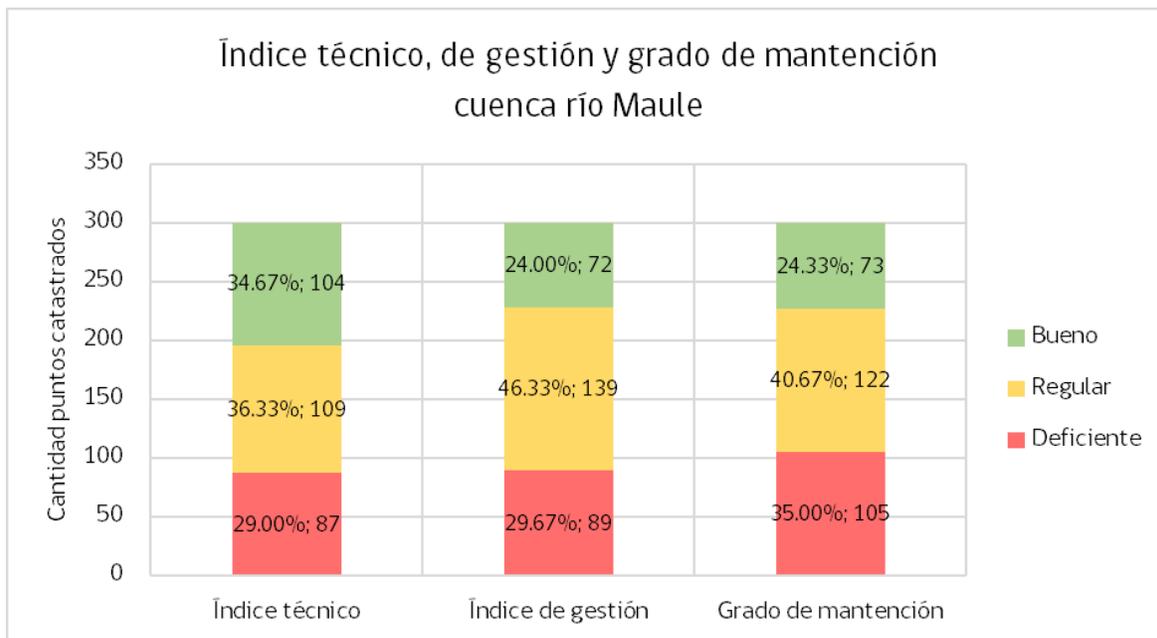
Cuenca	Singularidades catastradas
Río Mataquito	132
Río Maule	300
<b>Total</b>	<b>432</b>

<sup>5</sup> Dentro de cada sección del gráfico, se presenta el porcentaje respecto al total y la cantidad de singularidades catastradas.

**Figura 3.5: Estado de las obras catastradas en cuenca río Mataquito**



**Figura 3.6: Estado de las obras catastradas en cuenca río Maule**



### **3.4 REUNIONES DE VALIDACIÓN CON ACTORES PRINCIPALES**

Parte importante de este estudio consideró la socialización de los resultados obtenidos con cada una de las Organizaciones de Usuarios de Aguas (OUA) con las cuales se trabajó. El objetivo de estas instancias fue presentar los principales hallazgos del catastro de bocatomas y otras singularidades, precisar la información obtenida y generar un espacio participativo para identificar, desde la perspectiva de las OUA, cuáles son las problemáticas y soluciones para mejorar la gestión y administración en sus organizaciones, para finalmente, definir una priorización de puntos en los cuales enfocar el plan de desarrollo de infraestructura.

#### **3.4.1 Ejecución de reuniones**

En total, se realizaron 15 reuniones entre finales de diciembre 2021 y mayo de 2022, algunas de ellas en formato online (O) y otras de forma presencial (P). Cabe destacar que hay 7 OUAs que no mostraron interés en participar de las instancias de validación, no pudiendo establecer contacto directo para realizar las reuniones, aun haciendo las gestiones para coordinarlas. Es el caso de la JV del río Mataquito, JV del río Lontué, JV del río Seco de Lontué, JV del estero Pichuco, JV del estero Carretón, JV del Estero Patagual y la JV del río Claro. Al no poder realizar estas reuniones, tampoco fue posible avanzar en el Plan de Inversión de estas organizaciones. Además de lo anterior, tampoco fue posible presentar los resultados a la Asociación canal Melado debido a su incorporación tardía al estudio.

#### **3.4.2 Conclusiones de las reuniones**

A modo general, para todas las Organizaciones de Usuarios de Aguas, el principal problema, es este momento, tienen que ver con escasez hídrica, lo que, sumado a falta de infraestructura adecuada de captación, distribución, control y medición, que les permitan hacer un uso más eficiente y una mejor gestión del agua, les ha generado serias complicaciones en los últimos años

En este sentido, como uno de los aspectos más urgente, identifican la necesidad de instalar compuertas automatizadas y secciones de aforo con telemetría que les permite mejorar sus niveles de gestión.

Otro aspecto que identifican como esencial es el avanzar en regularización de los derechos de aprovechamiento de aguas que, en parte, no se ha podido realizar por falta de recursos económicos de los usuarios y, por otra parte, por la falta información de éstos para realizar las tramitaciones.

## **4 PLAN DE DESARROLLO DE INFRAESTRUCTURA**

El Plan de Desarrollo de Infraestructura (PDI), corresponde a las acciones a implementar en el corto, mediano y largo plazo que considere las mejoras a las obras catastradas, incorporando la instalación de telemetría y telecontrol en los puntos críticos priorizados por las organizaciones, ya sea en obras existentes o futuras.

El Plan pretende generar la información, a nivel de perfil, de los montos aproximados requeridos, por año, para programar la inversión pública necesaria para instalar sistemas de telemetría y telecontrol en los puntos que las organizaciones de la región del Maule definieron como prioritarios para ellos.

Es preciso señalar, que los montos aquí determinados son un valor aproximado y no definitivo, ya que se obtuvieron en base al catastro realizado, pero sin un desarrollo de ingeniería de detalle.

A continuación, se describe la metodología para la elaboración del PDI, los resultados de la elaboración del presupuesto y la propuesta de inversión en el tiempo.

### **4.1 METODOLOGÍA**

El PDI se desarrolló considerando los siguientes puntos:

- 1) Catastro de infraestructura.
- 2) Priorización de puntos catastrados.
- 3) Selección de compuertas automatizadas y sistemas de telemetría.
- 4) Elaboración de presupuestos.
- 5) Propuesta de plan de inversión

A continuación, se describen de cada uno de estos pasos.

#### **4.1.1 Catastro de infraestructura**

Para poder hacer una propuesta de inversión en un determinado punto, primero fue necesario evaluar el estado actual de la infraestructura de bocatomas y compuertas de entrega de la región del Maule, y así determinar las brechas que poseían.

El catastro se realizó entre los meses de octubre de 2021 y mayo de 2022. En éste se evaluaron las obras desde el punto de vista del funcionamiento hidráulico, estado estructural y mantención, asignándoles una nota entre 0 y 1, en intervalos de 0,25, donde 0 es lo más malo y 1 es lo mejor, pudiendo así, en definitiva, darle un valor cualitativo categorizado en deficiente, regular o bueno.

#### **4.1.2 Priorización de puntos catastrados**

Una vez terminado el catastro, se procedió a realizar talleres participativos con los integrantes de las organizaciones, en los cuales se mostraron los resultados de éste y se priorizaron puntos para la confección del PDI.

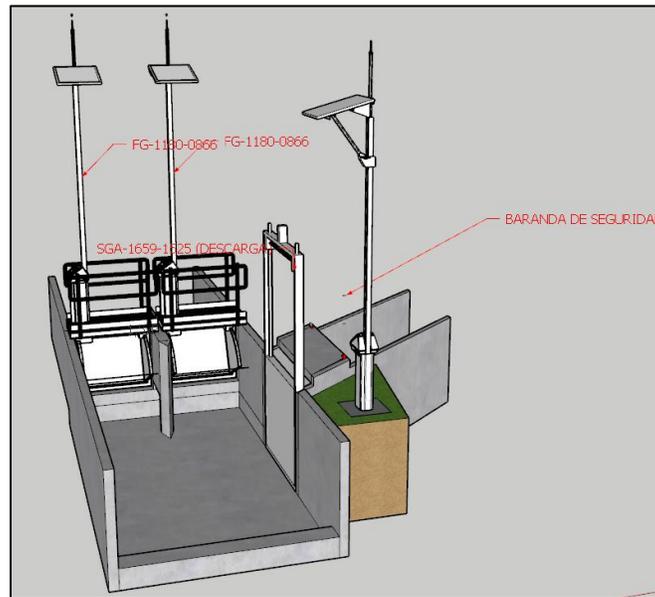
De la sistematización de estos talleres, se priorizó 102 puntos en total, los cuales se desglosan según lo mostrado en la Tabla 4.1.

**Tabla 4.1: Puntos priorizados por organización**

Nº	OUA	Nº puntos	Bocatoma	Compuerta	Marco partidario
1.	JV río Teno	9	6	3	0
2.	JV río Lircay	3	0	3	0
3.	JV río Maule sección norte	2	2	0	0
4.	Cooperativa de Riego	8	4	0	4
5.	Asociación de Canales Maule Sur Ltda	16	0	16	0
6.	SORPAM	4	3	1	0
7.	AC Canal Putagán	3	3	0	0
8.	CA Canal La Unión	8	1	2	5
9.	CA Canal Viznaga	5	1	4	0
10.	JV río Ancoa	5	4	0	1
11.	JV río Achibueno	10	7	2	1
12.	JV río Longaví	5	2	3	0
13.	AC Embalse Tutuvén	5	0	3	2
14.	JV río Perquilauquén	19	7	8	4
15.	AC Melado	2	2	0	0
<b>Totales</b>		<b>104</b>	<b>42</b>	<b>45</b>	<b>17</b>

#### 4.1.3 Selección de compuertas automatizadas y sistemas de telemetría

Como propuesta de proyecto de mejora de infraestructura se consideró, para cada punto priorizado, una obra de distribución basada en compuertas automatizadas y telemetría. De forma general, las obras tendrán la forma mostrada en la Figura 4.1. La cantidad de compuertas variará según el caudal y el tipo de obra.

**Figura 4.1: Obras tipo de mejora de infraestructura**

Para el dimensionamiento a nivel de perfil de estas obras, en cada uno de los puntos priorizados, se determinó un caudal de diseño el cual se definió como un 50% más que el caudal accionario normal. En caso de que no se tuviese la dotación accionaria, o la cantidad de acciones de cada canal, se definió por la capacidad de porteo de éstos.

Para efectos de la elaboración de este PDI, se consideró la implementación de compuertas automatizadas marca Rubicon del tipo Flumegate (FGB) y Slipgate (SGA). Las compuertas Flumegate (FGB) son utilizadas en los ramales pasantes o salientes de agua, en tanto las compuertas SGA, son utilizadas como descarga en los sitios "Bocatoma".

La selección de compuertas se llevó a cabo segmentando por caudales. Esta segmentación se detalla continuación.

**Tabla 4.2: Segmentación de caudales para selección de compuertas**

Rango caudal	Modelo de compuerta
0 - 400 l/s	FGB-0760-0866+OP y SGA-0600-1500-FC
400 - 800 l/s	FGB-1180-0866+OP y SGA-1164-0915-SO
800 - 1500 l/s	FGB-1675-0866+OP y SGA-1659-1220-SO
1500 - 5000 l/s	FGB-2268-1587-80+OP y SGA-1774-1220-SO
5000 - 7500 l/s	FGB-2886-1587-80+OP y SGA-1774-1830-SO
7500 - + l/s	FGB-2886-1587-80+OP y SGA-1774-1830-SO

Los sistemas telemétricos varían según el tipo de compuertas. Las FGB los tienen incorporados y se basan en un cálculo de caudal mediante las medias del nivel hídrico aguas arriba y aguas abajo y la posición de la compuerta. Por otra parte, la SGA no tienen incorporado el sistema telemétrico, por lo que se debe añadir un sensor de nivel ultrasónico aguas abajo de cada compuerta.

Cabe recordar que la selección de compuertas para este PDI, sólo considera una segmentación por caudales. Las compuertas definitivas se deberán seleccionar, además, según la topografía y los resultados de la modelación hidráulica que arrojen los diseños respectivos.

#### **4.1.4 Elaboración de presupuestos**

Los presupuestos de cada una de las obras se estructuraron según las indicaciones de los instructivos técnicos para la presentación de proyectos a la Ley 18.450 de Fomento a la Inversión Privada en Riego y Drenaje. Se detalló la metodología de cubicación de cada una de las partidas y respecto al presupuesto, este se desarrolló en plantillas de cálculo.

#### **4.1.5 Propuesta de Plan de Inversión**

Una vez elaborados los presupuestos se procedió a realizar el Plan de Inversión anual para cada una de las 15 organizaciones.

El criterio para definir el monto de inversión por año, para cada organización, corresponde a que la suma total de los proyectos no supere las 15.000 U.F., para poder quedar en la categoría de obras menores de la Ley 18.450. Por otra parte, si se considera que la mayoría de las organizaciones son de pequeños agricultores, se debe tener presente que ellos deberán dar el aporte privado, que para el análisis se consideró como el 20%, un porcentaje mayor al mínimo del 10% correspondiente por la Ley, con el fin de que los usuarios tengan una mejor noción de sus costos.

Finalmente, el Plan de Inversión para la Región corresponderá a la suma de los montos anuales de todas las organizaciones.

## 4.2 RESULTADOS

Teniendo en consideración la metodología presentada, el Plan de Inversión regional es el mostrado en la Tabla 4.3. En la Tabla 4.4, se puede ver un desglose de costos totales y costos medios anuales por organización.

**Tabla 4.3: Inversión anual a nivel regional**

Años de inversión	Aporte privado [M\$]	Bonificación [M\$]	Total anual [M\$]	Total U.F.
1	\$ 1.076.139	\$ 4.304.554	\$ 5.380.693	160,9
2	\$ 966.905	\$ 3.867.619	\$ 4.834.524	144,6
3	\$ 742.507	\$ 2.970.027	\$ 3.712.534	111,0
4	\$ 435.561	\$ 1.742.242	\$ 2.177.803	65,1
5	\$ 290.182	\$ 1.160.726	\$ 1.450.908	43,4
6	\$ 173.687	\$ 694.749	\$ 868.437	26,0
7	\$ 206.941	\$ 827.765	\$ 1.034.706	30,9
8	\$ 200.856	\$ 803.423	\$ 1.004.278	30,0
9	\$ 58.531	\$ 234.122	\$ 292.653	8,8
10	\$ 35.281	\$ 141.125	\$ 176.406	5,3
<b>TOTAL [M\$]</b>	<b>\$ 4.186.588</b>	<b>\$ 16.746.353</b>	<b>\$ 20.932.942</b>	<b>626,0</b>

**Tabla 4.4: Costos totales y costos medios anuales por organización (pesos chilenos)**

OUA	Años de inversión	Aporte privado total	Bonificación total	Aporte privado anual medio	Bonificación anual media
JV río Teno	5	\$ 299.949.434	\$ 1.199.797.735	\$ 59.989.887	\$ 239.959.547
JV río Lircay	3	\$ 152.512.034	\$ 610.048.134	\$ 50.837.345	\$ 203.349.378
JV río Maule sección norte	2	\$ 117.635.010	\$ 470.540.038	\$ 58.817.505	\$ 235.270.019
Cooperativa de Riego	8	\$ 579.066.992	\$ 2.316.267.969	\$ 72.383.374	\$ 289.533.496
Sociedad Asociación Canales Maule Sur Ltda.	8	\$ 517.777.084	\$ 2.071.108.342	\$ 64.722.136	\$ 258.888.543
SORPAM	4	\$ 216.586.006	\$ 866.344.026	\$ 54.146.502	\$ 216.586.006
AC Canal Putagán	3	\$ 181.770.743	\$ 727.082.974	\$ 60.590.248	\$ 242.360.991
CA Canal La Unión	5	\$ 358.413.727	\$ 1.433.654.908	\$ 71.682.745	\$ 286.730.982
CA Canal Viznaga	2	\$ 156.250.775	\$ 625.003.097	\$ 78.125.388	\$ 312.501.549
JV río Ancoa	3	\$ 88.903.123	\$ 355.612.494	\$ 29.634.374	\$ 118.537.498
JV río Achibueno	5	\$ 382.278.323	\$ 1.529.113.292	\$ 76.455.665	\$ 305.822.658
JV río Longaví	3	\$ 210.828.708	\$ 843.314.831	\$ 70.276.236	\$ 281.104.944
AC Embalse Tutuvén	3	\$ 142.270.086	\$ 569.080.343	\$ 47.423.362	\$ 189.693.448
JV río Perquilauquén	10	\$ 604.714.180	\$ 2.418.856.720	\$ 60.471.418	\$ 241.885.672
AC Melado	2	\$ 177.632.101	\$ 710.528.405	\$ 88.816.051	\$ 355.264.202
<b>Total (\$)</b>		<b>\$ 4.186.588.326</b>	<b>\$ 16.746.353.308</b>	<b>\$ 944.372.234</b>	<b>\$ 3.777.488.933</b>

### 4.3 TALLER PARTICIPATIVO PARA ELABORACIÓN DE PLAN DE DESARROLLO DE INFRAESTRUCTURA

Como una de las etapas finales del desarrollo del PDI, se realizaron 13 reuniones con las Organizaciones de Usuarios de Aguas con el objetivo presentar y validar el Plan de Inversión propuesto para la implementación de telemetría y telecontrol de acuerdo con la priorización realizada en la etapa anterior.

De estas reuniones se obtuvo retroalimentación de los resultados y se hicieron las correcciones necesarias según lo señalado por las organizaciones.

#### 4.4 ANÁLISIS DE COSTOS

Es importante poder realizar un análisis de costos, que permita ver la correlación que existe entre el caudal de diseño y el costo total de un proyecto. Para esto, es necesario tener en cuenta que las partidas que tienen los mayores costos dentro del presupuesto son las compuertas y el sistema de comunicación. Por otra parte, se debe tener en consideración también que, para un mismo caudal, se pueden tener proyectos con configuraciones de compuertas distintas, dependiendo si se está en bocatoma, entrega o marcopartidor, lo que implica que pueda tener 1, 2 o más compuertas, impactando directamente en el presupuesto. Por lo tanto, para hacer un adecuado análisis de costos respecto al caudal, se hizo una separación entre proyectos de 1 y 2 compuertas.

El análisis se hizo considerando las 4 organizaciones con mayor cantidad de singularidades proyectadas, lo que da origen a una tendencia clara de la correlación entre caudal y costos. Las organizaciones seleccionadas fueron: JV río Teno, JV río Achibueno, JV río Perquilauquén y JV Maule Sur.

En los siguientes gráficos se muestran las correlaciones de las variables.

**Figura 4.2: Análisis de costos vs caudal para proyectos de 1 compuerta.**

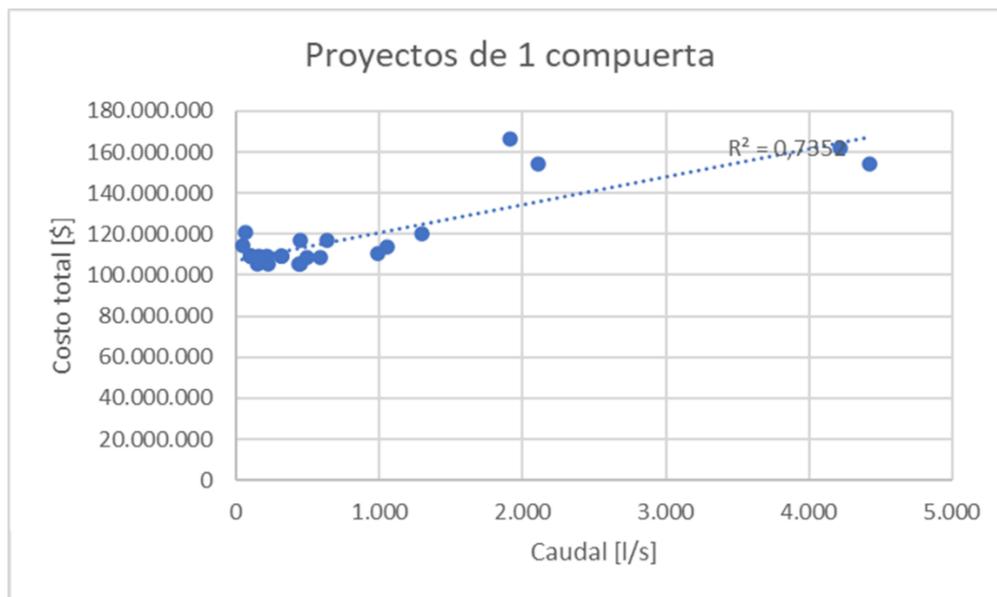
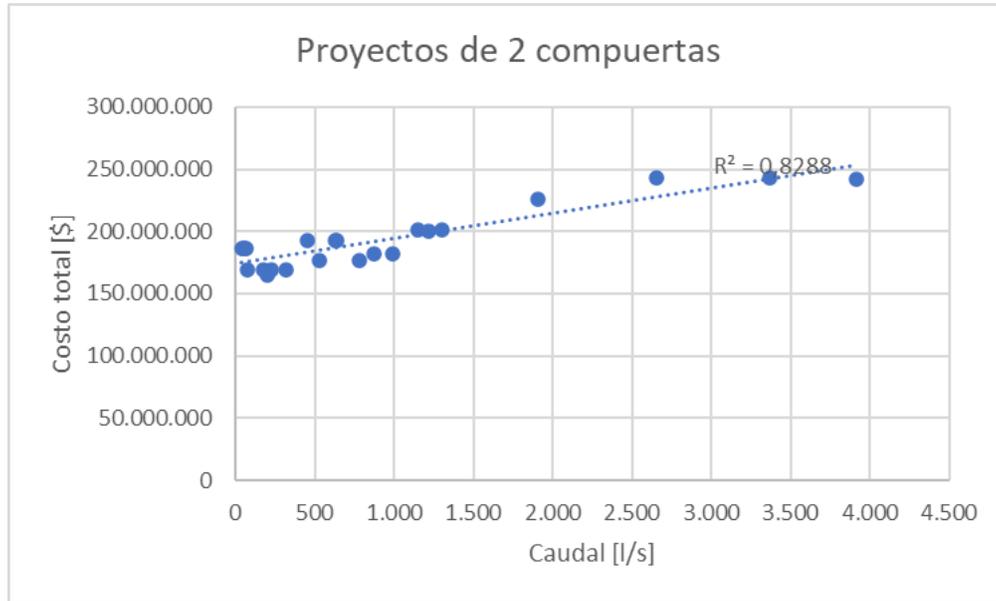


Figura 4.3: Análisis de costos vs caudal para proyectos de 2 compuertas.



#### 4.5 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Se realizó un análisis de sensibilidad para los resultados de cada OUA y para el Plan de Inversión total en donde las variables consideradas son los ítems “Compuertas” y “Comunicación, Software, Antenas, Montaje y otros”.

Para este análisis de sensibilidad se consideró un aumento y disminución de un 10%, 20% y 30% del costo de los ítems antes mencionados.

A continuación, en la Tabla 4.5 se presenta el análisis de sensibilidad para el Plan de Inversión total.

Tabla 4.5: Análisis de sensibilidad Plan de Inversión

TOTAL PLAN DE INVERSIÓN [\\$]			\\$ 20.932.941.634		
AUMENTO [%]	TOTAL [\\$]	VARIACION [%]	DISMINUCION [%]	TOTAL [\\$]	VARIACION [%]
10%	\$ 22.737.610.376	8,62%	10%	\$ 19.128.272.854	8,62%
20%	\$ 24.542.279.143	17,24%	20%	\$ 17.323.604.094	17,24%
30%	\$ 26.346.947.911	25,86%	30%	\$ 15.518.935.335	25,86%

## 5 DIAGNÓSTICO DE ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS EN CUENCA DEL RÍO MAULE EN ARMERILLO

### 5.1 OBJETIVOS

El objetivo principal del capítulo fue generar un diagnóstico de la situación actual para nueve estaciones fluviométricas (EF), ubicadas en la cuenca del río Maule en Armerillo, comprendiendo aspectos asociados a campañas de aforos, técnicas de medición aplicables, registros fotográficos y videos de las secciones estudiadas, correcciones y comentarios de las secciones de aforo.

### 5.2 ESTACIONES EN ESTUDIO

Las estaciones en estudio son nueve, siendo siete de ellas del tipo fluviométricas y dos de nivel de embalse. Las coordenadas, estado de la estación y otras características se indican en la Tabla 5.1.

**Tabla 5.1: Estaciones fluviométricas en estudio**

Código DGA	Estación	Coordenadas UTM (H19)		Estado de infraestructura de aforo	Comentario adicional	Tipo de medición factible (Solo aforo, solo nivel)
		E [m]	N [m]			
07321005-4	Canal Evacuación Central Pehuenche	304030	6044110	Bien - Carro	Canal de 50 m de ancho.	Ambos
07321002-K	Río Maule en Armerillo	308420	6046240	Bien - Carro - Vadeo	En verano pasado estación colgada (sensor de nivel).	Sept. Ambos / Verano Aforo
07321003-8	Canal Maule Norte en Aforador	308430	6046445	Bien - Puente de Aforo DGA	Lecho de canal (revestido) con acumulación de arena y ripio (sección variable o inestable).	Ambos
07317004-4	Embalse Melado	310890	6040480	No corresponde		Solo Nivel
07317002-8	Canal Melado en Los Hierros	313380	6029520	Bien - Puente de Aforo DGA	Construcción de nuevas centrales, con canal y bocatoma afectan hidráulica del cauce.	Ambos
07308000-2	Canal de Aducción a Central Pehuenche	319710	6036830	Bien - Puente de Aforo DGA	Altas velocidades de escurrimiento.	Aforo
Sin código DGA	Canal Las Garzas (más Canal Las Suizas)	325300	6036010	Bien - Puente de Aforo DGA	Informar acceso (solicitar permiso de paso) si hubiera alguien en casa.	Ambos
07306000-1	Embalse Laguna Invernada	339980	6045520	No corresponde	Aportes hídricos principalmente durante deshielos.	Solo Nivel
07300001-7	Río Maule en desagüe Laguna del Maule	359690	6014605	DOH construyó nuevo puente de aforo este invierno, torre de aforo no instalada, por construcción de puente (desvío	Infraestructura de aforo nueva aún no utilizada por DGA. Durante extracciones de agua desde la laguna se requiere escandallo grande para aforo.	Ambos

Código DGA	Estación	Coordenadas UTM (H19)		Estado de infraestructura de aforo	Comentario adicional	Tipo de medición factible (Solo aforo, solo nivel)
		E [m]	N [m]			
				de río durante construcción.		

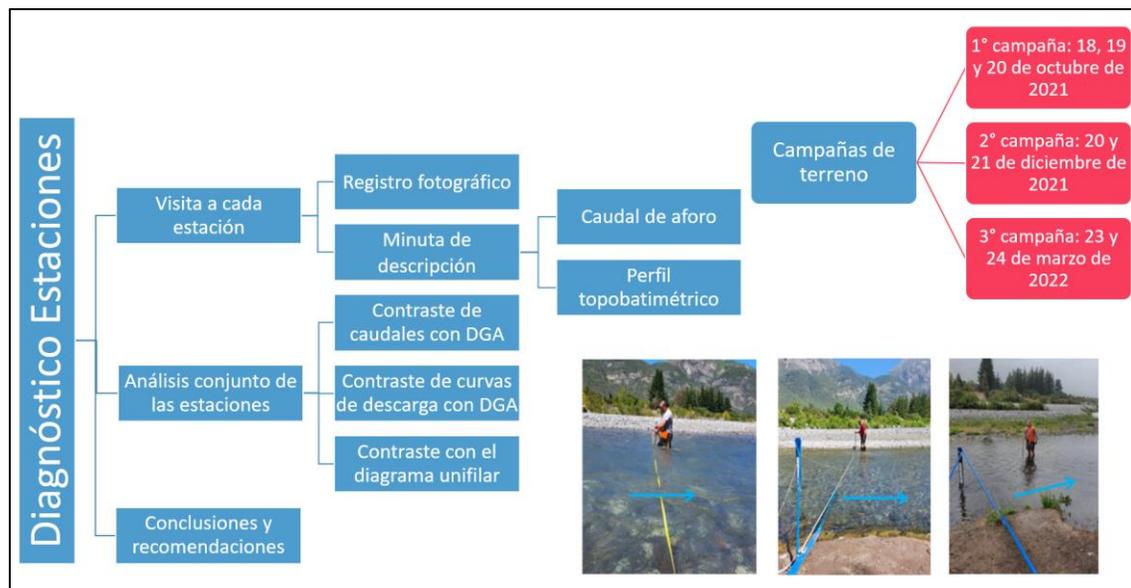
Fuente: Elaboración propia a partir de comunicación directa con hidromensores de la DGA, 2021.

En materia de caracterización de las estaciones fluviométricas, se realizaron tres campañas de aforo, en tres temporalidades distintas, para la cual se empleó el método del molinete, correspondiente al tipo área-velocidad.

### 5.3 DIAGNÓSTICO DE LAS ESTACIONES EN ESTUDIO

El diagnóstico de las estaciones en estudio comprende un resumen de hallazgos identificados durante visitas de terreno y análisis de registros en gabinete. Según la metodología empleada (Figura 5.1), cada estación fue visitada en tres oportunidades, buscando registrar la altura limnimétrica, el caudal pasante, y el estado de la estación, desde el punto de vista estructural e hidráulico.

Figura 5.1: Metodología empleada en el diagnóstico de estaciones fluviométricas



De esta manera las campañas de terreno se realizaron durante diferentes períodos con el fin de registrar diferentes caudales y, con ello, contrastar las alturas limnimétricas, los caudales y las curvas de descarga informada por DGA. Las fechas de las campañas fueron:

- Primera campaña: 18, 19 y 20 de octubre de 2021.
- Segunda campaña: 20 y 21 de diciembre de 2021.
- Tercera campaña: 23 y 24 de marzo de 2022.

Para la ejecución de las mediciones se emplearon las instalaciones de la DGA, procurando informar y pedir los permisos respectivos para realizar la actividad, además de cuidar el acceso a las estaciones durante eventos de crecidas pluviales.

Durante cada aforo se realizó un registro fotográfico y de video. Además, los registros de profundidad de los perfiles topo batimétricos, los registros de velocidad del flujo realizado con molinete y las curvas de descarga, se presentan en formato Excel. De manera adicional se presentan los informes de calibración del instrumental empleado. Finalmente, se presenta el diagrama unifilar del sistema.

Para cada una de las 9 estaciones en estudio se presenta un análisis crítico que abarca los siguientes aspectos:

- i. Registro fotográfico capturado durante las campañas de terreno.
- ii. Perfiles topo batimétricos para cada campaña, salvo para las estaciones en embalses.
- iii. Comparación entre las curvas de descarga informadas por DGA y aquellas obtenidas en la presente consultoría durante el mismo período de análisis, salvo para las estaciones en embalses.
- iv. Comparación entre caudales y niveles de agua informados por DGA No Oficial<sup>6</sup> y aquellos medidos durante los aforos. Entre las consideraciones que se tuvo para este análisis destaca la variabilidad diaria de los caudales de deshielo, la cual no es despreciable. Por lo tanto, para hacer comparables los resultados, se buscó contrastar el registro de las variables de manera que la hora fuese cercana entre ellas. Por otra parte, se consideró el error instrumental de las mediciones, el que se estima en un 5% del total del caudal aforado de acuerdo con conocimiento experto de este consultor.
- v. Estado de las obras y recomendaciones.

## **5.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS**

### **5.4.1 Análisis crítico de las estaciones en estudio**

En la Tabla 5.2 se expone el análisis crítico que resume las mayores falencias identificadas en las estaciones en estudio, ordenadas según orden de prioridad o jerarquía. También se entregan recomendaciones respecto de mejoras a la infraestructura u operación de estas. De acuerdo con comunicación directa con DGA, todas las estaciones tienen limnómetro (reglas) para medición de nivel (durante el aforo) y ajustar o calibrar sensor de nivel. A su vez para el registro de los niveles en el tiempo, todas las estaciones poseen sensor de nivel y miden la presión hidrostática.

---

<sup>6</sup> Los valores de caudal y nivel de agua se obtienen desde la siguiente página web de la DGA: <https://dga.mop.gob.cl/Paginas/hidrolineasatel.aspx>

Tabla 5.2: Resumen análisis crítico de las estaciones en estudio

Estación	Observaciones
Río Maule en Armerillo	<p><b>Estado de la obra:</b> Obra está diseñada para medir caudales bajos por la ribera izquierda. Si los caudales se desvían al centro o a la ribera opuesta, la curva de descarga debe ser reconstruida para estos casos.</p> <p><b>Perfil topo batimétrico:</b> Lecho natural que admite flujo por cualquiera de ambas riberas o el centro de la sección de aforo.</p> <p><b>Curvas de descarga:</b> No es posible validar la curva de descarga informada por DGA.</p> <p><b>Recomendaciones:</b> Encauzar el flujo para la ribera izquierda mediante muro fusible construido con maquinaria y revisar su estado periódicamente (al menos 1 vez al año). Revisar la curva de descarga para caudales superiores a 10 m<sup>3</sup>/s. Ajustar el sensor de presión para que los registros estén en línea y disponibles para consulta.</p>
Canal Las Garzas (más Canal Las Suizas)	<p><b>Estado de la obra:</b> Ubicación de sección de aforo muy cerca de la compuerta de control, aproximadamente a 2 m de ésta.</p> <p><b>Perfil topo batimétrico:</b> Sin comentarios.</p> <p><b>Curvas de descarga:</b> Ajuste no resulta apropiado.</p> <p><b>Recomendaciones:</b> Regla limnimétrica y puente deben ser reubicados aguas debajo de la compuerta que controla el flujo, a una distancia de al menos 4 m (3 veces el ancho de la sección). Posteriormente, reconstruir la curva de descarga. Ajustar el sensor de presión para que los registros estén en línea y disponibles para consulta.</p>
Canal Evacuación Central Pehuenche	<p><b>Estado de la obra:</b> Embancamiento local aguas debajo de la sección.</p> <p><b>Perfil topo batimétrico:</b> Sin comentarios.</p> <p><b>Curvas de descarga:</b> Sin comentarios.</p> <p><b>Recomendaciones:</b> Revisión de curva de curva de descarga para caudales superiores a 50 m<sup>3</sup>/s. Revisión de influencia de embanques hacia aguas arriba.</p>
Río Maule en desagüe Laguna del Maule	<p><b>Estado de la obra:</b> Regla limnimétrica instalada con un valor de metro 2 en lugar de 1.</p> <p><b>Perfil topo batimétrico:</b> Para caudales bajos se requiere medir el flujo aguas abajo de la sección de aforos.</p> <p><b>Curvas de descarga:</b> Sin comentarios.</p> <p><b>Recomendaciones:</b> Ajuste el número 2 de la regla limnimétrica.</p>
Canal de Aducción a Central Pehuenche	<p><b>Estado de la obra:</b> Presencia de grietas en el hormigón en diversas zonas aguas arriba de la sección de aforo</p> <p><b>Perfil topo batimétrico:</b> Sin comentarios.</p> <p><b>Curvas de descarga:</b> Valores inferiores a 70 m<sup>3</sup>/s, podrían estar sobrestimados por DGA.</p> <p><b>Recomendaciones:</b> Se recomienda realizar mantenimiento a las paredes del canal aguas arriba de la sección de aforo. Se recomienda revisar la curva de descarga.</p>
Canal Melado en Los Hierros	<p><b>Estado de la obra:</b> Sin comentarios.</p> <p><b>Perfil topo batimétrico:</b> Sin comentarios.</p> <p><b>Curvas de descarga:</b> Sin comentarios.</p> <p><b>Recomendaciones:</b> Sin comentarios.</p>

Estación	Observaciones
Embalse Laguna La Invernada	<p><b>Estado de la obra:</b> Sensor de presión sin protección. Regla limnimétrica en mal estado para valores inferiores al mínimo.</p> <p><b>Recomendaciones:</b> Se recomienda proteger el sensor de presión. Instalar regla limnimétrica para valores inferiores al mínimo.</p>
Embalse Melado	<p><b>Estado de la obra:</b> Sin regla limnimétrica para valores inferiores al mínimo.</p> <p><b>Recomendaciones:</b> Instalar regla limnimétrica para valores inferiores al mínimo.</p>
Canal Maule Norte en Aforador	<p><b>Estado de la obra:</b> Sin comentarios.</p> <p><b>Perfil topo batimétrico:</b> Sin comentarios.</p> <p><b>Curvas de descarga:</b> Sin comentarios.</p> <p><b>Recomendaciones:</b> Sin comentarios.</p>

#### 5.4.2 Estación Río Maule en Armerillo

Una de las estaciones hidrometeorológicas más importantes de la cuenca es Río Maule en Armerillo. Su ubicación y los registros de caudales de amplia data, le otorgan un uso permanente en la mayoría de los estudios hidrológicos de la cuenca del río Maule. Sin embargo, su sección de aforo es irregular, amplia y presenta problemas para el registro de los caudales bajos porque el flujo se desvía a la ribera opuesta del sensor de nivel del agua, lo cual no le permite tomar registros adecuados para esta variable. Por esta razón no existen registros de caudales o niveles en el sitio web de estaciones en línea de la DGA.

Durante la última década los caudales han disminuido notoriamente en la mayoría de los ríos del centro norte y centro sur del país, y esta estación no es la excepción. A partir de la estadística histórica de la estación, el caudal promedio durante el período 1947-1982 fue de 238.8 m<sup>3</sup>/s, mientras que el caudal promedio durante el período 2001-2021 fue de 28.6 m<sup>3</sup>/s, lo cual refleja una disminución de un 88%. La condición actual de extrema sequía, sumada a que no tiene asignado caudal ecológico o caudal mínimo, le otorgan la particularidad de servir solamente para registrar los caudales de crecidas pluviales aguas abajo del embalse Laguna del Maule. La disminución del caudal en un 88% resalta a la vista de los vecinos y genera inquietud por el impacto de la operación hidroeléctrica aguas arriba.

En lo inmediato, se recomienda atender a esta estación de manera tal que permita el registro de caudales bajos, mediante la instalación de un segundo sensor de nivel instalado en la ribera opuesta o el encauzamiento del flujo para la ribera izquierda mediante muro fusible construido con maquinaria y revisar su estado periódicamente.

### 5.4.3 Optimización red actual

La optimización de la red fluviométrica en su conjunto, involucra no solo resolver las carencias de cada una de las estaciones actualmente en servicio, sino también, la comprensión acerca de la operación del sistema.

El sistema estudiado posee diferentes centrales hidroeléctricas, con embalses de diferentes tamaños, reglas de operación individual y optimizada para la operación colectiva. De acuerdo al diagrama unifilar que indica las entradas y salidas del sistema, este aparece como robusto con todos los controles en canales de riego y algunos flujos de entrada y salida a centrales hidroeléctricas relevantes, por lo tanto, no sería necesaria la construcción de una nueva estación fluviométrica. Sin embargo, el diagrama unifilar no resulta ser del todo suficiente para encontrar una respuesta a la interrogante de la optimización de la red.

Ahora bien, si la condición hidrológica es involucrada en el diagnóstico, resulta de interés realizar el balance superficial de los flujos monitoreados, de manera de identificar los valores umbrales en el que el sistema de monitoreo resulte ser suficiente o insuficiente para el monitoreo. Al involucrar la condición hidrológica, se hace necesario conocer todos los registros en un período dado, con mínimos vacíos de información. En condiciones de escasez o de sequía, los flujos sub-superficiales pasan a ser flujos de mayor relevancia y por ende existe interés en su monitoreo y/o cuantificación. Un ejemplo de las particularidades del sistema se asocia a las filtraciones desde un embalse, las que son despreciables cuando los flujos en la estación aguas abajo superen un determinado valor. Las mismas filtraciones son relevantes en una condición seca y admite ser monitoreadas con tal fin. Esto explicaría la necesidad del monitoreo de los flujos aguas abajo de cada embalse con el fin de cuantificar y realizar el seguimiento a estos flujos, así como también, podría resultar de interés la cuantificación de los flujos sub-superficiales en la estación Maule en Armerillo, para lo cual sería necesario conocer la profundidad del lecho permeable y la permeabilidad media en la sección de aforo.

En resumen, ante una situación que no admita la condición hidrológica, el sistema de monitorio actual resulta ser adecuado, en la medida que se introduzcan las modificaciones estructurales recomendadas.

Finalmente, se recomienda dejar a punto el sistema de monitoreo existente, de tal manera que permita hacer un seguimiento en tiempo real. Con esto se busca resolver cuestionamientos de los interesados mediante la visualización simplificada de los flujos en su conjunto y en línea, de tal manera que permita su seguimiento, considerando los umbrales máximos y mínimos según sea la operación del sistema.

## 6 CENTRO DE INFORMACIÓN HÍDRICA

El estudio contempló un proyecto piloto para la elaboración de un Centro de Información Hídrica para la región del Maule que permita visualizar, a través de una plataforma web y en tiempo real, la información de caudales en los cauces de la Región y al mismo tiempo, permita acceder a la información de las estaciones fluviométricas DGA. De este modo, este proyecto piloto fue el primer paso para identificar las potencialidades y dificultades de la implementación de este Centro de información hídrica, en el cual se espera que los actores relacionados a la gestión del agua en la Región puedan acceder de forma libre y gratuita a la información integrada de caudales y estaciones fluviométricas.

La plataforma piloto propuesta se aloja en el enlace [www.monitoreomaule.cl](http://www.monitoreomaule.cl) y está compuesta por la suite de software NeuroFlo desarrollada por Rubicon, especialmente diseñada para dar soporte a la planificación, operación y administración de aguas superficiales, aguas subterráneas y organizaciones de usuarios de aguas. La suite NeuroFlo incluye el software NetworkConnect, que es la principal herramienta de la suite para visualizar y operar equipos de telemetría remotamente, desde un computador o celular.

Para acceder como invitado, a la plataforma piloto, se deben ocupar las siguientes credenciales:

- Usuario: Invitado
- Contraseña: ANI65W

Las principales características de la plataforma son que permite la visualización en tiempo real de información de dispositivos remotos como compuertas y otros medidores que entregan datos de distintos parámetros como caudal, nivel aguas arriba, nivel aguas abajo y volumen. Al mismo tiempo, permite visualizar los sitios georreferenciados en un mapa y entregar tendencias históricas, exportar datos, administrar alarmas y notificar alertas vía email, crear reportes personalizados de caudales diarios o mensuales, entre otras funciones. Por otro lado, a través de un hardware adicional, los usuarios de esta plataforma podrían operar sus sistemas de telecontrol de forma remota y a distancia.

Durante el desarrollo de este piloto surgieron diversos desafíos. Uno de ellos se relaciona con la complejidad de integrar información y datos de distintos proveedores y actores relacionados a la gestión del recurso hídrico en la Región. En Chile, son cada vez más las organizaciones relacionadas con el agua, tanto públicas como privadas, las que tienen el desafío de integrar en una única plataforma dispositivos de telemetría de múltiples proveedores con diversas tecnologías. El propósito de esto último es facilitar la gestión del recurso hídrico y hacer un uso sustentable del agua, y al mismo tiempo avanzar en el monitoreo y operación en tiempo real dispositivos y el almacenamiento y análisis de datos para cumplir con el monitoreo de extracciones efectivas que solicita la DGA.

En términos concretos, se identificaron las siguientes dificultades a partir de la realización de este piloto:

- Las distintas organizaciones o instituciones no están obligadas a compartir la información con la CNR, por lo tanto, obtener los permisos para lograr la integración de datos, depende de la buena disposición y voluntad de las organizaciones e instituciones para compartir su información.

- Tampoco existe la obligatoriedad, para que distintos proveedores de tecnología intercambien información entre sus plataformas, incluso en aquellos casos donde las organizaciones dueñas de la información estén dispuesta a ello.

Finalmente, cabe mencionar que aún se encuentra en desarrollo la integración de las estaciones fluviométricas de la región del Maule monitoreadas desde la plataforma de la DGA a través de una API REST existente de la DGA.

## 7 PROYECTO SIG

Para una mejor comprensión espacial de las singularidades catastradas, se implementó un proyecto SIG donde se encuentra el catastro para la región del Maule. Este proyecto se elaboró en la versión 3.22.5 del software QGIS. Todas las capas de información se encuentran en el sistema de coordenadas SIRGAS-CHILE, según lo establecido en los términos de referencia.

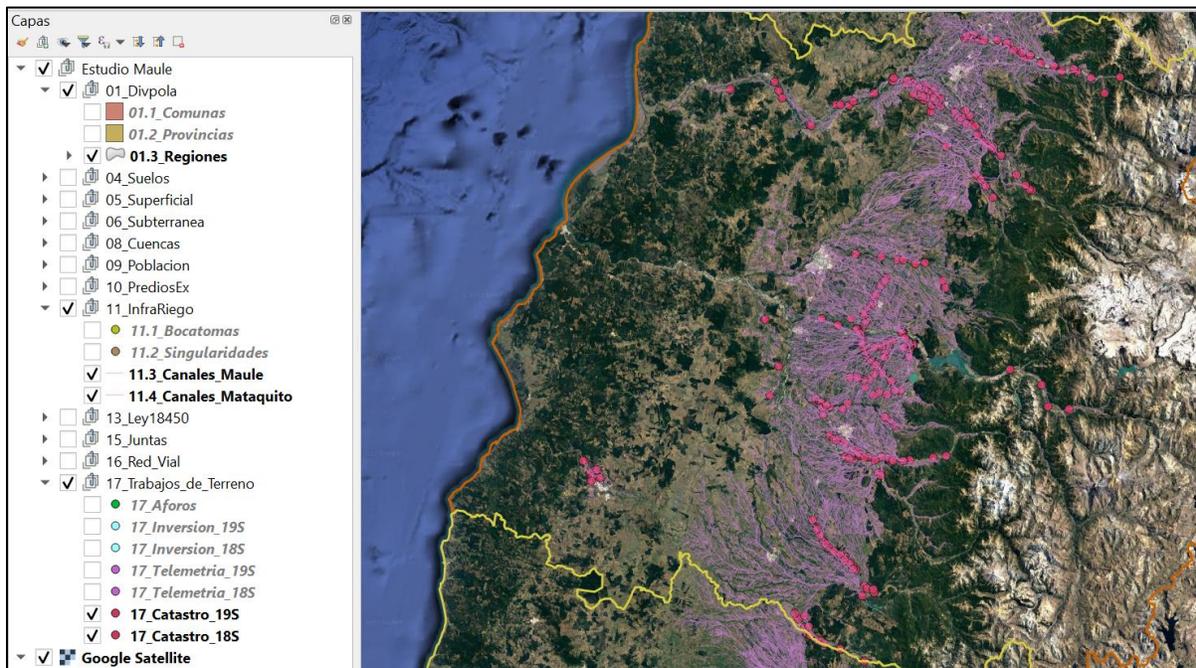
En el proyecto SIG se incluyen capas de información relevantes, como lo son la división político-administrativa, cuencas hidrográficas, red hidrográfica, canales, entre otras.

Además, se generaron 4 capas a partir de la información levantada en el presente estudio: (1) **"17\_Catastro"**, que incluye todas las singularidades catastradas; (2) **"17\_Telemetría"**, que identifica todas las singularidades que al momento del catastro ya contaban con sistemas de telemetría; (3) **"17\_Inversion"**, que muestra las singularidades incluidas en el Plan de Inversión; y (4) **"17\_Aforos"**, donde se indican los puntos donde se realizaron las campañas de aforo, junto con los caudales y niveles de aguas medidos en cada uno de ellos, según corresponda.

En el proyecto SIG, se encuentran las capas de información utilizadas en formato shapefile (carpeta 02\_Capas) y las principales coberturas en formato KMZ (carpeta 03\_KMZ).

En la Figura 7.1 se presenta un ejemplo de visualización del proyecto SIG en el software QGIS versión 3.22.5.

**Figura 7.1: Visualización proyecto en QGIS**



## 8 CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

La ejecución del presente estudio pretendió contribuir con la mejora de las capacidades de gestión de los recursos hídricos de la región del Maule, mediante la proyección de infraestructura adecuada de captación, con incorporación de tecnología de telemetría y telecontrol, la obtención de información de calidad y oportuna, y el desarrollo de una plataforma de apoyo para la gestión y toma de decisiones. Lo anterior se concretó con el desarrollo de las siguientes actividades.

- Revisión de antecedentes y caracterización de las cuencas.
- Caracterización de las organizaciones de usuarios mediante reuniones y entrevistas semiestructuradas.
- Catastro de 432 singularidades en toda la Región, de infraestructura de captación y distribución, con su respectiva evaluación de su estado técnico, de gestión y mantención.
- Desarrollo de un plan de infraestructura de obras con compuertas automatizadas para la región.
- Reuniones de validación de resultados para el catastro, priorización de puntos y Plan de Inversión.
- Diagnóstico de las estaciones fluviométricas de la cuenca de Maule en Armerillo.
- Propuesta de un centro de información hídrica para la región del Maule.

Desde el punto de vista del equipo ejecutor, los objetivos planteados se alcanzaron a partir de los resultados obtenidos en este estudio.

Desde el punto de vista organizacional, las OUs entrevistadas cuentan con directivas de diversa complejidad organizacional. Adicionalmente algunas cuentan con personal contratado para funciones técnicas y administrativas. En cuanto a la constitución legal de las OUs entrevistadas, se puede decir que alrededor del 80% se encuentran constituidas legalmente y cuentan con estatutos, el resto está en proceso de regularización, ya sea por vías judiciales o administrativas.

Las preocupaciones legales se centran principalmente en regularización de derechos individuales, tema en el que ven deficiencias por contar con una ley poco expedita y subsidios insuficientes.

A modo general, para todas las Organizaciones de Usuarios de Aguas, el principal problema, en este momento, tienen que ver con escasez hídrica, lo que, sumado a falta de infraestructura adecuada de captación, distribución, control y medición que les permitan hacer un uso más eficiente y una mejor gestión del agua, les ha generado serias complicaciones en los últimos años

En este sentido, como uno de los aspectos más urgente, identifican la necesidad de instalar compuertas automatizadas y secciones de aforo con telemetría que para mejorar sus niveles de gestión.

Por otra parte, sobre el diagnóstico de infraestructura de riego se puede señalar que el catastro se realizó de forma adecuada, logrando primeramente una adecuada inserción territorial, basada en las llamadas y

reuniones iniciales, permitiendo así obtener la confianza de las organizaciones para concretar su aceptación y apoyo en la realización de los trabajos de terreno.

El catastro fue desarrollado a pie por los técnicos, llegando a todas las obras físicamente, pudiendo así completar los formularios correctamente. Los técnicos siempre asistieron acompañados de un celador, lo que facilitó la llegada a las singularidades e hizo el trabajo más expedito.

Se puede distinguir que el estado técnico y de gestión, evaluado en el catastro, tiene una alta correspondencia con el nivel de organización y profesionalismo de las organizaciones. En aquellas donde se cuenta con un gerente técnico de altas competencias técnicas, se tiene un mayor grado de avance en infraestructura, gestión o planificación de inversión. Otra variable importante de analizar es la constitución legal de las Juntas de Vigilancias, ya que no necesariamente aquellas que están al día legalmente, tienen funcionamiento operacional, como es el caso de la Junta de Vigilancia del río Putagán y Lircay, en caso contrario hay otras que sólo funcionan de hecho, sin constitución legal, y muestran algún grado mayor de organización y gestión como la Junta de Vigilancia del río Mataquito.

Existió una diferencia significativa respecto de la cantidad de bocatomas indicadas en los términos de referencia, las esperadas a catastrar y las que realmente existen. Para suplir estas diferencias, se establecieron nuevos criterios de definición de singularidades a catastrar, los que correspondieron a los siguientes:

- Si la bocatoma y las compuertas de entrega están a más de 100 metros de distancia, se deben considerar como dos singularidades independientes.
- Si la bocatoma y las compuertas de entrega están a menos de 100 metros de distancia, se deben considerar como una única singularidad.
- Se abarcarán compuertas de entregas, de interés para la organización, aun cuando éstas no sean del sistema de bocatoma.
- Se incorporan los marco partidores al catastro, ya que estos son potenciales obras para instalación de sistemas telemétricos.

En este estudio, se presentó la evaluación de 432 singularidades en la Región, de las cuales, 132 corresponden a la cuenca del río Mataquito y 300 a la cuenca del río Maule. Cerca de la mitad de las obras corresponden a compuertas de entrega o automatizadas (51% aprox.) y a bocatomas (41% aprox.).

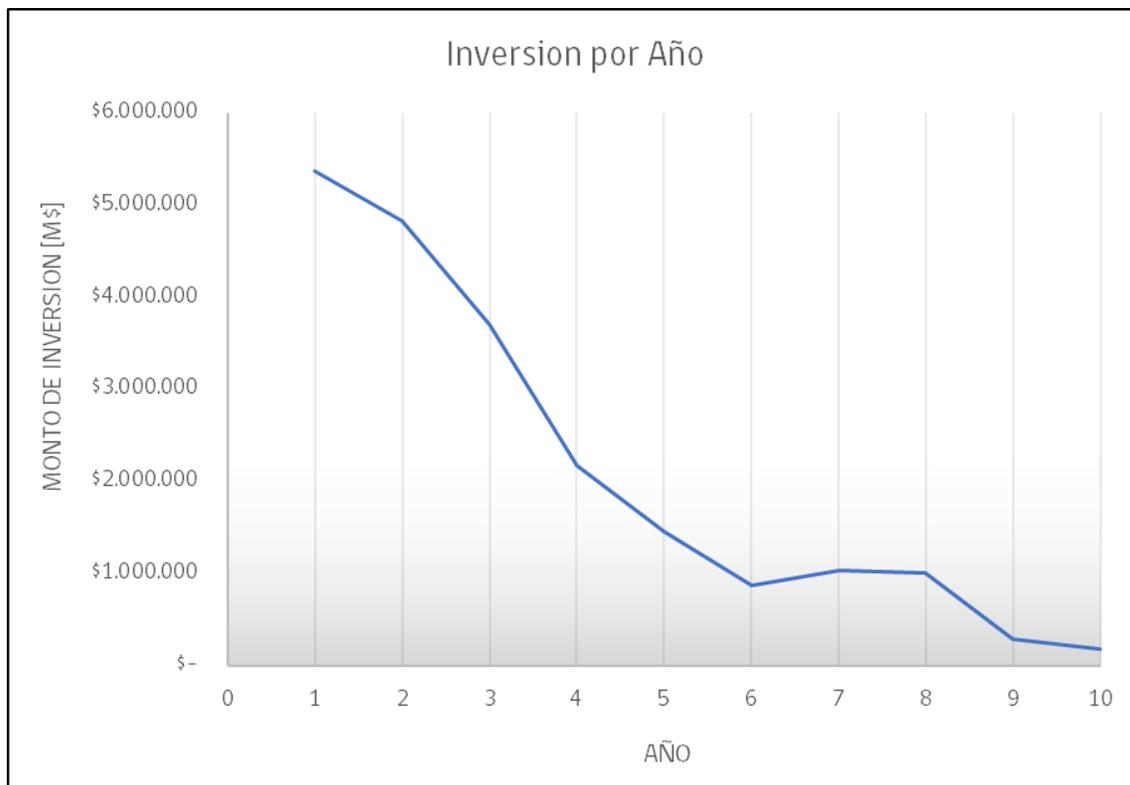
De la evaluación del estado de la infraestructura para la Región, se puede decir que en promedio, para las obras catastradas el valor de los índices técnicos, de gestión y mantención, es de alrededor del 70% entre regular y deficiente, y sólo un 25% en bueno.

De la elaboración del Plan de Desarrollo de Infraestructura, es posible ver que, para poder instalar sistemas de telemetría y telecontrol en todos los puntos priorizados por las organizaciones de la región del Maule, se debe invertir un total de MM\$ 20.933 (veinte mil novecientos treinta y tres millones de

pesos), lo que equivale a 626 M U.F.<sup>7</sup>, sin embargo los costos podrían disminuir dependiendo el tipo de proyecto, la ingeniería de detalle y los proveedores que elijan los usuarios.

La inversión para la implementación de telemetría y telecontrol en los puntos priorizados se ha planificado en un plazo de 10 años, habiendo una fuerte demanda en el corto y mediano plazo (ver Figura 8.1). En los tres primeros años se estiman montos que van entre los 3.700 y 5.400 millones de pesos por año. Luego, hasta el octavo año se demanda un monto anual que va entre los 800 y 2.200 millones de pesos, para después reducir esa inversión a valores entre los 170 y 300 millones de pesos.

**Figura 8.1: Montos de inversión por año**



Esta fuerte demanda inicial es concordante con la alta deficiencia de infraestructura en la Región y la urgencia de mejora de esta, más aun considerando el escenario climático actual de sequía y escasez hídrica.

Otro aspecto importante para mencionar es que, si la implementación de estas tecnologías se realiza a través de la Ley 18.450, se debe considerar un aporte privado de un 20% lo cual corresponde a MM\$ 4.187.

<sup>7</sup> Es importante mencionar que en el Plan de Inversión de la JV río Ancoa los resultados no consideran el presupuesto del ítem “COMUNICACIÓN, SOFTWARE, ANTENAS, MONTAJE Y OTROS” dado que esta organización ya cuenta con este tipo de sistema.

Con esto la bonificación estatal sería de MM\$ 16.746, sumando un total de Plan de Inversión a nivel regional de MM\$ 20.933.

Por otra parte, los proyectos propuestos corresponden a las alternativas de mayor tecnología a implementar, contemplando compuertas automatizadas y sistemas telemétricos, lo que consecuentemente lleva asociado mayores costos, lo que finalmente implica que la estimación de inversión será la máxima a disponer, pudiendo ésta disminuir si las organizaciones optan por otros proveedores o proyectos de menor envergadura como, por ejemplo, mantener compuertas mecánicas e instalar solo telemetría.

Adicional a lo anterior, se puede apreciar que hay una correlación directa entre el caudal y el costo total de la obra, donde se observa que a mayor caudal, mayor costo. Finalmente, en este punto, es importante mostrar que existe una alta sensibilidad a los precios del suministro de compuertas, ya que esta partida equivale al 80% del valor total del presupuesto.

Sobre la evaluación de las estaciones fluviométricas de la cuenca de Maule en Armerillo, se tiene que la institución mandatada para administrar las estaciones fluviométricas del país, realizar aforos periódicamente, tomar registros del nivel de agua y almacenar dicha información es la DGA. Al generar mediciones de manera independiente, mediante el mismo método de aforo, y posteriormente comparar con los valores informados por dicha institución, se busca detectar similitudes y diferencias, que entreguen un diagnóstico de esta importante labor.

Considerando la ejecución de tres campañas de aforo, se aprecia que los registros de niveles de la DGA No Oficial son correctos, aunque no exentos de posibles errores. Por otro lado, los aforos no pudieron ser contrastados durante el período de mediciones entre campañas. Esto porque la DGA no posee registros públicos de este tipo de mediciones. En particular no se sabe cuándo la DGA realizó la última campaña de aforos.

Al comparar la variable caudal se distingue que los valores informados por DGA No Oficial son correctos y presentan diferencias en estaciones específicas.

Las diferencias esperadas en relación con la curva de descarga pueden deberse al cambio de la sección de aforo, producto de la movilidad del lecho natural durante eventos de crecidas, obras civiles cercanas y sus descargas, extracciones de áridos, entre otros.

Las diferencias esperadas en relación con el caudal de aforo pueden deberse al instrumento empleado, su curva de calibración, efectos de turbulencias producto de elementos perturbadores, operaciones de compuertas aguas arriba, embanques aguas abajo, horario de las mediciones, entre otros.

Finalmente, la generación de una plataforma de apoyo, denominada Monitoreo Maule, permitirá a las organizaciones contar con una herramienta de gestión que permita tomar decisiones oportunas. Las principales características de la plataforma son que permite la visualización en tiempo real de información de dispositivos remotos como compuertas y otros medidores que entregan datos de

distintos parámetros como caudal, nivel aguas arriba, nivel aguas abajo y volumen. Al mismo tiempo, permite visualizar los sitios georreferenciados en un mapa y entregar tendencias históricas, exportar datos, administrar alarmas y notificar alertas vía email, crear reportes personalizados de caudales diarios o mensuales, entre otras funciones. Se propone, además, la arquitectura de una sala de control adecuada para implementar esta plataforma en la región, desde la cual se pueda hacer el monitoreo de todos los usuarios que hayan decidido incorporarse, donde se alojen los servidores en un gabinete, se tengan espacios de trabajo, seguridad física e informática. El costo aproximado de esta sala de control alcanza los \$116.719.265.