



Mejor Riego  
para Chile

yo  
cuido  
el agua



# DIAGNÓSTICO OBRAS DE CONDUCCIÓN, REGIONES METROPOLITANA Y VALPARAÍSO



RESUMEN EJECUTIVO

2023



# Diagnóstico Obras de Conducción, Regiones Metropolitana y Valparaíso

## Resumen Ejecutivo

Realizado por:  
Aquaterra Ingenieros Ltda.

2023





**Mejor Riego  
para Chile**

yo  
cuido  
el agua

Dirigido por:

**COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO**

**Director Ejecutivo Comisión Nacional de Riego**

Wilson Ureta Parraguez

**Jefe de la División de Estudios, Desarrollo y Políticas**

André Moreau López

**Coordinador Unidad de Estudios**

Gastón Valenzuela Lillo

**Coordinador del Estudio**

Patricio Espinoza Caniullán

**Profesionales participantes de la CNR**

Claudia Lizana Zapata

Leonardo Machuca Silva

Pablo Vivero Peralta

Elaborado por:

**Aquaterra Ingenieros Ltda.**

**Equipo Participante:**

**Ingeniero Civil, Jefe y Coordinador del Estudio**

Jaime Vargas Paysen

**Ingeniero Civil, Especialista Hidráulico**

Eugenio Tobar Espinoza

**Socióloga, Encargada de Participación Ciudadana**

Bárbara Cuadra Quiñones

**Geofísico, Encargado de los trabajos de Refracción Sísmica**

Mario Julio Gómez

**Geólogo, Encargado del Levantamiento Geológico de Túneles**

Sergio Rivano García

**Ingeniero Civil en Geografía, Especialista SIG**

Sergio Rozas Valdebenito

**Ingeniero Civil, Ingeniero de Proyecto**

Felipe Ramírez Ramírez

**Ingeniero Agrónomo, Especialista en Desarrollo Agroproductivo**

Patricio Murúa Sazo

**Ingeniera Agrónoma, Economista Agraria**

Eliana de Amesti de Amesti

**Ingeniero en Construcción, Encargado de los Aforos**

Genaro Cárcamo Gómez

**Ingeniero Agrónomo, Encargado del Catastro de Obras Críticas**

José Astudillo Henríquez

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS</b> .....	<b>1</b>
1.1. Introducción .....	1
1.2. Objetivos del Estudio .....	1
1.2.1. Objetivo General .....	1
1.2.2. Objetivos Específicos .....	2
1.3. Área de Estudio y Caracterización Social .....	2
1.3.1. Área de Estudio .....	2
1.3.2. Caracterización Social .....	9
<b>2. DIAGNÓSTICO DE INFRAESTRUCTURA DE RIEGO EXTRAPREDIAL</b> .....	<b>10</b>
2.1. Antecedentes de Infraestructura de Riego Existente .....	10
2.2. Canales Matrices .....	10
2.3. Clasificación de Canales sin Información de Caudal .....	12
2.4. Definición de la Infraestructura Crítica de Riego .....	13
2.5. Catastro de Infraestructura Crítica en Terreno .....	14
2.5.1. Resultados de Catastro de Infraestructura Crítica .....	14
<b>3. ANÁLISIS DE INFRAESTRUCTURA CRÍTICA</b> .....	<b>15</b>
3.1. Evaluación del Estado de las Obras .....	15
3.2. Resumen del Estado de las Obras .....	15
3.3. Análisis de la Información Recopilada .....	17
3.3.1. Sistematización de la Información .....	17
3.3.2. Riesgo de Colapso y Nivel de Criticidad .....	17
3.4. Trabajos de Terreno .....	18
3.4.1. Geofísica Sobre Túneles .....	18
3.4.2. Campaña de Aforos en Sifones .....	19
3.5. Módulo de Infraestructura de Riego .....	20
3.6. Módulo de Catastro de Singularidades .....	20
<b>4. PÉRDIDA AGROECONÓMICA POR COLAPSO DE LA INFRAESTRUCTURA CRÍTICA</b> .....	<b>20</b>
<b>5. ESTIMACIÓN DE COSTOS DE REPARACIÓN Y/O REHABILITACIÓN</b> .....	<b>21</b>
5.1. Costo de Obras Seleccionadas .....	21
5.2. Estimación de Costos para las Obras Catastradas .....	21
5.2.1. Metodología de extrapolación de costos .....	22
5.3. Priorización de la Infraestructura por Región .....	23
<b>6. PROPOSICIÓN DE TRABAJOS DE MANTENCIÓN</b> .....	<b>24</b>
6.1. Mantenciones Generales .....	24
6.2. Costos de las Mantenciones de los Canales de Riego .....	25
<b>7. MANUAL DE MANTENIMIENTO</b> .....	<b>26</b>
<b>8. PLAN DE CONTINGENCIA EN CASO DE COLAPSO</b> .....	<b>26</b>
<b>9. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO (SIG)</b> .....	<b>28</b>

10.	RELACIONAMIENTO COMUNITARIO Y PARTICIPACIÓN CIUDADANA .....	29
11.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	31
11.1.	Conclusiones .....	31
11.2.	Recomendaciones.....	34

## TABLAS

Tabla 2-1	Resumen de Canales Recopilados por Cuenca.....	10
Tabla 2-2	Resumen de Canales Recopilados por Región.....	11
Tabla 2-3	Resumen Caudales de Porteo Canales Matrices.....	11
Tabla 2-4	Resultado Clasificación.....	13
Tabla 2-5	Resumen de Canales por Región.....	13
Tabla 2-6	Puntajes de Criticidad por Tipo de Obra .....	14
Tabla 3-1	Resumen del estado de las obras catastradas (Región Metropolitana).....	15
Tabla 3-2	Resumen del estado de las obras catastradas (Región de Valparaíso) .....	16
Tabla 3-3	Tipologías de Obras Críticas, por Región y Total.....	17
Tabla 4-1	Pérdidas Agroeconómicas por Colapso de Obras.....	20
Tabla 5-1	Resumen Obras Seleccionadas para Diseño y Valorización.....	21
Tabla 8-1	Permisos y Autorizaciones Asociadas a la Administración de las Obras.....	27

## FIGURAS

Figura 2-1	Esquema de Árbol de Decisión a Utilizar .....	12
Figura 9-1	Contenido Proyecto QGIS Informe Final .....	28

## 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

### 1.1. Introducción

La Comisión Nacional de Riego no cuenta con ningún estudio que entregue información sobre el estado actual de la infraestructura que puede ser crítica para el abastecimiento de agua para riego, considerando que la conservación o mantención de la infraestructura de riego extrapredial juega un rol fundamental, debido que, si a los sistemas de riego no se les realiza o se hace en forma deficiente su operación y mantenimiento, esto trae consigo problemas de deterioro de la infraestructura así como baja producción agrícola o en los casos más extremos se puede producir un colapso causando serios daños a los cultivos en una temporada agrícola.

Un evento extremo que implique el colapso de una obra (bocatoma, sifón, canoa, etc.) puede ocasionar serios problemas en la población y, muy especialmente, en los agricultores.

Lo señalado se valida con el derrumbe que se produjo en un túnel que forma parte del canal Las Mercedes (25/11/2020), lo que ocasionó cortar el abastecimiento de agua para riego de 16 mil has en los valles de María Pinto y Curacaví, afectando a 1.360 pequeños, medianos y grandes agricultores, y cifraron en 60 millones de dólares las pérdidas.

Es así como nace la necesidad de parte de la CNR en desarrollar el presente estudio, con el objetivo de catastrar e identificar la infraestructura crítica orientando a las organizaciones de regantes, para establecer planes de conservación continua, mejoramiento de las obras mediante algún tipo de financiamiento estatal, además de planes de contingencia en caso de eventos extremos.

### 1.2. Objetivos del Estudio

#### 1.2.1. Objetivo General

El objetivo general de la consultoría es identificar y catastrar la infraestructura crítica (Bocatoma, Túnel, Sifón, Canoa) de los principales sistemas de conducción en las regiones Metropolitana y Valparaíso, determinando las posibles zonas afectadas y la estimación de pérdidas económicas producto del colapso, junto con recomendaciones para la mantención.

## 1.2.2. Objetivos Específicos

Los objetivos específicos son los siguientes:

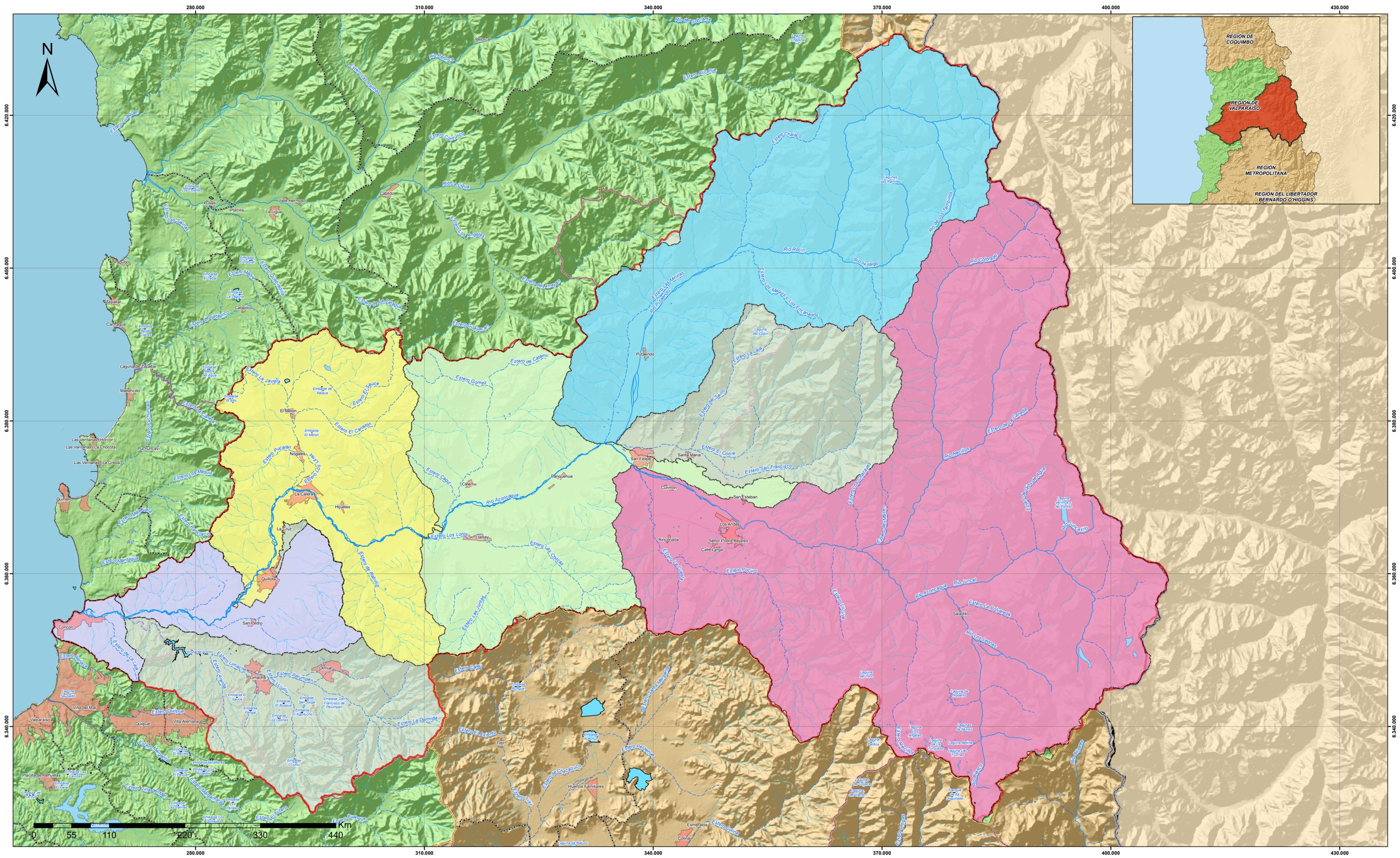
- Mediante la recopilación de información con las OUA, georreferenciar las obras de conducciones primarias de toda la zona de estudio, con el apoyo de imágenes satelitales.
- Diagnóstico del estado actual del funcionamiento de canales matrices para los sistemas de conducción en las regiones Metropolitana y Valparaíso, además de analizar sus caudales asociados e identificar la infraestructura crítica.
- Determinar las superficies afectadas en caso de colapso de la infraestructura crítica identificada en los canales y la pérdida económica que esto conlleva.
- Estimación de costos para la reparación y/o rehabilitación de las obras identificadas, proponiendo obras de mejoramiento nivel conceptual.
- Definir una priorización separados por región, para la reparación y/o rehabilitación de la infraestructura.
- Elaborar un plan de contingencia para cada obra, en caso de colapso, identificando aspectos legales, administrativos, financieros y productivos.
- Sistematizar la información recopilada y generada en el estudio, en un Sistema de Información Geográfica.

## 1.3. Área de Estudio y Caracterización Social

### 1.3.1. Área de Estudio

El área de estudio incluye las Regiones Metropolitana y Valparaíso, específicamente en las cuencas de los ríos Ligua, Río Petorca, Río Aconcagua y Río Maipo.

A continuación, se incluyen 3 planos que dan cuenta de las cuencas de los ríos Ligua y Petorca, Aconcagua y Maipo. En dichos planos se incluye el área de acción de las Juntas de Vigilancia de cada cuenca.

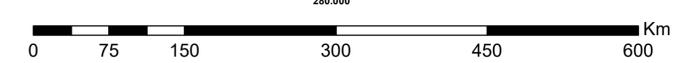
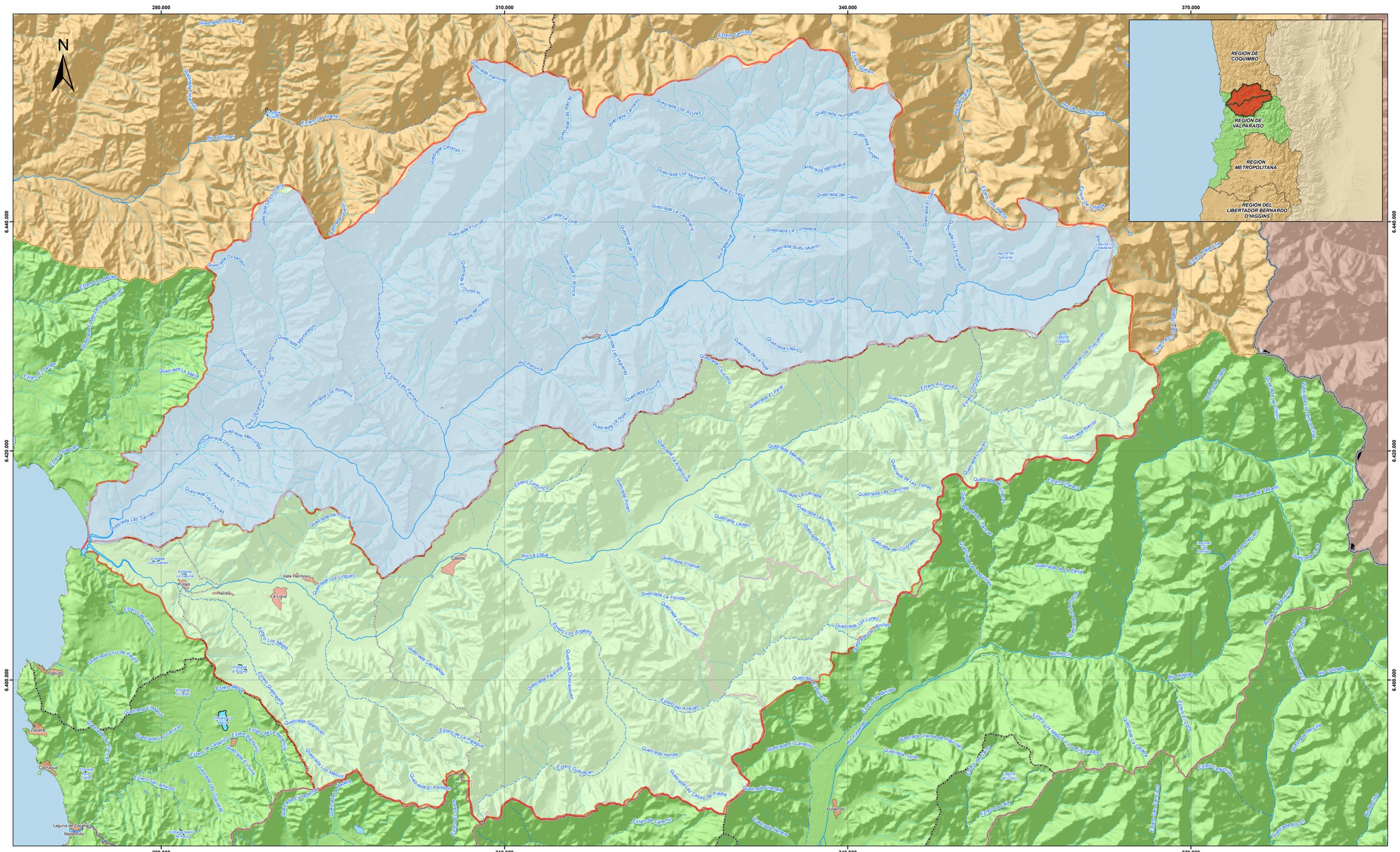


Simbología			
	Ciudades		JV de la Segunda Sección de la Cuenca del Río Aconcagua
	Otras Regiones		JV del Río Aconcagua Sector Quillota
	Región de Valparaíso		JV Río Aconcagua 4ª Sección
	Cuenca Río Aconcagua		Límite Comunal
	JV del Río Putaendo		Límite Provincial
	JV de la Primera Sección del Río Aconcagua		Límite Regional
			Límite Internacional
			Río
			Estero
			Quebrada
			Embalse
			Lagos y Lagunas

**COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO**
  
 Aquaterra Ingenieros Ltda

Estudio		
DIAGNÓSTICO OBRAS DE CONDUCCIÓN REGIÓN METROPOLITANA Y VALPARAÍSO		
Escala	Sistema de Referencia SIRGAS	
1:225.000	UNIVERSAL TRANSVERSAL DE MERCATOR; ZONA HUSO 19	

Título		
CUENCA RÍO ACONCAGUA REGIÓN DE VALPARAÍSO		
Fuente Cartográfica	Fecha	Plano
DGA, CNR (ESIIR), BCN	Agosto 2023	1.3-1
Dibujó: SRV	Revisó: JVP	



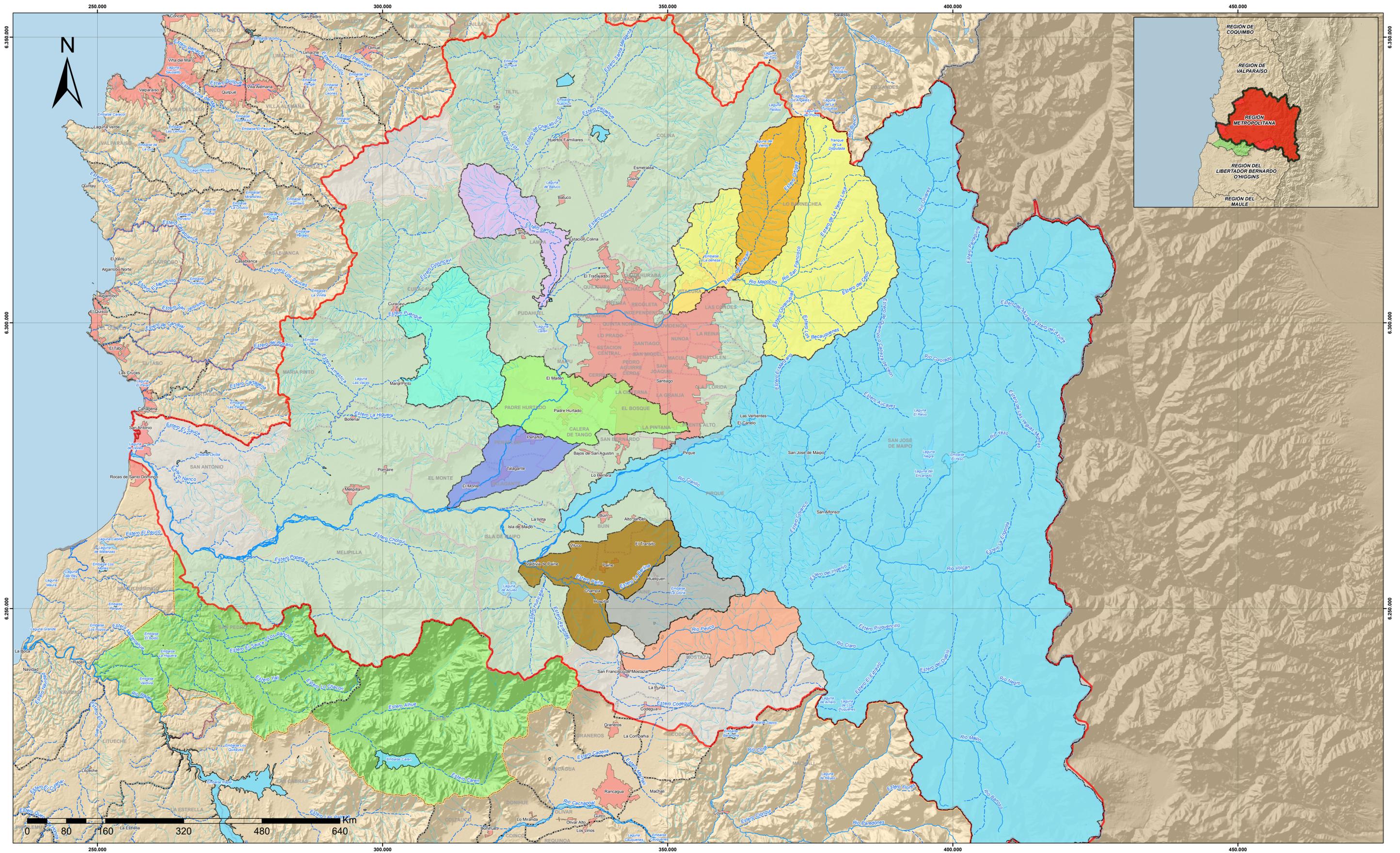
Simbología			
	Cuenca Río Ligua-Petorca		Otros Regiones
	Junta Vigilancia Petorca		Región de Valparaíso
	Ciudades		Río
	Estero		Quebrada
	Embalse		Lagos y Lagunas
	Límites Administrativos		Límite Comunal
	Límite Provincial		Límite Internacional
	Límite Regional		

**COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO**

Aquaterra Ingenieros Ltda

<b>Estudio</b>	
DIAGNÓSTICO OBRAS DE CONDUCCIÓN REGIÓN METROPOLITANA Y VALPARAÍSO	
Escala	Sistema de Referencia SIRGAS
1:150.000	UNIVERSAL TRANSVERSAL DE MERCATOR; ZONA HUSO 19

<b>Título</b>		
CUENCA RÍO LIGUA Y RÍO PETORCA, REGIÓN DE VALPARAÍSO		
Fuente Cartográfica	Fecha	Plano
DGA, CNR (ESIR), BCN	Agosto 2023	1.3-2
Dibujó: SRV	Revisó: JVP	



Simbología					
	Ciudades		Cuenca Río Maipo		Asociación de Comuneros de la Acequia del Pueblo de Lampa
	Otras Regiones		Río Maipo Primera Sección		Estero Puangue Segunda Sección
	Región Metropolitana		Río Maipo Primera Sección		Tercera Sección de la Subcuenca del Río Maipo
	Estero Arrayán		Río Mapocho Última Sección		Lagos y Laguna
	Embalse		Río Maipo Primera Sección		Estero Angostura
	Lagos y Laguna		Río Peuco		Saneamiento Estero Paine (de hecho)
	Estero		Estero Angostura		Quebrada
	Quebrada		Saneamiento Estero Paine (de hecho)		Límite Comunal
	Límite Comunal		Límite Provincial		Límite Regional
	Límite Provincial		Límite Regional		Límite Internacional
	Límite Regional		Límite Internacional		

<p><b>COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO</b></p>	<b>Estudio</b> DIAGNÓSTICO OBRAS DE CONDUCCIÓN REGIÓN METROPOLITANA Y VALPARAÍSO		<b>Título</b> CUENCA RÍO MAIPO REGIÓN METROPOLITANA	
	Aquaterra Ingenieros Ltda	Escala 1:300.000	Sistema de Referencia SIRGAS UNIVERSAL TRANSVERSAL DE MERCATOR; ZONA HUSO 19	Fuente Cartográfica DGA, CNR (ESIR), BCN

### 1.3.2. Caracterización Social

- **Región Metropolitana**

En el área de estudio, está el área urbana metropolitana de Santiago, la cual, con sus más de 6 millones de habitantes, ejercen una creciente y constante demanda de recursos, tanto en lo que respecta a consumo domiciliario e industrial, así como también el riego y la mantención de parques y jardines. Se suman como usuarios una serie de centrales hidroeléctricas, que en la actualidad suman un poco más de 300 MW de capacidad instalada, las cuales en su totalidad corresponden a centrales de pasada ubicadas en la zona cordillerana y precordillerana de la cuenca. Se agregan también como usuarios las faenas mineras existentes en la cuenca, principalmente en su parte alta y norte, asociadas a extracciones de cobre y carbonatos de calcio.

- **Región de Valparaíso**

Las cuencas de Petorca y Ligua, están ubicadas hacia el límite Norte de la región de Valparaíso.

En la cuenca de La Ligua las localidades más importantes según el número de habitantes corresponden a La Ligua y Cabildo, con 35.390 y 19.388 habitantes, respectivamente (según censo 2017). Estas localidades se emplazan en la zona baja del Valle, entre la confluencia del río La Ligua con el estero Los Ángeles hasta la desembocadura.

La principal actividad económica en la cuenca es la minera que está dada por explotación de cobre en la ciudad de Cabildo. Las empresas que explotan este mineral son la compañía minera Cerro Negro S.A. (en forma subterránea) y por la minera Las Cenizas S.A. (planta y mina).

Por otro lado, en la cuenca del Aconcagua, desde el punto de vista político - administrativo, forma parte de la Región de Valparaíso, abarcando parcialmente las provincias de Quillota, San Felipe, Aconcagua, Los Andes y Valparaíso. La cuenca tiene una superficie de 733.872 Ha, equivalentes al 45 % de la Región de Valparaíso.

Las localidades pobladas de mayor importancia en la cuenca, según el número de habitantes, según Censo 2017, son las siguientes: Quillota (90,517 habitantes), San Felipe (76.844 habitantes), Los Andes (66.708 habitantes), La Calera (50.554 habitantes), Limache (46.121 habitantes) y Concón (42.142 habitantes).

## 2. DIAGNÓSTICO DE INFRAESTRUCTURA DE RIEGO EXTRAPREDIAL

### 2.1. Antecedentes de Infraestructura de Riego Existente

A continuación, se establece el universo de canales matrices que serán considerados para desallorar las actividades del estudio.

### 2.2. Canales Matrices

Para identificar los canales matrices, se ha recopilado información relacionada con la infraestructura de riego extra predial, la cual se obtuvo principalmente de estudios y SIG recientes efectuados, y de información proporcionada por las Juntas de Vigilancia y las OUAs insertas en el área de interés.

En la siguiente tabla se presenta un resumen del número de canales recopilados.

**Tabla 2-1 Resumen de Canales Recopilados por Cuenca**

Cuenca	Cantidad de Canales			
	Total Red	Matrices	Troncos	Derivados/ramales
Ligua	98	65	0	33
Petorca	103	71	0	32
1ª Sección Aconcagua	1.756	97	3	1.656
2ª Sección Aconcagua	1.258	25	3	1.230
3ª Sección Aconcagua	2.269	56	2	2.211
4ª Sección Aconcagua	190	15	0	175
Putando	492	38	4	450
<b>Subtotal Aconcagua</b>	<b>5.965</b>	<b>231</b>	<b>12</b>	<b>5.722</b>
1ª Sección Maipo	1.620	105	4	1.511
2ª Sección Maipo	1.303	42	4	1.257
3ª Sección Maipo	1.161	41	0	1.120
<b>Subtotal Maipo</b>	<b>4.084</b>	<b>188</b>	<b>8</b>	<b>3.888</b>
Mapocho	801	71	6	724
Lampa	308	47	1	260
<b>TOTAL</b>	<b>11.359</b>	<b>673</b>	<b>27</b>	<b>10.659</b>

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla se sintetiza la cantidad de canales por región (la región Metropolitana incluye una cantidad menor de canales ubicados en la región de O'Higgins que forman parte de la cuenca del río Maipo):

**Tabla 2-2 Resumen de Canales Recopilados por Región**

Región	Cantidad de Canales			
	Total Red	Matrices	Troncos	Derivados/ramales
Metropolitana	5.193	301	15	4.872
Valparaíso	6.166	372	12	5.787
<b>TOTAL</b>	<b>11.359</b>	<b>673</b>	<b>27</b>	<b>10.659</b>

Fuente: Elaboración propia

Si bien toda la información es relevante para el estudio, lo más importante es que cada canal matriz tenga la información de capacidad máxima de porteo ( $m^3/s$ ), ya que, a partir de ese dato se seleccionan los canales en que se realiza el catastro de infraestructura crítica.

Se debe señalar que hay muchos canales que no se dispone el dato del caudal máximo de porteo. En ese sentido, en aquellos canales que no se cuenta con ese dato, se realiza una estimación de caudal de porteo sea según los siguientes criterios:

- A través de las hectáreas regadas por el canal, suponiendo que el caudal máximo de porteo es equivalente a 1 l/s/ha, es decir,  $Q_{m\acute{a}x} = N^{\circ} \text{ hect\acute{a}reas} \times 1 \text{ l/s/ha}$
- A través de los derechos de agua del canal;  $Q_{m\acute{a}x} = \text{valor en } m^3/s \text{ o l/s del derecho de agua}$ . Si los derechos están en acciones,  $Q_{m\acute{a}x} = N^{\circ} \text{ de acciones} \times 1 \text{ l/s/acción}$
- Cuando se dispuso de ambas informaciones (hectáreas regadas y derechos de agua), se tomó el valor mayor resultante.

Una vez realizadas las estimaciones descritas, se llega a la siguiente tabla, donde se presenta un resumen de la recopilación y generación de los caudales máximos de porteo de cada uno de los canales matrices identificados.

**Tabla 2-3 Resumen Caudales de Porteo Canales Matrices**

Región	Nº Canales Matrices+Troncos	Caudal de Porteo ( $m^3/s$ )		% Informado	% Estimado	% Informado + Estimado
		Informado	Estimado			
Metropolitana	316	60	256	19%	81%	100%
Valparaíso	384	32	352	8%	92%	100%
<b>TOTAL</b>	<b>700</b>	<b>92</b>	<b>608</b>	<b>13%</b>	<b>87%</b>	<b>100%</b>

Fuente: Elaboración propia

Cabe mencionar que, entre los 608 canales con caudal estimado, en una parte la fuente de la estimación corresponde a información de derechos de agua y acciones, mientras que, para los otros, la estimación se realiza a partir de información de hectáreas regadas. Los canales que

tienen caudales informados y estimados a partir de derechos o acciones son en total 330.

### 2.3. Clasificación de Canales sin Información de Caudal

Según lo expuesto en el punto anterior, para 330 canales se conoce el caudal de porteo a partir de fuente directa y de estimación a partir de derechos de aguas y acciones. Entre estos, para 300 se conoce la superficie de riego, lo que equivale a un 46% de los canales matrices en estudio, mientras que para 30 canales se conoce el caudal de porteo, pero no la superficie de riego.

Para los canales restantes, su información es sólo parcial, es decir, se conoce sólo la superficie de riego, por lo que se desarrolló una metodología indirecta para estimar cuántos canales de los 370 restantes tienen caudal de porteo mayor a  $2 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Se construyó un árbol de decisiones que considera un valor de corte "X" para la superficie de riego, y en forma análoga, un valor de corte "Y" para la longitud del canal. Para encontrar los valores de corte "X" / "Y", se utilizan los 300 canales que tienen datos de superficie, longitud y caudal conocidos. La configuración del árbol definitivo se presenta en la siguiente figura:

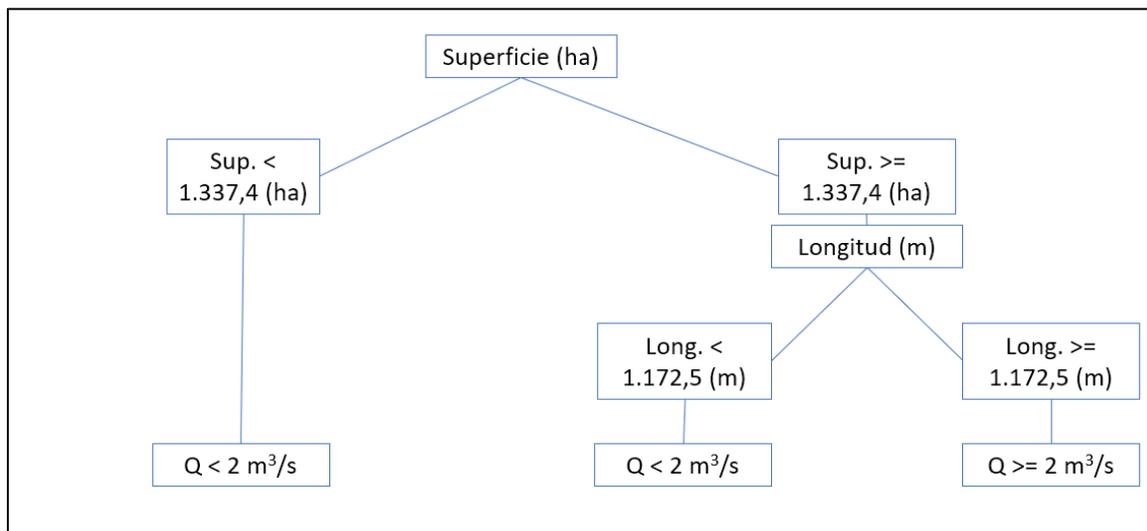


Figura 2-1 Esquema de Árbol de Decisión a Utilizar

Fuente: Elaboración propia

Con el árbol de decisión construido, se procede a aplicarlo para clasificar los canales que no se sabe si su caudal de porteo es mayor o menor a  $2 \text{ m}^3/\text{s}$ .

A continuación, se muestra el resultado de la clasificación, según cuenca y en total.

**Tabla 2-4 Resultado Clasificación**

	MAIPO+MAPOCHO	ACONCAGUA	LIGUA PETORCA	TOTAL
Nº CANALES con Inf. Sup.	263	44	63	<b>370</b>
CAUDAL >= 2 m <sup>3</sup> /s (MODELO)	4	2	0	<b>6</b>
CAUDAL < 2 m <sup>3</sup> /s (MODELO)	259	42	63	<b>364</b>

Fuente: Elaboración propia

Con los resultados de la clasificación, se obtiene la cantidad de canales con caudal de porteo superior a 2 m<sup>3</sup>/s, con la distribución a nivel regional según se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 2-5 Resumen de Canales por Región**

Región	Cantidad de Canales		
	Total Red	Matrices (+ Troncos)	Caudal de Porteo > 2 m <sup>3</sup> /s
Metropolitana	5.193	316	37
Valparaíso	6.166	384	24
<b>TOTAL</b>	<b>11.359</b>	<b>700</b>	<b>61</b>

Fuente: Elaboración propia

## 2.4. Definición de la Infraestructura Crítica de Riego

Dado que se tiene el listado inicial de canales a visitar, se procede a definir los tipos de obras que corresponden a la infraestructura crítica a considerar en el catastro.

Entre los distintos tipos de obras presentes en los canales de riego, se han diferenciado entre obras críticas y no críticas, mediante una matriz de evaluación multicriterio que analice distintos ámbitos de la criticidad de la obra, como lo son:

- Determinación del riesgo de colapso
- Determinación del impacto económico potencial
- Determinación del impacto social y medioambiental

De acuerdo con una matriz utilizada para asignar los puntajes a diversos tipos de obras de arte presentes en canales de regadío, se obtuvo el siguiente resultado.

Tabla 2-6 Puntajes de Criticidad por Tipo de Obra

FACTOR	BOCATOMA DEFINITIVA	BOCATOMA TEMPORAL	CANOA	SIFÓN	TÚNEL	ALCANTARILLA	COMPUERTA	MARCO PARTIDOR	AFORADOR
1.1	10	30	20	20	20	10	10	10	10
1.2	20	5	10	20	20	10	5	5	5
2.1	20	5	20	20	20	5	5	5	5
3.1	7	0	10	7	10	7	0	0	0
3.2	3	0	10	7	10	0	0	0	0
3.3	7	0	10	7	10	7	0	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>67</b>	<b>40</b>	<b>80</b>	<b>81</b>	<b>90</b>	<b>39</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>

Fuente: Elaboración propia

Dado el umbral definido de 50 puntos, se considera que las obras críticas son: bocatoma permanente, canoa, sifón y túnel. Ahora bien, en el caso que la OUA defina una obra o singularidad como crítica, ésta es incluida en el catastro.

## 2.5. Catastro de Infraestructura Crítica en Terreno

El catastro efectuado consistió en efectuar un levantamiento de todas las obras críticas (bocatomas permanentes, sifones, canoas y túneles), en aquellos canales con caudales mayores a  $2 \text{ m}^3/\text{s}$ . Con relación a los canales con caudales menores a  $2 \text{ m}^3/\text{s}$ , se estableció que se incluya en el levantamiento a un 5% del total de obras críticas definidas en el primer grupo de canales ( $Q > 2 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

### 2.5.1. Resultados de Catastro de Infraestructura Crítica

Se realizó el catastro de infraestructura crítica, enfocado a los canales con caudales de porteo mayores a  $2 \text{ m}^3/\text{s}$ , seleccionados desde el universo total de canales matrices, los que ascienden a 700 canales: 293 en la región Metropolitana, 384 en la región de Valparaíso y 23 en la región del Libertador Bernardo O'Higgins (canales menores de la parte sur de la cuenca del Río Maipo), para los cuales se recopilaron antecedentes de caudales, acciones y hectáreas regadas, para llegar a seleccionar los canales donde se realiza el catastro.

Por otro lado, se catastraron un total de 436 obras, en 68 canales, entre los cuales 61 canales tienen capacidad de porteo mayor a  $2 \text{ m}^3/\text{s}$  y 7 canales tienen capacidad de porteo menor a  $2 \text{ m}^3/\text{s}$ .

### 3. ANÁLISIS DE INFRAESTRUCTURA CRÍTICA

#### 3.1. Evaluación del Estado de las Obras

Durante el desarrollo del catastro en terreno, se observó el estado actual de las obras críticas y se completó la ficha técnica descriptiva (aplicación móvil), la cual permitió diferenciar la observación de puntos singulares u obras, completando en detalle cada uno de los campos.

Entre los puntos principales del diagnóstico se encuentran los campos “Estado (Factores Técnicos)”, “Estado (Factores de Gestión)”, y “Grado de Mantención” los que permitieron establecer un estado “Deficiente/Malo”, “Regular” o “Bueno”.

La evaluación del estado de las obras críticas se realiza sobre la base de cuatro parámetros específicos, de los cuales 2 corresponden a factores técnicos (funcionamiento hidráulico y estado estructural) mientras que los otros 2 corresponden a factores de gestión (factores de riesgo y facilidad de operación). La influencia de cada parámetro específico sobre el estado de una obra se define a través de un factor de ponderación “Fi” (definidos el año 2005).

#### 3.2. Resumen del Estado de las Obras

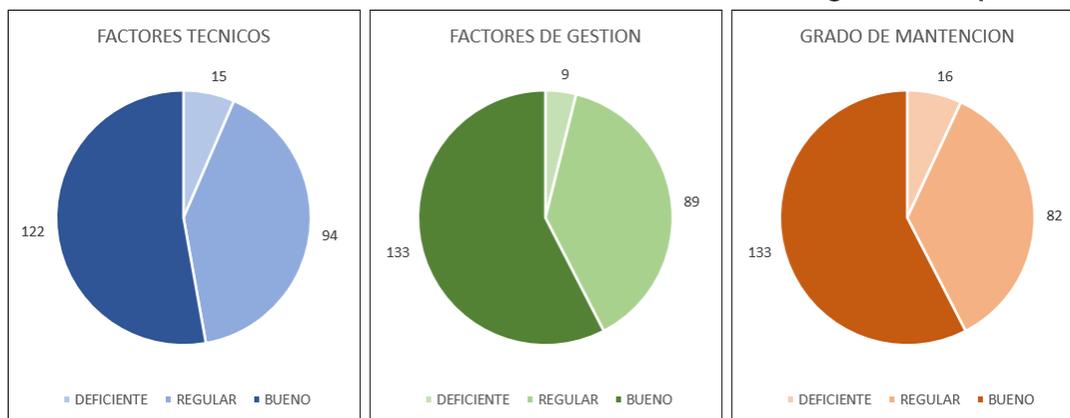
Se realizó el diagnóstico a las 436 obras catastradas, que incluyen obras ubicadas en canales con caudal de porteo mayor y menor a 2 m<sup>3</sup>/s. En las siguientes 2 tablas se presenta un resumen del estado de las obras catastradas para la Región Metropolitana y la región de Valparaíso.

**Tabla 3-1 Resumen del estado de las obras catastradas (Región Metropolitana)**

Tipo de Obra	Cant.	Factores Técnicos			Factores de Gestión			Grado de Mantención		
		DEF	REG	BUE	DEF	REG	BUE	DEF	REG	BUE
Bocatoma permanente	9	0	0	9	0	0	9	0	0	9
Canoa	45	2	15	28	1	13	31	4	11	30
Sifón	24	0	4	20	0	4	20	0	5	19
Túnel	42	2	6	34	2	3	37	1	8	33
Zona de derrumbes	60	8	48	4	5	44	11	9	38	13
Bocatoma temporal	15	1	4	10	1	4	10	0	3	12
Marco partididor	13	0	7	6	0	6	7	1	5	7
Compuerta regulación	7	0	1	6	0	1	6	0	2	5
Aforador	2	0	1	1	0	1	1	1	0	1
Cruce de camino/FFCC	7	0	3	4	0	6	1	0	4	3
Cruce de cauce	3	0	3	0	0	3	0	0	3	0
Obra de descarga	4	2	2	0	0	4	0	0	3	1
<b>TOTALES</b>	<b>231</b>	<b>15</b>	<b>94</b>	<b>122</b>	<b>9</b>	<b>89</b>	<b>133</b>	<b>16</b>	<b>82</b>	<b>133</b>

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 3-1 Resumen del estado de las obras catastradas (Región Metropolitana)



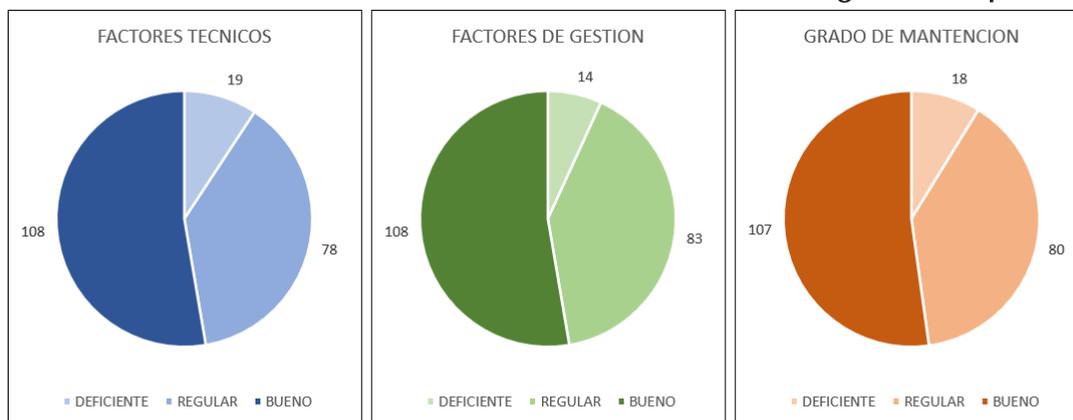
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3-2 Resumen del estado de las obras catastradas (Región de Valparaíso)

Tipo de Obra	Cant.	Factores Técnicos			Factores de Gestión			Grado de Mantenición		
		DEF	REG	BUE	DEF	REG	BUE	DEF	REG	BUE
Bocatoma permanente	14	0	3	11	0	2	12	1	2	11
Canoa	48	3	13	32	3	15	30	2	18	28
Sifón	38	0	13	25	0	12	26	0	15	23
Túnel	30	0	8	22	0	6	24	2	5	23
Zona de derrumbes	38	9	28	1	5	30	3	7	29	2
Bocatoma temporal	5	0	0	5	0	0	5	0	0	5
Marco partidior	3	0	0	3	0	0	3	0	0	3
Compuerta regulación	3	2	1	0	2	1	0	2	1	0
Aforador	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cruce de camino/FFCC	17	1	7	9	1	11	5	1	5	11
Cruce de cauce	9	4	5	0	3	6	0	3	5	1
Obra de descarga	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>TOTALES</b>	<b>205</b>	<b>19</b>	<b>78</b>	<b>108</b>	<b>14</b>	<b>83</b>	<b>108</b>	<b>18</b>	<b>80</b>	<b>107</b>

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 3-2 Resumen del estado de las obras catastradas (Región de Valparaíso)



Fuente: Elaboración propia.

### 3.3. Análisis de la Información Recopilada

#### 3.3.1. Sistematización de la Información

En la siguiente tabla se resumen las tipologías de obras críticas identificadas a lo largo del proceso de catastro desarrollado.

Tabla 3-3 Tipologías de Obras Críticas, por Región y Total

TIPO DE OBRA CRÍTICA	REGIÓN METROPOLITANA	REGIÓN DE VALPARAÍSO	TOTAL	PORCENTAJE
Bocatoma permanente	9	14	23	5,3%
Canoa	46	48	94	21,6%
Sifón	24	38	62	14,2%
Túnel	42	30	72	16,5%
Zona de derrumbes	59	44	103	23,6%
Bocatoma temporal	15	5	20	4,6%
Marco partidor	13	2	15	3,4%
Compuerta regulación	7	1	8	1,8%
Aforador	2	0	2	0,5%
Cruce de camino/FFCC	7	14	21	4,8%
Cruce de cauce	3	9	12	2,8%
Obra de descarga	4	0	4	0,9%
<b>TOTALES</b>	<b>231</b>	<b>205</b>	<b>436</b>	<b>100%</b>

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que el mayor porcentaje de incidencia corresponde a la tipología “Zona de Derrumbes”, que abarca sectores de canal en que se producen derrumbes de laderas de cerro o del mismo material de las paredes del canal. En esta tipología la solución más común es la ejecución de un revestimiento en el canal, seguido por un abovedamiento o encajonamiento.

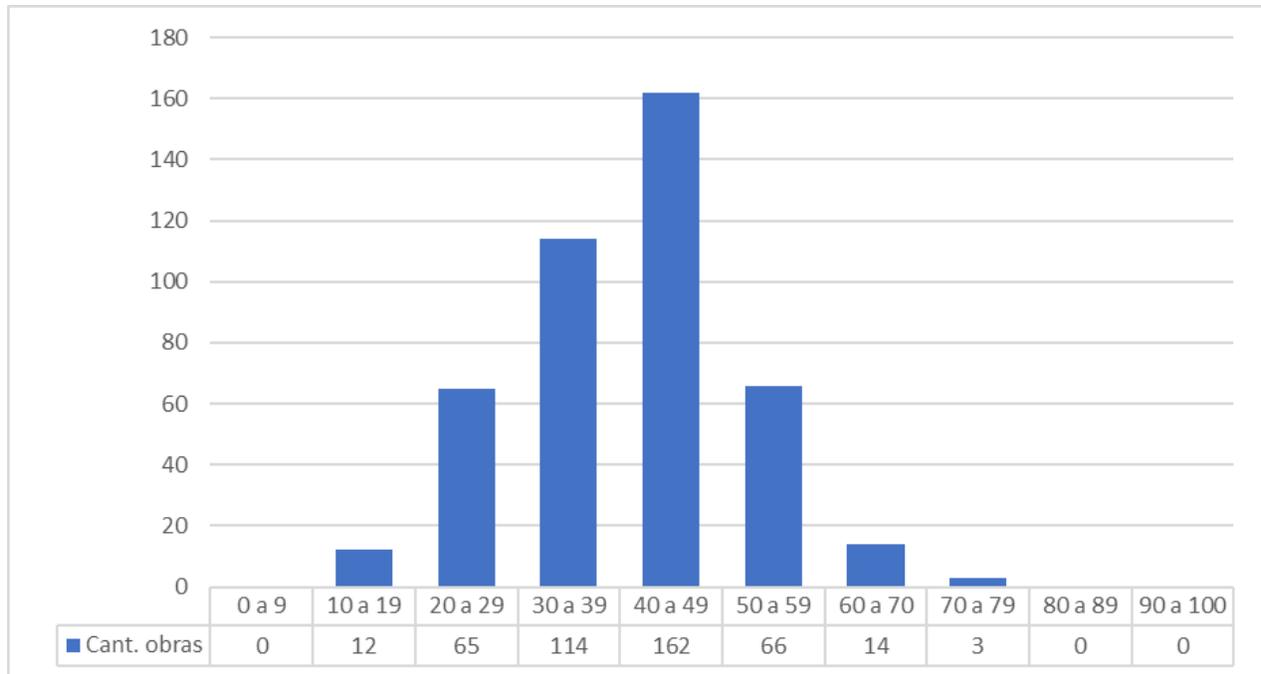
#### 3.3.2. Riesgo de Colapso y Nivel de Criticidad

Cada una de las obras críticas catastradas en los canales de riego representa una posible interrupción del regadío, con pérdidas agroeconómicas y en algunos casos, afectaciones a infraestructura y al medio público y privado.

El grado de probabilidad de colapso de las obras catastradas, estuvo basado en dos ejes: deterioro de las obras y su criticidad en caso de falla; a su vez, para la criticidad se consideraron los factores Riesgo de Colapso, Rapidez de Reposición y Afectaciones a Poblaciones Urbanas y Medio Ambiente.

Aplicando la metodología descrita, se ha calculado el nivel de criticidad para el total de las obras catastradas, y el resultado se muestra en el siguiente gráfico.

**Gráfico 3-3 Resultados Criticidad del Total de Obras Catastradas**



Fuente: Elaboración propia.

Se observa que la mayoría de las obras (162 de 436, 37%) está en el rango de criticidad entre 40 y 49, que es un rango moderado, mientras que 191 obras tienen criticidad hasta 39. La mayoría de las obras con alta criticidad son túneles y sifones, con algunas canoas y bocatomas permanentes en segundo lugar.

### 3.4. Trabajos de Terreno

Los trabajos de terreno que se desarrollaron fueron prospecciones geofísicas en túneles y aforos en sifones.

#### 3.4.1. Geofísica Sobre Túneles

Con el objetivo de caracterizar en mayor profundidad el estado de los túneles catastrados, se realizan 20 perfiles (10 por cada región) de Refracción Sísmica (Tomografía Sísmica) y MASW con el fin de obtener secciones 2D de ondas P (longitudinales) y ondas S (de corte). Los perfiles de refracción sísmica y MASW se midieron con tendidos de 24 geófonos. En el caso de la Refracción Sísmica se alcanzó una profundidad de 10 a 15 m y en el caso de los perfiles MASW,

una profundidad de investigación de 20 m aproximadamente.

Con los datos de los túneles catastrados, el geólogo Sergio Rivano entregó un informe por región, identificando los túneles que se recomendaron visitar, dada la información respecto a su estado y la situación de cada túnel desde el punto de vista geológico.

La gran mayoría de estos túneles se localizan en rocas con estados variables de fracturamiento y meteorización, la bibliografía entregada da cuenta de la caída de material desde el techo, indicando debilidad estructural en la mayoría de ellos, produciendo sobreexcavamiento, esto sucede en general por variaciones bruscas de presión durante momentos de llenado y/o vaciado del canal al inducirse compresiones y descompresiones repentinas en las paredes, así como en el techo.

### 3.4.2. Campaña de Aforos en Sifones

Para un adecuado diagnóstico de las obras tipo sifones, se procedió a verificar su adecuado funcionamiento a través de las mediciones de caudal que, a la entrada y a la salida del sifón, con el objetivo de detectar alguna falla en éste.

Se ejecutó una campaña de aforos midiendo los caudales de entrada y de salida de 26 sifones distribuidos en las 2 regiones (13 por cada región).

Para la realización de los aforos se han seleccionado los sifones que presentan peores puntajes en Factores Técnicos y de Gestión, además de privilegiar sifones de mayor longitud y diámetro.

Para la interpretación de los resultados se debe tener en cuenta que el molinete tiene un error instrumental del +/- 2%, el que junto a las variaciones producto de geometría imperfecta en los canales de riego, lleva el margen de error de la medición del caudal a un 5%.

De los 13 sifones aforados en la Región Metropolitana, 5 de ellos presentan un nivel de pérdidas importante, llegando incluso hasta un 30% en los casos de los canales Codigua y Chocalán.

Con relación a la región de Valparaíso, de los 13 sifones aforados en esta región, 9 presentan un nivel de pérdidas importante, llegando incluso hasta un 71% en el caso del canal Alicahue, aunque en ese caso el bajo caudal aforado ( $Q < 15$  l/s) distorsiona el porcentaje. Se consideran más representativos los casos de los canales La Petaca y San Miguel, que presentan pérdidas entre 28% y 38%, respectivamente.

### 3.5. Módulo de Infraestructura de Riego

De acuerdo con la información que se recopiló durante el estudio, se ingresaron las características de 700 canales canales matrices en el al denominado “Módulo de infraestructura del ESIR (Sistema de Información Integral de Riego)”

### 3.6. Módulo de Catastro de Singularidades

Como ya fue mencionado, el catastro en terreno fue desarrollado usando la aplicación entregada por la CNR, que permite ingresar información directamente al Módulo de Catastro de Singularidades del ESIR.

Se ingresaron al módulo 436 fichas asociadas a 68 canales de riego visitados.

## 4. PÉRDIDA AGROECONÓMICA POR COLAPSO DE LA INFRAESTRUCTURA CRÍTICA

Se desarrolló la determinación de las superficies afectadas por colapso de la infraestructura crítica identificada, y se estimó la pérdida agroeconómica ocasionada por dicho colapso.

Las superficies afectadas se determinaron usando el área de influencia del canal, y suponiendo que afectación se localiza hacia aguas abajo de la obra crítica.

La estimación de pérdidas económicas se efectuó considerando la duración en cantidad de días en que el cultivo no recibe recursos hídricos. De esta forma se procedió a determinar pérdidas para un período de 7, 15 y 21 días, para cada obra crítica. Para estos efectos se consideró la matriz de cultivos determinadas según las encuestas realizadas, la que se usa en conjunto con un porcentaje de pérdida dependiendo de la especie y período sin riego.

En la siguiente tabla se muestran las pérdidas agroeconómicas totalizadas por región, según la superficie afectada:

**Tabla 4-1 Pérdidas Agroeconómicas por Colapso de Obras**

Región	Área afectada (Ha)	Pérdidas 7 días (millones de \$)	Pérdidas 15 días (millones de \$)	Pérdidas 21 días (millones de \$)	Pérdidas 100% (millones de \$)
Metropolitana	102.007	145.262	284.572	500.361	509.514
Valparaíso	47.496	64.780	128.838	230.718	234.228

Fuente: Elaboración propia

## 5. ESTIMACIÓN DE COSTOS DE REPARACIÓN Y/O REHABILITACIÓN

### 5.1. Costo de Obras Seleccionadas

La estimación de costos consideró al menos una obra por cada canal matriz con un  $Q > 2 \text{ m}^3/\text{s}$ , lo que se tradujo en estimar costos de 70 obras entre el universo de las 436 obras catastradas.

El criterio de selección de las obras es su representatividad en términos de tipologías de obras y rangos de caudales. Una vez que se tuvieron los precios representativos, se generaron curvas de precios aplicables al resto de las obras, según su tipologías y caudal de porteo.

Considerando la variedad de las obras catastradas, se requerirán distintos tipos de reparación y/o rehabilitación, por lo que, para una cierta tipología, puede ser necesario diseñar más de una solución.

En la siguiente tabla se presenta el resumen de las obras seleccionadas para diseño y valorización, y su distribución según tipología de obra y caudal de porteo:

**Tabla 5-1 Resumen Obras Seleccionadas para Diseño y Valorización**

#	Tipo de Obra	Cant.	%	Cantidad de Obras Seleccionadas por Rango de Caudal					Total Obras Seleccionadas
				Q < 3 (m <sup>3</sup> /s)	3 ≤ Q < 5 (m <sup>3</sup> /s)	5 ≤ Q < 7 (m <sup>3</sup> /s)	7 ≤ Q < 15 (m <sup>3</sup> /s)	Q ≥ 15 (m <sup>3</sup> /s)	
1	Bocatoma permanente	23	5,3%	2	0	0	1	1	4
2	Canoa	93	21,3%	8	2	2	1	2	15
3	Sifón	62	14,2%	3	6	1	0	0	10
4	Túnel	72	16,5%	2	3	2	4	1	12
5	Zona de derrumbes	98	22,5%	8	4	2	2	0	16
6	Bocatoma temporal	20	4,6%	1	1	0	1	0	3
7	Marco partidador	16	3,7%	1	0	1	0	0	2
8	Compuerta regulación	10	2,3%	0	0	0	1	0	1
9	Aforador	2	0,5%	0	0	0	0	0	0
10	Cruce de camino/FFCC	24	5,5%	1	2	0	0	0	3
11	Cruce de cauce	12	2,8%	3	0	0	0	0	3
12	Obra de descarga	4	0,9%	0	0	0	0	1	1
	<b>TOTALES</b>	<b>436</b>	<b>100%</b>	<b>29</b>	<b>18</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>70</b>

Fuente: Elaboración propia

### 5.2. Estimación de Costos para las Obras Catastradas

Luego que se obtienen los costos estimados para la rehabilitación de las 70 obras seleccionadas,

se procedió a utilizar dicha base de costos para extrapolar los costos de rehabilitación del resto de las 436 obras catastradas, exceptuando las obras que como resultado del catastro se consideran en buen estado y que no requieren rehabilitación actualmente.

En los anexos del estudio, se incluye una planilla con los costos resultantes para todas las obras valorizadas.

### 5.2.1. Metodología de extrapolación de costos

Para cada tipología de rehabilitación, se obtuvo la característica de la obra que tiene mejor correlación con el costo de la rehabilitación. Entre las características analizadas se tienen: caudal, longitud, ancho y altura de la obra. Se utilizaron esas características ya que son conocidas para todas las obras catastradas, por lo que es posible parametrizar la extrapolación en base a ellas.

Ahora bien, al ser obras de transporte de agua, el costo de la obra y de rehabilitaciones de ella tienen una relación intrínseca con el caudal de porteo de cada obra, por lo que se propone construir un polinomio que describa el costo de la obra en base a la característica de mejor correlación con el costo y con el caudal de porteo.

Para cada tipología, se construye una función de costo que tiene la siguiente forma:

$$\text{Costo} = m_1 * P1 + m_2 * P2 + n$$

Dónde:

- m1 : Constante de regresión asociada al parámetro 1
- P1 : Valor de parámetro 1 (normalmente longitud de la obra puede ser ancho o altura)
- m2 : Constante de regresión asociada al parámetro 2
- P2 : Valor de parámetro 2 (en general corresponde al caudal de porteo de la obra)
- n : Constante de regresión independiente

Los valores  $m_1$ ,  $m_2$  y  $n$  dependen de la base de costos y son calculados aplicando el método de los mínimos cuadrados, usando la función "Estimación Lineal" de Microsoft Excel. Para cada tipología de obra, se determinó una función de costo de rehabilitación.

Las funciones de costo se validaron estableciendo como criterio que los costos calculados por la función sean por lo menos mayor o igual al costo calculado en el presupuesto confeccionado,

es decir, evitar que la función de costo subestime el costo de las obras.

### 5.3. Priorización de la Infraestructura por Región

Se desarrolló la priorización de las obras críticas catastradas, desde el punto de vista de su estado actual, el impacto que tenga su eventual colapso y el costo asociado a su rehabilitación.

Para desarrollar la priorización, se confeccionó una matriz multicriterio basada en cinco factores, que son ponderados para llegar a un Índice de Priorización. Los factores considerados son detallados a continuación.

#### a) Superficie afectada en caso de colapso de la obra

Corresponde a la superficie que quedaría sin riego en el caso de que la obra colapse y se interrumpa el flujo en el canal de riego. Para su ingreso a la matriz, se normalizan las superficies de todas las obras, en un rango de 0 a 100, donde 100 corresponde a la superficie afectada máxima entre las obras catastradas. Mientras más cercano a 100 el valor de este factor tiene mayor prioridad efectuar la reparación y/o rehabilitación de la obra.

Para la ponderación final, este factor lleva un peso de 25%.

#### b) Riesgo de colapso de la obra

Corresponde al Deterioro de la obra, calculado a partir de las observaciones realizadas en terreno, entre ellas, los Factores Técnicos y de Gestión de la obra y su Grado de Mantención.

Este parámetro varía entre 0 y 100, con un número mayor representando un riesgo de colapso mayor. Un valor 0 de este parámetro significa que la obra está en óptimas condiciones, sin desgastes por su uso y con mantención regular, y un valor 100 significa que la obra está al borde del colapso, al final de su vida útil y que su funcionamiento es deficiente.

Para la ponderación final, este factor lleva un peso de 45%.

#### c) Tiempo de reposición en caso de colapso de la obra

Este parámetro varía entre 0 y 100, con un número mayor representando un largo tiempo requerido para recuperar el funcionamiento de la obra en caso de colapso.

Su valor se estima en función del tipo de obra, siendo menor para obras temporales o de movimiento de tierras, como bocatomas temporales y zonas de derrumbes, y mayor en casos de obras civiles complejas como sifones bajo carreteras y túneles. Un valor 0 de este parámetro significa que se puede recuperar la función de la obra con mínima intervención, dentro del mismo día incluso, y un valor 100 significa que en el caso de colapso de la obra se requieren meses para su reposición, por ejemplo, una bocatoma permanente en el río Maipo.

Para la ponderación final, este factor lleva un peso de 15%.

#### **d) Afectación al medio en caso de colapso de la obra**

Este parámetro varía entre 0 y 100, con un número mayor representando un impacto notorio sobre infraestructuras, viviendas y el medio ambiente. Su valor se estima en función de la distancia de la obra a núcleos urbanos o semiurbanos, zonas de sensibilidad ambiental y otros componentes del medio que puedan verse afectados por el colapso de la obra. Un valor 0 de este parámetro significa que la obra está alejada de población humana y otras zonas sensibles y por lo tanto su colapso no provoca un impacto, y un valor 100 significa que el colapso de la obra afectaría al desarrollo de actividades en su entorno, incluso representando un riesgo para la vida humana.

Para la ponderación final, este factor lleva un peso de 15%.

## **6. PROPOSICIÓN DE TRABAJOS DE MANTENCIÓN**

### **6.1. Mantenciones Generales**

En términos generales, y en función de conversaciones y entrevistas con los presidentes de OUAs de la región Metropolitana y región de Valparaíso, los trabajos de mantención que se proponen son los siguientes:

#### **a) Mantenciones fuera de temporada de riego:**

- Limpia y paleo de canales en invierno: corte de pasto laterales, sacar champas, troncos, volver a darle al canal la profundidad y la sección que le corresponde.
- Limpia de canales con retroexcavadora, excavadora, miniexcavadora, según la accesibilidad y la sección del canal.
- Reparaciones de obras civiles, construcción de obras nuevas.
- Raspado y pintura con antióxido de reglas limnimétricas, compuertas, agujas partidoras, etc.

- Limpia y despeje del "bote" que se saca del canal en cada limpia cuando es abundante y obstruye el paso en las servidumbres laterales (mesa del canal).
- Limpieza de sifones, canoas, túneles.
- Construcción de muros y revestimientos provisorios o definitivos en tramos que se filtran o donde se han producido derrumbes.

#### **b) Mantenciones durante la temporada de riego**

- Limpieza de bordes: corte de pasto, champas, retiro de ramas, árboles, etc.
- Aplicación de herbicidas en los bordes sobre el nivel del agua y en las servidumbres de paso.
- Reparaciones en sectores de filtraciones.
- Retiro de basura y pasto en puentes, entradas de tubos, agujas partidoras, marcos y en cualquier obstáculo dentro del canal en donde éstas se acumulan.
- Retiro de basura pesada: en general, los canales se utilizan como verdaderos camiones de basura; pudiendo encontrar colchones, refrigeradores, mucha ropa, muchas botellas plásticas, bolsas con basura, animales muertos, etc.

### **6.2. Costos de las Mantenciones de los Canales de Riego**

Se consultó a las OUAs de la región Metropolitana y de la V región de Valparaíso respecto a los costos de mantención mensual o anual de los canales de riego. En todas las OUAs consultadas respondieron que no disponían de alguna planilla de costos específicos, sino que disponían de costos como porcentaje del presupuesto anual de la OUAs; así, la información transmitida fue la siguiente:

- Asociación de canales Calle Larga y Pcochay: 50% del presupuesto anual de la asociación se utiliza en la mantención de los canales, que involucra labores de roza y limpia de los mismos, arreglo de obras de arte, etc.
- Junta de Vigilancia Tercera Sección del Mipo: existiría una cierta relación entre el tamaño del canal y el porcentaje de recursos que se destina a la mantención. Se señaló que entre el 40% y 50% del presupuesto anual de la asociación se destina a labores de mantención de los canales.
- Información de la Gerenta de la Federación de Vigilancias de los Ríos y Esteros de la región de O'Higgins: en aquellas de mayor tamaño y profesionalizadas, son las remuneraciones las que alcanzan el mayor porcentaje y relegan la mantención a valores en torno al 30% del presupuesto. Mientras más pequeñas y con mínima planilla de remuneraciones, la mantención de canales debe rondar el 50%, pasando a ser el mayor ítem de gastos.

## 7. MANUAL DE MANTENIMIENTO

Se desarrolló un documento denominado “Manual de Mantenimiento de la Infraestructura de Riego Extrapredial”, el que tiene por objetivo apoyar a las OUA que están a cargo del manejo de los canales matrices de la Región Metropolitana y Región de Valparaíso. El manual entrega los conceptos básicos para el mantenimiento de la infraestructura de su sistema de riego y permitirá a las OUA acceder a un material con lenguaje de fácil comprensión.

En el manual se incluyen trabajos preventivos y correctivos que con el transcurso del tiempo deban ejecutarse en los sistemas de riego, lo que se deben realizar bajo condiciones que no alteren las características fundamentales de las obras, de modo que se mantengan sus características funcionales.

## 8. PLAN DE CONTINGENCIA EN CASO DE COLAPSO

En la eventualidad del colapso de una obra, se recomienda previamente, elaborar un plan de contingencia asociado al mantenimiento de emergencia indicado anteriormente, que permita a cada una de las organizaciones, abordar una situación extraordinaria que potencialmente podría generar un impacto social y poner en riesgo la continuidad operacional de la OUA o de sus regantes.

Toda OUA debe tener identificadas el nivel de criticidad de su red en función de lo mencionado anteriormente. Esto permitirá definir un plan de contingencia según la realidad de cada infraestructura.

Considerando la realidad de cada organización y el grado de criticidad de las obras catastradas, se han identificado dos objetivos principales para preparar un plan de contingencia:

### a) Emergencia

Corresponde a un Plan de Respuesta inmediata, el cual permite realizar una evaluación y contención de daños inmediatos. El enfoque de este plan considera contener y disminuir daños a la vida y al quehacer humano, afectación a la salud, riesgo comunitario y todos aquellos impactos asociados al colapso de una obra.

### b) Continuidad Operacional

Corresponde a un Plan de Respuesta Programado, y busca responder a las necesidades de los

regantes y restablecer y/o mantener el abastecimiento del riego.

El plan de contingencia está directamente relacionado con los programas de mantenimiento de las obras, pero abordan objetivos complementarios. El mantenimiento de las obras es preventivo y permite anticiparse al potencial colapso. Por otro lado, el plan de contingencia busca responder en la eventualidad de un colapso y es de carácter reactivo aun cuando este plan haya sido elaborado y preparado con anticipación.

El Plan de Contingencia está elaborado bajo los siguientes componentes clave:

- Alcance de las obras
- Riesgo de ocurrencia
- Aspectos legales
- Capacidades y recursos
- Recursos físicos y logísticos
- Recursos económicos
- Roles y responsabilidades

### c) Permisos y Autorizaciones

La implementación del plan de contingencia debe estar en conformidad con los permisos y autorizaciones pertinentes a cada caso, los que están sujetos al tipo de obra, la jurisdicción o administración de la obra (OUA o DOH) y el financiamiento asociado a los trabajos de reparación o mantención de las obras. En la siguiente tabla se resumen las consideraciones asociadas a cada tipo de obra.

**Tabla 8-1 Permisos y Autorizaciones Asociadas a la Administración de las Obras**

Administración de la Obra	Tipo de Obra	Financiamiento	Permisos o Autorizaciones
OUA	Obras menores de conducción: caudal de porteo menor a 2 m <sup>3</sup> /s o menor a 0,5 m <sup>3</sup> /s en zonas urbanas (art. 294 CA)	CNR, Fondos Públicos, Fondos Propios	No requiere permiso DGA
	Bocatomas (art. 151 CA), obras mayores con caudal de porteo mayor a 2 m <sup>3</sup> /s o mayor a 0,5 m <sup>3</sup> /s en zonas urbanas (art. 294 CA) o que cruza un cauce natural (art. 294 CA)	CNR o Fondos Públicos	Requiere permiso DGA
DOH	Todas las obras construidas por la DOH previo al traspaso a la OUA	Solo fondos DOH o Públicos	No requiere permiso DGA

Fuente: Elaboración propia

## 9. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO (SIG)

Para el desarrollo del presente estudio, se generó información espacializada, tanto primaria como secundaria, para crear un completo sistema de información geográfico, compatible con el SIG de la CNR (ESIIR) y con el software QGIS en su versión 2.18.3.

Las coberturas se han generado en formato shape independientes, compuestos de los elementos gráficos y su espacialización, además de una completa base de datos con la información correspondiente al levantamiento de información y análisis realizados.

El SIG desarrollado es a nivel regional, enfocándose en el entorno de las cuencas de Río Ligua-Petorca, Aconcagua y Maipo los cuales se ubican desde las regiones de Valparaíso y Metropolitana.

A continuación, se muestra una figura tipo de la vista previa del contenido del proyecto QGIS.

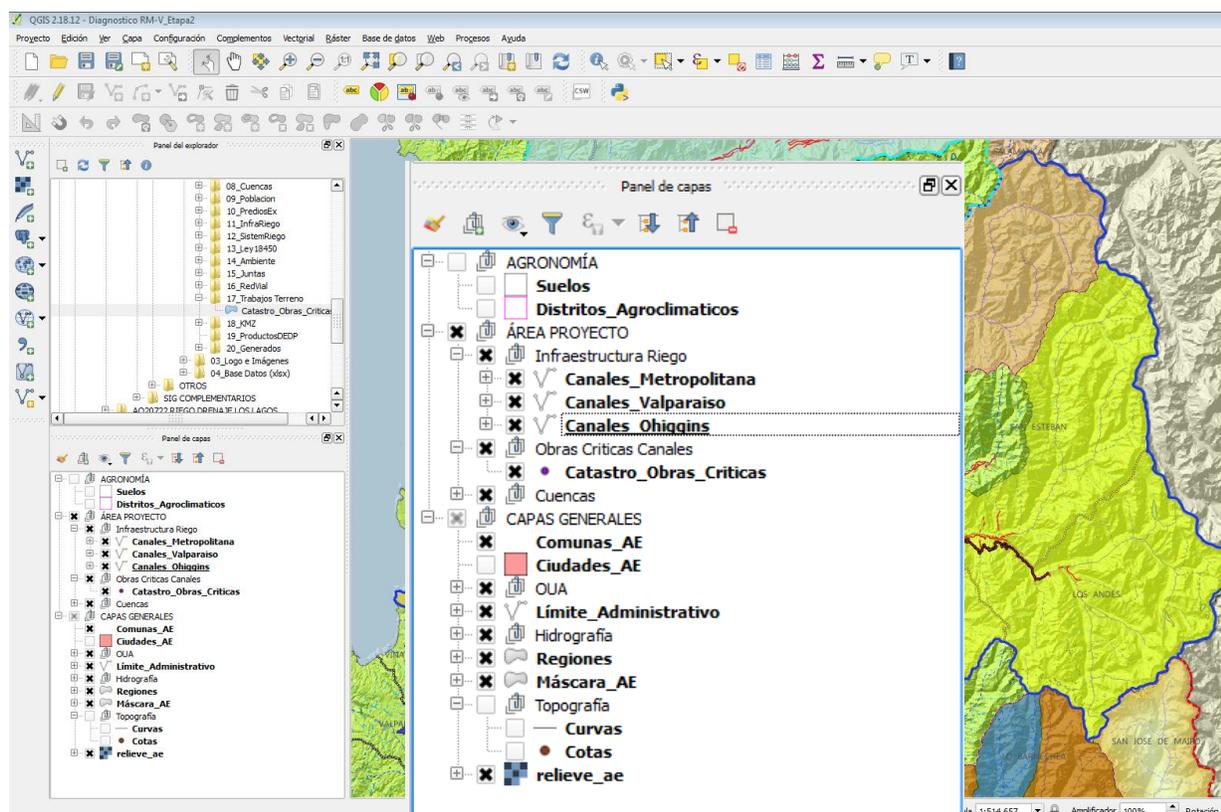


Figura 9-1 Contenido Proyecto QGIS Informe Final

Fuente: Elaboración propia

## 10. RELACIONAMIENTO COMUNITARIO Y PARTICIPACIÓN CIUDADANA

El proceso de relacionamiento comunitario y actividades de participación ciudadana desarrolladas durante el estudio permitió un acercamiento a las organizaciones de usuarios de agua identificadas en el estudio. Estas organizaciones se involucraron en el levantamiento de información y validación del diagnóstico, como primeros agentes conocedores de la situación en la cual se encuentran las obras críticas de conducción.

En la Región de Valparaíso, las juntas de vigilancia actualmente activas son las siguientes:

- Junta de Vigilancia de la Primera Sección del Río Aconcagua (27 canales)
- Junta de Vigilancia del Río Putaendo (37 comunidades de agua)
- Junta de Vigilancia de la Segunda Sección del Río Aconcagua (21 canales)
- Junta de Vigilancia de la Tercera Sección del Río Aconcagua (7 OUAs)

En la Región Metropolitana, las juntas de vigilancia actualmente activas son las siguientes:

- Junta de Vigilancia Primera Sección Río Maipo
- Junta de Vigilancia Tercera Sección Río Maipo
- Junta de Vigilancia Primera Sección Río Mapocho
- Junta de Vigilancia Tercera Sección Río Mapocho
- Estero Puangue Segunda Sección
- Río Mapocho Última Sección

Las primeras reuniones de Participación Ciudadana fueron realizadas entre junio y agosto del 2022, mayoritariamente en forma virtual. Se optó por generar reuniones con cada una de las Junta de Vigilancia para informar del proyecto, y en forma conjunta identificar los canales que cumplieran con los requisitos técnicos para ser parte del proyecto. Posterior a ello, se gestionó reunión con pequeños grupos de canales, o en forma particular con uno, de acuerdo con su disposición. De esta forma, se realizaron 22 reuniones de presentación en el territorio.

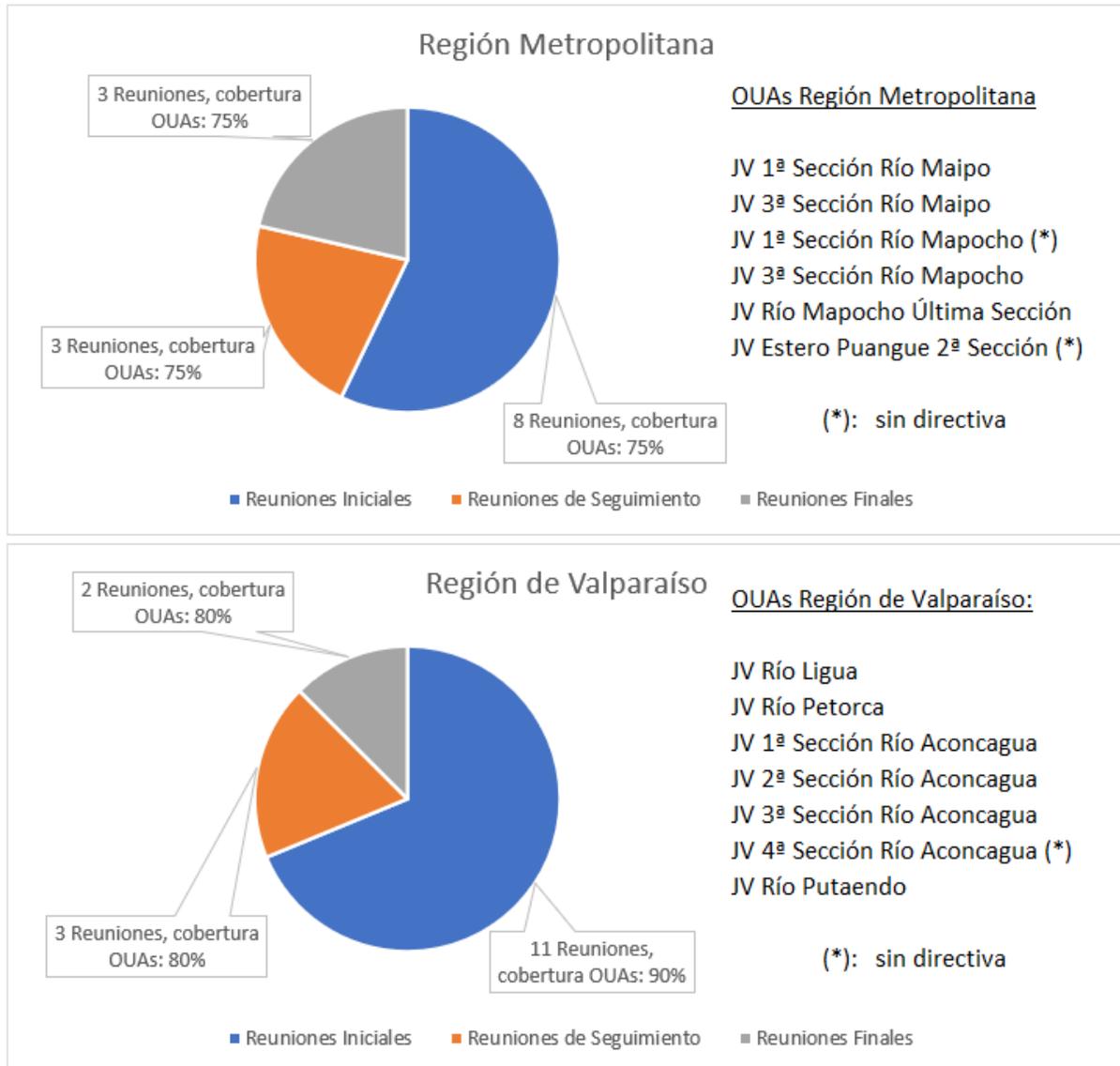
Las reuniones de seguimiento se realizaron de acuerdo con la modalidad sugerida por la Organización de Usuarios de Agua, ajustándose a sus fechas y horarios. En estas reuniones se presentó la primera aproximación diagnóstica de la infraestructura crítica de los canales, pudiendo cotejar y validar la información con los dirigentes de dichos canales.

Las reuniones finales de participación ciudadana se realizaron en Mayo de 2023, permitiendo consolidar un diagnóstico ajustado a la realidad de sus propios actores locales. Estas reuniones

fueron todas instancias presenciales.

En los siguientes gráficos se resume la cantidad y cobertura de las reuniones realizadas:

**Gráfico 10-1 Resumen Reuniones con OUAs**



Fuente: Elaboración propia.

En términos generales, el proceso de Participación Ciudadana se cumplió de acuerdo con lo estipulado en los términos de referencia, siendo modificado sólo en tiempos, para dar cumplimiento en forma óptima con sus objetivos. Estas modificaciones se debieron principalmente a las contingencias políticas, y a la gran cantidad de actores y organizaciones que conforman el área de estudio.

Durante este proceso se involucraron principalmente a las directivas de Juntas de Vigilancia y OUAs, y la participación de ellos en cada instancia fue de acuerdo con el interés y disposición de los actores frente al estudio.

Dentro de las preocupaciones que surgieron a lo largo de todas las actividades de participación ciudadana, fueron los temas relativos a los concursos de la Ley 18.450, que permiten el mejoramiento de la infraestructura crítica, en lo relacionado con los gastos que deberían asumir los canalistas.

## 11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 11.1. Conclusiones

- El análisis de los antecedentes bibliográficos que fue realizado entregó una buena aproximación del universo de los canales matrices con caudal de porteo mayor a 2 m<sup>3</sup>/s que existen en las regiones Metropolitana y de Valparaíso.
- Las dificultades que se tuvieron para contactar a las organizaciones de algunos canales se debieron en general a que existen varios canales en la zona urbana abandonados, y, en menor medida, a la reticencia de las OUAs a entregar información de sus canales.
- De acuerdo con la información recopilada de la red de canales, se pudo constatar que respecto al total de canales existentes, los canales con caudal mayor a 2 m<sup>3</sup>/s representan un 0,8% (44 de 5.193) en la región Metropolitana y un 0,4% (25 de 6.166) en la región de Valparaíso. Ahora bien, respecto a los canales matrices, las canales con caudal mayor a 2 m<sup>3</sup>/s representan un 13,7% (44 de 321) para la región Metropolitana y un 6,6% (25 de 379) para la región de Valparaíso.
- Es importante destacar que los canales matrices identificados representan un 6,2% (321 de 5.193) y un 6,1% (379 de 6.166) del total de la red de canales, para las regiones Metropolitana y de Valparaíso, respectivamente. El total de la red de canales incluye canales derivados, sub-derivados, y ramales.
- Si bien durante el proceso de catastro se pudo levantar un total de 436 obras críticas, en algunos canales las situaciones más complicadas, identificadas por los propios canalistas, no estaban asociadas a alguna obra en particular. En efecto, uno de los ejemplos más reiterativos fue la acumulación de basura que muchos canales sufren al pasar por zonas urbanas.

- De acuerdo con el catastro realizado, se puede concluir que la mayoría de los sectores críticos en los canales corresponden a zonas de derrumbes (22,5%) y canoas en mal estado (21,3%). Las zonas de derrumbes abarcan tramos en que la sección del canal se ve debilitada, ya sea por filtraciones hacia fuera del canal, caída de material hacia el canal, o una combinación de ambas.
- Entre los trabajos de terreno realizados, los aforos en sifones permitieron establecer el estado de varios de estos, alertando a las OUA de las pérdidas de caudal que se producen en los sifones más críticos.
- Por otro lado, con las mediciones geofísicas realizadas en varios túneles a través de perfiles MASW y refracción sísmica, junto con las visitas técnicas de un especialista en geología de túneles, permitieron evaluar el estado de éstos, pudiendo definir la estabilidad de los mismos en base al tipo de terreno en que fueron construidos y la calidad actual de la roca.
- Respecto al estado de las obras, en general se encuentran en un estado regular, debido principalmente a que en muchas de ellas el mantenimiento ha sido deficiente, y no ha ido más allá del mínimo necesario para mantener la continuidad de la entrega de agua. El porcentaje de obras en un estado crítico, es decir, que requieren intervención urgente, es cercano al 20% del total de obras identificadas.
- El uso del suelo en la Región Metropolitana se concentra básicamente en el cultivo de frutales (54,2%), secundariamente hortalizas y chacras (18%) y finalmente empastadas, principalmente alfalfa (11%), mientras que en la Región de Valparaíso se concentra básicamente en el cultivo de frutales (55,9%), secundariamente hortalizas y chacras (13%) y finalmente empastadas, principalmente alfalfa (5%).
- En la Región Metropolitana, en caso de que todo el sistema de canales colapsara, en términos monetarios se tendrían pérdidas por 5,65 millones/ha a precios de mercado y 5,8 millones/ha a precios sociales. En la Región de Valparaíso, las pérdidas serían del orden de 6,9 millones/ha a precios de mercado y 6,95 millones/ha a precios sociales.
- Existen diferencias en el valor de las pérdidas entre las regiones de Valparaíso y Metropolitana, con valores unitarios superiores en la Región de Valparaíso. Dicha diferencia en promedio alcanza los 1,25 millones/ha a precios de mercado y 1,15 millones/ha a precios sociales. Esta leve diferencia se debe a que el uso del suelo en la Región de Valparaíso se encuentra más intensificada con especies frutales que cultivos

anuales y hortalizas con relación a la Región Metropolitana.

- La estimación de pérdidas económicas por colapso de obras se efectuó considerando la duración en cantidad de días en que el cultivo no recibe recursos hídricos. De esta forma se procedió a determinar pérdidas para un período de 7, 15 y 21 días.
- En general las pérdidas agronómicas por colapso de la infraestructura de riego son relevantes, sobre todo en especies altamente rentables como frutales, donde una pérdida del 100% significa la pérdida de toda la inversión. Si bien en otros cultivos como hortalizas, cereales o chacras, las pérdidas, aunque son considerables, sólo corresponden a una temporada de cultivo.
- En la estimación de costos de rehabilitación, se construyó una relación que incluyó las características geométricas de la obra (ancho o longitud) y el caudal de porteo. En el proceso de extrapolación de los costos, se pudo constatar una dispersión de los presupuestos en algunas tipologías de obras, especialmente en canoas y sifones, que dependen de la precisión con que se pudieron estimar las cantidades de obras en base al catastro realizado.
- En relación a los costos de las obras, entre las 231 obras catastradas en la Región Metropolitana se han valorizado 150 obras, que en total suman un costo de \$16 mil millones. Para las 81 obras no valorizadas en esta región se consideraron que presentan un buen estado de conservación, por lo que no requieren ejecución de obras. En resumen, para las obras de esta región el costo promedio es de \$107 millones, con un costo mínimo de \$4 millones y un costo máximo de \$2 mil millones.
- En relación a los costos de las obras, entre las 205 obras catastradas en la Región de Valparaíso se han valorizado 134 obras, que en total suman un costo de \$38 mil millones. Para las 71 obras no valorizadas en esta región se consideraron que presentan un buen estado de conservación, por lo que no requieren ejecución de obras. En resumen, para las obras de esta región el costo promedio es de \$284 millones, con un costo mínimo de \$4 millones y un costo máximo de \$5 mil millones.
- Las obras que resultaron priorizadas en la Región Metropolitana correspondieron principalmente a infraestructura compleja y antigua, como lo son túneles y canoas de grandes dimensiones y construidas hace varias décadas, junto con tramos de canales que requieren revestimiento debido a riesgo de derrumbes y permanentes pérdidas de agua.

- Las obras que resultaron priorizadas en la Región de Valparaíso correspondieron principalmente a infraestructura compleja y antigua, como lo son túneles y bocatomas de grandes dimensiones y construidas hace varias décadas, junto con tramos de canales que requieren revestimiento debido a riesgo de derrumbes y permanentes pérdidas de agua.
- A través de bibliografía y contacto con la OUA, se propusieron los principales trabajos de mantención que debieran aplicarse a las diferentes tipologías de las obras identificadas. Con relación a los costos de mantención, las OUA destinan entre el 30% y el 40% de su presupuesto anual.
- Con relación, al proceso de participación ciudadana, se pueden identificar los siguientes aspectos. Se identificaron como condiciones positivas; la buena disposición de las directivas de las Juntas de Vigilancia para ser partícipes del estudio, así como también para ser un nexo con los canalistas. Por otro lado, se visualizaron como obstaculizadores del proceso, que, en las cuencas estudiadas, existe un bajo nivel de organización de las OUA, o como es el caso de la Primera Sección del Río Maipo tiene un alto nivel organizativo, pero no presenta una disposición óptima para trabajar con estamentos estatales. Además, existe poca claridad y/o prioridad por parte de las OUA, para abordar el mejoramiento que requiera la infraestructura crítica.

## 11.2. Recomendaciones

- Con el objetivo de tener canales de comunicación eficaces y permanentes en el tiempo entre la CNR y las OUA, se recomienda un seguimiento a las identificadas en el presente estudio, a partir del listado consolidado de contactos elaborado, donde se incluyó la información de dirección, teléfono y correo electrónico.
- Para futuros estudios similares al desarrollado, cuando se programen las campañas de terreno, se recomienda que las visitas se focalicen por tipología de obra, por ejemplo, para canoas y sifones. Por otro lado, se recomienda que un especialista geólogo se incorpore al equipo de terreno cuando se catastren obras tipo túneles.
- Respecto a la priorización de las obras, realizada en base a factores como nivel de criticidad, afectación al medioambiente, entre otros, se recomienda avanzar hacia una formulación estandarizada de este análisis, de modo de que sea aplicable en futuros estudios similares al desarrollado.

- Para las obras que resultaron priorizadas, se recomienda que los costos de rehabilitación estimados y/o extrapolados, sean considerados sólo como referencial.
- Con relación a la superficie de riego, es relevante dar prioridad al mejoramiento de canales en zonas donde se concentre superficie frutal, de hortalizas e invernaderos. Lo anterior por la importancia de las pérdidas económicas que se pueden ocasionar cuando alguna de las obras colapse.
- Respecto al proceso de participación ciudadana, se recomienda considerar dos temas que surgieron a lo largo del estudio, como esenciales para dar curso a la concreción de las mejoras propuestas. Lo primero es considerar que los canales que fueron parte del estudio contarán con un diagnóstico técnico, certificado por la CNR, lo que permitirá que la Dirección Regional pueda realizar un seguimiento del estado de dichas obras. En segundo lugar, contar con un diagnóstico de las obras críticas, será una base para que las OUAs se presenten a concursos de la CNR o puedan utilizar otras fuentes de financiamiento que permitan abordar el mejoramiento de las obras de conducción que, de acuerdo con el diagnóstico de este estudio, así lo requieran.
- En base a los resultados del estudio, se recomienda que la Comisión Nacional de Riego genere concursos de fomento en el marco de la Ley de Riego, que puedan ir en apoyo a la rehabilitación de obras identificadas como críticas, tanto en este como en otros estudios.