



**DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS**

**Santiago, RM**

**DIAGNÓSTICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE  
RED NACIONAL DE ALERTA DE EVENTOS  
HIDROMETEOROLÓGICOS EXTREMOS**

**S.I.T. N° 481 de 2021**

**ETAPA IV**

**TOMO VI REGIÓN DE VALPARAÍSO**

**RESUMEN EJECUTIVO**

**REALIZADO POR:  
INRHED SPA- EMERGE INGENIERÍA**

**Santiago, Octubre 2021**

## **MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS**

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

Director General de Aguas  
Ingeniero Comercial Sr. Oscar Cristi Marfil

Jefe de División de Hidrología  
Ingeniero Civil, Sr. Luis Alberto Moreno

Inspector Fiscal  
Geógrafo, Sr. Rodrigo Sáez

INRHED SPA  
Reynaldo Payano Almánzar  
Jefe de Estudio  
Ingeniero Civil, Hidrólogo PhD

Profesionales:  
Ingeniero de Proyecto Jorge Andrés Smith Irazábal  
Economista Jean Maldonado  
Especialista Geomensura, Carlos Castro  
Ingeniero de Proyecto, Carla Bravo  
Ingeniero Civil, Alexander Fuentealba  
Sociólogo Andrés Santander

## Tabla de Contenido General

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1	OBJETIVOS .....	2
1.1.1	Objetivo General .....	2
1.1.2	Objetivos específicos .....	2
<b>2</b>	<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>RED HIDROMÉTRICA CRÍTICA FINAL .....</b>	<b>7</b>
3.1	ESTACIONES CRÍTICAS FINALES .....	10
3.2	ESTACIONES NUEVAS.....	12
<b>4</b>	<b>PLAN DE ACCIÓN .....</b>	<b>13</b>
4.1	VALORIZACIÓN DE LA RED .....	13
4.2	IDENTIFICACIÓN DE BRECHAS .....	14
4.2.1	Estaciones meteorológicas.....	14
4.2.2	Estaciones fluviométricas .....	14
4.3	EVALUACIÓN DE COSTOS .....	16
4.3.1	Estaciones meteorológicas.....	17
4.3.2	Estaciones fluviométricas .....	18
4.3.3	Costo total .....	18
<b>5</b>	<b>PLAN DE ACCIÓN RED PIEZOMÉTRICA .....</b>	<b>19</b>
5.1	IDENTIFICACIÓN LUGAR DE POZOS.....	19
5.2	EVALUACIÓN DE COSTOS .....	22
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>23</b>
6.1	DISPONIBILIDAD DE DATOS.....	23
6.2	EVENTOS EXTREMOS .....	23
6.3	DISTRIBUCIÓN ESPACIAL.....	23
6.4	RED HIDROMÉTRICA FINAL .....	24
6.5	RED PIEZOMÉTRICA.....	24

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1 DIAGRAMA ETAPA I: SELECCIÓN DE ESTACIONES CRÍTICAS PRELIMINARES.....	4
FIGURA 2.2 DIAGRAMA ETAPA II: REVISIÓN ESTACIONES CRÍTICAS SELECCIONADAS .....	5
FIGURA 2.3 DIAGRAMA ETAPA III: SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA .....	5
FIGURA 2.4 DIAGRAMA ETAPA IV: PLAN DE ACCIÓN.....	6
FIGURA 2.5 DIAGRAMA METODOLOGÍA ANÁLISIS CRÍTICO RED PIEZOMÉTRICA .....	6
FIGURA 3.1 RED HIDROMÉTRICA CRÍTICA FINAL .....	8
FIGURA 5.1 PROPUESTA DE ESTACIONES PIEZOMÉTRICAS, REGIÓN DE VALPARAÍSO.....	21

## Índice de Tablas

TABLA 4.1 VALOR DE LAS ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS CRÍTICAS RED VALPARAÍSO .....	13
TABLA 4.2 BRECHAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS CRÍTICAS, REGIÓN VALPARAÍSO .....	14
TABLA 4.3 BRECHAS ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS CRÍTICAS, REGIÓN VALPARAÍSO .....	15
TABLA 4.4 FACTOR ELEVACIÓN .....	16
TABLA 4.5 FACTOR DE ACCESIBILIDAD .....	16
TABLA 4.6 FACTOR TAMAÑO ESTACIÓN .....	16
TABLA 4.7 CAUDALES ASOCIADOS A UN PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS .....	17
TABLA 4.8 COSTOS PLAN DE ACCIÓN ESTACIÓN METEOROLÓGICA .....	17
TABLA 4.9 COSTOS PLAN DE ACCIÓN ESTACIÓN FLUVIOMÉTRICA.....	18
TABLA 5.1 CANTIDAD DE POZOS PROPUESTOS .....	19

# 1 INTRODUCCIÓN

La Dirección General de Aguas (DGA), ha encargado el estudio "**Diagnóstico para la implementación de Red Nacional de Alerta de Eventos Hidrometeorológicos Extremos**". DGA-MOP ID 1019-22-LQ21" a la UTP INRHED SPA – EMERGE INGENIERÍA, con el objetivo de diagnosticar de forma interdisciplinaria el estado de la Red Hidrométrica de las Macro Zonas Norte y Centro Norte del país y establecer medidas de infraestructura necesarias para dar cobertura a las debilidades críticas de la red de monitoreo hidrométrico con enfoque en la protección civil, y la gestión temprana de riesgos naturales. Lo anterior enfocado a futuro para la elaboración de una red de alerta.

El estudio comprende cuatro etapas, cada una de ellas complementa e integra nuevos antecedentes con la finalidad de desarrollar un producto integrado que entregue cumplimiento a lo exigido en las bases técnicas y propuesta metodológica de las consultoras.

El presente informe corresponde a la etapa final del proyecto, que incluye el desarrollo de las etapas I, II, III y IV. A su vez este informe se encuentra dividido en tomos por cada región en estudio y ordenados de norte a sur, los cuales son los siguientes:

- Tomo I. Informe Red Arica y Parinacota
- Tomo II. Informe Red Tarapacá
- Tomo III. Informe Red Antofagasta
- Tomo IV. Informe Red Atacama
- Tomo V. Informe Red Coquimbo
- Tomo VI. Informe Red Valparaíso
- Tomo VII. Informe Red Metropolitana

A continuación, se presenta el Tomo VI correspondiente a la Red de la Región de Valparaíso, enfocado en los siguientes temas principales:

- Recopilación y análisis de antecedentes
- Evaluación y diagnóstico del estado actual de la red hidrométrica de la región
- Reunión con los Jefes Regionales de Hidrología
- Visitas a terreno

- Análisis estadístico y de calidad de la red hidrométrica
- Determinación de estaciones críticas
- Fichas diagnóstico de las estaciones críticas
- Evaluación y diagnóstico del estado actual de la red piezométrica
- Plan de acción
- Archivos SIG generados

Siendo la finalidad de este informe poder entregar todos los antecedentes necesarios para poder contar con una red robusta pensando en la protección civil.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo General**

Diagnosticar de forma interdisciplinaria el estado de la Red Hidrométrica de las Macro Zonas Norte y Centro Norte del país y establecer las medidas de infraestructuras necesarias para dar cobertura a las debilidades críticas de la red de monitoreo hidrométrico con enfoque en la protección civil y la gestión temprana de riesgos naturales.

Diagnosticar de forma interdisciplinaria el estado de la Red Piezométrica de las Macro Zonas Norte y Centro Norte del país, estableciendo mejoras en aumentar la red de monitoreo con enfoque en los Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común que se encuentren en categoría de prohibición y restricción.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- 1- Revisar y recopilar los antecedentes bibliográficos que permitan conocer estudios de carácter similar, así como también adquirir nuevos conocimientos respecto a la zona de estudio.
- 2- Realizar visitas a terreno que permitan conocer el estado actual de la red hidrométrica.
- 3- Elaborar fichas de las estaciones visitadas, que reflejen los problemas generales de la red hidrométrica.
- 4- Definir estaciones críticas preliminares y nuevas para la protección civil, la gestión de desastres y la gestión integrada de recursos hídricos.

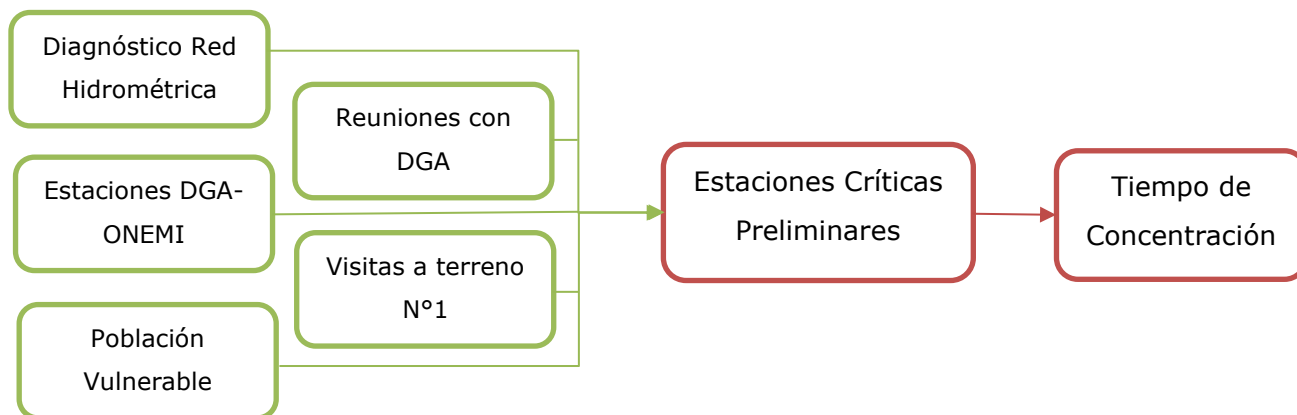
- 5- Determinar tiempos de concentración de las estaciones críticas preliminares y nuevas.
- 6- Realizar visitas a terreno a las estaciones críticas preliminares, que permitan conocer el estado de estas estaciones.
- 7- Elaborar fichas de las estaciones críticas finales visitadas, que reflejen los problemas de cada estación.
- 8- Validar las estaciones hidrométricas determinadas como críticas preliminares, dando paso a la clasificación de estaciones críticas finales.
- 9- Efectuar una revisión de los registros estadísticos que permita establecer relaciones entre el registro de precipitación máxima, el caudal máximo instantáneo y eventos extremos ocurridos en las zonas de estudio.
- 10- Definir una estación meteorológica estándar.
- 11- Determinar las brechas y realizar una evaluación económica entre la estación meteorológica estándar y las estaciones definidas como críticas finales.
- 12- Definir una estación fluviométrica estándar.
- 13- Determinar las brechas y realizar una evaluación económica entre la estación fluviométrica estándar y las estaciones definidas como críticas finales.
- 14- Realizar un análisis crítico de la red piezométrica con la finalidad de obtener un diagnóstico panorámico, estableciendo posibles mejoras relativas a aumentar la red de monitoreo para enfrentar eventos extremos de sequía.

## 2 METODOLOGÍA

A continuación, se presenta la metodología para el desarrollo del presente estudio. La metodología se divide en 4 etapas: 1) Selección de estaciones críticas preliminares, 2) Revisión de las estaciones críticas seleccionadas, 3) Generación del SIG y 4) Plan de Acción. La Figura 2.1, Figura 2.2, Figura 2.3 y Figura 2.4 muestran un diagrama conceptual de las Etapas I, II, III y IV, respectivamente.

### Etapa I: Selección de estaciones críticas preliminares

1. Recopilación y revisión antecedentes
2. Diagnóstico de la red hidrométrica
3. Reuniones con los Jefes Regionales de Hidrología
4. Estaciones protocolo DGA - ONEMI
5. Visitas a terreno N°1
6. Selección estaciones críticas preliminares
7. Población vulnerable
8. Tiempo de concentración

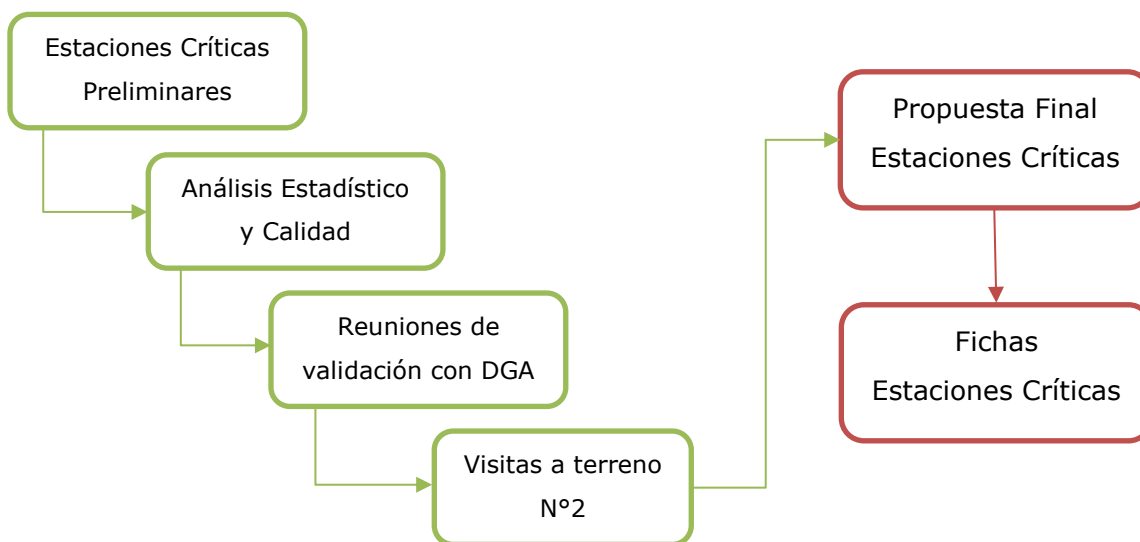


**Figura 2.1 Diagrama Etapa I: Selección de estaciones críticas preliminares**



### Etapa II: Revisión de estaciones críticas seleccionadas

9. Análisis estadístico y calidad de la red
10. Reunión de validación con los Jefes Regionales de Hidrología
11. Visita a terreno N°2
12. Propuesta final estaciones críticas
13. Fichas estaciones críticas
14. Conclusiones



**Figura 2.2 Diagrama Etapa II: revisión estaciones críticas seleccionadas**

### Etapa III: Generación del Sistema de Información Geográfica (SIG)

15. Entrega de información para Geodatabases o shape files.



**Figura 2.3 Diagrama Etapa III: Sistema de Información Geográfica**

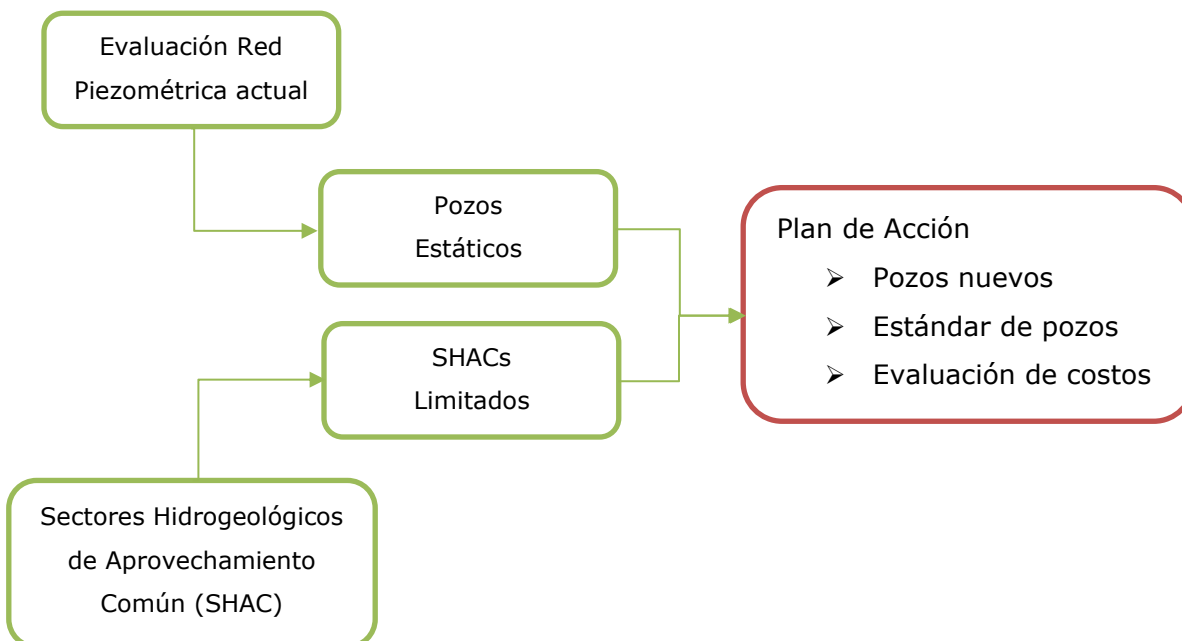
#### Etapa IV: Plan de Acción

16. Estaciones críticas finales
17. Definición de estación estándar
18. Identificación de brechas
19. Evaluación de costos



**Figura 2.4 Diagrama Etapa IV: Plan de Acción**

Paralelamente, en la Figura 2.5 se presenta la metodología del análisis crítico de la red piezométrica.



**Figura 2.5 Diagrama metodología análisis crítico Red Piezométrica**

### **3 RED HIDROMÉTRICA CRÍTICA FINAL**

Como resultado de los análisis expuestos entre los capítulos 4 y 11 del informe final del estudio, se llegó a la lista de estaciones que componen la red hidrométrica final.

La Figura 3.1 muestra la configuración de la red hidrométrica final compuesta por las siguientes estaciones.

- Estaciones fluviométricas
  - Río Aconcagua en Chacabuquito
  - Río Aconcagua en San Felipe 2
  - Río Alicahue en Colliguay
  - Río Blanco antes junta Río de Los Leones
  - Río Colorado en Colorado
  - Río Putaendo en resguardo Los Patos
  - Río Sobrante en Piñadero
- Estación meteorológica
  - Pedernal Hacienda

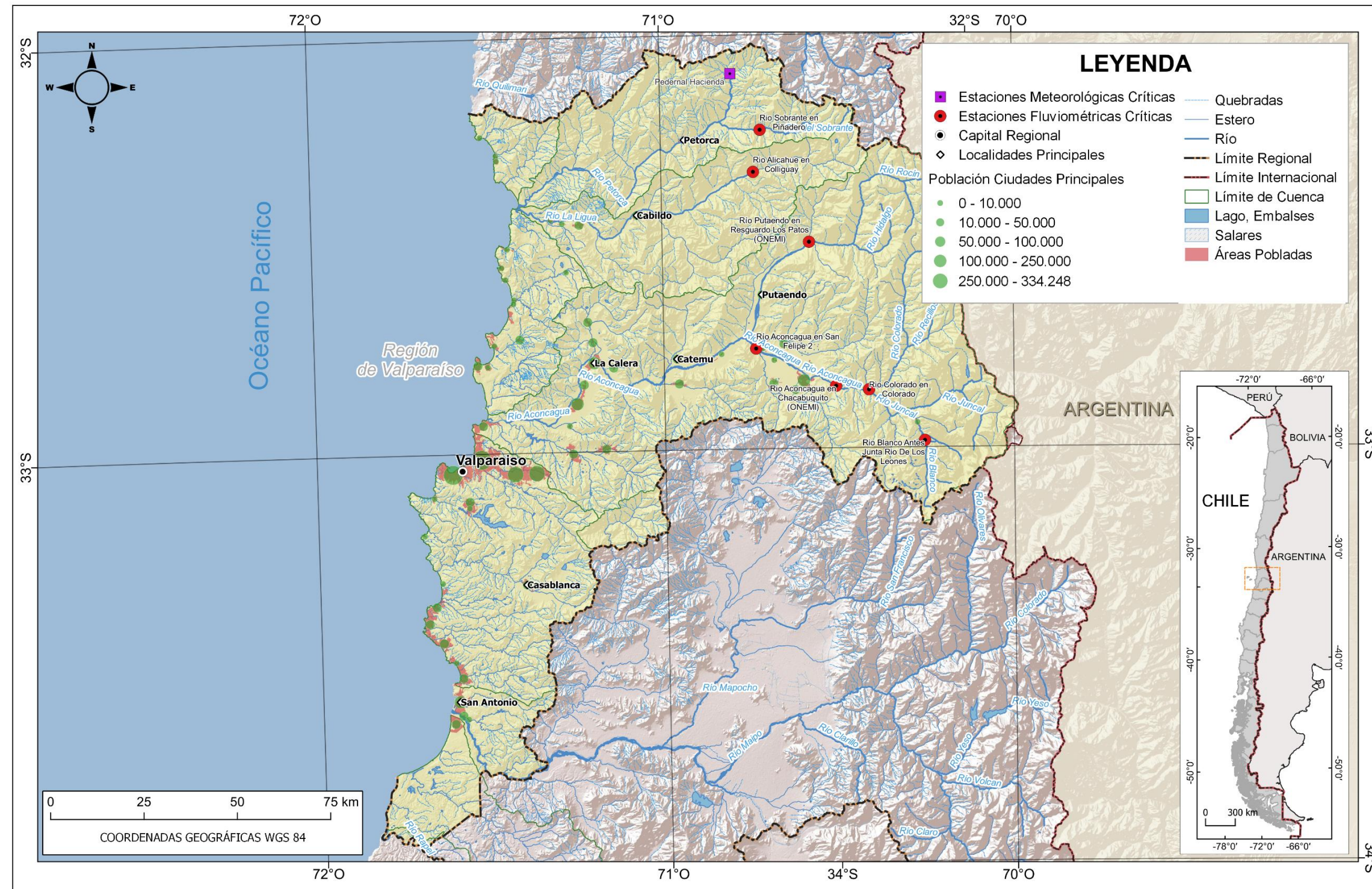


Figura 3.1 Red Hidrométrica crítica final

A modo global se presenta un resumen sobre los puntos más importantes de la red crítica.

- **Estadística general:** De forma global se aprecia que en la región existe un buen registro de datos, solo presenta deficiencia en la medición de la variable de temperatura. En general son estaciones relativamente antiguas, con excepción de la estación Río Blanco antes junta Río de Los Leones, la cual entro en vigencia el año 2015.
- **Obras existentes y deficiencias:**
  - **Acceso:** En el caso de las estaciones visitadas en esta región se destaca que la mayoría poseen un buen acceso. Solo en el caso de Río Sobrante en Piñadero y Río Alicahue en Colliguay, sus accesos son regulados por portones.
  - **Emplazamiento:** Para el caso de las estaciones fluviométricas visitadas, poseen un buen emplazamiento respecto al cauce, ubicadas en secciones rectas de los ríos, a excepción de Río Colorado en Colorado. En tanto, la estación meteorológica crítica Pedernal Hacienda posee su pluviómetro despejado.
  - **Estructura:** Respecto a la estructura de las estaciones fluviométricas visitadas, la estación que presenta mayor problema es Río Colorado en Colorado, debido a que sus instrumentos se encuentran colgados debido al encauzamiento del río.
  - **Instrumentación:** Las estaciones en general se encuentran bien equipadas, cuentan con datalogger y transmisión satelital. A excepción de la estación fluviométrica Río Colorado en Colorado. En el caso de la estación meteorológica Pedernal Hacienda solo cuenta con un pluviómetro Hellman.
  - **Otro:** En general las estaciones fluviométricas necesitan mantención y reparaciones menores a excepción de Río Colorado en Colorado. Mientras que para el caso de las estaciones meteorológicas se necesita actualizar sus instrumentos y equipamiento.
- **Población vulnerable:** Con estas estaciones se contempla que 209.755 habitantes serán resguardados en la región Valparaíso, distribuidos en las siguientes zonas: Petorca (9.826 hab.), Los Andes (66.708 hab.), Saladillo (1.380

hab.), Cabildo (19.388 hab.), Putaendo (16.754 hab.), San Felipe (76.844 hab.) y San Esteban (18.855 hab.).

- **Diagnóstico final:** Se necesita realizar mantenciones, reparaciones menores y quizás pensar en una nueva ubicación para la estación Río Colorado en Colorado. Mientras que para el caso de las estaciones meteorológicas se necesita implementar pluviómetros automáticos, registro de datos y transmisión satelital, pensando en poder contar con una red robusta de monitoreo para la región.

### 3.1 Estaciones Críticas Finales

A continuación, se presentan los argumentos que reafirman la calidad de críticas de las estaciones seleccionadas preliminarmente.

1. **Río Aconcagua en Chacabuquito:** Esta estación se consideró en una primera instancia como crítica debido a que forma parte del protocolo DGA-ONEMI, así como también se observó por medio de la capa shape localidades y en imágenes satelitales que ayudaría a proteger las localidades de Los Andes, San Esteban y San Felipe, con un tiempo de respuesta de 0,51 horas. Además, se consideró la información proporcionada en las reuniones realizadas con los Jefes Regionales de Hidrología donde se evidencio la importancia de esta estación en la zona, reafirmando su condición de crítica.
2. **Río Aconcagua en San Felipe:** Esta estación se consideró en una primera instancia como critica debido a que forma parte del protocolo DGA-ONEMI, así como también se observó por medio de la capa shape localidades y en imágenes satelitales que ayudaría a proteger a la localidad de Panquehue, de igual forma que a todas las localidades que se encuentran aguas abajo cercanas a las riberas del río Aconcagua, además se visualizó actividad agrícola a lo largo del río. Es importante mencionar que en las reuniones sostenidas con los Jefes regionales de Hidrología se nos comentó que esta estación no se encuentra vigente y que es reemplazada por **Río Aconcagua En San Felipe 2**, la que se encuentra ubicada a 50 m aguas abajo de la estación mencionada. Por lo tanto, pensando en poder entregar un estudio actualizado se toma la determinación de realizar el reemplazo de la estación, considerando el análisis, la ficha de la estación y la clasificación de estación crítica a **Río Aconcagua San Felipe 2**. En cuanto al acceso de esta estación es por medio de la ruta 60 encontrándose en buenas

condiciones. Respecto a sus instrumentos cuenta con sensor de nivel, datalogger y transmisión GPRS.

3. **Río Alicahue en Colliguay:** Observando la capa shape de localidades y en imágenes satelitales se pudo apreciar que ayudaría a proteger a la localidad de Cabildo. También se observó actividad agrícola, a lo largo de las riberas del río La Ligua. Además, cuenta con un tiempo máximo de respuesta de 2,89 horas para poder generar una alerta ante un evento extremo. Por estas razones se reafirma su selección como estación crítica. En cuanto a su acceso, es por medio de la ruta E-445.
4. **Río Blanco antes junta Río de Los Leones:** Esta estación se consideró en una primera instancia como crítica debido a que se observó por medio de la capa shape localidades y en imágenes satelitales que ayudaría a proteger a la localidad de Saladillo, siendo la única estación fluviométrica aguas arriba de dicha localidad. Pero debido a su cercanía con el área poblada entrega un tiempo de respuesta como máximo de 0,28 horas, por lo tanto, no sería prudente considerarla para generar una alerta a dicha localidad por lo que se recomienda mover aguas arriba. Sin embargo, de igual manera ayudaría a registrar los aportes del río Blanco y se prevé que trabaje de manera conjunta con la estación Río Colorado En Colorado, para generar alertas a localidades que se encuentren ubicadas aguas abajo. Por estas razones es que se reafirma su clasificación como crítica.
5. **Río Colorado en Colorado:** Observando la capa shape de localidades y en imágenes satelitales se pudo apreciar que ayudaría a proteger a la localidad de Los Andes con un tiempo de respuesta de 0,98 horas. También se observó actividad agrícola, a lo largo de las riberas del río, reafirmando su selección como estación crítica. Se prevé que trabaje de forma conjunta con la estación Río Blanco antes junta Río Los Leones, para poder tener una visión amplia del sector y contar con antecedentes suficientes en caso de ser necesario generar alerta producto de eventos extremos. Se destaca que en reunión realizada con los Jefes Regionales de Hidrología se comentó que actualmente se considera la reubicación de la estación producto que aguas arriba se encuentra un desarenador de Colbún, que genera problemas en la estación al momento de ser limpiada.
6. **Río Putaendo en resguardo Los Patos:** Observando la capa shape de localidades y en imágenes satelitales se pudo apreciar que ayudaría a proteger a la localidad de Putaendo. También se visualizó actividad agrícola, a lo largo de

las riberas del río, reafirmando su selección como estación crítica. Además, esta estación cuenta con un tiempo de respuesta de 1,57 horas, lo cual se considera suficiente para poder dar alguna alerta a la población de ser necesario. En cuanto a su acceso, es por medio de la ruta E-525 encontrándose en buenas condiciones. Respecto a sus instrumentos se apreció en terreno que se encuentra en buenas condiciones solo falta considerar mantención en el cauce debido a la vegetación.

7. **Río Sobrante en Piñadero:** Observando la capa shape de localidades y en imágenes satelitales se pudo apreciar que ayudaría a proteger a la localidad de Petorca. También se visualizó actividad agrícola, a lo largo de las riberas del río, reafirmando su selección como estación crítica. Además, esta estación cuenta con un tiempo de respuesta de 1,81 horas, lo cual se considera suficiente para poder dar alguna alerta a la población de ser necesario. Esta estación se considera que trabaje de manera conjunta con Pedernal Hacienda, de esta forma se puede obtener una visión amplia del sector y contar con antecedentes suficientes en caso de ser necesario generar alerta producto de eventos extremos.
8. **Pedernal Hacienda:** Observando la capa shape de localidades y en imágenes satelitales se pudo apreciar que ayudaría a proteger a la localidad de Petorca. También se visualizó actividad agrícola en la parte baja del Río Pedernal. Además, esta estación cuenta con un tiempo de respuesta de 1,05 horas, lo cual se considera suficiente para poder dar alguna alerta a la población de ser necesario. Esta estación se considera que trabaje de manera conjunta con Río Sobrante en Piñadero, de esta forma se puede obtener una visión amplia del sector y contar con antecedentes suficientes en caso de ser necesario generar alerta producto de eventos extremos. Considerando estos antecedentes se reafirma su clasificación como crítica.

## 3.2 Estaciones Nuevas

En el desarrollo de este estudio no se identificó en la región una deficiencia en la red de monitoreo, por lo tanto, no se estima necesario la sugerencia o implementación de estaciones categorizadas como nuevas.



## 4 PLAN DE ACCIÓN

En la sección 13.1 del informe final se establecieron las especificaciones técnicas de las estaciones fluviométricas y meteorológicas estándar de la red hidrométrica crítica. En base a estas definiciones se identificaron las brechas entre las estaciones pertenecientes a la red crítica y las estaciones estándar. A continuación, se muestran los resultados de las brechas y la evaluación de costos del plan de acción.

### 4.1 Valorización de la Red

Para la valorización de la red de estaciones críticas, en el caso de las estaciones meteorológicas se consideró la estación estándar, pero para el caso de las estaciones fluviométrica se realizó un catastro de licitaciones históricas, identificando un valor aproximado del costo asociado a una estación totalmente nueva. Para esto las estaciones críticas finales se clasificaron de acuerdo a su caudal de 50 años de periodo de retorno en estaciones pequeñas, medianas, grandes con losa y grandes sin losa. Además, de considerar un factor que pondera la accesibilidad de la estación. La Tabla 4.1 muestra el valor de las estaciones fluviométricas perteneciente a la red Valparaíso, sumando un total de \$1.321 millones de pesos, si a esto le sumamos el costo total de la red piezométrica desarrollada en el capítulo 14.4 del informe final y 1 estación meteorológica. El costo total de la implementación de una red totalmente nueva asciende a **\$2.059 millones de pesos**. En el **Anexo 11** se incluyen los cálculos de la estimación de los precios.

**Tabla 4.1 Valor de las estaciones fluviométricas críticas Red Valparaíso**

Código BNA	Nombre	Caudal T=50 [m <sup>3</sup> /s]	Clasificación	Factor	Precio
05402015-5	Río Blanco en junta Río de Los Leones	52,24	2	1,2	\$ 116.805.395
05200001-7	Río Alicahue en Colliguay	67,25	2	1,1	\$ 134.665.705
05100001-3	Río Sobrante en Piñadero	67,49	2	1,2	\$ 146.075.045
05406001-7	Río Colorado en Colorado	199,88	4	1,2	\$ 155.850.906
05414001-0	Río Putaendo en Resguardo Los Patos	266,96	4	1,2	\$ 203.377.260
05410005-1	Río Aconcagua en San Felipe 2	459,99	4	1	\$ 285.811.013
05410002-7	Río Aconcagua en Chacabuquito	448,25	4	1	\$ 278.884.249
				<b>Total</b>	<b>\$ 1.321.469.573</b>

## 4.2 Identificación de Brechas

La identificación de las brechas es un análisis de los ítems estructurales, instrumentales y/o diseño que le faltan a cada estación para alcanzar el estándar definido en la sección 13.1 del informe final.

### 4.2.1 Estaciones meteorológicas

En la Tabla 4.2 se identifican las brechas para la estación meteorológica consideradas como críticas finales para esta región, siendo solo Pedernal Hacienda. Esta estación actualmente solo cuenta con pluviómetro Hellman y observador por lo que las brechas son equivalentes al de una estación nueva. La altitud de esta estación corresponde a 1.100 m.s.n.m.

**Tabla 4.2 Brechas estaciones meteorológicas críticas, Región Valparaíso**

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	
			Estación estándar	Pedernal Hacienda
<b>1</b>	<b>Estructura</b>			
1.1	Instalación de Faena	un	1	1
1.2	Limpieza y Despeje del Terreno	un	1	1
1.3	Pollos de hormigón H-25	un	6	6
1.4	Torre Meteorológica 4 m (incluye soporte de instrumentos)	un	1	1
1.6	Pintura	un	1	1
1.7	Cerco Perimetral 3,0X3,0m	gl	1	1
1.8	Letrero de Identificación de la Estación	gl	1	1
1.9	Letrero de Peligro	gl	1	1
1.1	Letrero de Zona de inundación y Vía de Evacuación**	gl	1	1
<b>2</b>	<b>Instrumental</b>			
2.1	Plataforma Satelital (incluye transmisor + datalogger y antena)	un	1	1
2.2	Panel Solar 40W	un	1	1
2.3	Batería 55AH	un	1	1
2.4	Pluviómetro modelo RG1(400), con 10 m de cable	un	1	1
2.5	Sensor de Temperatura y Humedad	un	1	1
2.6	Caseta tipo DGA	un	1	1

### 4.2.2 Estaciones fluviométricas

En la Tabla 4.3 se muestran las brechas identificadas de las estaciones fluviométricas críticas, donde se aprecia que la estación Río Colorado en Colorado presenta mayores detalles a mejorar. Mientras que en contraste se encuentra Río Aconcagua en Chacabuquito, siendo la estación que presenta menores detalles.

**Tabla 4.3 Brechas estaciones fluviométricas críticas, Región Valparaíso**

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad							
			Estación Estándar	Río Aconcagua en Chacabuquito	Río Aconcagua en San Felipe 2	Río Alicahue en Colliguay	Río Blanco antes junta Río de Los Leones	Río Colorado en Colorado	Río Putaendo en resguardo Los Patos	Río Sobrante en Piñadero
<b>1</b>	<b>Construcción y estructura</b>									
1.1	Instalación de Faena	un	1	1	1	1	1	1	1	1
1.2	Limpieza y Despeje del Terreno	un	1	1	1	1	1	1	1	1
1.3	Desembanque y Encauzamiento	un	1	1	0	0	1	1	1	1
1.4	Enrocado de Protección	un	1	0	0	0	0	1	0	0
1.5	Gaviones (1,0x1,0m+fundación 1,5x0,5m)	gl	1	0	0	1	1	1	1	1
1.6	Construcción de Sección de Aforo	gl	1	0	0	0	0	1	0	0
1.7	Muros Estructurales (Ambas riberas)	gl	2	0	0	0	0	1	0	0
1.8	Estructura para Instalación del Sensor de Nivel	gl	1	0	0	0	0	1	0	0
1.9	Carro de Aforo (incluye cable, soporte, base concreto y torre para el carro)	un	1	0	0	0	0	1	0	1
1.1	Escalines de acceso a la regla limnimétrica	un	1	0	0	0	0	1	1	0
1.11	Pollos de hormigón H-25	un	5	0	1	1	0	1	1	1
1.12	Cerco Perimetral 3,0m x 3,0m	gl	1	0	1	1	0	1	1	1
1.13	Caseta DGA	un	1	0	0	0	0	1	0	0
1.14	Torre Meteorológica 4 m (incluye soporte de instrumentos)	un	1	0	0	0	0	1	0	0
1.15	Pintura General de Estructuras	gl	1	0	0	0	0	1	1	0
1.16	Letreros de Identificación de la Estación	gl	1	0	1	1	1	1	0	0
1.17	Letrero Peligro	gl	1	1	1	1	1	1	0	1
1.18	Letrero de Zona de inundación y Vía de Evacuación**	gl	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>2</b>	<b>Instrumental</b>									
<b>2.1</b>	<b>Fluviométrica</b>									
2.1.1	Sensor de nivel (con 10 m de cable autocompensado)	un	1	0	0	0	0	1	0	0
2.1.2	Regla Limnimétrica	un	1	1	0	0	1	1	1	0
<b>2.2</b>	<b>Meteorológica</b>									
2.2.1	Pluviómetro modelo RG1(400), con 10 m de cable	un	1	0	0	0	0	1	0	0
2.2.2	Sensor de Temperatura y Humedad	un	1	0	0	0	0	1	0	0
<b>2.3</b>	<b>Estación</b>									
2.3.1	Batería 55AH	un	1	0	0	0	0	1	0	0
2.3.2	Plataforma Satelital (incluye transmisor + datalogger y antena)	un	1	0	0	0	0	1	0	0
2.3.3	Panel Solar 40W	un	1	0	0	0	0	1	0	0
<b>3</b>	<b>Diseño</b>									
3.1	Diseño de Estación Fluviométrica (incluye planos y memorias de cálculo)	gl	1	0	0	0	0	1	0	0

### 4.3 Evaluación de Costos

A partir de las brechas identificadas y el presupuesto de las estaciones estándar presentados en la sección 13.1 del informe final, se elaboraron los costos de cada estación de la red hidrométrica crítica.

Para la evaluación de los costos de la estructura se utiliza una metodología de ponderación mediante factores que consideran la elevación, la accesibilidad a la estación y para el caso de las estaciones fluviométricas el caudal asociado a un periodo de retorno de 50 años. La Tabla 4.4 muestra los factores de ponderación en base a la elevación, considerando que las dificultades de construcción se agravan a una elevación mayor a los 3.000 m.s.n.m. La Tabla 4.5 muestra los factores de accesibilidad considerados, este es un criterio subjetivo, basado en las observaciones en terreno y en la opinión del Jefe Regional de Hidrología de la DGA, mientras que la Tabla 4.6 muestra los factores asociados a los caudales con periodo de retorno de 50 años en el caso de las estaciones fluviométricas, los rangos de caudal también se definieron considerando las visitas a terreno realizadas.

**Tabla 4.4 Factor elevación**

Elevación [m.s.n.m]	Factor
0 – 3.000	1
3.000 – 5.000	1,4

**Tabla 4.5 Factor de accesibilidad**

Accesibilidad	Factor
Buena	1
Regular	1,1 – 1,3
Mala	1,4 – 1,6

**Tabla 4.6 Factor tamaño estación**

Tipo Estación	Tamaño estación	Rango caudal T=50 [m <sup>3</sup> /s]	Factor
1	Pequeña	> 33	0,6
2	Mediana	33-100	1
3	Grande con losa	100-200	2
4	Grande sin losa	200 >	1,5

En la Tabla 4.7 se aprecian los caudales obtenidos para un periodo de retorno de 50 años, de las estaciones críticas finales para esta región.

**Tabla 4.7 Caudales asociados a un periodo de retorno de 50 años**

Código BNA	Estación	Caudal T=50 [m <sup>3</sup> /s]	Método	TIPO
05402015-5	Río Blanco en junta Río de Los Leones	52,24	Transposición de caudales	2
05200001-7	Río Alicahue en Colliguay	67,25	Análisis de frecuencias	2
05100001-3	Río Sobrante en Piñadero	67,49	Análisis de frecuencias	2
05406001-7	Río Colorado en Colorado	199,88	Análisis de frecuencias	3
05414001-0	Río Putaendo en resguardo Los Patos	266,96	Análisis de frecuencias	4
05410005-1	Río Aconcagua en San Felipe 2	459,99	Análisis de frecuencias	4
05410002-7	Río Aconcagua en Chacabuquito	448,25	Análisis de frecuencias	4

#### 4.3.1 Estaciones meteorológicas

La Tabla 4.8 muestra el costo asociado a la estación crítica Pedernal Hacienda, la cual se encuentra a una altitud de 1.100 m.s.n.m. El plan de acción de esta estación asciende a un total de aproximadamente \$14 millones de pesos.

**Tabla 4.8 Costos Plan de Acción estación meteorológica**

Ítem	Descripción	Pedernal Hacienda
1	Estructura	\$ 5.593.751
2	Instrumental	\$ 6.381.800
Total Neto		\$ 11.975.551
Factor de elevación		x1
Factor de accesibilidad		x1
Total Neto Ponderado		\$ 11.975.551
IVA (19%)		\$ 2.275.355
<b>Total</b>		<b>\$ 14.250.906</b>

### 4.3.2 Estaciones fluviométricas

La Tabla 4.9 muestra el costo asociado a la identificación de brechas de las estaciones fluviométricas de la región. Se destaca que para el caso de la estación Río Colorado en Colorado, se requiere de obras mayores. El plan de acción de esta estación asciende a un total de aproximadamente \$256 millones de pesos.

**Tabla 4.9 Costos Plan de Acción estación fluviométrica**

Ítem	Descripción	Río Aconcagua en Chacabuco	Río Aconcagua en San Felipe 2	Río Alicahue en Colliguay	Río Blanco antes junta Río de Los Leones	Río Colorado en Colorado	Río Putaendo en resguardo Los Patos	Río Sobrante en Piñadero
1	Construcción Y Estructura	\$ 6.066.472	\$ 6.140.524	\$ 11.321.154	\$ 11.702.102	\$ 39.758.204	\$ 13.716.079	\$ 28.672.274
2	Instrumental	\$ 310.050	-	-	\$ 310.050	\$ 6.491.850	\$ 310.050	-
3	Diseño	-	-	-	-	\$ 15.000.000	-	-
Total Neto		\$6.376.522	\$ 6.140.524	\$ 11.321.154	\$ 12.012.152	\$ 61.250.054	\$14.026.129	\$ 28.672.274
Factor De Elevación		x1	x1	x1	x1	x1	x1	x1
Factor De Accesibilidad		x1	x1	x1,1	x1,2	x1,2	x1,2	x1,2
Factor Tamaño		x1,5	x1,5	x1	x1	x1,5	x1,5	x1
Total Neto Ponderado		\$9.564.783	\$9.210.786	\$ 12.453.269	\$ 14.414.582	\$ 110.250.097	\$ 25.247.032	\$ 34.406.729
IVA (19%)		\$ 1.817.309	\$ 1.750.049	\$ 2.366.121	\$ 2.738.771	\$ 20.947.518	\$ 4.796.936	\$ 6.537.278
<b>Total</b>		<b>\$ 11.382.092</b>	<b>\$ 10.960.835</b>	<b>\$ 14.819.391</b>	<b>\$ 17.153.353</b>	<b>\$ 131.197.616</b>	<b>\$ 30.043.968</b>	<b>\$ 40.944.007</b>

### 4.3.3 Costo total

El costo total del plan de acción de las estaciones críticas asciende a **\$ 270 millones de pesos**. Este monto sería utilizado para llevar a la calidad de estándar definido en el estudio a 7 estaciones fluviométricas y 1 estación meteorológica.

## 5 PLAN DE ACCIÓN RED PIEZOMÉTRICA

En el análisis de calidad, expuesto en la sección 14.3 del informe final se discuten los SHAC con limitaciones (área de restricción o zona de prohibición) y que no se encuentran monitoreados. También se analizan el comportamiento de los pozos para cruzar con los SHAC. A partir de estos análisis se propusieron pozos nuevos, así como una definición del pozo estándar y una evaluación de costos del plan total.

### 5.1 Identificación lugar de pozos

La red piezométrica propuesta para la región de Valparaíso consiste en mantener los pozos estáticos que se mantienen vigentes (pozos con mediciones hasta el año 2018 y posterior), agregar nuevos pozos en SHAC que no se encuentran monitoreados, y en puntos estratégicos donde no existe medición de niveles estáticos.

Se considera como pozo vigente a aquellos con mediciones hasta el año 2018 y posterior, basado en que durante los años 2019 y 2021 han ocurridos eventos a nivel nacional que podrían haber impedido realizar las mediciones correspondientes (COVID-19, entre otros).

Basado en los criterios indicados anteriormente (monitoreo de acuíferos y SHAC), en la Figura 5.1 se muestran las estaciones piezométricas propuestas y las con mediciones estáticas que se mantienen vigentes.

En la Tabla 5.1 se indica la cantidad de pozos propuestos en cada SHAC, las coordenadas referenciales en las que se ubican, y el tipo de limitación en el que se encuentra.

**Tabla 5.1 Cantidad de pozos propuestos**

ID	SHAC	Tipo de restricción	Cantidad de pozos propuestos	Coordenadas Referenciales UTM WGS84	
				Este (m)	Norte (m)
1	Estero Los Molles	Área de Restricción	1	263.836	6.432.044
2	Estero Guaquen	Zona de Prohibición	1	275.074	6.419.493
3	Estero Papudo	Área de Restricción	1	271.597	6.401.279
4	Sector 12 - Estero Patagua	Zona de Prohibición	1	295.221	6.400.885
5	Sector 9 - Estero Los Ángeles	Zona de Prohibición	1	314.116	6.404.664
6	Estero Catapilco	Zona de Prohibición	1	283.846	6.394.115

ID	SHAC	Tipo de restricción	Cantidad de pozos propuestos	Coordenadas Referenciales UTM WGS84	
				Este (m)	Norte (m)
7	La Laguna - Catapilco	Zona de Prohibición	1	272.383	6.385.380
8	Estero La Canela	Área de Restricción	1	281.969	6.379.524
9	Horcón	Zona de Prohibición	1	270.156	6.378.723
10	Estero Pucalan	Área de Restricción	1	273.021	6.368.474
11	Dunas de Quintero	Área de Restricción	1	267.916	6.361.517
12	Acuífero 9 - Limache	Zona de Prohibición	1	293.031	6.344.385
13	Estero Viña del Mar	Área de Restricción	1	277.864	6.334.625
14	Estero Laguna Verde	Área de Restricción	1	261.196	6.328.418
15	Quintay	Área de Restricción	1	250.647	6.323.750
16	Estero Casablanca Desembocadura	Área de Restricción	1	261.108	6.314.840
17	Estero San Jerónimo	Zona de Prohibición	1	272.971	6.303.178
18	Algarrobo	Área de Restricción	1	253.200	6.300.975
19	Estero El Rosario - Costeras V	Área de Restricción	1	269.955	6.293.529
20	Estero Cartagena	Área de Restricción	1	264.548	6.286.908
21	Estero El Sauce	Área de Restricción	1	271.291	6.278.595
22	Maipo Desembocadura	Área de Restricción	1	269.805	6.276.160
23	Yali Bajo El Prado	Área de Restricción	1	256.891	6.252.034
24	Maitenlahue	Acuífero Abierto	1	246.273	6.243.666
<b>Total Pozos Propuestos</b>			<b>24</b>		

La ubicación referencial de la red de pozos propuestos está basada en la importancia de la medición de los niveles estáticos, su utilidad a la hora de desarrollar modelos conceptuales y en modelos numéricos de aguas subterráneas.

Los principales criterios utilizados para la propuesta son:

1. Mantener los pozos que miden niveles estáticos, debido a que cuentan con un registro importante de niveles que es prioridad conservar.
2. Los acuíferos que cuentan con algún tipo de limitación en cuanto a nuevos derechos de agua, ya sea restricción o prohibición, deben tener al menos un pozo midiendo niveles estáticos.
3. La utilización del monitoreo de extracciones efectivas de pozos que no extraen caudales pero que de todas maneras reportan niveles a la DGA. Esto se propone de manera provisoria en los SHAC que se encuentran abiertos.



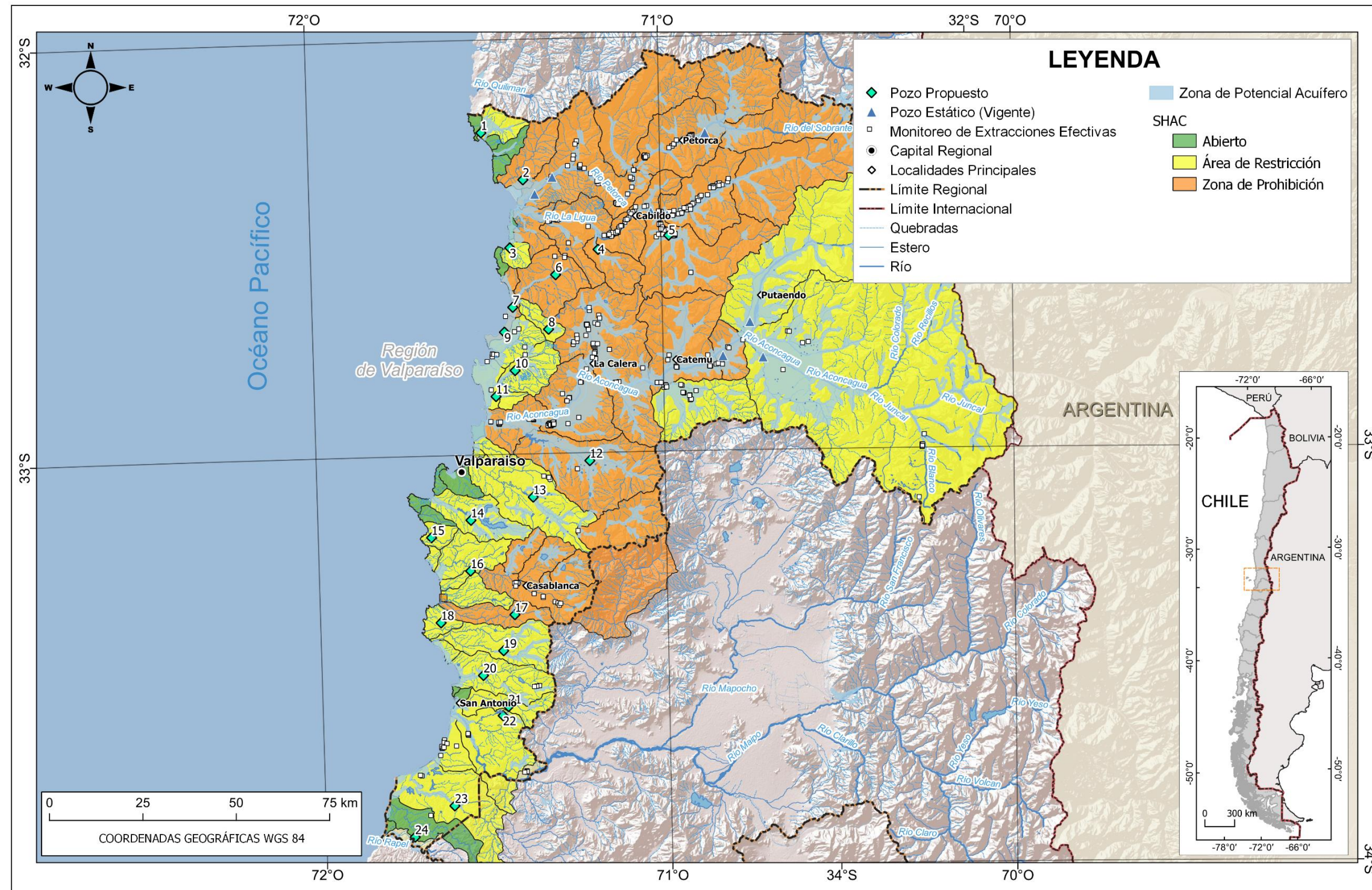


Figura 5.1 Propuesta de estaciones piezométricas, Región de Valparaíso

## **5.2 Evaluación de costos**

Respecto al costo monetario de un pozo de la red piezométrica estándar, éste queda determinado por costos estructurales asociados a la instalación de la estación, costos de transmisión y un costo variable que queda establecido por la profundidad del sondaje.

Un pozo estándar de la red de una profundidad de 50 metros y habilitado para la transmisión satelital de niveles tiene un costo aproximado de 30 millones de pesos.

En una primera etapa, donde se tiene como prioridad los SHAC con algún tipo de limitación, se propone la construcción de 24 pozos de monitoreo. Para lo anterior se requiere 1.200 metros lineales de sondaje, los cuales serán repartidos entre las 24 estaciones, procurando llegar al nivel freático actual y que permita medir el nivel freático a futuro.

El costo de perforación alcanza los 6,96 millones de pesos, y el costo de la red completa habilitada para la transmisión tiene un costo aproximado de 724 millones de pesos para la Región de Valparaíso.

## **6 CONCLUSIONES**

### **6.1 Disponibilidad de datos**

Las estaciones críticas fluviométricas seleccionadas poseen sobre 30 años de estadística, lo que se considera bueno, excepto las estaciones Río Aconcagua en Chacabuquito que tiene 22 años, Río Alicahue en Colliguay que tiene 15 años y Río Putaendo en resguardo Los Patos que sólo posee 14 años.

En cuanto a la estación meteorológica Pedernal Hacienda posee un registro de más de 20 años.

### **6.2 Eventos extremos**

Las estaciones fluviométricas críticas seleccionadas han registrado gran cantidad de estadística y dentro de ella varios eventos extremos. En los gráficos de caudales y alturas máximas es posible observar la magnitud de las crecidas, donde en las últimas dos décadas existen alrededor de 3 eventos que sobresalen con respecto a los otros (2002, 2005 y 2006), además se ve la importancia de tener todas las estaciones vigentes y que estas se ubiquen aguas arriba de poblaciones importantes.

En cuanto a las estaciones meteorológicas no se observa una buena correlación entre la precipitación registrada y los caudales de las estaciones fluviométricas. Pero en zonas sin control fluviométrico se vuelve una información de vital importancia ya que da una estimación de la posible crecida que afectaría a población vulnerable aguas abajo. Las estaciones meteorológicas críticas seleccionadas cumplen con la condición de estar en zonas sin control fluviométrico y han registrado eventos importantes, como las precipitaciones de los eventos del 2002 y del 2017.

### **6.3 Distribución espacial**

Se aprecia una buena distribución de estaciones meteorológicas en toda la región, con una importante densidad y distribución en las zonas donde pueden ayudar a registrar datos en ayuda de proteger a poblaciones vulnerables.

## 6.4 Red Hidrométrica Final

En una primera instancia para esta región se consideraron 10 estaciones críticas, las cuales a lo largo del desarrollo de este estudio y con los antecedentes que se recopilaron se rectificó la elección de 9 de ellas. Se destaca que en esta región no se observa deficiencia en la red solo mejoras que realizar. Finalmente, las estaciones críticas finales en resguardo de la población son:

- Estaciones fluviométricas
  - Río Aconcagua en Chacabuquito
  - Río Aconcagua en San Felipe 2
  - Río Alicahue en Colliguay
  - Río Blanco antes junta Río de Los Leones
  - Río Colorado en Colorado
  - Río Putaendo en resguardo Los Patos
  - Río Sobrante en Piñadero
- Estación meteorológica
  - Pedernal Hacienda

## 6.5 Red Piezométrica

La red piezométrica en la región de Valparaíso presenta un total de 121 estaciones piezométricas, de las cuales la mayoría están en los acuíferos Río Aconcagua, Río Petorca, Río La Ligua, y Estero Casablanca. La calidad de la información presentada en dichos acuíferos por las estaciones se considera alta, debido a que un porcentaje importante corresponde a pozos estáticos.

Respecto a los SHAC, algunos están en condición crítica, es decir, están clasificados como *área de restricción* o *zona de prohibición*, y además no cuentan con el monitoreo de estaciones piezométricas DGA, están ubicados en los acuíferos:

- Cuencas Costeras V Norte
- Cuencas Costeras V Sur

Estos acuíferos tienen problemas de disponibilidad del recurso hídrico, ya sea por falta de oferta o por sobredemanda, por lo que para tener una idea más acabada de la

situación particular se recomienda la instalación de estaciones piezométricas. En base a lo mismo se sugiere la construcción de pozos que pudiesen reemplazar a los pozos estáticos que ya no cuentan con medición (considerar que constructivamente sean lo más similar posible a dichos pozos ya no monitoreados), con el fin de rescatar y continuar con la estadística ya medida.