



DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

Santiago, RM

**DIAGNOSTICO PARA LA IMPLEMENTACION DE
RED NACIONAL DE ALERTA DE EVENTOS
HIDROMETEOROLOGICOS EXTREMOS**

S.I.T. N° 481 de 2021

ETAPA IV

TOMO V REGIÓN DE COQUIMBO

RESUMEN EJECUTIVO

REALIZADO POR:

INRHED SPA- EMERGE INGENIERIA

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 Unidad 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

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1	OBJETIVOS	2
1.1.1	Objetivo General	2
1.1.2	Objetivos específicos	2
2.	METODOLOGÍA.....	4
3.	RED HIDROMÉTRICA CRÍTICA FINAL	7
3.1	ESTACIONES CRÍTICAS FINALES	10
3.2	ESTACIONES NUEVAS.....	14
3.3	ESTACIONES DE APOYO	14
4.	PLAN DE ACCIÓN RED HIDROMÉTRICA	16
4.1	VALORIZACIÓN DE LA RED	16
4.2	IDENTIFICACIÓN DE BRECHAS	17
4.2.1	Estaciones meteorológicas.....	17
4.2.2	Estaciones fluviométricas	19
4.3	EVALUACIÓN DE COSTOS	21
4.3.1	Estaciones meteorológicas.....	22
4.3.2	Estaciones fluviométricas	23
4.3.3	Costo total	24
5.	PLAN DE ACCIÓN RED PIEZOMÉTRICA	25
5.1	IDENTIFICACIÓN LUGAR DE POZOS.....	25
5.2	EVALUACIÓN DE COSTOS	28
6.	CONCLUSIONES	29
6.1	DISPONIBILIDAD DE DATOS.....	29
6.2	EVENTOS EXTREMOS	29
6.3	DISTRIBUCIÓN ESPACIAL.....	30
6.4	RED HIDROMÉTRICA FINAL	30
6.5	RED PIEZOMÉTRICA.....	31

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 POZOS PROPUESTOS, REGIÓN DE COQUIMBO.....	27

Índice de Tablas

TABLA 4.1 VALOR DE LAS ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS CRÍTICAS RED METROPOLITANA	16
TABLA 4.2 BRECHAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS, REGIÓN DE COQUIMBO.....	18
TABLA 4.3 BRECHAS ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS CRÍTICAS, REGIÓN DE COQUIMBO	20
TABLA 4.4 FACTOR ELEVACIÓN	21
TABLA 4.5 FACTOR DE ACCESIBILIDAD	21
TABLA 4.6 FACTOR TAMAÑO ESTACIÓN	21
TABLA 4.7 CAUDALES ASOCIADOS A UN PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS	22
TABLA 4.8 COSTOS PLAN DE ACCIÓN ESTACIONES METEOROLÓGICAS	22
TABLA 4.9 COSTOS PLAN DE ACCIÓN ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS (1)	23
TABLA 4.10 COSTOS PLAN DE ACCIÓN ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS (2)	23
TABLA 4.11 PLAN DE ACCIÓN POR PROVINCIA	24
TABLA 5.1 CANTIDAD DE POZOS PROPUESTOS	26

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 V correspondiente a la Red de la Región de Coquimbo, 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 criticas preliminares y nuevas.
- 6- Realizar visitas a terreno a las estaciones criticas preliminares, que permitan conocer el estado de estas estaciones.
- 7- Elaborar fichas de las estaciones criticas 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 ocurrido 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 criticas 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 criticas 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

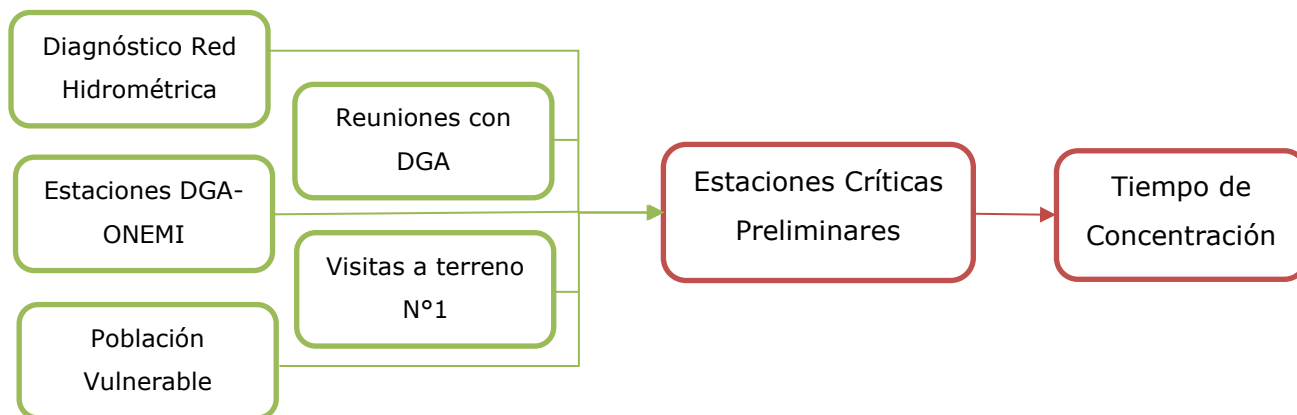


Figura 2.1 Diagrama Etapa I: Selección de estaciones críticas preliminares

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

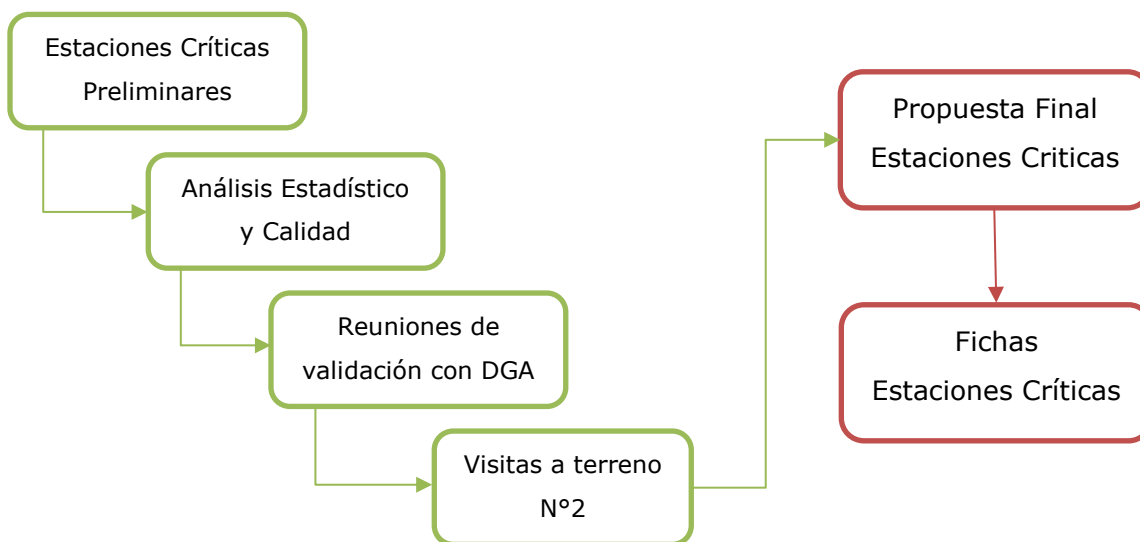


Figura 2.2 Diagrama Etapa II: revisión estaciones críticas seleccionadas

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

15. Entrega de información para Geodatabases o shape files

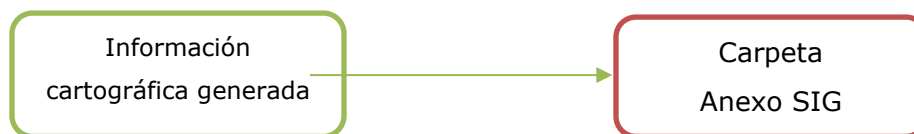


Figura 2.3 Diagrama Etapa III: Sistema de Información Geográfica

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.

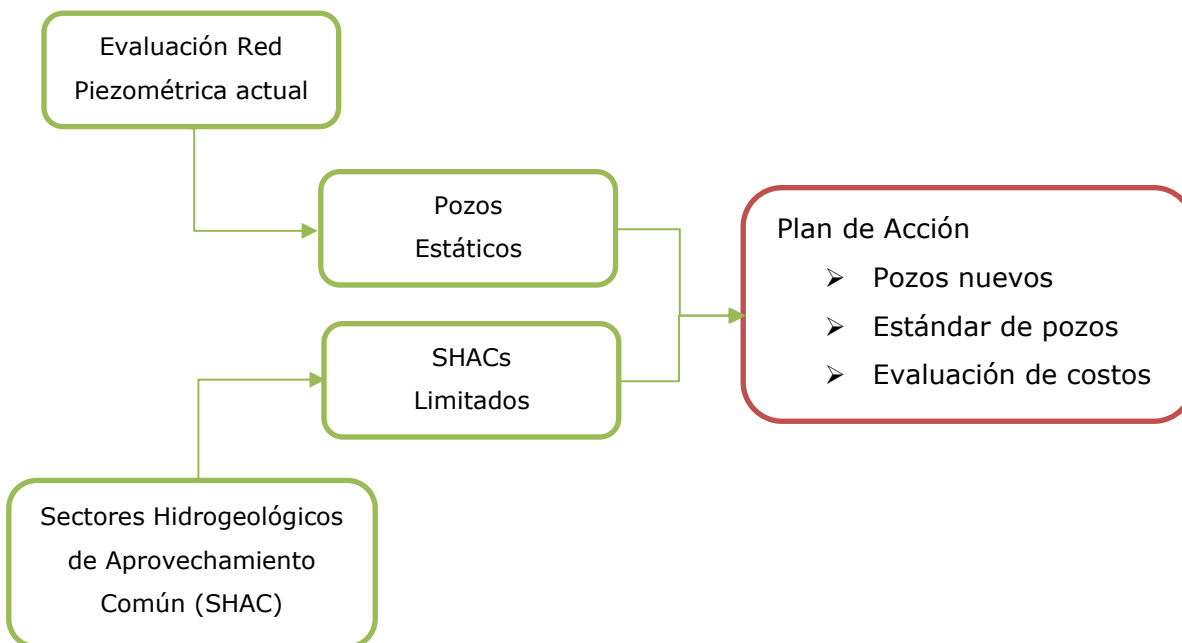


Figura 2.5 Diagrama metodología análisis crítico Red Piezométrica

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.

- Estaciones fluviométricas
 - Río Elqui en Algarrobal
 - Estero Derecho en Alcohuaz
 - Río Hurtado en San Agustín
 - Río Mostazal en Cuestecita
 - Río Grande en Cuyano
 - Río Combarbalá en Ramadillas
 - Río Illapel en Huintil
 - Río Chalinga en La Palmilla
 - Río Cuncumén antes junta Choapa
 - Río Choapa en Cuncumén
- Estaciones meteorológicas
 - El Trapiche
 - La Palmilla
 - Estero Pupío en El Romero
- Estaciones meteorológicas nuevas
 - Ruta D-205 (Quebrada Los Choros Alta)
 - Ruta D-115 (Quebrada de Santa Gracia Alta)
- Estaciones de apoyo
 - Río Grande en Puntilla San Juan
 - Río Grande en Las Ramadas

La Figura 3.1 muestra la configuración final de la red hidrométrica crítica.

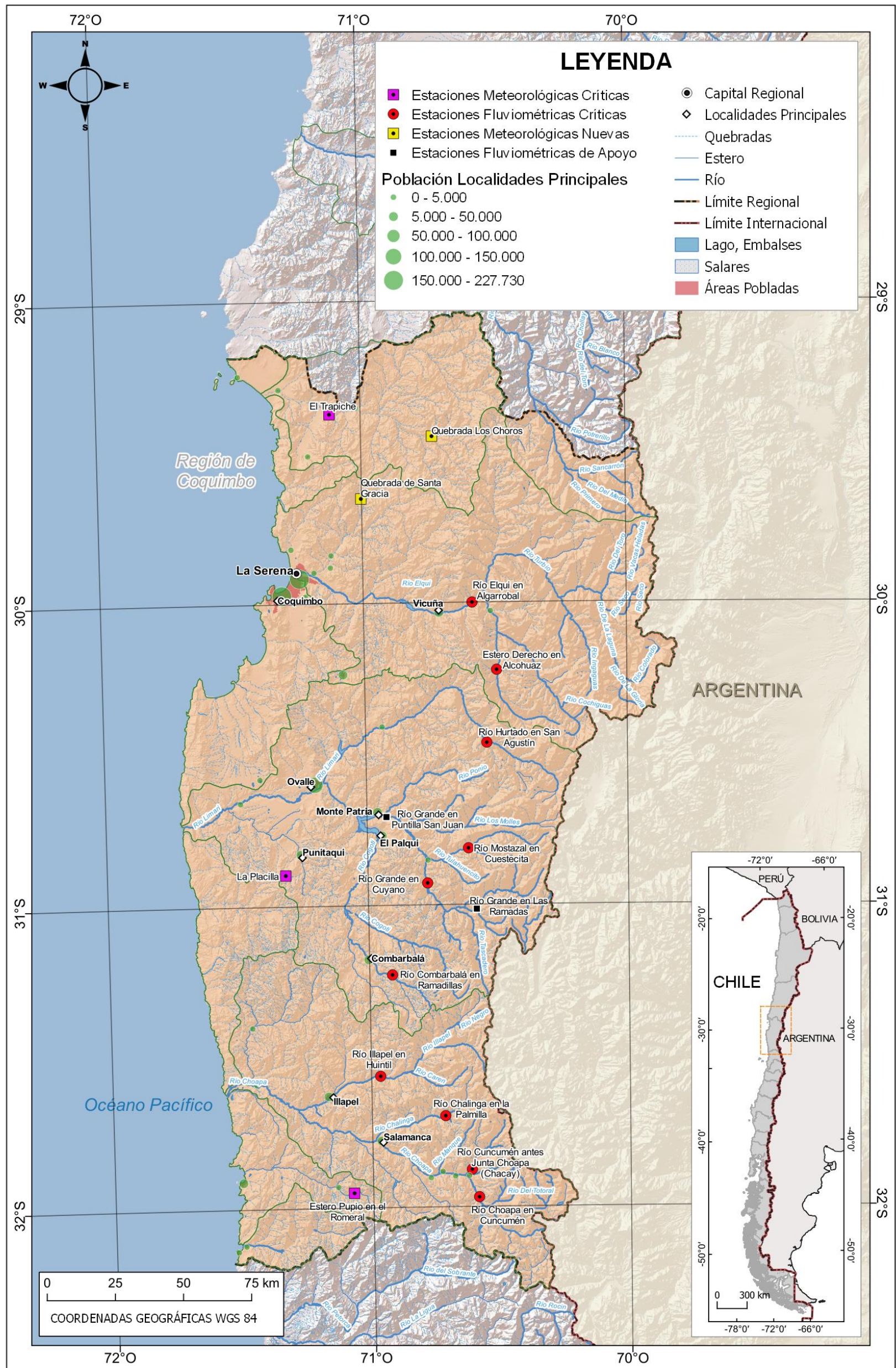


Figura 3.1 Red hidrométrica crítica final

Las características generales de las estaciones críticas en su estado actual son las siguientes.

- **Estadística general:** De las 14 estaciones fluviométricas críticas preliminares seleccionadas, 5 estaciones poseen entre 19 y 49 años válidos de estadística (sobre 9 meses con datos en el año), mientras que las 9 restantes poseen sobre 50 años. Sobre las precipitaciones, en las estaciones fluviométricas la instrumentación es más reciente, con estadística de entre 3 y 17 años válidos, mientras que las estaciones meteorológicas El Trapiche y La Placilla poseen 41 y 30 años válidos, respectivamente.
- **Obras existentes y deficiencias:**
 - **Acceso:** Las estaciones en general poseen un buen acceso, por caminos asfaltados y un relativamente corto tramo de camino de tierra. Las estaciones fluviométricas que tienen un acceso más complejo son Río Hurtado en San Agustín y Río Chalinga en La Palmilla, para las que el hacer ingreso a la estación significa transitar un tramo largo de camino privado. Las estaciones Estero Pupío en El Romero y Río Cuncumén antes junta Choapa están ubicadas en propiedad minera, por lo que se deben seguir los protocolos de burocracia y seguridad correspondientes.
 - **Emplazamiento:** De la selección de estaciones fluviométricas 7 poseen un buen emplazamiento frente al cauce, 5 un emplazamiento regular, con secciones curvas a unos 50 – 100 m de distancia y 2 estaciones poseen un mal emplazamiento, con curvas muy cerca de la estación, hasta 30 m de distancia. Las estaciones con un mal emplazamiento corresponden a las estaciones Río Illapel en Las Burras y Río Illapel en Huintil, donde la primera se observan daños en sus defensas, daños originados por el mal emplazamiento y la segunda al momento de la visita no presentaba daños, ya que estaba en plenos trabajos de reparación.
 - **Estructura:** Estructuralmente solo la estación Río Cuncumén antes junta Choapa posee una estructura de buenas terminaciones. La estación Río Hurtado en Angostura de Pangué presenta una estructura de mala calidad, un canal de estiaje pequeño que es fácilmente sobrepasado cuando el caudal sube un poco de la media. Sobre el resto de las estaciones poseen una calidad estructural regular, que necesita algunos trabajos,

generalmente porque posee solo un muro guía y sin canal de estiaje ni losa de crecidas.

- **Instrumentación:** Río Illapel en Huintil es la única que cumple con un correcto emplazamiento de los instrumentos, lo que significa el pluviómetro despejado y el piezómetro instalado en una tubería empotrada en el muro guía (barbacana). El resto de las estaciones tiene una calidad regular de instrumentación, presentan detalles en la ubicación de los instrumentos meteorológicos y/o el sensor de nivel.
- **Otros:** Se observan pocas situaciones de vandalismo en las estaciones de la región. En general las estaciones se encuentran bien protegidas con un cerco perimetral y en algunos casos con casetas tipo bodega que albergan instrumentos. Esta situación destaca por sobre otras regiones que tienen menos resguardadas las estaciones.
- **Población vulnerable:** Dentro de la población vulnerable que se alertaría se cuentan las comunas y localidades de: Punta Colorada, Los Choros Bajo, Vicuña, Paihuano, Samo Alto, Ovalle, Monte Patria, Carén, Punitaqui, Combarbalá, Illapel, Salamanca, Tranquilla, Coirón, Chillepín, Cuncumén y Caimanes, alertando a un total de 269.245 habitantes.
- **Diagnóstico final:** Las estaciones seleccionadas lograrían alertar a una gran cantidad de población que sería susceptible a eventos hidrometeorológicos extremos. Sin embargo, las estaciones deben mejorar detalles como: las estructuras antiguas y deficientes, ubicación de los instrumentos y cierres para dar seguridad a la estación completa.

3.1 Estaciones Críticas Finales

A continuación, se presentan las características principales y falencias de las estaciones críticas seleccionadas.

1. **Río Elqui en Algarrobal:** Esta estación es parte del protocolo DGA-ONEMI, por lo que se seleccionó como estación crítica. Observando la capa shape de localidades y en imágenes satelitales es posible distinguir poblaciones vulnerables en la ciudad de Vicuña. En la visita a terreno se confirma la presencia de población vulnerable y de actividades agrícolas. Continuando hacia aguas abajo se encuentra el embalse Puclaro, cuerpo que regula las aguas del río Elqui, por lo

que hacia aguas abajo la crecida depende de la operación del embalse. En cuanto a problemas observados en la visita a terreno se puede decir que el emplazamiento de la estación no es el idóneo, ya que tiene una curva aguas arriba, a unos 50 m aprox. La sección de medición tiene muros guía antiguos, se sugiere remodelar, dejando muros guía de mejores terminaciones. En cuanto a la instrumentación, cuenta con sensores meteorológicos y transmisión satelital, el piezómetro está muy alejado del cauce, conectado por un canal de quietamiento, se sugiere instalar en el muro.

2. **Estero Derecho en Alcohuz:** En la capa shape de localidades y en imágenes satelitales es posible observar poblaciones vulnerables en el valle del estero Derecho, hasta llegar a la junta con el río Turbio. En la visita a terreno se observaron poblaciones dispersas en el valle del estero Derecho y una gran presencia de actividades agrícolas. La estación no está en condiciones óptimas, la estructura es muy antigua y no está diseñada para resistir crecidas de alto periodo de retorno, la evidencia de esta situación son la vegetación que deja la crecida. Además de las dimensiones de la estación, otro problema son las defensas en mal estado, el piezómetro no se encuentra en la mejor posición y no está habilitada como estación meteorológica. Como mejora también se puede instalar un datalogger, antena satelital y panel solar. En resumen la estación es antigua y sin tecnología de última generación, tampoco es una estación independiente que puede comunicar inmediatamente sobre crecidas.
3. **Río Hurtado en San Agustín:** En la capa shape y en imágenes satelitales es posible observar poblaciones vulnerables en el valle del río. En la visita a terreno se observaron poblaciones dispersas que habitan el valle del río Hurtado y una gran actividad agrícola. La estación no está en condiciones óptimas, su acceso es regular. Estructuralmente tiene dos muros guía y una losa de corto desarrollo longitudinal, pero que tienen buena altura, y una prolongación de los muros hacia aguas arriba, de corta altura. Estos muros que prolongan la estación tienen una mala terminación en la sección de entrada, donde las alas no tienen un desarrollo adecuado. Sobre la instrumentación cuenta con los sensores meteorológicos y transmite satelitalmente, pero existen problemas (ver Anexo 10).
4. **Río Mostazal en Cuestecita:** La estación alerta a la población de Carén. En la visita a terreno se observó el estado de la estación. La estructura de la estación está bajo un puente, posee dos muros guía y una losa corta. Existe una socavación en la entrada de la losa. En cuanto a los instrumentos, sólo tiene un

piezómetro instalado en una cámara (más detalles de los problemas están en la ficha del Anexo 10), no posee transmisión satelital.

5. **Río Grande en Cuyano:** La estación alerta a la población de Carén, por el lado del río Grande. En la visita a terreno se observó el estado de la estación, que se encuentra bajo un puente con trabajos a la fecha de visita. La sección no está bien controlada, cuenta con un muro guía y al otro lado está solo el pilar del puente, el lecho es natural. En cuanto a la instrumentación tiene los sensores meteorológicos y transmite satelitalmente. El piezómetro se encuentra en una cámara.
6. **Río Combarbalá en Ramadillas:** La estación alerta a la población de Combarbalá. En la visita a terreno se observó que la estación tiene una estructura antigua y que se encuentra seca la mayor parte del año. Además, la estructura posee malas terminaciones, como una losa de crecidas mal ejecutada. La caseta se encuentra en malas condiciones y solo cuenta con el piezómetro. Los problemas son detallados en la ficha del Anexo 10. En la estadística existen eventos importantes.
7. **Río Illapel en Huintil:** La estación alerta a la ciudad de Illapel. Se encuentra ubicada aguas abajo del embalse El Bato, por lo que mide las aguas provenientes de las descargas del embalse. En reuniones con la jefatura de hidrología de la DGA regional se menciona que es importante tener esta estación para alertar a la ciudad de Illapel, pues es la única existente aguas arriba. La estación fue recientemente restaurada, con su muro guía reconstruido. La estación se encuentra muy cerca de una curva del cauce, por lo que se recomienda reubicar la estación a una sección más recta del cauce y construir una sección robusta, con dos muros guía, canal de estiaje y losa de crecidas.
8. **Río Chalinga en La Palmilla:** La estación alerta a la ciudad de Salamanca y poblaciones aisladas que se encuentran en el valle del río. En la visita a terreno se observó que la estación, estructuralmente, se encuentra en buen estado, pues fue remodelada hace unos 5 años. Tiene detalles menores en la entrada, en el que el ala del muro está muy perpendicular al cauce, además de que el carro fue vandalizado y se encuentra a la mitad del cable.
9. **Río Cuncumén antes junta Choapa:** Esta estación es parte del protocolo DGA-ONEMI, por lo que se seleccionó como estación crítica. En la capa shape de localidades y en imágenes satelitales es posible distinguir varias localidades que quedan hacia aguas abajo. En la visita a terreno se observan pequeñas

deficiencias, como la limpieza de la sección de entrada y salida y la ubicación del piezómetro.

10. **Río Choapa en Cuncumén:** Esta estación es parte del protocolo DGA-ONEMI, por lo que se seleccionó como estación crítica. En la capa shape de localidades y en imágenes satelitales es posible distinguir varias localidades que quedan hacia aguas abajo. En la visita a terreno se observó que la estructura de la estación es antigua, tiene solo 1 muro guía, con lecho natural del cauce.
11. **El Trapiche (Meteorológica):** Esta estación meteorológica se ubica en la parte media de la cuenca de la quebrada Los Choros. La quebrada que monitorea es del tipo intermitente, es decir, se activa cuando hay eventos de precipitación. Existe población vulnerable en esta cuenca, por lo que se seleccionó la estación como crítica. En la visita a terreno se observó un estado deficiente de la estación con falta de mantención en sus instrumentos, los cuales no sirven para transmisión de datos digitalmente, y que tampoco está implementada. Es necesaria una actualización de los sensores y la implementación de transmisión satelital.
12. **La Placilla (Meteorológica):** Esta estación meteorológica se ubica en la parte media alta de la cuenca del estero Punitaqui. El estero que monitorea es del tipo intermitente, es decir, se activa cuando hay eventos de precipitación. Existe población vulnerable en esta cuenca, por lo que se seleccionó la estación como crítica. En la visita a terreno se observó que la estación consta de solo un pluviómetro manual, operado por un observador. Es necesaria una actualización de los sensores y la implementación de transmisión satelital.
13. **Estero Pupío en El Romero (Meteorológica):** Esta estación es fluviométrica, pero se considera que su dato sobre precipitación es más relevante, porque la estación queda en la cabecera de la cuenca, y aguas abajo recibe otra quebrada intermitente que presenta un peligro a la localidad de Caimanes. Otra ventaja de usar la información de pluviometría es que se pueden estimar crecidas en la cuenca vecina del estero Quilimarí. Con esto en cuenta, la estación está en condiciones óptimas para operar como estación meteorológica crítica.

3.2 Estaciones Nuevas

En los análisis anteriores se identificaron zonas con falta de datos para generar alertas a la población vulnerable. En estas zonas se propuso la instalación de un pluviómetro para poder estimar una crecida con un cierto tiempo de anticipación.

En el caso de la Región de Coquimbo se propone la instalación de dos estaciones meteorológicas nuevas.

- Ruta D-205 (Quebrada Los Choros Alta)
- Ruta D-115 (Quebrada de Santa Gracia Alta)

3.3 Estaciones de Apoyo

En los análisis se definieron estaciones de apoyo, que son estaciones que los Jefes Regionales de Hidrología consideran importantes para el correcto monitoreo de eventos hidroclimáticos importantes, pero que por su ubicación, muy cercana a la población en la mayoría de los casos, fueron descartadas como críticas. Las estaciones de apoyo en la región son las siguientes.

1. **Río Grande en Puntilla de San Juan:** Observando la capa shape de localidades y en imágenes satelitales, la estación alertaría a la población de Monte Patria. En la visita a terreno se observó que la población de la localidad se encuentra fuera de peligro, ya que está ubicada en una parte alta y además el embalse La Paloma recibe la crecida, regulando el cauce aguas abajo. La sección de aforo es de una estructura antigua, que tiene solo un muro guía. Aguas abajo hay una estructura que posee dos muros guía, y una losa de hormigón que serviría de sección de control para instalar el piezómetro, se sugiere cambiar de posición el sensor. Por motivos de que la población de Monte Patria no es vulnerable por crecidas provenientes del río Grande es que se descarta la estación como crítica.
2. **Río Grande en Las Ramadas:** Esta estación es parte del protocolo DGA-ONEMI, por lo que se seleccionó como estación crítica. Observando la capa shape de localidades y en imágenes satelitales no existen poblaciones de alguna importancia que sean vulnerables hasta la siguiente estación (río Grande en Cuyano). En la visita a terreno se observó que la estación tiene deficiencias en que su estructura es antigua, muros cortos y que se prolongan con gaviones. En

cuanto a su instrumentación, la torre se encuentra muy pegada a la ladera del cerro y el piezómetro se encuentra instalado en una cámara. Posee transmisión satelital. Dado que aguas abajo se encuentra la estación río Grande en Cuyano que está más cerca de población vulnerable, es que se descarta a la estación río Grande en Las Ramadas como estación crítica.

4. PLAN DE ACCIÓN RED HIDROMÉTRICA

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

La valorización de la red corresponde a una estimación de los costos de una red totalmente nueva a los precios actuales. Para realizar la valorización se utilizaron licitaciones históricas. Se clasificaron las estaciones de acuerdo a su caudal de 50 años de periodo de retorno en estaciones pequeñas, medianas, grandes con losa y grandes sin losa. Además se inflató el precio por un factor que pondera la accesibilidad de la estación para llegar a un valor final de la estación de la red. La Tabla 4.1 muestra el valor de las estaciones fluviométricas perteneciente a la red Coquimbo, sumando un total de \$1.395,9 millones de pesos. En el **Anexo 11** se incluyen los cálculos de la estimación de los precios. Al incluir la valorización de las 5 estaciones meteorológicas consideradas, el valor total asciende a los **\$1.467,1 millones de pesos**.

Tabla 4.1 Valor de las estaciones fluviométricas críticas Red Metropolitana

Código BNA	Nombre	Q T=50 (m ³ /s)	Clasificación	Factor	Precio
04532001-4	Río Combarbalá en Ramadillas	13,71	Pequeña	1,2	\$ 41.239.385
04712001-2	Río Chalinga en La Palmilla	25,02	Pequeña	1,2	\$ 63.483.629
04311001-2	Estero Derecho en Alcohuaz	26,66	Pequeña	1,2	\$ 67.217.467
04514001-6	Río Mostazal en Cuestecita	28,17	Pequeña	1,2	\$ 69.691.307
04704001-9	Río Cuncumén antes junta Choapa	34,59	Mediana	1,2	\$ 81.811.000
02101001-4	Río Hurtado en San Agustín	51,02	Mediana	1,3	\$ 122.722.595
04723001-2	Río Illapel en Huintil	154,00	Grande Con Losa	1,2	\$ 430.510.728
04320001-1	Río Elqui en Algarrobal	164,64	Grande Sin Losa	1,1	\$ 121.170.415
04703002-1	Río Choapa en Cuncumén	210,83	Grande Sin Losa	1,2	\$ 163.609.035
04513001-0	Río Grande en Cuyano	304,86	Grande Sin Losa	1,2	\$ 230.227.346
Total					\$ 1.395.851.337

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.

4.2.1 Estaciones meteorológicas

La Tabla 4.2 muestra las brechas identificadas de las estaciones meteorológicas seleccionadas, en base a los antecedentes disponibles. Las brechas consideran una implementación completamente nueva de las estaciones existentes El Trapiche y La Placilla, que se encuentran obsoletas, y una instalación desde cero de las estaciones nuevas en las cabeceras de las cuencas de las quebradas Los Choros y Santa Gracia. La instrumentación meteorológica de la estación Estero Pupío en El Romero se encuentra en excelentes condiciones, por lo que no se requieren trabajos.

Tabla 4.2 Brechas estaciones meteorológicas, Región de Coquimbo

ITEM	DESCRIPCIÓN	UN	CANTIDAD					
			Estación Estándar	El Trapiche	La Placilla	Pupío en el Romero	Nueva Choros Alto	Nueva Santa Gracia Alto
1	ESTRUCTURA							
1.1	Instalación de Faena	un	1	1	1	0	1	1
1.2	Limpieza y Despeje del Terreno	un	1	1	1	0	1	1
1.3	Pollos de hormigón H-25	un	6	6	6	0	6	6
1.4	Torre Meteorológica 4 m (incluye soporte de instrumentos)	un	1	1	1	0	1	1
1.6	Pintura	un	1	1	1	0	1	1
1.7	Cerco Perimetral 3,0X3,0m	gl	1	1	1	0	1	1
1.8	Letrero de Identificación de la Estación	gl	1	1	1	0	1	1
1.9	Letrero de Peligro	gl	1	1	1	0	1	1
1.1	Letrero de Zona de inundación y Vía de Evacuación**	gl	1					
2	INSTRUMENTAL							
2.1	Plataforma Satelital (incluye transmisor + datalogger y antena)	un	1	1	1	0	1	1
2.2	Panel Solar 40W	un	1	1	1	0	1	1
2.3	Batería 55AH	un	1	1	1	0	1	1
2.4	Sensor Precipitación /Disdrómetro, con 10 m de cable	un	0	0	0	0	0	0
2.5	Pluviómetro modelo RG1(400), con 10 m de cable	un	1	1	1	0	1	1
2.6	Sensor de Temperatura y Humedad	un	1	1	1	0	1	1
2.7	Caseta tipo DGA	un	1	1	1	0	1	1

4.2.2 Estaciones fluviométricas

La Tabla 4.3 muestra las brechas identificadas de la selección de estaciones fluviométricas críticas, en base a los antecedentes disponibles. En la mayoría de los casos las brechas identificadas significaron una construcción completa de la estructura, dada la antigüedad de las estaciones. Las estaciones Río Cuncumén antes junta Choapa y Río Illapel en Huintil no tienen todas las subpartidas del ítem Construcción y Estructura ya que se encuentran en buenas condiciones. En todos los casos se considera la reutilización del instrumental que se encuentra en buenas condiciones y cumple con el estándar requerido.

Tabla 4.3 Brechas estaciones fluviométricas críticas, Región de Coquimbo

ITEM	DESCRIPCIÓN	UN	CANTIDAD										
			Estación Estándar	Río Elqui en Algarrobal	E. Derecho en Alcohuz	Río Hurtado en San Agustín	Río Mostazal en Cuestecita	Río Grande en Cuyano	Río Combarbalá en Ramadillas	Río Illapel en Huintil	Río Chalinga en La Palmilla	Río Cuncumén antes Choapa	Río Choapa en Cuncumén
1	CONSTRUCCIÓN Y ESTRUCTURA												
1.1	Instalación de Faena	un	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
1.2	Limpieza y Despeje del Terreno	un	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1.3	Desembanque y Encauzamiento	un	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1.4	Enrocado de Protección	un	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1.5	Gaviones (1,0x1,0m+fundación 1,5x0,5m)	gl	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1.6	Construcción de Sección de Aforo	gl	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1
1.7	Muros Estructurales (Ambas riberas)	gl	2	2	2	2	2	2	2	1	0	0	2
1.8	Estructura para Instalación del Sensor de Nivel	gl	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
1.9	Carro de Aforo (incluye cable, soporte, base concreto y torre para el carro)	un	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1
1.10	Escalines de acceso a la regla limnimétrica	un	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1
1.11	Pollos de hormigón H-25	un	5	5	5	5	5	0	5	0	0	0	1
1.12	Cerco Perimetral 3,0m x 3,0m	gl	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1
1.13	Caseta DGA	un	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0
1.14	Torre Meteorológica 4 m (incluye soporte de instrumentos)	un	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0
1.15	Pintura General de Estructuras	gl	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1.16	Letreros de Identificación de la Estación	gl	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1
1.17	Letrero Peligro	gl	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1
1.18	Letrero de Zona de inundación y Vía de Evacuación**	gl	1										
2	INSTRUMENTAL												
2.1	Fluviométrica												
2.1.1	Sensor de nivel (con 10 m de cable autocompensado)	un	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.1.2	Regla Limnimétrica	un	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1
2.2	Meteorológica												
2.2.1	Sensor Precipitación /Disdrómetro, con 10 m de cable	un	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
2.2.2	Pluviómetro modelo RG1(400), con 10 m de cable	un	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0
2.2.3	Sensor de Temperatura y Humedad	un	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0
2.3	Estación												
2.3.1	Batería 55AH	un	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0
2.3.2	Plataforma Satelital (incluye transmisor + datalogger y antena)	un	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0
2.3.3	Panel Solar 40W	un	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0
3	DISEÑO												
3.1	Diseño de Estación Fluviométrica (incluye planos y memorias de cálculo)	gl	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1

4.3 Evaluación de Costos

A partir de las brechas identificadas y el presupuesto de las estaciones estándar presentados en la sección 13.1, 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 y la accesibilidad a la estación. 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.

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 ³ /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 de esta región.

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

Código BNA	Nombre	Q T=50 (m³/s)	Método	Tipo
04532001-4	Río Combarbalá en Ramadillas	13,71	Análisis de Frecuencias	1
04712001-2	Río Chalinga en La Palmilla	25,02	Análisis de Frecuencias	1
04311001-2	Estero Derecho en Alcohuaz	26,66	DGA-AC Max	1
04514001-6	Río Mostazal en Cuestecita	28,17	Análisis de Frecuencias	1
04704001-9	Río Cuncumén antes junta Choapa	34,59	DGA-AC Max	2
02101001-4	Río Hurtado en San Agustín	51,02	Análisis de Frecuencias	2
04723001-2	Río Illapel en Huintil	154,00	Análisis de Frecuencias	3
04320001-1	Río Elqui en Algarrobal	164,64	Análisis de Frecuencias	4
04703002-1	Río Choapa en Cuncumén	210,83	Análisis de Frecuencias	4
04513001-0	Río Grande en Cuyano	304,86	Análisis de Frecuencias	4

4.3.1 Estaciones meteorológicas

La Tabla 4.8 muestra los costos de estandarización de las estaciones meteorológicas críticas. El plan de acción de este ítem asciende a un total de \$62,7 millones de pesos.

Tabla 4.8 Costos Plan de Acción estaciones meteorológicas

ITEM	DESCRIPCION	El Trapiche	La Placilla	Pupío en el Romero	Nueva Choros Alto	Nueva Santa Gracia Alto
1	ESTRUCTURA	\$ 5.065.799	\$ 5.065.799	\$ -	\$ 5.065.799	\$ 5.065.799
2	INSTRUMENTAL	\$ 6.381.800	\$ 6.381.800	\$ -	\$ 6.381.800	\$ 6.381.800
	TOTAL NETO	\$ 11.447.599	\$ 11.447.599	\$ -	\$ 11.447.599	\$ 11.447.599
	Factor Elevación	1	1	1	1	1
	Factor Accesibilidad	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2
	TOTAL NETO PONDERADO	\$ 12.592.359	\$ 12.592.359	\$ -	\$ 13.737.119	\$ 13.737.119
	IVA (19%)	\$ 2.392.548	\$ 2.392.548	\$ -	\$ 2.610.053	\$ 2.610.053
	TOTAL	\$ 14.984.907	\$ 14.984.907	\$ -	\$ 16.347.171	\$ 16.347.171

4.3.2 Estaciones fluviométricas

La Tabla 4.9 y Tabla 4.10 muestran los costos del plan de acción de las brechas de las estaciones fluviométricas identificadas en la sección anterior. El plan de acción de las estaciones fluviométricas asciende a un total de \$775,9 millones de pesos. Las estaciones que requieren menos trabajos corresponden a Río Chalinga en La Palmilla y Río Cuncumén antes junta Choapa, que poseen una estructura en buen estado. Dada la administración de las estaciones fluviométricas en la región, en la que se separan estas por provincias, la Tabla 4.11 muestra los montos de cada una.

Tabla 4.9 Costos Plan de Acción estaciones fluviométricas (1)

ITEM	DESCRIPCIÓN	Río Elqui en Algarrobal	E. Derecho en Alcohuz	Río Hurtado en San Agustín	Río Mostazal en Cuestecita	Río Grande en Cuyano
1	CONSTRUCCIÓN Y ESTRUCTURA	\$ 42.686.552	\$ 43.219.552	\$ 43.219.552	\$ 43.219.552	\$ 38.447.008
2	INSTRUMENTAL	\$ 1.630.050	\$ 5.417.850	\$ 2.056.050	\$ 4.991.850	\$ 310.050
3	DISEÑO	\$ 15.000.000	\$ 15.000.000	\$ 15.000.000	\$ 15.000.000	\$ 15.000.000
	TOTAL NETO	\$ 59.316.602	\$ 63.637.402	\$ 60.275.602	\$ 63.211.402	\$ 53.757.058
	Factor Elevación	x 1	x 1	x 1	x 1	x 1
	Factor Accesibilidad	x 1,1	x 1,2	x 1,3	x 1,2	x 1,2
	Factor de Tamaño	x 1,5	x 0,6	x 1	x 0,6	x 1,5
	TOTAL NETO PONDERADO	\$ 97.872.393	\$ 45.818.929	\$ 78.358.283	\$ 45.512.209	\$ 96.762.704
	IVA (19%)	\$ 18.595.755	\$ 8.705.597	\$ 14.888.074	\$ 8.647.320	\$ 18.384.914
	TOTAL	\$ 116.468.148	\$ 54.524.526	\$ 93.246.356	\$ 54.159.529	\$ 115.147.618

Tabla 4.10 Costos Plan de Acción estaciones fluviométricas (2)

ITEM	DESCRIPCIÓN	Río Combarbalá en Ramadillas	Río Illapel en Huintil	Río Chalinga en La Palmilla	Río Cuncumén antes Choapa	Río Choapa en Cuncumén
1	CONSTRUCCIÓN Y ESTRUCTURA	\$ 43.219.552	\$ 34.974.708	\$ 12.512.658	\$ 9.862.658	\$ 40.630.180
2	INSTRUMENTAL	\$ 4.991.850	\$ 310.050	\$ -	\$ -	\$ 310.050
3	DISEÑO	\$ 15.000.000	\$ 15.000.000	\$ -	\$ -	\$ 15.000.000
	TOTAL NETO	\$ 63.211.402	\$ 50.284.758	\$ 12.512.658	\$ 9.862.658	\$ 55.940.230
	Factor Elevación	1	1	1	1	1
	Factor Accesibilidad	x 0,6	x 2	x 0,6	x 1	x 1,5
	TOTAL NETO PONDERADO	\$ 45.512.209	\$ 120.683.419	\$ 9.009.114	\$ 11.835.190	\$ 100.692.414
	IVA (19%)	\$ 8.647.320	\$ 22.929.850	\$ 1.711.732	\$ 2.248.686	\$ 19.131.559
	TOTAL	\$ 54.159.529	\$ 143.613.269	\$ 10.720.845	\$ 14.083.876	\$ 119.823.973

Tabla 4.11 Plan de Acción por provincia

Provincia	N° Estaciones fluviométricas	Total
Elqui	2	\$170.992.674
Limarí	4	\$316.713.033
Choapa	4	\$288.241.963
Total	10	\$775.947.670

4.3.3 Costo total

El costo total del plan de acción de las estaciones críticas asciende a **\$838,6 millones de pesos**. Este monto sería utilizado para llevar a la calidad de estándar definido en el estudio a 10 estaciones fluviométricas y 3 estaciones meteorológicas y la instalación de 2 estaciones meteorológicas nuevas.

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 Coquimbo consiste en mantener los pozos Estáticos que se mantienen vigentes (pozos con mediciones hasta el año 2018 y posterior), y 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 2018 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	Tres Cruces	Zona de Restricción	1	322.952	6.772.052
2	Serena Norte	Zona de Prohibición	1	284.918	6.710.775
3	Santa Gracia	Zona de Prohibición	1	297.427	6.699.196
4	Higuerilla	Zona de Restricción	1	294.141	6.647.100
5	Quebrada Grande	Zona de Restricción	1	293.705	6.557.895
6	Río Pama	Zona de Restricción	1	302.741	6.545.884
7	Combarbalá	Zona de Restricción	1	312.807	6.546.685
8	Canela	Zona de Prohibición	1	285.440	6.537.877
9	Quebrada El Totoral	Zona de Prohibición	1	253.356	6.531.786
10	Illapel	Zona de Prohibición	1	306.115	6.504.449
11	Choapa Bajo	Zona de Prohibición	1	274.660	6.499.072
12	Chalinga	Zona de Prohibición	1	317.783	6.486.948
13	Caleta Nague	Zona de Prohibición	1	263.622	6.476.310
14	Toralillo	Zona de Prohibición	1	265.995	6.454.291
15	Quilimarí	Zona de Prohibición	1	265.881	6.444.197
16	Los Maquis	Zona de Prohibición	1	268.769	6.444.082
17	El Ajial	Zona de Prohibición	1	272.086	6.443.596
18	Guangali	Zona de Prohibición	1	276.890	6.442.138
19	Los Cóndores	Zona de Prohibición	1	280.779	6.443.453
20	Pangalillo	Zona de Prohibición	1	285.004	6.447.156
21	Aguas Arriba Embalse Culimo	Zona de Prohibición	1	290.473	6.449.036
22	Guatulame	Zona de Restricción	1	307.126	6.581.523
23	Choapa Alto	Zona de Prohibición	1	323.130	6.476.135
Total Pozos Propuestos			23		

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.

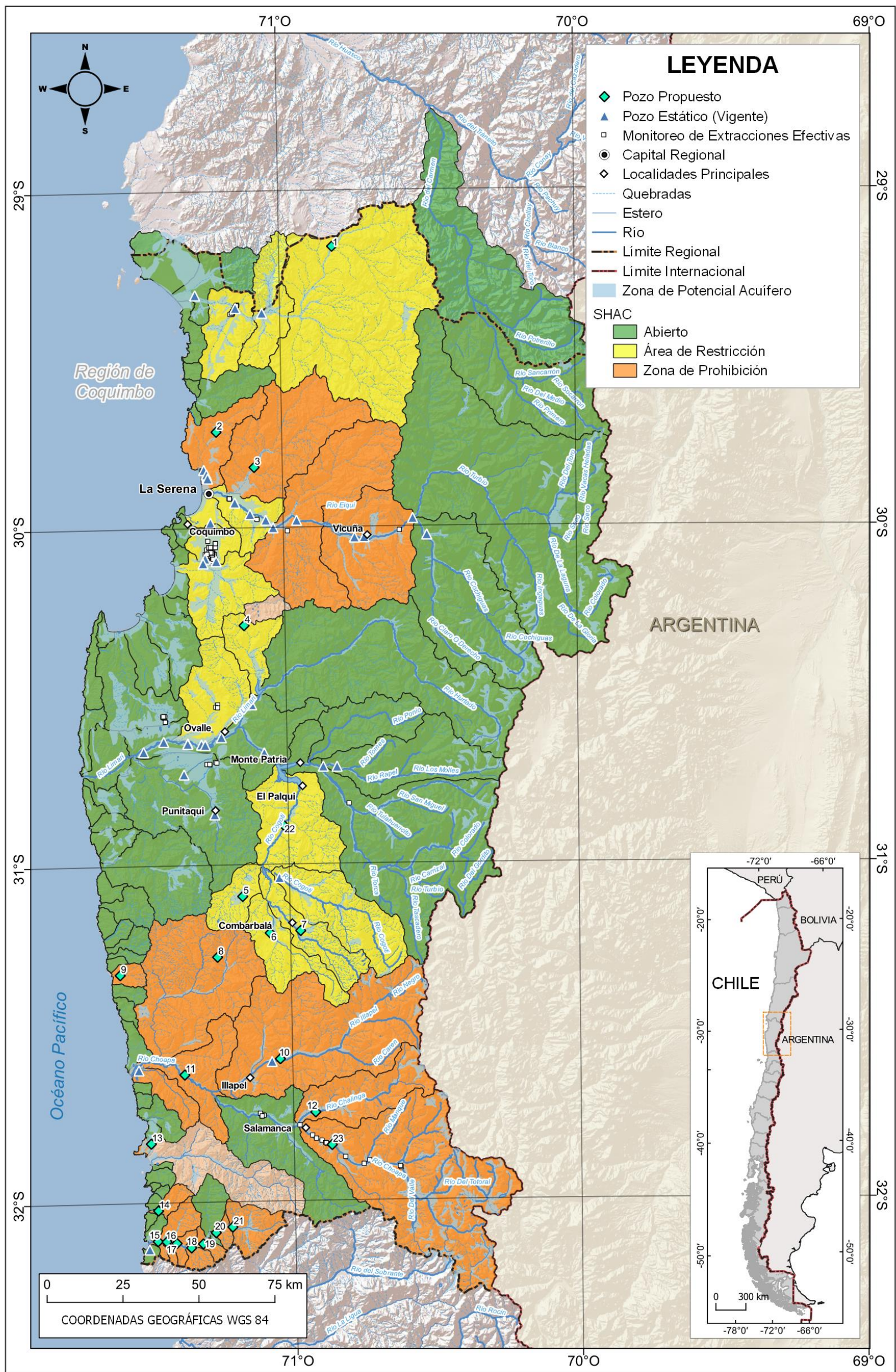


Figura 5.1 Pozos propuestos, Región de Coquimbo

5.2 Evaluación de costos

Respecto al costo monetario de un pozo de la red piezométrica estándar, este 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 40 metros y habilitado para la transmisión satelital de niveles tiene un costo aproximado de 27 millones de pesos.

En una primera etapa, donde se tiene como prioridad los SHAC con algún tipo de limitación, se propone la construcción de 21 pozos de monitoreo. Para lo anterior se requiere 920 metros lineales de sondaje, los cuales serán repartidos entre las 21 estaciones, procurando llegar al nivel freático actual y que permita medir el nivel freático a futuro (se ha experimentado un descenso en la región).

El costo de perforación alcanza los \$265 millones de pesos, y el costo de la red completa habilitada para la transmisión tiene un costo aproximado de \$615 millones de pesos para la región de Coquimbo, sumando un total estimado de **\$880 millones de pesos**.

6. CONCLUSIONES

6.1 Disponibilidad de datos

Las estaciones críticas seleccionadas poseen una gran cantidad de estadística, la mayoría sobre 50 años. Todas estarían vigentes, excepto por río Chalinga en La Palmilla que entre los años 2019 y 2020 tiene 3 meses con estadística. En general la región tiene una buena disponibilidad de datos y con estaciones vigentes.

En cuanto a las estaciones críticas meteorológicas seleccionadas, actúan como un complemento de las fluviométricas, es decir, donde no existan estaciones fluviométricas se selecciona una estación meteorológica que pueda, en base a observaciones de precipitaciones, generar una alerta de crecida importante. Las estaciones El Trapiche y La Placilla son estaciones meteorológicas con gran cantidad de registros (sobre 30 años válidos) y que se encuentran vigentes. La estación Estero Pupío en el Romero corresponde a una estación Fluviométrica habilitada como meteorológica, que dada sus bajos caudales y su ubicación en la cabecera de la cuenca se seleccionó como estación meteorológica crítica. Esta última está vigente y tiene 8 años válidos de estadística.

6.2 Eventos extremos

Las estaciones fluviométricas críticas seleccionadas han registrado gran cantidad de estadística y dentro de ella varios eventos extremos. En las últimas dos décadas, en las estaciones de las cuencas de los ríos Elqui y Limarí no se observan crecidas máximas que sobresalgan de la media, cosa que no ocurre en la cuenca del Choapa. A principio de los 2000 se observan dos crecidas que superaron el límite rojo de alerta, para la estación río Choapa en Cuncumén, situación que posteriormente no se ha repetido.

Las estaciones meteorológicas que no son fluviométricas habilitadas, El Trapiche y La Placilla han registrado eventos importantes de gran magnitud, con precipitaciones sobre 50 mm en 24 horas, El Trapiche, y sobre 150 mm en 24 horas, La Placilla. Ambas estaciones se encuentran en zonas sin control fluviométrico, donde se vuelven de vital importancia al ser la única información disponible y que permiten dar una estimación de crecida que pueda afectar a poblaciones vulnerables aguas abajo.

6.3 Distribución espacial

La región posee una gran cantidad de estaciones, 48 fluviométricas y 67 meteorológicas, lo que hace que tenga una buena densidad de estaciones desde el río Elqui hacia abajo. La zona norte de la región, la cuenca de la quebrada Los Choros y aportantes del lado norte del río Elqui no tienen control fluviométrico y existe sólo la estación meteorológica El Trapiche, la única para unos 3.700 km², además esta estación queda en la parte media de la cuenca, desconociéndose lo que sucede en la parte alta. Otra zona cercana sin ningún tipo de control es la de las quebradas La Marquesa y Santa Gracia, aportantes al río Elqui y que históricamente generan diversos problemas causados por aluviones.

6.4 Red Hidrométrica Final

A partir de los análisis expuestos, la red hidrométrica crítica final consta de 10 estaciones fluviométricas, 3 estaciones meteorológicas, 2 estaciones meteorológicas nuevas y 2 estaciones de apoyo. La red lograría alertar a 17 localidades en las 3 provincias de la región (Elqui, Limarí y Choapa), con un total de 269.245 habitantes de zonas vulnerables a eventos hidroclimáticos extremos. A pesar de que la red ha funcionado históricamente sobrellevando grandes caudales, es necesario mejorar aspectos estructurales, en pos de seguir resistiendo caudales importantes y también que el dato registrado sea verídico. Las mejoras estructurales y de equipos están estimadas en \$839 millones de pesos para la red hidrométrica crítica. La red hidrométrica crítica final se compone de las siguientes estaciones.

- Estaciones fluviométricas
 - Río Elqui en Algarrobal
 - Estero Derecho en Alcohuaz
 - Río Hurtado en San Agustín
 - Río Mostazal en Cuestecita
 - Río Grande en Cuyano
 - Río Combarbalá en Ramadillas
 - Río Illapel en Huintil
 - Río Chalinga en La Palmilla
 - Río Cuncumén antes junta Choapa
 - Río Choapa en Cuncumén

- Estaciones meteorológicas
 - El Trapiche
 - La Placilla
 - Estero Pupío en El Romero
- Estaciones meteorológicas nuevas
 - Quebrada Los Choros Alto
 - Quebrada Santa Gracia Alto
- Estaciones de apoyo
 - Río Grande en puntilla San Juan
 - Río Grande en Las Ramadas

6.5 Red Piezométrica

La red piezométrica en la región de Coquimbo presenta un total de 116 estaciones piezométricas, de las cuales la mayoría están en los acuíferos Río Limarí y Río Elqui. 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, los que corresponden a:

SHAC en área de restricción:

- Higerilla
- Quebrada Grande
- Combarbalá

SHAC ubicados en zona de prohibición:

- Chalinga
- Quebrada El Totoral
- Canela
- Santa Gracia
- Aguas Arriba Embalse Culimo
- Pangalillo
- Los Cóndores
- Guanguali

- El Ajial
- Los Maquis
- Totalillo
- Caleta Nangue

Estos SHAC 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.