



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 VII REGIÓN METROPOLITANA

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.....	11
3.3	ESTACIONES DE APOYO	12
4.	PLAN DE ACCIÓN RED HIDROMÉTRICA	13
4.1	VALORIZACIÓN DE LA RED	13
4.2	IDENTIFICACIÓN DE BRECHAS	13
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	17
4.3.3	Costo total	18
5.	PLAN DE ACCIÓN RED PIEZOMÉTRICA	19
5.1	IDENTIFICACIÓN LUGAR DE POZOS.....	19
5.2	EVALUACIÓN DE COSTOS	22
6.	CONCLUSIONES	23
6.1	DISPONIBILIDAD DE DATOS.....	23
6.2	EVENTOS EXTREMOS	23
6.3	DISTRIBUCIÓN ESPACIAL.....	24
6.4	RED HIDROMÉTRICA FINAL	24
6.5	RED PIEZOMÉTRICA.....	25

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 UBICACIÓN POZOS PROPUESTOS, REGIÓN METROPOLITANA	21

Índice de Tablas

TABLA 4.1 VALOR DE LAS ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS CRÍTICAS RED METROPOLITANA	13
TABLA 4.2 BRECHAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS CRÍTICAS, REGIÓN METROPOLITANA	14
TABLA 4.3 BRECHAS ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS CRÍTICAS, REGIÓN METROPOLITANA	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 ESTACIONES METEOROLÓGICAS	17
TABLA 4.9 COSTOS PLAN DE ACCIÓN ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS	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 VII correspondiente a la Red de la Región Metropolitana, 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

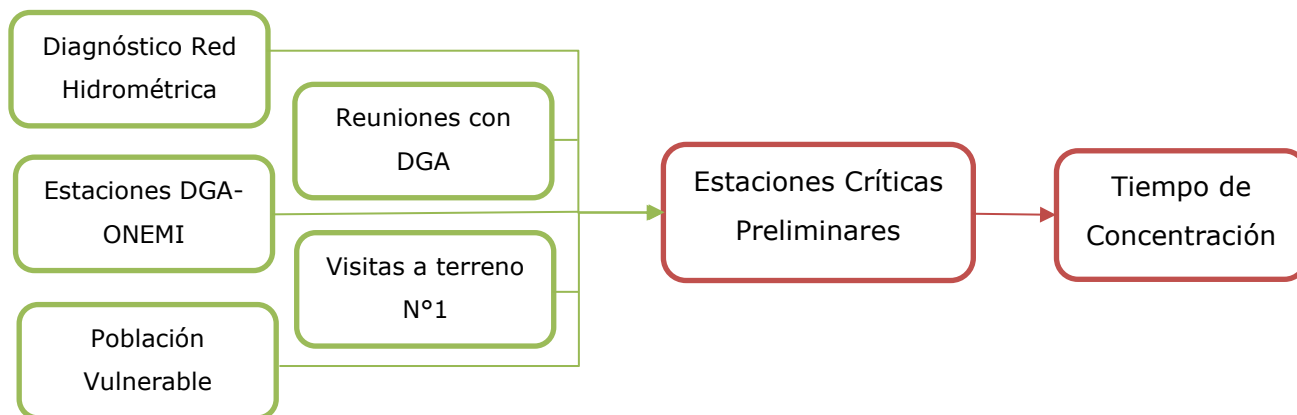


Figura 2.1 Diagrama Etapa I: Selección de estaciones críticas preliminares

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

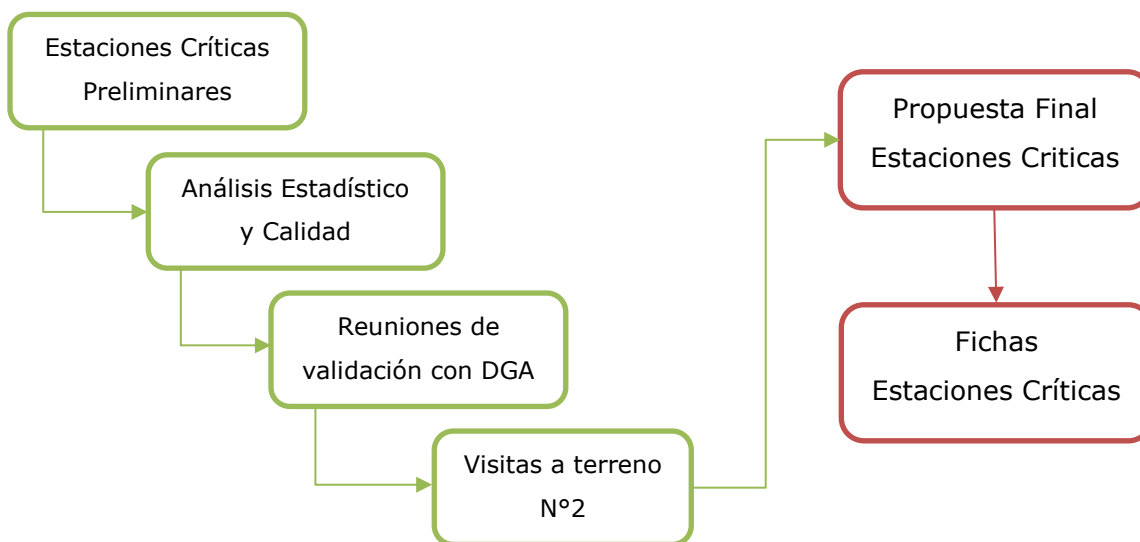


Figura 2.2 Diagrama Etapa II: revisión estaciones críticas seleccionadas

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

15. Entrega de información para Geodatabases o shape files

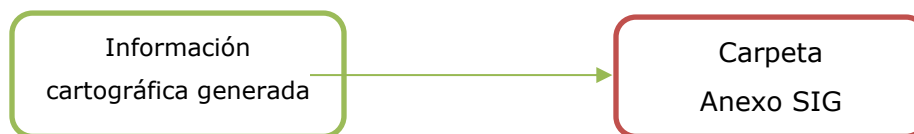


Figura 2.3 Diagrama Etapa III: Sistema de Información Geográfica

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.

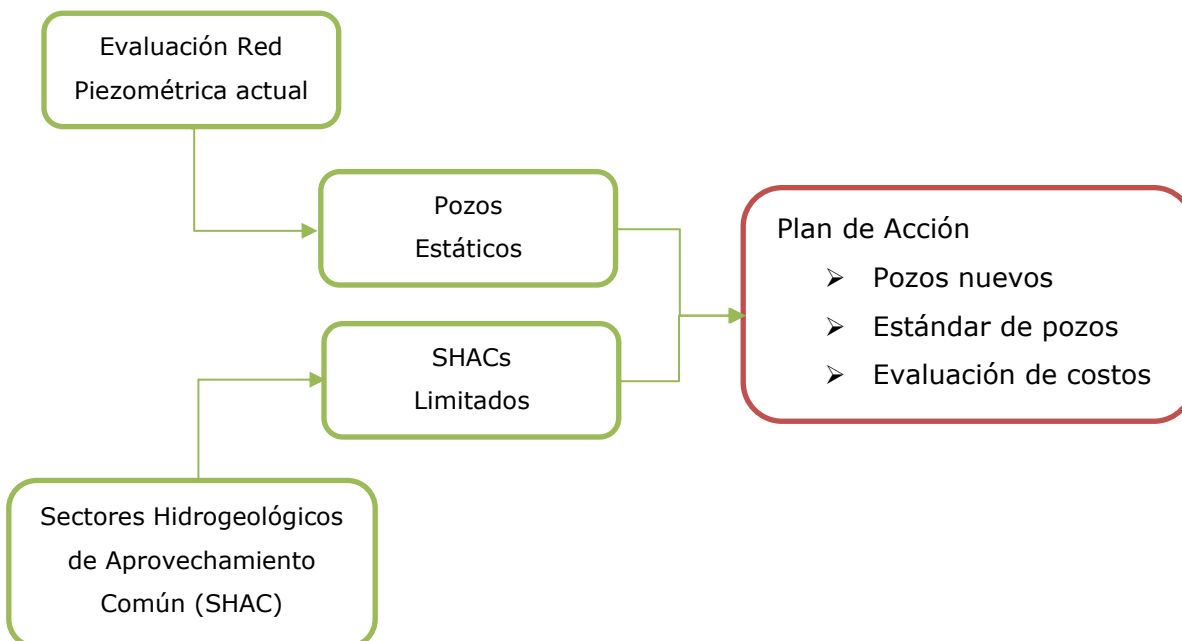


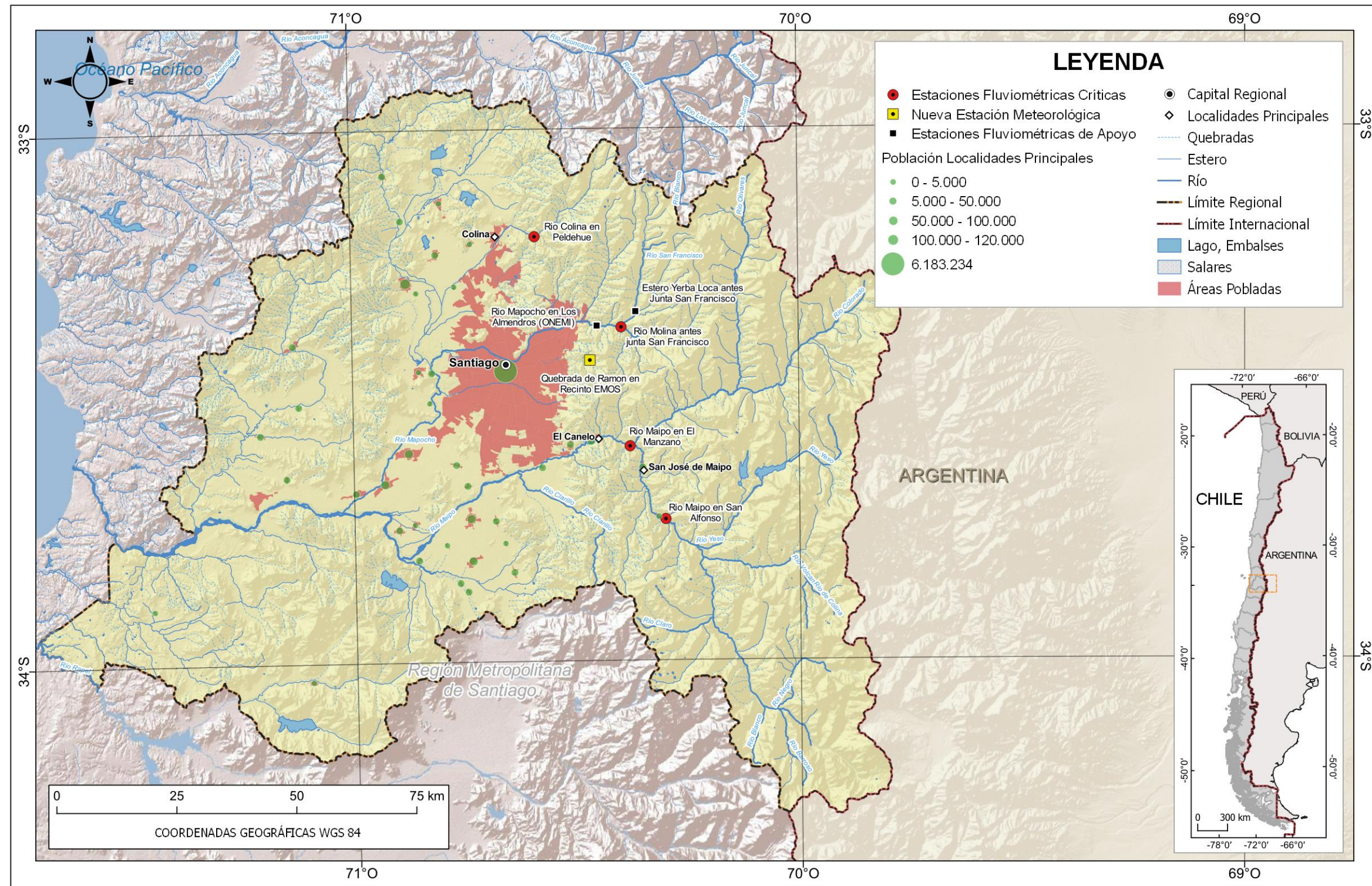
Figura 2.5 Diagrama metodología análisis crítico Red Piezométrica

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 Colina en Peldehue
 - Río Molina antes junta San Francisco
 - Río Maipo en El Manzano
 - Río Maipo en San Alfonso
- Estación meteorológica nueva (reubicada)
 - Quebrada Ramón en recinto EMOS
- Estaciones de apoyo
 - Río Mapocho en Los Almendros
 - Estero Yerba Loca antes junta San Francisco

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



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

- **Estadística general:** De las estaciones visitadas 3 poseen gran cantidad de estadística de caudales (mayor a 68 años válidos) y 2 estaciones una cantidad media (39 y 26 años válidos) y 1 estación no visitada, la cual posee poca estadística (10 años válidos). Sobre las precipitaciones, la instrumentación es más reciente, con estadística de entre 7 y 18 años válidos.
- **Obras existentes y deficiencias:**
 - **Acceso:** Las estaciones tienen un muy buen acceso. Son cercanas a la población, y existen casos en los que la estación no tiene ningún tipo de resguardo (3) y casos en los que la estación queda en un terreno privado (3).
 - **Emplazamiento:** De las estaciones visitadas se observó que dos estaciones (Maipo en El Manzano y Colina en Peldehue) están muy bien posicionadas frente al cauce, con secciones rectas tanto aguas arriba, como aguas abajo. En las demás estaciones hay problemas de curvas que pueden ser aguas arriba o aguas abajo, mucho sedimento en el cauce o vegetación. La estación de Molina antes San Francisco no fue visitada por lo que no se tienen mayores antecedentes de este aspecto.
 - **Estructura:** Estructuralmente todas las estaciones visitadas presentan deficiencias. La mayoría son estructuras antiguas y de muros guía por una ladera del cauce. Las estaciones Mapocho en Los Almendros y Molina antes San Francisco son las únicas que poseen un muro guía de mejores terminaciones, pero que de igual manera tiene detalles como el ángulo del ala del muro guía en la sección de entrada o la falta de un muro guía por el lado contrario al existente.
 - **Instrumentación:** La estación Maipo en San Alfonso no presenta ningún instrumento, ya que se encuentra fuera de operación. La estación Colina en Peldehue posee sólo un piezómetro. Las demás estaciones poseen instrumentación completa, pero con detalles sobre su ubicación en el caso de los pluviómetros por árboles que hacen sombra, y en el caso del piezómetro por su instalación en tubos que van directamente colocados en el río.

- **Otros:** Un aspecto recurrente en la región es el vandalismo. Esto ocurre en estaciones que tienen un acceso fácil al lado de un camino público. El caso más grave corresponde al río Colina en Peldehue, que ha sido vandalizado en múltiples ocasiones. Otros detalles particulares son la estación de Mapocho en Los Almendros, que se encuentra sobre instrumentada, con más de un sensor de precipitación y termómetro. La estación de Quebrada Ramón tiene un panal de avispas al interior de la caseta, situación que hace extremadamente peligrosa cualquier operación que se deba hacer.
- **Población vulnerable:** Dentro de la población vulnerable que se alertaría se cuentan las comunas y localidades de: Colina, Chicureo, Lo Barnechea, Vitacura, Las Condes, La Reina, Peñalolén, La Florida, Puente Alto, Pirque, Las Vizcachas, El Canelo, San José de Maipo y San Alfonso, alertando a un total de 2.024.590 habitantes.
- **Diagnóstico final:** Las estaciones visitadas 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 Colina en Peldehue:** A partir del análisis realizado en el punto 8.1, las poblaciones vulnerables identificadas corresponden la comuna de Colina. Esta estación es un control fluviométrico de la parte alta de la cuenca del río Colina. Sin embargo, en las visitas a terreno se observaron deficiencias estructurales, tales como: muro antiguo, sección del muro es diagonal, presenta un pequeño canal de aforo, por el frente no existe el muro guía contrario y posee lecho natural. La estación no mide precipitación y no está habilitada para transmitir datos. Un problema grave en esta estación es el vandalismo recurrente, la caseta tiene daños por disparos cosa que no se ha observado en otras estaciones.

2. **Río Molina en San Francisco:** La población vulnerable que se distingue corresponde a la comuna de Lo Barnechea, en el sector El Arrayán. Dada su ubicación da un tiempo de respuesta mayor que Mapocho en Los Almendros. Esta estación no pudo ser visitada y se cuenta sólo con antecedentes generales. En los antecedentes es posible observar que posee un muro guía por el lado de los instrumentos, y una losa de empedrado. Como falencia está la falta de un segundo muro guía al frente del muro actual, para tener una sección de aforo robusta.
3. **Río Maipo en El Manzano:** Esta estación es parte del protocolo DGA-ONEMI, por lo que se seleccionó preliminarmente como crítica. Observando la capa shape de localidades y en imágenes satelitales es posible distinguir población vulnerable hacia aguas abajo. Esta estación es un control fluviométrico de toda la parte alta de la cuenca del río Maipo. En sus falencias se identifica una sección de aforo antigua, existe una especie de muro guía que se ha caído con el tiempo, pero necesita una reparación. En cuanto a la instrumentación, la instalación del piezómetro podría ser mejor, ya que actualmente está en un tubo que va en el río. De todas maneras, la estación es importante para alertar a una gran cantidad de población del Gran Santiago y captura la crecida de toda la parte alta de la cuenca.
4. **Río Maipo en San Alfonso:** Esta estación está fuera de operación, no se encuentra instrumentada y está ubicada muy próxima a una curva que recibe una quebrada lateral, por lo que acarrea problemas importantes de embancamiento. Sin embargo, es una estación que se considera importante por su ubicación, alertaría por crecidas a la localidad de San Alfonso y a la localidad de San José de Maipo. Para solucionar los problemas de embancamiento, se recomienda reubicar la estación, para independizarla de la quebrada aportante de aguas abajo, y se debe dejar bajo un estándar de calidad para que opere como estación 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 Metropolitana se propone la reubicación de los sensores meteorológicos de la siguiente estación.

- Quebrada Ramón en recinto EMOS

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 Mapocho en Los Almendros:** Esta estación es parte del protocolo DGA-ONEMI, por lo que se seleccionó preliminarmente como crítica. Tomando en cuenta la capa shape de localidades y el análisis de tiempos de concentración, el tiempo de respuesta entre la estación y el límite del Gran Santiago (sector del Arrayán) es de 7 minutos, que se considera muy corto, motivo por el cual esta estación es descartada como crítica y pasa a ser una estación de apoyo. Esta estación es un control fluviométrico de la parte alta de la cuenca, y entrega información sobre crecidas que ocurren sobre la cota 900 m.s.n.m. En la visita a terreno se observaron deficiencias estructurales, como la falta de una sección de aforo robusta, ya que cuenta con solo un muro guía y tiene el lecho natural del cauce, además de las defensas aguas arriba que están perpendiculares al cauce. También tiene falencias en la ubicación del piezómetro, el que se encuentra en un tubo ubicado directamente en el río. Dada la importancia histórica de la estación y su cercanía a la población, es que se selecciona como estación de apoyo.
2. **Estero Yerba Loca antes junta San Francisco:** En conversaciones con la inspección fiscal se consideró importante tener al menos esta estación como estación de apoyo, para ser monitoreada paralelamente a las estaciones críticas. El objetivo es poder dar un tiempo de respuesta mayor a la estación Río Molina antes junta San Francisco, que queda más abajo en la cuenca.

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 Metropolitana, sumando un total de \$1.344 millones de pesos. En el **Anexo 11** se incluyen los cálculos de la estimación de los precios. En la red hidrométrica final se incluye una estación meteorológica con pluviómetro tipo disdrómetro, con lo que el costo total de implementación asciende a **\$1.359 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
057200001-4	Río Molina antes junta San Francisco	32,42	Pequeña	1	\$ 67.419.706
05735001-6	Río Colina en Peldehue	235,81	Grande Sin Losa	1	\$ 153.466.890
05704002-5	Río Maipo en San Alfonso	715,51	Grande Sin Losa	1	\$ 436.663.702
05710001-K	Río Maipo en El Manzano	1139,15	Grande Sin Losa	1	\$ 686.766.366
Total					\$ 1.344.316.664

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

La Tabla 4.2 muestra las brechas identificadas de la estación meteorológica reubicada de la estación Quebrada Ramón en recinto EMOS. Cabe decir que esta estación quedaría emplazada a una altitud de 1.500 – 2.000 m.s.n.m., en una zona de transición del tipo de precipitación (sólida y líquida), por lo que se escogió la opción de instalar un pluviómetro tipo disdrómetro.

Tabla 4.2 Brechas estaciones meteorológicas críticas, Región Metropolitana

ITEM	DESCRIPCIÓN	UN	CANTIDAD	
			Estación Estándar	Quebrada Ramón
1	ESTRUCTURA			
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
2	INSTRUMENTAL			
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	Sensor Precipitación /Disdrómetro, con 10 m de cable	un	1	1
2.5	Pluviómetro modelo RG1(400), con 10 m de cable	un	1	0
2.6	Sensor de Temperatura y Humedad	un	1	0
2.7	Caseta tipo DGA	un	1	1

4.2.2 Estaciones fluviométricas

La Tabla 4.3 muestra las brechas identificadas de las estaciones fluviométricas críticas Río Colina en Peldehue, Río Molina antes junta San Francisco, Río Maipo en El Manzano y Río Maipo en San Alfonso. Cabe decir que para la estación del río Colina se considera una reubicación de la misma, con un estudio nuevo asociado, mismo caso para la estación del río Maipo en San Alfonso. Para ambas estaciones se considera la reutilización de los equipos para la mejor utilización de los recursos.

Tabla 4.3 Brechas estaciones fluviométricas críticas, Región Metropolitana

ITEM	DESCRIPCIÓN	UN	Cantidad				
			Estación Estándar	Colina Peldehue	Molina antes San Francisco	Maipo en el Manzano	Maipo en San Alfonso
1	CONSTRUCCIÓN Y ESTRUCTURA						
1.1	Instalación de Faena	un	1	1	1	1	1
1.2	Limpieza y Despeje del Terreno	un	1	1	1	1	1
1.3	Desembanque y Encauzamiento	un	1	1	1	1	1
1.4	Enrocado de Protección	un	1	1	1	0	0
1.5	Gaviones (1,0x1,0m+fundación 1,5x0,5m)	gl	1	1	1	0	0
1.6	Construcción de Sección de Aforo	gl	1	1	1	0	0
1.7	Muros Estructurales (Ambas riberas)	gl	2	2	1	2	2
1.8	Estructura para Instalación del Sensor de Nivel	gl	1	1	1	1	1
1.9	Carro de Aforo (incluye cable, soporte, base concreto y torre para el carro)	un	1	1	0	0	1
1.10	Escalines de acceso a la regla limnimétrica	un	1	1	1	1	1
1.11	Pollos de hormigón H-25	un	5	5	0	4	5
1.12	Cerco Perimetral 3,0m x 3,0m	gl	1	1	1	1	1
1.13	Caseta DGA	un	1	1	0	0	1
1.14	Torre Meteorológica 4 m (incluye soporte de instrumentos)	un	1	0	0	0	0
1.15	Pintura General de Estructuras	gl	1	1	1	1	1
1.16	Letreros de Identificación de la Estación	gl	1	1	1	1	1
1.17	Letrero Peligro	gl	1	1	1	1	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	1
2.1.2	Regla Limnimétrica	un	1	1	1	1	1
2.2	Meteorológica						
2.2.1	Sensor Precipitación /Disdrómetro, con 10 m de cable	un	0	0	0	0	0
2.2.2	Pluviómetro modelo RG1(400), con 10 m de cable	un	1	1	0	0	1
2.2.3	Sensor de Temperatura y Humedad	un	1	1	0	0	1
2.3	Estación						
2.3.1	Batería 55AH	un	1	0	0	0	1
2.3.2	Plataforma Satelital (incluye transmisor + datalogger y antena)	un	1	1	0	0	1
2.3.3	Panel Solar 40W	un	1	1	0	0	1
3	DISEÑO						
3.1	Diseño de Estación Fluviométrica (incluye planos y memorias de cálculo)	gl	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 [m³/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
057200001-4	Río Molina antes junta San Francisco	32,42	Transposición de Caudales	1
05735001-6	Río Colina en Peldehue	235,81	Análisis de Frecuencias	4
05704002-5	Río Maipo en San Alfonso	715,51	Análisis de Frecuencias	4
05710001-K	Río Maipo en El Manzano	1139,15	Análisis de Frecuencias	4

4.3.1 Estaciones meteorológicas

La Tabla 4.8 muestra los costos de la reubicación de la estación meteorológica Quebrada Ramón en recinto EMOS. La reubicación de esta estación contempla un lugar más elevado, sobre los 1.500 m.s.n.m., idealmente sobre 2.000 m.s.n.m. El plan de acción de esta estación asciende a un total de \$16 millones de pesos.

Tabla 4.8 Costos Plan de Acción estaciones meteorológicas

ITEM	DESCRIPCION	Quebrada Ramon en recinto EMOS
1	ESTRUCTURA	\$ 5.065.799
2	INSTRUMENTAL	\$ 6.111.800
	TOTAL NETO	\$ 11.177.599
	Factor Elevación	x 1
	Factor Accesibilidad	x 1,2
	TOTAL NETO PONDERADO	\$ 13.413.119
	IVA (19%)	\$ 2.548.493
	TOTAL	\$ 15.961.611

4.3.2 Estaciones fluviométricas

La Tabla 4.9 muestra 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 \$212,8 millones de pesos. Las estaciones más caras

corresponden a río Colina en Peldehue y río Maipo en San Alfonso, que contemplan una reubicación y diseño completo. Las estaciones de los ríos Molina y Maipo en El Manzano necesitan mejoras estructurales menos importantes, por lo que requieren un costo económico menor.

Tabla 4.9 Costos Plan de Acción estaciones fluviométricas

ITEM	DESCRIPCION	Río Colina en Peldehue	Río Molina antes junta San Francisco	Río Maipo en El Manzano	Río Maipo en San Alfonso
1	CONSTRUCCIÓN Y ESTRUCTURA	\$ 42.470.180	\$ 21.347.880	\$ 16.667.097	\$ 34.177.097
2	INSTRUMENTAL	\$ 4.847.850	\$ 310.050	\$ 310.050	\$ 6.491.850
3	DISEÑO	\$ 15.000.000	\$ -	\$ -	\$ 15.000.000
	TOTAL NETO	\$ 62.318.030	\$ 21.657.930	\$ 16.977.147	\$ 55.668.947
	Factor Elevación	x 1	x 1	x 1	x 1
	Factor Accesibilidad	x 1	x 1	x 1	x 1
	Factor de Tamaño	x 0,6	x 1,5	x 1,5	x 1,5
	TOTAL NETO PONDERADO	\$ 37.390.818	\$ 32.486.895	\$ 25.465.721	\$ 83.503.421
	IVA (19%)	\$ 7.104.255	\$ 6.172.510	\$ 4.838.487	\$ 15.865.650
	TOTAL	\$ 44.495.073	\$ 38.659.405	\$ 30.304.207	\$ 99.369.070

4.3.3 Costo total

El costo total del plan de acción de las estaciones críticas asciende a **\$228,8 millones de pesos**. Este monto sería utilizado para llevar a la calidad de estándar definido en el estudio a 4 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 Metropolitana 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 19S	
				Este [m]	Norte [m]
1	Colina Inferior	Zona de Restricción	1	342.945	6.322.489
2	Puangué Medio	Zona de Restricción	1	308.116	6.295.367
3	Tiltil	Zona de Restricción	1	318.679	6.338.905
4	Puangué Alto	Zona de Prohibición	1	300.693	6.309.356
5	La Higuera	Zona de Restricción	1	309.329	6.282.377
6	Pirque	Zona de Restricción	1	353.366	6.279.237
7	El Monte Nuevo	Zona de Restricción	1	320.320	6.266.390
8	Paine	Zona de Prohibición	1	343.945	6.252.258
9	Las Diucas	Zona de Restricción	1	281.726	6.244.871
10	Yali Alto	Zona de Restricción	1	286.829	6.258.858
11	Estero Alhué	Zona de Restricción	1	301.763	6.233.558
12	San Vicente	Zona de Prohibición	1	278.371	6.235.343
13	San Pedro	Zona de Prohibición	1	273.732	6.247.226
14	Chicureo	Zona de Prohibición	1	347.942	6.316.493
15	Vitacura	Zona de Prohibición	1	353.152	6.304.289
16	Las Gualtatas	Zona de Prohibición	1	358.576	6.309.927
17	Yali Bajo El Prado	Zona de Restricción	1	274.579	6.240.937
18	Yali Medio	Zona de Prohibición	1	274.339	6.241.445
19	Popeta	Zona de Restricción	1	289.809	6.259.719
20	Cholqui	Zona de Prohibición	1	304.476	6.259.681
21	Laguna del Aculeo	Zona de Prohibición	1	323.889	6.250.688
22	Santiago Norte	Zona de Restricción	1	328.671	6.305.788
Total Pozos Propuestos			22		

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, ya 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.

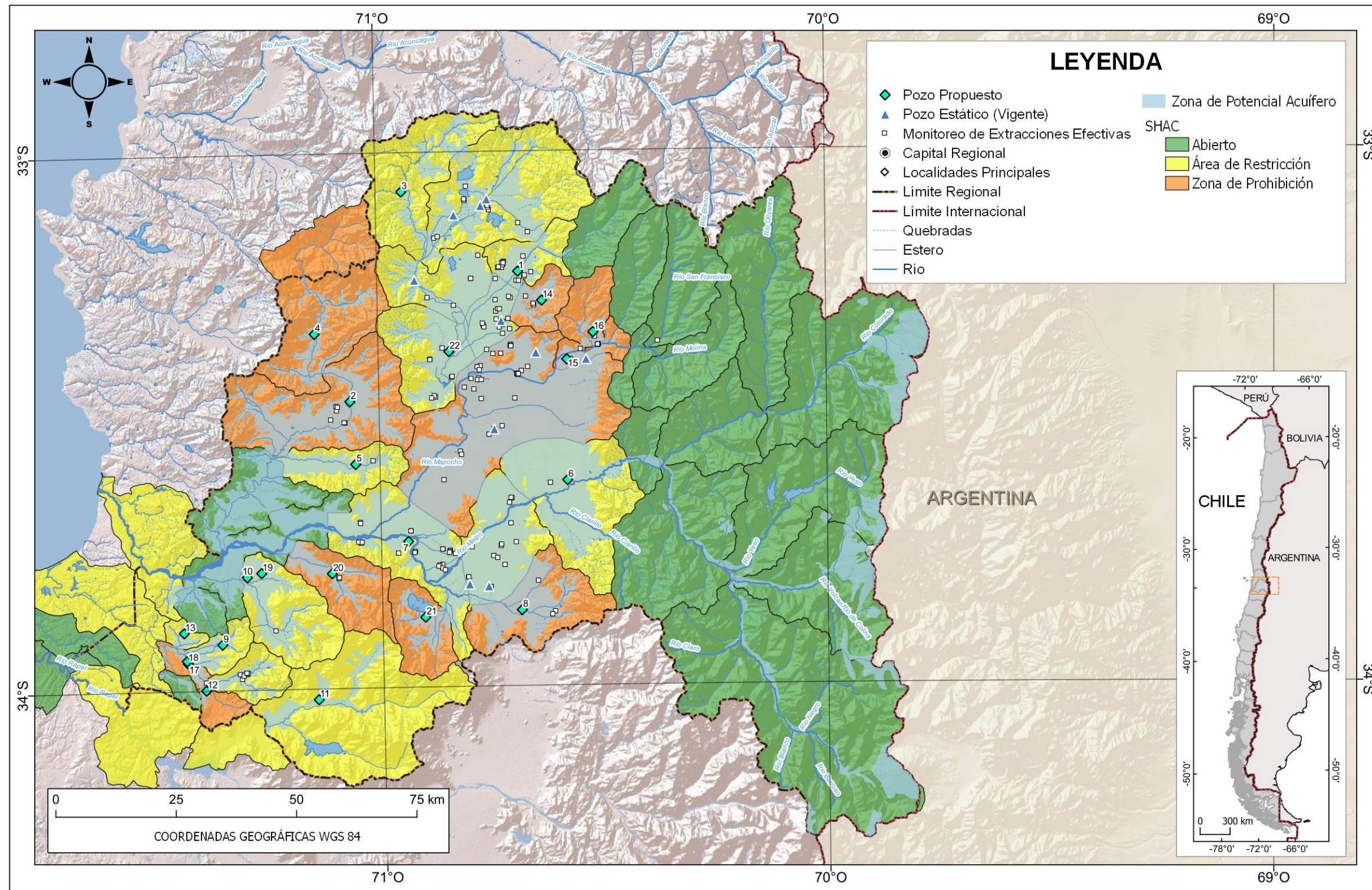


Figura 5.1 Ubicación pozos propuestos, Región Metropolitana

5.2 Evaluación de costos

En una primera etapa en donde se tiene como prioridad los SHAC con algún tipo de limitación, se propone la construcción de 22 pozos de monitoreo. Para lo anterior se requiere 1.100 metros lineales de sondaje, los cuales serán repartidos entre las 22 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 319.000.000 millones de pesos. El costo de la red completa, habilitada para la transmisión tiene un costo de 664 millones de pesos para la Región Metropolitana.

6. CONCLUSIONES

6.1 Disponibilidad de datos

Las estaciones críticas seleccionadas poseen sobre 39 años válidos de estadística que se considera bueno. De las estaciones, 3 están vigentes y sólo río Maipo en San Alfonso se encuentra fuera de operación. Las 3 estaciones vigentes son de vital importancia ya que están inmediatamente aguas arriba del grueso de la población, ubicada en el Gran Santiago, cubriendo los sectores norte, oriente y suroriental. La estación río Maipo en San Alfonso, se consideraría menos crítica que las demás, pero alertaría a la población de San José de Maipo (18.189 habitantes) ante eventuales crecidas.

Existe una estación meteorológica seleccionada, correspondiente a la quebrada Ramón en recinto EMOS, la cual está ubicada a los pies del cordón montañoso San Ramón. Esta estación daría información sobre activaciones de las quebradas del cordón. Dado el tamaño de las cuencas, las crecidas se originarían en poco tiempo, y por su cercanía tomaría poco tiempo en afectar al Gran Santiago. Por este motivo se escogió una estación meteorológica para estimar la magnitud de la crecida y alertar con un tiempo de anticipación suficiente a la población vulnerable. La estación quebrada Ramón en recinto EMOS está vigente y cuenta con 10 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 los gráficos de caudales y alturas máximas es posible observar la magnitud de las crecidas. Por el lado del río Maipo, en la estación río Maipo en El Manzano desde el año 1990 existen 3 crecidas que sobresalen respecto del resto y han superado el límite rojo de alerta. La última siendo la crecida del año 2016. Por el lado del río Mapocho, desde el año 1990 también se registran 3 crecidas muy superiores a las normales siendo la última en el año 2009. En el año 2016 se registró una crecida importante, pero esta no alcanza a superar el límite amarillo de alerta.

En cuanto a las estaciones meteorológicas no se observa una buena correlación entre la precipitación registrada y los caudales de las estaciones fluviométricas. La zona del cordón montañoso San Ramón tiene control fluviométrico y meteorológico, pero dado su

corto tiempo de concentración se sugiere tomar en cuenta la estación meteorológica quebrada Ramón en recinto EMOS. Esta estación ha registrado eventos de precipitación desde 2008 siendo ese mismo año el que tuvo una intensidad máxima de 71 mm en 24 horas, que no alcanzó a generar grandes estragos.

6.3 Distribución espacial

La región Metropolitana posee una buena densidad de estaciones en la parte cordillerana, que es donde más se genera escorrentía. La estación a la que le corresponde una mayor superficie es estero Puangue en ruta 78 con 1.900 km². Sobre las estaciones meteorológicas la zona con menor densidad de estaciones corresponde a la alta montaña, que es donde más varía la precipitación, por lo que se recomienda aumentar las estaciones. Las estaciones ubicadas en el cordón montañoso San Ramón están a una cota de hasta 1.000 m s.n.m. y la hoya hidrográfrica en la zona llega a alturas sobre los 2.000 m s.n.m. por lo que se recomienda reubicar la estación quebrada Ramón en recinto EMOS a una cota más elevada, para registrar las precipitaciones que podrían estar generando potenciales crecidas.

6.4 Red Hidrométrica Final

A partir de los análisis expuestos, la red hidrométrica crítica final consta de 4 estaciones fluviométricas, 1 estación meteorológica y 2 estaciones fluviométricas de apoyo. La red lograría alertar a la comuna de Colina por el norte, la franja cordillerana desde Lo Barnechea hasta Puente Alto y localidades en la comuna de San José de Maipo, con un total de 2.024.590 habitantes en zonas vulnerables a eventos hidrológicos 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 \$229 millones de pesos para la red hidrométrica crítica (5 estaciones). La red hidrométrica crítica final se compone de las siguientes estaciones.

- Estaciones fluviométricas
 - Río Colina en Peldehue
 - Río Molina antes junta San Francisco
 - Río Maipo en El Manzano
 - Río Maipo en San Alfonso

- Estaciones meteorológicas nuevas
 - Quebrada Ramón en recinto EMOS (reubicada)
- Estaciones de apoyo
 - Río Mapocho en Los Almendros
 - Estero Yerba Loca antes junta San Francisco

6.5 Red Piezométrica

La red piezométrica en la región de Metropolitana presenta un total de 106 estaciones piezométricas, de las cuales la mayoría están en el acuífero principal de la región, Río Maipo y en menor cantidad en el acuífero Estero Yali. La calidad de la información presentada en dichos acuíferos por las estaciones se considera media, debido a que un porcentaje importante corresponde a pozos dinámicos.

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:

- Las Diucas
- Yali Alto

SHAC ubicados en zona de prohibición:

- Puangue Alto
- Las Gualtatas
- Yali Medio
- San Vicente

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.