



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 IV REGIÓN DE ATACAMA

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

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
4	PLAN DE ACCIÓN	12
4.1	VALORIZACIÓN DE LA RED	12
4.2	IDENTIFICACIÓN DE BRECHAS	13
4.2.1	Estaciones meteorológicas.....	13
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
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.....	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 ATACAMA	21

Índice de Tablas

TABLA 4.1 VALOR DE LAS ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS CRÍTICAS RED ATACAMA.....	12
TABLA 4.2 BRECHAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS CRÍTICAS, REGIÓN ATACAMA.....	13
TABLA 4.3 BRECHAS ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS CRÍTICAS, REGIÓN ATACAMA	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 IV correspondiente a la Red de la Región de Atacama, 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

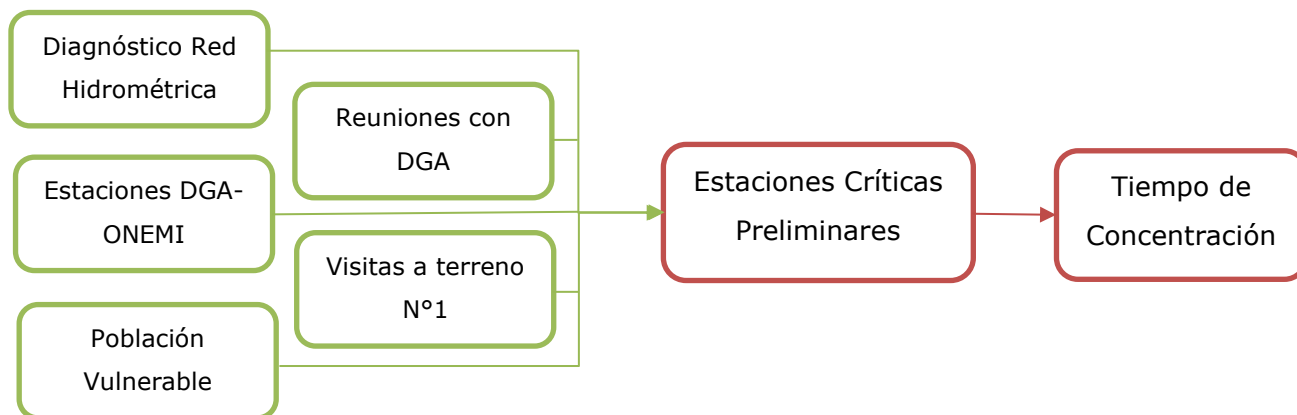


Figura 2.1 Diagrama Etapa I: Selección de estaciones críticas preliminares

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

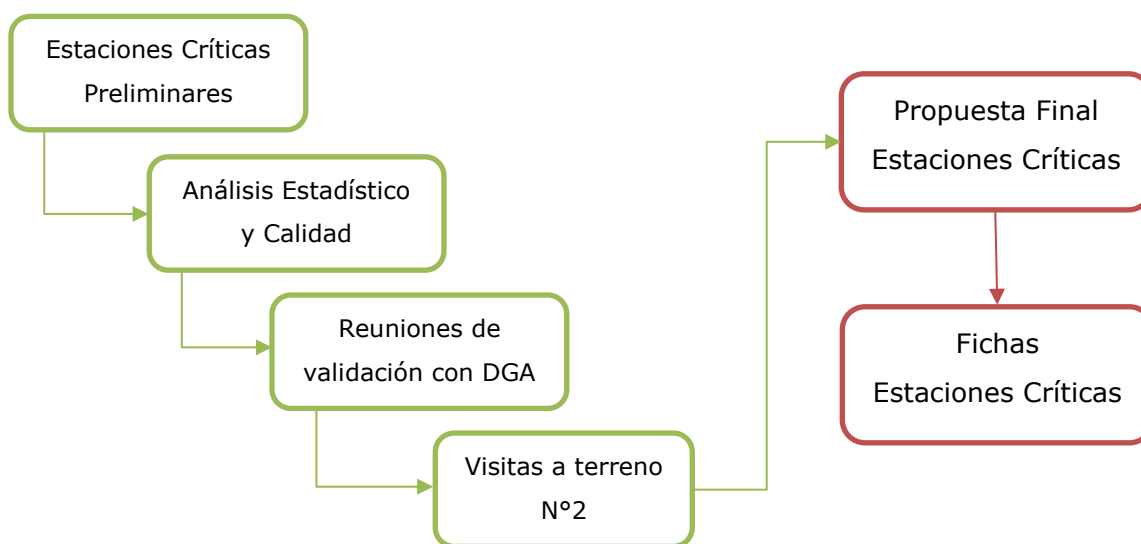


Figura 2.2 Diagrama Etapa II: revisión estaciones críticas seleccionadas

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.

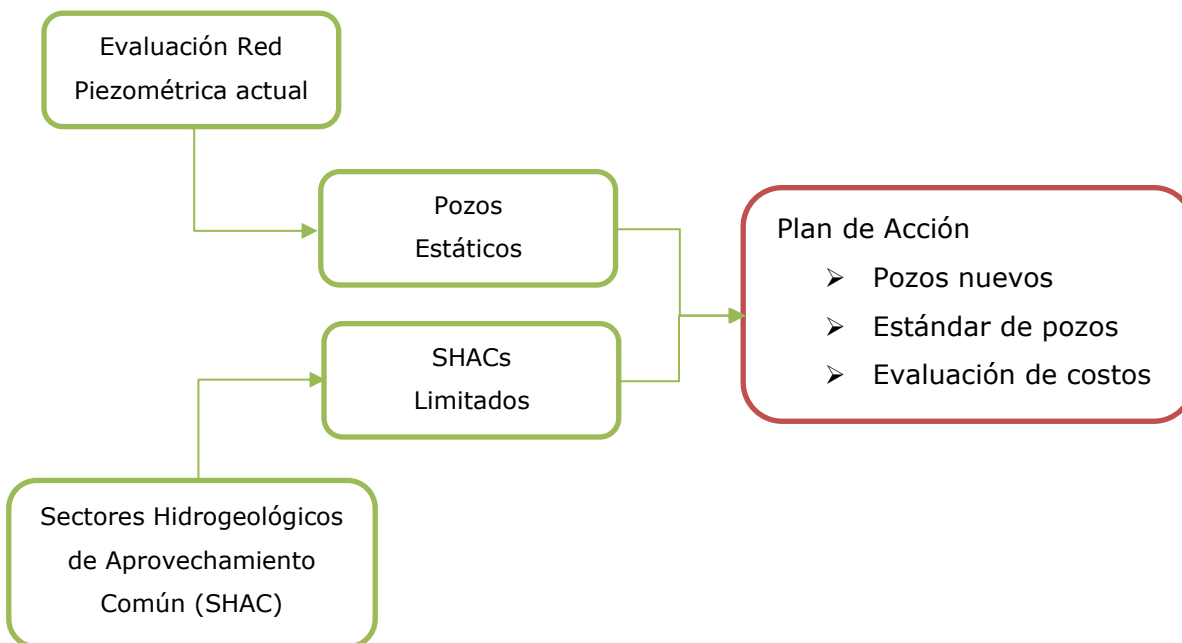


Figura 2.5 Diagrama metodología análisis crítico Red Piezométrica

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 Copiapó en La Puerta
 - Río Tránsito en Angostura Pinte
 - Río Carmen en El Corral
- Estación meteorológica
 - Pastos Grandes
 - Quebrada Potrerillos
- Estación nueva
 - Quebrada Honda

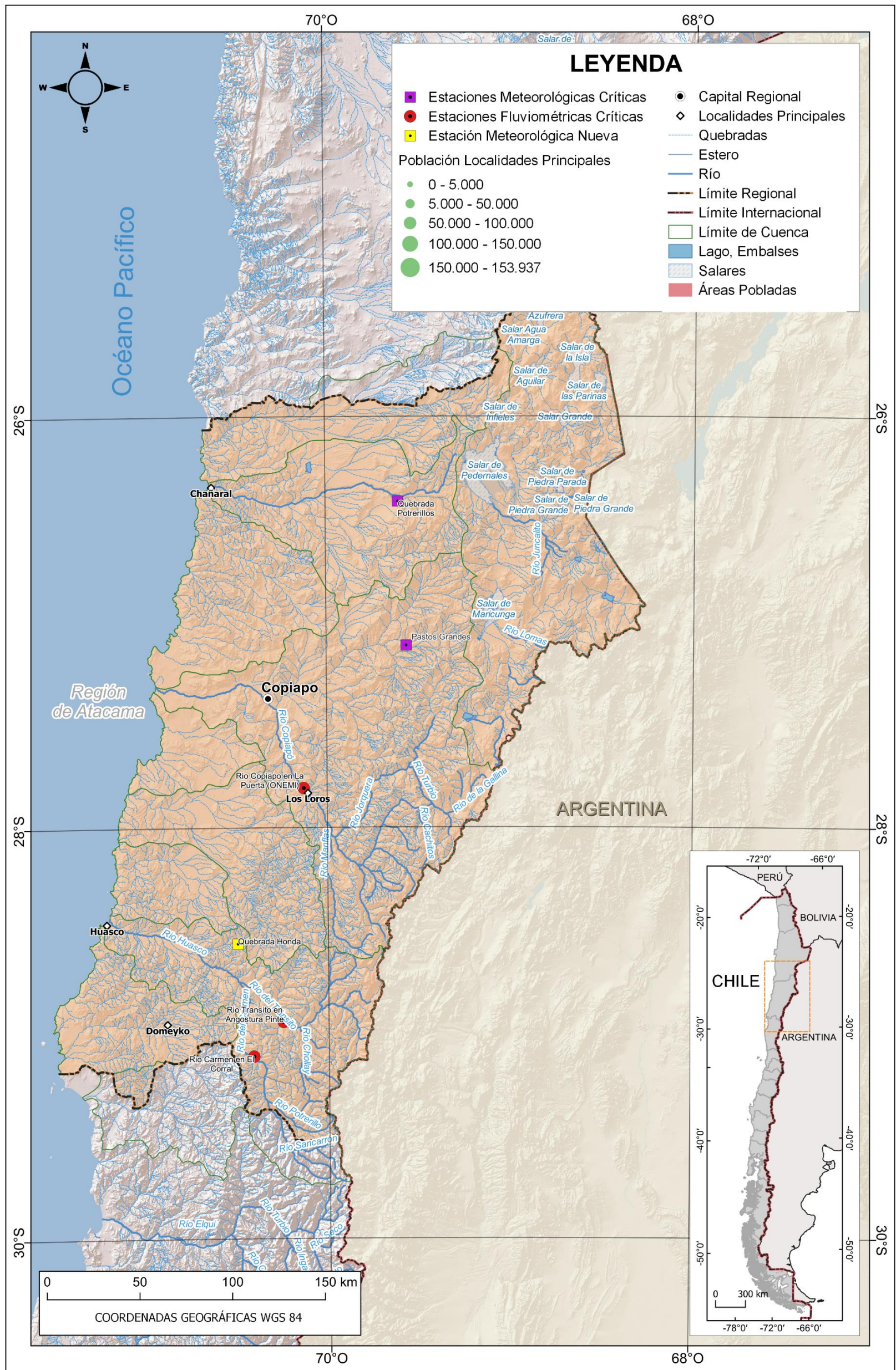


Figura 3.1 Red Hidrométrica crítica final

A modo global se presenta un pequeño resumen sobre los puntos más importantes de las fichas elaboradas.

- **Estadística general:** De forma global se aprecia que son estaciones antiguas, pero en cuanto a su registro de caudal poseen muchos años incompletos. También es posible observar que la mayoría de las estaciones han sido complementadas con instrumentos para medir precipitación, siendo sus registros relativamente nuevos.
- **Obras existentes y deficiencias:**
 - **Acceso:** En el caso de las estaciones visitadas en esta región se destaca que todas poseen un buen acceso, encontrándose en zonas cercanas a rutas y/o caminos.
 - **Emplazamiento:** Para el caso de las estaciones fluviométricas visitadas, poseen un buen emplazamiento respecto al cauce, ubicadas en secciones rectas de los ríos.
 - **Estructura:** Respecto a la estructura de las estaciones fluviométricas visitadas se encuentran en general en buen estado con sección revestida y canal de estiaje, a excepción de Río Carmen en El Corral.
 - **Instrumentación:** Las estaciones se encuentran bien equipadas con datalogger y transmisión satelital.
 - **Otro:** Las estaciones requieren de mantenimiento sobre todo limpieza del cauce.
- **Población vulnerable:** Con estas estaciones se contempla que 183.748 habitantes serán resguardados en la región de Atacama, distribuidos en las siguientes zonas: Copiapó (153.937 hab.), Diego de Almagro (13.925 hab.) San Félix (534 hab.) Nantoco (553 hab.), Tierra Amarilla (14.019 hab.) y El Tránsito (1.333 hab.).
- **Diagnóstico final:** En general son estaciones fluviométricas antiguas, que por el estado de sus estructuras queda en evidencia que han sido reconstruidas y en algunos casos reparadas. En cuanto a su equipamiento son estaciones completas, que poseen datalogger y transmisión satelital. Se considera que necesitan mantención y limpieza en sus cauces. También se observa un problema de seguridad en la estación Río Copiapó en La Puerta, donde el lugar es utilizado como sitio de esparcimiento y recreación.

3.1 Estaciones Críticas Finales

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

1. **Río Copiapó en La Puerta:** Esta estación es parte del protocolo DGA-ONEMI, por lo que se seleccionó como estación crítica. Observando la capa shape de localidades y en las imágenes satelitales se pudo apreciar que ayudaría a proteger poblaciones vulnerables como Nantoco y Tierra Amarilla. Así como también se visualiza actividad agrícola en la zona a lo largo de las riberas del río Copiapó, reafirmando su selección como estación crítica. Además, esta estación cuenta con un tiempo de respuesta de 2,46 horas, lo cual se considera suficiente para poder dar alguna alerta a las poblaciones de ser necesario. En cuanto a su acceso, es por medio de la ruta C-35 encontrándose en buenas condiciones. Respecto a sus instrumentos se apreció en terreno que se encuentra en buenas condiciones sólo falta considerar mantención en el sistema de autolimpieza de la cámara y medidas de seguridad.
2. **Río Tránsito en Angostura Pinte:** Observando la capa shape de localidades y en imágenes satelitales se pudo apreciar que ayudaría a proteger a la localidad de El Tránsito, así como también a registrar los aportes del Río El Tránsito al Río Huasco. También se observó actividad agrícola, en ciertas zonas, a lo largo de las riberas del río, reafirmando su selección como estación crítica. Además, esta estación cuenta con un tiempo de respuesta de 0,65 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 C-495 encontrándose en buenas condiciones. Respecto a sus instrumentos se apreció en terreno que se encuentra en buenas condiciones sólo falta considerar mantención en el cauce debido a la vegetación y no cuenta con letrero de identificación.
3. **Río Carmen en El Corral:** Por medio de la capa shape de localidades y en imágenes satelitales se pudo observar que ayudaría a proteger a la localidad de San Félix, así como también a registrar los aportes del Río del Carmen al Río Huasco. También se observó actividad agrícola en ciertos sectores cercanos al río, reafirmando su selección como estación crítica. Además, esta estación cuenta con un tiempo de respuesta de 1,68 horas, lo cual se considera suficiente para poder dar alguna alerta a la población de ser necesario. También se pudo apreciar

que no posee problemas de acceso debido a que se encuentra a un costado de la ruta C-489.

4. **Pastos Grandes:** Observando la capa shape de localidades y en imágenes satelitales se pudo apreciar que esta estación registra los aportes de la Quebrada De Paipote, la cual llega a la localidad de Copiapó. Utilizando las herramientas mencionadas anteriormente también se evidenció la gran área de esta quebrada por lo que se prevé que ante un evento extremo su actividad sea de grandes proporciones. La ubicación de esta estación permite contar con un tiempo para generar una alerta de 7,54 horas, lo cual se considera más que suficiente. Además, se puede apreciar que cuenta con un buen acceso desde la ruta C-601. Por estas razones es que se reafirma su clasificación como estación crítica. Por otro lado, considerando la información entregada por el Jefe Regional de Hidrología se considera que esta estación podría ser trasladada en el mismo sector, pero alejada del cauce de la quebrada, debido a que ha sufrido daños ante la activación de esta.
5. **Quebrada Potrerillos:** Observando la capa shape de localidades y en imágenes satelitales se pudo apreciar que esta es la única estación que monitorea al Río Salado. La ubicación de esta estación permite contar con un tiempo para generar una alerta de 2,32 horas a la localidad de Diego de Almagro, lo cual se considera suficiente. Es importante destacar que es una estación nueva, que entró en funcionamiento a principios del año 2021.

3.2 Estaciones Nuevas

En el desarrollo de este estudio se identificó en la región una deficiencia de información en la zona alta de la Quebrada Honda, la cual ayudaría a resguardar a la localidad de la Quebrada El Jilguero y con posterioridad a la localidad de Vallenar. También se considera que esta estación podría servir para monitorear la Quebrada Algarrobal en resguardo de la población Canto de Agua. Por lo tanto, se considera una estación meteorológica nueva en esa zona.

- Quebrada Honda

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 Atacama, sumando un total de \$263 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 3 estaciones meteorológicas. El costo total de la implementación de una red totalmente nueva asciende a **\$577 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 Atacama

Código BNA	Nombre	Caudal T=50 [m ³ /s]	Clasificación	Factor	Precio
03804002-2	Río Transito en Angostura Pinte	34,55	2	1,3	\$ 87.359.539
03814003-5	Río Carmen en El Corral	35,20	2	1,3	\$ 88.736.649
03431001-7	Río Copiapó en La Puerta	37,47	2	1,2	\$ 87.446.954
Total					\$263.543.142

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 las estaciones meteorológicas consideradas como críticas finales para esta región. También se considera la estación nueva propuesta Quebrada Honda.

Para el caso de la estación Pastos Grandes se realiza el análisis pensando en que podría sufrir una reubicación dentro de la misma zona, pero alejada del cauce de la Quebrada de Paipote, considerando que ante la activación de esta quebrada se han registrado daños en la estación. En el caso de la estación nueva propuesta Quebrada Honda, se prevé que su altitud sea de 1.573 m.s.n.m.

Tabla 4.2 Brechas estaciones meteorológicas críticas, Región Atacama

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

*Estación nueva propuesta

4.2.2 Estaciones fluviométricas

En la Tabla 4.3 se muestran las brechas identificadas de las estaciones fluviométricas críticas Río Copiapó en La Puerta, Río Tránsito en Angostura Pinte y Río Carmen en el Corral. Cabe mencionar que las primeras dos estaciones necesitan mantención en sus cauces por lo que se considera el ítem de desembanque y encauzamiento.

Tabla 4.3 Brechas estaciones fluviométricas críticas, Región Atacama

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

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

Código BNA	Estación	Caudal T=50 [m ³ /s]	Método	TIPO
03804002-2	Río Transito en Angostura Pinte	34,55	Análisis de frecuencia	2
03814003-5	Río Carmen en El Corral	35,20	Análisis de frecuencia	2
03431001-7	Río Copiapó en La Puerta	37,47	Análisis de frecuencia	2

4.3.1 Estaciones meteorológicas

La Tabla 4.8 muestra el costo asociado a la estación nueva propuesta denominada Quebrada Honda a una altitud cercana a los 1.573 m.s.n.m. El plan de acción de esta estación asciende a un total de aproximadamente \$23 millones de pesos.

Tabla 4.8 Costos Plan de Acción estación meteorológica

Ítem	Descripción	Pastos Grandes	Quebrada Potrerillos	Quebrada Honda
1	Estructura	\$ 5.593.751	\$ 150.952	\$ 5.593.751
2	Instrumental	\$ 696.000	-	\$ 6.381.800
Total Neto		\$ 6.289.751	\$ 150.952	\$ 11.975.551
Factor de elevación		x1	x1	x1
Factor de accesibilidad		x1,1	x1,1	x1
Total Neto Ponderado		\$ 6.918.726	\$ 166.047	\$ 11.975.551
IVA (19%)		\$ 1.314.558	\$ 31.549	\$ 2.275.355
Total		\$ 8.233.284	\$ 197.596	\$ 14.250.906

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 Camarones en Conanoxa solo se considera la implementación del letrero de zona de inundación y vía de evacuación. En el caso de las estaciones Río San José en Ausipar, Río Lluta en Tocontasi y Río Camarones Chilpe, requieren obras mayores. El plan de acción de esta estación asciende a un total de aproximadamente \$123 millones de pesos.

Tabla 4.9 Costos Plan de Acción estación fluviométrica

Ítem	Descripción	Río Copiapó en La Puerta	Río Tránsito en Angostura Pinte	Río Carmen en El Corral
1	Construcción Y Estructura	\$ 21.903.222	\$ 22.218.472	\$ 35.125.660
2	Instrumental	\$ 1.006.050	\$ 696.000	\$ 696.000
3	Diseño	-	-	-
Total Neto		\$ 22.909.272	\$ 22.914.472	\$ 35.821.660
Factor De Elevación		x1	x1	x1
Factor De Accesibilidad		x1,2	x1,3	x1,3
Factor Tamaño		X1	X1	X1
Total Neto Ponderado		\$ 27.491.126	\$ 29.788.814	\$ 46.568.158
IVA (19%)		\$ 5.223.314	\$ 5.659.875	\$ 8.847.950
Total		\$ 32.714.440	\$ 35.448.688	\$ 55.416.108

4.3.3 Costo total

El costo total del plan de acción de las estaciones críticas asciende a **\$146 millones de pesos**. Este monto sería utilizado para llevar a la calidad de estándar definido en el estudio a 3 estaciones fluviométricas y 3 estaciones meteorológicas.

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 Atacama 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	Rio Salado	Acuífero Abierto	1	380.279	7.076.237
2	Salar de Pedernales Sur	Zona de Prohibición	1	492.819	7.054.128
3	Sector 5 - Copiapó - Piedra Colgada	Área de Restricción	1	362.232	6.975.316
4	Sector 4 - Mal Paso - Copiapó	Zona de Prohibición	1	372.288	6.968.027
5	Quebrada Totoral Bajo	Área de Restricción	1	315.574	6.912.204
6	Sector 1 - Aguas Arriba Embalse Lautaro	Zona de Prohibición	1	412.258	6.886.047
7	Llanos Chacritas y Las Campanas	Zona de Prohibición	1	331.117	6.860.875

ID	SHAC	Tipo de restricción	Cantidad de pozos propuestos	Coordenadas Referenciales UTM WGS84	
				Este (m)	Norte (m)
8	Quebrada Chañaral	Acuífero Abierto	1	315.824	6.795.436
9	El Tránsito	Área de Restricción	1	373.979	6.807.734
Total Pozos Propuestos			9		

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.

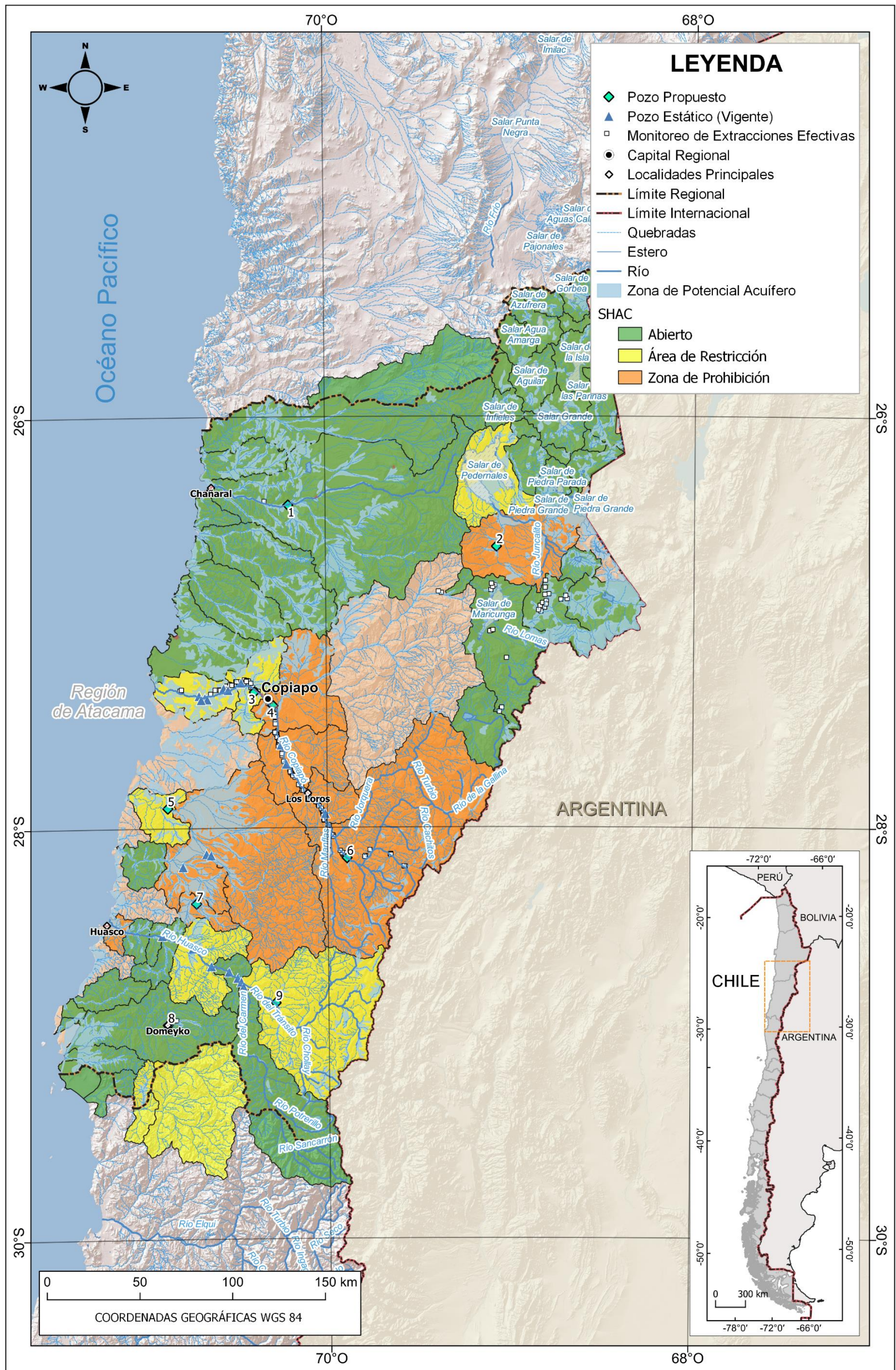


Figura 5.1 Propuesta de estaciones piezométricas, Región de Atacama

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 9 pozos de monitoreo. Para lo anterior se requiere 450 metros lineales de sondaje, los cuales serán repartidos entre las 9 estaciones, procurando llegar al nivel freático actual y que permita medir el nivel freático a futuro.

El costo de perforación alcanza los 2,61 millones de pesos, y el costo de la red completa habilitada para la transmisión tiene un costo aproximado de 271,5 millones de pesos para la Región de Atacama.

6 CONCLUSIONES

6.1 Disponibilidad de datos

Las estaciones críticas fluviométricas seleccionadas poseen estadística válida por sobre 29 años, lo cual se considera bueno. En cuanto a su vigencia todas las estaciones se encuentran vigentes. En tanto, la estación perteneciente al protocolo ONEMI-DGA Río Copiapó en La Puerta poseen una data de 68 años.

En cuanto a la disponibilidad de datos de precipitación, la estación Pastos Grandes tiene más de 50 años de estadística y se encuentra vigente, mientras que las estaciones Río Copiapó en La Puerta y Río Carmen en El Corral, no tienen más de 10 años válidos de estadística. Esta última estación es importante pues está en la parte alta de la cuenca aportante al río El Carmen y sus datos podrían ser de interés ante un evento extremo. Por otro lado, la estación Quebrada Potrerillo no posee un registro de datos aún.

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 2 eventos que sobresalen con respecto a los otros (2015 y 2017), además se ve la importancia de tener todas las estaciones vigentes y por sobre todo estaciones de cierre, 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 el caso de una zona sin control fluviométrico debido a las características del área, como es el caso de las estaciones Pastos Grandes y Quebrada Potrerillos, se vuelve una información de vital importancia ya que nos ayuda a la estimación de una crecida en resguardo de poblaciones vulnerables.

6.3 Distribución espacial

Se registra un déficit de estación en la zona de Quebrada Honda, por lo tanto, se recomienda la construcción de una estación meteorológica en dicho sector. Esta estación estaría ubicada en la parte alta de la subcuenca Río Huasco y contaría con un tiempo de respuesta de 1,92 horas para la localidad de Vallenar y Quebrada El Jilguero. Esta estación también ayudaría a monitorear a la Quebrada Algarrobal entregando resguardo a la localidad de Canto de agua con un tiempo de respuesta de 3,32 horas.

6.4 Red Hidrométrica Final

En una primera instancia para esta región se consideraron 6 estaciones críticas, las cuales a lo largo del desarrollo de este estudio y con los antecedentes que se recopilaron sobre todo en las visitas a terreno se descartaron 2 estaciones por encontrarse ubicadas aguas arriba de embalses, los cuales se consideran que son estructuras de regulación ante un evento extremo. Estas estaciones fueron Río Copiapó en Pastillo y Río Huasco en Algodones, las que se encuentran aguas arriba del Embalse Lautaro y Embalse Santa Juana, respectivamente. Por lo tanto, las estaciones críticas finales en resguardo de la población son:

- Estaciones fluviométricas
 - Río Copiapó en La Puerta
 - Río Tránsito en Angostura Pinte
 - Río Carmen en El Corral
- Estación meteorológica
 - Pastos Grandes
 - Quebrada Potrerillos
- Estación nueva
 - Quebrada Honda

6.5 Red Piezométrica

La red piezométrica en la región de Atacama presenta un total de 91 estaciones piezométricas, de las cuales la mayoría están en los acuíferos Río Huasco y Río Copiapó. 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:

- Salar de Pedernales Norte
- Quebrada Totoral Bajo

SHAC en zona de prohibición:

- Salar de Pedernales Sur
- Llanos Chacritas y Las Campanas

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.