



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 II REGIÓN DE TARAPACÁ

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.....	10
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	13
4.3	EVALUACIÓN DE COSTOS	15
4.3.1	Estaciones meteorológicas.....	16
4.3.2	Estaciones fluviométricas	17
4.3.3	Costo total	17
5	PLAN DE ACCIÓN RED PIEZOMÉTRICA	18
5.1	IDENTIFICACIÓN LUGAR DE POZOS.....	18
5.2	EVALUACIÓN DE COSTOS	21
6	CONCLUSIONES	22
6.1	DISPONIBILIDAD DE DATOS.....	22
6.2	EVENTOS EXTREMOS	22
6.3	DISTRIBUCIÓN ESPACIAL.....	23
6.4	RED HIDROMÉTRICA FINAL	23
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 TARAPACÁ	20

Índice de Tablas

TABLA 4.1 VALOR DE LAS ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS CRÍTICAS RED TARAPACÁ.....	12
TABLA 4.2 BRECHAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS CRÍTICAS, REGIÓN TARAPACÁ.....	13
TABLA 4.3 BRECHAS ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS CRÍTICAS, REGIÓN TARAPACÁ	14
TABLA 4.4 FACTOR ELEVACIÓN	15
TABLA 4.5 FACTOR DE ACCESIBILIDAD	15
TABLA 4.6 FACTOR TAMAÑO ESTACIÓN	15
TABLA 4.7 CAUDALES ASOCIADOS A UN PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS	16
TABLA 4.8 COSTOS PLAN DE ACCIÓN ESTACIÓN METEOROLÓGICA	16
TABLA 4.9 COSTOS PLAN DE ACCIÓN ESTACIÓN FLUVIOMÉTRICA.....	17
TABLA 5.1 CANTIDAD DE POZOS PROPUESTOS	18

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 II correspondiente a la Red de la Región de Tarapacá, 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

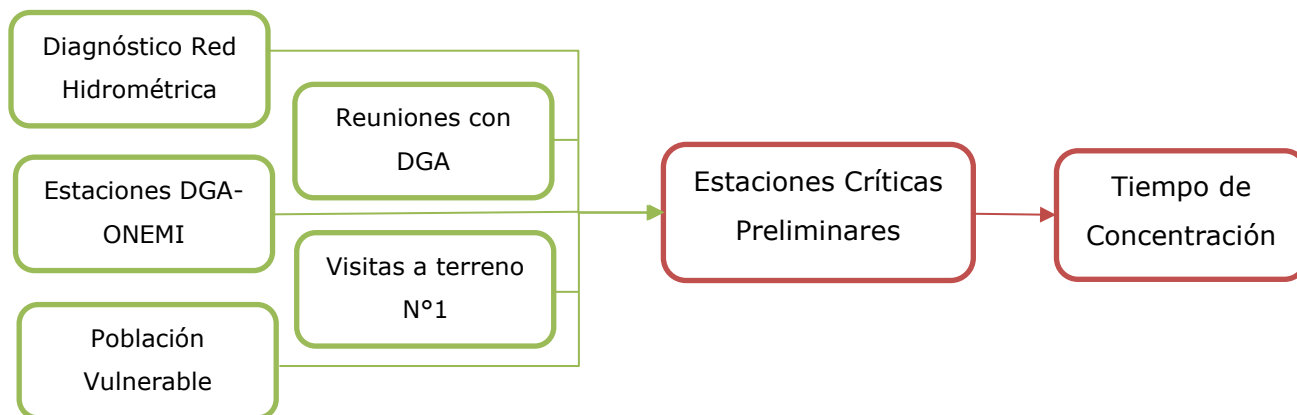


Figura 2.1 Diagrama Etapa I: Selección de estaciones críticas preliminares

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

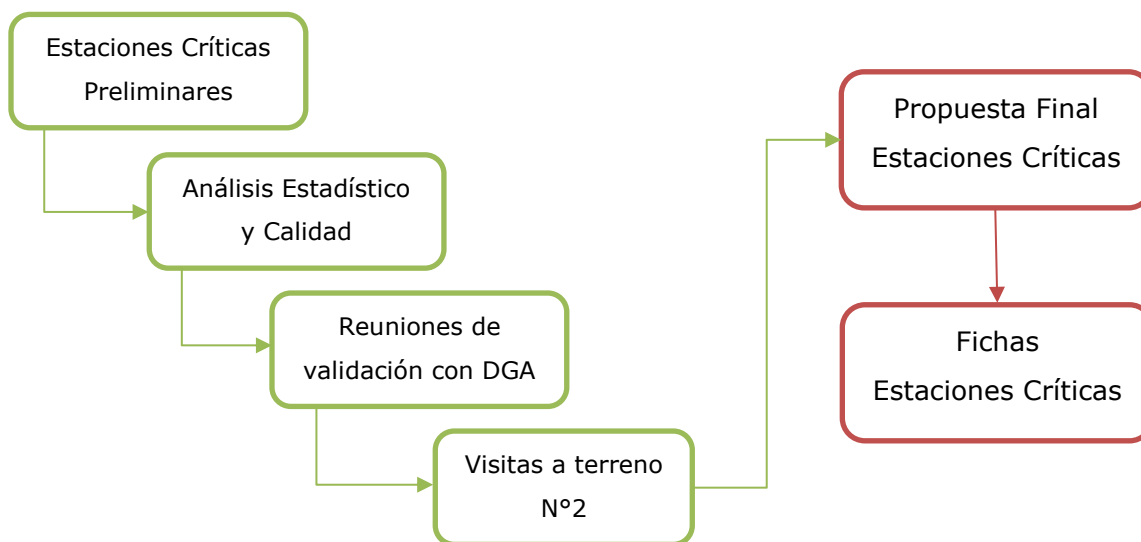


Figura 2.2 Diagrama Etapa II: revisión estaciones críticas seleccionadas

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.

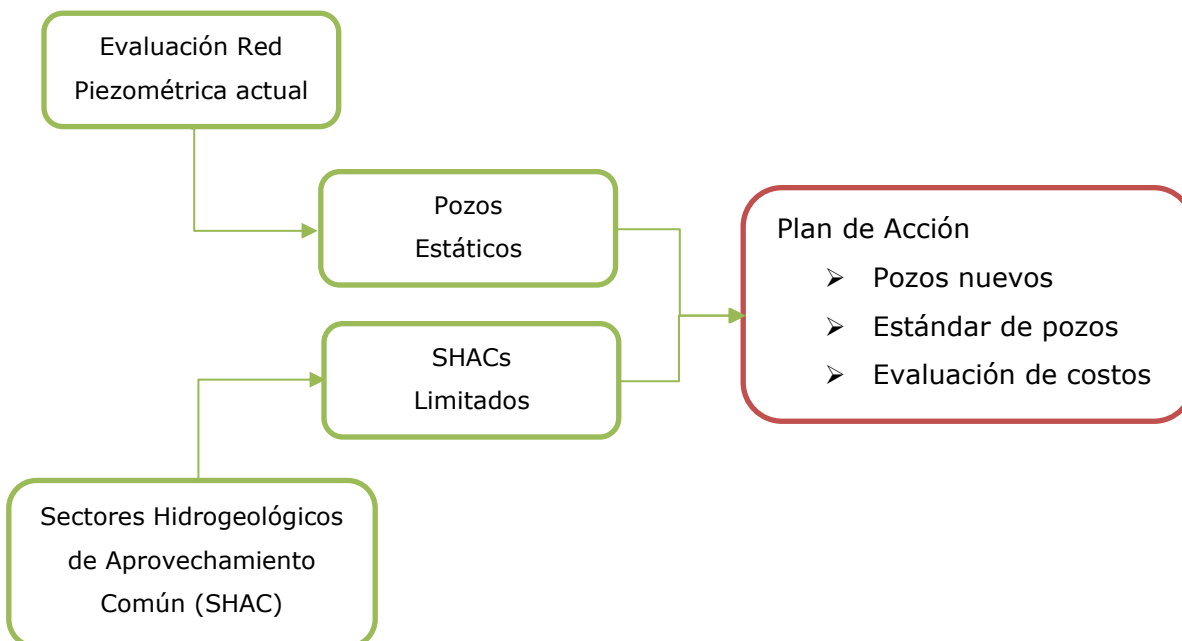


Figura 2.5 Diagrama metodología análisis crítico Red Piezométrica

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
 - Q. Camiña 3 Km. A. Arriba de Tarcavire
 - Q. Tarapacá en Sibaya
- Estaciones nuevas
 - Chiapa
 - Matilla
 - Iquique

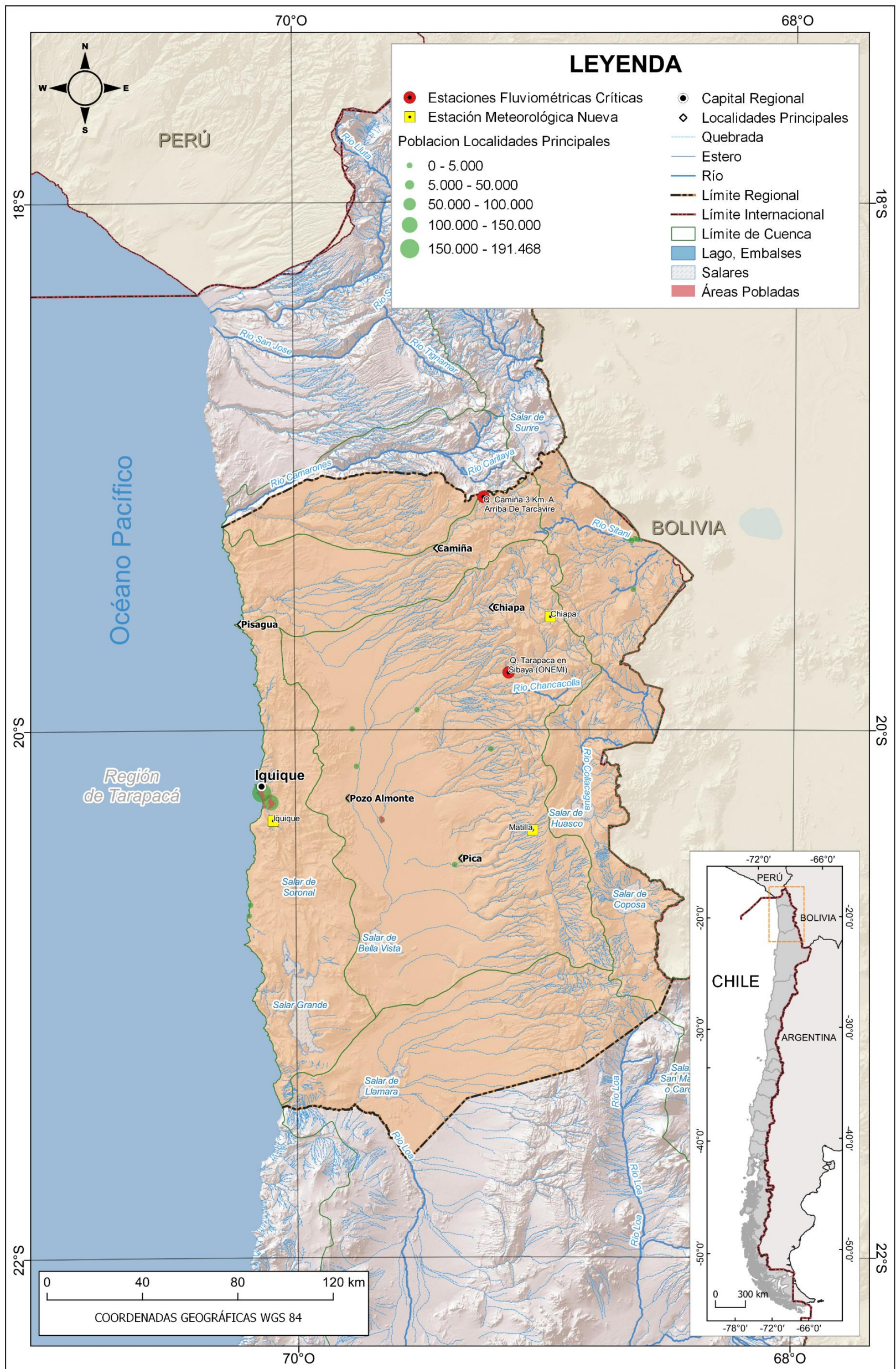


Figura 3.1 Red Hidrométrica crítica final

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

- **Estadística general:** De forma global se aprecia que en la región muchas estaciones poseen años incompletos de datos.
Entre los registros de caudal destaca la estación Q. Camiña 3 km. A. arriba de Tarcavire, la cual registra crecidas importantes los años 2015 y 2019. Mientras que la estación Q. Tarapacá en Sibaya registra destacan crecidas importantes los años 2001, 2004 y 2006.
- **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. Se destaca que para acceder a la estación Q. Tarapacá en Sibaya se debe cruzar por quebradas, lo cual significa que ante un evento extremo la estación sería inaccesible.
 - **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, la estación Q. Camiña 3 Km. A. Arriba de Tarcavire requiere reparación en su losa y gaviones de protección, mientras que la estación Q. Tarapacá en Sibaya se encuentra destruida por lo que se está a la espera de su pronta reconstrucción.
 - **Instrumentación:** Las estaciones se encuentran bien equipadas, cuentan con datalogger y transmisión satelital.
 - **Otro:** Las estaciones visitadas en esta región no poseen letrero de identificación.
- **Población vulnerable:** Con estas estaciones se contempla que 1.753 habitantes serán resguardados en la región de Tarapacá, distribuidos en las siguientes zonas: Camiña (1.250 hab.) y Tarapacá (503 hab.).
- **Diagnóstico final:** Se necesita realizar las reparaciones y reconstrucciones necesarias en la región para poder contar con una red robusta de monitoreo. En cuanto a su equipamiento son estaciones completas, que poseen datalogger y transmisión satelital.

3.1 Estaciones Críticas Finales

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

1. **Q. Camiña 3 Km. A. Arriba de Tarcavire:** Observando la capa shape de localidades e imágenes satelitales se pudo apreciar que esta estación ayudaría a proteger a la localidad de Camiña, donde se concentra actividad agrícola a lo largo de la Quebrada Camiña. Esta estación otorga un tiempo de respuesta de 2,83 hrs, lo cual se considera suficiente para poder dar alguna alerta a la población de ser necesario, reafirmando su condición de crítica. En cuanto a su acceso, es por medio de la ruta A-385 encontrándose en buenas condiciones. Respecto a sus instrumentos se apreció en terreno que se encuentra en buenas condiciones sólo falta reparación en su losa y gaviones, además de la reposición de su letrero de identificación.
2. **Q. Tarapacá en Sibaya:** 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 a la población de Tarapacá, reafirmando su selección como estación crítica. Además, esta estación cuenta con un tiempo de respuesta de 3,42 horas, lo cual se considera suficiente para poder dar alguna alerta a las poblaciones de ser necesario. En cuanto a su acceso, es bueno, pero se debe cruzar por dos quebradas, lo cual ocasiona que ante algún evento de grandes proporciones la estación quede inaccesible. Respecto a sus instrumentos se apreció en terreno que se encuentra en buenas condiciones y a pesar que la estación se encuentra destruida (en espera de una pronta reconstrucción), esta sigue registrando datos.

3.2 Estaciones Nuevas

En el desarrollo de este estudio se identificó en la región una deficiencia de información en las zonas altas de quebradas en resguardo de poblaciones vulnerables, como es el caso de subcuencas Quebrada de Aroma y Quebrada de Quisma, en resguardo de la población de Huara y Matilla, respectivamente. También se identificó una deficiencia en la localidad de Iquique, debido a que si bien existe una estación meteorológica esta se encuentra ubicada en la misma localidad, en cambio la ubicación de esta nueva estación

otorga un tiempo de 0,73 horas para generar una alerta de ser necesario. Por lo tanto, se consideran tres estaciones meteorológicas nuevas en esa zona.

- Chiapa
- Matilla
- Iquique

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 Tarapacá, sumando un total de \$ 222,6 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 **\$ 386 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 Tarapacá

Código BNA	Nombre	Caudal T=50 [m ³ /s]	Clasificación	Factor	Precio
01610004-8	Q. Camiña 3 Km. A. Arriba de Tarcavire	31.64	1	1,5	\$ 92.591.108
01730007-5	Quebrada Tarapacá en Sibaya	47.42	2	1,5	\$ 130.030.208
				Total	\$ 222.621.315

4.2 Identificación de Brechas

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

4.2.1 Estaciones meteorológicas

En la Tabla 4.2 se identifican las brechas para la estación meteorológica considerada como nuevas propuestas para esta región, considerando la deficiencia en la red que se pudo identificar en el desarrollo de este estudio. Las estaciones Chiapa, Matilla e Iquique, estarán ubicadas a una altitud de 4.733, 3.919 y 936 m.s.n.m, respectivamente.

Tabla 4.2 Brechas estaciones meteorológicas críticas, Región Tarapacá

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad			
			Estación estándar	Chiapa	Matilla	Iquique
1	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	Pollos de hormigón H-25	un	6	6	6	6
1.4	Torre Meteorológica 4 m (incluye soporte de instrumentos)	un	1	1	1	1
1.6	Pintura	un	1	1	1	1
1.7	Cerco Perimetral 3,0X3,0m	gl	1	1	1	1
1.8	Letrero de Identificación de la Estación	gl	1	1	1	1
1.9	Letrero de Peligro	gl	1	1	1	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	1	1	1
2.2	Panel Solar 40W	un	1	1	1	1
2.3	Batería 55AH	un	1	1	1	1
2.4	Pluviómetro modelo RG1(400), con 10 m de cable	un	1	1	1	1
2.5	Sensor de Temperatura y Humedad	un	1	1	1	1
2.6	Caseta tipo DGA	un	1	1	1	1

4.2.2 Estaciones fluviométricas

En la Tabla 4.3 se identifican las brechas identificadas de las estaciones fluviométricas críticas Q. Camiña 3 Km. A. Arriba de Tarcavire y Q. Tarapacá en Sibaya.

Tabla 4.3 Brechas estaciones pluviométricas críticas, Región Tarapacá

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad		
			Estación Estándar	Q. Camiña 3 Km. A. Arriba de Tarcavire	Q. Tarapacá en Sibaya
1	Construcción y estructura				
1.1	Instalación de Faena	un	1	1	1
1.2	Limpieza y Despeje del Terreno	un	1	1	1
1.3	Desembanque y Encauzamiento	un	1	1	1
1.4	Enrocado de Protección	un	1	1	1
1.5	Gaviones (1,0x1,0m+fundación 1,5x0,5m)	gl	1	1	1
1.6	Construcción de Sección de Aforo	gl	1	1	1
1.7	Muros Estructurales (Ambas riberas)	gl	2	0	2
1.8	Estructura para Instalación del Sensor de Nivel	gl	1	0	1
1.9	Carro de Aforo (incluye cable, soporte, base concreto y torre para el carro)	un	1	1	1
1.1	Escalines de acceso a la regla limnimétrica	un	1	1	1
1.11	Pollos de hormigón H-25	un	5	0	5
1.12	Cerco Perimetral 3,0m x 3,0m	gl	1	0	1
1.13	Caseta DGA	un	1	0	0
1.14	Torre Meteorológica 4 m (incluye soporte de instrumentos)	un	1	0	0
1.15	Pintura General de Estructuras	gl	1	0	0
1.16	Letreros de Identificación de la Estación	gl	1	1	0
1.17	Letrero Peligro	gl	1	0	1
1.18	Letrero de Zona de inundación y Vía de Evacuación**	gl	1	1	1
2	Instrumental				
2.1	Fluviométrica				
2.1.1	Sensor de nivel (con 10 m de cable autocompensado)	un	1	0	0
2.1.2	Regla Limnimétrica	un	1	0	1
2.2	Meteorológica				
2.2.1	Pluviómetro modelo RG1(400), con 10 m de cable	un	1	0	0
2.2.2	Sensor de Temperatura y Humedad	un	1	1	1
2.3	Estación				
2.3.1	Batería 55AH	un	1	0	0
2.3.2	Plataforma Satelital (incluye transmisor + datalogger y antena)	un	1	0	0
2.3.3	Panel Solar 40W	un	1	0	0
3	Diseño				
3.1	Diseño de Estación Fluviométrica (incluye planos y memorias de cálculo)	gl	1	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 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 de la Jefa 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
01610004-8	Quebrada Camina en Tarcavire	31,64	Transposición de caudales	1
01730007-5	Quebrada Tarapacá en Sibaya	47,42	Transposición de caudales	2

4.3.1 Estaciones meteorológicas

La Tabla 4.8 muestra el costo asociado a la estación nueva propuesta en las localidades de Huara, Matilla e Iquique. El plan de acción de esta estación asciende a un total de aproximadamente \$67 millones de pesos.

Tabla 4.8 Costos Plan de Acción estación meteorológica

Ítem	Descripción	Huara	Matilla	Iquique
1	Estructura	\$ 5.593.751	\$ 5.593.751	\$ 5.593.751
2	Instrumental	\$ 6.381.800	\$ 6.381.800	\$ 6.381.800
Total Neto		\$ 11.975.551	\$ 11.975.551	\$ 11.975.551
Factor de elevación		x1,4	X1,4	X1
Factor de accesibilidad		x1,3	X1,3	X1,1
Total Neto Ponderado		\$ 21.795.503	\$ 21.795.503	\$13.173.106
IVA (19%)		\$ 4.141.146	\$ 4.141.146	\$ 2.502.890
Total		\$ 25.936.648	\$ 25.936.648	\$ 15.675.996

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 Q. Tarapacá en Sibaya se considera la reutilización de sus instrumentos de medición, mientras que en el caso de Q. Camiña 3 Km. A. Arriba de Tarcavire son obras menores. El plan de acción de esta estación asciende a un total de aproximadamente \$146 millones de pesos.

Tabla 4.9 Costos Plan de Acción estación fluviométrica

Ítem	Descripción	Q. Camiña 3 Km. A. Arriba de Tarcavire	Q. Tarapacá en Sibaya
1	Construcción Y Estructura	\$ 30.651.305	\$ 39.709.077
2	Instrumental	\$ 696.000	\$ 1.006.050
3	Diseño	-	\$ 15.000.000
Total Neto		\$ 31.347.305	\$ 55.715.127
Factor de Elevación		X1,4	X1
Factor de Accesibilidad		X1,5	X1,5
Factor Tamaño		X0,6	X1
Total Neto Ponderado		\$ 39.497.604	\$ 83.572.691
IVA (19%)		\$ 7.504.545	\$ 15.878.811
Total		\$ 47.002.149	\$ 99.451.502

4.3.3 Costo total

El costo total del plan de acción de las estaciones críticas asciende a **\$214 millones de pesos**. Este monto sería utilizado para llevar a la calidad de estándar definido en el estudio a 2 estaciones fluviométricas y 3 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 Tarapacá 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.

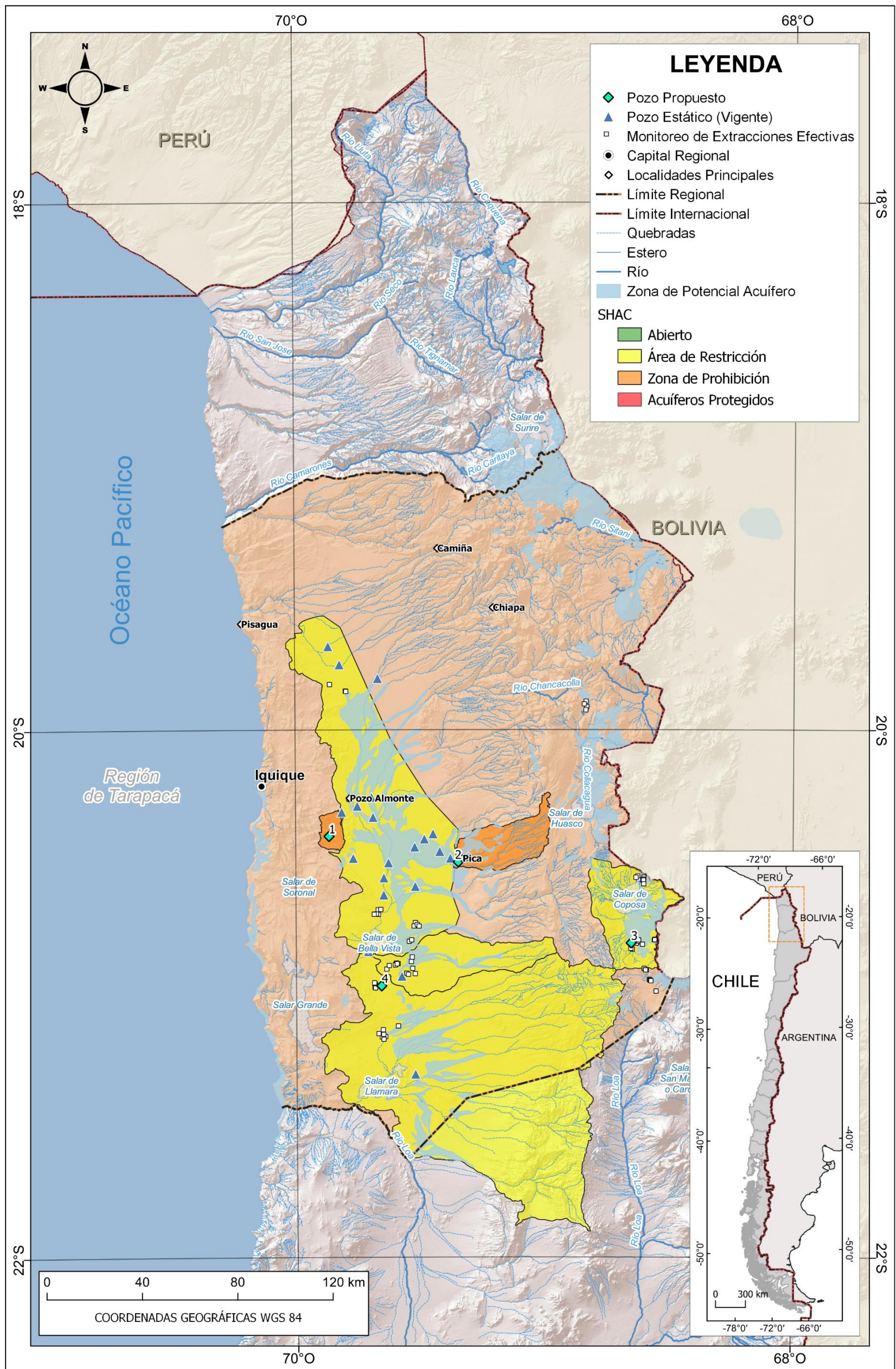
Tabla 5.1 Cantidad de pozos propuestos

ID	SHAC	Tipo de restricción	Cantidad de pozos propuestos	Coordenadas Referenciales UTM WGS84	
				Este (m)	Norte (m)
1	La Noria	Zona de Prohibición	1	409.687	7.743.642
2	Pica	Zona de Prohibición	1	463.902	7.732.971
3	Salar de Coposa	Área de Restricción	1	536.415	7.698.969
4	Salar de Llamara	Área de Restricción	1	431.814	7.680.916
Total Pozos Propuestos			4		

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.



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 4 pozos de monitoreo. Para lo anterior se requiere 200 metros lineales de sondaje, los cuales serán repartidos entre las 4 estaciones, procurando llegar al nivel freático actual y que permita medir el nivel freático a futuro.

El costo de perforación alcanza los 1,16 millones de pesos, y el costo de la red completa habilitada para la transmisión tiene un costo aproximado de 120,7 millones de pesos para la Región de Tarapacá.

6 CONCLUSIONES

6.1 Disponibilidad de datos

La estación crítica fluviométrica Q. Camiña a 3 Km. A. Arriba de Tarcavire, si bien su año de inicio es el 2006, solo desde el año 2015 posee una estadística de datos, de los cuales solo presenta 6 años de datos de forma continua. Mientras que Q. Tarapacá en Sibaya posee un registro desde el año 1928 hasta el 1931, volviendo a registrar datos en el año 1994. Producto de los últimos eventos extremos registrados en la zona esta estación se encuentra destruida, pero se espera su pronta reconstrucción. Estas estaciones se consideran de vital importancia para resguardar localidades como Camiña, Tarapacá, Baquedano, Pozo Almonte y La Tirana.

En cuanto a las estaciones meteorológicas, se registra una deficiencia en la red de monitoreo debido a la gran cantidad de quebradas de tipo intermitente que interactúan con áreas pobladas y que no se encuentran monitoreadas en las partes altas. Situación que también es expuesta en el documento Análisis Crítico de la Red de Monitoreo de Los Recursos Hídricos (CONICYT, 2014). También la información recopilada y proporcionada por la Jefa Regional de Hidrología, nos muestran una deficiencia en la localidad de Iquique.

6.2 Eventos extremos

Como se mencionó con anterioridad, la estación fluviométrica Q. Camiña 3km A. Arriba de Tarcavire, posee una data corta de registro, siendo posible apreciar en los gráficos de caudal máximo instantáneo y alturas máximas, 4 registros que sobresalen (años 2015, 2018, 2019 y 2020), pero al no poseer un registro robusto de datos y no contar con un umbral de alerta no es posible concluir si se tratan de eventos anómalos. Para el caso de esta estación se considera de suma importancia poder determinar un umbral de alerta del mismo modo que lo poseen las estaciones DGA-ONEMI.

En tanto, la estación Q. Tarapacá en Sibaya registra en 3 ocasiones datos que, si bien superan la alerta amarilla, no sobrepasan el límite rojo, estos son los años 1930, 2002 y 2016. En cuanto al límite rojo este es superado en 19 ocasiones, donde la mayor

concentración de crecidas se observa desde 1994 hasta el año 2020, destacando los años 2001, 2004 y 2006 con los registros de crecidas más altos.

6.3 Distribución espacial

La zona de estudio posee una buena distribución en cuanto a estaciones meteorológicas centrándose en la parte este de la región. Si esta información la complementamos con la red de drenaje podemos apreciar que las subcuencas como Quebrada de Aroma y Quebrada de Quisma no se encuentran monitoreadas en las partes altas.

Considerando lo anteriormente expuesto, es que se proponen 3 nuevas estaciones para esta región, una de ellas es en la localidad de Iquique, que si bien cuenta con una estación meteorológica esta se encuentra dentro de la ciudad no generando un tiempo de respuesta apropiado, mientras que la ubicación de esta nueva estación otorga un tiempo de 0,73 horas para dicha localidad. Por otro lado, las otras dos estaciones son en las partes altas de las subcuencas Quebrada de Aroma y Quebrada de Quisma, resguardando las poblaciones de Huara y Matilla, con tiempos de respuesta de 11,23 horas y 3,62 horas, respectivamente.

6.4 Red Hidrométrica Final

En una primera instancia para esta región se consideraron 2 estaciones críticas, las cuales a lo largo del desarrollo de este estudio y con los antecedentes que se recopilaron se rectificó la elección de estas estaciones. Por otro lado, se identificaron ciertos sectores con deficiencia de información, lo cual dio paso a proponer 3 estaciones nuevas. Finalmente, las estaciones críticas finales en resguardo de la población son:

- Estaciones fluviométricas
 - Q. Camiña 3 Km. A. Arriba de Tarcavire
 - Q. Tarapacá en Sibaya
- Estaciones nuevas
 - Chiapa
 - Matilla
 - Iquique

6.5 Red Piezométrica

La red piezométrica en la región de Tarapacá presenta un total de 63 estaciones piezométricas, de las cuales la mayoría están en el acuífero Pampa del Tamarugal. 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:

El SHAC ubicado en área de restricción sin monitorear es:

- Salar de Caposa

Y el SHAC ubicado en zona de prohibición sin monitorear es:

- La Noria

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.