



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 III REGIÓN DE ANTOFAGASTA

INFORME FINAL

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	RECOPILOCIÓN Y REVISIÓN DE ANTECEDENTES	7
4	DIAGNÓSTICO DE LA RED HIDROMÉTRICA	26
4.1	VARIABLES MONITOREADAS, GEORREFERENCIACIÓN Y SISTEMAS HIDROGRÁFICOS ASOCIADOS	26
4.2	CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS	31
4.3	CARACTERÍSTICAS DE EMPLAZAMIENTO	34
4.4	CUMPLIMIENTO DE MONITOREO EFICIENTE	35
4.5	IMPACTO ECONÓMICO EVENTOS EXTREMOS	37
5	REUNION CON DGA REGIONAL	40
6	PROTOCOLO DGA – ONEMI	41
7	VISITAS A TERRENO	42
8	ESTACIONES CRÍTICAS PRELIMINARES	49
8.1	POBLACIÓN VULNERABLE	49
8.2	REGISTRO DE EVENTOS EXTREMOS	49
8.3	ESTACIONES CRÍTICAS	50
8.3.1	Estaciones Fluviométricas	50
8.3.2	Estaciones Meteorológicas	52
8.3.3	Estaciones nuevas propuestas	54
8.4	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN	56
9	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	62
9.1	DISPONIBILIDAD DE DATOS	62
9.2	PRECIPITACIONES MEDIAS	69
9.3	TEMPERATURAS MEDIAS	72
9.4	CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS	74
9.5	PRECIPITACIONES MÁXIMAS ANUALES	77
9.6	DISTRIBUCIÓN ESPACIAL	81
10	ANÁLISIS DE CALIDAD	84

10.1	RED HIDROMÉTRICA	84
11	RESUMEN FICHAS DIAGNÓSTICO	86
12	RED HIDROMÉTRICA CRÍTICA FINAL	92
12.1	ESTACIONES CRÍTICAS FINALES	92
12.2	ESTACIONES NUEVAS	94
12.3	RED HIDROMÉTRICA CRÍTICA FINAL	95
13	PLAN DE ACCIÓN RED HIDROMÉTRICA	97
13.1	ESTACIÓN ESTÁNDAR	97
	13.1.1 Estación meteorológica estándar	97
	13.1.2 Estación fluviométrica estándar	111
13.2	VALORIZACIÓN DE LA RED	131
13.3	IDENTIFICACIÓN DE BRECHAS	131
	13.3.1 Estaciones meteorológicas	131
	13.3.2 Estaciones fluviométricas	134
13.4	EVALUACIÓN DE COSTOS	136
	13.4.1 Estaciones meteorológicas	137
	13.4.2 Estaciones fluviométricas	137
	13.4.3 Costo total	138
14	RED PIEZOMÉTRICA	139
14.1	VARIABLES MONITOREADAS, GEORREFERENCIACIÓN Y SISTEMAS HIDROGRÁFICOS ASOCIADOS	139
14.2	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	142
	14.2.1 Disponibilidad de Datos	142
	14.2.2 Niveles estáticos y dinámicos	142
	14.2.3 Distribución Espacial	143
14.3	ANÁLISIS DE CALIDAD	145
14.4	PLAN DE ACCIÓN RED PIEZOMÉTRICA	148
	14.4.1 Identificación lugar de pozos	148
	14.4.2 Pozo estándar	152
	14.4.3 Evaluación de costos	154
15	GUÍA COMPONENTE SIG	155
15.1	SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA	155
15.2	SISTEMATIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN	155
15.3	CONTENIDO	157
15.4	DICCIONARIO SIG	161
16	CONCLUSIONES	163
16.1	DISPONIBILIDAD DE DATOS	163
16.2	EVENTOS EXTREMOS	163
16.3	DISTRIBUCIÓN ESPACIAL	164

16.4	RED HIDROMÉTRICA FINAL	164
16.5	RED PIEZOMÉTRICA	165

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 FICHA TIPO DE RESUMEN DE ESTUDIOS	8
FIGURA 4.1 UBICACIÓN ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS, REGIÓN DE ANTOFAGASTA	27
FIGURA 4.2 UBICACIÓN ESTACIONES METEOROLÓGICAS, REGIÓN DE ANTOFAGASTA.....	29
FIGURA 7.1 FICHA EJEMPLO ESTACIÓN FLUVIOMÉTRICA, PÁGINAS 1 Y 2.....	43
FIGURA 7.2 FICHA EJEMPLO ESTACIÓN FLUVIOMÉTRICA, PÁGINAS 3 Y 4.....	44
FIGURA 7.3 FICHA EJEMPLO ESTACIÓN FLUVIOMÉTRICA, PÁGINA 5	45
FIGURA 7.4 FICHA EJEMPLO ESTACIÓN METEOROLÓGICA, PÁGINAS 1 Y 2	46
FIGURA 7.5 FICHA EJEMPLO ESTACIÓN METEOROLÓGICA, PÁGINA 3 Y 4	47
FIGURA 7.6 FICHA EJEMPLO ESTACIÓN METEOROLÓGICA, PÁGINA 5.....	48
FIGURA 8.1 ESTACIONES CRÍTICAS PRELIMINARES	55
FIGURA 8.2 CUENCAS APORTANTES	59
FIGURA 8.3 DIAGRAMAS UNIFILARES CUENCA RÍO LOA (ARRIBA) Y RÍO SAN PEDRO (ABAJO)	60
FIGURA 8.4 DIAGRAMAS UNIFILARES DE ARRIBA HACIA ABAJO, QUEBRADA APORTANTE A BAQUEDANO, QUEBRADAS A SALAR DE ATACAMA, QUEBRADA TALTAL	61
FIGURA 9.1 ISOYETAS DE PRECIPITACIÓN MEDIA, REGIÓN DE ANTOFAGASTA	71
FIGURA 9.2 ISOTERMAS DE TEMPERATURA MEDIA, REGIÓN DE ANTOFAGASTA.....	73
FIGURA 9.3 CAUDALES Y ALTURAS MÁXIMAS DE LAS ESTACIONES CRÍTICAS RÍO LOA ANTES REPRESA LEQUENA Y RÍO LOA EN SALIDA EMBALSE CONCHI.....	74
FIGURA 9.4 CAUDALES Y ALTURAS MÁXIMAS DE LAS ESTACIONES CRÍTICAS RÍO SALADO ANTES JUNTA CURTI Y RÍO SALADO EN SIFÓN AYQUINA.....	75
FIGURA 9.5 CAUDALES Y ALTURAS MÁXIMAS DE LAS ESTACIONES CRÍTICAS RÍO LOA EN ANGOSTURA Y RÍO SAN PEDRO EN CUCHABRACHI	76
FIGURA 9.6 PRECIPITACIONES MÁXIMAS ANUALES EN 24 HORAS, ESTACIONES RÍO LOA ANTES REPRESA LEQUENA, RÍO LOA EN SALIDA EMBALSE CONCHI, RÍO SALADO A.J. CURTI.....	78
FIGURA 9.7 PRECIPITACIONES MÁXIMAS ANUALES EN 24 HORAS, ESTACIONES RÍO SALADO EN SIFÓN AYQUINA, EL TATIO Y SIERRA GORDA	79
FIGURA 9.8 PRECIPITACIONES MÁXIMAS ANUALES EN 24 HORAS, ESTACIONES TOCONAO QUEBRADA 1 Y AGUAS VERDES	80

FIGURA 9.9 POLÍGONOS DE THIESSEN ESTACIONES METEOROLÓGICAS, REGIÓN DE ANTOFAGASTA..	83
FIGURA 11.1 EJEMPLO FICHA RESUMEN ESTACIÓN CRÍTICA RÍO LOA ANTES REPRESA LEQUENA, PÁGINA 1	87
FIGURA 11.2 EJEMPLO FICHA RESUMEN ESTACIÓN CRÍTICA RÍO LOA ANTES REPRESA LEQUENA, PÁGINA 2	88
FIGURA 11.3 EJEMPLO FICHA RESUMEN ESTACIÓN CRÍTICA RÍO LOA ANTES REPRESA LEQUENA, PÁGINA 3	89
FIGURA 12.1 RED HIDROMÉTRICA CRÍTICA FINAL	96
FIGURA 13.1 LETRERO TIPO IDENTIFICACIÓN ESTACIÓN	100
FIGURA 13.2 DIMENSIONES LETRERO TIPO IDENTIFICACIÓN ESTACIÓN.....	101
FIGURA 13.3 LETRERO TIPO PELIGRO ESTACIÓN	101
FIGURA 13.4 LETRERO TIPO ZONA DE INUNDACIÓN	103
FIGURA 13.5 LETRERO TIPO DE VÍA DE EVACUACIÓN	103
FIGURA 13.6 SECCIÓN DE AFORO	114
FIGURA 13.7 LETRERO TIPO IDENTIFICACIÓN ESTACIÓN	119
FIGURA 13.8 DIMENSIONES LETRERO TIPO IDENTIFICACIÓN ESTACIÓN.....	120
FIGURA 13.9 LETRERO TIPO PELIGRO ESTACIÓN	120
FIGURA 13.10 LETRERO TIPO ZONA DE INUNDACIÓN.....	122
FIGURA 13.11 LETRERO TIPO VÍA DE EVACUACIÓN	122
FIGURA 14.1 UBICACIÓN POZOS DGA, REGIÓN DE ANTOFAGASTA	140
FIGURA 14.2 DENSIDAD Y CLASIFICACIÓN DE POZOS, REGIÓN DE ANTOFAGASTA	144
FIGURA 14.3 LIMITACIÓN DE ACUÍFEROS, REGIÓN DE ANTOFAGASTA	146
FIGURA 14.4 COMPORTAMIENTO DINÁMICO	147
FIGURA 14.5 POZOS ESTÁTICOS	148
FIGURA 14.6 UBICACIÓN POZOS PROPUESTOS, REGIÓN DE ANTOFAGASTA	151
FIGURA 14.7 ANTEPROYECTO TIPO ESTACIÓN PIEZOMÉTRICA DGA	153

Índice de Tablas

TABLA 4.1 INFORMACIÓN BÁSICA ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS, REGIÓN DE ANTOFAGASTA	28
TABLA 4.2 INFORMACIÓN BÁSICA ESTACIONES METEOROLÓGICAS, REGIÓN DE ANTOFAGASTA.....	30
TABLA 4.3 INSTRUMENTACIÓN ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS	32
TABLA 4.4 INSTRUMENTACIÓN ESTACIONES METEOROLÓGICAS	33
TABLA 4.5 ESTACIONES VISITADAS, CARACTERÍSTICAS DE EMPLAZAMIENTO	35
TABLA 4.6 ESTACIONES VISITADAS, CARACTERÍSTICAS DE MONITOREO	37
TABLA 6.1 ESTACIONES PROTOCOLO DGA-ONEMI, REGIÓN DE ANTOFAGASTA.....	41
TABLA 8.1 POBLACIÓN POR LOCALIDAD	49
TABLA 8.2 CRONOGRAMA EVENTOS EXTREMOS	50
TABLA 8.3 SELECCIÓN DE POSIBLES ESTACIONES CRÍTICAS FLUVIOMÉTRICAS	52
TABLA 8.4 SELECCIÓN DE ESTACIONES CRÍTICAS METEOROLÓGICAS.....	54
TABLA 8.5 ESTACIÓN METEOROLÓGICA NUEVA	54
TABLA 8.6 PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS Y TIEMPO DE CONCENTRACIÓN DE LAS CUENCAS DEFINIDAS EN BASE A LAS ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS CRÍTICAS DE LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA	57
TABLA 8.7 PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS Y TIEMPOS DE CONCENTRACIÓN DE LAS CUENCAS DEFINIDAS EN BASE A LAS POBLACIONES VULNERABLES DE LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA Y ESTACIÓN NUEVA	58
TABLA 9.1 DISPONIBILIDAD DE DATOS FLUVIOMETRÍA	64
TABLA 9.2 DISPONIBILIDAD DE DATOS PLUVIOMETRÍA	65
TABLA 9.3 DISPONIBILIDAD DE DATOS PLUVIOMETRÍA (CONTINUACIÓN).....	66
TABLA 9.4 DISPONIBILIDAD DE DATOS TEMPERATURA.....	67
TABLA 9.5 DISPONIBILIDAD DE DATOS TEMPERATURA (CONTINUACIÓN)	68
TABLA 9.6 ÁREA POLÍGONOS DE THIESSEN DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS	82
TABLA 10.1 CARACTERIZACIÓN DE LA DATA DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES PARA CADA ESTACIÓN FLUVIOMÉTRICA CRÍTICA, REGIÓN DE ANTOFAGASTA	85
TABLA 13.1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PINTURA	99
TABLA 13.2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS LETRERO DE IDENTIFICACIÓN.....	100
TABLA 13.3 ESPECIFICACIONES LETRERO DE PELIGRO.....	102
TABLA 13.4 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PLATAFORMA SATELITAL	105
TABLA 13.5 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PANEL SOLAR.....	106
TABLA 13.6 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS BATERÍA 55AH.....	106
TABLA 13.7 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PLUVIÓMETRO	107

TABLA 13.8 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DISDRÓMETRO.....	108
TABLA 13.9 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD.....	108
TABLA 13.10 PRESUPUESTO ESTACIÓN METEOROLÓGICA ESTÁNDAR, PLUVIÓMETRO CONVENCIONAL.....	109
TABLA 13.11 PRESUPUESTO ESTACIÓN METEOROLÓGICA ESTÁNDAR, DISDRÓMETRO.....	110
TABLA 13.12 CARACTERÍSTICAS GAVIONES.....	113
TABLA 13.13 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PINTURA.....	118
TABLA 13.14 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS LETRERO DE IDENTIFICACIÓN.....	119
TABLA 13.15 ESPECIFICACIONES LETRERO DE PELIGRO.....	121
TABLA 13.16 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE SENSOR DE NIVEL.....	123
TABLA 13.17 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PLUVIÓMETRO.....	125
TABLA 13.18 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS TERMÓMETRO.....	126
TABLA 13.19 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE PANALES SOLARES.....	126
TABLA 13.20 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS BATERÍA 55AH.....	127
TABLA 13.21 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PLATAFORMA SATELITAL.....	128
TABLA 13.22 PRESUPUESTO ESTACIÓN FLUVIOMÉTRICA ESTÁNDAR.....	130
TABLA 13.23 VALOR DE LAS ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS CRÍTICAS RED METROPOLITANA.....	131
TABLA 13.24 BRECHAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS CRÍTICAS, REGIÓN DE ANTOFAGASTA.....	133
TABLA 13.25 BRECHAS ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS CRÍTICAS, REGIÓN DE ANTOFAGASTA.....	135
TABLA 13.26 FACTOR ELEVACIÓN.....	136
TABLA 13.27 FACTOR DE ACCESIBILIDAD.....	136
TABLA 13.28 FACTOR TAMAÑO ESTACIÓN.....	136
TABLA 13.29 CAUDALES ASOCIADOS A UN PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS.....	137
TABLA 13.30 COSTO PLAN DE ACCIÓN ESTACIONES METEOROLÓGICAS.....	137
TABLA 13.31 COSTOS PLAN DE ACCIÓN ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS.....	138
TABLA 14.1 INFORMACIÓN BÁSICA POZOS, REGIÓN DE ANTOFAGASTA.....	141
TABLA 14.2 SHAC SEPARADOS POR TIPO DE LIMITACIÓN.....	145
TABLA 14.3 CANTIDAD DE POZOS PROPUESTOS.....	149
TABLA 15.1 RESUMEN DE LA ESTRUCTURA DEL ANEXO.....	156
TABLA 15.2 ESTRUCTURA Y CONTENIDO DE CADA DIRECTORIO DE LA CARPETA 02_LAYERS.....	158
TABLA 15.3 ESTRUCTURA DE LOS DIRECTORIOS.....	162
TABLA 15.4 SHAPEFILES CREADOS PARA EL ESTUDIO.....	162
TABLA 15.5 ESTRUCTURA DE LOS SHAPEFILES CREADOS.....	162

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 III correspondiente a la Red de la Región de Antofagasta, 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 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 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

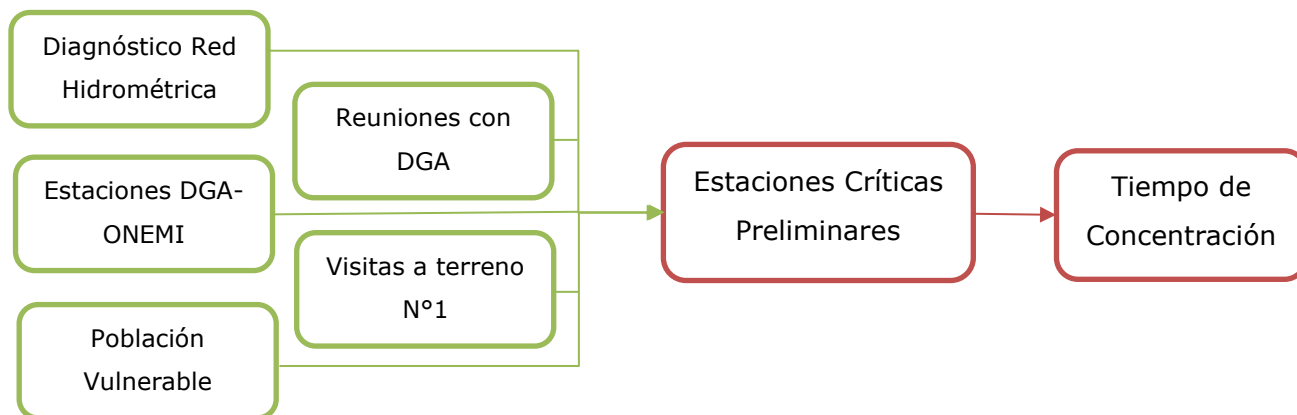


Figura 2.1 Diagrama Etapa I: Selección de estaciones críticas preliminares

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

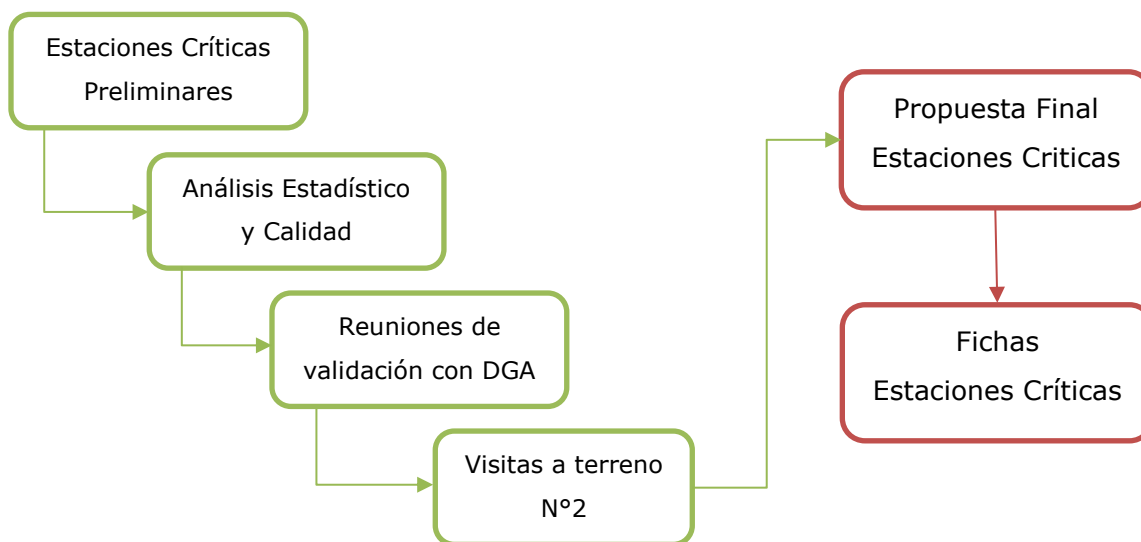


Figura 2.2 Diagrama Etapa II: revisión estaciones críticas seleccionadas

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

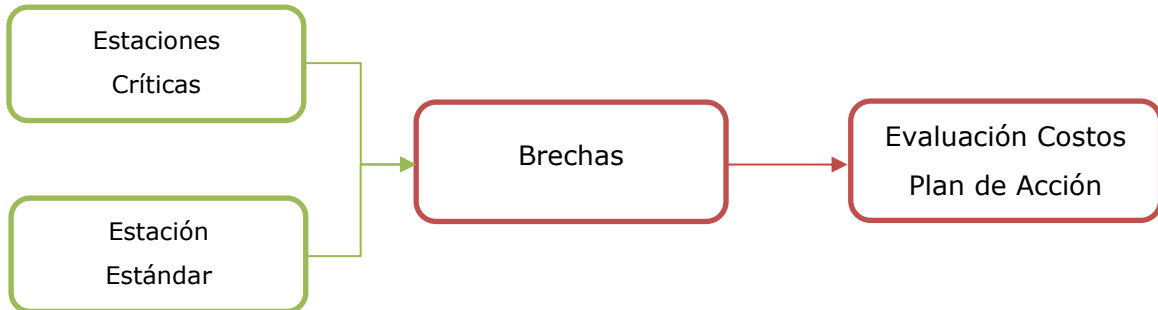


Figura 2.4 Diagrama Etapa IV: Plan de Acción

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

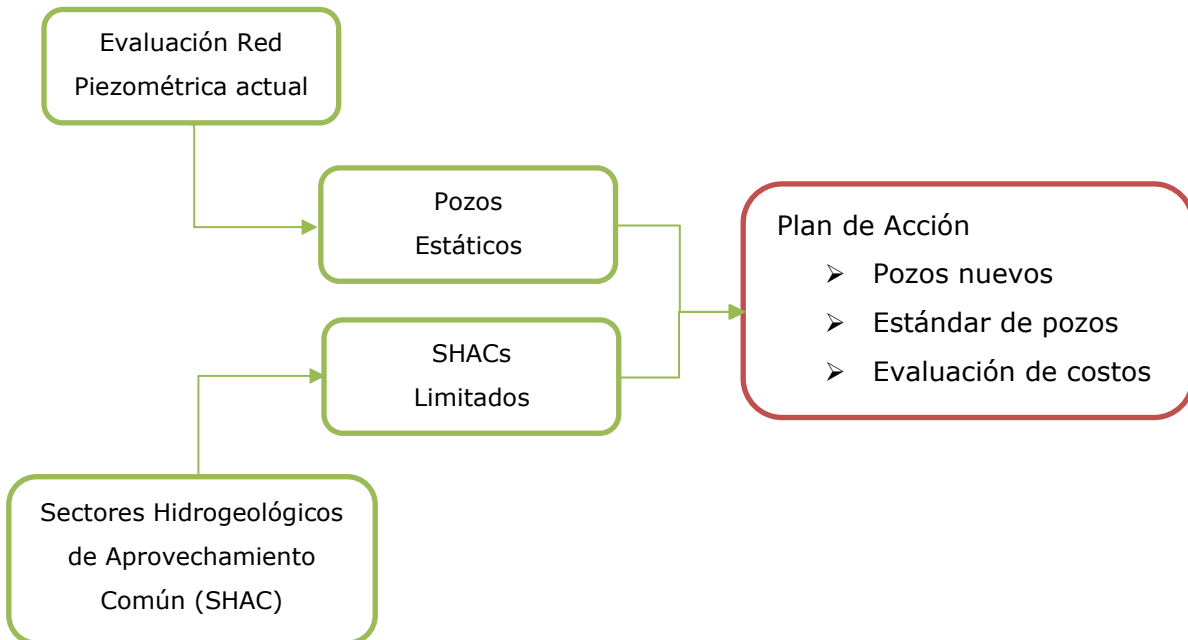


Figura 2.5 Diagrama metodología análisis crítico Red Piezométrica

3 RECOPIACIÓN Y REVISIÓN DE ANTECEDENTES

Para el desarrollo de esta consultoría se ha efectuado una completa recopilación de antecedentes, necesarios para el desarrollo y actualización del presente trabajo.

Se realizó una revisión bibliográfica en los siguientes organismos:

- Dirección general de Aguas (DGA)
- Dirección de Obras Hidráulicas (DOH)
- Comisión Nacional de Riego (CNR)
- Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN)
- Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP)
- Corporación de Fomento de la Producción (CORFO)
- Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN)
- Instituto Nacional de Estadísticas (INE)
- Instituto Geográfico Militar (IGM)
- Universidades y centros de investigación
- Otras fuentes (CR2, Meteored, etc.)

Para cada uno de los antecedentes revisados se ha generado una ficha que contiene características generales, objetivos y una breve reseña, incluidas en el **Anexo 1**. Se muestra a modo de ejemplo en la Figura 3.1 la ficha del estudio *Balance Hídrico (DGA, 1987)*.



**DIAGNOSTICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE RED NACIONAL DE ALERTA DE EVENTOS
HIDROMETEOROLÓGICOS
EXTREMOS ID: 1019-22-LQ21**




ESQUEMA FICHA RESUMEN ESTUDIOS				
TIPO DE INFORMACIÓN	INFORME			
TITULO	BALANCE HÍDRICO DE CHILE			
AÑO	1987			
ELABORADO POR (ES)	DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (DGA)			
AUTOR (ES)	DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (DGA)			
LINK DE DESCARGA	https://snia.mop.gob.cl/sad/SUP1540.pdf			
ALCANCE GEOGRÁFICO	NACIONAL	INTER-REGIONAL	REGIONAL	CUENCA (S)
	x			
ÁMBITO GEOGRÁFICO	REGIÓN	PROVINCIA	CUENCA (S)	
	Todas las regiones de Chile (Excepto territorio Antártico)			
TIPO DE ANTECEDENTES	PLANES GIRH	MODELACIÓN HIDROLÓGICA	MODELACIÓN HIDROGEOLÓGICA	CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA
	x			
OBJETIVO DE LA INFORMACIÓN				
Informe enfocado a entregar la información general sobre los recursos hídricos, características hidrogeológicas, conocimiento del balance hídrico en un periodo estadístico de tiempo largo, y mostrar mediante mapas y tablas la representación de la información hídrica nacional.				
RESULTADOS DE INTERÉS				
El estudio muestra la metodología desarrollada para el cálculo de la ecuación de balance hídrico, el cual realiza integración espacial de un gran volumen de información. Se describe y explican los parámetros utilizados para cálculo y consideraciones generales y especiales. El estudio entrega a modo general conclusiones en cuanto a precipitaciones, temperatura, evaporación y caudales a nivel regional, nacional desglosados en tres grandes macroregiones , a saber: I y II regiones, III a X regiones y XI y XII regiones. También el informe entrego resultados de dentro del contexto América del Sur y Mundial (fase terrestre). Se excluyo del análisis el territorio Antártico Chileno.				

Figura 3.1 Ficha tipo de resumen de estudios

Los principales estudios y referencias relacionados con la Red Hidrométrica Nacional, se presentan a continuación, con un resumen de los aspectos que son de interés para el desarrollo de la presente consultoría.

1. Análisis Hidrométrico de las Redes Hidrométricas, Zona Sur. DGA (2014), SIT N° 344, realizado por Sociedad de Servicios Profesionales en Recursos Hídricos y Medio Ambiente Ltda.

Este estudio consideró el análisis crítico de la red hidrométrica de seis regiones (Biobío, Araucanía, Los Ríos, Los Lagos, Aysén y Magallanes) conformada por un total de 557 estaciones vigentes. Se efectuó una recopilación de antecedentes, tales como: estudios similares anteriores, características de las cuencas y geografía del país, así como también, información sobre metodologías o enfoques para el análisis de redes hidrométricas tanto a nivel nacional como internacional, considerando criterios previamente establecidos por la DGA. Posteriormente se realizó un análisis sobre la evolución de la red y cómo ésta ha respondido a los requerimientos tanto públicos como privados, dando paso a un diagnóstico de la situación actual, analizando el número de estaciones en operación, ubicación y la información que entregaba cada una de ellas. Además, se efectuó una recopilación de antecedentes que permitió evaluar la influencia del cambio climático en las proyecciones y tendencias hidrológicas futuras, estableciendo zonas críticas en cuanto a la demanda de información hidrológica, evaluando la vigencia de la tecnología empleada en el monitoreo y proponiendo (en algunos casos) la implementación de métodos vanguardistas que propenden la eficiencia del servicio. Asimismo, se recopilaron antecedentes sobre los principales usos del agua, demandas de derechos de aprovechamiento de aguas, requerimientos de datos en tiempo real, necesidades de fiscalización (ambiental y Código de Aguas), proyecciones futuras de necesidad de información y otros requerimientos de las distintas áreas de trabajo de la DGA. También se realizó un análisis en forma general sobre la calidad de la estadística que entregaba la red hidrométrica en ese momento, relacionándola con las necesidades actuales y futuras de información, visitas de terreno a las Oficinas Regionales DGA y a algunas estaciones para poder conocer y verificar los antecedentes sobre la ubicación de nuevos puntos de control. Finalmente, se evaluó la factibilidad de compatibilizar y complementar la red hídrica DGA con redes pertenecientes a otros servicios y organismos, tales como: el Centro de Agricultura y Medio Ambiente (AGRIMED), la Dirección Meteorológica de Chile (DMC), el Sistema Nacional de Medición Ambiental (SNIA), entre otros. Junto con ello, se evaluó la factibilidad económica de implementar nuevas estaciones y de mejorar las existentes, considerando entre otros aspectos, los costos de inversión y, los costos asociados a la operación de la red (operarios, mantención de equipos, etc.).

2. Análisis Crítico de las Redes Hidrométricas, Regiones V a VII y Región Metropolitana. DGA (2013), realizado por KRAL Consultores Ltda.

Este estudio correspondió al análisis crítico de la situación de la red hidrométrica, pluviométrica, meteorológica y sedimentológica de las regiones V a VII y Región Metropolitana en el año 2013, cuyo objetivo principal fue entregar un diagnóstico de las necesidades actuales y futuras de las redes hidrométricas, y proponer mejoras. El estudio estuvo enfocado en el análisis de distintas variables, tales como: número de estaciones, ubicación, antecedentes de uso actual de agua y estadística existente. El trabajo presentó como resultados los aspectos operaciones levantados para las estaciones de las regiones estudiadas en cuanto a: fallas presentadas, equipamiento, ubicación, operadores (personal), así como también aspectos financieros y de diseño. Se realizó la evaluación del impacto de acuerdo con el grado de importancia, seguido de una propuesta de mejora de las estaciones actuales, así como el emplazamiento de nuevas estaciones desde el criterio de su ubicación. En cuanto a la propuesta de estaciones de tipo piezométricas se enfatizó el criterio de que las mismas fueran consideradas como puntos de control. Además, se propuso el establecimiento de una red especial bajo las siguientes consideraciones: a) Red por efecto de embalses, b) Actividad Volcánica y c) Control de crecidas e inundaciones. Finalmente, se entregó una estimación de costos, resaltando la importancia del establecimiento de una red con enfoque de protección a la población civil.

3. Análisis del Comportamiento Espacial y Temporal de las Precipitaciones en la Región de Los Ríos, la Región de Los Lagos y la Región de Aysén. Memoria para optar al título de Ingeniero Forestal, UTAL (2009).

El estudio de esta Memoria de Título se basó en el aumento del nivel de información cuantitativa y cualitativa de las precipitaciones (mensuales y anuales), tanto en su forma espacial como temporal. Para el análisis se utilizaron los registros de 35 estaciones pluviométricas: 7 estaciones en la Región de Los Ríos, 11 estaciones en la Región de Los Lagos y 17 estaciones en la Región de Aysén. Dichos datos se analizaron con los Promedios Móviles y la Función de Distribución de Probabilidad de Gumbel, y se calcularon los Índices de Fournier (IF), Modificado de Fournier (IMF), Modificado de Fournier-Maule (IMFM) y el Índice de Concentración de las Precipitaciones (ICP).

Luego, con los resultados obtenidos se verificó si había una tendencia al aumento o disminución de precipitaciones (comportamiento temporal). Además se analizó la agresividad climática (con los índices de IF e IMF) y la concentración de las precipitaciones (ICP), verificando que el IMFM fue el que mejor se relacionó con las precipitaciones. Como resultado se alcanzó una tendencia al aumento de las precipitaciones en las regiones de Los Ríos y Los Lagos, y una disminución en la región de Aysén; una tendencia al aumento de la agresividad de las precipitaciones en las regiones de Los Ríos y Los Lagos, y una tendencia a la disminución en la región de Aysén.

4. Análisis de Vulnerabilidad del Sector Silvoagropecuario, Recursos Hídricos y Edáficos de Chile frente a Escenarios de Cambio Climático. CONAMA-MINAGRI-AGRIMED (2008).

El estudio (CONAMA-MINAGRI-AGRIMED) tuvo por objetivo analizar las zonas de mayor riesgo frente a eventos de cambio climático (erosión pluvial) ante escenarios severos, y en el cual se aplicó un modelo de ecuación revisada universal de pérdida de suelo llamado por sus siglas RUSLE, el cual se ajusta a terrenos con pendientes inferiores a 22%. La modelación tuvo como horizonte de estudio de proyección al año 2040. El modelo RUSLE fue diseñado para guiar en la selección de prácticas de conservación para diseños específicos y para lo cual se calcularon índices de vegetación. Como resultado el estudio (2008) mostró que el riesgo de erosión es consecuencia del aumento de la intensidad de las precipitaciones, lo que a mayor cobertura vegetal disminuye el riesgo. Factores como la erosividad y falta de cobertura en zonas de relieve complejos se presentan mayormente en la costa y precordillera especialmente en el valle central. Además, dio cuenta que en zonas cultivadas este efecto es nulo, evidenciando una fragilidad en el componente geomorfológico, relevante aportación de sedimentos originados en precordillera (lagos, humedales, embalses y cursos superficiales). Se concluyó que el mayor riesgo se evidencia en la cordillera de la costa y precordillera de los Andes, llegando a niveles críticos en la región del Bio-bio donde existe una notoria degradación del recurso edáfico.

5. Análisis de los efectos de distintos escenarios de registro histórico en la estimación de caudales de crecida. Aplicación a obras hidráulicas de la cuenca del Río Maule. Claudio Arias, Memoria de Título Universidad de Chile, 2011.

El estudio tuvo por objetivo analizar el efecto que produce la longitud del registro hidrológico utilizado en la magnitud del caudal estimado mediante análisis de frecuencias, centrándose en las obras hidráulicas existentes en la cuenca del Maule Alto. El análisis se apoyó en las estaciones fluviométricas afluentes a cada una de estas obras, beneficiándose de la gran cantidad de datos disponibles debido al alto interés en los recursos hídricos de esta zona. El estudio caracteriza detalladamente los registros existentes en cada estación analizada.

Las conclusiones del estudio indicaron que la estimación de crecidas de origen pluvial está condicionada por el periodo de registro seleccionado, existiendo un aumento considerable al utilizar periodos de registros más cortos y actuales. La situación es diferente para la estimación de crecidas de origen nival, donde la longitud del periodo de registro considerado no produce un efecto claro en la magnitud del caudal determinado, siendo variable según la estación analizada. Por otro lado, se comprueba que existe un aumento en el número y magnitud de crecidas pluviales a lo largo de los últimos años en la cuenca del río Maule, siendo esta la razón del aumento de los caudales calculados al utilizar un periodo de registro más corto. En tanto, las crecidas de origen nival se han mantenido constantes en magnitud a lo largo de los años analizados.

Finalmente, el estudio concluye que todas las obras analizadas poseen una seguridad hidrológica menor a la calculada al momento de su diseño, siendo esto condicionado por el aumento en la magnitud de las crecidas pluviales ocurridas posteriormente a la construcción de las obras.

6. Análisis meteorológico de los aluviones de Antofagasta y Santiago de Chile en el período 1991-1993. René Garreaud y José Rutifani (1996).

Dentro de los principales objetivos del estudio, se encontraron los siguientes a) describir en escala hemisférica, sinóptica y regional local la ocurrencia de los aluviones catastróficos en Antofagasta (1991) y Santiago de Chile (1993) debido a anomalías atmosféricas por eventos de El Niño; b) además de presentar un análisis de las

condiciones meteorológicas que precedieron y acompañaron estos aluviones y, por último, c) describir geográficamente las zonas de Antofagasta y de Santiago. El paper entregó un resumen de las características geográficas y climáticas de estas ciudades. Además, en el documento se presentan las características generales de la circulación atmosférica, configuración barotrópica en relación con las anomalías de presión al nivel del mar y las anomalías de altura geopotencial y condición de bloqueo al flujo oeste. Luego, narra la presencia de un anticiclón debilitado que favoreció el desvío de las trayectorias ciclónicas hacia las zonas central y norte de Chile. Para el caso de 1993, las anomalías presentaron una menor amplitud en la costa suroccidental de Sudamérica con una vaguada fría. Específicamente, en el aluvión de Antofagasta, se evidenció un contraste térmico por calentamiento en la troposfera baja y un enfriamiento del aire polar y acceso orográfico. Por otra parte, el aluvión de Santiago se debió a las altas temperaturas en la troposfera sobre la costa occidental de América del Sur.

7. Análisis de eventos hidrometeorológicos extremos en el país. Caudales máximos y mínimos. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, AC Ingenieros Consultores Ltda., Ayala Cabrera y Asociados Ltda., 1995.

El estudio tuvo como objetivo mejorar la estimación de caudales extremos del país en cuencas que poseían escasa o nula información fluviométrica. Para esto se utilizaron diferentes métodos utilizados en la época con la finalidad de seleccionarlos y validar los más adecuados. Los métodos más comunes utilizados fueron: análisis de frecuencia como; Fórmula Racional y Verni y King, para caudales máximos de origen pluvial. Además, se utilizaron métodos de estimación del hidrograma de crecida de origen pluvial y para la generación de escorrentía directa la infiltración de la lluvia, así como el Método de la Curva Número.

Se recopilaron (a nivel nacional) los datos de 672 estaciones de control fluviométrico en el país en los periodos comprendidos entre 1915 y 1992. Esto complementado al estudio "Eventos Hidrometeorológicos Extremos, Precipitaciones Máximas en 1,2 y 3 días" realizado para la DGA en 1989. Para el procesamiento de estos datos se utilizó como filtro que al menos tuvieran 20 años de información las estaciones que se estudiaron, utilizándose finalmente 234 estaciones que cumplían con estas condiciones y 39 cuencas en total.

En el análisis, se estimó un coeficiente representativo de cada región o para los grupos de cuencas, para cada periodo de retorno. Entre otras recomendaciones para facilitar la estimación de los caudales máximos o mínimos susceptibles de ocurrir en un lugar de interés, asociados a distintas probabilidades de excedencia.

8. Balance hídrico de Chile, DGA, 1987.

El informe (DGA) estuvo enfocado a entregar la información general sobre los recursos hídricos, características hidrogeológicas, conocimiento del balance hídrico en un periodo estadístico de tiempo largo, y mostrar mediante mapas y tablas la representación de la información hídrica nacional. El informe (1987) mostró la metodología desarrollada para el cálculo de la ecuación de balance hídrico, el cual realiza integración espacial de un gran volumen de información. Se describieron y explicaron los parámetros utilizados para cálculo, así como las consideraciones generales y especiales. Entregó a modo general conclusiones en cuanto a precipitaciones, temperatura, evaporación y caudales a nivel regional, nacional desglosados en tres grandes macro-regiones, a saber: I y II regiones, III a X regiones y XI y XII regiones y también mostró los resultados de dentro del contexto América del Sur y Mundial (fase terrestre). Se excluyó del análisis el territorio Antártico Chileno.

9. Determinación de los umbrales de alerta de caudales, lluvias y temperaturas del sistema de transmisión de datos de la DGA / Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Agua, División de Hidrología, Rodhos Asesorías y Proyectos Ltda.

El objetivo de este estudio fue realizar una actualización, en todo el país, del sistema de umbrales de crecidas de las estaciones fluviométricas o pluviométricas que así lo requirieron. Para esta actualización fue necesario revisar: las estaciones satelitales y no satelitales incluidas en el actual sistema de alerta, los puntos de inundación que requerirían un sistema de alerta, las estaciones estratégicas de control, las variables que explican la crecida, analizar la necesidad de incluir algunas variables adicionales a las consideradas originalmente (como temperaturas y niveles de lagos), y por último, a través de un análisis hidrológico y meteorológico, los rangos a los cuales se asocian los tres umbrales de alerta (azul, amarilla y roja) de cada una de las variables. Las recomendaciones para determinar estos umbrales fueron no considerar para todos los eventos la misma cantidad de días de lluvia al relacionar caudales con precipitaciones;

sumar el caudal de las estaciones fluviométricas cuando las precipitaciones se explican con más de una estación fluviométrica; en cuencas que tienen una porción mixta o nival, estudiar una relación entre los caudales y la temperatura además de la precipitación; y finalmente, actualizar los umbrales con cada evento de inundación o daño que se registre por crecidas.

Con los resultados obtenidos se verificó que, metodológicamente, no se pueden establecer umbrales de alerta de caudal si no hay un evento de inundación con lugar, fecha y caudal correspondiente; en el norte y centro de Chile. Importante destacar que el índice de precipitación antecedente (IPA) cuando se hace el análisis de la relación entre precipitaciones y caudales, lo que no se observa más al sur, donde los suelos están permanentemente más húmedos, y no tiene una gran influencia el IPA. Se plantea controlar las entradas y salidas de embalses, específicamente en la Región III (embalse Lautaro), en la región IV (embalses Puclaro, Paloma y Corrales), y en la Región VI (embalse Convento Viejo); equipar algunas estaciones con sistemas de transmisión de datos en tiempo real; instalar estaciones nuevas y rehabilitar estaciones suspendidas o mejorar estaciones existentes en mal estado.

10. Estudio de prefactibilidad mejoramiento sistema de riego en Río San Pedro, San Pedro de Atacama, Región de Antofagasta. ARRAU Ingeniería EIRL. Consultores de Ingeniería Hidráulica y de Riego, 2014.

El estudio tuvo por objetivo principal el análisis completo a nivel de prefactibilidad, para proponer y evaluar alternativas de mejoramiento del sistema actual de riego de la comuna de San Pedro de Atacama, donde se planteó mejorar las condiciones del riego, mitigar los daños que producen las crecidas del invierno altiplánico en la agricultura y otros sectores, y finalmente, evaluar la posibilidad de generar energía hidroeléctrica en una mini central asociada al embalse. Para cumplir con lo anterior, se realizó un diagnóstico completo de la infraestructura de riego, de los posibles sitios de embalse, y se llevan a cabo diversos estudios topográficos, geotécnicos, geofísicos, hidrológicos, sedimentológicos y de laboratorio. Con dichos antecedentes se propusieron una serie de alternativas, las cuales son evaluadas mediante un modelo hidrológico y operacional del Río San Pedro bajo los diferentes escenarios. Posteriormente se realizó una evaluación económica de las distintas opciones de solución y sus variantes. Finalmente, se concluyó que la alternativa más favorable a precios sociales es la que considera el uso múltiple de la obra, lo que permite mejorar la calidad de las aguas de riego, controlar las crecidas

y la generación de energía eléctrica, sin embargo, esta misma opción a precios privados no resulta rentable. De todas formas, con los resultados obtenidos se recomienda proseguir a un estudio de factibilidad, complementando la alternativa descrita con otros estudios de técnicos y de ingeniería que permitan esclarecer ciertos aspectos y dar mayor robustez al análisis.

11. Estudio de prefactibilidad, alternativas de obras de regulación y control de crecidas en la hoya del Río Salado (afluente Río Loa), Región de Antofagasta. Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Obras Hidráulicas, ARRAU Ingeniería EIRL, 2013.

El estudio presentó una caracterización de la cuenca y un estudio hidrológico e hidráulico del río Salado. Este río es el principal afluente del río Loa, presenta crecidas provocadas por el invierno altiplánico, las que al no existir obras de regulación o de control de crecidas, causan serios daños en la infraestructura pública y privada.

Además, en el documento se analizó la prefactibilidad de diferentes alternativas de obras asociadas a crecidas extraordinarias como la del año 2001. Entre las alternativas se encuentran: un embalse regulador de crecidas en diferentes ubicaciones; una cuenca de retardo correspondiente a una superficie extensa y plana o de baja pendiente que tendría por objetivo desviar una parte de las aguas de las crecidas del río Salado y; varias obras de defensa fluvial (gaviones y encauzamientos de la caja del río).

Finalmente, el estudio contempló realizar una identificación y descripción del área de influencia del Proyecto, conocer e incorporar una medida técnica y económicamente viable, analizar las implicaciones sociales y legales.

12. Estimación del valor económico de uso de pronósticos del tiempo en la gestión de riesgo ante eventos hidrometeorológicos extremos: estudio de caso en el Río Biobío, 11 de julio de 2006. Wilson Ureta Parraguez, Memoria de Título Universidad de Chile, 2010.

El objetivo principal de la memoria de título consistió en generar una estimación del valor económico del uso de pronósticos del tiempo, para la mitigación del desastre ocasionado por el evento hidrometeorológico extremo asociado al desborde del Río Biobío en 2006. Para ello, se describe el evento de acuerdo a los pronósticos informados y las precipitaciones y caudales registrados antes y durante el día del evento en el área

de estudio. Además, se realizó un análisis de frecuencia de los caudales máximos anuales instantáneos del Río Biobío. Se analizó la gestión realizada por las Asociaciones de Canalistas y ENDESA, y se determinaron los principales impactos del desastre, principalmente asociados a la actividad agrícola. El 11 de julio de 2006, se registró una precipitación de 241 mm en 24 horas, lo que generó un importante aumento de caudal, que derivó en el desborde del sistema de canales de Biobío Norte, Biobío Sur y Biobío Negrete. La gestión del evento por parte de las Asociación de Canalistas y ENDESA evidenció graves falencias de infraestructura y procedimientos para disminuir los efectos de la crecida, lo que terminó con la muerte de 7 personas, 11.525 damnificados y el deterioro de viviendas y caminos. En su conjunto, el análisis anterior llevó a la conclusión de que el uso adecuado de los pronósticos del tiempo podría haber disminuido en forma gravitante los daños provocados por la crecida estudiada. Sin embargo, no es posible afirmar que el valor económico de uso de los pronósticos corresponde al ahorro de la totalidad de los costos estimados, ya que en la concreción de éstos también influyeron la extraordinaria magnitud del evento, la exactitud de los pronósticos y la vulnerabilidad y capacidad de la infraestructura existente para contener la crecida del río.

13. Manual de cálculo de crecidas y caudales mínimos en cuencas sin información Fluviométrica. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Agua, AC Ingenieros Consultores Ltda. 1995.

Este manual detalla los métodos para el cálculo de caudales máximos y mínimos en cuencas naturales del país, con nula o escasa información fluviométrica; estos métodos son válidos para períodos de retorno inferiores a 100 años (valor usual para el diseño de obras hidráulicas de pequeña a mediana importancia) y aplican para la estimación de caudales máximos en periodo pluvial y de deshielo.

Para la elaboración del manual se consideró la información hidrológica disponible de estaciones hidrométricas y estudios anteriores. Con esta información se calibraron los métodos utilizados habitualmente en el cálculo de caudales extremos y se elaboraron nuevas expresiones de cálculo, los que fueron validados para una gran parte del territorio nacional (desde la III^a a la X^a Región). Previo a la utilización de los métodos propuestos se requirió determinar los parámetros morfométricos de la cuenca aportante, las precipitaciones del sector y la ubicación geográfica del área de estudio; los demás valores requeridos por los métodos propuestos se indican en el mismo manual.

14. Mejoramiento de la red fluviométrica para el control de crecidas. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, CONIC-BF Ingenieros Civiles Consultores Ltda., 2011.

A la fecha de licitación del estudio, se constataba que la información hidrométrica de las grandes crecidas no estaba siendo bien registrada por las estaciones fluviométricas de la DGA. Esto se debía, en parte, al diseño de las estaciones y al aumento de la frecuencia de crecidas en los últimos 5 años, lo que además produjo la destrucción o daño de varias estaciones. El objetivo de este estudio estuvo en generar un diseño de una red fluviométrica para el control de crecidas en un período de retorno mayor a 25 años en las Regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta y Coquimbo. Inicialmente se realizó un diagnóstico de todas las estaciones fluviométricas existentes, con fin de identificar las estaciones, períodos de tiempo y situaciones más recurrentes donde se produce la pérdida de información. Además, se realizó un estado del arte en relación a las diferentes metodologías de controles específicos y complementarios, con el fin de proponer e identificar la mejor alternativa para el control de crecidas. La alternativa seleccionada fue la que utilizaba radares de sensor sin contacto, la cual se adecúa a la realidad de las estaciones existentes en las diferentes regiones. Se seleccionaron los puntos estratégicos donde se aplicará la alternativa seleccionada, distribuyéndose en dos por cada región de estudio. En cada uno de ellos se realiza un estudio de caudales de crecida y eje hidráulico, con el fin de determinar la mejor ubicación de la estación. Finalmente, se elaboraron los presupuestos de las obras civiles e instrumentación para cada estación.

15. Modelación y análisis de inundaciones para la cuenca del río Copiapó, Departamento de Estudios-CSIRO, Dirección General de Aguas, 2017.

El proyecto contempló el desarrollo de una herramienta que permitiría modelar y predecir posibles escenarios de amenazas de inundaciones futuras, realizando simulaciones de diferentes escenarios de inundaciones que involucran precipitaciones y caudales. Se centró en el estudio de la cuenca del río Copiapó porque corresponde a un sector con eventos de precipitación esporádicos, los que ocasionalmente generan fuertes escorrentías y provocan aluviones; basándose específicamente en los eventos extremos de inundaciones históricas ocurridos en marzo de 2015 y mayo de 2017.

El software desarrollado por CSIRO, SWIFT (*Shallow Water Integrated Flood Tool*, (SWIFT Website, 2018)), fue utilizado para realizar modelamiento de inundaciones y fue validado con los antecedentes de los eventos anteriormente mencionados, obteniendo resultados coincidentes entre la simulación y lo registrado. Por lo anterior, se considera que SWIFT está preparado para ser utilizado en un diverso rango de aplicaciones sobre la cuenca del río Copiapó, entendiendo que una validación más completa requeriría considerar otros eventos históricos extremos. De los resultados obtenidos se obtuvieron las siguientes conclusiones: el análisis comparativo entre los resultados de las simulaciones y los datos registrados posterior al evento se basó en criterios cualitativos, por lo que se recomendó complementar el análisis considerando métricas cuantitativas; una baja resolución para describir la topografía del terreno puede sobreestimar el tiempo de arribo del agua a determinados sectores, y/o introducir artefactos artificiales en la grilla de simulación, tales como un suavizamiento excesivo en la caja de un río o incluso la eliminación de esta, lo cual implicaba que el agua se desplazara por sectores sin seguir el comportamiento esperado, y en cambio una muy alta resolución podría requerir un tiempo de cómputo significativamente mayor, y también podría incluir elementos no propios del terreno, como tuberías, lo cual distorsionaría el movimiento del flujo y generaría resultados erróneos.

16. Plan regional de infraestructura y gestión del recurso hídrico al 2021.

Región de Antofagasta. MOP, 2012.

La región de Antofagasta es la segunda con mayor extensión del país. Posee una geomorfología variada, debido a lo mismo los riesgos naturales a los que está expuesta son diversos dependiendo del sector analizado, destacando las comunidades costeras que están expuestas a sismos, tsunamis y aluviones, comunidades interiores en el altiplano expuestas a sismos, riesgo volcánico y grandes avenidas de agua producto del invierno altiplánico. En el año 2012, se lograron identificar dentro de la región 14 quebradas de importancia de las cuales solo cuatro cuentan con obras de control aluvial.

Al 2012, la región contaba con siete cauces principales. Por otro lado, la explotación de agua subterránea es vital, debido a las características climáticas de la zona (escasas precipitaciones), si se considera además el crecimiento poblacional existente.

En el estudio se resaltaba que la infraestructura hidrométrica de la región al 2012 era de 32 estaciones fluviométricas, 34 meteorológicas, 1 calidad de agua subterránea, 19

calidad de agua superficiales y, 29 que registraban los niveles estáticos de aguas subterránea.

17. Pronóstico de crecidas en tiempo real usando redes neuronales recurrentes.

Milena Muñoz Bonacic, Memoria de Título Universidad de Chile, 2008.

El estudio de esta Memoria de Título se basó en analizar la eficiencia de modelos de redes neuronales recurrentes aplicados al pronóstico de crecidas en tiempo real. El estudio se enfocó principalmente en la cuenca del río Mapocho, perteneciente a la hoya hidrográfica del río Maipo con la finalidad de encontrar los tipos de redes recurrentes, modelos y arquitecturas más apropiados para realizar pronósticos de crecidas adecuados que resulten útiles como alternativas preventivas y de mitigación. Además, el estudio se basó en la utilización de redes neuronales de tipo recurrente, los que son aplicadas a crecidas pluviales y de deshielo, cuyo pronóstico se enfoca al caso de caudales instantáneos, donde las variables relevantes son definidas a partir de registros de caudales, precipitaciones y temperaturas en tiempo horario; eligiendo como óptima a aquella red neuronal que tenga el menor error en el pronóstico.

Con los resultados obtenidos se verificó que, para pronosticar crecidas pluviales y de deshielo, las redes neuronales recurrentes de Elman resultan más eficientes que las redes prealimentadas y los modelos paramétricos, lo cual es más notorio en pronósticos pluviales; una red recurrente tipo Elman necesita, para modelar un fenómeno, la misma cantidad de neuronas en las capas ocultas que si se modela con una red prealimentada; un pronóstico con RRS (red neuronal recurrente simple) necesita alrededor del triple de tiempo que utilizar redes prealimentadas; los pronósticos obtenidos para entrenamientos de tipo unitario y continuo en una red neuronal recurrente de Elman son mejores que los obtenidos mediante el uso de una red prealimentada considerando ambos tipos de entrenamiento; en los modelos RARMAX entrenados unitariamente, los modelos formados a partir del entrenamiento con los datos de las crecidas con menores amplitudes de frecuencia presentan los menores errores.

18. Plan de manejo técnico del Río Loa a su paso por Calama y plan maestro de evacuación y drenaje de aguas lluvias de Calama, II Región. Informe Final. Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Obras Hidráulicas, CONIC BF Ingenieros Civiles Consultores Ltda., 2004.

Del plan de manejo técnico del río Loa se pudieron identificar un total de 10 sectores críticos que presentan problemas con desbordes del río e inundaciones. Las principales razones por las que ocurren estos eventos fueron: Existencia de infraestructura inadecuada ubicada en el cauce, como son puentes, alcantarillas, bocatomas, entre otras. Estas estructuras alteran el libre escurrimiento del río, debido a un mal diseño, pudiendo causar inundaciones en las zonas aledañas a estas, se sugiere entonces poder mejorar los diseños existentes y en el caso en que lo obra no sea vital se sugiere su eliminación. Otra razón sería la poca capacidad de algunos tramos del río. Esto es debido a la poca limpieza del cauce, sección muy pequeña o riberas muy bajas, la solución propuesta por tanto es el aumento de sección, en caso de ser necesario y la limpieza sistemática de este. Por último, otra de las razones por las que se pudo identificar que ocurren estas inundaciones fueron la inestabilidad de taludes de la ribera, proponiéndose como solución el recubrimiento de estos taludes existentes con un material que resista las velocidades de escurrimientos.

Referente al plan maestro de evacuación de drenaje de aguas lluvias se identificó que la ciudad de Calama no presenta graves problemas referentes a esta temática, debido principalmente a las escasas precipitaciones que corren en la zona.

19. Proyecto de Reposición de la Red Hidrométrica Cuenca Río Huasco, Dirección General de Aguas Región de Atacama.

El proyecto consistió en la reposición de las Estaciones Fluviométricas dañadas durante el evento meteorológico de marzo del año 2015. Dicho proyecto se basó en el Estudio Ingeniería de Detalles Estaciones Fluviométricas DGA Cuenca Río Huasco realizado por 4C CONSULTORES EN INGENIERÍA CIVIL LTDA. En este estudio se realizó un diagnóstico completo de la zona, con estudios hidrológicos, hidráulicos, entre otras especialidades, para el diseño de las estaciones que se consideraron prioritarias para el funcionamiento de la Red Hidrométrica. Además, en este estudio se entregaron especificaciones técnicas generales, planos y sectores en detalle de la construcción de la red..

20. Proyecto de Reposición de la Red Hidrométrica Cuenca Río Copiapó, Dirección General de Aguas Región de Atacama.

El evento ocurrido en marzo del 2015, el cual llevó a la realización de este estudio y rediseño y reparación de estaciones debió ser estudiado por métodos indirectos debido a que las estaciones fluviométricas existentes no eran capaces de medir los caudales de crecida. Las estaciones hasta esa fecha funcionaban de manera correcta solo para eventos asociados a periodos de retorno menores, que son los recurrentes en la zona.

Debido a los eventos ocurridos en el año 2015 y a lo antes mencionado se sugirió reubicar algunas de las estaciones de esta red, además de la reparación de las que fueron dañadas en esta crecida. Esto con la finalidad de poder modernizar la red y, llevar a cabo un correcto control y medición de los caudales.

21. Una revisión de inundaciones fluviales en Chile, período 1574-2012: causas, recurrencia y efectos geográficos. Octavio Rojas, María Mardones, José Luis Arumi y Mauricio Aguayo. Revista de geografía Norte Grande N°57, 2014.

Este artículo realizó una revisión bibliográfica de inundaciones fluviales históricas en el período 1574-2012 a través de diferentes publicaciones, con el objetivo de analizar, explicar y sistematizar causas o factores detonantes, así como también, períodos de recurrencia, distribución y efectos geográficos de las inundaciones acaecidas en Chile continental. Se identificaron 5 tipos principales de inundaciones, asociada a los detonantes de procesos volcánicos, procesos nivoglaciares, deslizamientos, intervenciones antrópicas y precipitaciones. Se relacionó este último factor al 71% de las inundaciones en el periodo analizado. También se realizó un análisis a nivel nacional donde se observó un patrón zonal de los tipos de eventos dividido en 5 áreas homogéneas, cuya mayor recurrencia se concentra en el dominio climático mediterráneo, consistente con montos pluviométricos intensos y cambios ambientales ocurridos durante las últimas tres décadas. Finalmente, se considera un incremento, desde la segunda mitad del siglo XX hasta el 2014, de inundaciones catastróficas, relacionadas principalmente con procesos nivoglaciares e intervenciones antrópicas..

22. Atlas del Agua, Chile 2016. Dirección General de Aguas, 2016.

La presente versión del atlas tuvo como objetivo entregar una herramienta para conocer la realidad hídrica de Chile al año 2016. Corresponde a un compendio orientado para el

uso por parte de especialistas, profesionales, sector público y privado, el cual presenta información relevante y actualizada sobre los recursos hídricos del país, así como de su utilización; las tendencias de consumo y disponibilidad; la institucionalidad y entidades vinculadas a la gestión del recurso y las cuencas que conforman las respectivas macrozonas. Este Atlas expone en la parte introductoria el problema de escasez hídrica, producto del cambio climático, lo que hace que se estructure una nueva estratégica. Recalca la importancia del agua como recurso esencial, y requerimientos como inversiones acumulación de aguas /eficientizar sistemas de riego y acopio de nuevos recursos. Destaca programas como APR y los esfuerzos en el ámbito normativo e institucional. Este Atlas propone ser una herramienta de información veraz y para empaparse de la realidad hídrica, contextualizando el desarrollo de la información en macrozonas. Luego en el documento se describe como se mide e investiga el agua, muestra además la estadística sobre gestión y administración del recurso. Se realizó un mapeo de las distintas dimensiones físicas del agua en país y desafíos a abordar fenómenos como el cambio climático, la sequía y la recurrencia de los eventos extremos. Finalmente, se realizó un resumen mediante mapas/ imágenes sobre la heterogeneidad hídrica (grandes diferencias de magnitud de las variables hidrometeorológicas).

23. Actualización del Balance Hídrico Nacional. Dirección General de Aguas, 2017.

Nace de la necesidad de incorporar 30 años de nuevos registros y fuentes de información, para cuantificar la disponibilidad de los recursos hídricos en el país. El objetivo del estudio fue servir como línea de base de cualquier estudio hidrológico, como de consultorías a nivel nacional. Teniendo una metodología uniforme y viable que permitiera incorporar procesos físicos en su estimación considerando el tipo, calidad y extensión de los datos existentes.

Para la actualización se analizaron diversos estudios y fuentes de información, entre las que destacan; brechas existentes entre las distintas cuencas y macrozonas climáticas establecidas por el Atlas del agua (DGA, 2016), caracterizar las cuencas de acuerdo al nivel de información y un análisis crítico de la información.

Los resultados de este trabajo entregan información relevante sobre la precipitación entre escorrentía total y evapotranspiración, en cuencas modeladas en régimen natural.

Se destaca que la caracterización del balance hídrico presentado está sujeta a la calidad de las forzantes meteorológicas, como a los resultados del modelo hidrológico.

El estudio hace mención de diferentes recomendaciones: forzantes meteorológicas, modelación hidrológica, evapotranspiración, recarga de agua subterránea, variabilidad y cambio climático.

24. Guía para el Diseño de Proyectos de Telemetría Hidrométrica. ICASS – KV Ingeniería, 2018.

Aborda el diseño de sistemas de medición y control hídrico en las cuencas del país, promoviendo interoperabilidad entre equipos y redes. En general, la guía se trata de un conjunto de pautas y recomendaciones que se presentan de forma ordenada y sistematizada para el desarrollo de telemetría hidrométrica a diferentes escalas. Debido a la escasez hídrica se ha potenciado el desarrollo de sistemas de telemetría, por lo que la guía permite orientar para la aplicación de estándares tecnológicos de telemetría hidrométrica para abordar el diseño de sistemas de medición. Además, en la guía se reúnen los estándares para unificar criterios a distintas variables y se realizan recomendaciones generales de las componentes de un sistema de telemetría hidrométrica, pasando por almacenamiento de la información, autonomía energética, protección de equipos, hasta la transmisión de datos y los sensores de acuerdo a las variables a monitorear. Desarrolla las variables monitoreadas o de intereses, tales como son: meteorológicas, hidrológicas y de calidad. Finalmente, entrega conceptos sobre los fundamentos, fallas, procesamiento de los datos que generan, discretización de la información, especificaciones generales de las características mínimas que deben tener los equipos, visualización de la información, etc. En fin, la guía resulta una herramienta eficaz para técnicos especializados ante eventualidad de inoperatividades de estos sistemas y hacia otros usuarios para facilitar la toma de decisiones.

25. Protocolo entre ONEMI y DGA, Dirección General de Aguas -ONEMI, 2019.

El principal objetivo fue establecer los mecanismos de comunicación y coordinación entre ONEMI y DGA para el monitoreo y la alerta ante el Sistema Nacional de protección civil frente a crecidas de ríos y aumento de niveles de lagos. Adicionalmente, tiene como objetivo, permitir adoptar oportunamente las medidas preventivas destinados a impedir o mitigar los riesgos asociados.

En el documento se definen las responsabilidades de cada una de las instituciones: por parte de la ONEMI en recopilar la información de crecidas e informar para alertar a la población y por parte de la DGA, en recibir los datos para que las autoridades de ONEMI y MOP adopten medidas preventivas para la mitigación de riesgos hidrológicos. Además, se definen los procedimientos para ambas instituciones y se exponen acuerdos complementarios, vocerías a través de los distintos sistemas de alerta y direcciones de ONEMI. Finalmente, presenta una definición del procedimiento en el caso que se realicen modificaciones al protocolo y de las coordinaciones que se designarán, así como el establecimiento de la vigencia del mismo.

4 DIAGNÓSTICO DE LA RED HIDROMÉTRICA

4.1 Variables monitoreadas, georreferenciación y sistemas hidrográficos asociados

La región de Antofagasta posee un sistema hidrométrico con 89 estaciones entre fluviométricas (31) y meteorológicas (58). En cuanto a la distribución, existe una mayor densidad en el cuadrante noreste y una menor cantidad en el resto.

A continuación, se presentan las figuras y tablas asociadas a cada una de las variables medidas, incluyendo las coordenadas oficiales y el sistema hidrográfico al que pertenecen.

Fluviometría

La Figura 4.1 muestra la ubicación espacial de las estaciones fluviométricas de la región. Mientras que la Tabla 4.1 muestra la información básica sobre la ubicación de cada una. Además, se distinguen las estaciones pertenecientes al Protocolo DGA-ONEMI, definidas en el "Protocolo entre la Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior y Seguridad Pública y la Dirección Nacional de Aguas, 2021".

Meteorología

La Figura 4.2 muestra la ubicación espacial de las estaciones meteorológicas de la región. Mientras que la Tabla 4.2 muestra la información básica sobre la ubicación de cada una.

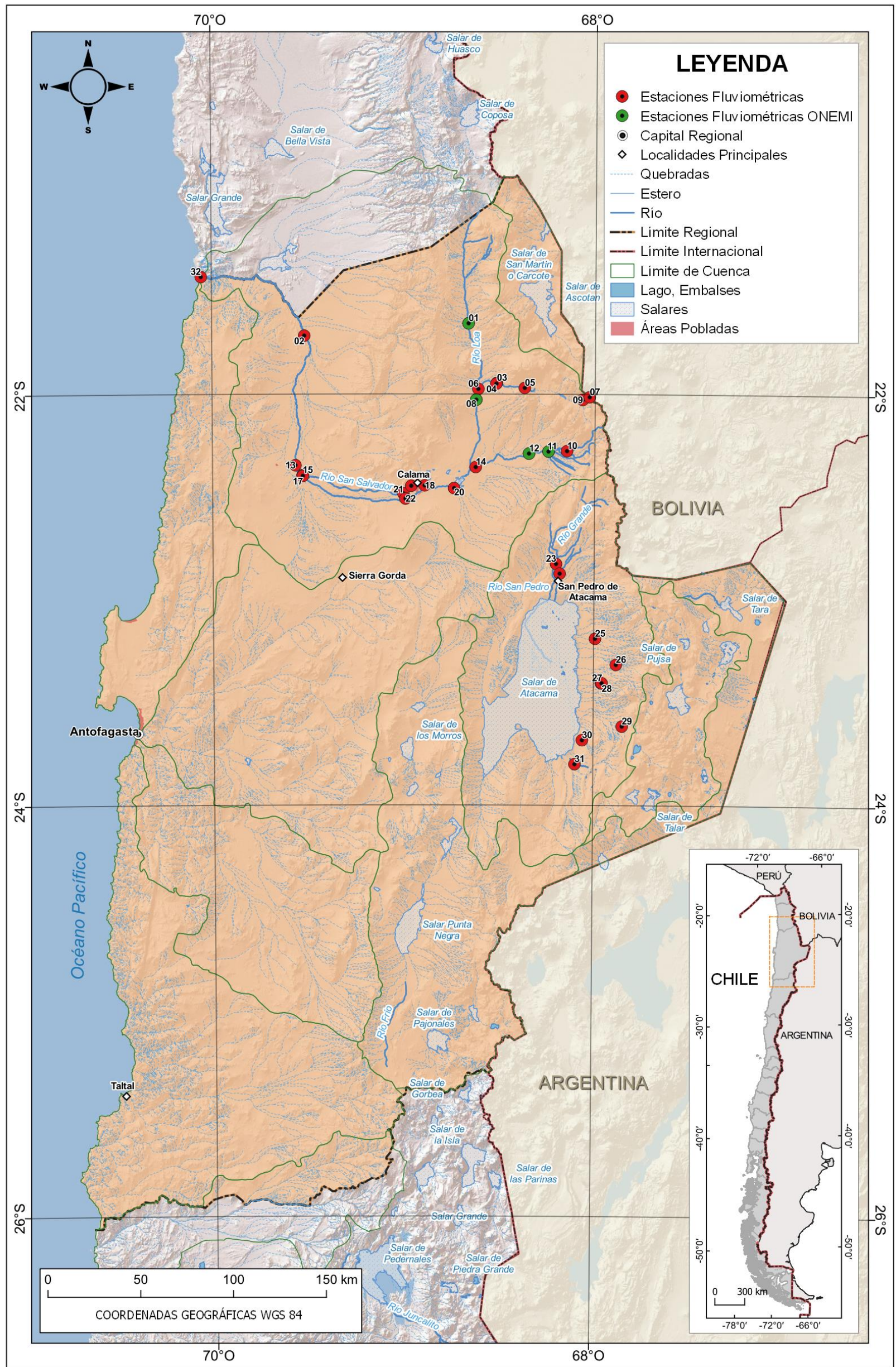


Figura 4.1 Ubicación estaciones fluviométricas, Región de Antofagasta

Tabla 4.1 Información básica estaciones fluviométricas, Región de Antofagasta

ID	Código BNA	Nombre	Coordenadas UTM WGS84 19S		Cuenca	Subcuenca	Subsubcuenca
			Este	Norte			
1	02101001-4	Río Loa antes represa Lequena (ONEMI)	534.963	7.605.223	Río Loa	Río Loa Alto (bajo junta Río Salado)	Río Loa Entre Estero Chela y Bajo Junta Quebrada de Hachas
2	02112005-7	Río Loa antes zona agrícola Quillagua	446.367	7.598.541	Río Loa	Loa Medio (entre R. Salado y Q. de Barrera)	Río Loa entre Río San Salvador y Quebrada Amarga
3	02103002-3	Río San Pedro en Parshall N°2 (BT. Chilex)	550.177	7.573.089	Río Loa	Río Loa Alto (bajo junta Río Salado)	Río San Pedro
4	02103018-K	Río San Pedro en Parshall N°2 (Codelco)	549.956	7.572.683	Río Loa	Río Loa Alto (bajo junta Río Salado)	Río San Pedro
5	02103001-5	Río San Pedro en Parshall N°1	565.247	7.570.382	Río Loa	Río Loa Alto (bajo junta Río Salado)	Río San Pedro
6	02104013-4	Río San Pedro en Vado Santa Barbara (DOH)	540.226	7.569.842	Río Loa	Río Loa Alto (bajo junta Río Salado)	Río Loa entre Río San Pedro y Río Salado
7	02103014-7	Río Siloli antes BT. FCAB	600.230	7.565.333	Río Loa	Río Loa Alto (bajo junta Río Salado)	Río San Pedro
8	02104002-9	Río Loa en salida embalse Conchi (ONEMI)	539.097	7.564.038	Río Loa	Río Loa Alto (bajo junta Río Salado)	Río Loa entre Río San Pedro y Río Salado
9	02103013-9	Río Siloli antes represa Inacaliri	596.517	7.563.882	Río Loa	Río Loa Alto (bajo junta Río Salado)	Río San Pedro
10	02105007-5	Río Toconce antes represa SENDOS	588.002	7.536.311	Río Loa	Río Loa Alto (bajo junta Río Salado)	Río Salado
11	02105001-6	Río Salado antes junta Curti (ONEMI)	578.008	7.536.087	Río Loa	Río Loa Alto (bajo junta Río Salado)	Río Salado
12	02105002-4	Río Salado en sifón Ayquina (ONEMI)	567.491	7.535.007	Río Loa	Río Loa Alto (bajo junta Río Salado)	Río Salado
13	02112007-3	Río Loa después junta San Salvador (M. Elena)	441.661	7.528.722	Río Loa	Loa Medio (entre R. Salado y Q. de Barrera)	Río Loa entre Río San Salvador y Quebrada Amarga
14	02105005-9	Río Salado antes junta Loa	538.772	7.527.734	Río Loa	Río Loa Alto (bajo junta Río Salado)	Río Salado
15	02112006-5	Río Loa después junta San Salvador (Chacance)	445.508	7.523.388	Río Loa	Loa Medio (entre R. Salado y Q. de Barrera)	Río Loa entre Río San Salvador y Quebrada Amarga
16	02110007-2	Río Loa antes junta San Salvador	445.621	7.523.155	Río Loa	Loa Medio (entre R. Salado y Q. de Barrera)	Río San Salvador
17	02111002-7	Río Salvador antes junta río Loa	445.659	7.522.981	Río Loa	Loa Medio (entre R. Salado y Q. de Barrera)	Río San Salvador
18	02110001-3	Río Loa en Escorial	511.262	7.517.871	Río Loa	Loa Medio (entre R. Salado y Q. de Barrera)	Río Loa entre Río Salado y Río San Salvador
19	02111005-1	Río San Salvador en Nacimiento	504.046	7.517.663	Río Loa	Loa Medio (entre R. Salado y Q. de Barrera)	Río San Salvador
20	02110031-5	Río Loa en Angostura	527.116	7.516.394	Río Loa	Loa Medio (entre R. Salado y Q. de Barrera)	Río Loa entre Río Salado y Río San Salvador
21	02111001-9	Vertiente Ojos de Opache	499.822	7.513.590	Río Loa	Loa Medio (entre R. Salado y Q. de Barrera)	Río San Salvador
22	02110004-8	Río Loa en Finca	500.925	7.510.778	Río Loa	Loa Medio (entre R. Salado y Q. de Barrera)	Río Loa entre Río Salado y Río San Salvador
23	02510001-8	Río San Pedro en Cuchabrachi	582.060	7.475.533	Salar de Atacama	Río San Pedro	Río San Pedro
24	02500004-8	Canal Vilama en Vilama	584.003	7.470.302	Salar de Atacama	Salar de Atacama	Salar de Atacama
25	02500007-2	Quebrada de Jerez	603.059	7.435.186	Salar de Atacama	Salar de Atacama	Salar de Atacama
26	02500008-0	Quebrada de Talabre en Tumbre	614.258	7.421.089	Salar de Atacama	Salar de Atacama	Salar de Atacama
27	02500009-9	Quebrada de Camar - Vertiente 1	606.187	7.411.222	Salar de Atacama	Salar de Atacama	Salar de Atacama
28	02500010-2	Quebrada de Camar - Vertiente 2	606.587	7.411.217	Salar de Atacama	Salar de Atacama	Salar de Atacama
29	02500005-6	Canal Cuno en Socaire	617.424	7.387.864	Salar de Atacama	Salar de Atacama	Salar de Atacama
30	02500011-0	Vertiente Peine en Peine	595.987	7.380.547	Salar de Atacama	Salar de Atacama	Salar de Atacama
31	02500006-4	Canal Tilomonte antes represa	591.960	7.367.620	Salar de Atacama	Salar de Atacama	Salar de Atacama
32	02120001-8	Río Loa en Desembocadura	390.621	7.630.112	Río Loa	Loa Bajo (entre Quebrada Amarga y Desembocadura)	Río Loa entre Quebrada Amarga y Desembocadura

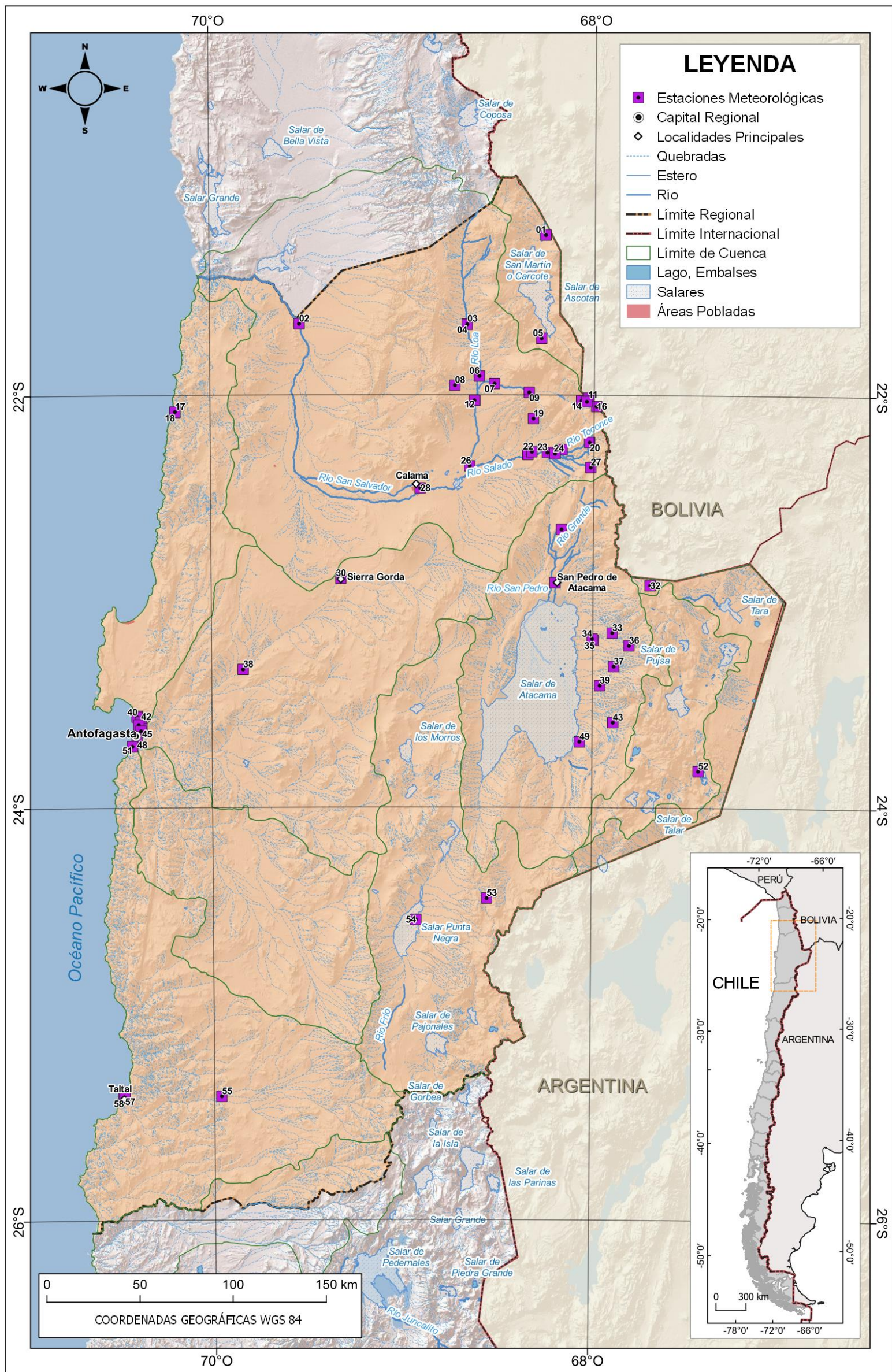


Figura 4.2 Ubicación estaciones meteorológicas, Región de Antofagasta

Tabla 4.2 Información básica estaciones meteorológicas, Región de Antofagasta

ID	Código BNA	Nombre	Coordenadas UTM WGS84 19S		Cuenca	Subcuenca	Subsubcuenca
			Este	Norte			
1	02000001-5	Ollagüe	577.251	7.652.885	Fronterizas Salar Michincha-R.Loa	Salar De Ollagüe	Salar de Ollagüe
2	02112008-1	Quillagua	444.573	7.605.241	Rio Loa	Loa Medio (entre R. Salado y Q. de Barrera)	Rio Loa entre Rio San Salvador y Quebrada Amarga
3	02101001-4	Río Loa antes represa Lequena	534.963	7.605.223	Rio Loa	Rio Loa Alto (bajo junta Rio Salado)	Rio Loa Entre Estero Chela y Bajo Junta Quebrada de Hachas
4	02101003-0	Lequena	534.930	7.604.914	Rio Loa	Rio Loa Alto (bajo junta Rio Salado)	Rio Loa Entre Estero Chela y Bajo Junta Quebrada de Hachas
5	02020002-2	Ascotan	574.916	7.597.414	Fronterizas Salar Michincha-R.Loa	Salar De Ascotan	Salar de Ascotan
6	02102005-2	Quinchamale	541.476	7.577.188	Rio Loa	Rio Loa Alto (bajo junta Rio Salado)	Rio Loa entre Quebrada de Hachas y Rio San Pedro
7	02103008-2	Parshall N°2	549.596	7.573.130	Rio Loa	Rio Loa Alto (bajo junta Rio Salado)	Rio San Pedro
8	02104007-K	Conchi Viejo	528.307	7.572.257	Rio Loa	Rio Loa Alto (bajo junta Rio Salado)	Rio Loa entre Rio San Pedro y Rio Salado
9	02103009-0	Ojos San Pedro	568.222	7.568.368	Rio Loa	Rio Loa Alto (bajo junta Rio Salado)	Rio San Pedro
10	02103014-7	Río Siloli antes BT. FCAB	600.230	7.565.333	Rio Loa	Rio Loa Alto (bajo junta Rio Salado)	Rio San Pedro
11	02103012-0	Silala	599.877	7.564.957	Rio Loa	Rio Loa Alto (bajo junta Rio Salado)	Rio San Pedro
12	02104008-8	Conchi Embalse	538.799	7.564.139	Rio Loa	Rio Loa Alto (bajo junta Rio Salado)	Rio Loa entre Rio San Pedro y Rio Salado
13	02104002-9	Río Loa en salida embalse Conchi	539.097	7.564.038	Rio Loa	Rio Loa Alto (bajo junta Rio Salado)	Rio Loa entre Rio San Pedro y Rio Salado
14	02103010-4	Inacaliri	596.380	7.563.858	Rio Loa	Rio Loa Alto (bajo junta Rio Salado)	Rio San Pedro
15	02105037-7	Hito Silala	599.220	7.563.355	Rio Loa	Rio Loa Alto (bajo junta Rio Salado)	Rio San Pedro
16	02105036-9	Mirador Silala	604.450	7.560.768	Rio Loa	Rio Loa Alto (bajo junta Rio Salado)	Rio San Pedro
17	02210003-3	Quebrada Barriles	377.912	7.557.812	Costeras R.Lo-Q.Caracoles	Costeras entre Q. Iquine y Q.Tocopilla (inclusive)	Costeras Entre Quebrada Iquine y Quebrada Tocopilla (Inclusive)
18	02210002-5	Tocopilla	377.864	7.557.328	Costeras R.Lo-Q.Caracoles	Costeras entre Q. Iquine y Q.Tocopilla (inclusive)	Costeras Entre Quebrada Iquine y Quebrada Tocopilla (Inclusive)
19	02105014-8	Cupo	570.481	7.554.308	Rio Loa	Rio Loa Alto (bajo junta Rio Salado)	Rio Salado
20	02105016-4	Linzor	600.703	7.541.412	Rio Loa	Rio Loa Alto (bajo junta Rio Salado)	Rio Salado
21	02105017-2	Toconce	585.894	7.537.639	Rio Loa	Rio Loa Alto (bajo junta Rio Salado)	Rio Salado
22	02105018-0	Ayquina	569.640	7.536.478	Rio Loa	Rio Loa Alto (bajo junta Rio Salado)	Rio Salado
23	02105001-6	Río Salado antes junta Curti	578.008	7.536.087	Rio Loa	Rio Loa Alto (bajo junta Rio Salado)	Rio Salado
24	02105020-2	Salado embalse	582.062	7.535.392	Rio Loa	Rio Loa Alto (bajo junta Rio Salado)	Rio Salado
25	02105002-4	Río Salado en sifón Ayquina	567.491	7.535.007	Rio Loa	Rio Loa Alto (bajo junta Rio Salado)	Rio Salado
26	02104010-K	Chiu-Chiu	536.239	7.528.894	Rio Loa	Rio Loa Alto (bajo junta Rio Salado)	Rio Loa entre Rio San Pedro y Rio Salado
27	02105022-9	El Tatio	601.295	7.527.990	Rio Loa	Rio Loa Alto (bajo junta Rio Salado)	Rio Salado
28	02110013-7	Calama	509.639	7.517.059	Rio Loa	Loa Medio (entre R. Salado y Q. de Barrera)	Rio Loa entre Rio Salado y Rio San Salvador
29	02510007-7	Río Grande	585.548	7.494.766	Salar de Atacama	Rio San Pedro	Rio San Pedro
30	02700001-0	Sierra Gorda	467.047	7.468.532	Quebrada Caracoles	Quebrada Caracoles bajo junta Quebrada El Buitre	Quebrada Caracoles bajo junta Quebrada El Buitre
31	02510006-9	San Pedro de Atacama	581.987	7.466.178	Salar de Atacama	Rio San Pedro	Rio San Pedro
32	02300000-8	Paso Jama	633.173	7.464.499	Fronterizas Salares Atacama-Socompa	Cajón	Cajón
33	02500026-9	Toconao Quebrada 4	612.782	7.439.076	Salar de Atacama	Salar de Atacama	Salar de Atacama
34	02500027-7	Toconao Pueblo	601.953	7.435.956	Salar de Atacama	Salar de Atacama	Salar de Atacama
35	02500016-1	Toconao Experimental	602.573	7.435.183	Salar de Atacama	Salar de Atacama	Salar de Atacama
36	02500025-0	Toconao Quebrada 1	621.742	7.432.239	Salar de Atacama	Salar de Atacama	Salar de Atacama
37	02500021-8	Talabre	613.530	7.421.080	Salar de Atacama	Salar de Atacama	Salar de Atacama
38	02710002-3	Baquedano	414.538	7.419.580	Quebrada Caracoles	Q. Caracoles entre Quebrada El Buitre y Salar del Carmen	Quebrada Caracoles Entre Quebrada El Buitre y Salar del Carmen
39	02500017-K	Camar	606.057	7.410.866	Salar de Atacama	Salar de Atacama	Salar de Atacama
40	02240000-2	Liceo Científico Humanista La Chimba	357.783	7.394.375	Costeras R.Lo-Q.Caracoles	Costeras entre Q. Chacaya y Q. Caracoles	Costeras Entre Quebrada Chacaya y Quebrada Caracoles
41	02240002-9	Quebrada La Chimba	357.589	7.393.912	Costeras R.Lo-Q.Caracoles	Costeras entre Q. Chacaya y Q. Caracoles	Costeras Entre Quebrada Chacaya y Quebrada Caracoles
42	02240003-7	Quebrada Bonilla	359.770	7.391.257	Costeras R.Lo-Q.Caracoles	Costeras entre Q. Chacaya y Q. Caracoles	Costeras Entre Quebrada Chacaya y Quebrada Caracoles
43	02500019-6	Socaire	613.092	7.390.963	Salar de Atacama	Salar de Atacama	Salar de Atacama
44	02710003-1	Antofagasta	358.534	7.389.666	Costeras R.Lo-Q.Caracoles	Costeras entre Q. Chacaya y Q. Caracoles	Costeras Entre Quebrada Chacaya y Quebrada Caracoles
45	02240001-0	Escuela Fundación Minera Escondida	360.200	7.387.754	Costeras R.Lo-Q.Caracoles	Costeras entre Q. Chacaya y Q. Caracoles	Costeras Entre Quebrada Chacaya y Quebrada Caracoles
46	02240004-5	Quebrada Farellones	360.200	7.387.754	Costeras R.Lo-Q.Caracoles	Costeras entre Q. Chacaya y Q. Caracoles	Costeras Entre Quebrada Chacaya y Quebrada Caracoles
47	02240005-3	Quebrada La Cadena	359.732	7.386.365	Quebrada Caracoles	Q. Caracoles entre Quebrada El Buitre y Salar del Carmen	Quebrada Caracoles Entre Quebrada El Buitre y Salar del Carmen
48	02760000-K	Quebrada El Toro	357.622	7.381.792	Quebrada Caracoles	Q. Caracoles entre Salares Navidad y del Carmen (inclusive) y desembocadura	Quebrada Caracoles Entre Salares Navidad y del Carmen (Inclusive) y Desembocadura
49	02500020-K	Peine	595.137	7.380.682	Salar de Atacama	Salar de Atacama	Salar de Atacama
50	02900000-K	Universidad de Antofagasta	355.138	7.378.045	Quebrada la Negra	Q. La Negra (de Mateo) entre Q. Grande y desembocadura	Quebrada La Negra Entre Quebrada Grande y Desembocadura
51	02900001-8	Quebrada Jardines del Sur	355.138	7.378.045	Quebrada la Negra	Q. La Negra (de Mateo) entre Q. Grande y desembocadura	Quebrada La Negra Entre Quebrada Grande y Desembocadura
52	02450000-4	Paso Sico	658.907	7.364.608	Endorreica entre Fronterizas y Salar Atacama	Laguna Tuyajto Chico y Salar de Laco	Laguna Tuyajto Chico y Salar de Laco
53	02650002-8	Quebrada Guanaqueros	545.305	7.296.794	Endorreicas Salar Atacama-Vertiente Pacífico	Salar Punta Negra	Salar Punta Negra
54	02650001-K	Salar de Punta Negra	507.342	7.285.332	Endorreicas Salar Atacama-Vertiente Pacífico	Salar Punta Negra	Salar Punta Negra
55	02942001-7	Aguas Verdes	403.184	7.190.296	Costeras entre Q. la Negra y Q. Pan de Azúcar	Quebrada de Taltal	Quebrada Taltal Entre Quebrada del Chaco y Bajo Junta Quebrada Corcovado
56	02943002-0	Tal-Tal (DCP)	351.156	7.189.527	Costeras entre Q. la Negra y Q. Pan de Azúcar	Quebrada de Taltal	Quebrada Taltal Entre Quebrada Corcovado y Desembocadura
57	02943003-9	Quebrada Taltal	351.156	7.189.527	Costeras entre Q. la Negra y Q. Pan de Azúcar	Quebrada de Taltal	Quebrada Taltal Entre Quebrada Corcovado y Desembocadura
58	02943001-2	Tal-Tal	350.495	7.189.132	Costeras entre Q. la Negra y Q. Pan de Azúcar	Quebrada de Taltal	Quebrada Taltal Entre Quebrada Corcovado y Desembocadura

4.2 Características Tecnológicas

La Tabla 4.3 y Tabla 4.4 muestran la instrumentación de las estaciones fluviométricas y meteorológicas, respectivamente. Dado que no se cuenta con mayores antecedentes, se hará el análisis sobre las estaciones visitadas.

Las estaciones de la red visitadas son las siguientes:

- Chiu-Chiu (Cód. BNA 02104010-K)
- Río Loa antes represa Lequena (Cód. BNA 02101001-4)
- Río Loa en Escorial (Cód. BNA 021100012-3)
- Río Loa en salida embalse Conchi (Cód. BNA 02104002-9)
- Río Salado antes junta río Curti (Cód. BNA 02105001-6)
- Río Salado en sifón Ayquina (Cód. BNA 02105002-4)

Las estaciones visitadas son algunas de las principales, incluyendo estaciones que pertenecen al protocolo DGA-ONEMI, por lo que están bien equipadas, con registro digital de datos y transmisión satelital.

En la reunión se comentó que no todas las estaciones poseen transmisión satelital. Existen algunas con transmisión GSM/GPRS, sobre todo en la cuenca del río Salado, que ante eventos hidrológicos fuertes se cae la señal.

Tabla 4.3 Instrumentación estaciones fluviométricas

ID	Código BNA	Nombre	Comienzo Operación	Instrumentación		
				Sensor Piezométrico	Registro	Transmisión
1	02101001-4	Río Loa antes represa Lequena	1967	s/i	s/i	s/i
2	02112005-7	Río Loa antes zona agrícola Quillagua	1998	s/i	s/i	s/i
3	02103002-3	Río San Pedro en Parshall N°2 (BT. Chilex)	1967	s/i	s/i	s/i
4	02103018-K	Río San Pedro en Parshall N°2 (Codelco)	2009	s/i	s/i	s/i
5	02103001-5	Río San Pedro en Parshall N°1	1967	s/i	s/i	s/i
6	02104013-4	Río San Pedro en Vado Santa Barbara (DOH)	2006	s/i	s/i	s/i
7	02103014-7	Río Siloli antes BT. FCAB	2001	s/i	s/i	s/i
8	02104002-9	Río Loa en salida embalse Conchi	1976	Delta OHM	SatLink	s/i
9	02103013-9	Río Siloli antes represa Inacaliri	s/i	s/i	s/i	s/i
10	02105007-5	Río Toconce antes represa SENDOS	1982	s/i	s/i	s/i
11	02105001-6	Río Salado antes junta Curti	1975	s/i	s/i	s/i
12	02105002-4	Río Salado en sifón Ayquina	1975	Keller	Campbell CR1000X	Antena GSM
13	02112007-3	Río Loa después junta San Salvador (M. Elena)	1993	s/i	s/i	s/i
14	02105005-9	Río Salado antes junta Loa	2002	s/i	s/i	s/i
15	02112006-5	Río Loa después junta San Salvador (Chacance)	2001	s/i	s/i	s/i
16	02110007-2	Río Loa antes junta San Salvador	1983	s/i	s/i	s/i
17	02111002-7	Río Salvador antes junta río Loa	1984	s/i	s/i	s/i
18	02110001-3	Río Loa en Escorial	1964	s/i	s/i	s/i
19	02111005-1	Río San Salvador en Nacimiento	s/i	s/i	s/i	s/i
20	02110031-5	Río Loa en Angostura	2012	s/i	s/i	s/i
21	02111001-9	Vertiente Ojos de Opache	s/i	s/i	s/i	s/i
22	02110004-8	Río Loa en Finca	1971	s/i	s/i	s/i
23	02510001-8	Río San Pedro en Cuchabrachi	1947	s/i	s/i	s/i
24	02500004-8	Canal Vilama en Vilama	1976	s/i	s/i	s/i
25	02500007-2	Quebrada de Jerez	s/i	s/i	s/i	s/i
26	02500008-0	Quebrada de Talabre en Tumbre	s/i	s/i	s/i	s/i
27	02500009-9	Quebrada de Camar - Vertiente 1	s/i	s/i	s/i	s/i
28	02500010-2	Quebrada de Camar - Vertiente 2	s/i	s/i	s/i	s/i
29	02500005-6	Canal Cuno en Socaire	1989	s/i	s/i	s/i
30	02500011-0	Vertiente Peine en Peine	s/i	s/i	s/i	s/i
31	02500006-4	Canal Tilomonte antes represa	1997	s/i	s/i	s/i

s/i: Sin información

Tabla 4.4 Instrumentación estaciones meteorológicas

ID	Código BNA	Nombre	Comienzo Operación	Instrumentación			
				Pluviómetro	Otros sensores	Registro	Transmisión
1	02000001-5	Ollagüe	1971	s/i	s/i	s/i	s/i
2	02112008-1	Quillagua	1970	s/i	s/i	s/i	s/i
3	02101001-4	Río Loa antes represa Lequena	2001	s/i	s/i	s/i	s/i
4	02101003-0	Lequena	1973	s/i	s/i	s/i	s/i
5	02020002-2	Ascotan	1974	s/i	s/i	s/i	s/i
6	02102005-2	Quinchamale	1995	s/i	s/i	s/i	s/i
7	02103008-2	Parshall N°2	1969	s/i	s/i	s/i	s/i
8	02104007-K	Conchi Viejo	1973	s/i	s/i	s/i	s/i
9	02103009-0	Ojos San Pedro	1969	s/i	s/i	s/i	s/i
10	02103014-7	Río Siloli antes BT. FCAB	2012	s/i	s/i	s/i	s/i
11	02103012-0	Silala	2001	s/i	s/i	s/i	s/i
12	02104008-8	Conchi Embalse	1967	s/i	s/i	s/i	s/i
13	02104002-9	Río Loa en salida embalse Conchi	2012	s/i	s/i	s/i	s/i
14	02103010-4	Inacaliri	1969	s/i	s/i	s/i	s/i
15	02105037-7	Hito Silala	2018	s/i	s/i	s/i	s/i
16	02105036-9	Mirador Silala	s/i	s/i	s/i	s/i	s/i
17	02210003-3	Quebrada Barriles	2016	s/i	s/i	s/i	s/i
18	02210002-5	Tocopilla	1994	s/i	s/i	s/i	s/i
19	02105014-8	Cupo	1978	s/i	s/i	s/i	s/i
20	02105016-4	Linzor	1973	s/i	s/i	s/i	s/i
21	02105017-2	Toconce	1972	s/i	s/i	s/i	s/i
22	02105018-0	Ayquina	1967	s/i	s/i	s/i	s/i
23	02105001-6	Río Salado antes junta Curti	2012	s/i	s/i	s/i	s/i
24	02105020-2	Salado embalse	1975	s/i	s/i	s/i	s/i
25	02105002-4	Río Salado en sifón Ayquina	2001	Texas TR 525M	s/i	Campbell CR1000X	Antena GSM
26	02104010-K	Chiu-Chiu	1974	s/i	s/i	s/i	s/i
27	02105022-9	El Tatio	1977	s/i	s/i	s/i	s/i
28	02110013-7	Calama	1965	s/i	s/i	s/i	s/i
29	02510007-7	Río Grande	1977	s/i	s/i	s/i	s/i
30	02700001-0	Sierra Gorda	1994	s/i	Hidrotermógrafo Fuess	s/i	s/i
31	02510006-9	San Pedro de Atacama	1959	s/i	s/i	s/i	s/i
32	02300000-8	Paso Jama	2016	s/i	s/i	s/i	s/i
33	02500026-9	Toconao Quebrada 4	2016	s/i	s/i	s/i	s/i
34	02500027-7	Toconao Pueblo	2016	s/i	s/i	s/i	s/i
35	02500016-1	Toconao Experimental	1975	s/i	s/i	s/i	s/i
36	02500025-0	Toconao Quebrada 1	2017	Texas TR 525M	Anemómetro, Hidrotermógrafo, Sensor de nieve	s/i	s/i
37	02500021-8	Talabre	1995	s/i	s/i	s/i	s/i
38	02710002-3	Baquadano	1975	s/i	s/i	s/i	s/i
39	02500017-K	Camar	1979	s/i	s/i	s/i	s/i
40	02240000-2	Liceo Científico Humanista La Chimba	2015	s/i	s/i	s/i	s/i
41	02240002-9	Quebrada La Chimba	2016	s/i	s/i	s/i	s/i
42	02240003-7	Quebrada Bonilla	2016	s/i	s/i	s/i	s/i
43	02500019-6	Socaire	1974	s/i	s/i	s/i	s/i
44	02710003-1	Antofagasta	1978	s/i	s/i	s/i	s/i
45	02240001-0	Escuela Fundación Minera Escondida	2015	s/i	s/i	s/i	s/i
46	02240004-5	Quebrada Farellones	2016	s/i	s/i	s/i	s/i
47	02240005-3	Quebrada La Cadena	2016	s/i	s/i	s/i	s/i
48	02760000-K	Quebrada El Toro	2016	s/i	s/i	s/i	s/i
49	02500020-K	Peine	1974	s/i	s/i	s/i	s/i
50	02900000-K	Universidad de Antofagasta	2015	s/i	s/i	s/i	s/i
51	02900001-8	Quebrada Jardines del Sur	2016	s/i	s/i	s/i	s/i
52	02450000-4	Paso Sico	2016	s/i	s/i	s/i	s/i
53	02650002-8	Quebrada Guanaqueros	2017	s/i	s/i	s/i	s/i
54	02650001-K	Salar de Punta Negra	s/i	s/i	s/i	s/i	s/i
55	02942001-7	Aguas Verdes	1987	s/i	Anemómetro Fuess, Actinógrafo Fuess, Hidrotermógrafo Fuess	s/i	s/i
56	02943002-0	Tal-Tal (DCP)	2015	s/i	s/i	s/i	s/i
57	02943003-9	Quebrada Taltal	2016	s/i	s/i	s/i	s/i
58	02943001-2	Tal-Tal	1971	s/i	s/i	s/i	s/i

s/i: Sin información

4.3 Características de Emplazamiento

Para las estaciones fluviométricas se establecen los siguientes criterios de emplazamiento:

1. El cauce en forma natural debe llegar lo más recto posible a la boca de la estación.
2. El cauce debe estar cargado, en forma natural o artificial, hacia el muro guía (donde irán los instrumentos de medición).
3. El sensor de presión debe ir empotrado en el muro guía, y de no existir este muro, debe ir colocado en la orilla donde exista flujo permanente.
4. Se debe verificar que no existan rocas o elementos que interfieran en el libre escurrimiento de las aguas por la estación.
5. No deben existir brazos anexos al cauce que puedan provocar un *bypass* a la estación al momento de una crecida.
6. En estaciones medidas desde puente, este debe estar en buen estado y de preferencia con su baranda pintada cada cierta distancia para así poder realizar un aforo de mejor manera.
7. El lugar donde va la caseta debe tener un cierre perimetral.

Para las estaciones meteorológicas se establecen los siguientes criterios de emplazamiento:

1. Los pluviómetros deben tener un área despejada en un ángulo de 60° desde su boca, además de estar a una altura entre 1,5 a 2 m de altura, y estar nivelados.
2. Todas las estaciones deben tener letrero de identificación.
3. Contar con un cierre perimetral para la seguridad de la estación.
4. Las casetas tipos DGA deben tener doble sistema de seguridad, esto es candados amaestrados y cierre con llaves tipo T.

En la Tabla 4.5 se detalla el cumplimiento de los criterios de emplazamientos de las estaciones visitadas.

Tabla 4.5 Estaciones visitadas, características de emplazamiento

Estación	Nombre estación	Criterios de emplazamiento
Fluviométrica	Río Loa antes represa Lequena	<ul style="list-style-type: none"> • Presenta mucha vegetación
	Río Loa en salida embalse Conchi	<ul style="list-style-type: none"> • Acumula sedimento
	Río Loa en Escorial	<ul style="list-style-type: none"> • Vandalismo recurrente • Caseta de instrumentos ubicada en un lugar susceptible a crecidas
	Río Salado antes junta Curti	<ul style="list-style-type: none"> • Cercano a embalse de Codelco que suelta mucha arena • Caseta con acceso peligroso
	Río Salado en sifón Ayquina	<ul style="list-style-type: none"> • Si cumple
Meteorológica	Chiu-Chiu	<ul style="list-style-type: none"> • Mucha vegetación, entre 0,5 y 1 m de altura alrededor de los instrumentos
	Río Loa antes represa Lequena	<ul style="list-style-type: none"> • Si cumple
	Río Loa en salida embalse Conchi	<ul style="list-style-type: none"> • Emplazamiento de la torre de instrumentos susceptible a grandes crecidas
	Río Loa en Escorial	<ul style="list-style-type: none"> • Vandalismo recurrente • Caseta y torre de instrumentos ubicada en un lugar susceptible a crecidas • Árboles de gran tamaño en las cercanías
	Río Salado antes junta Curti	<ul style="list-style-type: none"> • Caseta y torre de instrumentos con acceso peligroso • Torre de instrumentos ubicada cerca de la ladera del cerro
	Río Salado en sifón Ayquina	<ul style="list-style-type: none"> • Torre de instrumentos ubicada cerca de la ladera del cerro

4.4 Cumplimiento de Monitoreo Eficiente

Para las estaciones fluviométricas se establecen los siguientes criterios de monitoreo:

1. Se debe verificar que no existan rocas o elementos que interfieran en el libre escurrimiento de las aguas por la estación.
2. No deben existir brazos anexos al cauce que puedan provocar un *bypass* a la estación al momento de una crecida.
3. El sensor de presión se debe encontrar en buenas condiciones y ubicado en la orilla donde exista flujo permanente.
4. Si hay carro de aforo verificar que este se encuentre en buen estado, con el cable de aforo pintado en forma correcta con los colores institucionales (azul con blanco) cada 0,5 o 1 m.
5. Los anclajes y el cable del carro de aforo deben estar despejados y sin cortes o torceduras.

6. En las estaciones de concreto no deben existir socavaciones, tanto en la entrada como en la salida de la estación.
7. En estaciones medidas desde puente, este debe estar en buen estado y de preferencia con su baranda pintada cada cierta distancia para así poder realizar un aforo de mejor manera.
8. El lugar donde va la caseta debe tener un cierre perimetral.

Para las estaciones meteorológicas se establecen los siguientes criterios de monitoreo:

1. Los pluviómetros deben tener un área despejada en un ángulo de 60° desde su boca, además de estar a una altura entre 1,5 a 2 m de altura, y estar nivelados.
2. Verificar que la flecha de los sensores de radiación y viento indique hacia el norte.
3. Verificar que los paneles solares se encuentren orientados hacia el norte y no estén tapados con ramas.
4. En pluviómetros Hellman, verificar que esté despejado y con su tubo dentro del recipiente.
5. Todas las estaciones deben tener letrero de identificación.
6. Contar con un cierre perimetral para la seguridad de la estación.
7. Las casetas tipos DGA deben tener doble sistema de seguridad, esto es candados amaestrados y cierre con llaves tipo T.

En la Tabla 4.6 se detalla el cumplimiento de los criterios de monitoreo de las estaciones visitadas.

Tabla 4.6 Estaciones visitadas, características de monitoreo

Estación	Nombre estación	Criterios de monitoreo
Fluviométrica	Río Loa antes represa Lequena	<ul style="list-style-type: none"> • La estación no tiene losa de crecidas • Crecidas anteriores volcaron gaviones
	Río Loa en salida embalse Conchi	<ul style="list-style-type: none"> • Sedimento acumulado • Estructuralmente deficiente, muro guía delgado
	Río Loa en Escorial	<ul style="list-style-type: none"> • Robo de agua, aguas arriba • Transmisión GPRS de mala calidad en eventos de precipitación
	Río Salado antes junta Curti	<ul style="list-style-type: none"> • Sedimento acumulado
	Río Salado en sifón Ayquina	<ul style="list-style-type: none"> • Losa socavada • Gaviones en mal estado
Meteorológica	Chiu-Chiu	<ul style="list-style-type: none"> • Anemómetro cubierto por vegetación • Evaporímetro abandonado • Estación con registro manual, la persona encargada no asiste a los registros
	Río Loa antes represa Lequena	<ul style="list-style-type: none"> • Si cumple
	Río Loa en salida embalse Conchi	<ul style="list-style-type: none"> • Si cumple
	Río Loa en Escorial	<ul style="list-style-type: none"> • Árboles cercanos pueden afectar la medición
	Río Salado antes junta Curti	<ul style="list-style-type: none"> • Ladera del cerro puede afectar la medición
	Río Salado en sifón Ayquina	<ul style="list-style-type: none"> • Ladera del cerro puede afectar la medición

4.5 Impacto Económico Eventos Extremos

A continuación, se describe los principales impactos asociados a eventos extremos en la Región de Antofagasta. Esta información fue recopilada de distintas fuentes donde en la mayoría de los casos no fue posible asociar un valor a dichos daños. Sin embargo, aún queda en evidencia el impacto de estos eventos, tanto en infraestructura como en personas damnificadas.

Julio 1987

Se registraron Sistemas Frontales de la región de Antofagasta hasta la región de Los Lagos (10 de julio)¹.

¹ Política Nacional para la reducción del riesgo de desastres, Plan Estratégico Nacional 2020 – 2030. https://repositoriodigital.onemi.gov.cl/bitstream/handle/123456789/4110/PoliticaNacional_2020%28principa1%29.pdf?sequence=5&isAllowed=y

Junio 1991

Aconteció aluvión en la ciudad de Antofagasta en 18 de junio 1991².

Enero 2001

Se estimaron daños totales por **\$6.000 millones de pesos** y se declaró a la región de Arica y Parinacota como zona de catástrofe. Además, se registraron pérdidas en la agricultura del valle de Lasana y la rotura del puente Chiu-Chiu a causa de la crecida del río Loa, luego que la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) abriera las compuertas del embalse Conchi que estuvo a punto de colapsar. Se registró además el corte de suministro de agua potable para la ciudad de Calama³.

Febrero 2012

Las precipitaciones ocurrieron el 11 y 12 de febrero generaron un aumento del caudal del río Loa, lo que provocó su desborde en sectores de Calama. El aumento del caudal ocurrió debido a la apertura del tranque Conchi con el fin de evitar su colapso. El temporal generó cortes de carreteras y aislamiento de algunos pueblos. Varios puntos turísticos de la provincia fueron cerrados y los turistas debieron permanecer en San Pedro de Atacama o retornar a Calama. Se registraron damnificados en las localidades de Caspana, San Pedro de Atacama Ayquina y Toconoao. En total 120 viviendas resultaron con daños de cualquier tipo. El instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAO) estimó en **\$2.500 millones de pesos** los daños en el sector agrícola producto de las lluvias en la provincia de El Loa.⁴

Marzo 2015

El temporal afectó a varias ciudades y localidades del Norte Grande y Norte Chico de Chile, concentrándose en las regiones de Antofagasta, Atacama y Coquimbo. Se informaron 28 fallecidos y 59 desaparecidos. En los sectores altos de Antofagasta se evacuaron alrededor de 50.000 personas, y el hospital regional de Antofagasta reportó daños menores. En Taltal se informó que el hospital se encontraba funcionando de forma

² Política Nacional para la reducción del riesgo de desastres, Plan Estratégico Nacional 2020 – 2030. https://repositoriodigital.onemi.gov.cl/bitstream/handle/123456789/4110/PoliticaNacional_2020%28principa1%29.pdf?sequence=5&isAllowed=y

³ MES DE ENERO DEL 2001 (uchile.cl) <https://www.cec.uchile.cl/~wwwphi/notimarzo.html>

⁴ Temporal de San Pedro de Atacama de 2012 - Wikipedia, la enciclopedia libre https://es.wikipedia.org/wiki/Temporal_de_San_Pedro_de_Atacama_de_2012

parcial y sufrió daños menores. En Calama se informó que el hospital sufrió daños en la UCI, dejándola inutilizable.⁵

Agosto 2015

Aconteció aluvión de la ciudad de Tocopilla el 5 de agosto 2015.⁶

Junio 2017

El sistema frontal se caracterizó por precipitaciones pluviales en la zona de costa y precipitaciones nivales en la zona de precordillera y cordillera. En la comuna de Antofagasta hubo 12 damnificados y 87 personas albergadas. La acumulación de nieve obligó al corte de los pasos fronterizos, el cierre de algunos atractivos turísticos y suspender el tránsito en la ruta San Pedro – Calama.⁷

Febrero 2019

Las precipitaciones dejaron 6 fallecidos, debido al desborde de ríos y canales, 144 personas albergadas y 11 damnificados. En la ocasión se decretó zona de catástrofe en la provincia de El Loa.⁸ Sobre los daños, desde el Consejo del Gobierno Regional se aprobaron **\$3.845 millones de pesos** de los fondos de emergencia para apoyar a las comunas afectadas.⁹

⁵ [Temporal del norte de Chile de 2015 - Wikipedia, la enciclopedia libre](https://es.wikipedia.org/wiki/Temporal_del_norte_de_Chile_de_2015)
[https://es.wikipedia.org/wiki/Temporal del norte de Chile de 2015](https://es.wikipedia.org/wiki/Temporal_del_norte_de_Chile_de_2015)

⁶ Política Nacional para la reducción del riesgo de desastres, Plan Estratégico Nacional 2020 – 2030.
https://repositoriodigital.onemi.gov.cl/bitstream/handle/123456789/4110/PoliticaNacional_2020%28principa
l%29.pdf?sequence=5&isAllowed=y

⁷ [En 15 horas llovió lo esperado para 12 años en Antofagasta - La Tercera](https://www.latercera.com/noticia/antofagasta-12-anos-lluvia/)
<https://www.latercera.com/noticia/antofagasta-12-anos-lluvia/>

⁸ [Emergencia en el norte: Piñera decreta zona de catástrofe en la provincia de El Loa - CNN Chile](https://www.cnnchile.com/pais/emergencia-en-el-norte-pinera-decreta-zona-de-catastrofe-en-la-provincia-de-el-loa_20190208/)
https://www.cnnchile.com/pais/emergencia-en-el-norte-pinera-decreta-zona-de-catastrofe-en-la-provincia-de-el-loa_20190208/

⁹ [Calama, la ciudad del desierto asediada por el agua - La Tercera](https://www.latercera.com/nacional/noticia/calama-la-ciudad-del-desierto-asediada-agua/522291/)
<https://www.latercera.com/nacional/noticia/calama-la-ciudad-del-desierto-asediada-agua/522291/>

5 REUNION CON DGA REGIONAL

El día 4 de mayo de 2021 se realizó una reunión entre la UTP INRHED-EMERGE y la DGA, donde por parte de la DGA estaban presentes el Sr. Rodrigo Sáez (Inspector Fiscal Titular) y el Sr. Edison Moraga (Jefe Regional de Hidrología). La minuta completa se encuentra en el **Anexo 2**.

En la primera parte de la reunión se introduce el proyecto, luego por parte de la DGA se caracteriza la situación actual de la red hidrométrica de la región. Los puntos principales se pueden resumir en los siguientes:

1. La cuenca del río Salado es extensa, se necesita robustecer el monitoreo en la zona, junto con los ríos San Pedro y Toconao.
2. Se enfatiza sobre la escasa infraestructura de la red de pozos.
3. Se menciona la existencia de un comité operativo de emergencias.
4. Actualmente existe un plan de modernización de estaciones en el río Salado y San Pedro.
5. El año 2017 se registra un evento importante en la estación del río Salado en sifón de Ayquina.
6. Se comenta sobre problemas de vandalismo en zonas cercanas a población.
7. En estaciones fuviométricas existen problemas recurrentes de embancamiento, calidad química de aguas y temperatura. Se debe tener en cuenta en el diseño de nuevas estaciones o en la renovación de estas.
8. Se comenta sobre el protocolo DGA-ONEMI, en el que se debe entregar información a tiempo y mantener las estaciones operativas.

Posteriormente, se realizan una serie de reuniones en fechas 8 y 16 de junio sobre el estado de la red de alerta e hidrométrica. Por último, para la región se sostiene reunión en fecha 29 de septiembre del 2021, a fin de conocer los avances para la Etapa III, y principalmente con la presentación de las estaciones que se consideran críticas y las pendientes por visitar a la fecha.

Se evidencia el estado actual de las estaciones y la necesidad de monitorio (Ej. En especial Caspana y Toconce).

Y por último, se acuerda entregar la facilidad (Llaves) para el acceso a las estaciones.

6 PROTOCOLO DGA – ONEMI

La resolución exenta DGA N° 22, del 10 de enero de 2020 define el protocolo que establece el marco general de coordinación entre la Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior y Seguridad Pública (ONEMI) y Dirección General de Aguas (DGA) (Protocolo DGA-ONEMI, en adelante) para el monitoreo y alertamiento del Sistema Nacional de Protección Civil frente al riesgo de crecidas de los ríos y aumento de lagos, donde la DGA, mantiene instrumentos de medición con transmisión de datos en tiempo real.

El procedimiento correspondiente a la DGA corresponde al siguiente:

1. La DGA pone a disposición de la ONEMI una plantilla de las estaciones fluviométricas de control, destinada para consulta online, que entrega niveles y caudales de los principales cauces del país. Esta información se presentará para las últimas 12 horas.
2. La DGA evaluará y validará eventuales aumentos de niveles de agua.
3. El listado actual de estaciones hidrométricas se presenta en la Tabla 6.1, con sus respectivos umbrales de alerta. La DGA podrá establecer y aplicar nuevas metodologías para determinar los umbrales amarillos y rojos.
4. En caso de que la DGA incorpore o elimine estaciones hidrométricas a esta plataforma, le informará a ONEMI oportunamente a través de los medios de comunicación definidos.

Tabla 6.1 Estaciones protocolo DGA-ONEMI, Región de Antofagasta

Estación	Límite Amarillo (m)	Límite Rojo (m)
Río Loa antes represa Lequena	2,2	2,6
Río Loa en salida embalse Conchi	1,2	1,4
Río Salado antes junta río Curti	1,6	1,9
Río Salado en sifón Ayquina	2,5	2,8

7 VISITAS A TERRENO

Durante los días 24 y 25 de mayo de 2021 se realizó una campaña de visita de terreno a algunas de las estaciones vigentes de la región, informadas por la inspección fiscal del proyecto.

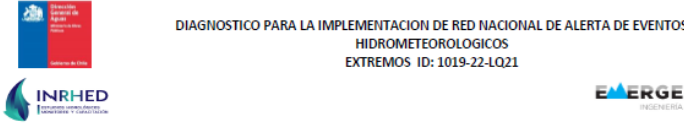
Las estaciones fluviométricas visitadas fueron las siguientes:

- Río Loa antes represa Lequena (Cód. BNA 02101001-4)
- Río Loa en Escorial (Cód. BNA 021100012-3)
- Río Loa en salida embalse Conchi (Cód. BNA 02104002-9)
- Río Salado antes junta río Curti (Cód. BNA 02105001-6)
- Río Salado en sifón Ayquina (Cód. BNA 02105002-4)

Las estaciones meteorológicas corresponden a:

- Chiu-Chiu (Cód. BNA 02104010-K)
- Río Loa antes represa Lequena (Cód. BNA 02101001-4)
- Río Loa en Escorial (Cód. BNA 021100012-3)
- Río Loa en salida embalse Conchi (Cód. BNA 02104002-9)
- Río Salado antes junta río Curti (Cód. BNA 02105001-6)
- Río Salado en sifón Ayquina (Cód. BNA 02105002-4)

Para cada una de las estaciones visitadas se ha generado una ficha que detalla las características generales y el estado en que se encuentran. Las fichas generadas se encuentran en el **Anexo 3**, además se incluyen las actas de registro de actividad en el **Anexo 4**. La Figura 7.1, Figura 7.2 y Figura 7.3 muestran como ejemplo la ficha de la estación fluviométrica Río Loa en salida embalse Conchi. La Figura 7.4, Figura 7.5 y Figura 7.6 muestra como ejemplo la ficha de la estación meteorológica Chiu-Chiu.



DIAGNOSTICO PARA LA IMPLEMENTACION DE RED NACIONAL DE ALERTA DE EVENTOS HIDROMETEOROLOGICOS EXTREMOS ID: 1019-22-LQ21

FICHA TECNICA ESTACIONES FLUVIOMETRICAS


Nombre Estación					Río Loa en salida embalse Conchi				
Ubicación (cuenca)		Río Loa							
Región /Comuna		Antofagasta			Calama			Codigo BNA	
								02104002-9	
Coord. Norte (m)		Coord. Este (m)		Datum y Huso					
7.564.038		539,097		WGS84 UTM 19S					
Antigüedad Estación		Mas 10 años		Mas 20 años		Mas 40 años		Mas 60 años	
		X							
Subcuenca estudio		Río Loa Alto (bajo junta Río Salado)							

Uso Actual de la Estación	Red Fluviométrica DGA	Gestion de Presa	Abastecimiento de Agua	Otros
	X			
Acceso Estación	Bueno	Regular	Malo	Otros (Comentar)
	X			
Administración y/o Propiedad	DGA	Particular	Otro (indique)	
	X			


Geometría			
Ancho río aguas arriba [m]	5	Ancho río aguas abajo [m]	5

Descripción lugar estación (Insertar foto de 360°)

La estación se encuentra ubicada aguas abajo del Embalse Conchi, por lo que está condicionada a la operación de este. Se encuentra en una amplia zona rodeada de taludes rocosos de pendiente media, que generan un desprendimiento constante de material (principalmente en el lado este de la estación). El emplazamiento es correcto con respecto al curso natural del cauce.



Dotación Eléctrica	SI	NO	
	X		
Condición Dotación Eléctrica (Insertar Foto)	Buena	Regular	Mala
	X		



Tipo Transmisión	Manual	Satelital	GPRS
		X	
Condición Transm. (Insertar Foto)	Buena	Mala	Regular
	X		






Figura 7.1 Ficha ejemplo estación fluviométrica, páginas 1 y 2

Posee Data Logger	SI	NO	
Condición Data Logger (Insertar Foto)	Buena X	Regular	Mala
			
Posee Sensor Piezométrico	SI	NO	
Tipo Sensor Piezométrico	Flotador	Sonda de Presion X	Otro
Condición Sensor Piezométrico (Insertar foto)	Buena X	Regular	Mala
			


Posee Limnigrafo	SI	NO	
Condición Limnigrafo (Insertar Foto)	Buena	Regular X	Mala
			
Posee Caseta	SI	NO	
Condición Caseta (Insertar Foto)	Buena X	Regular X	Mala

Figura 7.2 Ficha ejemplo estación fluviométrica, páginas 3 y 4

Mide Crecidas????	SI	NO	
	X		
Posee Letrero	SI	NO	X
Inserta foto de letrero/señalética existente			
Estado Letrero	Buena	Regular	Mala
Condiciones de la Estación, requiere obras?	SI , Cuales????	NO	
	X		
<p>Actualmente reparación de losa, caseta, limpieza de cauce, estación embancada. Estructuralmente si bien los muros no presentan daño, su espesor es menor al requerido por lo tanto deberían ser reconstruidos.</p>			

Figura 7.3 Ficha ejemplo estación fluviométrica, página 5

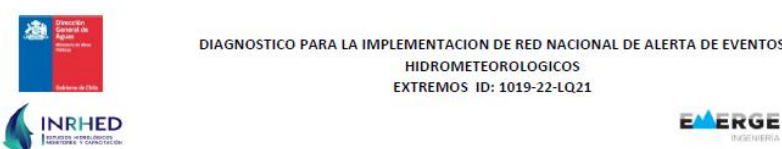




 <p style="text-align: center;">DIAGNOSTICO PARA LA IMPLEMENTACION DE RED NACIONAL DE ALERTA DE EVENTOS HIDROMETEOROLOGICOS EXTREMOS ID: 1019-22-LQ21</p> <p style="text-align: center;">FICHA TECNICA ESTACIONES METEOROLOGICA</p>		<table border="1"> <tr> <td>Dotación Eléctrica</td> <td>SI</td> <td>NO</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Condición Dotación Eléctrica (Insertar Foto)</td> <td>Buena</td> <td>Regular</td> <td>Mala</td> </tr> </table>		Dotación Eléctrica	SI	NO				X		Condición Dotación Eléctrica (Insertar Foto)	Buena	Regular	Mala																				
Dotación Eléctrica	SI	NO																																	
		X																																	
Condición Dotación Eléctrica (Insertar Foto)	Buena	Regular	Mala																																
<table border="1"> <tr> <td colspan="2">Nombre Estación</td> <td colspan="2">Chiu Chiu</td> </tr> <tr> <td>Ubicación (cuenca)</td> <td>Río Loa</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Región /Comuna</td> <td>Antofagasta</td> <td>Calama</td> <td>Código BNA 02104010-K</td> </tr> <tr> <td>Coord. Norte (m)</td> <td>Coord. Este (m)</td> <td colspan="2">Huso y Datum</td> </tr> <tr> <td>7.528.894</td> <td>536,239</td> <td colspan="2">WGS84 UTM 19S</td> </tr> <tr> <td>Antigüedad Estación</td> <td>Mas 10 años</td> <td>Mas 20 años</td> <td>Mas 40 años Mas 60 años</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>X</td> </tr> <tr> <td>Cuenca estudio</td> <td colspan="3">Río Loa Alto (bajo junta Río Salado)</td> </tr> </table>				Nombre Estación		Chiu Chiu		Ubicación (cuenca)	Río Loa			Región /Comuna	Antofagasta	Calama	Código BNA 02104010-K	Coord. Norte (m)	Coord. Este (m)	Huso y Datum		7.528.894	536,239	WGS84 UTM 19S		Antigüedad Estación	Mas 10 años	Mas 20 años	Mas 40 años Mas 60 años				X	Cuenca estudio	Río Loa Alto (bajo junta Río Salado)		
Nombre Estación		Chiu Chiu																																	
Ubicación (cuenca)	Río Loa																																		
Región /Comuna	Antofagasta	Calama	Código BNA 02104010-K																																
Coord. Norte (m)	Coord. Este (m)	Huso y Datum																																	
7.528.894	536,239	WGS84 UTM 19S																																	
Antigüedad Estación	Mas 10 años	Mas 20 años	Mas 40 años Mas 60 años																																
			X																																
Cuenca estudio	Río Loa Alto (bajo junta Río Salado)																																		
<table border="1"> <tr> <td>Uso Actual de la Estación</td> <td>Red Meteorológica DGA</td> <td>Gestion de Presa</td> <td>Abastecimiento de Agua</td> <td>Otros</td> </tr> <tr> <td></td> <td>X</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Acceso Estación</td> <td>Bueno</td> <td>Regular</td> <td>Malo</td> <td>Otros (Comentar)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>X</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Administración y/o Propiedad</td> <td>DGA</td> <td>Particular</td> <td>Otro (indique)</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>				Uso Actual de la Estación	Red Meteorológica DGA	Gestion de Presa	Abastecimiento de Agua	Otros		X				Acceso Estación	Bueno	Regular	Malo	Otros (Comentar)		X				Administración y/o Propiedad	DGA	Particular	Otro (indique)				X				
Uso Actual de la Estación	Red Meteorológica DGA	Gestion de Presa	Abastecimiento de Agua	Otros																															
	X																																		
Acceso Estación	Bueno	Regular	Malo	Otros (Comentar)																															
	X																																		
Administración y/o Propiedad	DGA	Particular	Otro (indique)																																
		X																																	
<p style="text-align: center;">Descripción lugar estación (Insertar foto de 360°)</p> <table border="1"> <tr> <td style="width: 50%;"> Estación invadida por la vegetación a tal punto de entorpecer mediciones. Buen acceso mediante camino de tierra. </td> <td style="width: 50%; text-align: center;">  </td> </tr> </table>				Estación invadida por la vegetación a tal punto de entorpecer mediciones. Buen acceso mediante camino de tierra.																															
Estación invadida por la vegetación a tal punto de entorpecer mediciones. Buen acceso mediante camino de tierra.																																			
<table border="1"> <tr> <td>Tipo Transmisión</td> <td>Manual</td> <td>Satelital</td> <td>GPRS</td> </tr> <tr> <td></td> <td>X</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Condición Transm. (Insertar Foto)</td> <td>Buena</td> <td>Mala</td> <td>Regular</td> </tr> </table>		Tipo Transmisión	Manual	Satelital	GPRS		X			Condición Transm. (Insertar Foto)	Buena	Mala	Regular	<table border="1"> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>																					
Tipo Transmisión	Manual	Satelital	GPRS																																
	X																																		
Condición Transm. (Insertar Foto)	Buena	Mala	Regular																																

Figura 7.4 Ficha ejemplo estación meteorológica, páginas 1 y 2

Posee Data Logger	SI	NO	X
Condición Data Logger (Insertar Foto)	Buena	Regular	Mala
Posee Sensor Pluviométrico	SI	NO	
	X		
Tipo Sensor Pluviométrico	Manual	Bascula	Otro
	X		
Condición Sensor Pluviométrico (Insertar foto)	Buena	Regular	Mala
	X		
			

Posee Termómetro	SI	NO	X
Condición Termómetro (Insertar Foto)	Buena	Regular	Mala
Posee Caseta	SI	NO	X
Condición Caseta (Insertar Foto)	Buena	Regular	Mala

Figura 7.5 Ficha ejemplo estación meteorológica, página 3 y 4

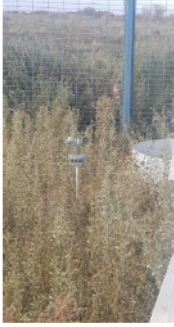
Mide Otras Variables????	SI Viento (Anemómetro)	NO	
Foto y descripción otras variables medidas			
			
Posee Letrero	SI	NO	X
Inserta foto de letrero/señalética existente			
Estado Letrero	Buena	Regular	Mala
Condiciones de la Estación, requiere obras?	SI , Cuales???? X	NO	
Está en buenas condiciones pero requiere un cierre perimetral para evitar vandalismo, además mantenciones para eliminar la vegetación.			

Figura 7.6 Ficha ejemplo estación meteorológica, página 5

8 ESTACIONES CRÍTICAS PRELIMINARES

8.1 Población Vulnerable

Para poder determinar las poblaciones vulnerables se utilizó como base la capa vectorial "Áreas Pobladas" descargada desde la mapoteca de la Biblioteca del Congreso Nacional (BCN, 2021)¹⁰. Los datos que representa son los asentamientos de población a nivel nacional. Para obtener la población relativa a cada localidad, se cruzaron los datos de la capa vectorial con los del XIX Censo Nacional de Población del año 2017. La Tabla 8.1 muestra la cantidad de población de las localidades de la región, al año 2017.

Tabla 8.1 Población por localidad

Localidad	Comuna	Habitantes	Localidad	Comuna	Habitantes
Antofagasta	Antofagasta	361.873	Baquedano	Sierra Gorda	942
Calama	Calama	165.731	Toconao	San Pedro de Atacama	881
Tocopilla	Tocopilla	25.186	Paposo	Taltal	729
Mejillones	Mejillones	13.467	Hornitos	Mejillones	470
Taltal	Taltal	13.317	Caleta Coloso	Antofagasta	401
San Pedro de Atacama	San Pedro de Atacama	10.996	Ollagüe	Ollagüe	321
Sierra Gorda	Sierra Gorda	10.186	Michilla	Mejillones	293
María Elena	María Elena	6.457	Juan López	Antofagasta	121
Peine	San Pedro de Atacama	1.475	Río Grande	San Pedro de Atacama	27
San Francisco de Chiu-Chiu	Calama	1.136			

8.2 Registro de Eventos Extremos

La información de población vulnerable fue complementada con un catastro que se realizó sobre los eventos extremos ocurridos en cada región, teniendo en cuenta como base para esta búsqueda los cuerpos de agua más importante de cada zona.

En la Tabla 8.2 se presenta una cronología con los eventos registrados en la zona.

¹⁰ https://www.bcn.cl/siit/mapas_vectoriales/index_html

Tabla 8.2 Cronograma eventos extremos

Fecha	Población	Conectividad	Descripción
22-01-2017	No	Si	Lluvias generan caídas de roca y flujo de detritos en la ruta que conecta Antofagasta y Tocopilla (Ruta 1), que estuvo cerrada por 4 horas.
10-01-2017	No	Si	Remociones en masa bloquean el Paso Jaman (sector Tumbaya), que une la Región de Antofagasta (ruta 27-CH), y la Provincia de Jujuy (Ruta Nacional 52).
24-02-2016	No	Si	Crecida de río Vilama en ruta B-2 hacia el Tatio, en la comuna de San Pedro de Atacama. Deslizamientos en las rutas a Toconce y el Llano de la Paciencia, en la misma comuna.
09-08-2015	No	Si	Socavón a causa de marejadas en el acceso a Taltal por la ruta 1 a Paposo en km 25.
09-08-2015			Aluvión en Tocopilla.
16-05-2010			Remociones en masa en la comuna de Taltal.
30-08-2006			Remociones en masa en la comuna de Taltal.
13 -02-2006 al 15-02- 2006		Si	Flujo de barro por lluvias del "Invierno Altiplánico" en Sierra Gorda y María Elena, Ruta CH 5 y Ruta 25.
18-06-1991	Si	Si	Flujo de detrito y de barro voluminosos, de gran poder destructivo y de hasta 15 km/hora, en torno a la ciudad de Antofagasta, que ocasionaron la muerte de 91 personas y 19 desaparecidos, 70 mil damnificados y 6 mil casas destruidas. La pérdida material en propiedad pública y privada se estima en US\$ 80.000.000.
29-07-1987			Remociones en masa en la comuna de Taltal.

Fuente: SERNAGEOMIN. 2017. Principales Desastres Ocurredos desde 1980 en Chile.

8.3 Estaciones Críticas

Se definirá como estación crítica a aquella que sin operatividad presenta un riesgo importante ante la pérdida de datos para la evaluación de riesgos hídricos que pudieran afectar a la vida de las personas y/o instalaciones críticas de la red pública.

Del total de estaciones de la región, se seleccionaron aquellas que se considera que aportan información importante al momento de generar una alerta por eventos hidrometeorológicos extremos. Estas son estaciones ubicadas aguas arriba de la población vulnerable y que además se encuentren en un rango de distancia que permita generar la alerta con un buen nivel de confianza y que deje un tiempo de reacción adecuado. Además, se proponen nuevas estaciones meteorológicas y fluviométricas para reforzar la red de alerta.

8.3.1 Estaciones Fluviométricas

Las estaciones fluviométricas seleccionadas corresponden a estaciones pertenecientes al convenio DGA-ONEMI y otras estaciones que se consideraron importantes dada su

cercanía a la población vulnerable, ubicación en cauces que han presentado eventos hidrometeorológicos extremos, además de la opinión del jefe regional de hidrología y lo observado en la visita a terreno. A continuación, se numeran las estaciones fluviométricas seleccionadas:

1. **Río Loa antes represa Lequena:** Esta estación es parte del Protocolo DGA-ONEMI. Monitorea el río Loa en la parte alta de la cuenca, aguas abajo se encuentra la represa Lequena y luego el embalse Conchi, cuerpos de agua que regulan los caudales del río. Considerando los tiempos de concentración, la crecida se demora 5 horas en llegar a la siguiente estación. Posee un equipamiento completo como estación Fluviométrica y meteorológica, además de datalogger y transmisión satelital.
2. **Río Loa en salida embalse Conchi:** Esta estación es parte del protocolo DGA-ONEMI. Monitorea el río Loa, luego de que este pasa por el embalse Conchi. Considerando los tiempos de concentración, la crecida se demora en llegar al siguiente punto de interés, el poblado de San Francisco de Chiu-Chiu, unas 3,2 horas. Por lo que se considera una estación importante para generar una alerta a dicha localidad. Posee un equipamiento completo como estación Fluviométrica y meteorológica, además de datalogger y transmisión satelital. Hacia aguas abajo no existe otro cuerpo de agua que regule el régimen del río y además se encuentra el poblado de San Francisco de Chiu-Chiu.
3. **Río Salado antes junta Curti:** Esta estación es parte del protocolo DGA-ONEMI. Monitorea las aguas del río Salado en la parte alta de la cuenca. Considerando los tiempos de concentración, la crecida se demora 1,4 horas en llegar a la siguiente estación Fluviométrica. Posee un equipamiento completo como estación Fluviométrica y meteorológica, además de datalogger y transmisión satelital. La estación ha sido dañada en crecidas y reconstruida en reiteradas ocasiones, por lo que muestra la magnitud de los eventos que ocurren en la zona.
4. **Río Salado en sifón Ayquina:** Esta estación es parte del protocolo DGA-ONEMI. Monitorea las aguas del río Salado en la parte media de la cuenca. Considerando los tiempos de concentración, la crecida se demora 7,9 horas en llegar a la siguiente estación, que corresponde a río Loa en Angostura. Posee un equipamiento completo como estación fluviométrica y meteorológica, además de datalogger y transmisión satelital. Por su ubicación la estación es importante,

dado que da información sobre crecidas originadas en el río Salado que potencialmente pueden afectar a ciudad de Calama.

5. **Río Loa en Angostura:** Considerando los tiempos de concentración, esta estación es lo suficientemente cercana para dar una alerta de crecidas que puedan afectar a ciudad de Calama con una anticipación de 2,3 horas, tiempo suficiente para poder generar una reacción. Aguas arriba están las 4 estaciones anteriores, en total este conjunto de 5 estaciones funcionaría de manera complementaria monitoreando la crecida e identificando que sectores aportarían la mayor parte de la escorrentía.
6. **Río San Pedro en Cuchabrachi:** Esta estación monitorea el río San Pedro y es la única que puede alertar a la población de San Pedro de Atacama, está ubicada hacia aguas arriba de dicha localidad a una corta distancia, pero que aun así generaría una alerta con un tiempo de antelación. La estación ha sido dañada en crecidas y reconstruida en reiteradas ocasiones, por lo que muestra la magnitud de los eventos que ocurren en la zona. En cuanto a los tiempos de concentración, la estación está distante a 0,9 horas de la población en San Pedro de Atacama. El tiempo quizás es muy corto y se recomienda estudiar mover la estación más arriba con el objetivo de tener más tiempo de reacción.

La Tabla 8.3 muestra los datos de código BNA, nombre, ubicación en coordenadas UTM WGS84 19S y criterio de selección de las estaciones críticas fluviométricas seleccionadas.

Tabla 8.3 Selección de posibles estaciones críticas fluviométricas

Código BNA	Nombre	Coordenadas UTM WGS84 19S		OBS	Cuenca Aportante
		Este	Norte		
02101001-4	Río Loa antes represa Lequena	534.963	7.605.223	ONEMI	CAE02
02510001-8	Río San Pedro en Cuchabrachi	582.060	7.475.533	Propuesta	CAE05
02105001-6	Río Salado antes junta Curti	578.008	7.536.087	ONEMI	CAE03
02104002-9	Río Loa en salida embalse Conchi	539.097	7.564.038	ONEMI	CAE01
02110031-5	Río Loa en Angostura	527.116	7.516.394	Propuesta	CAE06
02105002-4	Río Salado en sifón Ayquina	567.491	7.535.007	ONEMI	CAE04

8.3.2 Estaciones Meteorológicas

Como apoyo a la red de estaciones fluviométricas seleccionadas, se tomó en cuenta una nueva selección de estaciones meteorológicas, para lugares en los que no se presenta un flujo de agua continuo en las quebradas, pero que representan un peligro latente frente a eventos hidrometeorológicos extremos. Cabe mencionar que se observa una

falta de datos en la zona de cabecera de las cuencas de las quebradas de Taltal y La Negra, que desembocan en Taltal y Antofagasta, respectivamente. Por esto se propone una nueva estación meteorológica ubicada en las cercanías del camino hacia el Salar de Pajonales. A continuación, se numeran las estaciones meteorológicas seleccionadas:

1. **El Tatio:** Esta estación monitorea la parte alta de la cuenca del río Salado, pudiendo estimar crecidas potenciales en los ríos Toconce, Caspana y Grande, alertando a las localidades del mismo nombre con tiempos de concentración de 2,8; 2,6 y 3,7 horas, respectivamente.
2. **Sierra Gorda:** Esta estación monitorea la parte media alta de la cuenca de la Quebrada Caracoles. La estación daría información sobre eventuales activaciones de quebradas en el sector, pudiendo alertar a las localidades de Sierra Gorda y Baquedano. Los tiempos de concentración desde el inicio de las cuencas para las localidades de Sierra Gorda y Baquedano son 4,6 y 16,4 horas respectivamente.
3. **Toconao Quebrada 1:** Esta estación monitorea una quebrada intermitente ubicada en la cara Este del Salar de Atacama y corresponde a la estación ubicada a mayor elevación de un grupo de 8 estaciones del sector, motivo por el cual se escogió como representativa del área. En dicho sector están las localidades de Toconao y Peine, que pueden ser alertadas de una eventual activación de la quebrada. Los tiempos de concentración desde las cabeceras de cuenca para las localidades de Toconao y Peine son 4 y 3,1 horas respectivamente.
4. **Aguas Verdes:** Esta estación monitorea la parte media de la cuenca de la quebrada de Taltal. Esta es una cuenca de gran tamaño que desemboca directamente en la ciudad de Taltal en el mar. La estación es importante para indicar sobre una activación de la quebrada ante un evento climático extremo. El tiempo de concentración, desde la cabecera de la cuenca, para la ciudad de Taltal es de 14,4 horas.

La Tabla 8.4 muestra los datos de código BNA, nombre y ubicación en coordenadas UTM WGS84 19S de la selección de estaciones críticas meteorológicas.

Tabla 8.4 Selección de estaciones críticas meteorológicas

Código BNA	Nombre	Coordenadas UTM WGS84 19S		OBS	Cuenca Aportante
		Este	Norte		
02105022-9	El Tatio	601.295	7.527.990	Propuesta	
02942001-7	Aguas Verdes	403.184	7.190.296	Propuesta	CAM01
02700001-0	Sierra Gorda	467.047	7.468.532	Propuesta	CAP05
02500025-0	Toconao Quebrada 1	621.742	7.432.239	Propuesta	CAM02

La Figura 8.1 muestra la ubicación de las estaciones fluviométricas y meteorológicas seleccionadas, así como la población vulnerable que es protegida.

8.3.3 Estaciones nuevas propuestas

Realizando un análisis crítico sobre la red, se observa una falta de monitoreo en la zona alta de la quebrada Taltal, zona que generaría escorrentía para dicha quebrada y aportaría información sobre posibles crecidas en la cuenca vecina de la Quebrada Grande, aportante de la Quebrada La Negra, que llega a la ciudad de Antofagasta. La Tabla x muestra las coordenadas de la nueva estación.

Tabla 8.5 Estación meteorológica nueva

Nombre	Coordenadas UTM WGS84 19S		Cuenca Aportante
	Este	Norte	
Nueva: Camino a Salar Pajonales	465.214	7.195.835	CMN01

Respecto a la dotación de instrumentos que debiera tener esta estación, se considera que es importante que cuente, tanto con pluviómetro como con equipos que nos permitan medir otras variables (temperatura, humedad relativa, velocidad del viento) que puedan ser utilizadas en estudios de importancia. Además, que cuenten con sistema de transmisión satelital y datalogger.

Finalmente, la Figura 8.1 muestra la ubicación de las estaciones fluviométricas y meteorológicas seleccionadas, así como la población vulnerable que es protegida.

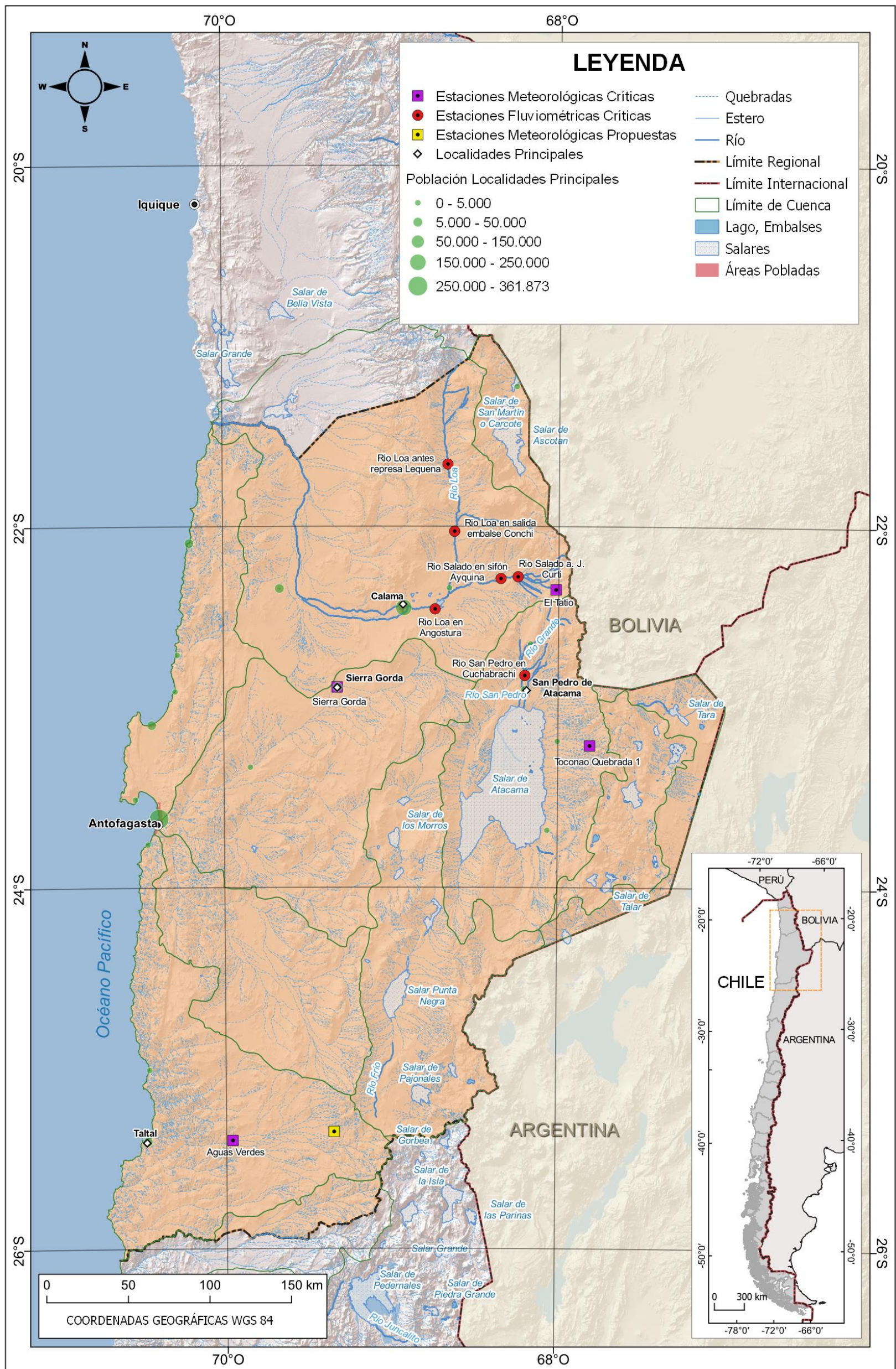


Figura 8.1 Estaciones críticas preliminares

8.4 Tiempo de Concentración

Las estaciones fluviométricas y las localidades vulnerables definen los puntos de control, usados para obtener los tiempos de concentración de las cuencas aportantes a dichos puntos. La Tabla 8.6 y Tabla 8.7, muestran el resumen de los parámetros morfológicos de las cuencas aportantes con sus tiempos de concentración para las estaciones y las localidades, respectivamente.

Para el cálculo de los tiempos de concentración se tomaron en cuenta los métodos sugeridos tanto en el Manual de Carreteras (MOP, 2020) y el Manual de crecidas de la DGA (DGA, 1995), tomando como primera opción el método de Giandotti cuando este se encuentra dentro de su rango aceptado, o por el promedio de todos los métodos considerados en el caso contrario.

La Figura 8.2 muestra las cuencas aportantes a los puntos de control definidos. Mientras que la Figura 8.3 y Figura 8.4 muestra los diagramas unifilares de la red hidrográfica con las diferencias de tiempo que existe entre los diferentes puntos de control. Se observa que una crecida originada en la cabecera del río Loa tardaría 21 horas en llegar a la ciudad de Calama, mientras que una crecida en la cabecera del río Salado tardaría sólo 15 horas. Si se observa una crecida en la estación Río Loa en Angostura, ésta llegaría en 2,3 horas a la ciudad de Calama. Otra cuenca importante es la quebrada de Taltal que tiene un tiempo de concentración de 14 horas. En las cercanías de la ciudad de San Pedro de Atacama se encuentra la estación Río San Pedro en Cuchabrachí de la que existe un tiempo de reacción de aproximadamente 0,9 horas (55 minutos).

Tabla 8.6 Parámetros morfométricos y tiempo de concentración de las cuencas definidas en base a las estaciones fluviométricas críticas de la Región de Antofagasta

PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS GENERALES		Estaciones fluviométricas						Estaciones meteorológicas				Otros
		Río Loa			Río Salado		Río San Pedro	Aguas Verdes	Toconao	Sierra Gorda	Nueva	Cuenca Río Salado antes junta Río Loa CMN01
		En Embalse Conchi CAE01	En Angostura CAE06	En Represa Lequena CAE02	Ante junta Curti CAE03	En Sifón Ayquina CAE04	En Cuchabrachi CAE05	CAM01	CAM02	CAP05	Quebrada Taltal Alto CMN01	
Parámetro	Símbolo	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	
Perímetro (km)	P	501,16	663,39	236,67	137,71	184,06	183,64	400,06	14,55	308,12	25,01	324,03
Área (km ²)	A	5396,18	9263,38	2116,84	523,97	801,12	1417,30	3217,22	6896,00	2486,82	15,76	2338,38
Longitud cauce principal (km)	LCP	113,06	167,37	66,09	27,16	40,03	27,24	103,87	6,95	72,37	10,1	96,76
Desnivel altitudinal (m)	DA	3156,91	3641,62	2861,90	2499,98	2644,05	5735,20	3469,98	515,00	1781,95	481	3565,99
PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS ASOCIADOS A LA FORMA DEL RELIEVE												
Cota máxima cuenca (msnm)	cmax	6150,00	6123,00	6178,00	5599,00	5618,00	5886,00	5035,00	4474,00	4154,00	3691,00	5899,00
Cota mínima cuenca (msnm)	cmin	2993,09	2481,38	3316,10	3099,02	2973,95	150,80	1565,02	3959,00	1635,01	3210,00	2333,01
Altitud media cuenca (msnm)	Am	3968,45	3688,58	4016,65	4300,20	4092,17	3960,19	3095,58	4199,72	2763,26	3392,62	3299,03
Pendiente promedio de la cuenca (%)	Smed	16,70%	15,52%	14,45%	25,55%	22,83%	16,21%	11,01%	12,31%	8,19%	8,45%	13,17%
Altitud máx del cauce	Amxc	3962,00	3962,00	3962,00	5080,00	5080,00	4506,00	4337,00	4391,00	2756,00	3559,00	5080,00
Altitud min del cauce	Aminc	2993,09	2481,38	3316,10	3099,02	2973,95	150,80	1565,02	3959,00	1621,05	3210,00	2333,01
Pendiente promedio del cauce (%)	Sc	0,86%	0,88%	0,98%	7,29%	5,26%	15,99%	2,67%	6,22%	4,07%	3,46%	2,84%
TIEMPOS DE CONCENTRACIÓN												
Tiempo de concentración (horas) [California Culvert Practice]	Tc	10,02	14,93	5,60	2,11	3,24	1,54	8,77	0,80	3,11	9,12	1,27
Tiempo de concentración (horas) [Kirpich]	Tc	15,72	21,00	9,88	2,30	3,51	1,70	9,51	0,86	3,41	1,43	1,43
Tiempo de concentración (horas) [Giandotti]	Tc	11,77	13,86	8,70	3,30	4,23	3,05	7,25	26,76	4,37	1,47	1,47
	Rango validación	31,41	46,49	18,36	7,54	11,12	7,57	28,85	1,93	9,42	2,81	2,81
		32,91	47,99	19,86	9,04	12,62	9,07	30,35	3,43	10,92	4,31	4,31
Tiempo de concentración (horas) [Norma Española]	Tc	15,32	20,93	10,47	4,78	6,56	5,22	15,55	1,95	7,16	2,78	2,78
Tiempo de concentración selección (horas)	Tc	13,69	18,95	8,65	3,06	4,44	5,65	11,27	1,20	4,56	3,7	1,83

Tabla 8.7 Parámetros morfométricos y tiempos de concentración de las cuencas definidas en base a las poblaciones vulnerables de la Región de Antofagasta y estación nueva

PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS GENERALES		Población									
		San Francisco de Chiu-Chiu	Calama	San Pedro	Taltal	Toconao	Baquedano	Peine	Río Grande	Toconce	Caspana
		CAP01	CAP02	CAP03	CAP04	CAP06	CAP07	CAP08	CAP09	CAP10	CAP11
Parámetro	Símbolo	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor
Perímetro (km)	P	183,64	685,69	196,98	551,97	81,34	545,69	48,34	130,00	76,00	58,00
Área (km ²)	A	1315,99	8805,94	1340,05	5614,66	252,89	5254,87	112,56	536,00	224,00	107,00
Longitud cauce principal (km)	LCP	148,55	190,29	35,91	152,00	34,79	145,31	17,99	28,60	28,10	16,20
Desnivel altitudinal (m)	DA	3565,00	3789,79	5647,78	4922,89	2488,13	3092,90	642,20	2619,00	2504,00	1567,00
PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS ASOCIADOS A LA FORMA DEL RELIEVE											
Cota máxima (msnm)	cmax	6128,00	6123,00	5799,00	5041,00	5507,00	4154,00	3635,00	5822,00	5604,00	4667,00
Cota mínima (msnm)	cmin	2563,00	2333,21	151,22	118,11	3018,87	1061,10	2992,80	3203,00	3100,00	3100,00
Altitud media (msnm)	Am	3910,64	3684,22	3938,11	2501,33	3997,81	2291,75	3180,19	4200,00	4500,00	3800,00
Pendiente promedio de la cuenca (%)	Smed	16,34%	15,48%	16,34%	11,78%	14,27%	7,92%	7,59%	9,27%	89,00%	4,48%
Altitud máx del cauce	Amxc	3962,00	3962,00	4506,00	4257,00	5412,00	2756,00	3331,00	4368,00	5095,00	3911,00
Altitud min del cauce	Aminc	2563,00	2333,21	151,22	118,11	3018,87	1061,10	2992,80	3124,00	3100,00	3193,00
Pendiente promedio del cauce (%)	Sc	0,94%	0,86%	12,13%	2,84%	6,88%	1,23%	1,89%	4,35%	7,10%	4,43%
TIEMPOS DE CONCENTRACIÓN											
Tiempo de concentración (horas) [California Culvert Practice]	Tc	13,11	17,05	2,13	11,31	2,82	12,74	2,20	2,20	2,20	1,39
Tiempo de concentración (horas) [Kirpich]	Tc	18,70	23,48	2,34	12,03	2,84	15,98	2,81	2,92	2,38	1,87
Tiempo de concentración (horas) [Giandotti]	Tc	4,95	12,77	2,98	7,68	2,54	10,34	3,88	3,67	2,00	1,96
	Rango validación	41,26	52,86	9,98	40,43	9,66	38,39	4,98	7,94	7,81	4,50
		42,76	54,36	11,48	41,93	11,16	39,89	6,48	9,44	9,31	6,00
Tiempo de concentración (horas) [Norma Española]	Tc	18,93	23,09	6,44	19,84	6,45	20,57	4,39	6,03	3,87	4,49
Tiempo de concentración selección (horas)	Tc	16,92	21,21	6,57	14,39	4,56	16,43	3,13	3,72	2,82	2,59

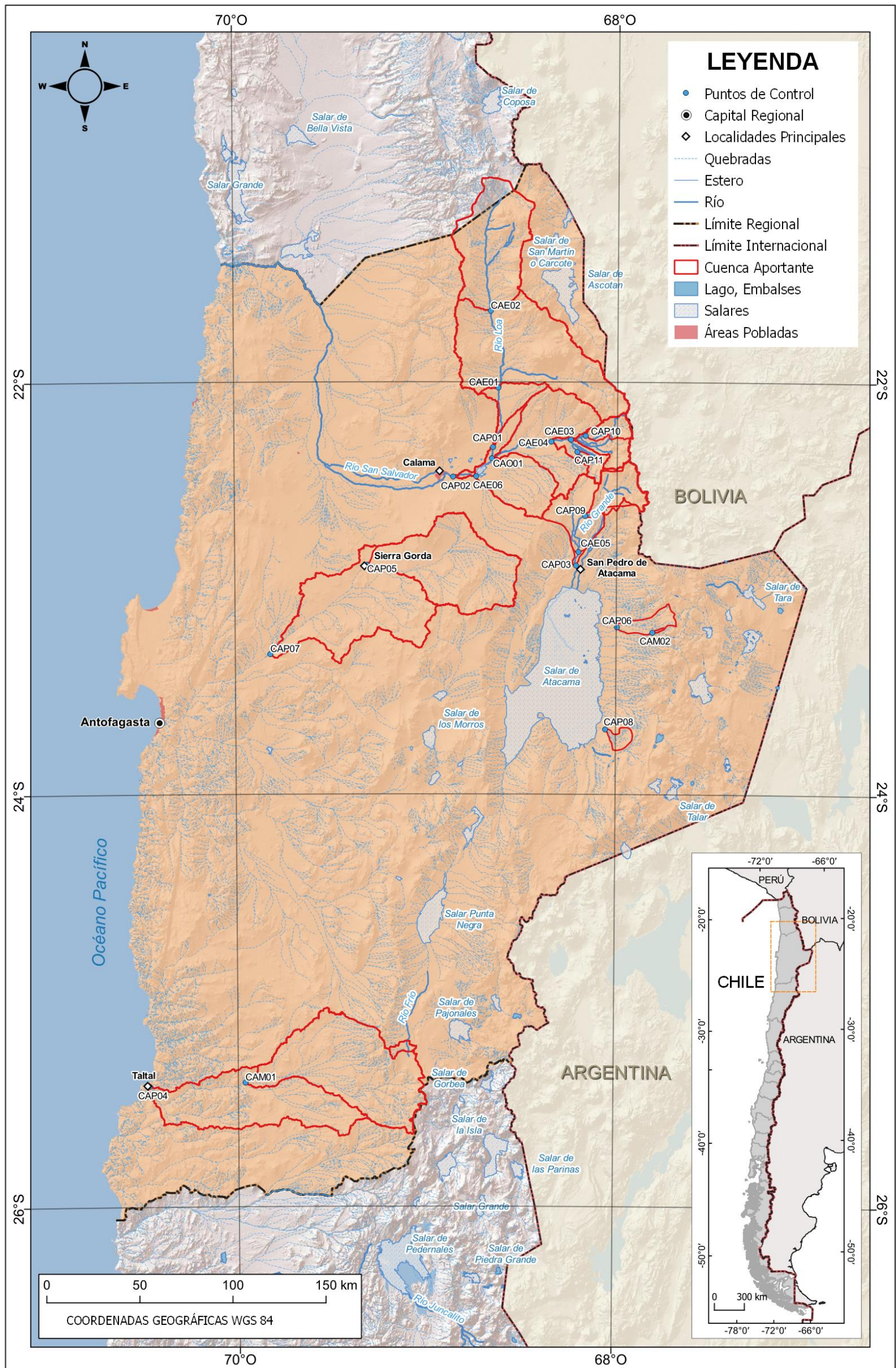


Figura 8.2 Cuenca aportantes

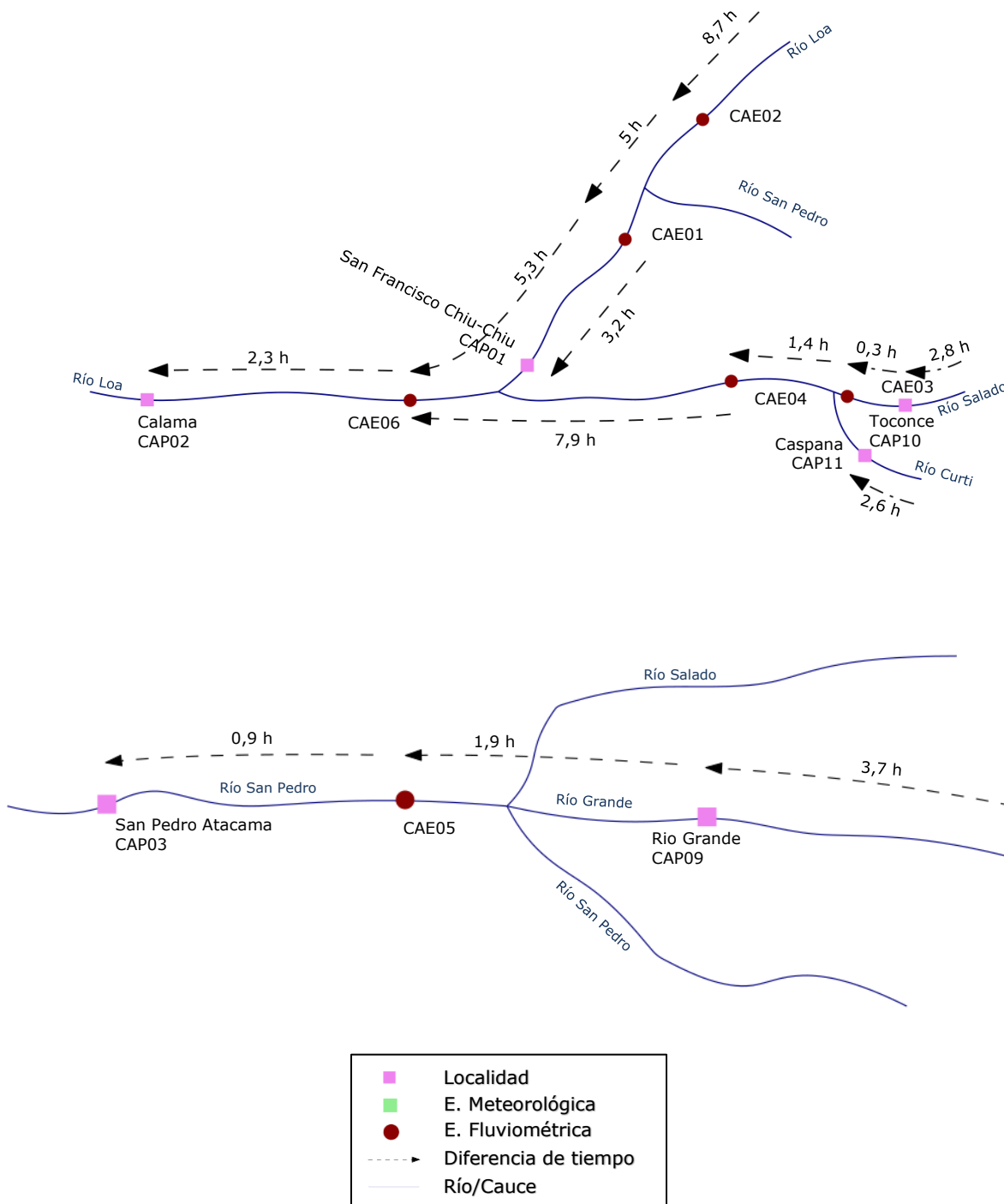


Figura 8.3 Diagramas unifilares cuenca río Loa (arriba) y río San Pedro (abajo)

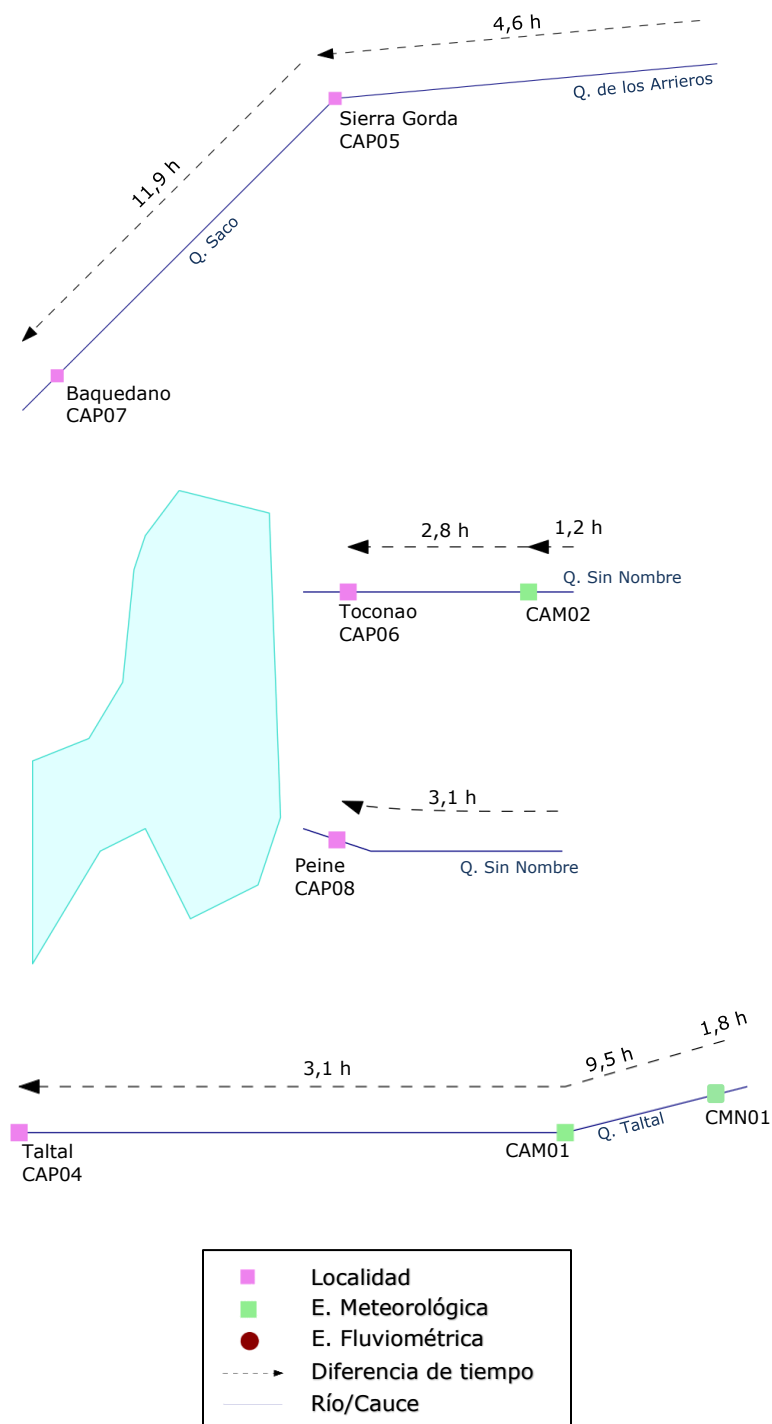


Figura 8.4 Diagramas unifilares de arriba hacia abajo, quebrada aportante a Baquedano, quebradas a Salar de Atacama, quebrada Taltal

9 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

A partir de la información descargada desde la plataforma del SNIA de la DGA (2021)¹¹, se realizó un análisis de la estadística media y máxima de los datos, así como de la distribución espacial de las estaciones fluviométricas y meteorológicas en estudio.

9.1 Disponibilidad de Datos

En esta sección se presentan las tablas de disponibilidad de datos medios de las variables en estudio, en negrita se muestran las estaciones seleccionadas como críticas. Si bien existen estaciones con información antes del año 1950, para tener una correcta visualización se comienza en dicho año.

Además, se muestra la cantidad de años válidos de las estaciones. Un año válido se define como el año que tiene 9 o más meses con información.

Caudales

La Tabla 9.1 muestra la disponibilidad de datos de las estaciones fluviométricas. Las estaciones críticas seleccionadas, que también corresponden a estaciones del protocolo DGA-ONEMI (río Loa antes represa Lequena, río Loa en salida emb. Conchi, río Salado a.j. Curti y río Salado en sifón Ayquina) tienen 40 años válidos aproximadamente. Por otra parte, la estación río San Pedro en Cuchabrachi tiene 52 años válidos y no tiene datos desde el 2015; y la estación río Loa en Angostura tiene 3 años válidos y no tiene datos desde el 2017. La estadística descargada se encuentra recopilada y ordenada en el **Anexo 5**.

Precipitación

La Tabla 9.2 y Tabla 9.3 muestran la disponibilidad de datos de las estaciones meteorológicas. De las estaciones críticas seleccionadas, Sierra Gorda tiene 24 años válidos, Toconao Quebrada 1 tiene 0 años válidos y Aguas Verdes tiene 32 años válidos. Cabe decir que todas las estaciones tienen datos al menos en los últimos 2 años. La estadística descargada se encuentra recopilada y ordenada en el **Anexo 6**.

¹¹ <https://snia.mop.gob.cl/BNAConsultas/reportes>

Temperatura

La Tabla 9.4 y Tabla 9.5 muestran la disponibilidad de datos de temperatura de las estaciones meteorológicas. La estadística descargada se encuentra recopilada y ordenada en el **Anexo 7**.

Tabla 9.2 Disponibilidad de datos pluviometría

ID	COD BNA	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Años Validos						
1	02000001-5																																					31		
2	02112008-1																																							46
3	02101001-4																																							18
4	02101003-0																																							47
5	02020002-2																																							37
6	02102005-2																																							25
7	02103008-2																																							44
8	02104007-K																																							38
9	02103009-0																																							40
10	02103014-7																																							6
11	02103012-0																																							17
12	02104008-8																																							43
13	02104002-9																																							9
14	02103010-4																																							49
15	02105037-7																																							0
16	02105036-9																																							0
17	02210003-3																																							1
18	02210002-5																																							26
19	02105014-8																																							38
20	02105016-4																																							37
21	02105017-2																																							49
22	02105018-0																																							50
23	02105001-6																																							1
24	02105020-2																																							40
25	02105002-4																																							15
26	02104010-K																																							44
27	02105022-9																																							38
28	02110013-7																																							51
29	02510007-7																																							44
30	02700001-0																																							24
31	02510006-9																																							34
32	02300000-8																																							2
33	02500026-9																																							2
34	02500027-7																																							4
35	02500016-1																																							32
36	02500025-0																																							0
37	02500021-8																																							25
38	02710002-3																																							37
39	02500017-K																																							42
40	02500017-K																																							0

9.2 Precipitaciones Medias

A partir de la estadística descargada se obtuvieron las precipitaciones medias históricas de las estaciones de la región. Luego se filtraron las estaciones que poseen 10 años válidos o más, para construir las isoyetas de precipitación media.

Con respecto a las precipitaciones medias en las estaciones críticas se tiene lo siguiente:

- **Río Loa en represa Lequena:** esta es una estación fluviométrica con control de precipitaciones. Posee una precipitación media de 95,4 mm observados en el periodo desde 2001 al 2020 (18 años válidos).
- **Río Loa en salida embalse Conchi:** esta es una estación fluviométrica con control de precipitaciones. Posee una precipitación media de 108,2 mm observados en el periodo desde 2012 al 2020 (9 años válidos).
- **Río Salado antes junta Curti:** esta es una estación fluviométrica con control de precipitaciones. Posee una precipitación media de 88,6 mm observados en el periodo desde 2012 al 2013 (1 año válido).
- **Río Salado en sifón Ayquina:** esta es una estación fluviométrica con control de precipitaciones. Posee una precipitación media de 29,12 mm observados en el periodo desde 2001 al 2017 (15 años válidos).
- **El Tatio:** estación tipo meteorológica considerada crítica, con precipitación media de 137,63 mm durante el periodo de observación del 1977 hasta 2019. (38 años válidos).
- **Sierra Gorda:** esta es una estación meteorológica definida como crítica. Posee una precipitación media de 1,2 mm observados en el periodo desde 1994 al 2020 (24 años válidos).
- **Toconao Quebrada 1:** esta es una estación meteorológica definida como crítica. No tiene años válidos y existen meses sin información de precipitación por lo que no es posible obtener su precipitación media. La estación tiene estadística entre los años 2017 y 2019.
- **Aguas Verdes:** esta es una estación meteorológica definida como crítica. Posee una precipitación media de 8,3 mm observados en el periodo desde 1987 al 2020 (32 años válidos).

La Figura 9.1 muestra las isoyetas actualizadas al 2021, obtenidas mediante interpolación de las estaciones de 10 años válidos o más y las isoyetas del Balance Hídrico 1987. Se muestran también las estaciones meteorológicas utilizadas y como referencia las isoyetas del Balance Hídrico 1987.

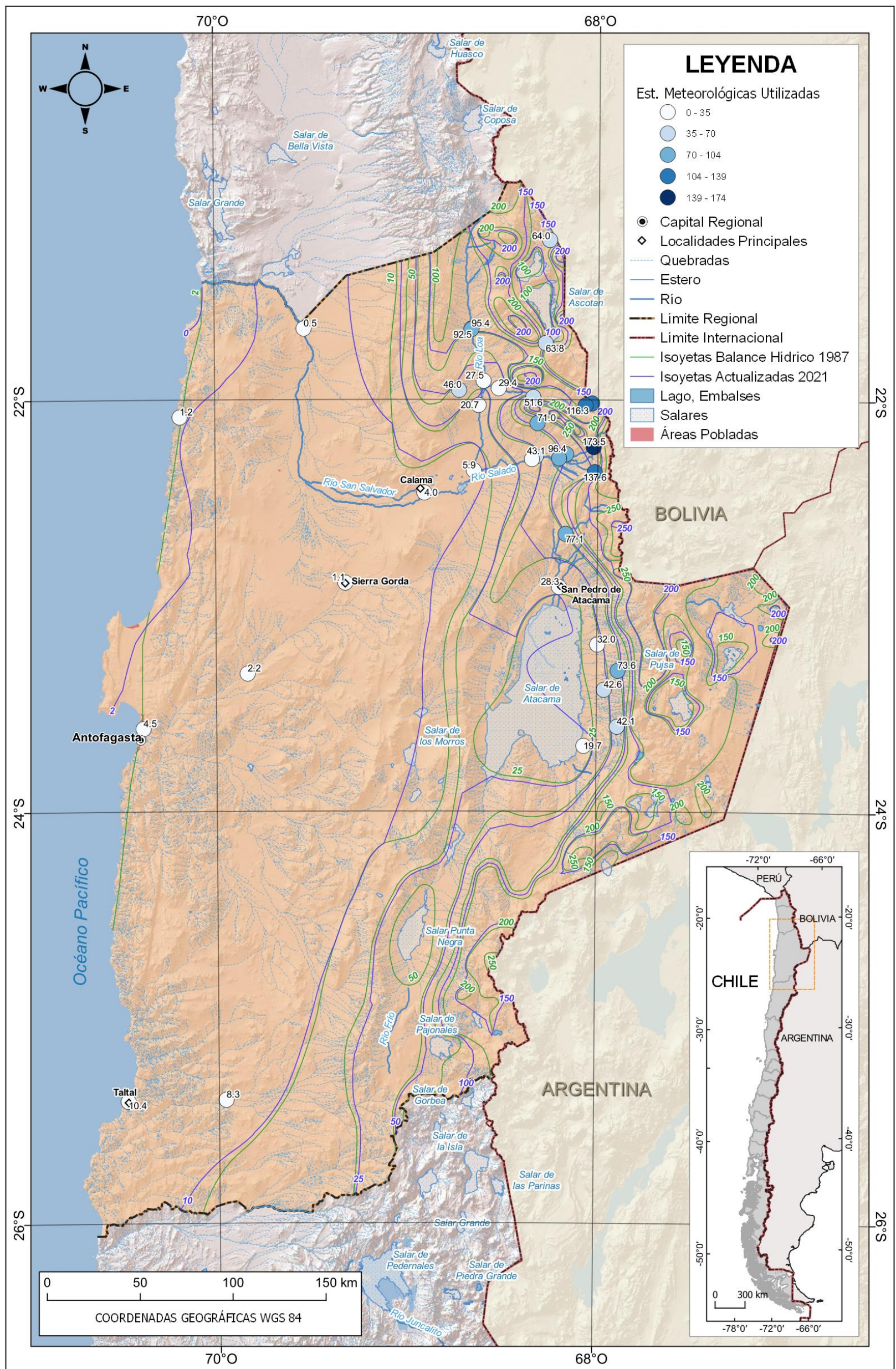


Figura 9.1 Isoyetas de precipitación media, Región de Antofagasta

9.3 Temperaturas Medias

A partir de la estadística descargada se obtuvieron las temperaturas medias históricas de las estaciones de la región. Luego se filtraron las estaciones que poseen 10 años válidos o más, para construir las isotermas de temperatura media.

Con respecto a las temperaturas medias en las estaciones críticas las estaciones fluviométricas no tienen registros de temperatura, por lo que sólo quedan las meteorológicas:

- **El Tatio:** no posee registro de temperatura.
- **Sierra Gorda:** esta estación meteorológica posee una temperatura media de 17,8 °C, observados en el periodo entre el año 1994 y 2014 (19 años válidos).
- **Toconao Quebrada 1:** no posee registros de temperatura.
- **Aguas Verdes:** esta estación meteorológica posee una temperatura media de 8,4 °C, observados en el periodo entre el año 1973 y 2020 (17 años válidos).

La Figura 9.2 muestra las isotermas actualizadas al 2021, obtenidas mediante la interpolación de las estaciones de 10 años válidos o más y las isotermas del Balance Hídrico 1987. Se muestran también las estaciones meteorológicas utilizadas y como referencia las isotermas del Balance Hídrico 1987.

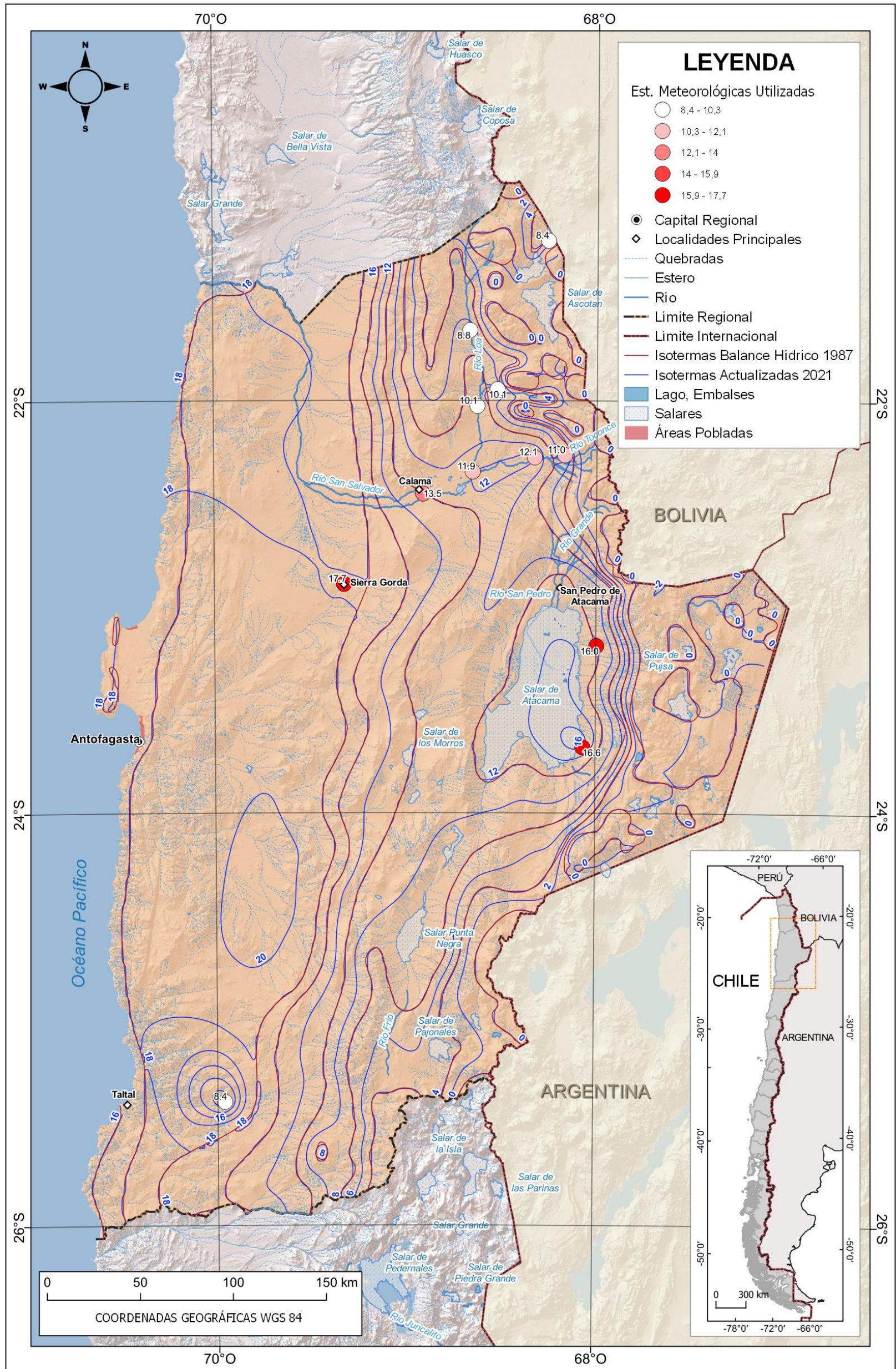


Figura 9.2 Isothermas de temperatura media, Región de Antofagasta

9.4 Caudales Máximos instantáneos

A partir de la estadística descargada de caudales máximos instantáneos se construyeron los gráficos de caudal y altura de las estaciones fluviométricas críticas seleccionadas, como se muestra en la Figura 9.3 a Figura 9.5. Las estaciones pertenecientes al protocolo DGA-ONEMI tienen definidos límites de alerta amarilla y roja que se incluye en los gráficos. En el **Anexo 8** se muestra la estadística de las estaciones.

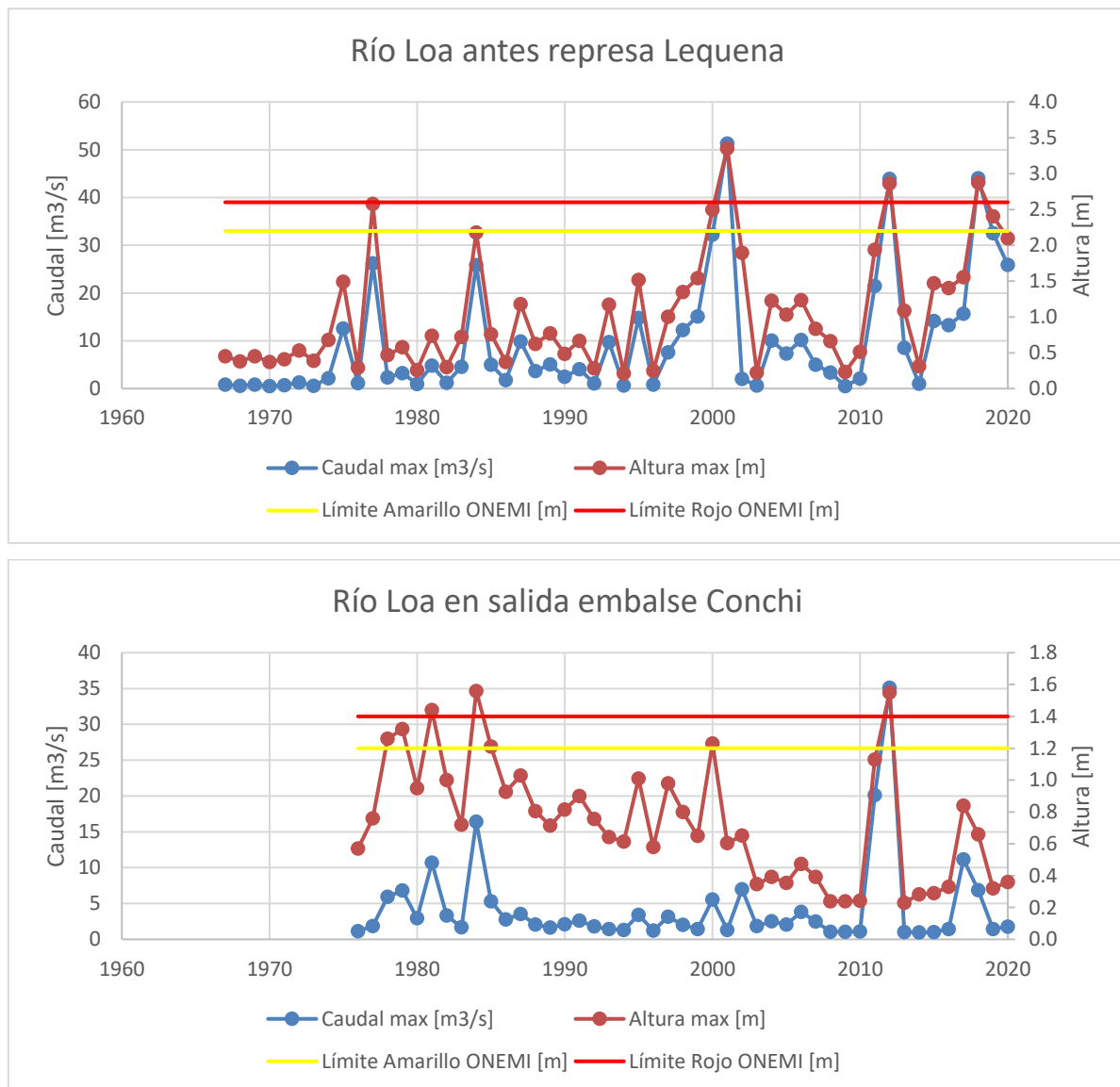


Figura 9.3 Caudales y alturas máximas de las estaciones críticas río Loa antes represa Lequena y río Loa en salida embalse Conchi

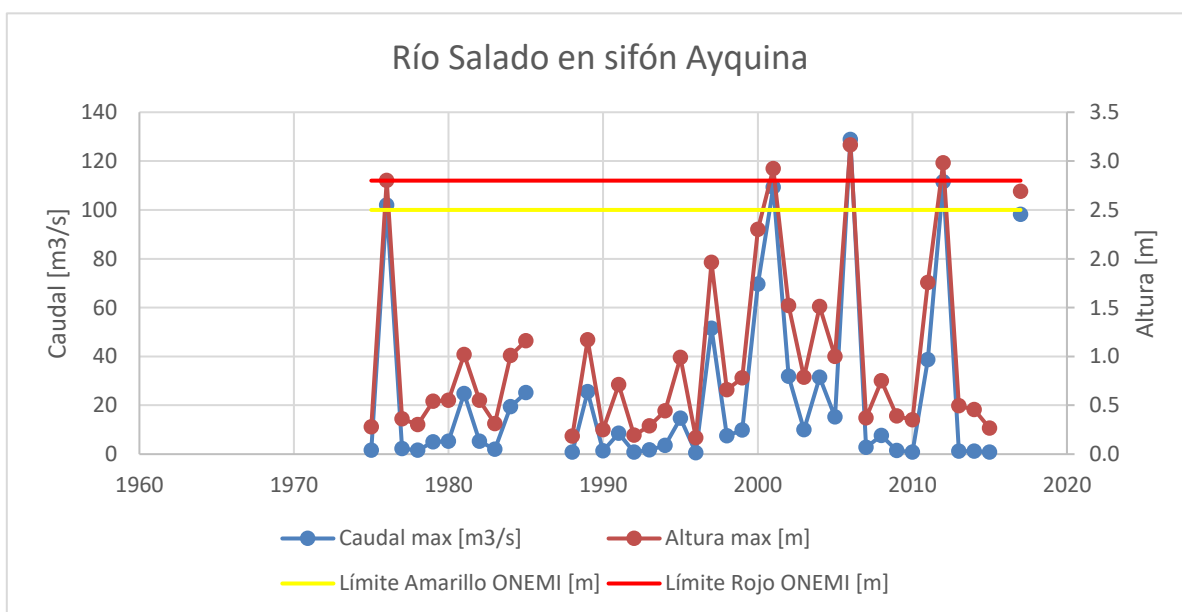
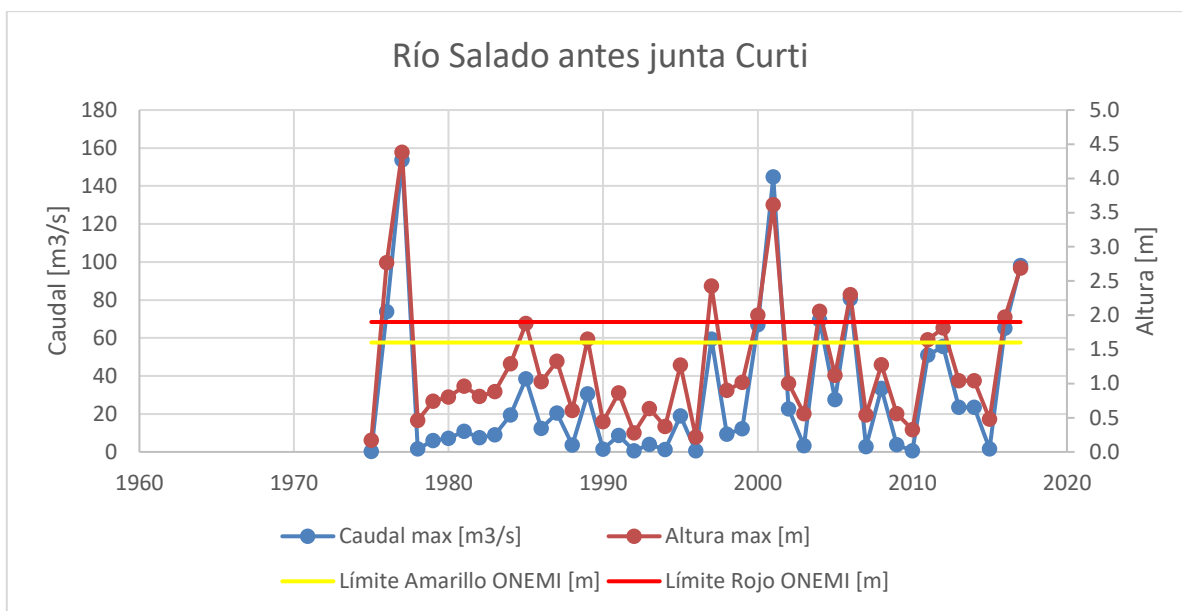


Figura 9.4 Caudales y alturas máximas de las estaciones críticas río Salado antes junta Curti y río Salado en sifón Ayquina

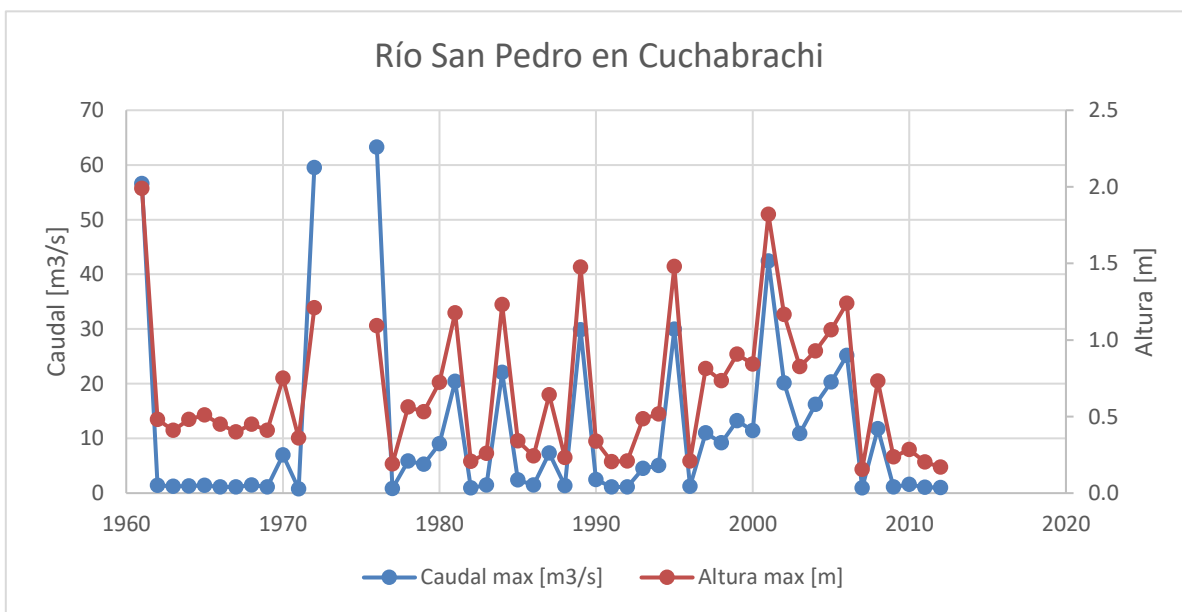
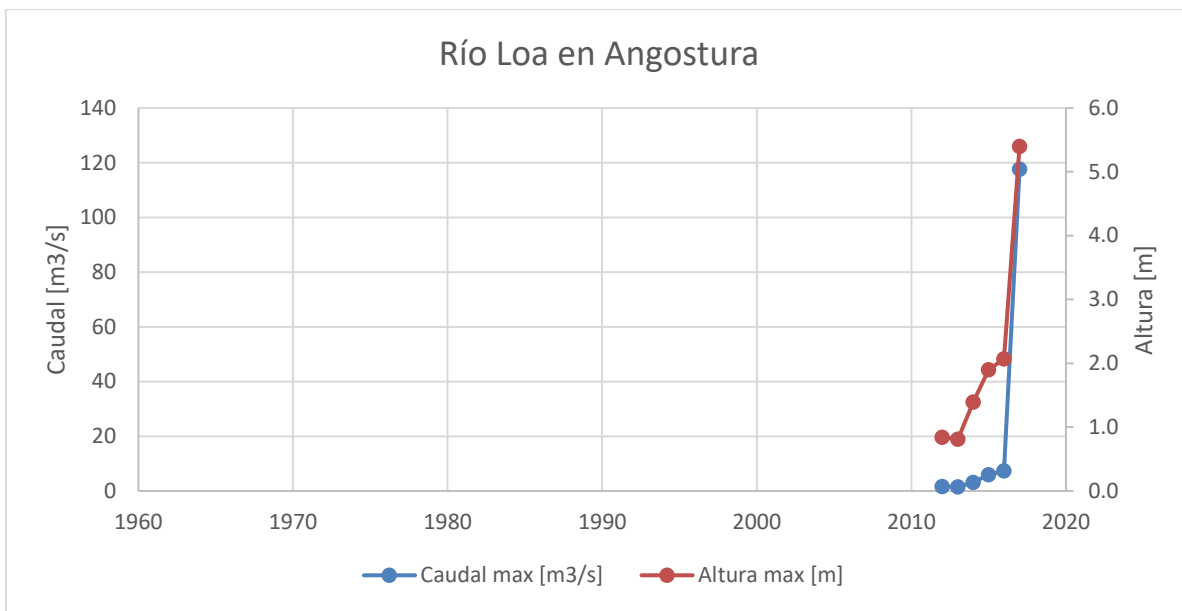


Figura 9.5 Caudales y alturas máximas de las estaciones críticas río Loa en Angostura y río San Pedro en Cuchabrachi

A partir de las figuras se puede comentar lo siguiente:

- El embalse Conchi (construido en 1975) logra amortiguar la crecida proveniente de aguas arriba, ya que se observa una disminución de los caudales registrados en la estación río Loa en salida embalse Conchi, con respecto a la estación río Loa antes represa Lequena.
- Desde el año 2000 la estación río Loa en salida embalse Conchi supero el límite de la alerta amarilla en 1 ocasión (año 2000) y la estación río Salado en sifón Ayquina en 4 ocasiones (años 2001, 2006, 2012 y 2017). En cuanto a las alertas rojas, el límite es solo superado en la estación del río Salado en los años 2001, 2006 y 2012.
- En cuanto a la crecida del año 2017 observada en la estación río Loa en Angostura ($118 \text{ m}^3/\text{s}$) es posible estimarla como la suma de las crecidas registradas en las dos estaciones aguas arriba (Loa en Conchi y Salado en Ayquina, sumando $109 \text{ m}^3/\text{s}$) más un porcentaje aportante por quebradas intermedias.
- El río San Pedro en Cuchabrachi no tiene definidos límites de alerta. Desde el año 2000 registra 2 crecidas importantes (años 2001 y 2006).

9.5 Precipitaciones máximas anuales

A partir de la estadística descargada de precipitaciones máximas en 24 horas se construyeron los gráficos que se muestra en la Figura 9.6 a Figura 9.8. Comparando las precipitaciones registradas en las estaciones críticas que tienen también un registro fluviométrico no se observa una clara correlación entre los máximos de precipitación y caudales. Esto se puede deber a que las precipitaciones que están generando escorrentía se encuentran más arriba en la cuenca, en el sector de cabecera. La estadística descargada se encuentra recopilada y ordenada en el **Anexo 9**.

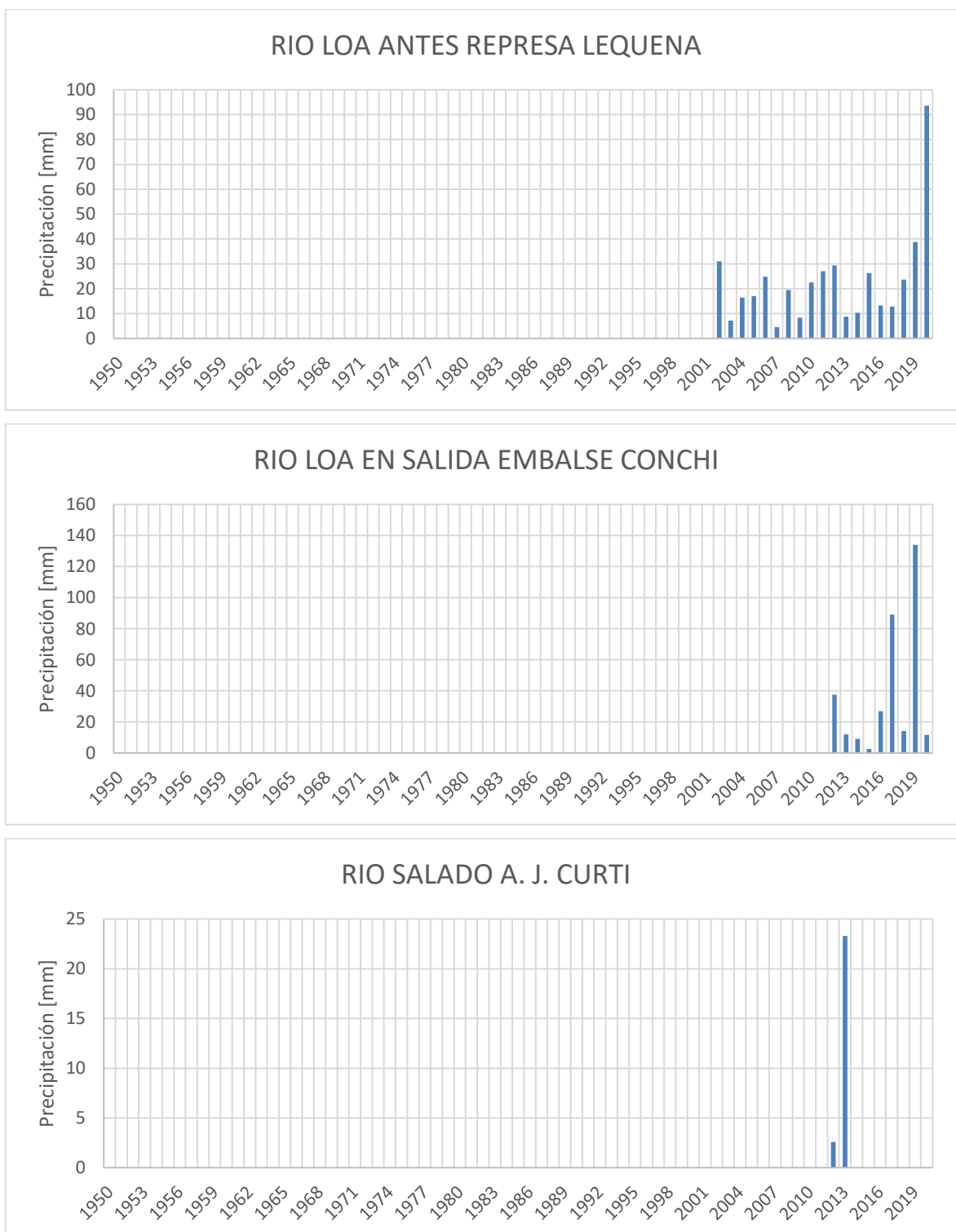


Figura 9.6 Precipitaciones máximas anuales en 24 horas, estaciones río Loa antes represa Lequena, río Loa en salida embalse Conchi, río Salado a.j. Curti

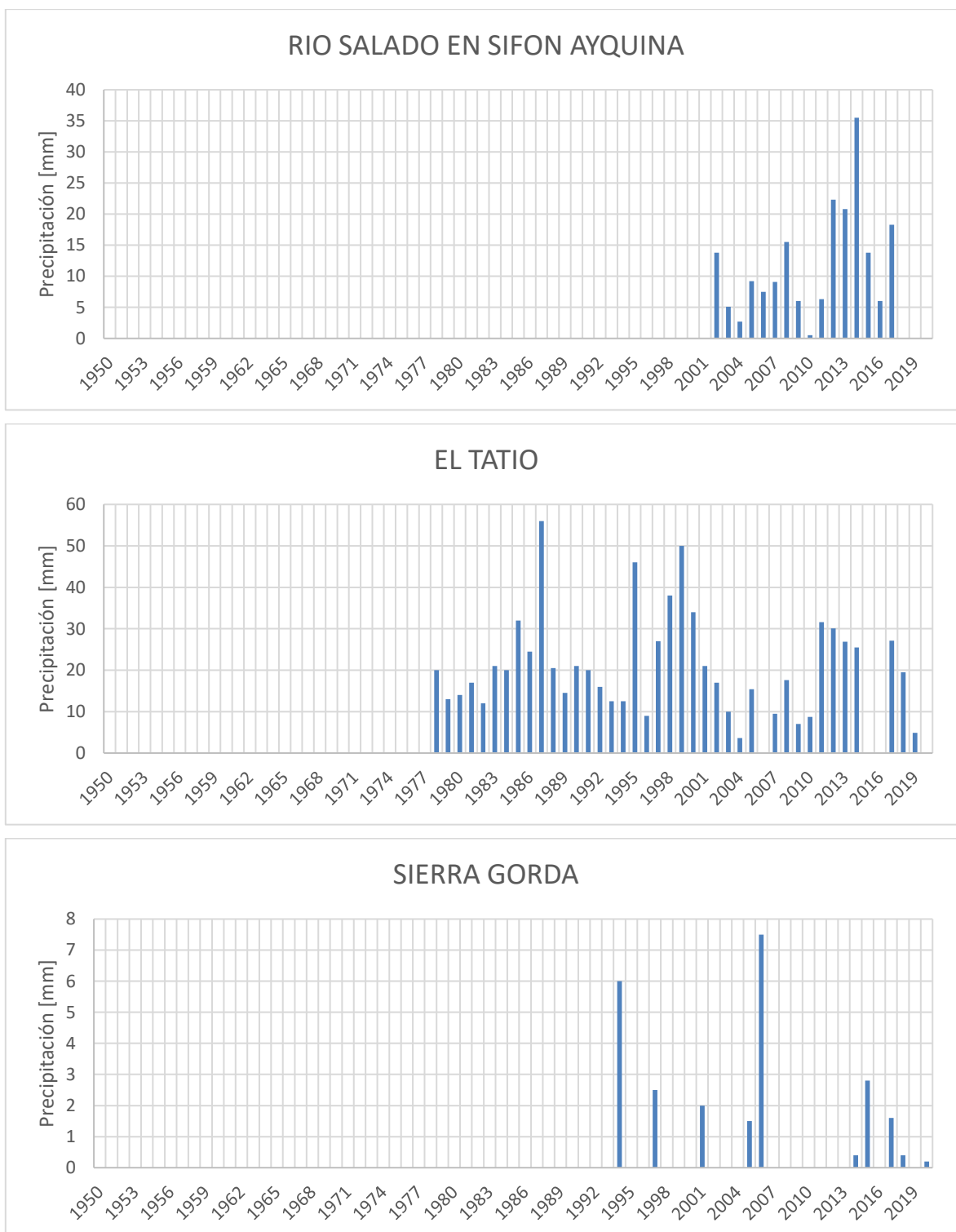


Figura 9.7 Precipitaciones máximas anuales en 24 horas, estaciones río Salado en sifón Ayquina, El Tatío y Sierra Gorda

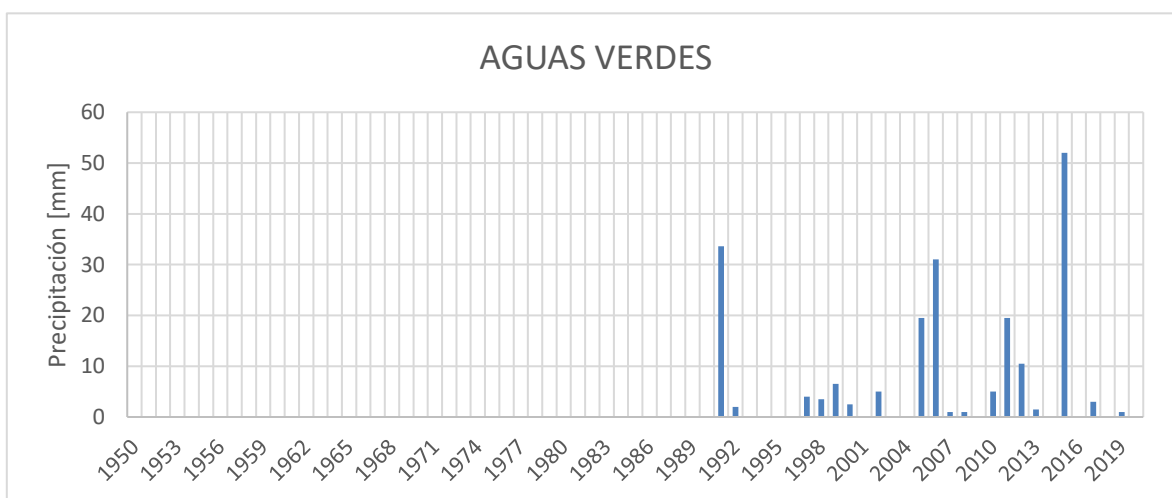
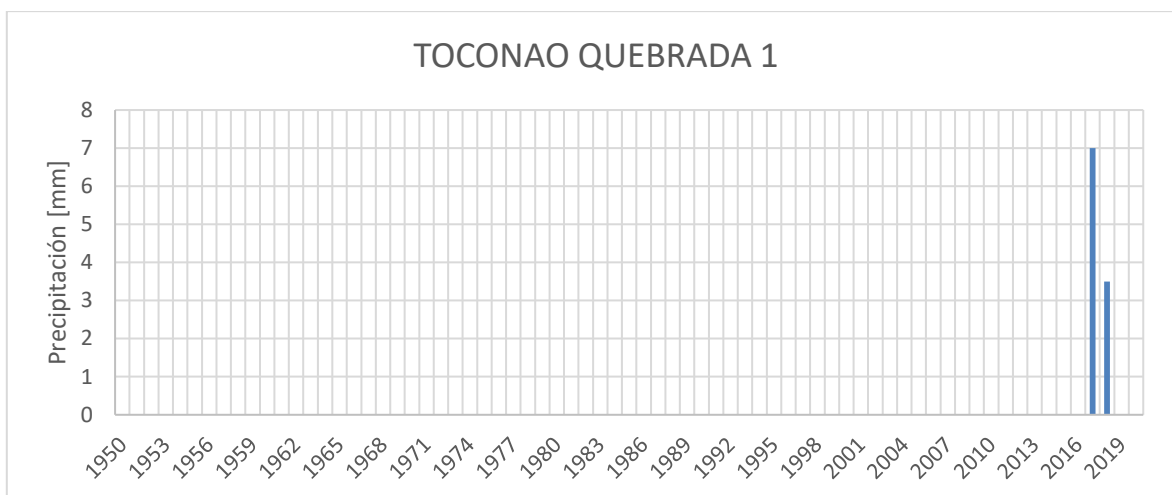


Figura 9.8 Precipitaciones máximas anuales en 24 horas, estaciones Toconao Quebrada 1 y Aguas Verdes

9.6 Distribución Espacial

Estaciones Meteorológicas

Para realizar el análisis de la distribución espacial de las estaciones se construyeron los polígonos de Thiessen con las estaciones meteorológicas en estudio. Cabe decir que existen 3 estaciones con coordenadas repetidas, que para efectos de este análisis se eliminaron. La Tabla 9.6 muestra las áreas correspondientes a cada estación, en negrita se encuentran las estaciones seleccionadas como críticas. Las áreas van desde los 6 km², hasta 13.500 km².

Tabla 9.6 Área polígonos de Thiessen de las estaciones meteorológicas

ID	Código BNA	Nombre	Coord. UTM WGS84 19S		Área [km ²]
			Este	Norte	
55	02942001-7	Aguas Verdes	403.184	7.190.296	13.486
54	02650001-K	Salar de Punta Negra	507.342	7.285.332	12.439
38	02710002-3	Baquadano	414.538	7.419.580	10.208
2	02112008-1	Quillagua	444.573	7.605.241	9.766
30	02700001-0	Sierra Gorda	467.047	7.468.532	9.328
49	02500020-K	Peine	595.137	7.380.682	6.554
50	02900000-K	Universidad de Antofagasta	355.138	7.378.045	5.566
53	02650002-8	Quebrada Guanaqueros	545.305	7.296.794	5.422
28	02110013-7	Calama	509.639	7.517.059	4.637
52	02450000-4	Paso Sico	658.907	7.364.608	4.093
31	02510006-9	San Pedro de Atacama	581.987	7.466.178	3.796
18	02210002-5	Tocopilla	377.864	7.557.328	3.761
58	02943001-2	Tal-Tal	350.495	7.189.132	3.277
56	02943002-0	Tal-Tal (DCP)	351.156	7.189.527	3.258
32	02300000-8	Paso Jama	633.173	7.464.499	2.928
3	02101001-4	Río Loa antes represa Lequena	534.963	7.605.223	2.263
8	02104007-K	Conchi Viejo	528.307	7.572.257	2.049
40	02240000-2	Liceo Científico Humanista La Chimba	357.783	7.394.375	1.929
29	02510007-7	Río Grande	585.548	7.494.766	1.856
17	02210003-3	Quebrada Barriles	377.912	7.557.812	1.707
36	02500025-0	Toconao Quebrada 1	621.742	7.432.239	1.703
26	02104010-K	Chiu-Chiu	536.239	7.528.894	1.593
1	02000001-5	Ollagüe	577.251	7.652.885	1.420
5	02020002-2	Ascotan	574.916	7.597.414	1.397
43	02500019-6	Socaire	613.092	7.390.963	1.393
34	02500027-7	Toconao Pueblo	601.953	7.435.956	1.115
39	02500017-K	Camar	606.057	7.410.866	979
4	02101003-0	Lequena	534.930	7.604.914	896
48	02760000-K	Quebrada El Toro	357.622	7.381.792	798
25	02105002-4	Río Salado en sifón Ayquina	567.491	7.535.007	669
27	02105022-9	El Tatio	601.295	7.527.990	656
9	02103009-0	Ojos San Pedro	568.222	7.568.368	509
37	02500021-8	Talabre	613.530	7.421.080	470
19	02105014-8	Cupo	570.481	7.554.308	457
33	02500026-9	Toconao Quebrada 4	612.782	7.439.076	454
45	02240001-0	Escuela Fundación Minera Escondida	360.200	7.387.754	453
14	02103010-4	Inacaliri	596.380	7.563.858	368
7	02103008-2	Parshall N°2	549.596	7.573.130	366
47	02240005-3	Quebrada La Cadena	359.732	7.386.365	343
6	02102005-2	Quinchamale	541.476	7.577.188	342
42	02240003-7	Quebrada Bonilla	359.770	7.391.257	338
13	02104002-9	Río Loa en salida embalse Conchi	539.097	7.564.038	322
20	02105016-4	Linzor	600.703	7.541.412	284
12	02104008-8	Conchi Embalse	538.799	7.564.139	253
21	02105017-2	Toconce	585.894	7.537.639	219
24	02105020-2	Salado embalse	582.062	7.535.392	202
35	02500016-1	Toconao Experimental	602.573	7.435.183	201
23	02105001-6	Río Salado antes junta Curti	578.008	7.536.087	159
22	02105018-0	Ayquina	569.640	7.536.478	105
16	02105036-9	Mirador Silala	604.450	7.560.768	96
10	02103014-7	Río Siloli antes BT. FCAB	600.230	7.565.333	56
41	02240002-9	Quebrada La Chimba	357.589	7.393.912	44
15	02105037-7	Hito Silala	599.220	7.563.355	35
11	02103012-0	Silala	599.877	7.564.957	6
44	02710003-1	Antofagasta	358.534	7.389.666	6

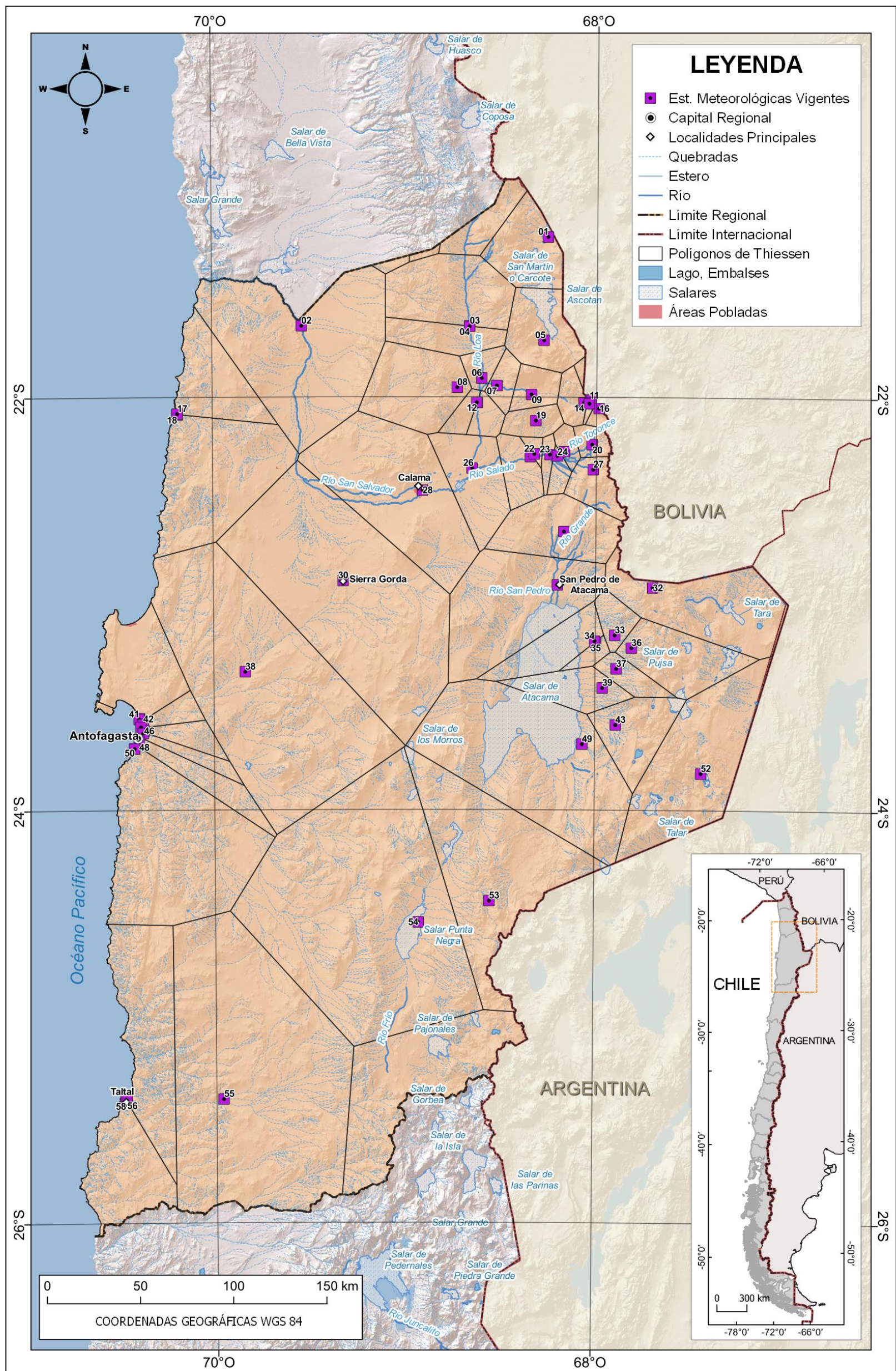


Figura 9.9 Polígonos de Thiessen estaciones meteorológicas, Región de Antofagasta

10 ANÁLISIS DE CALIDAD

10.1 Red Hidrométrica

Del análisis de los registros de caudales medios de las estaciones críticas definidas en la Región de Antofagasta, se construye la Tabla 10.1, donde se presenta la siguiente información para cada estación: Año de inicio y término de los registros, duración total de funcionamiento de la estación, cantidad de años con data completa e incompleta y cantidad de meses que poseen registros completos e incompletos. En las últimas 3 columnas se agregaron las relaciones entre años completos e incompletos, meses completos e incompletos, cantidad de cortes que existen en los registros y la relación entre estos y la data total. Estos parámetros permiten definir la calidad de los valores registrados por cada estación, ayudando a conocer la confiabilidad de ésta como crítica.

Se observa que en general la relación a nivel anual entre la data completa y total no cumple para ninguna estación con el mínimo establecido de un **75%**, donde además se aprecia que la gran mayoría de las estaciones presenta un índice cercano de 56%, llegando en el caso de la estación Río Loa en Angostura (ID 20) apenas a un 33%.

A nivel mensual, se estableció el porcentaje mínimo aceptable en **75%**. Esta relación presenta índices mayores al referente determinado en la mayoría de las estaciones críticas de la región, con el valor más bajo nuevamente en Río Loa en Angostura con un 72%. Esto indica que, si bien las estaciones poseen una buena cantidad de registros, estos presentan cortes frecuentes dificultando encontrar años completos, lo cual es concordante con la relación entre cortes en la data y data total, donde solo una estación cumple con el referente establecido de un índice menor al **20%**.

**Tabla 10.1 Caracterización de la data de caudales medios mensuales para cada estación
Fluviométrica crítica, Región de Antofagasta**

ID	Periodo	Duración de los registros	Años completos	Años incompletos	Años completos / Años totales registro	Meses con datos	Meses sin datos	Meses con datos / Meses totales	Cantidad de cortes en la data
1	1967-2020	54	37	17	0,685	558	90	0,861	17
8	1976-2021	46	35	11	0,761	503	49	0,911	10
11	1975-2017	43	30	13	0,698	474	42	0,919	14
12	1975-2017	43	34	9	0,791	455	61	0,882	5
20	2012-2017	6	2	4	0,333	52	20	0,722	3
24	1976-2019	44	31	13	0,705	479	49	0,907	11

Media	39,3	28,2	11,2	0,66	420,2	51,8	0,87	10,0
Desviación estándar	16,8	13,1	4,4	0,17	183,8	23,1	0,07	5,3
Máxima	54	37	17	0,79	558	90	0,92	17
Mínima	6	2	4	0,33	52	20	0,72	3

Escala	Cumple	No cumple
---------------	--------	-----------

11 RESUMEN FICHAS DIAGNÓSTICO

Para la presentación de la información de diagnóstico de las estaciones críticas seleccionadas se elaboraron fichas de resumen de diagnóstico. Las fichas se elaboraron con la información recopilada desde bases de datos SIG, entrevistas con los jefes regionales, estadística de la DGA y las visitas a terreno..

Cada ficha resume las siguientes características de las estaciones:

- I. Identificación
- II. Equipamiento
- III. Estadística general
- IV. Descripción de obras existentes y deficiencia en infraestructura
- V. Eventos extremos
- VI. Mapa general
- VII. Población vulnerable
- VIII. Diagnóstico final

La Figura 11.1 a Figura 11.3 muestran el ejemplo de ficha de la estación río Loa antes represa Lequena. Las fichas resumen de las estaciones críticas de la región se encuentran en el **Anexo 10**. Las estaciones críticas seleccionadas corresponden a las siguientes:

1. Río Loa antes represa Lequena
2. Río Loa en salida embalse Conchi
3. Río Salado antes junta Curti
4. Río Salado en sifón Ayquina
- 5. Río Loa en Angostura (pendiente de visita)**
- 6. Río San Pedro en Cuchabrachi (pendiente de visita)**
- 7. El Tatio**
- 8. Sierra Gorda (pendiente de visita)**
- 9. Toconao Quebrada 1 (pendiente de visita)**
- 10. Aguas Verdes (pendiente de visita)**


FICHA TÉCNICA ESTACIÓN		
I. IDENTIFICACIÓN		
Nombre Estación	Río Loa antes represa Lequena	
Código BNA	02101001-4	
Coordenadas WGS84 UTM 19 S	Coordenada Norte (m)	Coordenada Este (m)
	7.605.223	534.963
Cuenca	Río Loa	
Subcuenca	Río Loa Alto (bajo junta río Salado)	
Región / Comuna	Antofagasta / Calama	
Tipo	Fluviométrica y Meteorológica	
II. EQUIPAMIENTO		
Sensor piezométrico	s/i	
Sensor pluviométrico	s/i	
Data Logger	s/i	
Transmisión	s/i	
Otros		
III. ESTADÍSTICA		
a. Caudales		
Periodo	1967 - 2020	
Años Válidos	44	
Q med [m ³ /s]	0,58	
Q max [m ³ /s]	51,3 (28/02/2001)	
b. Precipitación		
Periodo	2001 - 2020	
Años Válidos	18	
Pp med [mm/año]	95,4	
Pp max [mm/24h]	94 (18/04/2020)	
		

Figura 11.1 Ejemplo ficha resumen estación crítica Río Loa antes represa Lequena, página 1

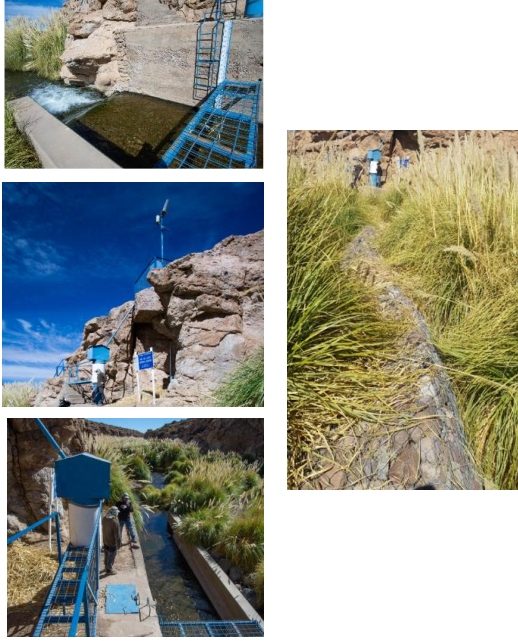
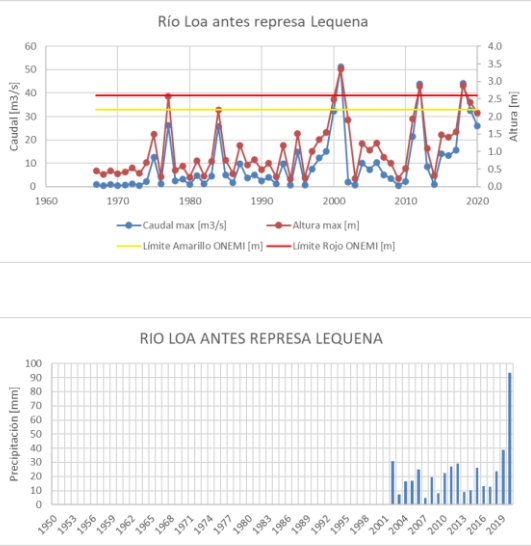
IV. DESCRIPCIÓN DE OBRAS EXISTENTES Y DEFICIENCIA DE INFRAESTRUCTURA	
Año ultima licitación	-
Monto ultima licitación	-
Caudal de diseño [m ³ /s]	-
<ul style="list-style-type: none"> • Acceso: camino de tierra últimos km • Emplazamiento: ubicada en una parte recta de corto desarrollo. Presencia de vegetación aguas arriba y abajo • Estructura: no posee losa de crecidas, sólo un canal de estiaje. Últimas crecidas volcaron los gaviones que actúan como obras de defensa • Instrumentación: la estación mide caudales y precipitaciones, tiene sus sensores funcionando • Otros: La estación tiende a acumular sedimento 	
V. EVENTOS EXTREMOS	
<ul style="list-style-type: none"> • La estación es parte del protocolo DGA-ONEMI • Tiene 3 crecidas importantes que han ocurrido los años 2001, 2012 y 2018, superando el límite rojo de alerta, definido en 2,6 m, con crecidas que superaron los 40 m³/s y la máxima de 51,3 m³/s para el año 2001 • Las precipitaciones registradas desde el año 2002 tienen un registro máximo el año 2020, con 93,6 mm en 24 horas 	

Figura 11.2 Ejemplo ficha resumen estación crítica Río Loa antes represa Lequena, página 2

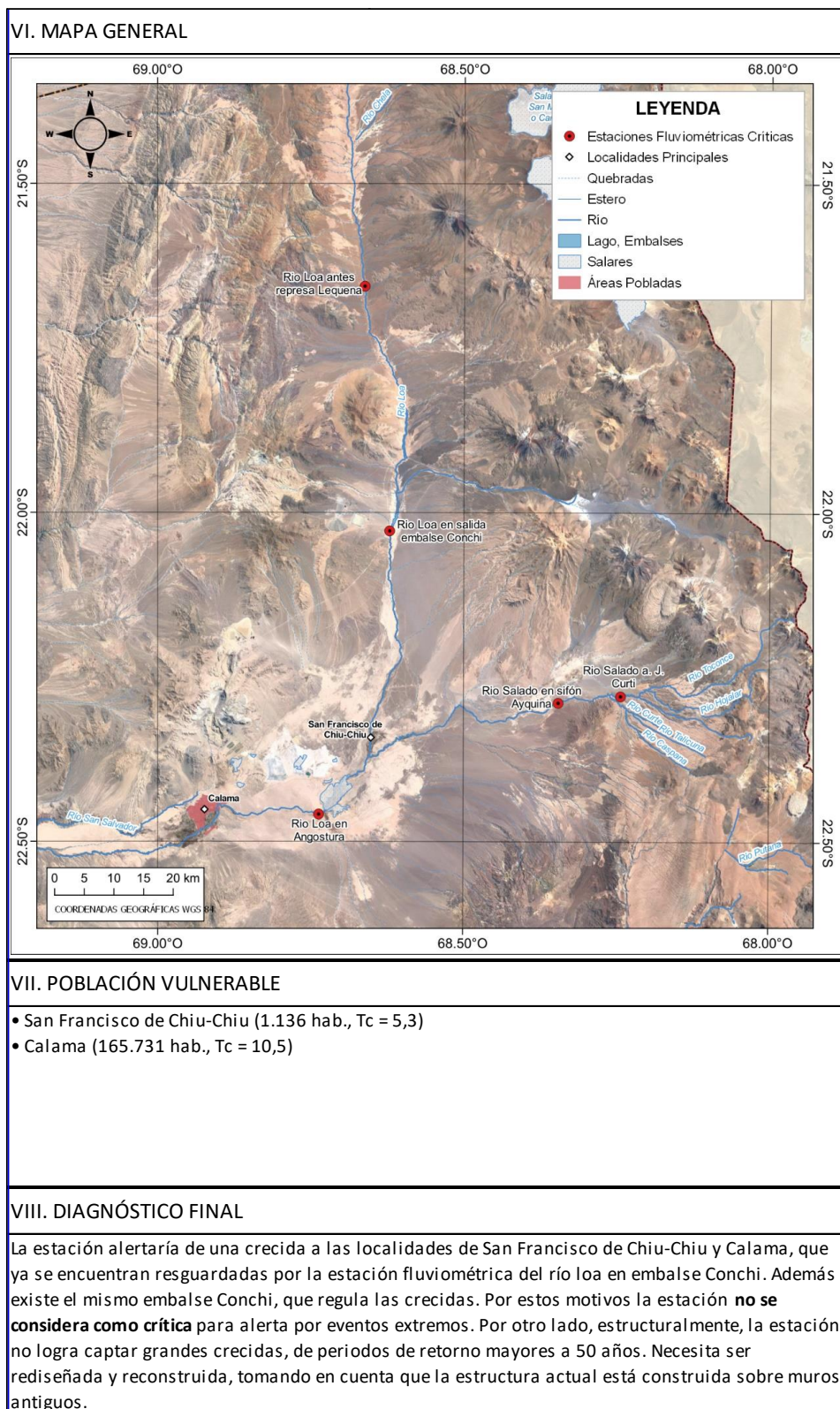


Figura 11.3 Ejemplo ficha resumen estación crítica Río Loa antes represa Lequena, página 3

A modo de resumen, a partir de las fichas de las fichas de diagnóstico de las estaciones seleccionadas en la región se puede comentar lo siguiente.

- **Estadística general:** De las estaciones seleccionadas 5 poseen más de 38 años válidos y 1 estación (Río Loa en Angostura) 3 años válidos. Sobre las precipitaciones, la instrumentación es más reciente, con estadística de entre 0 (Toconao Quebrada 1) y 32 años válidos (Aguas Verdes).
- **Obras existentes y deficiencias:**
 - **Acceso:** Las estaciones tienen un acceso complejo, por la distancia a la que están de los centros poblados, sobre todo si se comienza el viaje en Antofagasta. Otro factor importante es la altitud, todas las estaciones fluviométricas seleccionadas están emplazadas por sobre los 2.500 msnm, llegando hasta alrededor de 3.300 msnm (Río Loa antes represa Lequena). Las estaciones meteorológicas se ubican desde los 1.600 msnm (Sierra Gorda) hasta cerca de 4.000 msnm (Toconao Quebrada 1).
 - **Emplazamiento:** De las estaciones seleccionadas 2 (Río Loa en salida embalse Conchi y río Salado en sifón Ayquina) están correctamente emplazadas frente al cauce. En cuanto a las estaciones Río Loa antes represa Lequena y Río Salado antes junta Curti tienen un mal posicionamiento. Las estaciones Río Loa en Angostura y Río San Pedro en Cuchabrachi no fueron visitadas por lo que no se tiene mayores antecedentes.
 - **Estructura:** De las estaciones seleccionadas 2 (Río Loa en salida embalse Conchi y río Salado en sifón Ayquina) tienen una estructura regular con algunos detalles Río Loa antes represa Lequena y Río Salado antes junta Curti tienen una mala estructura, como la primera que tiene una sección muy pequeña, y la segunda que tiene un asentamiento de la losa. Las estaciones Río Loa en Angostura y Río San Pedro en Cuchabrachi no fueron visitadas por lo que no se tiene mayores antecedentes.
 - **Instrumentación:** Las estaciones Río Loa en salida embalse Conchi, Río Salado en sifón Ayquina y Río Loa antes represa Lequena poseen una buena instrumentación, correctamente instalada. La estación Río Salado antes junta Curti no está funcionando, por lo que se considera el estado de instrumentación como malo. Las estaciones Río Loa en Angostura y Río

San Pedro en Cuchabrachi no fueron visitadas por lo que no se tiene mayores antecedentes.

- **Otros:** Un problema recurrente en las estaciones de la región es el embancamiento por sedimentos que llegan generalmente finos que se depositan y en tiempos de crecidas rocas más grandes. Cerca de los centros poblados existen problemas de vandalismo, como la estación Río Loa en Angostura, que aún no ha sido reparada.
- **Población vulnerable:** Dentro de la población vulnerable que se alertaría se cuentan las comunas y localidades de: Calama, Taltal, San Pedro de Atacama, Sierra Gorda, Peine, San Francisco de Chiu-Chiu, Baquedano, Toconao, Caspana, Río Grande y Toconce, alertando a un total de 205.115 habitantes.
- **Diagnóstico final:** Las estaciones seleccionadas lograrían alertar a una gran cantidad de población que sería susceptible a eventos hidrometeorológicos extremos. Sin embargo, a las estaciones se les debe mejorar detalles como: las estructuras antiguas y deficientes, ubicación de los instrumentos y cierres para dar seguridad a la estación completa.

12 RED HIDROMÉTRICA CRÍTICA FINAL

A partir de todos los análisis anteriores, se definió la red hidrométrica crítica final de la región. Dicha red contiene estaciones existentes, estaciones nuevas propuestas y estaciones de "apoyo" que son estaciones que los jefes regionales de hidrología consideran de ayuda en la caracterización de las crecidas.

Algunas de las estaciones críticas preliminares fueron descartadas por motivo de que no se consideró que fueran de gran aporte en la generación de alertas a la población vulnerable ante eventos hidrometeorológicos extremos. Algunas de las estaciones descartadas son importantes en la región, ya sea por su ubicación o que son muy regulares, por lo que se consideraron como estaciones de "apoyo", para poder dar una mejor caracterización a las crecidas que se podrían generar en las distintas cuencas de la región.

1. **Río Loa antes represa Lequena (Estación de Apoyo):** 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 en imágenes satelitales no existen localidades vulnerables aguas abajo hasta la siguiente estación fluviométrica del río. Otra cosa observada en terreno es que la estación sólo cuenta con un canal de estiaje, no mide crecidas, por lo que la estación queda inundada fácilmente. Es posible ver los gaviones en mal estado que dan un indicio del diseño de la estación para pequeños periodos de retorno.
2. **Río Salado antes junta Curti (Estación de Apoyo):** 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 en imágenes satelitales no existen localidades vulnerables aguas abajo hasta la siguiente estación fluviométrica del río. Esta estación no se encuentra operativa y en terreno se observó que presenta una sección de aforo deficiente, con la losa asentada y una sección con estructuras que no corresponden a una sección de aforo.

12.1 Estaciones Críticas Finales

A continuación, se resumen los argumentos por los cuales se seleccionaron las estaciones críticas finales y observaciones importantes de sus falencias.

1. **Río Loa en salida embalse Conchi:** 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 en imágenes satelitales es posible distinguir la población vulnerable en San Francisco de Chiu-Chiu, luego más abajo sigue la estación fluviométrica río Loa en Angostura y finalmente la ciudad de Calama. Esta estación queda aguas abajo del embalse Conchi, cuerpo de agua que regula el cauce natural del río, pero de todas maneras se han registrado grandes crecidas, esto va a depender del estado de la capacidad del embalse. En la visita a terreno se observa que la estación tiene buenas dimensiones, pero posee muros delgados que podrían fallar en una crecida grande. A pesar de todo esto, se considera que la estación entrega información valiosa para generar una alerta por crecidas generadas en la parte alta de la cuenca del río Loa.
2. **Río Salado en sifón Ayquina:** 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 en imágenes satelitales no se observaron poblaciones que sean vulnerables hasta la siguiente estación fluviométrica (río Loa en Angostura). Sin embargo, esta es la última estación de la cuenca del río Salado, por lo que da información valiosa sobre una crecida proveniente desde este lado. En la visita a terreno se observaron problemas como flujo subterráneo por debajo de la losa, que fueron reparados en trabajos posteriores. Además, se evidencia en terreno que las crecidas llegan hasta los 6 m de altura, pasando muy por encima de la estación, lo que hace necesario un rediseño de la estación para un periodo de retorno más alto.
3. **Río Loa en Angostura:** Esta estación es la última antes de la ciudad de Calama, está a una distancia tal, que significa un tiempo de respuesta de 1,4 horas. La estación fue instalada en el año 2012 y estuvo vigente hasta el 2017. Actualmente se encuentra fuera de operación y ha sido vandalizada. La estación no pudo ser visitada, por lo que no se disponen de mayores antecedentes sobre su estado.
4. **Río San Pedro en Cuchabrachi:** Esta estación está ubicada aguas arriba de la localidad de San Pedro de Atacama, por el río San Pedro, está a una distancia tal que significa un tiempo de respuesta de 0,9 horas. La estación tiene 52 años válidos, pero actualmente se encuentra fuera de operación (desde 2015). La estación no pudo ser visitada, por lo que no se disponen de mayores antecedentes sobre su estado.

5. **El Tatio (Meteorológica):** Esta estación está ubicada en la cabecera de la cuenca del río Salado. Actualmente está vigente, y daría estimaciones de crecidas para las localidades de Toconce (2,8 horas tiempo de concentración), Caspana (2,6 horas), Río Grande (3,7 horas) y San Pedro de Atacama (6,5 horas). La estación no pudo ser visitada, por lo que no se disponen de mayores antecedentes sobre su estado.
6. **Sierra Gorda (Meteorológica):** Esta estación está ubicada en la parte media de la Quebrada de Caracoles. Actualmente está vigente, y daría estimaciones de crecidas para las localidades de Sierra Gorda y Baquedano, con tiempos de concentración de 6,4 y 23 horas, respectivamente. La estación no pudo ser visitada, por lo que no se disponen de mayores antecedentes sobre su estado.
7. **Toconao Quebrada 1 (Meteorológica):** Esta estación está ubicada en una parte alta de las quebradas aportantes al Salar de Atacama, cerca del poblado de Toconao. Actualmente está vigente, y daría una estimación de la crecida sobre las localidades de Toconao y Peine, con tiempos de concentración de 6 y 4 horas, respectivamente. La estación no pudo ser visitada, por lo que no se disponen de mayores antecedentes sobre su estado.
8. **Aguas Verdes (Meteorológica):** Esta estación está ubicada en la parte media de la Quebrada de Taltal. Actualmente no está vigente, y daría una estimación de la crecida sobre la ciudad de Taltal, con 22 horas de tiempo de concentración. La estación no pudo ser visitada, por lo que no se disponen de mayores antecedentes sobre su estado.

12.2 Estaciones Nuevas

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

En el caso de la Región de Antofagasta se propone la instalación de una estación meteorológica nuevas.

- Camino a salar de Pajonales

12.3 Red Hidrométrica Crítica Final

La Figura 12.1 muestra la configuración de la red hidrométrica final compuesta por las siguientes estaciones.

- Estaciones fluviométricas
 - Río Loa en salida embalse Conchi
 - Río Salado en sifón Ayquina
 - Río Loa en Angostura
 - Río San Pedro en Cuchabrachi
- Estaciones meteorológicas
 - El Tatio
 - Sierra Gorda
 - Toconao Quebrada 1
 - Aguas Verdes
- Estación meteorológica nueva
 - Camino a salar de Pajonales
- Estaciones de apoyo
 - Río Loa antes represa Lequena
 - Río Salado antes junta Curti

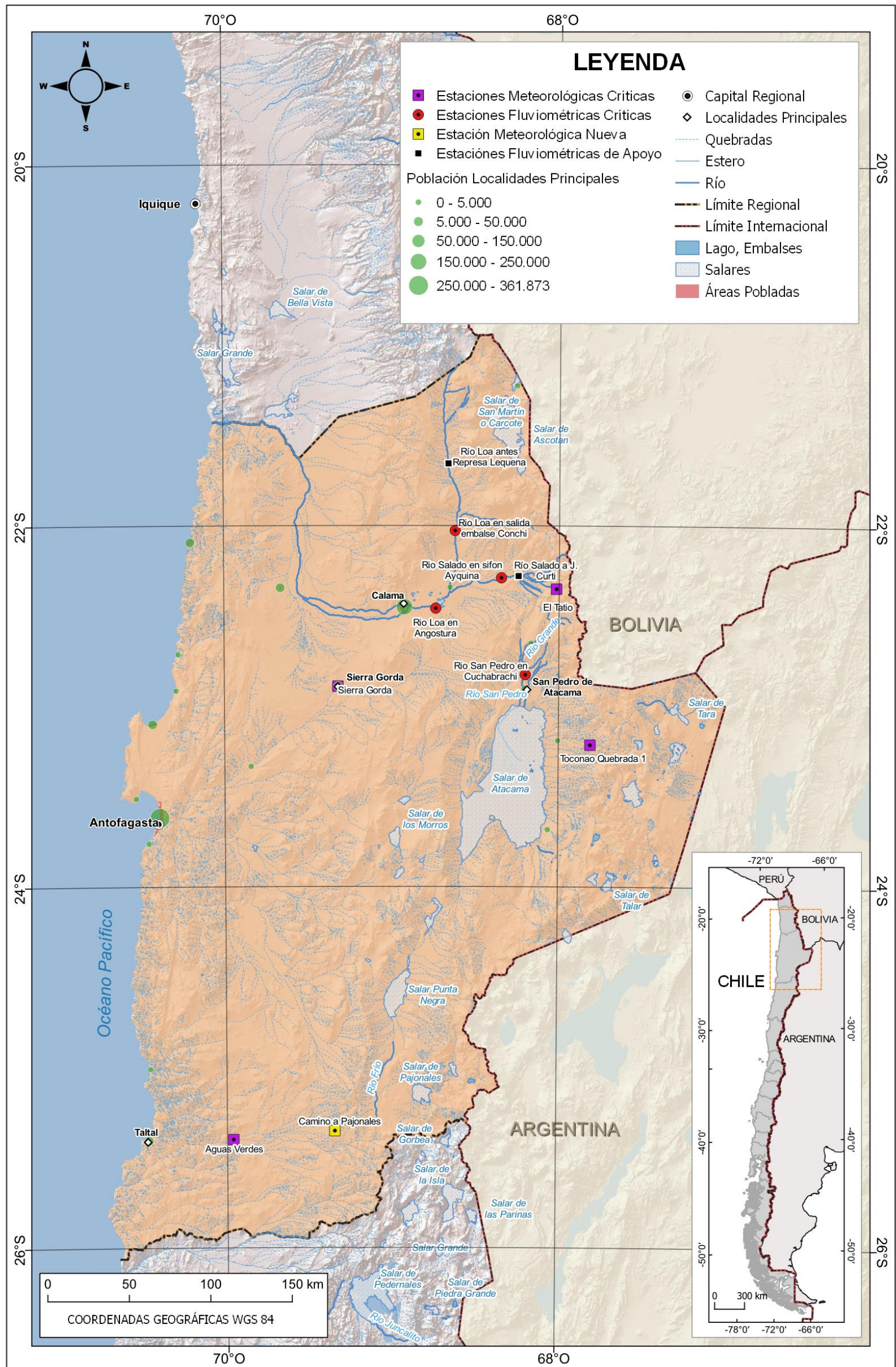


Figura 12.1 Red Hidrométrica crítica final

13 PLAN DE ACCIÓN RED HIDROMÉTRICA

13.1 Estación Estándar

13.1.1 Estación meteorológica estándar

A continuación, se detalla y describe los instrumentos de medición, el sistema de transmisión, la estructura y seguridad, que debería contar una estación meteorológica pensando en un estándar idóneo de monitoreo para proteger a la población.

Estructura y seguridad

- Caseta

La caseta meteorológica (denominada Caseta tipo DGA) es una garita utilizada por la DGA para contener/resguardar el datalogger, batería y otros instrumentos necesarios para las mediciones atmosféricas.

Se deberá confeccionar e instalar la caseta para datalogger con pedestal de acuerdo al plano tipo DGA, se instalará mediante la construcción de fundación de hormigón de superficie 0,5x0,5m y profundidad de 0,50 m.

Las dimensiones de la caseta son 0,6 m de alto en los extremos, 0,75 m de alto en el centro, 0,90 m de ancho y 0,50 m de fondo.

Se deberá considerar la instalación de revestimiento interior mediante el uso de polietileno expandido de 30 mm de espesor y terciado marino de 10 mm de espesor.

Tendrá detalle de cerrojo de seguridad (previo a la instalación será aprobado por el IF a cargo del proyecto).

- Torre meteorológica (incluye soporte de instrumentos)

Esta torre es una estructura en la cual se colocan los instrumentos meteorológicos. Varía por los instrumentos que se utilizarán en cada estación meteorológica, debe estar acondicionado con un sistema de señales, de transmisión y de registro.

Respecto a la fundación de la torre, esta debe ser de hormigón estructural, en la que se empleará árido grueso con tamaño máximo de 1". El hormigón será de grado G20, NC 90. Cualquiera sea el modo de colocación, el hormigón deberá compactarse por vibración.

El hormigón deberá ser colocado antes de 60 minutos, medidos desde la salida de la hormigonera. El sistema de transporte será tal que permita una colocación continua. No se deberán aceptar interrupciones del hormigonado de más de 15 minutos.

El asentamiento de cono no deberá ser más de 7,0 cm. Se permitirá el uso de aditivos para hormigón, retardantes y/o plastificantes cuando sean aprobados por un IF.

La temperatura del concreto no debe ser mayor a los 32°C en el momento de colocarlo.

La torre debe ser un poste metálico de 4" de diámetro y 4,0 m de altura, debe tener un soporte de caseta metálica, antena, panel solar y sensores, con placa metálica en su base para fijación. Se deben considerar 0,50 m para instalar bajo el terreno. Además, se deben considerar 2 brazos metálicos de un metro de largo para adosar al poste metálico mediante un sistema que permita desmontaje, el objetivo es que permita alojar sensores a 1,5 m desde la base del poste.

- Cerco perimetral

El cerco es la estructura que permite limitar el acceso a la estación (de personas y animales), previniendo accidentes y el mal uso o el robo de la instrumentación.

Se deberá considerar la instalación del cerco metálico malla Eurofence (12 ml), el cual deberá instalarse perimetralmente a la caseta metálica y con postes metálicos de diámetro de 3".

Deberá tener una altura de 1,8 m y configurar un cuadrante de 3,0 x 3,0 m (9 metros cuadrados). Cabe destacar que la altura se considerada podría sufrir modificaciones debido a la zona donde se encuentra emplazada la estación, así como también las medidas de seguridad asociadas.

- Pintura

Se deberán pintar todas las estructuras metálicas con dos manos de antióxido y dos manos de pintura Triple Acción Metal de acuerdo a los colores especificados en la Tabla 13.1.

Tabla 13.1 Especificaciones técnicas pintura

Pintura estructuras		
Tipo estructura	Color	Descripción
Torres metálicas	Azul pacifico	Triple acción
Hormigones	Blanco	Caucho clorado 30R
Caseta tipo DGA	Azul pacifico	Triple acción
Mástil	Azul pacifico	Triple acción
Cerco malla Euroforence 2,50x2,50m Alt. 1,80 m	Azul pacifico	Triple acción

- Letrero identificación estación

El letrero de identificación de la Estación Meteorológica debe cumplir con los estándares actuales de la DGA. Forma rectangular apaisada de 120 x 70 cm. Plancha de 2,5 mm de espesor, cubierto en toda su extensión con lámina reflectiva Tipo I o superior según Norma ASTM 4956. Debe poseer tratamiento anticorrosivo, letras tipo vial, con el logotipo del MOP y DGA, entre otras. A continuación, se presentan las características principales.

Tabla 13.2 Especificaciones técnicas letrero de identificación

Letreros de identificación para estaciones Fluviométricas o Hidrometeorológicas		
N°	Características	Exigencias
1	Forma	Rectangular apaisada 1,20 x 0,70 m
2	Plancha	Acero laminado en caliente de 2.5 mm de espesor, galvanizado en caliente, según Norma ASTM 123, con un mínimo de 65 µm (micras) de espesor. Además, debe contar con perforaciones para su soporte en los postes Omega.
3	Anverso	El fondo de la placa deberá cubrirse con lámina reflectante al menos Tipo I de acuerdo a la Norma ASTM 4956 de color blanco o Vinilo fundido autoadhesivo de 2.0 milésimas de pulgada de grosor, con adhesivo sensible a la presión y removible con calor, ambas láminas deben ser compatibles con impresión digital con tintas solventes e impresión con equipos electrostáticos. Los símbolos y leyendas se realizarán mediante impresión digital con tintas solventes e impresión con equipos electrostáticos. La señal además deberá contar con una lámina para la protección contra los rayos UV.
4	Color Fondo	Azul: Modelo de color RGB, Rojo:68, Verde:114, Azul:196
5	Letras y Dimensiones	Tipo: gobCL, color blanco. Texto 1: Estación Fluviométrica, altura de letra mínima 35 mm, centrado, en una línea. Texto 2: Nombre Estación, altura de letra mínima 40 mm, según la extensión del texto debe ser ajustado en 2 líneas, negrita, centrado. Texto 3: Información Estación, altura de letra mínima 35 mm, centrado. Iconos de medición: centrados.
6	Logotipo	MOP/DGA, Red Hidrométrica Nacional e Iconos de Medición serán proporcionados por DGA, según estación.
7	Código QR	Será proporcionado por DGA, según estación.
8	Postes	2 postes del tipo Omega de 3,0 m, 2,5 mm de espesor con tratamiento anticorrosivo mediante galvanizado en caliente, según Norma ASTM 123, con un mínimo de 65 µm (micras) de espeso
9	Fundaciones Postes	Corresponderá a Hormigón G-10 o H-10.
10	Fijaciones	8 pernos por letrero (tuercas y golillas, 4 por poste). Pernos zincados de 6,0X64 mm, tuercas zincadas.



Figura 13.1 Letrero tipo identificación estación

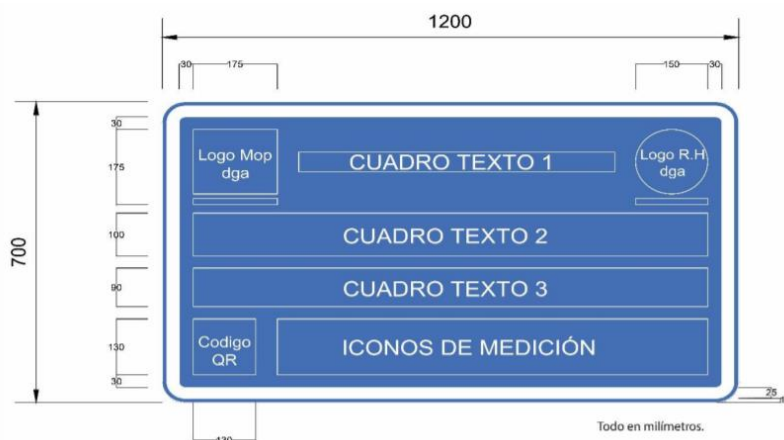


Figura 13.2 Dimensiones letrero tipo identificación estación

- Letrero de peligro

El letrero de peligro advierte y debe prevenir la circulación peatonal o vehicular en el recinto de la estación meteorológica. Debe cumplir con los estándares actuales del MOP y la DGA.

Las placas deben cubrirse por el anverso con lámina retrorreflectante color blanco Tipo I o superior según Norma ASTM 4956. Los símbolos y letras podrán ser elaborados de las siguientes formas:

1. Confección de plantilla para las letras y autoadhesivo para los 3 logotipos (Ministerial, D.G.A. y Calavera de Peligro) que se incluyen, o
2. Confección con autoadhesivo único que incluye las letras y logotipos.



Figura 13.3 Letrero tipo peligro estación

Los textos deben ser considerando los colores que se presentan en la Tabla 13.3.

Tabla 13.3 Especificaciones Letrero de Peligro

Peligro	Rojo
Prohibido el uso y acceso a personas no autorizadas	Negro
La Dirección General de Aguas no se responsabiliza por accidentes ocurridos en sus instalaciones.	Azul

- Letrero advertencia de inundación y Letrero de vía de evacuación

El letrero de advertencia de inundación es para prevenir la circulación peatonal o vehicular en zonas de peligro (Figura 13.4).

El letrero de vía de evacuación tendrá como función indicar la dirección de evacuación hacia las zonas seguras durante los eventos extremos (Figura 13.5).

Los letreros deberán cumplir con el ícono y textos en un vinilo reflectivo, estarán en planchas de aluminio de 800 x 600 mm de 2,5 mm de espesor, con esquinas redondas. La cara posterior se terminará con 2 manos de pintura gris y la cara anterior se terminará con lámina reflectante Tipo: alta densidad.

Los postes de sustentación serán de un perfil de acero galvanizado, tipo omega de 110 mm de ancho, 38 mm de alto y 2,5 mm de espesor y se protegerán con 2 manos de esmalte negro.

El largo será de 3.000 mm y será reforzado con una lámina de acero de 2,5 mm de espesor, 80 mm de ancho y 1.750 mm de longitud, que se extenderá a partir de 920mm de la parte superior y alcanzará a 300mm de la extremidad interior.

Las placas se deberán fijar a los postes con pernos zincados de 6,0 x 64 mm, las tuercas también serán zincadas y ambos deberán estar ajustados según lo dispuesto en la NCH 301.



Figura 13.4 Letrero tipo zona de inundación

Diseñado por C. Bravo; R. Pardo, N. Salamanca & A. Fuentealba (2021). UTP INRHED -EMERGE.



Figura 13.5 Letrero tipo de vía de evacuación

Diseñado por C. Bravo; R. Pardo N. Salamanca & A. Fuentealba (2021). UTP INRHED -EMERGE.

Instrumentos

- Plataforma satelital

La plataforma satelital sirve para la transmisión inalámbrica de los datos. Se recomienda el uso de una plataforma de instalación fija, con una manga de montaje que sea de fácil instalación a un mástil externo.

Se recomienda un datalogger, que venga en conjunto con la plataforma satelital. El datalogger es un registrador de datos remoto para las estaciones meteorológicas y su finalidad es proporcionar acceso instantáneo a datos ambientales específicos del sitio en cualquier lugar.

Tabla 13.4 Especificaciones técnicas plataforma satelital

Plataformas satelitales		
N°	Características	Exigencias
1	Rango voltaje de entrada	Operable en el rango 11 volt a 14 volt
2	Temperatura de operación	A lo menos -40°C a +50°C
3	Humedad	A lo menos 0% a 85% H/R (no condensado)
4	Consumo horario de la plataforma	Stand-by máximo 30 mA
		Uso GPS inferior o igual 355 mA, y transmisión (en base a 300Bd) máximo 4,5A
5	Software	Basado en Windows
6	Software aplicación	Incluido para cada equipo en español y/o inglés, con sus respectivas licencias en caso de ser necesario. Debe trabajar en Windows XP y 7 como mínimo
7	Status	Leds indicadores
8	Cable comunicación	Debe incluir cable de comunicación a puerto USB del computador
Eta de Almacenamiento de datos		
1	Memoria de almacenamiento	Mínimo 2MB, y tarjeta electrónica o similar: para rescate de datos (Incluida)
2	Intervalos de grabación	Mínimo 5, 15, 30 min.; 1, 12 y 24 hrs
3	Tipo y cantidad de señales de entrada de datos	A lo menos 12 canales SDI-12 (lógicos), 1 canal de pulso y 4 entradas de Voltaje
4	Precisión de reloj	Máximo 1 min/mes
5	Procesos	Debe contar con la posibilidad de añadir offset (pendiente y constante de la recta) por parámetro
6	Extracción de archivos	Texto sin codificar, TXT, EXCEL o CSV
Eta de Transmisión		
1	Satélite	GOES CS2
2	Certificación	NESDIS (Incluir certificado)
3	Velocidad de transmisión	Compatible con sistema satelital GOES de la NOAA. (al menos con 300 Bd)
4	Mantenimiento horario	Con GPS
5	Potencia de salida	Compatible con satélite GOES
6	Rango frecuencia	Cubre al menos 401,701 (CH01) a 402,0985 (CH266) MHZ
7	FailSafe	Reset físico o por software
8	Protocolo	ASCII
9	Rango voltaje de entrada	Operable al menos en el rango 11 volt a 14 volt
10	Mensaje transmisión	Deseable sin codificar. En caso contrario, incluir proceso de decodificación.
11	Accesorios por transmisor	Antena de transmisión con mínimo 8 metros de cable; Antena GPS mínimo 5 metros de cable
12	Conector antena transmisión	Tipo N o Adaptador a N (Salida a RF)

- Panel Solar

Proporciona energía a la estación meteorológica, aprovechando la energía solar para su carga y generando energía electricidad durante las 24 horas del día. Se consideró para el presupuesto un panel solar de 40w.

Tabla 13.5 Especificaciones técnicas Panel Solar

Paneles solares 40 watts y 12 volts		
N°	Características	Exigencias
1	Potencia máxima ($P_{m\acute{a}x}$)	Mínimo 40 Watts
2	Corriente de carga	Mínimo 2,3 A
3	Voltaje a circuito abierto (VOC)	Mínimo 17 Volts
4	Celda	Policristalino o Monocristalino
5	Regulador de voltaje y protecciones	Compatible para el panel solar con salida a 12 V (incluido)
6	Temperatura de operación	Al menos -40°C a +50°C
7	Peso	Máximo 8 kilogramos
8	Cable	Mínimo 10 m de longitud con conductores diferenciados (ej.: colores, números, etc.) Debe venir conectado al panel solar.
9	Soporte y protección	Brazo ajustable en azimut-elevación para mástil de 2 ^{1/4} a 3 ^{1/4} pulgadas de diámetro. Alta resistencia a la acción del viento y condiciones climáticas extremas. El sistema de soporte debe venir instalado al panel.

- Batería

Las baterías son necesarias para guardar la carga del panel solar. Se contempla una batería de tipo 55Ah. En la Tabla 13.6, se presentan las especificaciones técnicas contempladas.

Tabla 13.6 Especificaciones técnicas Batería 55Ah

Batería 55Ah		
N°	Características	Exigencias
1	Tipo	12V/55 Ah. Sellada de libre de mantención
2	Voltaje nominal	12 V
3	Capacidad nominal mínima	Capacidad nominal mínima 20 hrs a 2.75 A 10.5V, 55Ah
4	Temperatura operación	Mínimo -5°C a +50°C (carga y descarga)
5	Ciclo de vida	Mínimo 500 ciclos
6	Peso máximo	20 kg
7	Dimensiones máximas	300mm x 300mm x 200mm
8	Calidad	Alta calidad en componentes y operación, Tipo PowerSonic, Hace, entre otras.

- Pluviómetro

El pluviómetro es el instrumento empleado para la recolección y medición de datos de precipitaciones. Se considera que las estaciones meteorológicas deben tener un pluviómetro que mida de modo fiable y preciso tanto la cantidad, como intensidad de precipitaciones en estado líquido, sólido y mezclado. Se recomienda para las estaciones meteorológicas un pluviómetro al menos con las características descritas en la Tabla 13.7.

Tabla 13.7 Especificaciones técnicas pluviómetro

Sensor de Precipitación		
N°	Características	Exigencias
1	Tipo	Tippingbucket
2	Resolución o peso pulso	0,1 mm
3	Peso	Máximo 4 kg
4	Diámetro colector	≤ 12 pulgadas
5	Altura máxima	Máximo 65 cm
6	Temperatura de operación	al menos de 0°C a +50°C
7	Error de medición	≤ 5%
8	Largo cable comunicación	≥ 8 m
9	Señal de salida	Pulso
10	Soporte y protección	Fijación para instalación en mástil de 2 1/4 a 3 1/4 pulgadas de diámetro que otorgue alta resistencia a la acción del viento y condiciones climáticas extremas

- Sensor de Precipitación disdrómetro

El disdrómetro es un instrumento utilizado para medir la distribución del tamaño de la gota y la velocidad de las precipitaciones que caen. Se recomienda utilizar disdrómetro para estaciones que se encuentren en zonas de transición (entre la precordillera y cordillera). En la Tabla 13.8 se presentan las características mínimas a considerar.

Tabla 13.8 Especificaciones técnicas disdrómetro

Sensor de Precipitación y Disdrómetro		
N°	Características	Exigencias
1	Tipo	Radar
2	Consumo	≤ 100 mA
3	Peso	Máximo 1 kg
4	Protección	Al menos IP 65
5	Temperatura de operación	Al menos -20°C a +50°C
6	Error de medición	≤ 10%
7	Largo del cable	≥8 metros
8	Tipo de precipitación	Al menos discriminar, nieve, lluvia y granizo
9	Señal de salida	SDI - 12
10	Alimentación	Operable a 12 Volts
11	Soporte y protección	Fijación para instalación en mástil o brazo

- Sensor de Temperatura y Humedad

El termómetro es un instrumento empleado para medir la temperatura a diversas horas del día en una estación. Se considera para las estaciones meteorológicas un transmisor de temperaturas con las características descritas en la Tabla 13.9.

Tabla 13.9 Especificaciones técnicas sensor de temperatura y humedad

Sensor de Temperatura y Humedad		
N°	Características	Exigencias
1	Alimentación	Operable a 12 Volt
2	Rango de medición	A lo menos: -20°C a +50°C. 0% a 100% Humedad Relativa del aire.
3	Precisión de temperatura	≤ ± 0,5°C
4	Precisión de humedad	≤ + 5% de humedad
5	Señal de salida	SDI-12
6	Consumo	Máximo 25 mA
7	Cable conexión	Largo ≥8 metros y conductores diferenciados (ej: colores, números, etc.)
8	Protección	Pagoda protección solar incluida
9	Soporte	Fijación para instalación en mástil de 2 1/4 a 3 1/4 pulgadas de diámetro que otorgue alta resistencia a la acción del viento y condiciones climáticas extremas

- Diseño de Estación Meteorológica

Se considera dos tipos de estaciones, la estación meteorológica estándar que contempla un pluviómetro para la medición de precipitaciones líquidas y la estación meteorológica de transición, esta última estará ubicada en sectores que estén a

mayor altitud y presentará un disdrómetro para medir precipitaciones líquidas y sólidas.

En la Tabla 13.10 muestra el presupuesto final asociado a la construcción de la estación meteorológica estándar con la opción de un pluviómetro convencional y la ** Los letreros de zona de inundación y de vía de evacuación serán emplazados cercano a poblaciones vulnerables.

Tabla 13.11 el presupuesto asociado a la opción de un disdrómetro (para zonas de transición de precipitación).

Tabla 13.10 Presupuesto estación meteorológica estándar, pluviómetro convencional

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P.U.	Total
1	Estructura				
1.1	Instalación de Faena	un	1	\$ 988.000	\$ 988.000
1.2	Limpieza y Despeje del Terreno	un	1	\$ 590.200	\$ 590.200
1.3	Pollos de hormigón H-25	un	6	\$ 35.000	\$ 210.000
1.4	Torre Meteorológica 4 m (incluye soporte de instrumentos)	un	1	\$ 749.372	\$ 749.372
1.6	Pintura	un	1	\$ 757.055	\$ 757.055
1.7	Cerco Perimetral 3,0m x 3,0m	gl	1	\$ 1.615.172	\$ 1.615.172
1.8	Letrero de Identificación de la Estación	gl	1	\$ 455.000	\$ 455.000
1.9	Letrero de Peligro	gl	1	\$ 78.000	\$ 78.000
1.10	Letrero de Zona de inundación y Vía de Evacuación**	gl	1	\$ 150.952	\$ 150.952
2	Instrumental				
2.1	Plataforma Satelital (incluye transmisor + datalogger y antena)	un	1	\$ 3.104.400	\$ 3.104.400
2.2	Panel Solar 40W	un	1	\$ 113.400	\$ 113.400
2.3	Batería 55AH	un	1	\$ 144.000	\$ 144.000
2.4	Pluviómetro modelo RG1(400), con 10 m de cable	un	1	\$ 624.000	\$ 624.000
2.5	Sensor de Temperatura y Humedad	un	1	\$ 696.000	\$ 696.000
2.6	Caseta tipo DGA	un	1	\$ 1.700.000	\$ 1.700.000
				Total Neto	\$ 11.975.551
				IVA (19%)	\$ 2.275.355
				Total	\$ 14.250.906

** Los letreros de zona de inundación y de vía de evacuación serán emplazados cercano a poblaciones vulnerables.

Tabla 13.11 Presupuesto estación meteorológica estándar, disdrómetro

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P.U.	Total
1	Estructura				
1.1	Instalación de Faena	un	1	\$ 988.000	\$ 988.000
1.2	Limpieza y Despeje del Terreno	un	1	\$ 590.200	\$ 590.200
1.3	Pollos de hormigón H-25	un	6	\$ 35.000	\$ 210.000
1.4	Torre Meteorológica 4 m (incluye soporte de instrumentos)	un	1	\$ 749.372	\$ 749.372
1.6	Pintura	un	1	\$ 757.055	\$ 757.055
1.7	Cerco Perimetral 3,0m x 3,0m	gl	1	\$ 1.615.172	\$ 1.615.172
1.8	Letrero de Identificación de la Estación	gl	1	\$ 455.000	\$ 455.000
1.9	Letrero de Peligro	gl	1	\$ 78.000	\$ 78.000
1.10	Letrero de Zona de inundación y Vía de Evacuación**	gl	1	\$ 150.952	\$ 150.952
2	Instrumental				
2.1	Plataforma Satelital (incluye transmisor + datalogger y antena)	un	1	\$ 3.104.400	\$ 3.104.400
2.2	Panel Solar 40W	un	1	\$ 113.400	\$ 113.400
2.3	Batería 55AH	un	1	\$ 144.000	\$ 144.000
2.4	Sensor Precipitación / Disdrómetro, con 10 m de cable	un	1	\$ 1.050.000	\$ 1.050.000
2.5	Sensor de Temperatura y Humedad	un	1	\$ 696.000	\$ 696.000
2.6	Caseta tipo DGA	un	1	\$ 1.700.000	\$ 1.700.000
				Total Neto	\$ 12.401.551
				IVA (19%)	\$ 2.356.295
				Total	\$ 14.757.846

** Los letreros de zona de inundación y de vía de evacuación serán emplazados cercano a poblaciones vulnerables.

13.1.2 Estación fluviométrica estándar

A continuación, se detalla y describe los instrumentos de medición, el sistema de transmisión, la estructura y seguridad, que debería contar una estación estándar pensando en un estándar idóneo de monitoreo para proteger a la población.

Construcción y Estructura

- Enrocado de entrada y salida

El enrocado es un tipo de defensas fluviales que, se coloca en las estaciones fluviométricas, generalmente en su base para proteger de la erosión de los cauces.

Las piedras o rocas que se usarán en el enrocado deberán ser sanas, sin grietas u otras imperfecciones, y no deben presentar señales de meteorización. Además, deberán ser de formas regulares adecuadas para la ejecución de las obras, evitándose el uso de aquella con forma de cuña.

El volumen de las piedras a usar no deberá ser menor que 40 L, y su menor espesor deberá ser igual o superior a 30 cm. También podrá usarse piedra chancada que cumpla con los requisitos de calidad, forma y tamaños antes indicados.

El mortero para asentamiento de las piedras se hará con una mezcla de una parte de cemento Portland por dos partes de arena en volumen, además se podrá agregar como aditivo, una cantidad de cal hidratada igual al 10% del cemento en volumen. Mientras que el cemento Portland usado deberá cumplir con las normas chilenas de fabricación, envase y transporte, y su almacenamiento en obras.

Las piedras, previamente limpias y mojadas, para asegurar que ellas no absorban agua del mortero, se colocarán asentándolas firmemente sobre una capa de mortero, hasta que la mezcla empiece a salir por la parte inferior y ésta quede fija y estable.

El espesor mínimo del mortero entre los distintos elementos será de 3,0 cm. Los espacios entre las piedras que forman la mampostería deberán ser llenados con piedras chicas o lajas hasta presentar una superficie aproximadamente plana.

Entre el terreno existente y los elementos pétreos y el mortero no deben quedar huecos.

La mampostería deberá mantenerse húmeda durante el trabajo de relleno de las juntas y por lo menos hasta por tres días después del término.

- Gaviones de protección de laderas aguas arriba aguas abajo

Estructuras en forma de canasta rectangular, construidos con una malla metálica de acero inoxidable o hierro galvanizado. Tiene diferentes usos, siendo el más común el control de erosión de ríos y canales.

La construcción de gaviones debe considerar una cama de apoyo, consiste en material del cauce compactado en forma manual cuidadosamente en capas de espesores no mayor a 10 cm.

Previo a la colocación de la cama de apoyo, se deberá emparejar el fondo de la excavación, eliminando gravas o elementos de cantos angulosos.

Además, se debe considerar el relleno del respaldo de muro de gaviones con material del cauce compactado en forma manual, en capas de espesores no mayores a los 15 cm.

La compactación se debe realizar en la superficie de la capa de material en la condición óptima de humedad.

Los gaviones deberán estar constituidos por módulos de forma prismática y sección rectangular, construidos con mallas de alambre, divididos en compartimientos por medio de diafragmas o tabiques interiores del mismo tipo de mallas, y rellenos con piedras o bloques de roca.

Los gaviones deberán tener las dimensiones que se indiquen en cada proyecto, con una tolerancia de $\pm 5\%$.

La malla deberá consistir de un tejido de alambre, con triple torsión dejando aberturas de forma hexagonal alargada de 2,4 mm de diámetro, aceptándose una tolerancia máxima de hasta el 3,0% en el diámetro.

La calidad del acero deberá ser la adecuada para obtener alambres por trefilado. El contenido máximo de carbono será 0,10% y los contenidos máximos de Fósforo y

Azufre serán de 0,04% y 0,05%, respectivamente. La resistencia media a la ruptura por tracción estará comprendida entre 370 MPa y 490 MPa.

Las aristas o bordes de los gaviones deberán ser reforzados para impedir que la malla se deshiele. El alambre a usar en estos refuerzos deberá tener un diámetro al menos un 20% mayor que el de la malla.

El alambre para amarre y para tirantes deberá ser similar al de la malla tanto en lo concerniente a diámetro como la calidad del acero y del recubrimiento de protección.

Todos los alambres empleados en el tejido de las mallas, aristas, tirantes y amarres de los módulos deberán ser galvanizados.

Se utilizarán gaviones galvanizados ejecutados según el procedimiento de inmersión en un baño de zinc fundido con una pureza mínima de 99,15% en peso. El galvanizado tendrá un peso no menor que 240g de zinc por m² de superficie cubierta.

Tabla 13.12 Características Gaviones

Gaviones		
N°	Características	Exigencias
1	Abertura de la malla nominal	80x120 mm
2	Diámetro alambre malla	2,4 mm
3	Diámetro alambre borde	3,0 mm
4	Diámetro de los alambres costuras	2,4 mm
5	Resistencia de los alambres	40-50 kg/mm ²

El armado se debe efectuar a través de la costura de las distintas aristas que conforman los gaviones. Todos deben ir amarrados entre sí, tanto que son adyacentes, como los que están interpuestos. Se recomienda utilizar encofrados metálicos o de madera.

Para el relleno de los gaviones se deberán utilizar piedras naturales de canto o canto vivo, debiéndose evitar utilizar las piedras con aristas vivas en los gaviones en contacto directo con la malla de alambre recubierto. Las piedras deben ser planas, duras y no alterables por el agua o los agentes atmosféricos.

- Canal o sección de aforo

Su función es dirigir el flujo para que los instrumentos puedan medir el caudal que tiene el cauce.

Para la construcción de sección de aforo debe considerarse un ancho y largo según el diseño de la estación. Para la confección de la estación fluviométrica estándar se consideró un ancho de 4 metros y largo de 6 metros. Esta sección debe estar compuesta por un canal de aguas bajas de 1 metro de ancho y 30 cm de profundidad, y una losa de radier de 3 metros de ancho con una pendiente de un 1%. También deben considerarse muros laterales de 1,5 metros de alto y 25 cm de ancho con una longitud de 6 metros. Estos muros deben considerar tanto en aguas arriba como aguas abajo muros de encauzamientos de 1 metro de alto y 25 cm de ancho. Finalmente se deberá considerar enrocado de protección tanto aguas arriba como aguas abajo de la sección de aforo. En la siguiente figura se aprecian la ubicación de esta obra.

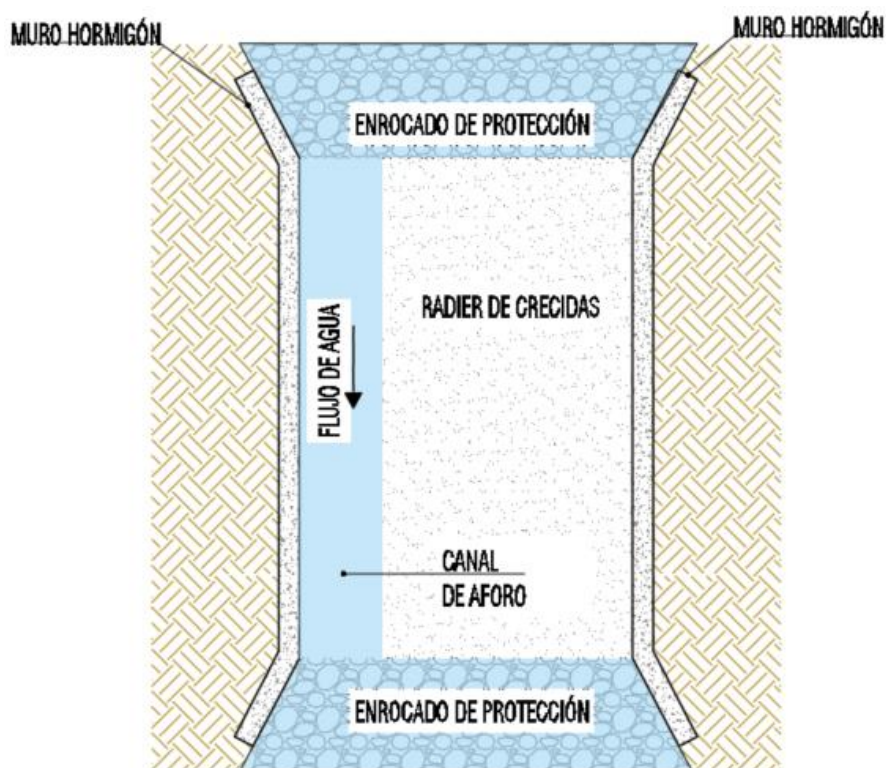


Figura 13.6 Sección de Aforo

- Losa o radier de crecida

Canal hecho en una estación fluviométrica, el cual debe aguantar un caudal de crecida mínimo de T=50 años. Su sección depende del diseño de la estación. Para la estación fluviométrica estándar se consideró con un ancho de 3,0 metros y una pendiente de un 1%, según lo mencionado en el punto anterior.

- Muros guía o estructurales

Sirven para mantener una sección de control en la estación fluviométrica. Generalmente, se construyen con hormigones de alta resistencia, por ejemplo: hormigón de G-30. En el punto de sección de aforo se hace mención de las medidas que se recomienda para los muros guías.

- Estructura para instalación del sensor de nivel

Para la instalación del sensor de nivel se deberá empotrar en el muro guía (ribera izquierda) un perfil cuadrado de 100 x 100 mm por toda la altura del muro, más 50 cm bajo la cota del radier. Este perfil debe tener puertas de inspección y aducciones de 2", ubicada a una distancia máxima de 30 cm de la regla limnimétrica.

- Carro de aforo

El carro de aforo debe ser diseñado según planos que entregue la DGA. En la construcción e instalación del carro de aforo, debe considerarse la construcción de la fundación para el montaje de las torres metálicas la cual será determinada según el diseño de cada estación fluviométrica. Para el caso de la estación fluviométrica estándar se consideró fundaciones con el espesor de al menos 1,0 m y un área de 3,8 m x 3,8 m, que en total corresponden a un volumen aproximado de 14,5 m³. En esta losa de fundación estarán comprendidos los apoyos de las torres, las cuales contemplan la instalación de 4 fierros con resaltes de 20 mm de diámetro por pata de la torre. La armadura de la losa de hormigón deberá estar constituida por un enmallado de fierro con resaltes de 20 mm de diámetro, a una separación de 30 cm

entre fierros, que comprenda todo su volumen. Las fundaciones deben ser construidas en ambas riberas del cauce.

Respecto a la construcción e instalación de 2 torres de 4 patas, deben ser construidas según planos entregados por la DGA. La altura dependerá del diseño que se haga para cada estación.

Respecto a la adquisición, montaje y tensado de cable de acero. Se deberá seguir diagrama de tensado, con una longitud indicada según diseño de cada estación, deberá ser fijado en sus extremos con grilletes nuevos tipo Crosby, 16 unidades en total, al igual que los dos guardacabos.

- Bodega para carro de aforo

Bodega para guardar el carro de aforo. Se recomienda que sea una estructura de bloques o muros de hormigón con una puerta metálica.

- Escalines de acceso

Los escalines corresponden a la escalera de acceso para visualizar el nivel del cauce en la regla limnimétrica.

- Cerco perimetral

El cerco es para limitar el acceso a la estación, previniendo accidentes y el mal uso o el robo de la instrumentación.

Se deberá considerar la instalación del cerco metálico malla Eurofence (12 ml), el cual deberá instalarse perimetralmente a la caseta metálica y con postes metálicos de diámetro de 3".

Deberá tener una altura de 1,8 m y configurar un cuadrante de 3,0 x 3,0 m (9,0 metros cuadrados). Cabe destacar que la altura se considerada podría sufrir modificaciones debido a la zona donde se encuentra emplazada la estación, así como también las medidas de seguridad asociadas.

- Caseta DGA

La caseta meteorológica (denominada Caseta tipo DGA) es una garita utilizada por la DGA para contener/resguardar el datalogger, batería y otros instrumentos necesarios para las mediciones atmosféricas.

Se deberá confeccionar e instalar la caseta para datalogger con pedestal de acuerdo al plano tipo DGA, se instalará mediante la construcción de fundación de hormigón de superficie 0,5x0,50 m y profundidad de 0,5 m.

Las dimensiones de la caseta son 0,6 m de alto en los extremos, 0,75 m de alto en el centro, 0,90 m de ancho y 0,50 m de fondo.

Se deberá considerar la instalación de revestimiento interior mediante el uso de polietileno expandido de 30 mm de espesor y terciado marino de 10 mm de espesor, Además se considera cerrojo de seguridad.

- Torre meteorológica (incluye soporte de instrumentos)

Esta torre es una estructura en la cual se colocan los instrumentos meteorológicos. Varía por los instrumentos que se utilizarán en cada estación meteorológica, debe estar acondicionado con un sistema de señales, de transmisión y de registro.

Respecto a la fundación de la torre, esta ser de hormigón estructural, en la que se empleará árido grueso con tamaño máximo de 1". El hormigón será de grado G20, NC 90. Cualquiera sea el modo de colocación, el hormigón deberá compactarse por vibración.

El hormigón deberá ser colocado antes de 60 minutos, medidos desde la salida de la hormigonera. El sistema de transporte será tal que permita una colocación continua. No se deberán aceptar interrupciones del hormigonado de más de 15 minutos.

El asentamiento de cono no deberá ser más de 7 cm. Se permitirá el uso de aditivos para hormigón, retardantes y/o plastificantes cuando sean aprobados por un IF.

La temperatura del concreto no debe ser mayor a los 32°C en el momento de colocarlo.

La torre debe ser un poste metálico de 4" de diámetro y 4 m de altura, debe tener un soporte de caseta metálica, antena, panel solar y sensores, con placa metálica en su base para fijación. Se deben considerar 0,5 m para instalar bajo el terreno.

Se deben considerar 2 brazos metálicos de un metro de largo para adosar al poste metálico mediante un sistema que permita desmontaje, el objetivo es que permita alojar sensores a 1,5 m desde la base del poste.

- Pintura

Se deberán pintar todas las estructuras metálicas con dos manos de antióxido y dos manos de pintura Triple Acción Metal de acuerdo a colores especificados en la Tabla 13.13.

Tabla 13.13 Especificaciones técnicas pintura

Pintura estructuras		
Tipo estructura	Color	Descripción
Torres metálicas	Azul pacifico	Triple acción
Hormigones (Fundaciones y machones)	Blanco	Caucho clorado 30R
Cable andarivel	Blanco	Caucho clorado 30R
Caseta tipo DGA	Azul pacifico	Triple acción
Mástil	Azul pacifico	Triple acción
Escalera acceso a regla	Azul pacifico	Triple acción
Cerco malla Euroforence 2,50x2,50m. Alt. 1,80 m	Azul pacifico	Triple acción

- Letrero identificación estación

El letrero de identificación de la Estación Fluviométrica, debe cumplir con los estándares actuales de la DGA. Forma rectangular apaisada de 120 x 70 cm. Plancha de 2,5 mm de espesor, cubierto en toda su extensión con lámina reflectiva Tipo I o superior según Norma ASTM 4956. Debe poseer tratamiento anticorrosivo, letras tipo vial, con el logotipo del MOP y DGA, entre otras. A continuación, en la Tabla 13.14 se presentan las características principales.

Tabla 13.14 Especificaciones técnicas letrero de identificación

Letreros de identificación para estaciones Fluviométricas o Hidrometeorológicas		
N°	Características	Exigencias
1	Forma	Rectangular apaisada 1,20 x 0,70 m
2	Plancha	Acero laminado en caliente de 2.5 mm de espesor, galvanizado en caliente, según Norma ASTM 123, con un mínimo de 65 µm (micras) de espesor. Además, debe contar con perforaciones para su soporte en los postes Omega.
3	Anverso	El fondo de la placa deberá cubrirse con lámina reflectante al menos Tipo I de acuerdo a la Norma ASTM 4956 de color blanco o Vinilo fundido autoadhesivo de 2.0 milésimas de pulgada de grosor, con adhesivo sensible a la presión y removible con calor, ambas láminas deben ser compatibles con impresión digital con tintas solventes e impresión con equipos electrostáticos. Los símbolos y leyendas se realizarán mediante impresión digital con tintas solventes e impresión con equipos electrostáticos. La señal además deberá contar con una lámina para la protección contra los rayos UV.
4	Color Fondo	Azul: Modelo de color RGB, Rojo:68, Verde:114, Azul:196
5	Letras y Dimensiones	Tipo: gobCL, color blanco.
		Texto 1: Estación Fluviométrica, altura de letra mínima 35 mm, centrado, en una línea.
		Texto 2: Nombre Estación, altura de letra mínima 40 mm, según la extensión del texto debe ser ajustado en 2 líneas, negrita, centrado.
6	Logotipo	Texto 3: Información Estación, altura de letra mínima 35 mm, centrado. Iconos de medición: centrados.
		MOP/DGA, Red Hidrométrica Nacional e Iconos de Medición serán proporcionados por DGA, según estación.
7	Código QR	Será proporcionado por DGA, según estación.
8	Postes	2 postes del tipo Omega de 3,0 m., 2,5 mm de espesor con tratamiento anticorrosivo mediante galvanizado en caliente, según Norma ASTM 123, con un mínimo de 65 µm (micras) de espeso
9	Fundaciones Postes	Corresponderá a Hormigón G-10 o H-10.
10	Fijaciones	8 pernos por letrero (tuercas y golillas, 4 por poste). Pernos zincados de 6X64 mm, tuercas zincadas.



Figura 13.7 Letrero tipo identificación estación

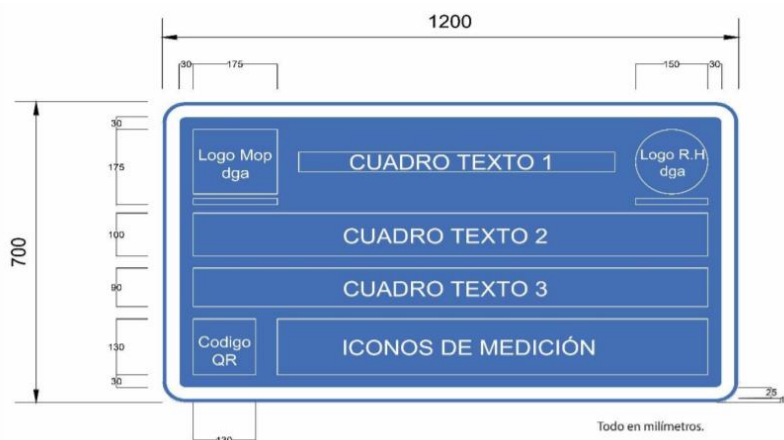


Figura 13.8 Dimensiones letrero tipo identificación estación

- Letrero de peligro

El letrero de peligro advierte y debe prevenir la circulación peatonal o vehicular en el recinto de la estación meteorológica. Debe cumplir con los estándares actuales del MOP y la DGA.

Las placas deben cubrirse por el anverso con lámina retrorreflectante color blanco Tipo I o superior según Norma ASTM 4956. Los símbolos y letras podrán ser elaborados de las siguientes formas:

1. Confección de plantilla para las letras y autoadhesivo para los 3 logotipos (Ministerial, D.G.A. y Calavera de Peligro) que se incluyen, o
2. Confección con autoadhesivo único que incluye las letras y logotipos.



Figura 13.9 Letrero tipo peligro estación

Los textos deben ser considerando los colores que se presentan en Tabla 13.15.

Tabla 13.15 Especificaciones Letrero de Peligro

Peligro	Rojo
Prohibido el uso y acceso a personas no autorizadas	Negro
La Dirección General de Aguas no se responsabiliza por accidentes ocurridos en sus instalaciones.	Azul

- Letrero advertencia de inundación y Letrero de vía de evacuación

El letrero de advertencia de inundación es para prevenir la circulación peatonal o vehicular en zonas de peligro (Figura 13.10).

El letrero de vía de evacuación tendrá como función indicar la dirección de evacuación hacia las zonas seguras durante los eventos extremos (Figura 13.11).

Los letreros deberán cumplir con el ícono y textos en un vinilo reflectivo, estarán en planchas de aluminio de 800x600mm de 2,5mm de espesor, con esquinas redondas. La cara posterior se terminará con 2 manos de pintura gris y la cara anterior se terminará con lámina reflectante Tipo: alta densidad.

Los postes de sustentación serán de un perfil de acero galvanizado, tipo omega de 110 mm de ancho, 38 mm de alto y 2,5 mm de espesor y se protegerán con 2 manos de esmalte negro.

El largo será de 3.000 mm y será reforzado con una lámina de acero de 2,5 mm de espesor, 80 mm de ancho y 1.750 mm de longitud, que se extenderá a partir de 920 mm de la parte superior y alcanzará a 300 mm de la extremidad interior.

Las placas se deberán fijar a los postes con pernos zincados de 6,0x64 mm, las tuercas también serán zincadas y ambos deberán estar ajustados según lo dispuesto en la NCH 301.



Figura 13.10 Letrero tipo zona de inundación

Diseñado por C. Bravo; R. Pardo, N. Salamanca & A. Fuentealba (2021). UTP INRHED -EMERGE.



Figura 13.11 Letrero tipo vía de evacuación

Diseñado por C. Bravo; R. Pardo, N. Salamanca & A. Fuentealba (2021). UTP INRHED -EMERGE.

Instrumentos

- Sensor de nivel

Instrumento para medir el nivel de agua, el cual debe tener las características mínimas descritas en la Tabla 13.16.

Tabla 13.16 Especificaciones técnicas de sensor de nivel

Sensor de nivel		
N°	Características	Exigencias
1	Protocolo de comunicación	SDI-12
2	Unidad de medición	metros y °C
3	Compensación	Por temperatura
4	Precisión nivel	Presión atmosférica a través de capilar integrado $\pm 0,05\%$ en relación al valor final del margen de medición
5	Temperatura de compensación	Rango mínimo 0°C a +30°C
6	Precisión temperatura	$\leq 1^\circ\text{C}$
7	Temperatura de servicio	Al menos -10°C a +50°C
8	Alimentación eléctrica	Operable a 12 volt
9	Carcasa	Titanio o Acero inoxidable
10	Consumo eléctrico	Pasivo ≤ 1 mA
11	Dimensiones	Diámetro ≤ 35 mm, largo ≤ 30 cm
12	Tipo de membrana y protección	Membrana cerámica o metálica, con su protección respectiva
13	Desecante para capilar	Incluido
14	Cable conexión	Conductores diferenciados

El sensor debe tener la capacidad de conectarse al sistema de transmisión satelital que ya está instalado a la estación fluviométrica seleccionada.

- Tuberías o Barbacanas para sensor

Corresponde a la instalación de tuberías galvanizadas de diámetro de 3", la longitud depende del proyecto. Esta tubería será utilizada para llevar y proteger el cable del sensor de nivel que se instalará en la sección de aforo y cuyo extremo opuesto del cable se conectará con el equipo de almacenamiento instalar al interior de la caseta metálica.

La tubería deberá atravesar la sección de aforo por debajo de éste, hasta conectar con la estructura del sensor de nivel empotrada en muro guía.

Se debe considerar, además, la fijación de parte de la tubería en roca existente en el cauce.

- Regla limnimétrica

Forman parte del equipo básico de una estación fluviométrica para medir la medición del nivel del agua o flujo. Estas se empotrarán en el muro de hormigón proyectado.

Esta partida debe incluir todos los materiales necesarios, incluyendo la fijación o empotramiento de la regla limnimétrica. Debe asegurarse la medición desde la cota de fondo hasta la cota de crecida para T=50 años, según muestre el plano de cada proyecto.

La instalación de la regla limnimétrica, deberá realizarse referenciada a la coordenada geodésica y cota de monolito PR.

Las especificaciones técnicas para la confección de la regla limnimétrica y fichas de fierro fundido son las siguientes:

- Las reglas de fierro fundido gris, de 120 mm de ancho por 1 metro de largo y 20 mm de espesor, con división en decímetros y centímetros en relieve, y precisión milimétrica.
- Espesor bajo relieve será de 12 mm.
- Las dimensiones de la numeración tendrán 50 mm de altura, en relieve, dispuestos en un ancho de 30 mm y línea de 100 mm de largo con espesor de 5 mm cada 100 mm.
- Las graduaciones de la regla serán de 0 a 100, destacándose en sobre relieve los centímetros y los decímetros, debiendo tener la regla una medida exacta de 1,00 metros.
- Las reglas y las fichas deben contar con un tratamiento anticorrosivo.
- El fondo de la regla y las fichas deben ser de color blanco, en tanto las graduaciones de la regla y la numeración de la ficha deben destacar en color azul pacífico. La pintura será de alta calidad (Stierling o Chilcorrofin) para asegurar su durabilidad.
- La regla debe llevar distribuida en forma uniforme, 6 orejas perforadas, tres por cada lado, dispuestas conforme a lo especificado en plano tipo.
- En el costado superior izquierdo, deberá llevar una placa de 52 mm. de ancho por 100 mm de largo, como lo indica el plano, con el objeto de colocar la ficha con la respectiva numeración que indica la regla.

- Las fichas indicativas serán de fierro fundido gris y fijadas sobre la placa mencionada en el párrafo anterior, deben ser fabricadas con las siguientes dimensiones; 100 mm de alto por 95 mm de ancho con 15 mm de espesor, además de contar con 2 orificios de 3/8 para apernarlas a la placa.
- La regla debe llevar distribuida en forma uniforme, 6 perforaciones de 3/8", las cuales no deben alterar la graduación de esta.
- Una vez fabricada se deberá presentar la muestra para verificar que cumple con las especificaciones, previo a la autorización formal de confección de las reglas y juegos de fichas.

- Pluviómetro

El pluviómetro es un instrumento empleado para la recolección y medición de datos de precipitaciones. Se considera que en las estaciones fluviométricas también deben tener un pluviómetro que mida de modo fiable y preciso tanto la cantidad, como intensidad de precipitaciones en estado líquido, sólido y mezclado. Se recomienda para las estaciones fluviométricas un pluviómetro al menos con estas características descritas en la Tabla 13.17.

Tabla 13.17 Especificaciones técnicas pluviómetro

Sensor de Precipitación		
N°	Características	Exigencias
1	Tipo	Tippingbucket
2	Resolución o peso pulso	0,1 mm
3	Peso	Máximo 4 kg
4	Diámetro colector	≤ 12 pulgadas
5	Altura máxima	Máximo 65 cm
6	Temperatura de operación	al menos de 0°C a +50°C
7	Error de medición	≤ 5%
8	Largo cable comunicación	≥ 10
9	Señal de salida	Pulso
10	Soporte y protección	Fijación para instalación en mástil de 2 1/4 a 3 1/4 pulgadas de diámetro que otorgue alta resistencia a la acción del viento y condiciones climáticas extremas

- Sensor de Temperatura y Humedad

El termómetro es un instrumento empleado para medir la temperatura a diversas horas del día en una estación. Se considera para las estaciones fluviométricas tanga

un sensor de temperaturas con las siguientes características mencionadas en la Tabla 13.18.

Tabla 13.18 Especificaciones técnicas termómetro

Sensor de Temperatura y Humedad		
N°	Características	Exigencias
1	Alimentación	Operable a 12 Volt
2	Rango de medición	A lo menos: -20°C a +50°C. 0% a 100% Humedad Relativa del aire.
3	Precisión de temperatura	$\leq \pm 0,5^\circ\text{C}$
4	Precisión de humedad	$\leq + 5\%$ de humedad
5	Señal de salida	SDI-12
6	Consumo	Máximo 25 mA
7	Cable conexión	Largo ≥ 8 metros y conductores diferenciados (ej: colores, números, etc.)
8	Protección	Pagoda protección solar incluida
9	Soporte	Fijación para instalación en mástil de $2 \frac{1}{4}$ a $3 \frac{1}{4}$ pulgadas de diámetro que otorgue alta resistencia a la acción del viento y condiciones climáticas extremas

- Panel Solar

Proporciona energía a la estación meteorológica, aprovechando la energía solar para su carga y generando energía electricidad durante las 24 horas del día. Se consideró para el presupuesto un panel solar de 40w.

Tabla 13.19 Especificaciones técnicas de Paneles Solares

Paneles solares 40 watts y 12 volts		
N°	Características	Exigencias
1	Potencia máxima ($P_{\text{máx}}$)	Mínimo 40 Watts
2	Corriente de carga	Mínimo 2,3 A
3	Voltaje a circuito abierto (VOC)	Mínimo 17 Volts
4	Celda	Policristalino o Monocristalino
5	Regulador de voltaje y protecciones	Compatible para el panel solar con salida a 12 V (incluido)
6	Temperatura de operación	Al menos -40°C a +50°C
7	Peso	Máximo 8 kilogramos
8	Cable	Mínimo 10 m de longitud con conductores diferenciados (ej.: colores, números, etc.) Debe venir conectado al panel solar.
9	Soporte y protección	Brazo ajustable en azimut-elevación para mástil de $2 \frac{1}{4}$ a $3 \frac{1}{4}$ pulgadas de diámetro. Alta resistencia a la acción del viento y condiciones climáticas extremas. El sistema de soporte debe venir instalado al panel.

- Batería

Las baterías son necesarias para que guardar carga de los paneles solares, se recomienda tener dos, para cada panel solar. También se considera que deberán ser de tipo 55Ah.

Tabla 13.20 Especificaciones técnicas Batería 55Ah

Batería 55Ah		
N°	Características	Exigencias
1	Tipo	12V/55 Ah. Sellada de libre de mantención
2	Voltaje nominal	12 V
3	Capacidad nominal mínima	Capacidad nominal mínima 20 hrs a 2.75 A 10.5V, 55Ah
4	Temperatura operación	Mínimo -5°C a +50°C (carga y descarga)
5	Ciclo de vida	Mínimo 500 ciclos
6	Peso máximo	20 kg
7	Dimensiones máximas	300mm x 300mm x 200mm
8	Calidad	Alta calidad en componentes y operación, Tipo PowerSonic, Hace, entre otras.

- Plataforma Satelital

La plataforma satelital sirve para la transmisión inalámbrica de los datos. Se recomienda el uso de una plataforma de instalación fija, con una manga de montaje que sea de fácil instalación a un mástil externo.

Se recomienda un datalogger, que venga en conjunto con la plataforma satelital. El datalogger es un registrador de datos remoto para las estaciones meteorológicas y su finalidad es proporcionar acceso instantáneo a datos ambientales específicos del sitio en cualquier lugar.

Tabla 13.21 Especificaciones técnicas Plataforma Satelital

Plataformas satelitales		
N°	Características	Exigencias
1	Rango voltaje de entrada	Operable en el rango 11 volt a 14 volt
2	Temperatura de operación	A lo menos -40°C a +50°C
3	Humedad	A lo menos 0% a 85% H/R (no condensado)
4	Consumo horario de la plataforma	Stand-by máximo 30 mA
		Uso GPS inferior o igual 355 mA, y transmisión (en base a 300Bd) máximo 4,5A
5	Software	Basado en Windows
6	Software aplicación	Incluido para cada equipo en español y/o inglés, con sus respectivas licencias en caso de ser necesario. Debe trabajar en Windows XP y 7 como mínimo
7	Status	Leds indicadores
8	Cable comunicación	Debe incluir cable de comunicación a puerto USB del computador

Etapa de Almacenamiento de datos		
1	Memoria de almacenamiento	Mínimo 2MB, y tarjeta electrónica o similar: para rescate de datos (Incluida)
2	Intervalos de grabación	Mínimo 5, 15, 30 min.; 1, 12 y 24 hrs
3	Tipo y cantidad de señales de entrada de datos	A lo menos 12 canales SDI-12 (lógicos), 1 canal de pulso y 4 entradas de Voltaje
4	Precisión de reloj	Máximo 1 min/mes
5	Procesos	Debe contar con la posibilidad de añadir offset (pendiente y constante de la recta) por parámetro
6	Extracción de archivos	Texto sin codificar, TXT, EXCEL o CSV

Etapa Transmisión		
1	Satélite	GOES CS2
2	Certificación	NESDIS (Incluir certificado)
3	Velocidad de transmisión	Compatible con sistema satelital GOES de la NOAA. (al menos con 300 Bd)
4	Mantenimiento horario	Con GPS
5	Potencia de salida	Compatible con satélite GOES
6	Rango frecuencia	Cubre al menos 401,701 (CH01) a 402,0985 (CH266) MHZ
7	FailSafe	Reset físico o por software
8	Protocolo	ASCII
9	Rango voltaje de entrada	Operable al menos en el rango 11 volt a 14 volt
10	Mensaje transmisión	Deseable sin codificar. En caso contrario, incluir proceso de decodificación.
11	Accesorios por transmisor	Antena de transmisión con mínimo 8 metros de cable; Antena GPS mínimo 5 metros de cable
12	Conector antena transmisión	Tipo N o Adaptador a N (Salida a RF)

- Diseño de Estación Fluviométrica

Se considera que el diseño de la estación fluviométrica estará dado por el caudal asociado a un periodo de retorno de 50 años. Además de la accesibilidad y altitud de donde se emplazará la estación, se debe considerar una ingeniería de detalle respaldada por estudios específicos del lugar donde se instalarán las estaciones, tales como:

- Estudio geomorfológico
- Estudio topográfico (+ aerofotogramétrico y batimétrico)
- Estudio hidrológico
- Estudio hidráulico (+Modelación hidráulica 1D y 2D)
- Diseño y verificación de las obras (para T=50 años y T=100 años)
- Informe de mecánica de suelos
- Descripción detallada de las obras propuestas.

En la Tabla 13.22 se muestra el presupuesto final asociado a la construcción de la estación fluviométrica estándar.

Tabla 13.22 Presupuesto estación fluviométrica estándar

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	P.U.	Total	
1	Construcción y estructura					
1.1	Instalación de Faena	un	1	\$ 1.950.000	\$ 1.950.000	
1.2	Limpieza y Despeje del Terreno	un	1	\$ 1.856.400	\$ 1.856.400	
1.3	Desembanque y Encauzamiento	un	1	\$ 2.031.120	\$ 2.031.120	
1.4	Enrocado de Protección	un	1	\$ 37.453	\$ 37.453	
1.5	Gaviones (1,0x1,0m+fundación 1,5x0,5m)	gl	1	\$ 5.180.630	\$ 5.180.630	
1.6	Construcción de Sección de Aforo	gl	1	\$ 3.075.000	\$ 3.075.000	
1.7	Muros Estructurales (Ambas riberas)	gl	2	\$ 3.472.300	\$ 6.944.600	
1.8	Estructura para Instalación del Sensor de Nivel	gl	1	\$ 700.000	\$ 700.000	
1.9	Carro de Aforo (incluye cable, soporte, base concreto y torre para el carro)	un	1	\$ 15.775.000	\$ 15.775.000	
1.10	Escalines de acceso a la regla limnimétrica	un	1	\$ 139.750	\$ 139.750	
1.11	Pollos de hormigón H-25	un	5	\$ 35.000	\$ 175.000	
1.12	Cerco Perimetral 3,0m x 3,0m	gl	1	\$ 1.615.172	\$ 1.615.172	
1.13	Caseta DGA	un	1	\$ 1.700.000	\$ 1.700.000	
1.14	Torre Meteorológica 4 m (incluye soporte de instrumentos)	un	1	\$ 749.372	\$ 749.372	
1.15	Pintura General de Estructuras	gl	1	\$ 757.055	\$ 757.055	
1.16	Letreros de Identificación de la Estación	gl	1	\$ 455.000	\$ 455.000	
1.17	Letrero Peligro	gl	1	\$ 78.000	\$ 78.000	
1.18	Letrero de Zona de inundación y Vía de Evacuación**	gl	1	\$ 150.952	\$ 150.952	
2	Instrumental					
2.1	Fluviométrica					
2.1.1	Sensor de nivel (con 10 m de cable autocompensado)	un	1	\$ 1.500.000	\$ 1.500.000	
2.1.2	Regla Limnimétrica	un	1	\$ 310.050	\$ 310.050	
2.2	Meteorológica					
2.2.1	Pluviómetro modelo RG1(400), con 10 m de cable	un	1	\$ 624.000	\$ 624.000	
2.2.2	Sensor de Temperatura y Humedad	un	1	\$ 696.000	\$ 696.000	
2.3	Estación					
2.3.1	Batería 55AH	un	1	\$ 144.000	\$ 144.000	
2.3.2	Plataforma Satelital (incluye transmisor + datalogger y antena)	un	1	\$ 3.104.400	\$ 3.104.400	
2.3.3	Panel Solar 40W	un	1	\$ 113.400	\$ 113.400	
3	Diseño					
3.1	Diseño de Estación Fluviométrica (incluye planos y memorias de cálculo)	gl	1	\$ 15.000.000	\$ 15.000.000	
					Total Neto	\$ 64.862.354
					IVA (19%)	\$ 12.323.847
					Total	77.186.201

** Los letreros de zona de inundación y de vía de evacuación serán emplazados cercano a poblaciones vulnerables.

13.2 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 13.23 muestra el valor de las estaciones fluviométricas perteneciente a la red Antofagasta, sumando un total de \$1.022 millones de pesos. En el **Anexo 11** se incluyen los cálculos de la estimación de los precios. Al incluir los precios de las 5 estaciones meteorológicas (2 con pluviómetro tipo disdrómetro y 3 con pluviómetro tipo *tippinbucket*, el presupuesto asciende a **\$1.094 millones de pesos**.

Tabla 13.23 Valor de las estaciones fluviométricas críticas Red Metropolitana

Código BNA	Nombre	Q T=50 (m ³ /s)	Clasificación	Factor	Precio
02104002-9	Río Loa en salida embalse Conchi	28,07	Pequeña	1.5	\$ 83.815.614
0251001-8	Río San Pedro en Cuchabrachi	71,23	Mediana	1.5	\$ 188.167.629
02110031-5	Río Loa en Angostura	61,15	Grande Con Losa	1.1	\$ 165.771.056
02105002-4	Río Salado en sifón Ayquina	168,59	Grande Con Losa	1	\$ 584.393.902
Total					\$ 1.022.148.201

Cabe decir que en la estación Río Loa en Angostura se estimó un caudal de 50 años de periodo de retorno de 61 m³/s, que se clasifica a la estación como pequeña, sin embargo el río hacia aguas arriba recibe como afluente al río Salado, con un caudal de 169 m³/s, para 50 años de periodo de retorno, por lo que se decidió clasificar a la estación como grande con losa.

13.3 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.

13.3.1 Estaciones meteorológicas

La Tabla 13.24 muestra las brechas identificadas de las estaciones meteorológicas seleccionadas, en base a los antecedentes disponibles. Cabe decir que por la elevación

de las estaciones El Tatio y Toconao Quebrada 1, se recomendó un pluviómetro tipo disdrómetro, usado es zonas de transición entre precipitación líquida y sólida.

Tabla 13.24 Brechas estaciones meteorológicas críticas, Región de Antofagasta

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

13.3.2 Estaciones fluviométricas

La Tabla 13.25 muestra las brechas identificadas en la selección de estaciones fluviométricas críticas, en base a los antecedentes disponibles. Cabe mencionar que las estaciones Río Loa en salida embalse Conchi y Río Salado en sifón Ayquina están a una altitud de alrededor de 3.000 msnm, por lo que se consideró un pluviómetro tipo disdrómetro, usado para zonas de transición. Otro aspecto por destacar es que las estaciones Río Loa en Angostura y Río San Pedro en Cuchabrachi no pudieron ser visitadas y no se cuenta con mayores antecedentes, por lo que se considera una implementación completa como estación estándar. En todos los casos se considera la reutilización del instrumental que se encuentra en buenas condiciones y cumple con el estándar requerido.

Tabla 13.25 Brechas estaciones fluviométricas críticas, Región de Antofagasta

ITEM	DESCRIPCIÓN	UN	CANTIDAD				
			Estación Estándar	Río Loa salida embalse Conchi	Río Salado en sifón Ayquina	Río Loa en Angostura	Río San Pedro en Cuchabrachi
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	1	1
1.5	Gaviones (1,0x1,0m+fundación 1,5x0,5m)	gl	1	1	1	1	1
1.6	Construcción de Sección de Aforo	gl	1	1	1	1	1
1.7	Muros Estructurales (Ambas riberas)	gl	2	2	2	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	0	0	1	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	5	5	5
1.12	Cerco Perimetral 3,0m x 3,0m	gl	1	1	1	1	1
1.13	Caseta DGA	un	1	0	0	1	1
1.14	Torre Meteorológica 4 m (incluye soporte de instrumentos)	un	1	0	0	1	1
1.15	Pintura General de Estructuras	gl	1	1	1	1	1
1.16	Letreros de Identificación de la Estación	gl	1	0	0	1	1
1.17	Letrero Peligro	gl	1	0	0	1	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	1	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	1	1	0	0
2.2.2	Pluviómetro modelo RG1(400), con 10 m de cable	un	1	0	0	1	1
2.2.3	Sensor de Temperatura y Humedad	un	1	0	0	1	1
2.3	Estación						
2.3.1	Batería 55AH	un	1	0	0	1	1
2.3.2	Plataforma Satelital (incluye transmisor + datalogger y antena)	un	1	0	0	1	1
2.3.3	Panel Solar 40W	un	1	0	0	1	1
3	DISEÑO						
3.1	Diseño de Estación Fluviométrica (incluye planos y memorias de cálculo)	gl	1	1	1	1	1

13.4 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 13.26 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 13.27 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 13.28 muestra los factores asociados a los caudales con periodo de retorno de 50 años en el caso de las estaciones fluviométricas.

Tabla 13.26 Factor elevación

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

Tabla 13.27 Factor de accesibilidad

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

Tabla 13.28 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 13.29 se aprecian los caudales obtenidos para un periodo de retorno de 50 años, de las estaciones críticas finales de esta región.

Tabla 13.29 Caudales asociados a un periodo de retorno de 50 años

Código BNA	Nombre	Q T=50 (m ³ /s)	Método	Tipo
02104002-9	Río Loa en salida embalse Conchi	28,07	Análisis de Frecuencias	1
0251001-8	Río San Pedro en Cuchabrachi	71,23	Fórmula Racional	2
02110031-5	Río Loa en Angostura	61,15	Fórmula Racional	3
02105002-4	Río Salado en sifón Ayquina	168,59	Análisis de Frecuencias	3

13.4.1 Estaciones meteorológicas

La Tabla 13.30 muestra los costos de la estandarización de las estaciones meteorológicas críticas. El plan de acción de este ítem asciende a un total de \$76,9 millones de pesos.

Tabla 13.30 Costo Plan de Acción estaciones meteorológicas

ITEM	DESCRIPCIÓN	El Tatio	Toconao Quebrada 1	Sierra Gorda	Aguas Verdes	Nueva Pajonales
1	ESTRUCTURA	\$ 5.065.799	\$ 156.000	\$ 5.065.799	\$ 5.065.799	\$ 5.065.799
2	INSTRUMENTAL	\$ 3.446.000	\$ 3.446.000	\$ 3.020.000	\$ 6.381.800	\$ 6.381.800
	TOTAL NETO	\$ 8.511.799	\$ 3.602.000	\$ 8.085.799	\$ 11.447.599	\$ 11.447.599
	Factor Elevación	x 1,5	x 1,5	x 1	x 1	x 1
	Factor Accesibilidad	x 1,4	x 1,5	x 1,1	x 1,3	x 1,3
	TOTAL NETO PONDERADO	\$ 17.874.778	\$ 8.104.500	\$ 8.894.379	\$ 14.881.879	\$ 14.881.879
	IVA (19%)	\$ 3.396.208	\$ 1.539.855	\$ 1.689.932	\$ 2.827.557	\$ 2.827.557
	TOTAL	\$ 21.270.986	\$ 9.644.355	\$ 10.584.311	\$ 17.709.436	\$ 17.709.436

13.4.2 Estaciones fluviométricas

La Tabla 13.31 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 \$494,1 millones de pesos. Las estaciones Río Loa en Angostura y Río San Pedro en Cuchabrachi fueron estimadas utilizando como base la estación estándar completa, dado que no se dispone de mayores antecedentes sobre su estado.

Tabla 13.31 Costos Plan de Acción estaciones fluviométricas

ITEM	DESCRIPCION	Río Loa en embalse Conchi	Río Salado en sifón Ayquina	Río Loa en Angostura	Río San Pedro en Cuchabrachi
1	CONSTRUCCIÓN Y ESTRUCTURA	\$ 24.462.180	\$ 24.462.180	\$ 43.370.504	\$ 43.370.504
2	INSTRUMENTAL	\$ 1.360.050	\$ 1.360.050	\$ 6.491.850	\$ 6.491.850
3	DISEÑO	\$ 15.000.000	\$ 15.000.000	\$ 15.000.000	\$ 15.000.000
	TOTAL NETO	\$ 40.822.230	\$ 40.822.230	\$ 64.862.354	\$ 64.862.354
	Factor Elevación	x 1,4	x 1,4	x 1	x 1
	Factor Accesibilidad	x 1,3	x 1,2	x 1	x 1,6
	Factor de Tamaño	x 0,6	x 2	x 2	x 1
	TOTAL NETO PONDERADO	\$ 44.577.875	\$ 137.162.693	\$ 129.724.708	\$ 103.779.766
	IVA (19%)	\$ 8.469.796	\$ 26.060.912	\$ 24.647.695	\$ 19.718.156
	TOTAL	\$ 53.047.671	\$ 163.223.604	\$ 154.372.403	\$ 123.497.922

13.4.3 Costo total

El costo total del plan de acción de las estaciones críticas asciende a **\$571 millones de pesos**. Este monto sería utilizado para llevar a la calidad de estándar definido en el estudio a 4 estaciones fluviométricas y 4 estaciones meteorológicas y la instalación de 1 estación meteorológica nueva.

14 RED PIEZOMÉTRICA

14.1 Variables monitoreadas, georreferenciación y sistemas hidrográficos asociados

La Región de Antofagasta posee un sistema hidrométrico con 32 estaciones piezométricas. En cuanto a la distribución, solo dos se encuentran al interior de un SHAC (Salar de Punta Negra e Imilac). El resto de los pozos se encuentra en mayor medida en las cercanías de Calama y Taltal, principalmente sectores más poblados y con mayor cantidad de derechos de agua (sin considerar a la gran minería que posee derechos hacia el sector este de la región)

En la Figura 14.1 se muestran los Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común (SHAC) y la ubicación espacial de los pozos de la región, destacando los SHAC monitoreados. Y en la Tabla 14.1 se muestran los datos principales asociados a la información de cada estación piezométrica.

Mencionar que la instrumentación utilizada para obtener los niveles de pozo corresponde a mediciones manuales ejecutadas con pozómetros.

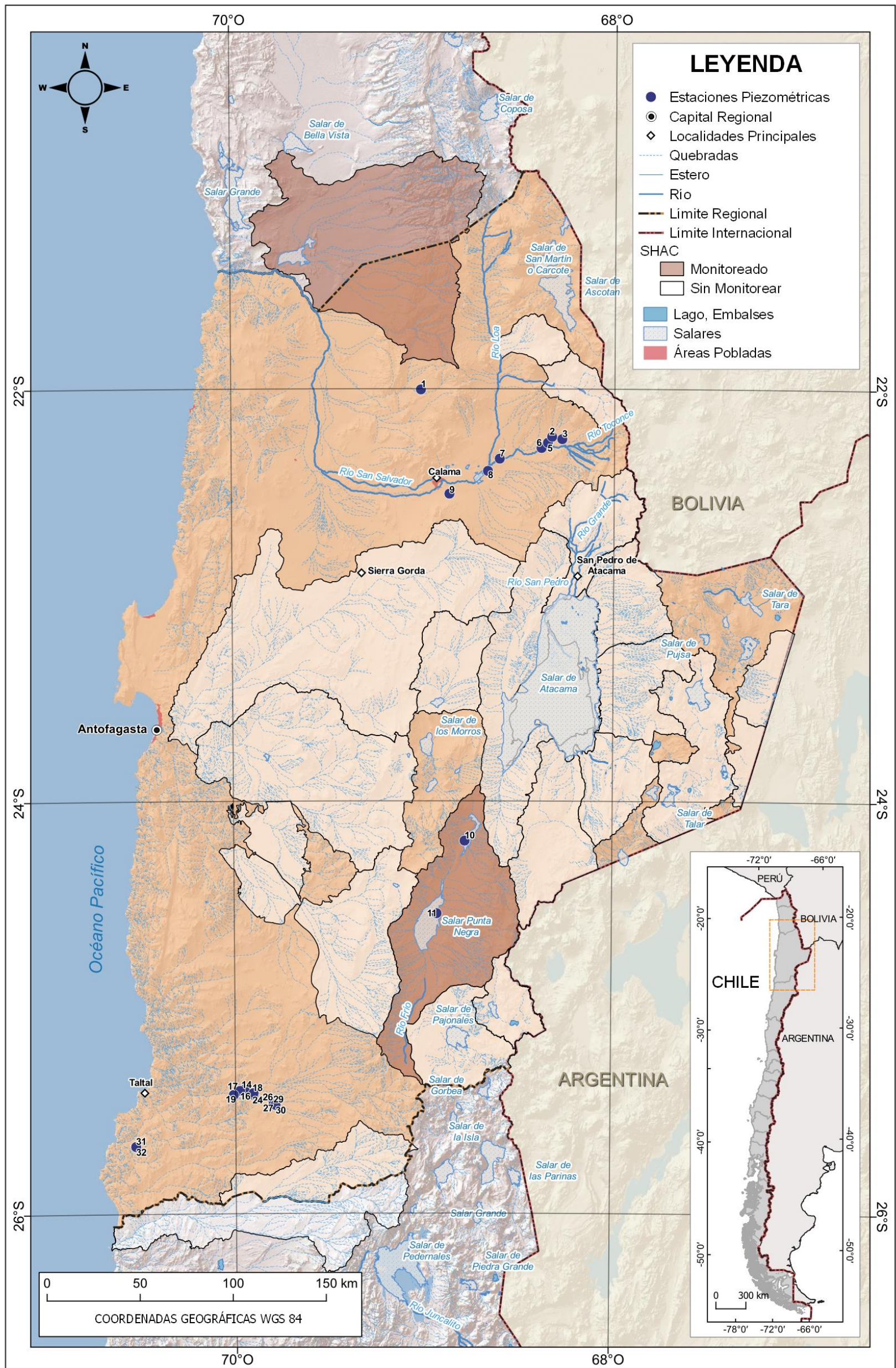


Figura 14.1 Ubicación pozos DGA, Región de Antofagasta

Tabla 14.1 Información básica pozos, Región de Antofagasta

ID	Código	Nombre	Coordenadas UTM WGS84 19S		Acuífero	SHAC	Tipo Limitación	Año Inicio	Año Fin	Comportamiento
			Este	Norte						
1	01700065-9	San Genaro	498.955	7.566.766	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
2	02105032-6	Turi 10	569.460	7.541.299	N/A	N/A	N/A	2014	2015	Dinámico
3	02105028-8	Turi 7	574.920	7.540.010	N/A	N/A	N/A	1987	2021	Estático
4	02105025-3	Turi 1	567.212	7.538.085	N/A	N/A	N/A	1987	2021	Dinámico
5	02105030-K	Turi 2	567.211	7.538.084	N/A	N/A	N/A	1987	2021	Estático
6	02105024-5	Cupo 1	563.769	7.535.269	N/A	N/A	N/A	1987	2021	Estático
7	02105023-7	Chiu-Chiu	541.305	7.529.542	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
8	02110019-6	Isla Grande 3	534.964	7.522.980	N/A	N/A	N/A	1987	2021	Estático
9	02110017-K	Aeropuerto	514.271	7.510.738	N/A	N/A	N/A	1987	2012	Estático
10	02650000-1	Salar de Imilac	522.372	7.324.315	Salar de Punta Negra e Imilac		Zona de Prohibición	N/A	N/A	N/A
11	02650001-K	Salar de Punta Negra	507.342	7.285.332	Salar de Punta Negra e Imilac		Zona de Prohibición	N/A	N/A	N/A
12	02942018-1	ESSAN S-844	404.343	7.190.583	N/A	N/A	N/A	2002	2021	Estático
13	02942016-5	Pozo 4 ESSAN	403.780	7.190.334	N/A	N/A	N/A	2002	2016	Estático
14	02942017-3	ESSAN S-843-A	403.161	7.190.283	N/A	N/A	N/A	2002	2021	Estático
15	02942015-7	Pique Frente ESSAN	403.487	7.189.959	N/A	N/A	N/A	2002	2021	Estático
16	02942020-3	ESSAN S-864	401.795	7.189.801	N/A	N/A	N/A	2002	2021	Estático
17	02942019-K	ESSAN S-846-A	400.489	7.189.406	N/A	N/A	N/A	2002	2021	Dinámico
18	02942023-8	ESSAN AV-48	409.042	7.188.618	N/A	N/A	N/A	2002	2021	Estático
19	02942003-3	Pique AV-48	398.781	7.188.150	N/A	N/A	N/A	2002	2019	Estático
20	02942014-9	Pique AV-NVO.A	398.665	7.188.064	N/A	N/A	N/A	2002	2016	Estático
21	02942004-1	Pique AV-16	398.567	7.187.990	N/A	N/A	N/A	2002	2016	Dinámico
22	02942002-5	Pique AV-16	398.523	7.187.898	N/A	N/A	N/A	2002	2021	Estático
23	02942013-0	Pique AV-Muestra	398.605	7.187.847	N/A	N/A	N/A	2002	2016	Estático
24	02942010-6	Pique AV-45	409.100	7.187.722	N/A	N/A	N/A	2002	2021	Estático
25	02942005-K	Pique AV-17	398.414	7.187.637	N/A	N/A	N/A	2002	2009	Estático
26	02942006-8	Pique AVE-40	419.370	7.183.585	N/A	N/A	N/A	2002	2021	Estático
27	02942007-6	Pique AV-39	419.602	7.182.753	N/A	N/A	N/A	2002	2021	Estático
28	02942009-2	Pique AV-43	419.792	7.182.731	N/A	N/A	N/A	2002	2021	Estático
29	02942008-4	Pique AV-42	420.317	7.182.466	N/A	N/A	N/A	2002	2021	Estático
30	02942012-2	Pique AV-49	420.846	7.182.312	N/A	N/A	N/A	2002	2021	Estático
31	02942021-1	Pique Mina Clementina N°3	345.926	7.159.698	N/A	N/A	N/A	2002	2021	Estático
32	02942022-K	Pique Mina Clementina N°2	345.966	7.159.631	N/A	N/A	N/A	2002	2015	Estático

N/A: Sin información

14.2 Análisis Estadístico

A partir de la información descargada desde la plataforma del SNIA de la DGA, se realizó un análisis estadístico de los datos, así como de la distribución espacial de las estaciones en estudio.

14.2.1 Disponibilidad de Datos

En la Tabla 14.1 se indican los años en que se comenzaron a medir los niveles de pozo y el último año en el que se registró un valor, donde "N/A" indica que la estación no cuenta con registros. Cabe mencionar que varios de los datos de niveles entregados por la plataforma de la DGA corresponden al valor cero, por lo que dichos valores se entienden como errores de la plataforma y no fueron considerados en el análisis.

14.2.2 Niveles estáticos y dinámicos

Basado en la información de niveles de pozo disponible, estos se han clasificado como Estático, dinámico y Estático-dinámico.

Se entiende por nivel Estático al valor medido en profundidad (en metros) respecto a la cota de terreno, que representa el nivel natural del agua subterránea en el acuífero. En este tipo de medición el equipo de bombeo no se encuentra en funcionamiento y no existen pozos en etapa de bombeo que afecten el comportamiento natural de este.

El nivel dinámico, corresponde al valor medido durante el bombeo del pozo, por lo que el valor obtenido en profundidad respecto de la cota de terreno dependerá del caudal extraído y de la etapa del bombeo en la que se encuentre el pozo (tiempo temprano o tardío).

El comportamiento Estático-dinámico se observa, generalmente, en pozos donde inicialmente se registraron valores correspondientes a un nivel Estático, pero en los años posteriores se miden niveles dinámicos. En algunos casos, los catalogados como pozos que miden niveles Estáticos, presentan niveles dinámicos, pero existe un predominio de los niveles Estáticos.

En la Tabla 14.1 se detalla la clasificación del comportamiento de los pozos seleccionados para la región. Es importante recalcar que el análisis es de tipo cualitativo y pueden

existir errores en la determinación del comportamiento del pozo, la única manera efectiva de clasificar si el nivel medido es dinámico o Estático, es cerciorándose en terreno al momento del registro.

14.2.3 Distribución Espacial

En la Figura 14.2 se muestra la ubicación de los pozos y se clasifican respecto a su comportamiento (estático y/o dinámico). La concentración en cuanto a la ubicación de estos se presenta como mapa de calor, donde el color rojo indica la zona con mayor cantidad de pozos y el color verde la zona con menor cantidad. Por lo que las zonas marcadas en el mapa cuentan con una densidad de pozos suficientes para un correcto monitoreo desde el punto de vista de la ubicación geoespacial (en el plano XY, sin considerar la profundidad del pozo, ni la ubicación de las cribas), ya que para hablar de un monitoreo completo se requiere considerar también la calidad del valor monitoreado.

Se observa que la mayor concentración de pozos se encuentra en la zona norte al noreste de Calama y en la zona sur al este de Taltal (no se han definido SHACS en dichos sectores). Solo un SHAC se encuentra monitoreado, Salar de Punta Negra e Imilac, por lo que la ubicación de los pozos de monitoreo y el tipo de limitación de los SHAC no se relacionan entre sí. En cuanto a la zona centro hacia el este existe una gran presencia de salares, los cuales no cuentan con estaciones piezométricas de la Dirección General de Aguas. En cuanto a la clasificación del tipo de comportamiento de los pozos, casi la totalidad de los pozos son estáticos, por lo que la calidad de los datos monitoreados es alta.

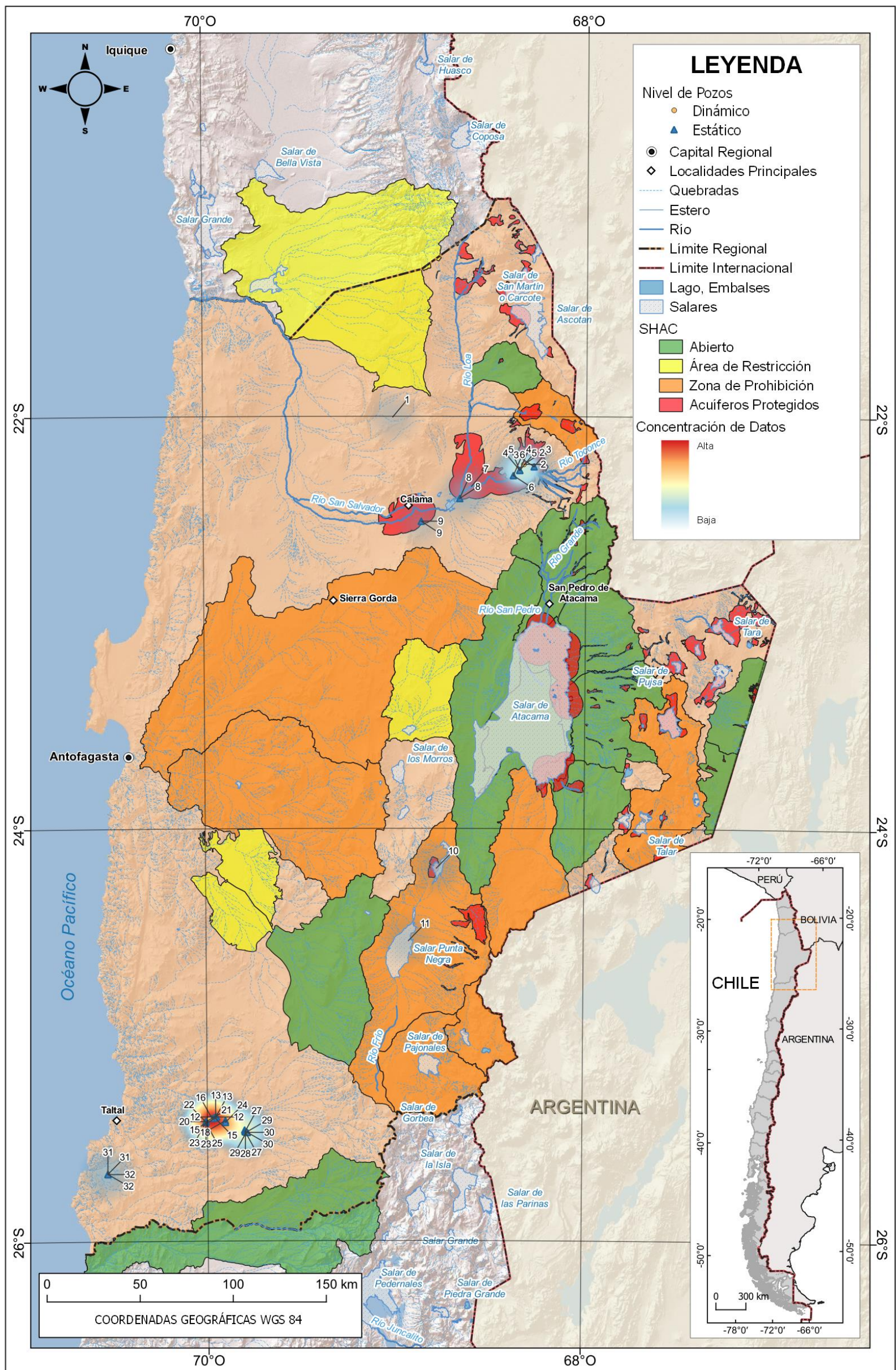


Figura 14.2 Densidad y clasificación de pozos, Región de Antofagasta

14.3 Análisis De Calidad

En la Figura 14.3 se observa que gran parte de la superficie de la región no cuenta con SHAC, donde la mayoría de los SHAC se encuentran en la zona este. En la Tabla 14.2 se detalla la cantidad de SHAC que cuentan con estaciones piezométricas (solo 2 de los 32 pozos están en un SHAC) y los que no (monitoreados y sin monitorear, respectivamente). En la región de Antofagasta existe dos SHAC compartidos, Salar de Llamara, el cual pertenece a la región de Tarapacá, actualmente se encuentra en restricción y Costeras Q. Pan de Azúcar-R. Salado, perteneciente a la región de Atacama, se encuentra sin limitación.

Tabla 14.2 SHAC separados por tipo de limitación

SHAC	Monitoreado	Sin Monitorear	Total SHAC	Total pozos
Abierto	0	11	11	0
Área de restricción	0	4	4	0
Zona de prohibición	1	7	8	2

Los SHAC ubicados en área de restricción sin monitorear son:

- Salar de Llamara
- Salar de Elvira – Laguna Seca
- Aguas Blancas
- Rosario

Y los SHAC ubicados en zona de prohibición sin monitorear son:

- Sierra Gorda
- Salares de Navidad y Mar Muerto
- Puna de Atacama Sur
- C2 (Salar de Atacama)
- San Pedro Inacaliri
- Salar de Aguas Calientes y Laguna La azufrera
- Salar de Pajonales

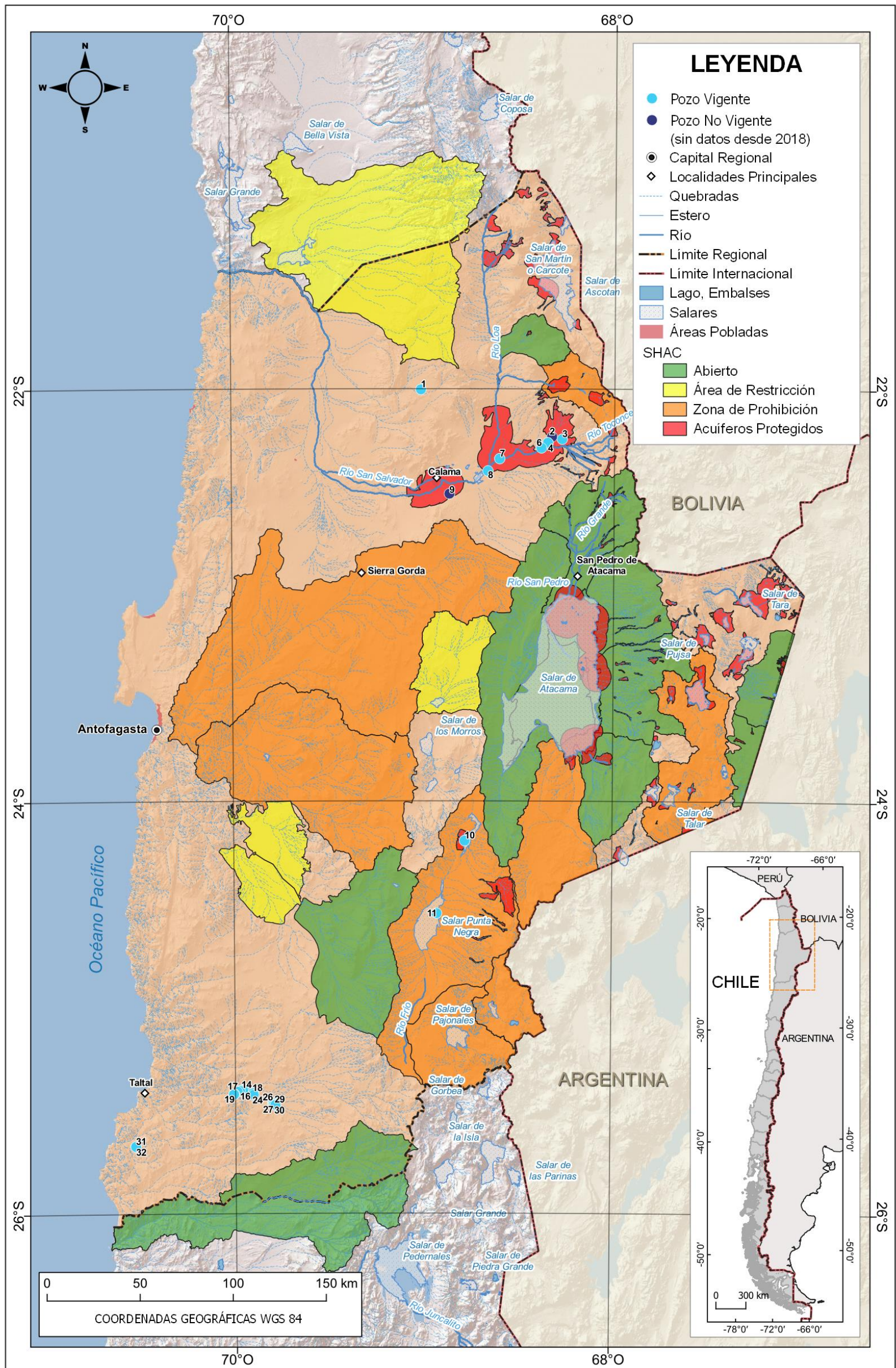


Figura 14.3 Limitación de acuíferos, Región de Antofagasta

Gran parte de los pozos medidos corresponden a niveles estáticos, lo cuales ayudan a determinar de manera fiable el comportamiento natural del acuífero. Solo existen cuatro midiendo niveles dinámicos, los cuales no tienen la misma importancia que los anteriores. A continuación, en el gráfico de la Figura 14.4 se presenta, a modo de ejemplo, el pozo ESSAN S-846-A 1 (ID 17) clasificado como dinámico, en base a la gran dispersión de valores medidos y la precipitación diaria de la estación DGA Calama.

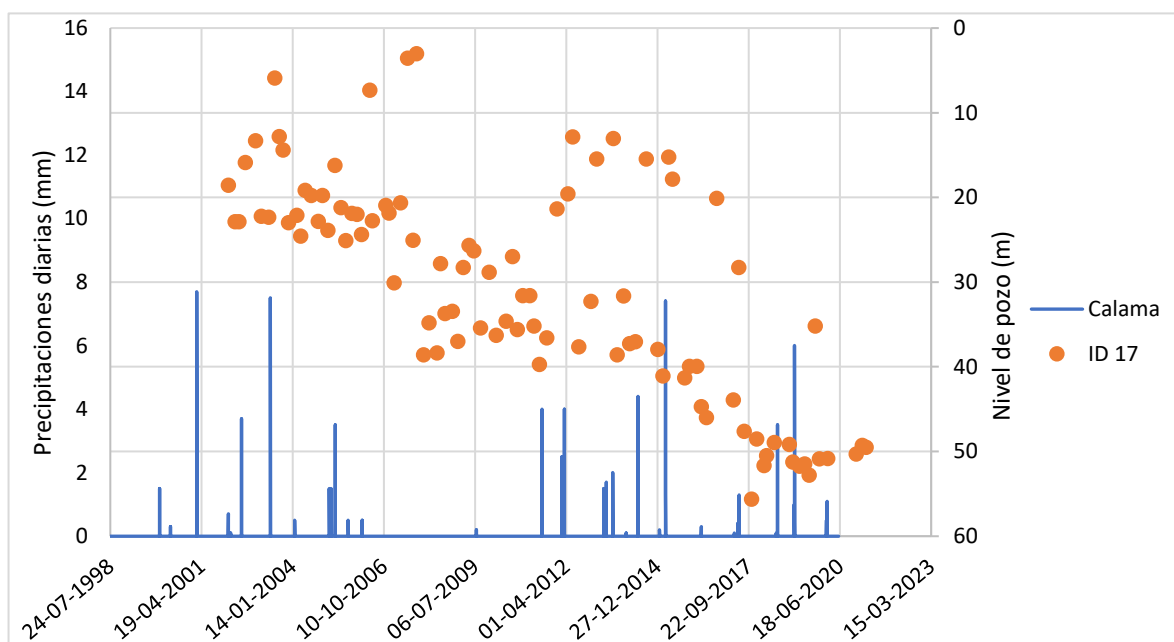


Figura 14.4 Comportamiento dinámico

En el gráfico de la Figura 14.5 se muestran la precipitación diaria de la estación DGA Calama y los niveles de algunos pozos clasificados como estáticos. Dicha caracterización está definida por los que tengan una cantidad de valores estáticos considerables, entendiendo que en algunas ocasiones algunos pozos muestren niveles dinámicos debido a bombeos del mismo pozo de medición o bombeo de pozos cercanos que alteren la dinámica de este.

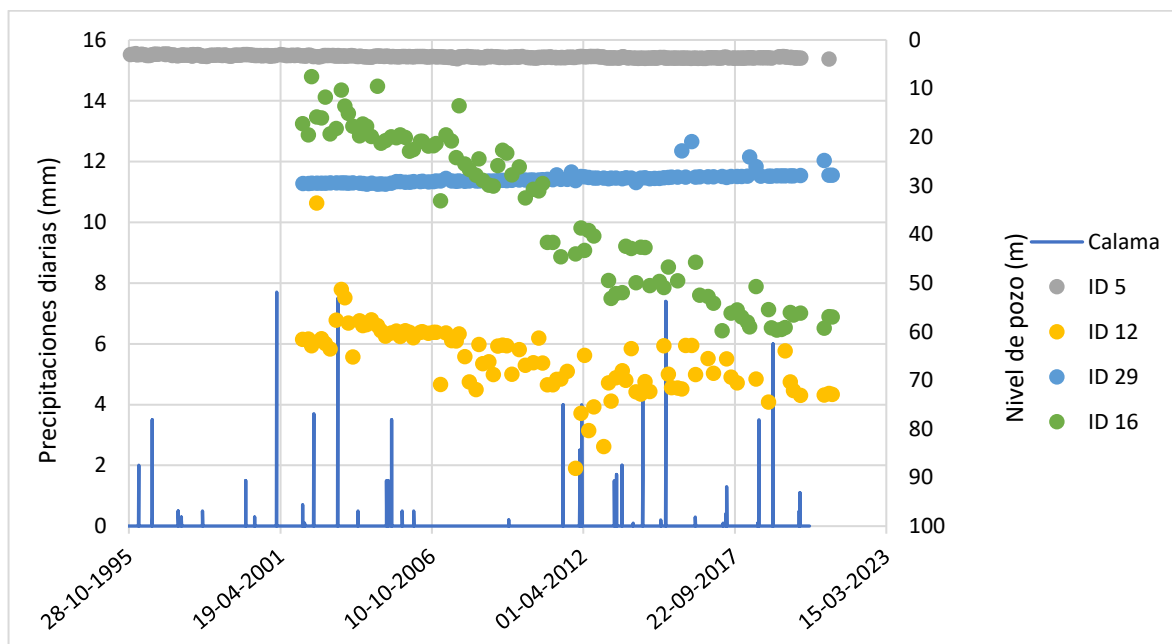


Figura 14.5 Pozos Estáticos

Se observan distintas variaciones en los niveles, los pozos ID 29 y 5, pese a estar distantes entre sí muestran un comportamiento casi invariante en el tiempo. Los pozos ID 12 y 16 están próximos entre sí y se infiere que ha habido un descenso progresivo de los niveles en la zona en que se encuentran. Es importante conservar y/o resguardar la medición de niveles en dichos pozos, por sobre otros que muestren valores netamente dinámicos, como el pozo ESSAN S-846-A 1 (ID 17) mostrado en la Figura 14.4.

En cuanto a los pozos que miden niveles dinámicos, sería relevante considerar el caudal de explotación, por lo que dicho pozo podría entrar en la estadística de la DGA de "Extracciones Efectivas". De todas maneras, en la región de Antofagasta es relevante tener estaciones piezométricas de niveles estáticos en los SHACS que se han definido por parte de la DGA.

14.4 Plan de Acción Red Piezométrica

14.4.1 Identificación lugar de pozos

La red piezométrica propuesta para la Región de Antofagasta 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 14.6 se muestran las estaciones piezométricas propuestas y las con mediciones estáticas que se mantienen vigentes. En la Tabla 14.3 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 14.3 Cantidad de pozos propuestos

ID	SHAC	Tipo de Restricción	Cantidad de Pozos Propuestos	Coordenadas Referenciales UTM WGS84	
				Este (m)	Norte (m)
1	Sierra Gorda	Zona de Prohibición	1	465.364	7.468.033
2	San Pedro Incacaliri	Zona de Prohibición	1	575.726	7.569.949
3	C2	Zona de Prohibición	1	574.072	7.372.065
4	Salar de Aguas Calientes y Laguna La Azufrera	Zona de Prohibición	1	533.285	7.227.883
5	Salar de Pajonales	Zona de Prohibición	1	518.363	7.199.448
6	Salar de Punta Negra e Imilac	Zona de Prohibición	1	508.228	7.286.443
7	Salares de Navidad y Mar Muerto	Zona de Prohibición	1	465.435	7.370.059
8	Salar de Elvira – Laguna Seca	Zona de Restricción	1	511.888	7.405.814
9	Aguas Blancas	Zona de Restricción	1	416.729	7.333.741
10	Rosario	Zona de Restricción	1	405.186	7.308.121
11	Puna de Atacama Sur	Zona de Prohibición	1	645.504	7.391.832
Total Pozos Propuestos			11		

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.

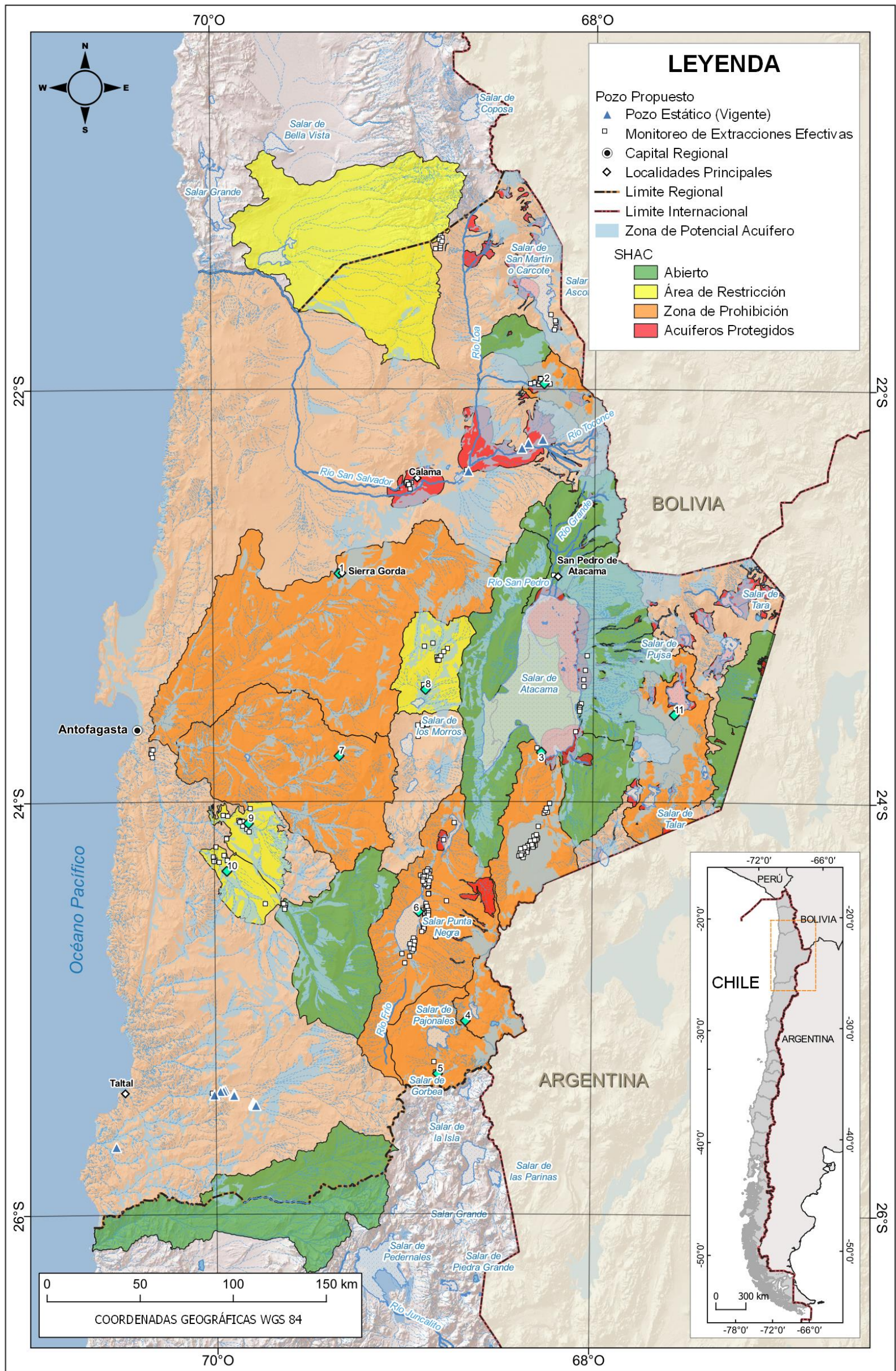


Figura 14.6 Ubicación pozos propuestos, Región de Antofagasta

14.4.2 Pozo estándar

Para la construcción de pozos se propone considerar el siguiente equipamiento como mínimo:

- Cierre de 3 x 3 m con malla ACMA (o tipo gallinero con refuerzo, soldadas a un perfil L como en las fotos)
- Puerta de entrada con candado
- Tapa Pozo de fierro con candado
- Letrero de identificación del pozo
- Letrero de Peligro
- Caseta tipo DGA
- Sensor de nivel
- Datalogger que permita la transmisión GPRS y Satelital
- Antena Satelital

Basado en un modelo estándar de estación piezométrica, en cada una se construirá un pozo en método aire reverso con diámetro mínimo de 10". La habilitación del pozo se materializará mediante la colocación de tubería de Acero Inoxidable en diámetro 8" como mínimo.

Además, para la habilitación de pozos se deberán verificar los siguientes aspectos:

- El filtro de gravilla en el espacio anular pozo-tubería deberá tener un espesor de 2" como mínimo.
- La postura de la gravilla deberá realizarse con barras tipo BX o equivalente, y de llenado ascendente.
- Si se utilizan lodos de perforación, se deberá sanitizar el pozo antes de entregarlo al mandante.
- Sello sanitario en superficie.
- Monumentación mediante placa de aluminio, la cual debe incluir:
 - Título
 - Nombre del Pozo
 - Coordenadas UTM (Datum WGS84)
 - Diámetro y profundidad final del sondaje

- Instalación de brocal en superficie de hormigón y tapa metálica con pestillo que permita insertar un candado, según el Anteproyecto Tipo (Figura 14.7), definido por la DGA para las nuevas estaciones piezométricas y de calidad de aguas de la red hidrométrica regional.

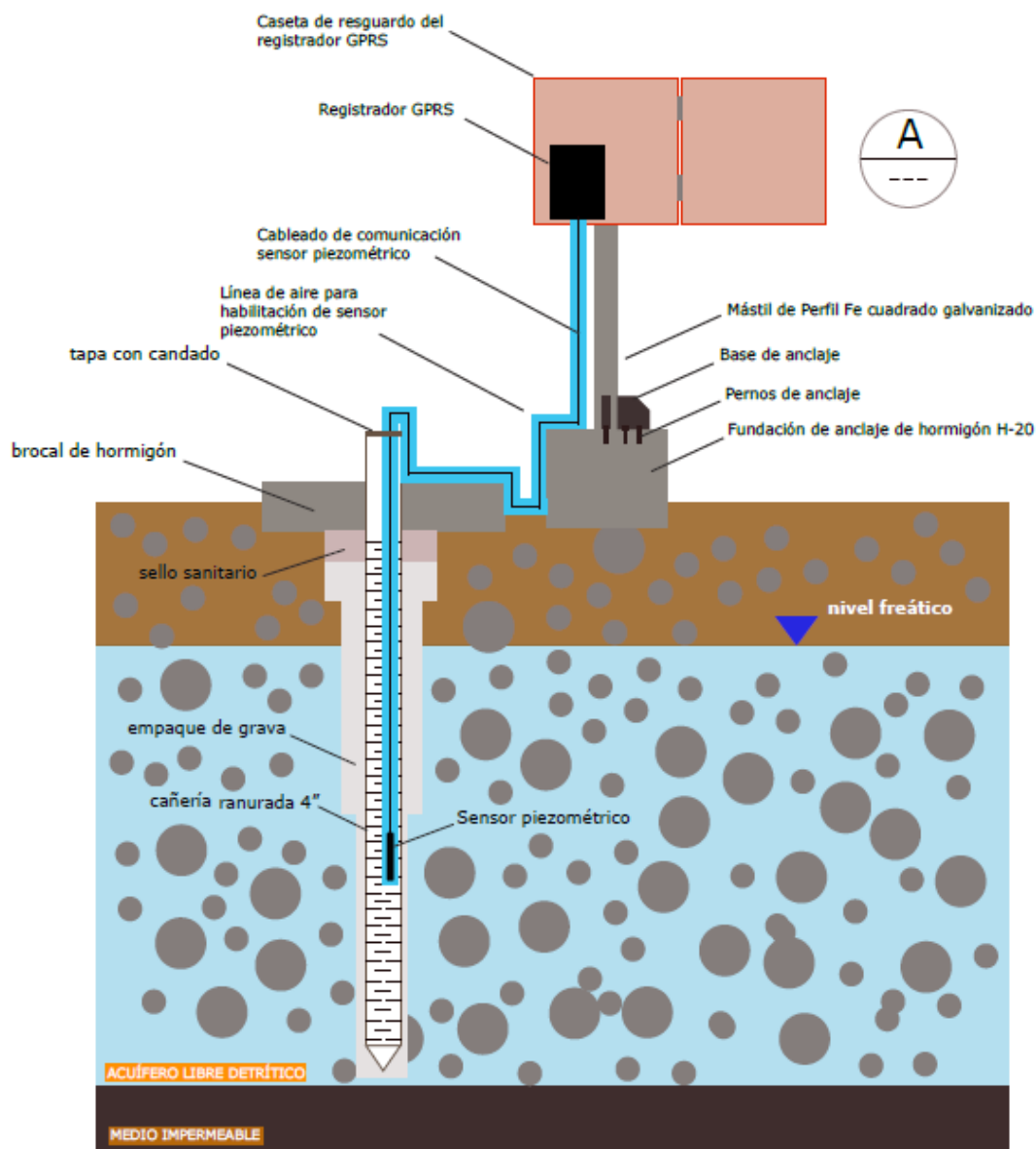


Figura 14.7 Anteproyecto tipo estación piezométrica DGA

14.4.3 Evaluación de costos

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

Un pozo estándar de la red de una profundidad de 50 metros (profundidad promedio) y habilitado para la transmisión satelital de niveles tiene un costo aproximado de \$27 millones de pesos.

En una primera etapa, donde se tiene como prioridad los SHAC con algún tipo de limitación, se propone la construcción de 11 pozos de monitoreo. Para lo anterior se requiere 550 metros lineales de sondaje, los cuales serán repartidos entre las 11 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 \$160 millones de pesos, y el costo de la red completa habilitada para la transmisión tiene un costo aproximado de \$330 millones de pesos para la región de Antofagasta, sumando un total estimado de **\$490 millones de pesos**.

15 GUÍA COMPONENTE SIG

El presente capítulo corresponde a la guía de la componente SIG (Sistema de Información Geográfica) asociada al "Diagnóstico para La Implementación de Red Nacional de Alerta de Eventos Hidrometeorológicos Extremos". En este capítulo se busca orientar a los usuarios o revisores del SIG, de manera tal que con los datos digitales disponibles se permita asociar la información de manera óptima y sencilla.

Esta componente, es una herramienta sistemática para referir geográficamente una serie de información que permite realizar una serie de operaciones entre ellas; la fácil superposición, cuantificación y síntesis de los datos. Los cuales sirven para capturar, almacenar, analizar y desplegar la información que ha sido recopilada en la elaboración de este informe para las diferentes regiones y sus cuencas.

Cabe destacar que los datos son esenciales para generar las capas vectoriales, ya que son el punto de partida para empezar a trabajar con los SIG, lo que permitirá analizar y extraer la información para la visualización y el análisis del contenido.

El objetivo principal de este informe es presentar el ordenamiento de la información, contenido y estructura principal de la componente SIG.

15.1 Sistema de Información Geográfica

En conformidad a lo planteado en las Bases Administrativas y Técnicas del Proyecto, la información espacial fue trabajada íntegramente en un Sistema de Información Geográfica (SIG) de software libre, en este caso se utilizó específicamente el software QGIS.

Adicionalmente, se debe mencionar que tanto los archivos y proyectos, como la cartografía generada, están construidos bajo el sistema de coordenadas UTM Huso 19 Sur y el Datum de referencia WGS 1984.

15.2 Sistematización de la Información

La carpeta Anexo SIG (**Anexo 12**) entregada en esta etapa, se compone de toda la información espacial digital que ha sido representada en los productos cartográficos de

las Etapas I a IV. Gran parte de los archivos que contiene la carpeta, han sido obtenidos a través de bases de datos públicas, como son las mapotecas de la Biblioteca del Congreso Nacional de Chile y de la DGA. Sin embargo, estos archivos no corresponden a las versiones originales, ya que han sido modificados y/o adaptados para su correcta representación según las necesidades del estudio.

Por otro lado, a partir de los análisis realizados durante el proceso de diagnóstico de la red hidrométrica, se han generado nuevas capas vectoriales que también están incorporadas en la carpeta Anexo SIG.

Esta carpeta está subdividida en 3 carpetas principales, que corresponden a 01_Proyectos, 02_Layers y 03_Figuras. La estructura general del anexo se muestra a continuación en la Tabla 15.1 y se detalla más adelante.

Tabla 15.1 Resumen de la estructura del Anexo

	Subcarpeta	Directorio
Anexo SIG	01_Proyectos	
	02_Layers	CARTA_BASE
		DGA
	03_Figuras	ESTUDIO

Fuente: Elaboración propia.

- **01_Proyectos:** corresponde a los proyectos en formato *.qgz de cada una de las figuras elaboradas para el estudio. Cada figura posee su propio proyecto, en el cual están cargadas únicamente las capas vectoriales representadas en la cartografía. Si bien el proyecto considera todas las regiones que están involucradas en este estudio, tiene cargadas las composiciones de cada región por separado, con todos los elementos cartográficos de cada figura.
- **02_Layers:** esta carpeta contiene todos los archivos vectoriales en formato shapefile utilizados en este estudio, los cuales se subdividen según su origen y función en 3 carpetas, las que corresponden a CARTA_BASE, DGA y ESTUDIO.
- **03_Figuras:** en esta ubicación existen carpetas para cada una de las figuras generadas en este estudio. Cada subcarpeta contiene las figuras en formato *.jpg de cada una de las regiones analizadas.

Para la correcta visualización de los archivos, se debe descargar la carpeta del Anexo SIG y copiarla directamente en el disco C, ya que los proyectos si bien tienen ruta relativa con los archivos vectoriales, tienen como directorio raíz el disco C.

15.3 Contenido

Como una forma de interiorizarse con la información espacial entregada en este anexo, a continuación se resume en la Tabla 15.2 cada uno de los directorios presentes en la carpeta 02_Layers y el detalle de cada uno de los archivos en formato shapefile que componen cada directorio.

Tabla 15.2 Estructura y contenido de cada directorio de la carpeta 02_Layers

Directorio	Nombre del Shapefile
CARTA_BASE	Capitales_Regionales
	Poblacion_Region
	Localidades_Principales
	Areas_Pobladas_BCN
	Sudamérica
	Regiones_Estudio
	Regiones_BCN
	Límite_Internacional
	Límite_Interrregional
	Oceano_Pacífico
	Masas_Lacustres_BCN
	Red_Hidrografica_BCN
DGA	Cuencas_DGA
	Acuíferos_Estudio
	acuiferos_protegidos_I_II_XV
	Niveles_Pozos_DGA_Correlativo
	Estaciones_Meteorologicas_DGA_Correlativo
	Estaciones_Fluviométricas_DGA_Correlativo
	BH87_Isotermas
ESTUDIO	BH87_Isoyetas
	Estaciones_Fluviométricas_ONEMI
	Estaciones_Meteorologicas_Criticas
	Estaciones_Fluviométricas_Criticas
	Nuevas_Estaciones_Fluviométricas
	Nuevas_Estaciones_Meteorologicas
	Puntos_Control_TC
	Cuencas_Aportantes_TC
	Estaciones_PPMED
	Estaciones_TMED
	Isotermas_Actualizadas_2021
	Isoyetas_Actualizadas_2021
	Thiessen_Meteorologicas
	Estaciones_Fluviométricas_Críticas_Finales
	Estaciones_Meteorológicas_Críticas_Finales
	Estaciones_Apoyo
	Potencial_Acuífero
	Pozos_Propuestos
	Estaciones_Piezométricas
	Pozo_Vigentes
Pozos_No_Vigentes	
Pozos_Estáticos_Vigentes	

Fuente: Elaboración propia.

El directorio CARTA_BASE contiene los archivos que conforman el lienzo de la cartografía. Cabe mencionar que estos shapefile están proyectados sobre un raster público de ESRI, llamado ESRI Shaded Relief. Los archivos de este directorio que no se han modificado, sino que corresponden a los originales descargados desde la mapoteca de la Biblioteca del Congreso Nacional, tienen el sufijo BCN.

Por otro lado, en el directorio DGA se encuentran todas aquellas capas que se han descargado desde la mapoteca de la DGA, pero que han sido modificadas para adaptarse a la dimensión del área de estudio y a las necesidades de visualización de cada región.

Finalmente, en el directorio ESTUDIO, están aquellas capas que se obtuvieron como producto a partir del proceso de análisis y diagnóstico de la red hidrométrica. A continuación, se entrega una breve descripción de cada uno de ellos.

- Estaciones_Fluviometricas_ONEMI: shapefile que individualiza la ubicación de todas aquellas estaciones fluviométricas que pertenecen al protocolo DGA-ONEMI.
- Estaciones_Meteorologicas_Criticas: presenta la ubicación de todas aquellas estaciones meteorológicas que han sido categorizadas como Estación Crítica, es decir, que son fundamentales en la generación de información para la alerta de eventos hidroclicmáticos extremos.
- Estaciones_Fluviometricas_Criticas: contiene la ubicación de todas aquellas estaciones fluviométricas que han sido categorizadas como Estación Crítica, es decir, que son fundamentales en la generación de información para la alerta de eventos hidroclicmáticos extremos.
- Nuevas_Estaciones_Fluviometricas: localización de las nuevas estaciones fluviométricas propuestas por este estudio con el fin de reforzar la red de alerta ante eventos hidroclicmáticos extremos.
- Nuevas_Estaciones_Meteorologicas: emplazamiento de las nuevas estaciones meteorológicas propuestas por este estudio con el fin de reforzar la red de alerta ante eventos hidroclicmáticos extremos.

- Puntos_Control_TC: ubicación de los puntos de control asignados en estaciones fluviométricas, meteorológicas y localidades vulnerables, que se utilizaron para obtener los tiempos de concentración de las cuencas aportantes a dichos puntos.
- Cuencas_Aportantes_TC: marca la morfología, dimensión y ubicación de las cuencas aportantes definidas para cada uno de los puntos de control.
- Estaciones_PPMED: localización de las estaciones meteorológicas con datos de precipitación de 10 años válidos o más y a través de las cuales se obtuvo la precipitación media.
- Estaciones_TMED: ubicación de las estaciones meteorológicas con datos de temperatura de 10 años válidos o más y a través de las cuales se obtuvo la temperatura media.
- Isotermas_Actualizadas_2021: líneas de isothermas actualizadas en el presente estudio, interpoladas a través de los datos de temperatura media de las estaciones meteorológicas.
- Isoyetas_Actualizadas_2021: distribución de las líneas de isoyetas actualizadas en el presente estudio, interpoladas a partir de los datos de precipitación media de las estaciones meteorológicas.
- Thiessen_Meteorologicas: distribución espacial de las estaciones meteorológicas, considerando la metodología de polígonos de Thiessen, donde se determina el área de influencia de cada estación analizada.
- Estaciones_Fluviometricas_Criticas_Finales: localización de las estaciones fluviométricas críticas finales definidas por este estudio, se consideran indispensables para la protección civil.
- Estaciones_Meteorologicas_Criticas_Finales: localización de las estaciones meteorológicas críticas finales definidas por este estudio, se consideran indispensables para la protección civil.

- Estaciones_Apoyo: corresponden a aquellas estaciones fluviométricas que si bien no son parte de la red crítica, se consideran un complemento importante para caracterizar los eventos de crecidas.
- Potencial_Acuifero: considera aquellos depósitos que gracias a su características litológicas y texturales, además de su lugar de emplazamiento, podrían desarrollar acuíferos.
- Pozos_Propuestos: localización de las estaciones piezométricas finales definidas por este estudio, se consideran para el refuerzo de la red.
- Estaciones_Piezometricas: localización de las estaciones piezométricas que pertenecen a la red piezométrica nacional.
- Pozos_Vigentes: estaciones piezométricas que poseen datos hasta el año 2018 y posterior.
- Pozos_No_Vigente: estaciones piezométricas que no poseen datos hasta el año 2018 y posterior.
- Pozos_Estaticos_Vigentes: estaciones piezométricas de nivel estático que poseen datos desde el año 2018 y posterior.

15.4 Diccionario SIG

El diccionario SIG contenido en el documento antes mencionado (Diccionario_Anexo_SIG.xlsx) pretende dar mayor detalle de los shapefiles incorporados en los distintos directorios y el detalle de los archivos que estos contienen.

La primera hoja en el documento "Diccionario 03_Figuras" contiene el listado de todas las Figuras utilizadas en la Etapa 2, en la segunda hoja "Diccionario 02_Layers" se encuentran todos los shapefiles que se encuentran al interior de cada directorio, la carpeta donde se encuentran ubicados, tipo de shapefile, una breve descripción de cada uno de ellos, su fuente de origen y estado (original o modificado).

La Tabla 15.3, corresponde a la estructura empleada para describir cada directorio:

Tabla 15.3 Estructura de los directorios

Directorio	Carpeta	Shapefile	Tipo	Descripción	Fuente	Estado
------------	---------	-----------	------	-------------	--------	--------

Fuente: Elaboración propia.

En las siguientes pestañas del documento "Diccionario_Anexo_SIG.xlsx" se visualizan las capas nuevas creadas para el estudio, donde se encuentran los campos de los shapefiles, la descripción y la unidad de medida (si corresponde). A continuación, se presenta en la Tabla 15.4 las hojas correspondientes a los shapefiles elaborados para el presente Estudio:

Tabla 15.4 Shapefiles creados para el Estudio

ESTUDIO	Estaciones_Fluviometricas_ONEMI
	Estaciones_Meteorológicas_Críticas_Preliminares
	Estaciones_Fluviométricas_Críticas_Preliminares
	Estaciones_Meteorológicas_Nuevas
	Puntos_Control_TC
	Cuencas_Aportantes_TC
	Estaciones_PPMED
	Estaciones_TMED
	Isotermas_Actualizadas_2021
	Isoyetas_Actualizadas_2021
	Thiessen_Meteorológicas
	Estaciones_Fluviometricas_Criticas_Finales
	Estaciones_Meteorológicas_Criticas_Finales
	Estaciones_Apoyo
	Potencial_Acuífero
	Pozos_Propuestos
	Estaciones_Piezometricas
	Pozo_Vigentes
	Pozos_No_Vigentes
Pozos_Estaticos_Vigentes	

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 15.5, se muestra la estructura que tienen los shapefiles mencionados en la Tabla 15.4:

Tabla 15.5 Estructura de los shapefiles creados

Shapefile:	
------------	--

Campo	Descripción	Unidades
-------	-------------	----------

16 CONCLUSIONES

16.1 Disponibilidad de datos

Las estaciones críticas fluviométricas seleccionadas poseen sobre 40 años de estadística, lo que se considera bueno, excepto la estación río Loa en Angostura, que sólo tiene 3 años. En cuanto a su vigencia solo 2 se encuentran vigentes, río Loa antes represa Lequena y río Loa en salida embalse Conchi. La cuenca del río Salado queda sin monitoreo y tampoco el río San Pedro. Existen dos estaciones que se consideran de cierre, río San Pedro en Cuchabrachi y río Loa en Angostura. Estas últimas estaciones son de vital importancia ya que la primera es la única que existe en el río San Pedro y está ubicada a una distancia tal que genera una muy buena alerta sobre crecidas potenciales que podrían afectar a la localidad de San Pedro de Atacama, y la segunda es la última que está a una buena distancia para generar una alerta de crecida que podría afectar a la ciudad de Calama.

Las estaciones críticas meteorológicas seleccionadas actúan como un complemento de las fluviométricas, es decir, donde no existan estaciones fluviométricas se selecciona una estación meteorológica que pueda, en base a observaciones de precipitaciones, generar una alerta de crecida importante. Las estaciones Sierra Gorda y Aguas Verdes tienen más de 20 años de estadística y se encuentran vigentes, mientras que la estación Toconao Quebrada 1 no tiene años válidos de estadística y no tiene datos en los últimos dos años. Esta última estación es importante pues está en la parte alta de la cuenca aportante al Salar de Atacama y generaría una alerta de crecidas que podrían afectar a localidades como Toconao y Peine, además de las faenas mineras que existen por el sector.

16.2 Eventos extremos

Las estaciones fluviométricas críticas seleccionadas han registrado gran cantidad de estadística y dentro de ella varios eventos extremos. En los gráficos de caudales y alturas máximas es posible observar la magnitud de las crecidas, donde en las últimas dos décadas existen alrededor de 3 eventos que sobresalen con respecto a los otros, además se ve la importancia de tener todas las estaciones vigentes y por sobre todo las que son

de cierre, que estarían aguas arriba de poblaciones importantes, como lo son las estaciones río Loa en Angostura y río San Pedro en Cuchabrachi.

En cuanto a las estaciones meteorológicas no se observa una buena correlación entre la precipitación registrada y los caudales de las estaciones fluviométricas. Pero en zonas sin control fluviométrico se vuelve una información de vital importancia ya que da una estimación de la posible crecida que afectaría a población vulnerable aguas abajo. Las estaciones meteorológicas críticas seleccionadas cumplen con la condición de estar en zonas sin control fluviométrico y han registrado eventos importantes, como la precipitación de 52 mm registrada en la estación Aguas Verdes en 2015 que provocó una crecida que afectó a Taltal.

16.3 Distribución espacial

La zona con mayor cantidad de precipitaciones tiene una mejor densidad de estaciones fluviométricas y meteorológicas. Por otro lado, la zona sur de la región donde llueve menos no tiene control fluviométrico y tiene una densidad de estaciones meteorológicas tal que la estación Aguas Verdes es la única para un área de 13.000 km². Es por este motivo que se recomienda agregar una estación meteorológica en la zona sur de la región, que esté en el área de cabecera de las quebradas Taltal y La Negra.

16.4 Red Hidrométrica Final

A partir de los análisis expuestos, la red hidrométrica crítica final consta de 4 estaciones fluviométricas, 4 estaciones meteorológicas existentes, 1 estación meteorológica nueva y 2 estaciones de apoyo. La red lograría alertar localidades de los sectores cordilleranos y precordilleranos de la región, con un total de 205.115 habitantes, susceptibles a eventos hidrometeorológicos extremos. La red de esta región se ha visto constantemente afectada por crecidas que suben su caudal súbitamente, dejando en muchas ocasiones las estaciones fuera de operación. Es necesario mejoras estructurales y de algunos equipos, estimadas en \$571 millones de pesos, para llevar a la red hidrométrica crítica a la condición de estándar. La red hidrométrica crítica final se compone de las siguientes estaciones.

- Estaciones fluviométricas
 - Río Loa en salida embalse Conchi

- Río Salado en sifón Ayquina
- Río Loa en Angostura
- Río San Pedro en Cuchabrachi
- Estaciones meteorológicas
 - El Tatio
 - Sierra Gorda
 - Toconao Quebrada 1
 - Aguas Verdes
- Estación meteorológica nueva
 - Camino a salar de Pajonales
- Estaciones de apoyo
 - Río Loa antes represa Lequena
 - Río Salado antes junta Curti

16.5 Red Piezométrica

La red piezométrica en la región de Antofagasta presenta un total de 32 estaciones piezométricas, de las cuales solo dos se encuentran en SHAC definidos por la DGA. La calidad de la información presentada en dichos acuíferos por las estaciones se considera alta, debido a que casi la totalidad 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 Llamara
- Salar de Elvira – Laguna Seca
- Aguas Blancas
- Rosario

SHAC ubicados en zona de prohibición:

- Sierra Gorda
- Salares de Navidad y Mar Muerto
- Puna de Atacama Sur
- C2 (Salar de Atacama)

- San Pedro Inacaliri
- Salar de Aguas Calientes y Laguna La azufrera
- Salar de Pajonales

Estos SHAC tienen problemas de disponibilidad del recurso hídrico, ya sea por falta de oferta, por sobredemanda o protección ambiental, 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, siempre y cuando la profundidad permita medir los niveles estáticos), con el fin de rescatar y continuar con la estadística ya medida.