



GOBIERNO DE CHILE  
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS  
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS  
DIRECCIÓN REGIONAL DE ANTOFAGASTA

ANÁLISIS Y SISTEMATIZACIÓN  
INFORMACIÓN ESTACIONES  
HI DROMETEREOLÓGICAS Y CALIDAD DE  
AGUAS, REGIÓN DE ANTOFAGASTA

REALIZADO POR:

AQUANEXUS y CIA LIMITADA.

S.I.T N° 406

ANTOFAGASTA, SEPTIEMBRE DE 2016

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

Ministro de Obras Públicas  
Sr. Alberto Undurraga Vicuña

Director General de Aguas  
Sr. Carlos Estévez Valencia

Director Regional de Aguas  
Sra. Norberto Portillo Araya

Inspector Fiscal Sr. Arturo Beltrán Schwartz

AQUANEXUS Y CÍA LTDA.

Jefe Proyecto  
Sr. Manuel Jara Garrido (Ing. Civil)

Profesionales:

Sr. Alberto Manzanares F. (Ing. Civil)  
Sr. Mauricio Melo A. (Ing. Agrónomo)  
Sr. José Araos E. (PhD. Geología)  
Sr. José Luis Larroucau R. (Ing. Civil)

**Para citar bibliográficamente este estudio, se recomienda hacerlo de la siguiente forma:**

DGA, 2016. Análisis y Sistematización Información Estaciones Hidrometereológicas y Calidad De Aguas, Región de Antofagasta. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas.

Realizado por AQUANEXUS y Cía Ltda.

ANÁLISIS Y SISTEMATIZACIÓN DE INFORMACIÓN ESTACIONES  
HIDROMETEOROLÓGICAS Y CALIDAD DE AGUAS, REGIÓN DE ANTOFAGASTA

INDICE

ACAPITE	DESCRIPCION	PÁGINA
<b>1.</b>	<b>CAPITULO I, ANTECEDENTES GENERALES</b>	<b>6</b>
<b>1.1</b>	<b>Introducción</b>	<b>6</b>
1.1.1	<i>Localización Geográfica y Cobertura</i>	8
1.1.2	<i>Antecedentes Generales</i>	9
<b>1.2</b>	<b>Objetivos</b>	<b>14</b>
1.2.1	<i>Objetivo General</i>	14
1.2.2	<i>Objetivos Específicos</i>	14
<b>1.3</b>	<b>Descripción del Trabajo</b>	<b>14</b>
1.3.1	<i>Alcances</i>	14
1.3.2	<i>Contenido de los Informes</i>	14
<b>1.4</b>	<b>Marco General. del Trabajo de Análisis y Sistematización</b>	<b>17</b>
1.4.1	<i>Consideraciones Sobre disponibilidad de Información</i>	18
<b>1.5</b>	<b>Productos Entregables</b>	<b>29</b>
<b>1.6</b>	<b>Bibliografía</b>	<b>21</b>
<b>2.</b>	<b>CAPÍTULO II, MONITOREO HIDROMETEOROLÓGICO</b>	<b>22</b>
<b>2.1</b>	<b>Descripción General</b>	<b>22</b>
<b>2.2</b>	<b>Análisis de información Meteorológica</b>	<b>25</b>
2.2.1	<i>Pluviometría</i>	25
2.2.2	<i>Relleno y Extensión de Datos</i>	28
2.2.3	<i>Curvas Doble Acumulada</i>	31
2.2.4	<i>Análisis de Ajuste de frecuencia</i>	32
2.2.5	<i>Curvas de Variación</i>	34
2.2.6	<i>Integración de la información pluviométrica a modelos de distribución espacial.</i>	35
2.2.7	<i>Análisis de distribución territorial estaciones meteorológicas DGA</i>	38
<b>2.3.</b>	<b>Análisis de Información de Terceros</b>	<b>40</b>
2.3.1	<i>Marco general para el levantamiento de información de Terceros</i>	40
2.3.2	<i>Levantamiento de estaciones meteorológicas</i>	40
2.3.3	<i>Estaciones Hidrometeorológicas Empresas (Obligación Informar)</i>	42
2.3.4	<i>Estaciones Hidrometeorológicas Empresas (Privadas)</i>	48
2.3.5	<i>Validaciones de Estaciones Hidrometeorológicas</i>	50
2.3.6	<i>Recomendación de Tipo Territorial</i>	52
<b>2.4.</b>	<b>Recomendaciones y Conclusiones</b>	<b>60</b>
<b>2.5.</b>	<b>Sistematización de la Información Hidrometeorológicas</b>	<b>60</b>

<b>ACAPITE</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>PÁGINA</b>
<b>3.</b>	<b>CAPITULO III, MONITOREO FLUVIOMETRICO</b>	<b>56</b>
<b>3.1</b>	<b>Descripción General</b>	<b>56</b>
<b>3.2</b>	<b>Caracterización de los Recursos superficiales Regionales</b>	<b>58</b>
<b>3.3</b>	<b>Análisis de información Fluviométrica</b>	<b>60</b>
3.3.1	<i>Relleno y Extensión de Datos</i>	62
3.3.2	<i>Curvas Doble Acumulada</i>	65
3.3.3	<i>Análisis y Segmentación de Caudales Medios</i>	66
3.3.4	<i>Análisis de distribución territorial de las estaciones Fluviométricas DGA</i>	69
<b>3.4</b>	<b>Análisis de Información de Terceros</b>	<b>69</b>
3.4.1	<i>Levantamiento de estaciones Fluviométricas</i>	69
3.4.2	<i>Validación de Información de Terceros</i>	73
3.4.3	<i>Análisis espacial de información de tercero</i>	75
<b>3.5</b>	<b>Conclusiones y Recomendaciones</b>	<b>75</b>
<b>4.</b>	<b>CAPÍTULO IV, MONITOREO DE AGUA SUBTERRANEA</b>	<b>76</b>
<b>4.1</b>	<b>Descripción General</b>	<b>76</b>
<b>4.2</b>	<b>Caracterización de los Recursos Hídricos Subterráneos de la Región</b>	<b>79</b>
<b>4.3</b>	<b>Análisis de Información de Niveles Estáticos</b>	<b>84</b>
<b>4.4</b>	<b>Determinación de Patrones Representativos</b>	<b>86</b>
<b>4.5</b>	<b>Análisis de Distribución de los Puntos de Monitoreo de Aguas subterráneas</b>	<b>89</b>
<b>4.6</b>	<b>Análisis de Información de Terceros</b>	<b>90</b>
<b>4.7</b>	<b>Validación de Información de Terceros</b>	<b>101</b>
<b>4.8</b>	<b>Conclusiones y Recomendaciones</b>	<b>103</b>
<b>5.</b>	<b>CAPÍTULO V. MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA</b>	<b>104</b>
<b>5.1</b>	<b>Descripción General</b>	<b>104</b>
<b>5.2</b>	<b>Análisis de Información de Calidad de Agua Estaciones DGA.</b>	<b>108</b>
5.2.1	<i>Caracterización Hidro Química de las Aguas bajo Monitoreo de la DGA</i>	109
<b>5.3</b>	<b>Análisis de Pertinencia para la Red de Calidad de Aguas de la Región de Antofagasta</b>	<b>113</b>
<b>5.4</b>	<b>Análisis de Información de Terceros</b>	<b>115</b>
5.4.1	<i>Marco general para el levantamiento de información de Terceros</i>	115
5.4.2	<i>Levantamiento de Información de las Estaciones de Calidad de Aguas de Terceros</i>	115
<b>5.5</b>	<b>Validación de Información de Terceros</b>	<b>123</b>
<b>5.6</b>	<b>Conclusiones y Recomendaciones</b>	<b>123</b>

<b>ACAPITE</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>PÁGINA</b>
<b>6.</b>	<b>CAPITULO VI, PROGRAMA PARA LA SISTEMATIZACION DE LA INFORMACION</b>	<b>124</b>
6.1	Descripción General	124
6.2	Caracterización Funcional	125
6.3	Caracterización del proceso de carga de datos	132
6.4	Caracterización del proceso análisis	134
6.5	Caracterización del proceso de exportación	136
6.6	Conexión con Programa Arc-Gis	136
6.7	Desarrollo de Proyecto en Arc-Gis	137
6.8	Modelo de Datos y Manual de Usuarios	138
6.9	Programas Fuentes y Capacitación	138
<b>7.</b>	<b>CAPITULO VII, ACTUALIZACIÓN Y ANÁLISIS DE PAT´S</b>	<b>139</b>
7.1.	Descripción General	139
7.2	Actualización Base de Datos A.S.A.P	140
7.3	Análisis de Información de planes de alerta temprana	141
7.3.1	<i>Plan de Alerta Temprana Calama</i>	141
7.3.2	<i>Plan de Alerta Temprana Ollagüe</i>	143
7.3.3	<i>Plan de Alerta Temprana Pampa Puno</i>	147
7.3.4	<i>Plan de Alerta Monturaqui-Negrillar-Tilipozo</i>	151
7.3-5	<i>Plan de Alerta Temprana Elvira.Los Morros</i>	154
7.4.	Conclusiones y Recomendaciones	156

## LISTADO DE GRAFICOS

ACAPITE	DESCRIPCION	PÁGINA
<b>Figura 1.1</b>	Disponibilidad del Recurso Hídrico en Chile	6
<b>Figura 1.2</b>	Zona de Estudio	8
<b>Figura 1.3</b>	Ubicación Regional.	9
<b>Figura 1.4</b>	Ubicación de las Cuencas de la Región de Antofagasta	13
<b>Figura 2.1</b>	Mapa de Estaciones Hidrometeorológicas DGA Vigente	24
<b>Figura 2.2</b>	Gráfico de correlación y CDA entre estación Inacaliri (patrón-Local) y estación Linzor (rellenada)	29
<b>Figura 2.3</b>	CDA para Patrón Rio Loa ( Parte alta) y el Patrón Salar de Atacama.	31
<b>Figura 2.4</b>	Distribuciones más frecuentes para serie de estaciones y test de $\chi^2$ , grafico de análisis de frecuencia para la distribución de Gumber para la estación Taladre	33
<b>Figura 2.5</b>	Curvas de excedencia par estaciones de cabecera del rio loa y del Salar de Atacama.	34
<b>Figura 2.6</b>	Capa Raster continua de precipitaciones	36
<b>Figura 2.7</b>	"Mapa de Error" generado en la interpolación del método Kriging normal	37
<b>Figura 2.8</b>	Ubicación Territorial de Estaciones Hidrometeorológicas INIA y DGAC.	41
<b>Figura 2.9</b>	Ubicación de Estaciones Hidrometeorológicas de Terceros con obligación de informar	49
<b>Figura 2.10</b>	Ubicación geográfica de estaciones de Calidad de Aire	47
<b>Figura 2.11</b>	Ubicación geográfica de estaciones de carácter Privado	49
<b>Figura 2.12</b>	Estaciones Hidrometeorológicas sobre " <i>Mapa de Error</i> " ( <i>envolvente Kriging</i> )	53
<b>Figura 3.1</b>	Mapa de Estaciones Fluviométricas Vigentes	57
<b>Figura 3.2</b>	Gráfico de correlación y CDA entre estación Inacaliri (patrón-Local) y estación Linzor (rellenada)	63
<b>Figura 3.3</b>	CDA para estaciones Fluviométricas en el Rio Loa	66
<b>Figura 3.4</b>	Ubicación geográfica de los puntos de monitoreo superficial de Terceros	72
<b>Figura 4.1</b>	Mapa de Estaciones de aguas Subterránea de la DGA	78
<b>Figura 4.2</b>	Líneas de tendencia para los Acuíferos que superaron criterios establecidos	89
<b>Figura 4.3</b>	Ubicación Geográfica de los Pozos de Monitoreo de Agua Subterránea de	100
<b>Figura 5.1</b>	Mapa de Estaciones de Calidad Vigentes	106
<b>Figura 5.2</b>	Ficha detallada de parámetros para la estación "Rio Loa en la Finca"	107
<b>Figura 5.3</b>	Diagrama de Stiff	111
<b>Figura 5.4</b>	Diagramas de Stiff a lo largo del río Loa	111
<b>Figura 5.5</b>	Diagramas de caja de la Estación Rio Loa en la Finca	112
<b>Figura 5.6</b>	Diagramas de Caja para los parámetros físico-químicos a lo largo de Rio Loa	113
<b>Figura 5.7</b>	Ubicación geográfica de las estaciones de monitoreo de Calidad de terceros	122
<b>Figura 6.1</b>	Pantalla de inicio del sistema SIEHMCA	125
<b>Figura 6.2</b>	Pantalla de despliegue de cortinas con funcionalidad del sistema SIEHMCA	126
<b>Figura 6.3</b>	Despliegue de la pantalla con nivel Ficha Descriptiva	127
<b>Figura 6.4</b>	Aplicación para la creación de Fichas	131
<b>Figura 6.5</b>	Aplicación para la mantención de fichas	131
<b>Figura 6.6</b>	Pantalla de Salida para la impresión de Fichas	132

<b>ACAPITE</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>PÁGINA</b>
<b>Figura 6.7</b>	Formatos de Carga para información de estaciones de monitoreo	133
<b>Figura 6.8</b>	Mantenedor que permite la importación de data al sistema	134
<b>Figura 6.9</b>	Gráfico de Correlación	134
<b>Figura 6.10</b>	Serie de tiempo y tendencia lineal	135
<b>Figura 6.11</b>	Balance iónico de series de Calidad	135
<b>Figura 6.12</b>	Mantenedor que permite la exportación de datos.	136
<b>Figura 6.13</b>	Pantalla de conexión a la base de datos	136
<b>Figura 6.14</b>	Despliegue de información proyecto SIEHMCA GIS	137
<b>Figura 7.1</b>	Gráfico de Caudales Medios y condicionantes de Vertiente Ojos de Apache en Enaex.	143
<b>Figura 7.2</b>	Niveles estáticos pozos PAT Ollagüe	146
<b>Figura 7.3</b>	Pozos con disminución de niveles estáticos mayores a los límites de 15 y 50 metros respectivamente.	149
<b>Figura 7.4</b>	Gráficos de pozos que no superan límites de variación de nivel estático.	150
<b>Figura 7.5</b>	Niveles estáticos pozos zona Pampa Yocas y límite de variación de 5m	151
<b>Figura 7.6</b>	Gráfico de nivel estatico de pozos zona de Tilopozo	153

# CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES GENERALES

## 1.1. Introducción

Por gran parte de la sociedad el agua es considerado un recurso esencial en el desarrollo social y económico de cada una de las regiones del país, además de ser primordial en la sustentabilidad ambiental de una diversidad de sistemas naturales. Sin embargo, la disponibilidad del recurso a nivel nacional es disímil entre las regiones ubicadas al norte del país respecto a las ubicadas en el sur de este. Desde las cuencas situadas entre las Regiones de Arica y Parinacota hasta las de la Región de Valparaíso, e inclusive en algunas cuencas de la zona central del país se puede observar un déficit entre la oferta y la demanda del recurso, haciendo cada vez más compleja la administración de este. La creciente presión por la disponibilidad y calidad del agua, se contrasta con una oferta sometida a condiciones climáticas, a condiciones naturales de extrema aridez-como ocurre en las zonas desérticas- y a condiciones de uso en que los recursos existentes ya están siendo utilizados en su máxima capacidad e incluso en algunos casos están siendo sobreexplotados. Un esquema de disponibilidad del recurso en Chile se muestra en la Figura 1.1.

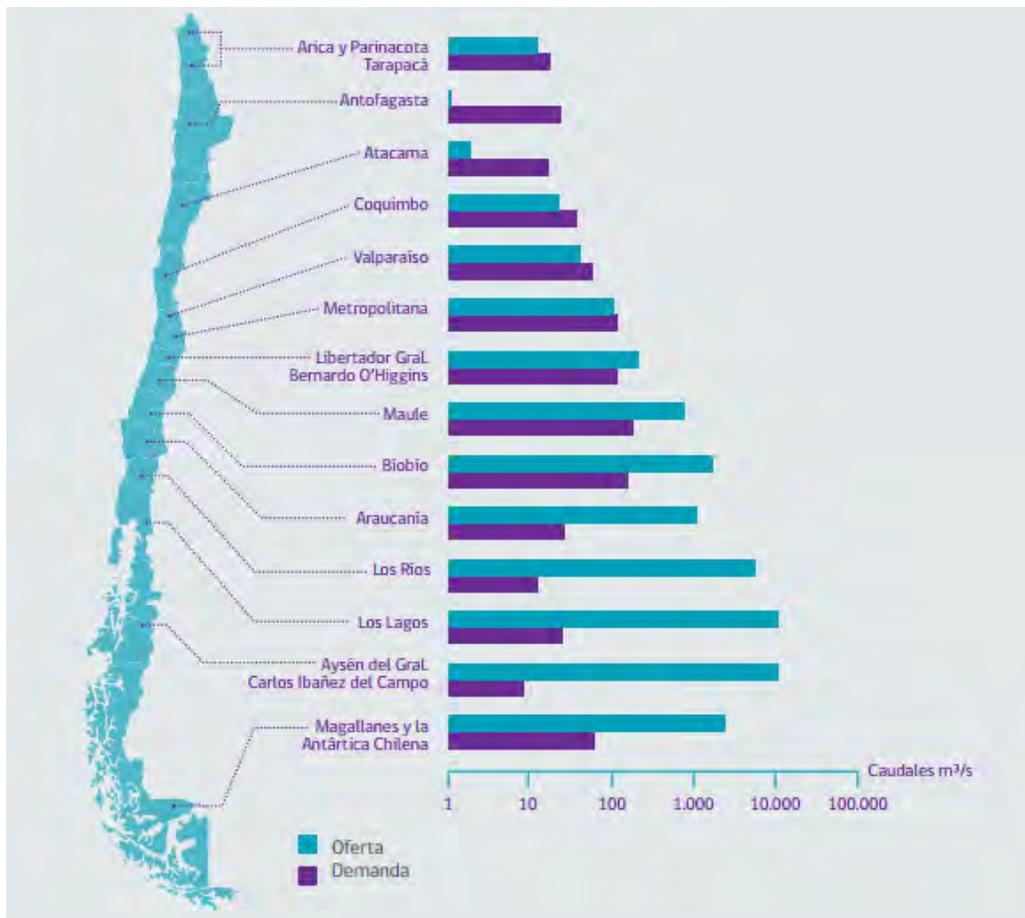


Figura 1.1 Disponibilidad del Recurso Hídrico en Chile (Ministerio de Medio Ambiente, 2011)

En este contexto será de interés para la comunidad que los organismos públicos desarrollen políticas de planificación territorial que profundicen en el monitoreo, control y análisis de la disponibilidad y calidad de los recursos hídricos, y que estos puedan ser agrupados por diferentes categorías o divisiones como: cuencas, subcuencas, comunas, regiones, zonas de interés ambiental, etc. Es así que en consideración al carácter de bien público del agua, el estado ha entregado a la Dirección General de Aguas (DGA) entre otras facultades las de proporcionar y difundir la información generada por su red hidrométrica y la contenida en el Catastro Público de Aguas; además, del estudio continuo del comportamiento de los recursos hídricos del país, con el objetivo de que el estado, los usuarios de agua y la comunidad en general puedan tomar decisiones informadas que contribuyan a un uso eficiente y sustentable del recurso.

En el interés de profundizar en una política a largo plazo que permitiese un gestión eficiente y sustentable de los recursos hídrico, el año 2013, la Dirección General de Aguas DGA encargó al Banco Mundial el desarrollo de la **"Estrategia Nacional de Recursos Hídricos"** la cual estableció una serie lineamientos o ejes para el periodo que comprende los años 2012-2015, algunos de los cuales son relevantes para el presente estudio:

1.- Eje 1, Gestión Eficiente y Sustentable. Donde uno de los temas relevantes es **"establecer una política que incentive la gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH)", la cual debe considerar tanto el agua subterránea como superficial, las formas y los ciclos de interacción entre ambas, entre otros aspectos.** Así, la GIRH exige contar con un conocimiento profundo de las disponibilidad y calidad del agua, de las condiciones en que se aprovecha está y de los objetivos de cada cuenca. Una vez establecido lo anterior, se pueden identificar las acciones y medidas deseables y viables para cada cuenca en particular, a través de instancias de coordinación y participación entre los actores involucrados.

2.- Eje 3, Enfrentar la Escasez. Se releva que el dimensionamiento de las soluciones también pasa por una adecuada estimación de la oferta como la demanda hídrica en la respectiva cuenca de manera de cuantificar y proyectar adecuadamente las necesidades futuras.

Todos los elementos indicados apuntan a la necesidad de contar con información tanto de disponibilidad como de calidad de los recursos hídricos, la cual en base a los antecedentes de este proyecto, pueden ser obtenida de fuentes distintas a la DGA, pertenecientes a Terceros (entidades públicas y/o privadas) generada debido a compromisos medioambientales derivados de las Resoluciones de Calificación Ambiental RCA, a proyectos de investigación, como parte de servicios meteorológicos o por necesidades de entes públicos y privados de diversa índole. Sin embargo, esta información se generó de forma independiente, se encuentra fragmentada y en muchos casos sin un claro estándar de calidad de los datos; por otro lado no existe un claro y sistematización y catastro de los registros existente, lo que establece condiciones de análisis de gran complejidad, que obliga a realizar un proceso de validación utilizando líneas base muy robustas., para tal efecto este estudio propone la utilización de la información generadas por la red hidrometeorológica y de calidad de agua que posee y publica oficialmente la DGA.

Finalmente, tanto la información recabada de fuentes de Terceros como las definidas como líneas base serán analizadas y sistematizadas a través de una aplicación computacional denominada SIEHMCA (Sistema de información de Estaciones Hidrometeorológicas y de Calidad de Aguas) que es parte integral de este proyecto.

### 1.1.1. Localización Geográfica y Cobertura

La zona de estudio corresponde al total de las cuencas de la Región de Antofagasta, ubicadas en cada una de sus comunas: Antofagasta, Mejillones, Taltal, Sierra Gorda, Calama, Ollagüe, San Pedro de Atacama, Tocopilla y María Elena.



Figura 1.2 Zona de Estudio

### 1.1.2. Antecedentes Generales

La región de Antofagasta se localiza aproximadamente entre las latitudes 21° y 26° Sur y entre 71 y 67° Oeste, con la distancia más grande a nivel nacional entre frontera y océano, justo en 23° sur, aproximadamente de 340 km desde la costa al límite con Argentina.

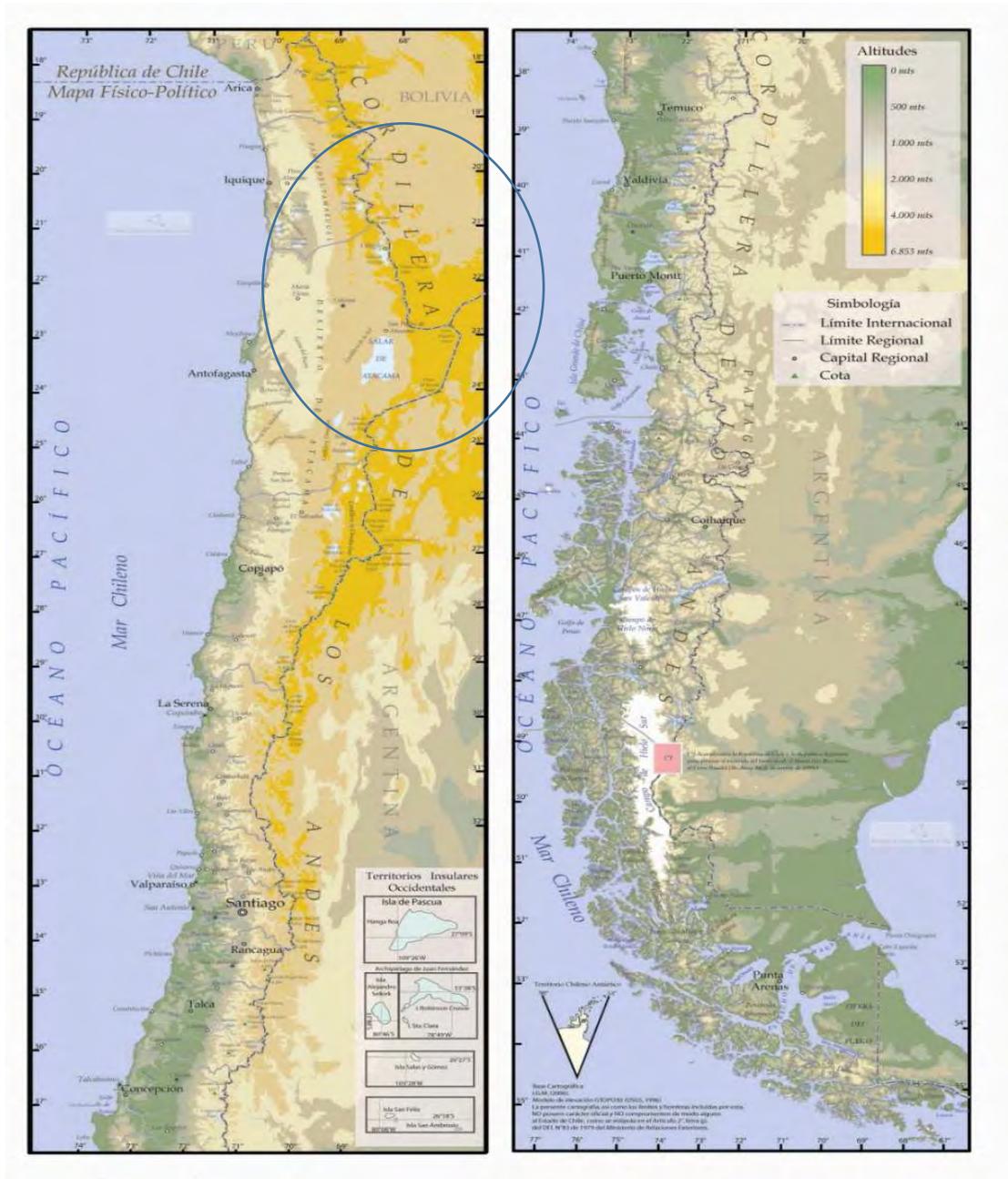


Figura 1.3 Ubicación Regional.

#### 1.1.2.1. Relieve

Las características del relieve se manifiestan en sentido norte-sur, de la misma manera que en todo el territorio nacional. Los principales rasgos de esta región son la presencia de planicies litorales, especialmente en la península de Mejillones. Además, encontramos una gran cuenca altiplánica donde se localiza el salar de Atacama que divide la Cordillera de los Andes.

En esta región la Cordillera de los Andes se presenta alta, maciza y con marcado volcanismo. La presencia de cuencas o depresiones intercordilleranas en sentido longitudinal dividen la Cordillera de los Andes en una franja oriental donde predomina el altiplano o puna de Atacama con alturas superiores de 4.000 metros, sobresaliendo las cumbres de los volcanes Miño, Ollagüe, San Pedro, San Pablo, Licancabur, Llullaillaco, y Socompa. La Cordillera occidental de los Andes se denomina "Precordillera". Al norte de la región se localiza la sierra de Moreno, la cual se encuentra separada del altiplano por la depresión que forma el curso superior del río Loa. Al sur de San Pedro de Atacama, la precordillera recibe el nombre de Cordillera de Domeyko y se extiende hasta la quebrada de Paipote (Tercera Región).

La Depresión Intermedia es la continuación de la pampa del Tamarugal con alturas que varían desde 600 metros en el contacto de la Cordillera de la Costa y 1.500 metros en los planos inclinados de transición hacia la precordillera andina. Al poniente de esta unidad de relieve se localizan algunos salares: Mijares, Navidad, El Carmen y Mar Muerto. Al sur del río Loa la Depresión Intermedia se denomina "pampa" y se caracteriza por presentar cordones de cerros y colinas aisladas que alcanzan alturas de 1.500 metros aproximadamente.

La Cordillera de la Costa se localiza al sur del río Loa hasta el límite de la Tercera Región. Se caracteriza por su mayor continuidad siendo un conjunto macizo de alturas de 1.000 y 3.000 metros. Al interior de Antofagasta, la mayor altura corresponde al cerro Colupo, de 2.293 metros ubicado al suroriente de Tocopilla, y el cerro Armazones, de 3.064 metros ubicado en la sierra de Vicuña Mackenna.

Al interior de Antofagasta la continuidad de la cordillera costera se interrumpe; el relieve decrece en altitud dando origen a las cuencas de los tres últimos salares costeros del norte grande.

Las planicies litorales son muy estrechas y de grandes extensiones. Hacia el litoral desaparecen permitiendo que el acantilado costero descienda hasta el mar.

#### 1.1.2.2. Clima y Vegetación

Las características climáticas de la Región de Antofagasta son de una marcada aridez. El desierto se manifiesta plenamente hacia la zona intermedia, donde la influencia marítima, propia del relieve, pierde importancia. La situación de extrema aridez en la Depresión Intermedia y la escasa vegetación existente definen un paisaje natural conocido como Desierto de Atacama. En esta región se localizan cuatro subtipos climáticos desérticos, localizados en franjas longitudinales.

A lo largo de la costa se localiza el clima desértico costero nuboso. Sus efectos se manifiestan hasta 20 kilómetros al interior donde la sequedad atmosférica es mayor, debido a que por causas del relieve la influencia marítima es retenida en los cerros de la Cordillera de la Costa. Las características principales de este subtipo climático se traducen en un efecto modelador de las temperaturas producido por la corriente fría de Humboldt, la presencia de abundante humedad, neblinas matinales y la ausencia de precipitaciones. Las lluvias registran un leve aumento hacia el sur del litoral, de igual manera lo mismo ocurre hacia el interior del altiplano.

En la franja intermedia de la región se desarrolla el subtipo climático desértico interior, y corresponde al clima desértico propiamente tal, caracterizado por una aridez extrema, ausencia de humedad, gran sequedad atmosférica y una amplitud térmica entre el día y la noche. Las temperaturas diurnas extremas son de 30° C y en la noche bajan de 1 a 2° C. En las zonas intermedias de las pampas interiores, encerradas por serranías del oriente por la precordillera andina, la región posee las características climáticas más áridas del norte chileno. Es a esto lo que se le denomina Desierto de Atacama, las precipitaciones son muy escasas y la humedad relativa es inferior al 50%.

Entre los 2.000 y 3.500 metros sobre el nivel del mar se localiza el clima desértico marginal de altura, el cual presenta mayor cantidad de volumen de precipitaciones en los meses de verano, entre 20 y 60 mm anuales. Esto permite el asentamiento de poblados cordilleranos como San Pedro de Atacama, Toconao o Chiu-chiu.

El clima de estepa de altura se localiza preferentemente en las áreas de los bordes o márgenes de los desiertos y también como sucede en el norte del país, existe un clima estepárico de altura. En esta región se ubica por sobre los 3.500 metros sobre el nivel del mar, lo que corresponde a la zona altiplánica o puna. Sus principales características son las bajas temperaturas (siendo la media anual de 2° C), la amplitud térmica entre el día y la noche es muy alta (más de 20° C). Las precipitaciones se producen en los meses de verano y no sobrepasan los 100 mm anuales. A medida que se avanza hacia el sur del altiplano de esta región, las lluvias de verano comienzan a disminuir y a mayor altura predomina una precipitación sólida.

Por su parte, debido a las características de aridez que presenta la Región de Antofagasta, la vegetación es muy escasa, especialmente en la Depresión Intermedia donde el desierto es absoluto y se manifiesta en forma plena. La ausencia de lluvias, la sequedad y la fuerte amplitud térmica impiden el desarrollo de todo tipo de vegetación con excepción de algunas áreas donde se encuentran napas subterráneas.

En la costa como en la superficie andina se presentan condiciones más favorables de humedad que permiten el desarrollo de vegetación como pingo-pingo, chamicilla, llantén, chañar y chilcaybrea. Estas especies son características de un matorral bajo espinoso y abierto que se localiza al sur de esta región. Es preciso mencionar en esta área la existencia de cactus en el relieve costero que se encuentran en las laderas de mayor pendiente y en la parte alta de los cerros.

En la pampa al interior se encuentra el tamarugo, el cual se va extinguiendo hacia el sur, dando origen a pastos que se alimentan de aguas subterráneas.

En la precordillera, el paisaje presenta plantas xerófilas y espinosas, denominadas tólar desértico y corresponde a la zona climática marginal de altura, desarrollándose aproximadamente hasta los 3.500 metros.

Sobre los 4.300 metros de altitud, el clima de estepa andina permite la existencia de un paisaje vegetal característico de la alta cordillera. Esta zona se caracteriza por plantas en cojines como el coirón y la yareta, mientras que en las áreas de mayor humedad predominan pastos y gramíneas como la poa, festuca y stipa.

### 1.1.2.3. Cuencas

La región de Antofagasta está compuesta por 10 cuencas, de estas, 8 poseen extensiones en su totalidad en la Región de Antofagasta, mientras que 2 poseen áreas compartidas con las Regiones de Atacama y Tarapacá, respecto de la Región de **Atacama, tenemos la Cuenca denominada "Costera Qda Pan de Azúcar- Río Salado"**, en la cual la Región de Antofagasta posee una participación minoritaria de 29% del área total mientras que en la Cuenca "Río Loa", la cual es compartida con la Región de Tarapacá, la participación de la Región de Antofagasta en el área total de la cuenca es de un 82% respecto del total.

COD_CUENCA	NOMBRE	AREAKM2	TIPO	REGION	% por REGION
020	Fronterizas Salar Michincha-R.Loa	2,675	Endorreica	II	100%
021	Río Loa	33,083	Exorreica	I - II	(18 - 82)%
022	Costeras R.Loa-Q.Caracoles	8,378	Exorreica	II	100%
023	Fronterizas Salares Atacama-Socompa	4,056	Endorreica	II	100%
024	Endorreica entre Fronterizas y Salar Atacama	5,308	Endorreica	II	100%
025	Salar de Atacama	15,577	Endorreica	II	100%
026	Endorreicas Salar Atacama-Vertiente Pacifico	14,474	Endorreica	II	100%
027	Quebrada Caracoles	18,296	Exorreica	II	100%
028	Quebrada la Negra	11,347	Exorreica	II	100%
029	Costeras entre Q. la Negra y Q. Pan de Azucar	16,898	Exorreica	II	100%
030	Endorreicas entre Frontera y Vertiente del Pacifico	15,619	Endorreica	III	100%
031	Costeras Q.Pan de Azucar-R.Salado	6,626	Exorreica	II - III	(29 - 71)%

Tabla 1.1 Cuencas de la Región de Antofagasta (Fuente: Inventario Público de Cuencas- DGA)

El río Loa, el más largo de Chile y el principal curso de agua que recorre el Desierto de Atacama, nace a los pies del volcán Miño y luego de dar una gran vuelta hacia el sur, pasando por la ciudad de Calama, retoma el rumbo norte hasta Quillagua, siguiendo hacia el oeste hasta desembocar, con un mínimo caudal, en el Océano Pacífico. El río Loa drena una cuenca hidrográfica de 34.000 km<sup>2</sup> y tiene una longitud de 440 km de longitud. El régimen de alimentación del río Loa es pluvial, el cual permite mantener un caudal durante todo el año. Sus aguas son aprovechadas para la agricultura, la minería y el consumo de la población de las principales ciudades de esta región, como Calama, Antofagasta, y Chuquicamata. Otros ríos importantes de cuencas endorreicas son el río San Salvador, el San Pedro y el Salado.

En la Fig. 1.4 se muestra la distribución regional que poseen las cuencas listadas, concentrándose la mayoría de las cuencas en la zona central de la región principalmente.

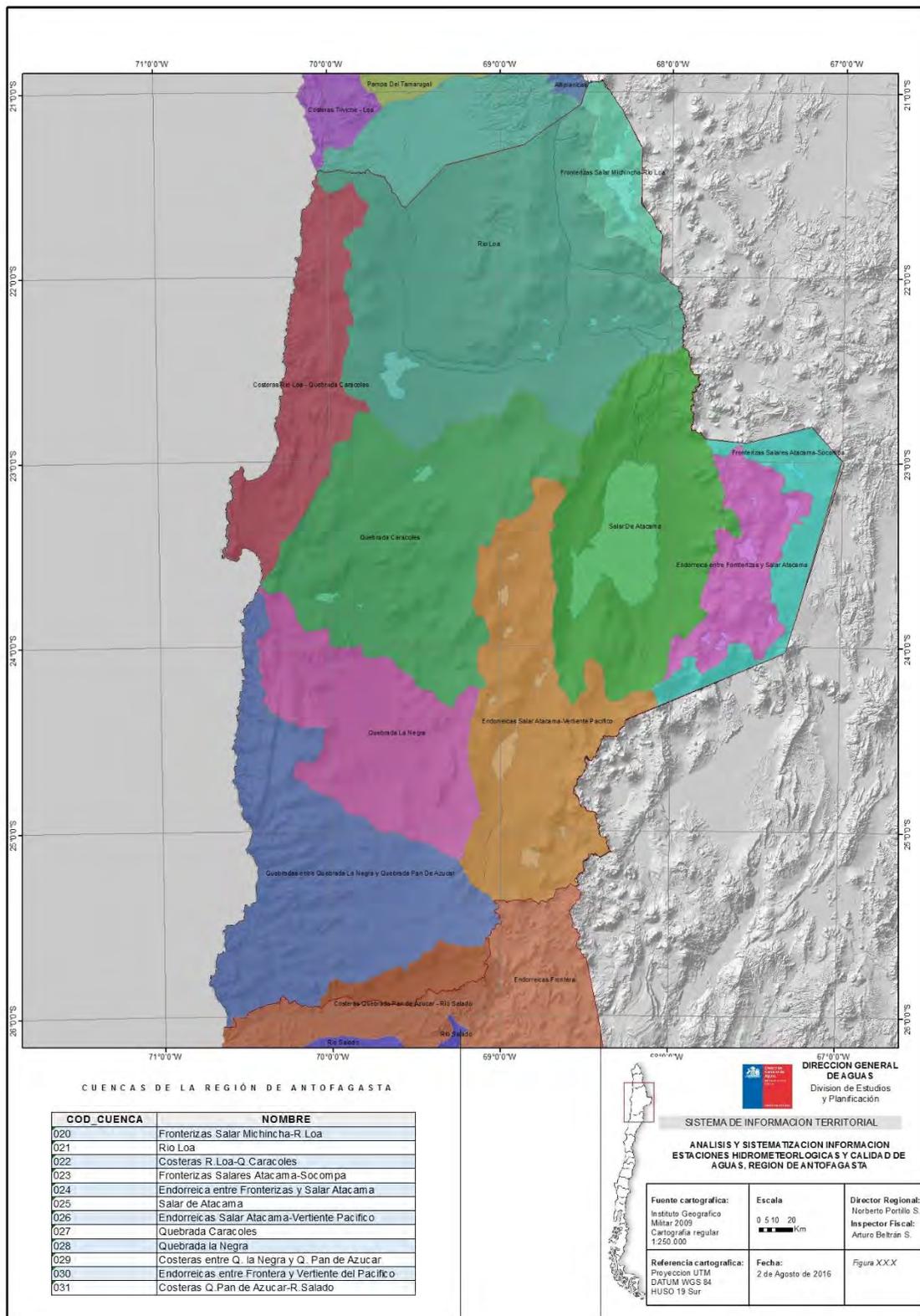


Figura 1.4 Ubicación de las Cuencas de la Región de Antofagasta

## 1.2. Objetivos

### 1.2.1. Objetivo General

El Estudio "Análisis y Sistematización de Información estaciones Hidrometeorológica y Calidad de Agua, región de Antofagasta" **tiene como** objetivo general el levantamiento de información hidrometeorológica y de calidad de aguas histórica, a partir de estaciones de monitoreo operadas por terceros (Entidades privadas y Públicas), para posteriormente sistematizar dicha información. Esto con el fin de mejorar y/o desarrollar modelos conceptuales para las cuencas de interés de la Región de Antofagasta.

### 1.2.2. Objetivos Específicos

- Recopilar, analizar y sistematizar toda la información hidrometeorológica y de calidad de aguas histórica de terceros, siendo estos empresas privadas y públicas.
- **Desarrollar un análisis comparativo y/o complementario de las series** Hidrometeorológicas de datos hidrometeorológicos disponibles de terceros, con respecto a las series de datos DGA contenidos en el Banco Nacional de Aguas (BNA), para determinar su validez y calidad.
- **Georreferenciar territorialmente los resultados del estudio en un SIG.**
- **Elaborar una herramienta digital que permita sistematizar la información de las** distintas estaciones recopiladas, y facilitar su actualización.
- **Generar una propuesta técnica** para validar la mejora de la red de monitoreo existente, operada por la DGA regional, considerando estaciones operadas por terceros

## 1.3. Descripción del Trabajo

### 1.3.1. Alcances

Este estudio considera el levantamiento de la información hidrometeorológica y de calidad de aguas existente en la Región de Antofagasta a partir de las estaciones de monitoreo operadas por Terceros (Instituciones, empresas u otras figuras jurídicas distintas de la DGA) con el objeto de formular modelos o metodologías que permitan validar una propuesta para complementar la red hidrometeorológica y de calidad de aguas que opera actualmente la DGA.

El levantamiento de la información consideró fuentes primarias (requerimiento directo a los propietarios de las estaciones) y secundarias en base al análisis de estudios e información de monitoreo en diversos formatos, destacando la revisión de las Resoluciones de Calificación Ambiental RCA y sus compromisos asociados, así como también el de las Resoluciones emitidas por la DGA respecto de la creación de los Planes de Alerta Temprana (PAT).

Con la información ordenada y sistematizada se ahondaron en diversas metodologías buscando establecer líneas base “Patrones Representativos” con la información disponible de las estaciones DGA, de tal forma que permitiera comparar la información recabada y establecer niveles de aceptación para ella.

La información histórica de las estaciones de las DGA, han sido obtenidos a partir de la información sistematizada en el *Sistema Nacional de Información de Agua* (SNIA) (<http://snia.dga.cl/BNAConsultas/reportes>). Esta información se encuentra disponible para en series temporales asociadas a la medición de distintas variables hídricas y son parte del Banco Nacional de Agua (BNA).

Capa 1	Capa 2	Periodicidad
Reporte Calidad de Aguas	Parámetros Físicoquímicos	Mensual
Reportes Fluvimétricas	Caudales Medios Mensuales	Mensual
	Altura y Caudal Instantáneo	Diario
	Caudales Medios Diarios	Diario
Reportes Meteorológicos	Temperaturas Medias Mensuales	Mensual
	Temperaturas Medias Diarias de Valores Sinópticos	Diario
	Temperaturas Diarias Extremas	Diario
	Precipitaciones Mensuales	Mensual
	Precipitaciones Máximas Anuales en 24 Hrs	Diario
	Precipitaciones Diarias	Diario
Reporte Pozos	Niveles Estáticos en Pozos	Mensual
Reporte Sedimentos	Muestreo Rutinario	Diario

Tabla 1.2 Tipos de Medición y Variables medidas por la DGA  
(Fuente: información Oficial Hidrometeorológica y de Calidad de Aguas DGA)

De acuerdo a la información disponible en el sistema de la DGA, se ha definido establecer *Patrones Representativos* para los diferentes tipos de monitoreos, considerando una variable clave para cada uno de ellos

Fluvimétricos	→	Caudales Medios Mensuales
Hidrometeorológicos	→	Precipitaciones Mensuales
Aguas Subterráneas	→	Nivel Estático de Pozos
Calidad de Agua	→	Parámetros Físicoquímicos

Lo anterior significó en muchos casos tener que descartar otros tipos de medición y otras variables presentes en diversos informes, las cuales se resumen a continuación:

1.- Mediciones de Nivel de Humedad: Tipos de monitoreo que buscan determinar escurrimientos potenciales subterráneos en las cercanías de relaves u operaciones que pudiesen generar contaminación al medio, por su uso de agentes químicos.

2.- Mediciones de extracciones: Tipo de monitoreo que mide el volumen de los caudales extraídos desde un punto autorizado. En este caso DGA no entrega información para poder utilizarlo como patrón. así generar un muestreo válido.

3.- Medición de Cuña Salina. Dado que no existe información de la DGA respecto a la medición de la altura de la interface agua-sal, no pudiéndose realizar comparaciones válidas al respecto.

4.- Medición de Calidad de Aire: Para el caso de las estaciones que posean un componente meteorológicas no se consideraran las mediciones relativas a Calidad del Aire tales como la medición de la concentración de Material Particulado (MP10 y/o MP 2,5) y/o las concentraciones de componentes específicos en el aire como No<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, Pb, As, etc . Estas estaciones responden al control de la calidad del aire en las zonas aledañas al proyecto o en el entorno de los centros poblados más cercanos Adicionalmente estas estaciones monitorean parámetros de interés del proyecto, tales como Dirección y Velocidad del Viento o Temperatura o Humedad o Precipitación

### 1.3.2. Contenido de los Informes

. La información requerida para la confección de cada informe requirió de un importante trabajo de levantamiento de información en terreno, gabinete y en otras reparticiones públicas, seguido de un extenso procesamiento de la data recopilada que involucro la colaboración tanto con empresas privadas como con Instituciones Públicas.

A continuación, se detallará los contenidos definidos para las Etapa I y Etapa II del proyecto

En la Etapa I se solicitaron los siguientes componentes.

1. Identificar los parámetros hidrometeorológicos y de calidad de aguas de las distintas estaciones operadas por terceros, y metodologías de análisis (caudal instantáneo, diario, medio mensual, montos de precipitación diaria, acumulada, niveles de aguas subterráneas y superficiales detenidas, parámetros de calidad de aguas, conductividad, pH, etc.).

2. Identificar las características y especificaciones técnicas de los equipos instalados o utilizados en cada uno de los 50 puntos, definidos para ser visitados. Considerando para ello una campaña de terreno, que permita su análisis y georreferenciación y la generación de Fichas Descriptivas de Información.

En la Etapa II se solicitó la consolidación la información relativa a las estaciones de monitoreo de terceros de la Región y su sistematización en una aplicación computacional. En esta Etapa se solicitó:

3. Identificar los parámetros hidrometeorológicos y de calidad de aguas de las distintas estaciones operadas por terceros, y metodologías de análisis (caudal instantáneo, diario, medio mensual, montos de precipitación diaria, acumulada, niveles de aguas subterráneas y superficiales detenidas, parámetros de calidad de aguas, conductividad, pH, etc.).

4. Identificar las características y especificaciones técnicas de los equipos instalados o utilizados en cada punto de monitoreo.

5. Desarrollar un análisis comparativo y/o complementario de las series Hidrometeorológicas de datos hidrometeorológicos disponibles de terceros, con respecto a las series de datos DGA contenidos en el Banco Nacional de Aguas (BNA), para determinar su validez y calidad.

6. Desplegar una herramienta SIG acorde a las necesidades de visualización solicitadas. El SIG que se solicita y en el cual se recibirá toda la información es ArcGIS 10 Series.

7. Generar una propuesta de mejora a la red de monitoreo hidrometeorológica y de calidad de aguas que actualmente opera la DGA.

8. Adicionalmente se solicitó la actualización y análisis de la información entregada por terceros en la región, a través de los denominados Planes de Alerta Temprana (PAT's)

#### 1.4. Marco General del Trabajo de Análisis y Sistematización

Los trabajos de análisis y sistematización de datos han requerido en forma previa un levantamiento sistemático desde fuentes primaria y secundarias, proceso que merece atención especial en virtud de las múltiples singularidades y dificultades que surgen al trabajar con información de distintas fuentes, formatos y niveles de calidad.

La información que se levantó para este estudio proviene principalmente de las siguientes fuentes:

- a) Entrega de información periódica a la Superintendencia de Medio Ambiente SMA en virtud del cumplimiento de las Resoluciones de Calificación Ambiental RCA Vigentes por parte de empresas privadas.
- b) Entrega de Información a la Dirección general de Aguas DGA por parte de terceros en virtud del Cumplimiento de los Planes de Alerta Temprana PAT, Planes de Vigilancia y RCAs.
- c) EL Sistema Nacional de Información del Agua SNIA, que involucra a la Dirección General de Aguas y su red Hidrométrica y Meteorológica y que es parte del Banco Nacional de Aguas BNA.

- d) La Dirección General de Aeronáutica Civil DGAC a través de la Dirección Meteorológica de Chile en donde informan en tiempo real las variables meteorológicas de los distintos aeropuertos del país.
- e) El Instituto de Investigación Agropecuaria INIA a través de la plataforma web AGROMET en donde mantiene registró en línea de sus estaciones Meteorológicas.
- f) Universidades: La Universidad Católica del Norte y la Universidad de Antofagasta poseen estaciones meteorológicas, cuyo acceso a la información está dado por el acercamiento con estos planteles.
- g) El Sistema Nacional de Calidad de Aire SINCA, que permite recatar datos meteorológicos de estaciones que tienen además Medición de Calidad de Aire.

#### 1.4.1 Consideraciones sobre disponibilidad de Información

Para poder llevar a cabo el trabajo es necesario poder transformar la información levantada en información útil que permita ser ingresada y validada como tal, al respecto hay una serie de factores que influyen en la calidad del trabajo tales como:

- La escasa estandarización de los antecedentes que posee la autoridad ambiental respecto de la entrega de información por parte de terceros, principalmente en la forma de entrega.
- La entrega de gráficas, columnas, y datos que no pueden ser transformados en una serie de datos
- Que, la información anterior al año 2010 casi en su totalidad está en formato papel, ya sea como informes consolidados o fotocopias que son difíciles de procesar.

La disponibilidad de la información es otro factor clave a la hora de poder sistematizar los datos que se requieren para el estudio. Es necesario para la actualización del sistema y su posterior utilización el poder obtener de manera periódica la información. Para el estudio, contamos con una serie de problemas que no han permitido acceder de manera fluida a la información:

- Que, algunas empresas mineras envían la información ya procesada y de manera gráfica lo que hace imposible poder disponer de ellas para luego procesar
- La escasa o nula información digital de proyectos y estaciones de monitoreo anteriores al año 2010.
- Que, existen empresas que en casos de muestreos de Calidad de Aguas solo envían los archivos de los análisis de laboratorio con nulo procesamiento o presentación estadística.

Para poder entender de mejor manera, el proceso de búsqueda, análisis y ordenamiento de información se debe analizar el trabajo que ha implicado la identificación de diversas fuentes de información, las cuales han sido catalogadas en términos de su disponibilidad y su facilidad para ser sistematizada (asociado al formato en que se almaceno).

Item	-	Nivel de Disponibilidad	+
-	Nula información, sin acceso a datos. Algunos con gráfica, diagramas e información que no permite rescatar set de datos	Información rescatable con media disponibilidad, poco acceso a la información.	Información disponible en línea, pero en formatos poco procesables, tales como fotocopias, informes en oficinas públicas, documentos en formato papel, etc
Facilidad de Sistematización	Formatos digitales con información, rescatables, pero no procesables de manera inmediata con escasa o nula disponibilidad de acceso.	Información disponible para ser capturada y procesada previa solicitud a la autoridad	Información disponible en tiempo real con antecedentes e información rescatables en formatos digitales que no son planillas.
	Archivos fácilmente procesables que carecen de disponibilidad debido a que son datos que manejan empresas que prestan servicios a las Compañías encargadas de enviar información a la autoridad.	Planillas de datos con disponibilidad media, dada principalmente por la periodicidad de los mismos.	Información disponible en línea, fácilmente procesable con archivos de data, actualizados y con datos históricos.

Tabla 1.3 Matriz Sistematización v/s Disponibilidad de la Información.

#### 1.5. Productos Entregables:

Los resultados obtenidos por el análisis de cada tipo de monitoreo y sus variables claves se desarrollarán en capítulos individuales los que de la siguiente forma

Capítulo 2 Monitoreo Hidrometeorológico

Capítulo 3 Monitoreo Fluviométrica.

Capítulo 4 Monitoreo de agua Subterránea

Capítulo 5 Monitoreo de Calidad de agua

Capítulo 6 **“Programa para la sistematización de Información,”** se desarrollan los elementos funcionales del programa computacional denominado SIEHMCA (Sistema de Estaciones Hidrometeorológicas y Calidad de Agua).

Capítulo 7 **“Actualización y análisis de PAT”** se entrega los resultados de la actualización de los Programas de Alerta Temprana de la Región.

- 1.5.1. Fichas Técnicas de Estaciones: A solicitud de la Dirección General de Aguas, se realiza una campaña de terreno para 50 estaciones donde se entregaron fichas de estaciones de terceros con las respectivas Georreferenciaciones, instrumental utilizado, equipos de medición, parámetros medidos, etc. Finalmente, esta información puede ser rescatada directamente del sistema SIEHMCA.
- 1.5.2. Herramienta Computacional: Se ha desarrollado una aplicación computacional que permite la administración de la información recabada, además de entregar herramientas para el análisis y despliegue de esta, denominada SIEHMCA (Sistema de Información de Estaciones Hidrometeorológicas y de Calidad de Agua)
- 1.5.3. Herramienta SIG: Se ha desarrollado un proyecto en Arc-Gis denominado SIEHMCA GIS que considera capas vectoriales con la ubicación de los puntos de monitoreo de terceros y Raster específicos para el manejo de variables de precipitación y temperaturas.
- 1.5.4. Propuesta Técnica de Mejora de Red Existente: Cada uno de los capítulos entrega una metodología para validar la información recabada por terceros, además de realizar una propuesta para mejorar, integrar u ampliar la red existente

## 1.6. Bibliografía

- DGA (1984), Análisis Crítico de la Red Fluviométrica Nacional: Red de Calidad de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Agua, Departamento de Hidrología, Realizado por BF Ingenieros Civiles. (*BF-Ingenieros, 1984*)
- DGA (2014), Análisis Crítico de la Red de Calidad de aguas superficiales y subterráneas de la DGA, SIT N°337, Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos, realizado por Infraestructura y Ecología S.A. (*INFRAECO, 2014*)
- DGA (2004), Diagnóstico y Clasificación de Cursos y Cuerpos de Agua Según Objetivos de Calidad, SIT N°104, Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos, Realizado por CADE-IDEPE Consultores en Ingeniería. (*CADE-IDEPE, 2004*)
- DGA (2009), Diagnóstico y Clasificación de Sectores Acuíferos, SIT N°183, Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos, Realizado por Geohidrología Consultores Ltda. (*Geohidrología, 2009*)
- DGA (2013), Estrategia Nacional de Recursos Hídricos 2012-2025, Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de aguas, Realizado por departamento de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable del Banco Mundial. (*Banco Mundial, 2013*)
- DGA (2012), Diagnostico Plan Estratégico para la Gestión de los Recursos Hídricos, Región de Antofagasta, SIT N°291, Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, División de Estudios y Planificación, Realizado por Arrau Ingeniería E.I.R.L. (*Arrau, 2012*)
- Gobierno Regional de Tarapacá (2014), Diagnóstico y Análisis Crítico de la Red de Monitoreo de los Recursos Hídricos de la Región de Tarapacá, Gobierno Regional de Tarapacá, Realizado por el Centro de investigación y desarrollo en Recursos Hídricos (CIDERH), Universidad Arturo Prat. (*CIDERH, 2014*)
- DGA (2008), Levantamiento Hidrogeológico para el Desarrollo de Nuevas Fuentes de Agua en Áreas Prioritarias de la Zona Norte de Chile Regiones XV, I, II y III, SIT N°195, Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Departamento de Estudios y Planificación, Realizado por Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental, Pontificia Universidad Católica de Chile. (*PUC, 2008*)
- DGA (2014), Diagnóstico y Sistematización de Planes de Alerta Temprana Vigentes con Condicionamiento de Derechos, SIT N°336, Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, División de Estudios y Planificación, Realizado por Hidromas Cef Limitada. (*Hidromas, 2014*)
- DGA (2009), Evaluación de los Recursos Hídricos Subterráneos en Cuencas de la Región de Atacama Ubicadas entre el Rio Copiapó y la Región de Antofagasta, SDT N°276, Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Realizado por el Departamento de Administración de Recursos Hídricos, Dirección General de Aguas. (*SDT-276, 2009*)
- DGA (2012), Análisis Crítico Red de Niveles de Agua Subterránea del Acuífero de Copiapó, SIT N°298, Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, División de Estudios y Planificación, Realizado por H2 Cuenca Ingenieros Consultores Ltda. (*H2 Cuenca, 2012*)
- Seremi de Medioambiente Región de Antofagasta (2014), Informe Final - Evaluación de calidad del Aire en la Región de Antofagasta, Ministerio de Medioambiente, Secretaria Regional Ministerial de Antofagasta, Realizado por el Centro Nacional de Medioambiente CENMA. (*CENMA, 2014*)
- Organización Mundial de Meteorología (2008), Guía de prácticas hidrológicas, OMM-N°-168, Realizado por la Organización Meteorológica Mundial. (*OMM, 2008*)

## CAPÍTULO 2. MONITOREO HIDROMETEOROLÓGICO

### 2.1 Descripción General

Por la extensión temporal sus registros y la cobertura territorial de sus estaciones se ha definido como *red de monitoreo meteorológica* base para la región de Antofagasta a la operada por la Dirección General de Aguas (DGA). Esta red está conformada por 38 estaciones meteorológicas vigentes, *con datos a diciembre de 2015* (Tabla-2.1), que incluyen, desde estaciones pluviométricas con registro manual hasta estaciones satelitales con multi-sensores.

Indice	COD_BNA	NOMBRE	Coord_Este	Coord_Norte	altura (msnm)	Inicio
1	02000001-5	Ollague	577684	7652565	3705	Nov-71
2	02020002-2	Ascotan	574717	7597020	3967	Aug-74
3	02101001-4	Rio loa antes represa lequena	534949	7605229	3321	Dec-01
4	02101003-0	Lequena	534858	7604905	3320	Nov-73
5	02102005-2	Quinchamale	541483	7577217	3100	Jun-95
6	02104008-8	Conchi embalse	538581	7563972	3037	Sep-67
7	02103009-0	Ojos san pedro	570746	7569887	3800	Mar-69
8	02103012-0	Silala	600028	7564931	4291	Jan-01
9	02103010-4	Inacaliri	596177	7563418	4033	Feb-69
10	02105016-4	Linzor	600506	7541035	4126	Nov-73
11	02105022-9	El tatio	601377	7525377	4374	Jun-77
12	02104007-K	Conchi viejo	528304	7572296	3479	Jul-73
13	02104010-K	Chiu-chiu	537208	7529354	2525	Aug-74
14	02105014-8	Cupo	570273	7553931	3362	Nov-78
15	02105017-2	Toconce	584970	7537868	3293	Mar-72
16	02105018-0	Ayquina	570021	7536159	3005	Sep-67
17	02105020-2	Salado embalse	581921	7534963	3239	Oct-75
18	02103014-7	Rio Siloli antes R.T. FCAB	578012	7536045	3080	Dec-12
19	02104002-9	Rio Loa en Salida Embalse Conch	539132	7564018	2950	Feb-12
20	02105002-4	Rio salado en sifon ayquina	567487	7534983	2979	Nov-01
21	02103008-2	Parshall n°2	549619	7573043	3328	Apr-69
22	02113001-K	Rio guatacondo en copaquire	511689	7685705	3541	Jun-11
23	02113005-2	Guatacondo dga	495056	7685520	2467	Sep-77
24	02112008-1	Quillagua	444352	7604294	814	Jul-70
25	02110013-7	Calama	509626	7517036	2301	Feb-65
26	02210002-5	Tocopilla	377049	7557484	45	Jun-94
27	02500021-8	Talabre	613518	7421064	3248	Aug-95
28	02500017-K	Camar	605746	7410665	2667	Jan-79
29	02500019-6	Socaire	612802	7390681	3234	Aug-74
30	02500020-K	Peine	595837	7380038	2475	Nov-74
31	02510007-7	Rio grande	585501	7494353	3264	Jan-77
32	02510006-9	San pedro de atacama (1)	581811	7466358	2441	Jan-59
33	02700001-0	Sierra gorda	466773	7468328	1618	Sep-94
34	02710003-1	Antofagasta	358307	7389264	26	Jan-78
35	02710002-3	Baquedano	413947	7418915	1026	Apr-75
36	02943001-2	Tal-tal	350732	7189026	23	Oct-71
37	02943002-0	Tal-Tal DCP	351156	7189527	36	May-15
38	02942001-7	Aguas verdes	402896	7190027	1549	Sep-87

Tabla 2.1 Estaciones DGA vigentes a Dic-2015 (UTM WSG 84 zona 19-S)

(1) San Pedro de Atacama tiene registros entre Ene-59 y Mar-89, y luego a partir de Feb-2011.

A la fecha se encuentra en ejecución un plan de mejoramiento y ampliación de la red de monitoreo regional, con al menos 18 estaciones ya identificadas por la DGA con códigos del banco nacional de Aguas (BNA) (Tabla-2.2).

Ind	COD_BNA	Subcuenca	NOMBRE	Ind	COD_BNA	Subcuenca	NOMBRE
1	02104009-6	224	Liceo científico La chimba	10	02240002-9	224	Quebrada la Cadena
2	02111004-3	224	Escuela Fundación Escondida	11	02660001-4	224	Quebrada la Chimba
3	02105031-8	290	Universidad de antofagasta	12	02943003-9	294	Quebrada Tal-Tal
4	02240003-7	221	Quebrada Barriles	13	02650001-k	265	Salar de Punta Negra
5	02760000-k	224	quebrada Bonilla	14	02500027-7	250	Toconao Pueblo
6	02240004-5	276	Quebrada El toro	15	02500025-0	250	Toconao Quebrada 1
7	02650002-8	224	Quebrada Farellones	16	02500026-9	250	Toconao Quebrada 4
8	02900001-8	265	Quebrada de Ganaqueros	17	02300000-8	230	Paso Jama
9	02240005-3	290	Quebrada Jardin del Sur	18	02450000-4	245	Paso Sico

Tabla 2.2 Nuevas estaciones DGA con registros a partir del año 2016.

Los registros meteorológicos de las estaciones han sido obtenidos a partir de la información sistematizada por la DGA, en su *Sistema Nacional de Información de Agua* (SNIA) (<http://snia.dga.cl/BNAConsultas/reportes>). Esta información se encuentra disponible para las variables asociadas a la medición de precipitaciones y de temperatura, y son parte del Banco Nacional de Agua (BNA). Del análisis de la información se ha podido determinar la existencia de 17 estaciones que, aunque poseen registros de series meteorológicas, se encuentran suspendidas (información DGA) o no registran datos desde hace más de 2 años. (Tabla-2-3).

Indice	COD_BNA	NOMBRE	Este 84	Norte 84	m.n.s.m	Ult.registro
1	02105031-8	Amincha	568355	7655128	3875	Nov-81
2	02020001-4	Cebollar	568288	7618540	3736	Dec-06
3	02104009-6	Conchi muro embalse	538925	7563787	3009	Dec-91
4	02105015-6	Turi	573159	7539958	3069	May-93
5	02105021-0	Caspana	580918	7529311	3296	Dec-08
6	02105019-9	Sifon ayquina	566784	7535282	3000	Dec-77
7	02103007-4	San pedro de conchi	547672	7574094	3249	Apr-93
8	02105001-6	Rio Salado A.J. Curti	578009	7536077	3087	Jun-13
9	02111004-3	Tranque sloman	446692	7583240	1001	Dec-04
10	02112009-K	Coya sur	435715	7523056	1256	Jun-91
11	02500015-3	Toconao reten	601168	7434317	2445	Jan-91
12	02500016-1	Toconao experimental	602365	7434832	2509	Feb-09
13	02640001-5	Imilac	521859	7327320	2961	Apr-77
14	02660001-4	Monturaqui	557081	7307475	3453	Dec-79
15	02810001-9	Cachinal de la sierra	447302	7238874	2665	Dec-86
16	02941001-1	Vaquillas	469758	7190804	3236	Feb-88
17	02960001-5	Sierra overa	410750	7147996	1861	Jun-88

Tabla 2.3 Estaciones DGA suspendidas (UTM WSG 84 zona 19-S) indicando fecha del último registro observado.

Las estaciones cuentan con amplia serie de registros, con alrededor de 34 años en promedio, siendo la más antigua la del Embalse Conchi con registros desde septiembre del año 1967. En cuanto a su distribución espacial, (Figura 2.1) la mayoría de las estaciones se encuentran en la cuenca del Rio Loa.

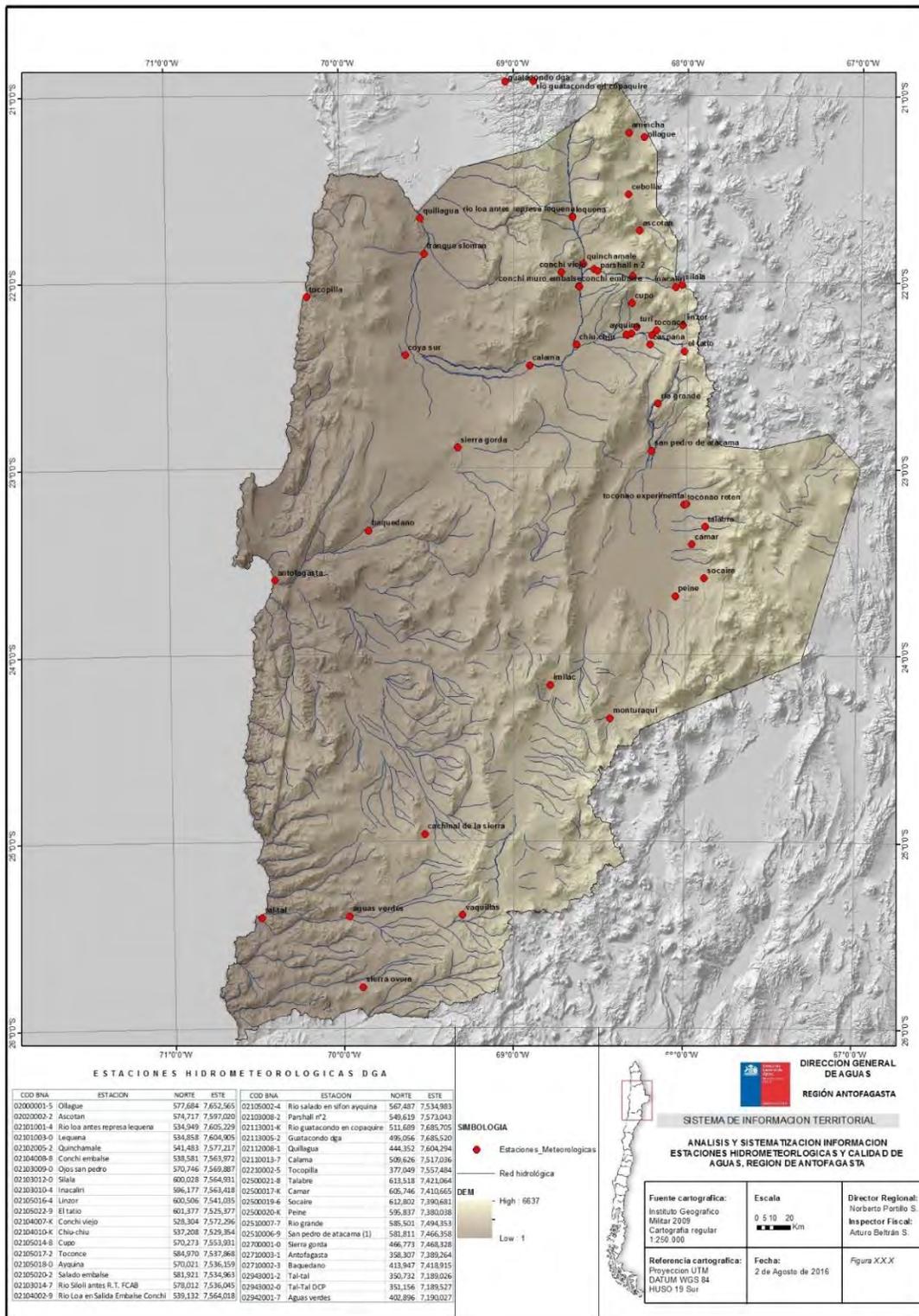


Figura 2. 1: Mapa de Estaciones Hidrometeorológicas DGA Vigente

## 2.2 Análisis de información Meteorológica

Como se ha indicado, la información pública disponible de las estaciones de la DGA corresponde a las de medición de precipitaciones (Pp) y de Temperaturas (T°), que dada su extensión (mayor a 30 años) y su distribución espacial permiten generar *Patrones Representativos* con significación estadística. Estos patrones pueden ser utilizados como líneas base para diferentes estudios asociados al uso y conservación de recursos hídricos. En particular se debe indicar que las series más extensas temporalmente y con mayor cobertura corresponden a las pluviométricas, ya que buena parte de las estaciones originales, solo median precipitaciones.

### 2.2.1 Pluviometría

El estudio pluviométrico, tiene como objetivo caracterizar el régimen de precipitaciones de la zona de estudio y obtener estadísticas de precipitaciones medias mensuales sobre la zona de estudio que permitan generar patrones representativos para la calibración de modelos (p.e precipitación – escorrentía) y la generación sintética de caudales medios mensuales. que son las requeridas en las proyecciones de distribución espacial como isoyetas, de amplio uso en estudios hidrológicos.

Al realizar una detallada de la información base del Banco Nacional de Aguas (BNA) se ha verificado la existencia de datos faltantes en las series, por lo que se ha propuesto la utilización de técnicas de relleno y extensión, con el fin de lograr nuevas serie completas y extensas, cuya consistencia y homogeneidad se validará utilizando el método de Curvas Doble Acumuladas (CDA)

A continuación, se muestra en forma gráfica (Tabla 2.4) la extensión y continuidad de las series de datos pluviométricos para la 38 estación vigente de la DGA en la región de Antofagasta, para lo cual se ha identificado el número de meses con datos (1 al 9), para valores de 10, 11 y 12 meses se han utilizado las letras a,b,C respectivamente.





### 2.2.2 Relleno y Extensión de Datos

Para el relleno y extensión de datos se utiliza un modelo de regresión lineal corregido con una variable aleatoria que permite preservar los parámetros estadísticos de cada serie, según la expresión:

$$Y_1 = \alpha \cdot Y_2 + \beta + \sqrt{1 - R^2} \cdot \varepsilon \cdot S_Y$$

Donde:

$Y_1$ : La variable que se desea rellenar

$Y_2$ : La variable que se utilizará para rellenar la estadística de  $Y_1$

$\alpha$ : Pendiente de la regresión entre la variable  $Y_1$  e  $Y_2$

$\beta$ : Coeficiente de intersección de la regresión entre la variable  $Y_1$  e  $Y_2$

$R^2$ : Coeficiente de determinación de la regresión entre la variable  $Y_1$  e  $Y_2$

$\varepsilon$ : Error aleatorio asociado a una distribución normal con media 0 y desviación estándar igual a 1

$S_Y$ : Desviación estándar de la serie  $Y_1$  original

Esta metodología ha sido ampliamente utilizada en estudios para la Dirección General de Aguas y Dirección de Obras Hidráulicas, (Revista SOCHID Vol. 10, Fernández B. y Salas J., 1995)

La ventaja de este método es que preserva la variabilidad natural que existe originalmente entre ambas series y no ve afectado su coeficiente de determinación inicial al utilizar directamente el relleno mediante correlación lineal simple.

Para aplicar esta metodología, se identifican inicialmente estaciones con estadísticas incompletas ya sea por intermitencia, cese de funciones o comienzos diferidos de operación. A cada estación con estadística incompleta, se le detecta una estación aledaña con mayor estadística (Patrón-Local) con la cual debía establecer una correlación consistente. La correlación permite completar la estadística de la estación con menor cantidad de datos y así contar con una mejor caracterización de la zona. Para implementar esta metodología se desarrollaron sendas rutinas en Matlab, las que son entregadas en Anexos.

Para evaluar la consistencia del relleno de datos estadísticos, se presentan: los datos originales de la estación Patrón-Local sujetos a correlación, con; los datos de la estación rellenada; adicionalmente se analizan curvas dobles acumuladas entre estas estaciones, para evaluar la consistencia entre la estadística rellenada y la correspondiente estadística patrón (eje Horizontal) En la figura 2.2 se muestran ejemplo, el resto de los resultados se entregan como respaldo digital.

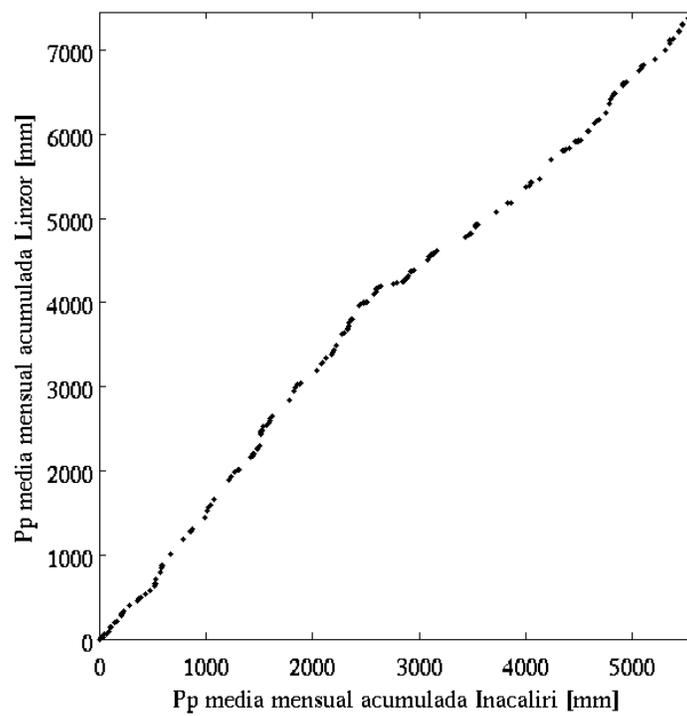
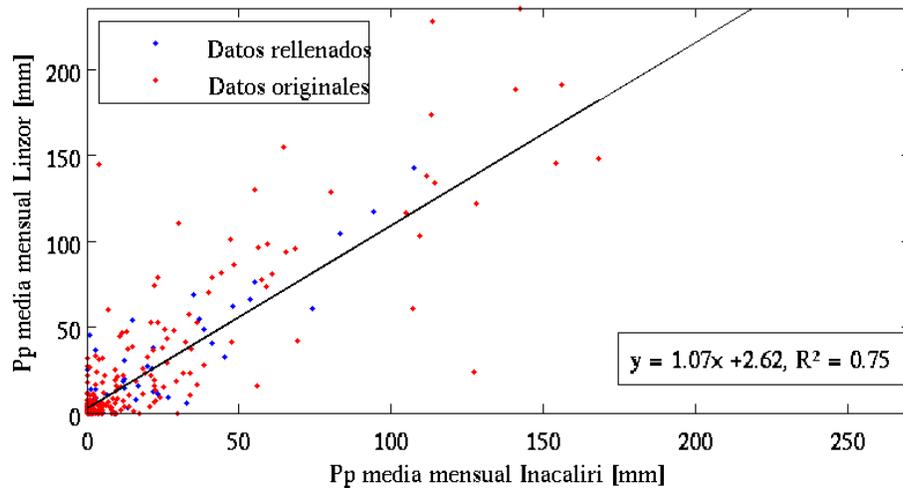


Figura 2.2: Grafico de correlación y CDA entre estación Inacaliri (patrón-Local) y estación Linzor (rellenada)

Como resultado del proceso de relleno no se pudieron rellenas las estaciones de Quiligua, Chiu-Chiu, Calama y Rio Silali,

A continuación se muestra la comparación de los parámetros estadísticos originales y rellenados para la precipitación en cada estación. (Tabla 2.5)

<b>Estacion</b>	<b>Media Original</b>	<b>Media Rellenada</b>	<b>Desviacion Original</b>	<b>Desviación Rellenada</b>
OLLAGUE	5.95	6.37	16.33	16.69
ASCOTAN	5.58	5.43	14.12	13.12
RIO LOA ANTES REPRESA LEQUENA	5.63	3.73	15.59	14.37
LEQUENA	7.53	6.33	26.95	24.72
QUINCHAMALE	2.03	2.13	6.37	7.37
CONCHI EMBALSE	1.64	1.58	5.04	5.08
OJOS SAN PEDRO	4.56	3.99	13.60	12.59
SILALA	7.72	6.45	20.09	18.32
INACALIRI	10.18	8.60	27.00	24.65
LINZOR	13.43	13.09	34.00	32.41
EL TATIO	11.28	12.46	30.50	31.36
CONCHI VIEJO	3.31	3.13	11.19	10.75
CHIU-CHIU	0.45	0.45	1.68	1.68
CUPO	6.06	5.01	21.17	18.53
TOCONCE	7.85	7.57	25.14	24.23
AYQUINA	3.35	3.02	12.03	11.23
SALADO EMBALSE	5.85	5.54	20.17	19.54
RIO SILOLI ANTES B.T. FCAB	23.95	23.95	46.57	46.57
RIO LOA EN SALIDA EMBALSE CONCHI	3.93	2.30	10.05	6.46
RIO SALADO EN SIFON AYQUINA	2.34	2.08	7.98	7.13
PARSHALL N° 2	2.42	2.08	7.87	7.12
RIO GUATACOLDO EN COPAQUIRE	4.89	3.44	11.91	13.24
GUATACONDO DGA	1.64	1.96	7.92	8.33
QUILLAGUA	0.02	0.02	0.25	0.25
CALAMA	0.35	0.35	1.50	1.50
TOCOPILLA	0.27	0.39	2.73	3.90
TALABRE	5.78	4.69	19.19	14.94
CAMAR	2.98	2.68	11.13	9.83
SOCAIRE	3.49	3.22	11.87	11.25
PEINE	1.75	1.47	6.54	5.77
RIO GRANDE	6.14	5.87	18.74	18.57
SAN PEDRO DE ATACAMA	2.45	2.03	8.79	7.27
SIERRA GORDA	0.10	0.07	0.68	0.55
ANTOFAGASTA	0.35	0.37	2.21	2.28
BAQUEDANO	0.18	0.18	1.25	1.28
TAL-TAL	0.92	0.91	4.68	4.66
TAL-TAL (DCP)	1.23	1.08	2.03	1.93
AGUAS VERDES	0.79	0.77	5.72	5.63

Tabla 2.5 Parámetros estadísticos de las series de precipitaciones originales y las rellenadas.

### 2.2.3 Curvas Doble Acumulada

Las Curvas Doble Acumuladas (CDA) sirven para identificar las fallas que se pueden producir por modificaciones en el sensor de medición, en la técnica de observación, errores instrumentales o de lectura, cambios de instrumentación y hasta cambios en la localización de la estación. Estas curvas se construyen a partir de las observaciones a nivel anual acumuladas desde el año más actual al más antiguo, para luego graficar cada estación (eje ordenado) en relación a una Estación Patrón Equivalente (en el eje de las abscisas) que se sabe tiene mediciones confiables.

En base a la información se generan Estaciones Patrón Equivalentes para la parte alta de la región correspondiente al área de influencia del Río Loa y para la región alrededor del Salar de Atacama.

En la Figura 2.3 se muestran las CDA para algunas de las estaciones de medición de precipitación, donde se ve que en general la información tiene un buen comportamiento en cuanto a que mantiene la pendiente constante y se nota una buena continuidad temporal de los datos. Sin embargo, se ve que las CDAs no son precisas en todos los tramos, esto se cree que ocurre porque el análisis se ha realizado en una zona con topografía compleja y abrupta y con régimen de precipitación muy variable en el espacio y el tiempo

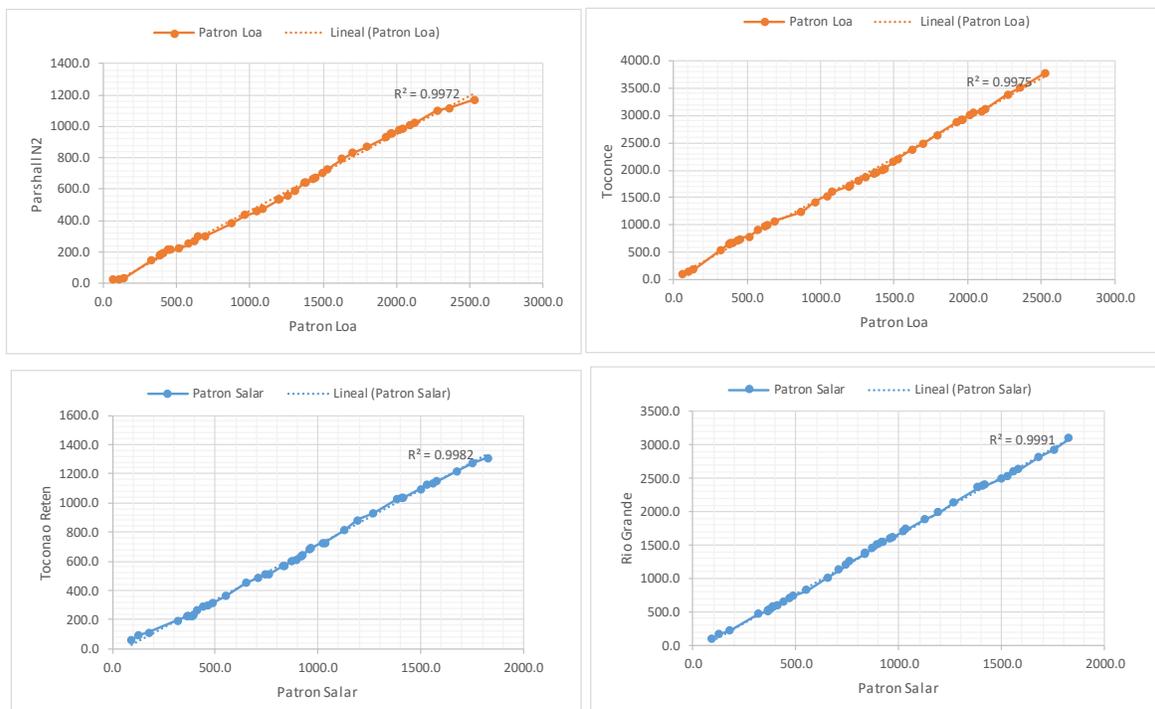


Figura 2.3: CDA para Patrón Río Loa ( Parte alta) y el Patrón Salar de Atacama.

## 2.2.4 Análisis de Ajuste de frecuencia

Luego del relleno de información en escala mensual y de la verificación de las CDA, se realiza un ajuste de frecuencia para cada una de las estaciones. Con este análisis se logra estimar las precipitaciones con diferente probabilidad de excedencia, para luego verificar la de mejor ajuste mediante el método de Chi-cuadrado ( $\chi^2$ )

Se realiza un análisis de frecuencia, con probabilidades de excedencia del 0,3%, 0,5%, 1%, 5%, 10%, 20%, 50%, 70%, 85%, 95% y 98% ajustando a las distribuciones: Normal, Gumbel, Pearson III, Log Normal y Log Pearson III. En la tabla 2.6 se muestran los valores para la Estación Talabre, quedando el resto de los análisis disponibles en Anexos digitales

Estacion Talabre					
Pexc. %	Precipitación Anual (mm)				
	Normal	Log-Normal	Pearson	Log-Pearson	Gumbel
98	0.0	0.9	0.0	0.1	0.0
95	0.0	0.9	0.0	0.1	0.0
85	0.0	11.8	3.2	10.1	0.0
70	29.0	25.4	28.1	26.7	26.6
50	58.8	43.5	51.9	47.7	51.8
20	101.3	93.6	96.3	96.0	98.8
10	122.6	137.5	123.9	129.2	129.2
5	140.0	188.2	149.2	160.7	158.1
1	172.4	337.3	203.4	227.9	223.4
0.5	184.2	417.2	225.6	254.5	251.2
0.3	190.6	468.8	238.3	269.5	267.5
$\chi^2(\text{calculado})=$	4.87	2.25	1.05	3.58	0.62
$\chi^2(0,05)=$	5.99	5.99	3.84	3.84	5.99
<b>Test</b>	<b>Aceptado</b>	<b>Aceptado</b>	<b>Aceptado</b>	<b>Aceptado</b>	<b>Aceptado</b>

Tabla 2.6 Resultado del análisis de frecuencia para la serie de precipitaciones de la estación Talabre. y Test de Chi cuadrado ( $\chi^2$ ).

De acuerdo con los resultados obtenidos para las series de precipitaciones, la distribución que más veces aparece como la de mejor ajuste fue la de Gumbel. Aunque en anexos se analizan los resultados para cada distribución y para cada estación, además de poder visualizarse en escala probabilística. A modo de ejemplo se muestra el análisis para la estación Talabre, graficando el análisis de frecuencia de Gumber. (Figura 2.3). El resto de los resultados en el respaldo digital de este Trabajo

Estacion		Normal	Log-Normal	Pearson	Log-Pearson	Gumbel
Antofagasta	$\chi^2(\text{calculado})=$	7.30	1.09	0.71	6.78	1.90
	$\chi^2(0,05)=$	5.99	5.99	3.84	3.84	5.99
	Test	Rechazado	Aceptado	Aceptado	Rechazado	Aceptado
Ascotan	$\chi^2(\text{calculado})=$	6.17	0.56	0.70	2.50	0.63
	$\chi^2(0,05)=$	5.99	5.99	3.84	3.84	5.99
	Test	Rechazado	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Aceptado
Comar	$\chi^2(\text{calculado})=$	4.99	12.20	3.32	3.33	3.43
	$\chi^2(0,05)=$	5.99	5.99	3.84	3.84	5.99
	Test	Aceptado	Rechazado	Aceptado	Aceptado	Aceptado
Cupo	$\chi^2(\text{calculado})=$	13.54	3.86	1.09	1.89	1.72
	$\chi^2(0,05)=$	5.99	5.99	3.84	3.84	5.99
	Test	Rechazado	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Aceptado
Parshall2	$\chi^2(\text{calculado})=$	8.60	3.52	0.72	0.23	1.45
	$\chi^2(0,05)=$	5.99	5.99	3.84	3.84	5.99
	Test	Rechazado	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Aceptado
Rio Grande	$\chi^2(\text{calculado})=$	14.45	2.04	0.34	0.50	1.40
	$\chi^2(0,05)=$	5.99	5.99	3.84	3.84	5.99
	Test	Rechazado	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Aceptado
Sierra Gorda	$\chi^2(\text{calculado})=$	4.58	6.58	4.79	32.08	5.17
	$\chi^2(0,05)=$	5.99	5.99	3.84	3.84	5.99
	Test	Aceptado	Rechazado	Rechazado	Rechazado	Aceptado
Talabre	$\chi^2(\text{calculado})=$	4.87	2.25	1.05	3.58	0.62
	$\chi^2(0,05)=$	5.99	5.99	3.84	3.84	5.99
	Test	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Aceptado

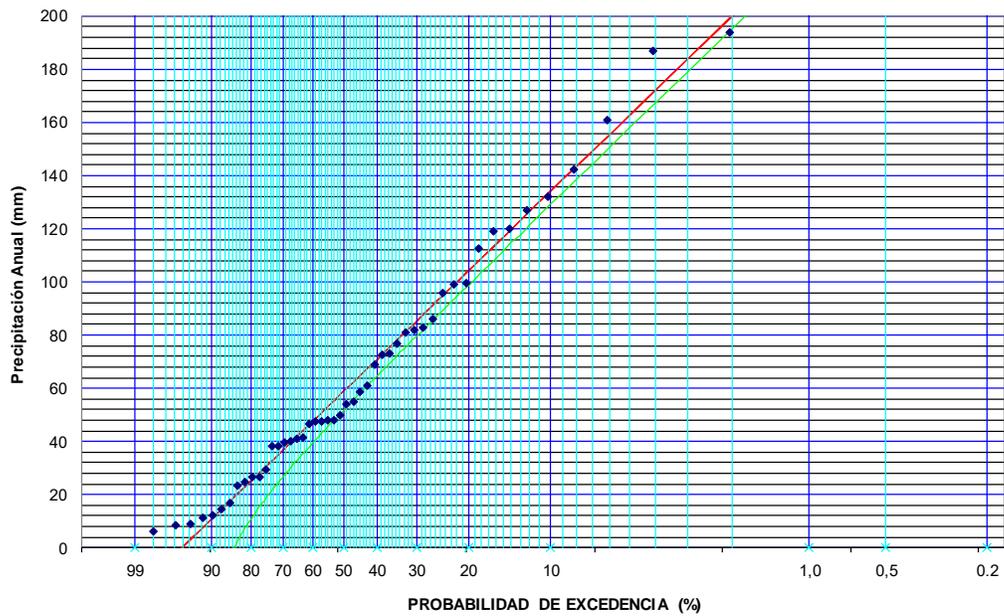


Figura 2.4: Distribuciones más frecuentes para serie de estaciones y test de  $\chi^2$ , grafico de análisis de frecuencia para la distribución de Gumber para la estación Taladre

### 2.2.5. Curvas de Variación

Por otra parte, y con el fin de caracterizar la variación mensual de las precipitaciones en las distintas estaciones, se calcularán las curvas de variación estacional, utilizando las distribuciones que generaron el mejor ajuste. En la Figura 2-4 se muestra la curva de excedencia para las estaciones ubicadas en zona cordillerana del NE de la región y las de la zona del salar de Atacama, existiendo análisis para el resto de la estación en el anexo digital, parte del proyecto.

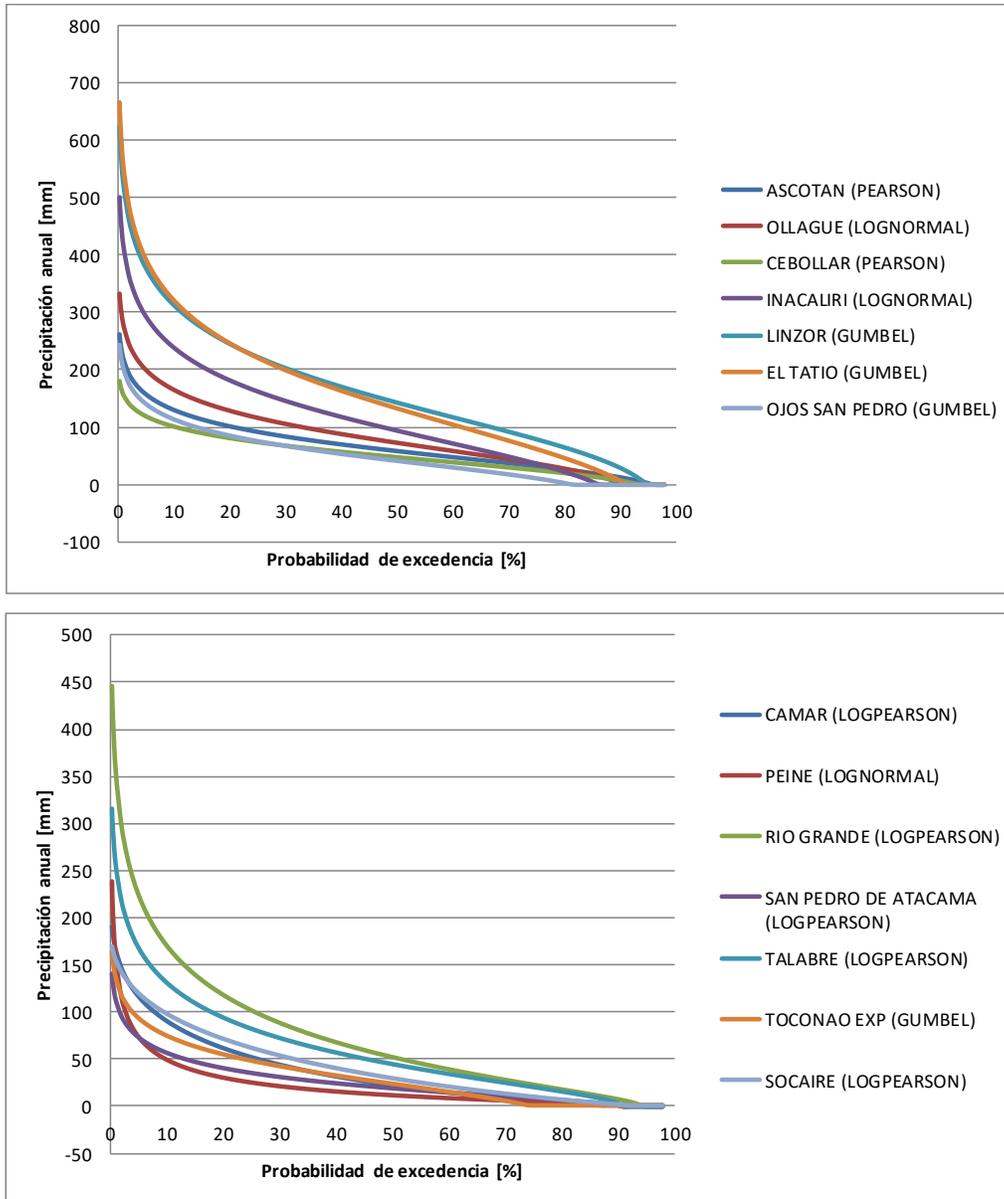


Figura 2.5: curvas de excedencia par estaciones de cabecera del rio loa y del salar de atacama.

### 2.2.6 Integración de la información pluviométrica a modelos de distribución espacial.

Con el fin de caracterizar el comportamiento pluviométrico en las cuencas controladas y no controladas de la región. Se ha propuesto integrar la información existente en un modelo de distribución que permita visibilizar a través de una capa Ráster continua los valores esperados de precipitación

Como antecedente indicar que Las precipitaciones en estas cuencas son de origen tropical, y ocurren durante el verano del hemisferio sur, lo que es conocido como el 'Invierno Boliviano' o 'Invierno Altiplánico'. Estas precipitaciones son de carácter convectivo, con una alta variabilidad espacial, y se concentran en los meses de enero y febrero. Este fenómeno desaparece más al sur, teniendo una mínima influencia en la Región de Atacama. (PUC, 2009). Por su parte Vargas et al. (2000) identifica otro factor importante que afecta la precipitación en la región, el Anticiclón Subtropical del Pacífico Suroriental (APSO), que somete gran parte del margen oeste de América del Sur a una gran estabilidad atmosférica, originada en la subsidencia de aire seco y cálido que contrasta con el aire marino fresco y húmedo (figura 2.9), lo anterior explica los fenómenos de escasa precipitación en las zonas costeras e intermedias de la región.

En términos de cobertura espacial a través de la Figura 2.1 se puede apreciar que gran parte de las estaciones están concentradas en las cuencas altoandinas de la región, debido a que en estas alturas se registra la mayor cantidad de precipitación. Adicionalmente hay otro grupo de estaciones ubicadas cerca de zonas urbanas.

Con el fin de establecer el alcance que muestra la actual red de monitoreo de la DGA, se desarrolló un semivariograma para las serie de precipitaciones medias anuales el que sugiere que los datos tienen correlación entre si hasta una distancia de 25 km, observándose un comportamiento errático a distancias mayores.

En base a esta información se estudiaron tres metodologías distintas para poder generar información continua de precipitaciones:

1. Reanálisis climático ERA Interim.
2. Interpolación geoestadística Kriging Ordinario.
3. Gradiente de precipitación altitudinal en base a observaciones.

Finalmente, el método de gradiente de precipitaciones altitudinal generó los mejores coeficientes de determinación.

En Base a la metodología de gradientes de precipitaciones se desarrolló una capa Raster continua de precipitaciones que permitirá validar la información existente de otras redes meteorológicas o de estaciones de terceros (Figura 2.6)

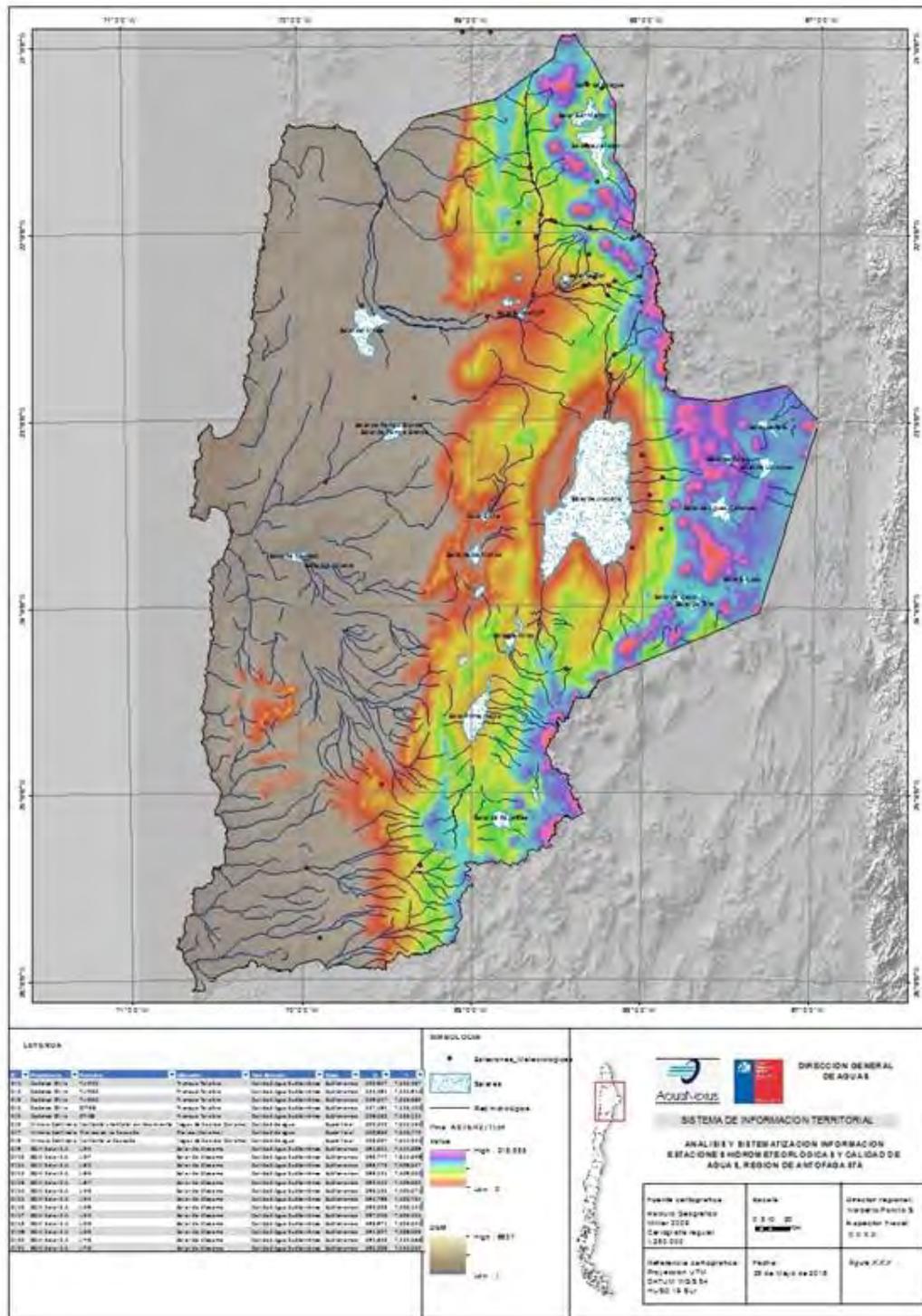


Figura 2.6: Capa Raster continua de precipitaciones

Como parte de la metodología de interpolación utilizando Kriging ordinario, se determinaron niveles de desviación estándar para las series de precipitación de cada estación, los cuales se integraron en una Capa Raster, construyendo una especie de

“Mapa de Error”, el que en base a colores permite visualizar la variabilidad de la información entre estaciones, mostrando colores rojos para zonas con alta variabilidad y colores azules para zonas con baja variabilidad,

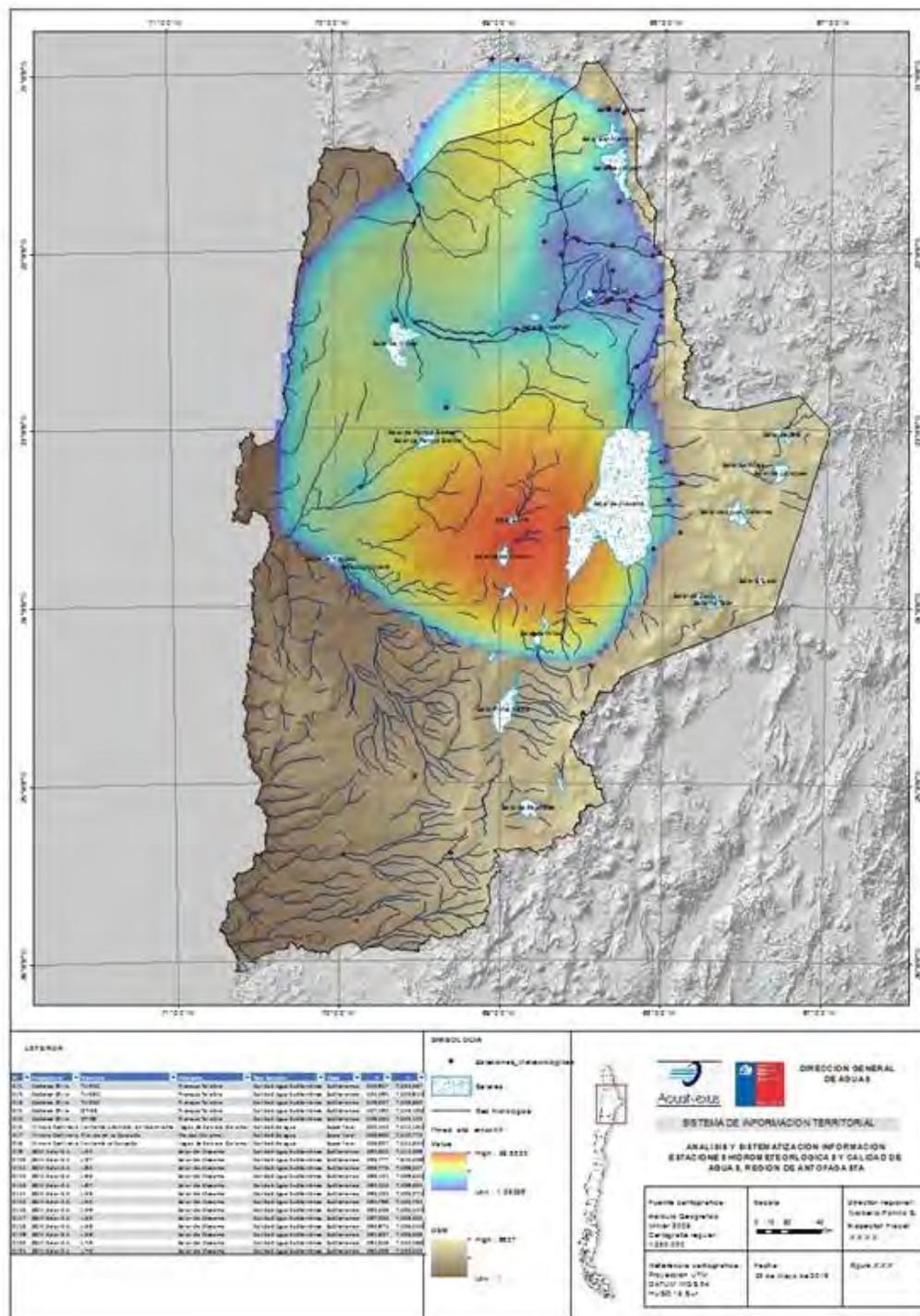


Figura 2.7: “Mapa de Error” generado en la interpolación del método Kriging normal.

Tanto la capa de distribución de precipitaciones como el mapa de Kriging son herramientas que nos permitirán analizar por una parte la consistencia de la información de precipitaciones de estaciones de terceros, así como la bondad de su ubicación espacial.

Otro elemento que diversos estudios han considerado al momento de analizar la densidad territorial de las estaciones meteorológicas, corresponde a las recomendaciones que ha hecho al respecto la Organización Meteorológica Mundial (OMM) a través de la guía de prácticas hidrológicas (OMM,2008)

## 2.2.7 Análisis de distribución territorial estaciones meteorológicas DGA

La OMM ha generado una recomendación en la se establece una densidad mínima de estaciones pluviométricas asociados a diferentes tipos de unidades fisiográficas. debiéndose considerar los valores para estaciones registradoras, como es el caso de las estaciones de la DGA. (Tabla 2.7)

<b>Unidad fisiográfica</b>	<b>Densidades mínimas por estación</b> <i>(Superficie en km2 por estación)</i>	
	<b>No registradora</b>	<b>Registradora</b>
Costa	900	9,000
Montaña	250	2,500
Planicie Interior	575	5,750
Montes/ondulaciones	575	5,750
Islas Pequeñas	25	250
Areas Urbanas		10 a 20
Polos/Tierras aridas	10,000	100,000

Tabla 2.7 Densidad mínima de estacione pluviométricas por tipo de unidades fisiográficas

Por su parte si analizamos la red regional de DGA, en base a las Cuencas y tomamos el área informada en el catastro de Cuencas y subcuencas por la propia DGA, podemos construir el índice definido por la OMM. En primera instancia se realiza el cálculo para la red vigente de 38 estaciones (Tabla 2,1), para luego incorporar al listado las 18 nuevas estaciones incluidas en el BNA. (Tabla 2.2). los resultados así generados se muestran en la tabla 2.8

<b>Codigo Cuenca</b>	<b>Nom_cuenca</b>	<b>Estaciones Vigentes</b>	<b>Area cuenca Km2</b>	<b>Km2/ Estacion</b>	<b>Nuevas estaciones</b>	<b>Km2/ Estacion</b>
20	FRONTERIZAS SALAR MICHINCHA-R.LOA	2	2,675	1,338	0	1,338
21	RIO LOA	23	33,083	1,438	0	1,438
22	COSTERAS R.LOA-Q.CARACOLES	1	8,378	8,378	7	1,047
23	FRONTERIZA SALARES ATACAMA-SOCOMPA	0	4,056	N/A	1	4,056
24	ENDORREICA ENTRE FRONTERIZAS Y SALAR DE ATACAMA	0	5,308	N/A	1	5,308
25	SALAR DE ATACAMA	6	15,577	2,596	3	1,731
26	ENDORREICA SALAR DE ATACAMA-VERTIENTE PACIFICO	0	14,474	N/A	2	7,237
27	QUEBRADA CARACOLES	3	18,296	6,099	1	4,574
28	QUEBRADA LA NEGRA	0	11,347	N/A	0	N/A
29	COSTERAS ENTRE Q. LA NEGRA Y Q. PAN DE AZUCAR	3	16,898	5,633	3	2,816
<b>Total general</b>		<b>36</b>	<b>130,090</b>	<b>3,614</b>	<b>18</b>	<b>2,409</b>

Tabla 2.8 Índice de densidad por Km2 para las estaciones DGA.

Los valores indicados deben ser analizados considerando como unidad fisiográfica predominante la de montaña (INFRAECO, 2011), cuyo índice de acuerdo a la recomendación de la OMM debe ser como mínimo, 2.500 Km<sup>2</sup> por estación.

En la tabla 2.4 se han destacado los valores cuya densidad es mayor a la de la recomendación, mostrando que en la actual situación solo las cuencas del Rio Loa (*Cuenca 21*) y las fronterizas de salar de Michincha-R.Loia (*Cuenca 20*) cumplen con las densidades mínimas requeridas. Al ingresar las nuevas estaciones tanto la cuenca del salar de atacama (*Cuenca 25*) y la Costera Rio Loa-Caracoles (*Cuenca 22*, donde se encuentra Antofagasta) cumplirían los niveles mínimos sugeridos por la OMM, Indicar también que la *cuenca 29* donde se encuentra el puerto de Tal-Tal quedo muy próximo a cumplirlos con el índice. Si se mira el índice para la región se puede ver que actualmente no cumple los niveles mínimos (3.614 Km<sup>2</sup>/ estación) pero que con el ingreso de las nuevas estaciones cumplirá el nivel mínimo sugerido (2.409 Km<sup>2</sup>/estación)

La situación antes indicada, puede ser profundizada al analizar el comportamiento del índice de densidad recomendado por la OMM, a nivel de sub-cuenca, para lo cual volvemos a utilizar la información del inventario de Cuencas y sub-cuencas de la DGA para definir el área en Km<sup>2</sup>.

COD CUENCA	CUENCA	COD SUBC	NOMBRE	Estaciones Vigentes	Area cuenca Km2	Km2/ Estacion	Nuevas estaciones	Km2/ Estacion
020	Fronterizas Salar Michincha-R.Loia	0200	Salar De Ollague	1	725	725		725
		0202	Salar De Ascotan	1	1,426	1426		1426
021	Rio Loa	0210	Rio Loa Alto (bajo junta Rio Salado)	19	8,132	428		428
		0211	Loa Medio (entre R. Salado y Q. de Barrera)	4	24,409	6102		6102
022	Costeras R.Loia-	0220	Costeras entre Rio Loa y Q. Iquine (inclusive)	1	1,391	1391		1391
		0221	Costeras entre Q. Iquine y Q.Tocopilla (inclusive)		1,223	N/A	1	1223
		0224	Costeras entre Q. Chacaya y Q. Caracoles		3,180	N/A	6	530
023	Fronterizas Salares Atacama-Socompa	0230	Cajon		125	N/A	1	125
		0245	Laguna Tuyajto Chico y Salar de Laco		520	N/A	1	520
025	Salar de Atacama	0250	Salar de Atacama	4	12,410	3103	3	1773
		0251	Rio San Pedro	2	1,417	709		709
		0265	Salar Punta Negra		5,231	N/A	2	2615
027	Quebrada Caracoles	0270	Quebrada Caracoles bajo junta Quebrada El Buitre	1	5,693	5693		5693
		0271	Q. Caracoles entre Quebrada El Buitre y Salar del Carmen	2	3,370	1685		1685
		0276	Q. Caracoles entre Salares Navidad y del Carmen (inclusive) y desembocadura		947	N/A	1	947
		0290	Qs. entre Q. La Negra y Q. de Remedios		740	N/A	2	370
029	Costeras entre Q. la Negra y Q. Pan de	0294	Quebrada de Taltal	3	5,732	1910.75	1	1433

Tabla 2.9 Índice de densidad de la OMM por subcuenca

Se debe considerar que, del total de 54 subcuencas, solo 10 cuentan con estaciones meteorológicas, las que aumentan a 17 (31%) si se consideran las nuevas estaciones. Estas subcuencas corresponden a un área de influencia de 76.640 Km<sup>2</sup> que un 59% del área de la región. Por su parte al analizar los índices de densidad podemos notar que al ingresar las nuevas estaciones, solo 3 subcuencas de las que poseen

estaciones no alcanzan el valor mínimo. Lo anterior nos indica que existe una fuerte concentración de estaciones en un número pequeño de subcuencas y que en ellas la densidad de estaciones permite cumplir, salvo excepciones, las recomendaciones de la OMM. Otra observación indica que en la actualidad gran parte de las estaciones se encuentran en la cabecera del Río Loa, en la zona del Salar de Atacama y otro pequeño grupo en la quebrada de Taltal.

## 2.3. Análisis de Información de Terceros

### 2.3.1 levantamiento de información de Terceros

De acuerdo a lo establecido en las bases del proyecto se realizaron una serie de labores tanto de terreno como de gabinete tendientes a identificar y localizar las estaciones hidrometeorológicas funcionando en la región, teniendo en consideración si estas eran operadas por instituciones públicas (distintas a la DGA) o por empresas, distinguiendo de estas últimas, aquellas con obligación de informar a entidades públicas y aquellas cuya información es propia de cada compañía, teniendo carácter de privada.

### 2.3.2 Estaciones Hidrométricas Públicas.

En primer lugar, nos referiremos a las 2 redes públicas funcionando en la región, la de la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC) y Agromet del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), instituto dependiente del Ministerio de Agricultura. La primera mantiene 5 estaciones y la segunda mantiene activas 7 estaciones (Tabla 2.10)

<b>Red</b>	<b>Nombre Estación</b>	<b>Este</b>	<b>Norte</b>
DGAC	Cerro Moreno Antofagasta A.P	352797	7405893
	El Loa Calama A.D	407655	7401358
	Tal-Tal DGAC (1)	350721	7188701
	Universidad Católica del Norte (UCN) DGAC (2)	356254	7380613
	Toconao DGAC (1)	601771	7435531
INIA (Agronet)	Ollague	577254	7652887
	Caspana INIA	581215	7529482
	Chiu-Chiu INIA	535990	7531685
	Calama Rural	505866	7515034
	San Pedro de Atacama INIA	580647	7463862
	Toconao INIA	601635	7435045
	Socaire INIA	613252	7390661

Tabla 2.10 Estaciones de redes públicas en la Región de Antofagasta (UTM WSG-84 zona 19S)

(1) Estaciones de Reciente puesta en servicio

(2) Se informaron registros hasta el año 2000 y vuelve a tener registros el año 2016

En general estas 2 redes cuentan con soporte local para la mantención de sus estaciones, además de tener plataformas digitales donde actualizan la información meteorológica. La red de INIA es relativamente nueva (a partir del año 2010) y cuenta con Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMA) con tecnología Campbell. La red de la DGAC es mucho más antigua con estaciones de la década del 60, aunque ha renovado alguna de ellas recientemente.

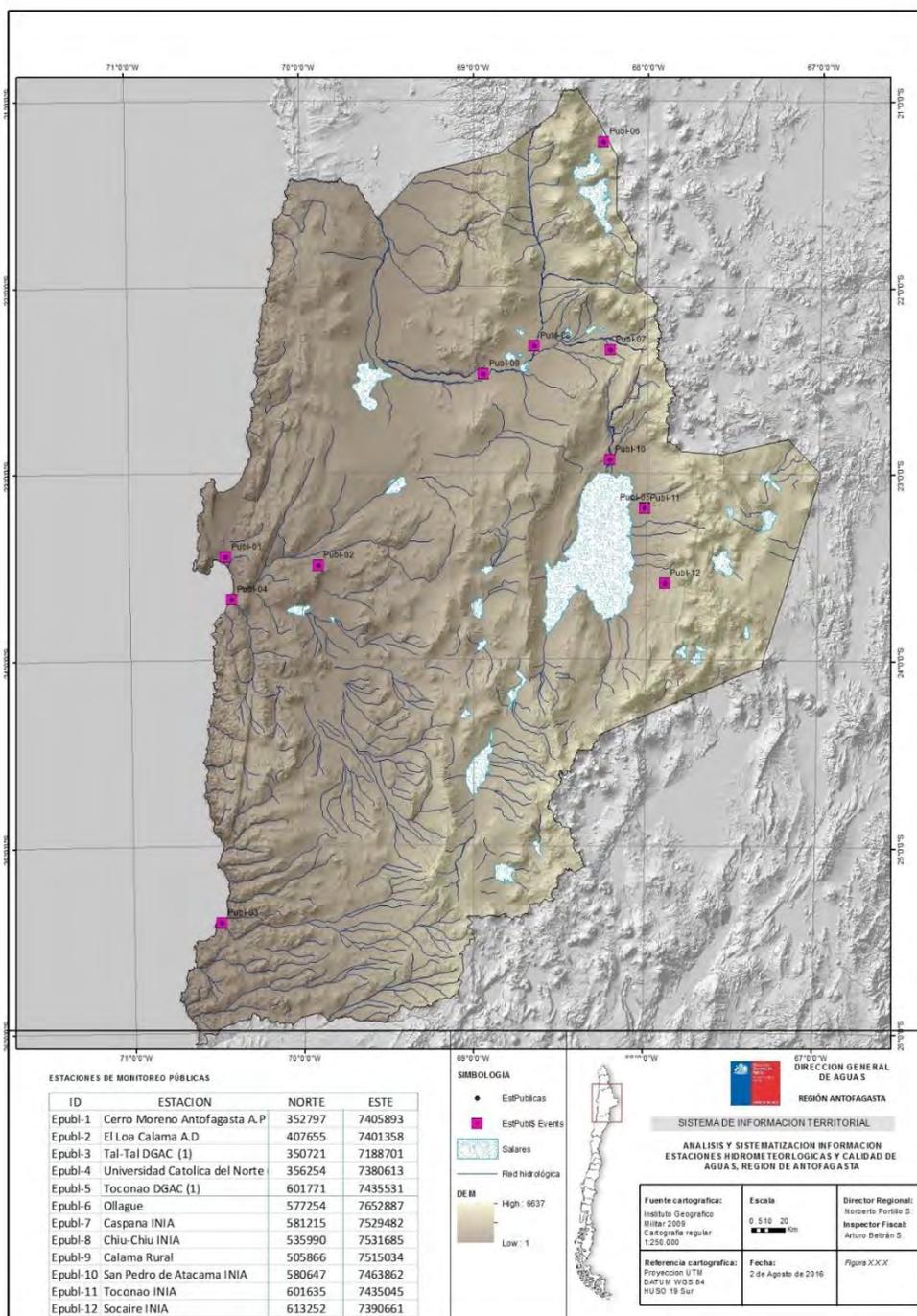


Figura 2.8: Ubicación Territorial de Estaciones Hidrometeorológicas INIA y DGAC.

### 2.3.3 Estaciones Hidrometeorológicas Empresas (Obligación Informar)

Otro gran grupo lo conforman las estaciones que administran Empresas Privadas, en función del cumplimiento de compromisos de Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA), asociados a proyectos de diversa índole, destacando en la región los asociados a proyectos mineros. Estos proyectos durante su ciclo de vida pueden requerir de diversas RCA, que en muchos casos tienen que ver con proyectos de modificación, ampliación, actualización tecnológica o puesta en marcha de servicios con impacto territorial. Lo anterior hace complejo el seguimiento en el tiempo de los compromisos, pues en cada resolución pueden ser modificados en términos de su contenido o cambiar el periodo en que son requeridos. Por tanto se ha adoptado como criterio el mostrar la última RCA donde se ha definido o redefinido el compromiso.

Al analizar el origen del compromiso asociado a la instalación y operación de estaciones de monitoreo tenemos en general 2 grandes grupos:

- a) Estaciones Hidrometeorológicas: Son Aquellas que están asociadas al monitoreo de líneas Base hidrológicas (Componente Agua), que en general buscan mantener y actualizar información de parámetros meteorológicos como: precipitaciones, temperatura del aire, humedad relativa y evaporación, pudiendo tener mediciones adicionales de Presión Atmosférica, Radiación Solar, Velocidad y Dirección del Viento.
- b) Estaciones de Monitoreo de Calidad de Aire: Son aquellas que responden al control de la calidad del aire en las zonas aledañas al proyecto o en el entorno de los centros poblados más cercanos (Componente Aire). En general tienen como función la medición de la concentración de Material Particulado (MP10 y/o MP 2,5) y/o las concentraciones de componentes específicos en el aire como No2, O3, Pb, As, etc. Adicionalmente estas estaciones monitorean parámetros de carácter local como la Dirección y Velocidad del Viento además de Temperatura. (en algunos casos el sensor utilizado también mide humedad relativa)

Es válido indicar que cuando se encuentren estaciones que cumplan ambas funciones se ha definido dejarlas dentro del grupo de las hidrometeorológicas, para tal efecto se ha discriminado ante la presencia o no de mediciones de precipitación.

Para efectos de este proyecto se ha sistematizado la información de las estaciones hidrometeorológicas y se han identificado, las Estaciones de Monitoreo de Calidad del aire.

Resolución	Nombre del Proyecto	Mandante	Nombre Estacion	Compromiso RCA y/o Documentos SEIA	ESTE	NORTE	
356	2007	Continuidad Operacional de Minera El Tesoro: Explotación de Yacimientos de Óxidos del Distrito Sierra Gorda.	Cía Contractual Minera El Tesoro	Campamento Tesoro	356/207 El Titular continuará monitoreando el cumplimiento de la norma primaria en Sierra Gorda con la implementación de c/u de las etapas del proyecto, utilizando datos de Calidad de Aire clasificada como EMRP	489311	7464491
356	2007		Cía Contractual Minera El Tesoro	Poblado Sierra Gorda		467065	7468530
398	2009	Ampliación De Capacidad De Extracción Y Procesamiento De Mineral Sulfurado De Minera Escondida	Minera Escondida Ltda.	Caleta Coloso	398 / 2009 - Ampliación De Capacidad De Extracción Y Procesamiento De Mineral Sulfurado De Minera Escondida. Informe que da cuenta del monitoreo de calidad de aire PM10 extramuro y meteorología, realizado en las inmediaciones del Puerto Coloso. Monitorear la calidad de aire (PM10) en la estación de monitoreo Caleta Coloso durante toda la etapa de construcción del proyecto, cada tres días, con una frecuencia mensual de entrega a la autoridad. De igual forma, de acuerdo a la Res 885/2003 los datos obtenidos desde esta estación deberán ser remitidos a la SSA dentro de los primeros 15 días del mes siguiente al mes monitoreado.	351252,8	7371544
277	2001	Escondida Norte y Plantas De Tratamiento De Aguas	Minera Escondida Ltda.	Cerro Marcelo	277 / 2001 - Escondida Norte Y Plantas De Tratamiento De Aguas. Monitoreo de calidad de aire de material particulado (MP10) extra e intramuro y meteorología de los campamentos de MEL ubicados a 170 KM. al S.E de Antofagasta. El titular deberá mantener y acreditar las condiciones de hermeticidad, construcción y ventilación al interior de los Campamentos San Lorenzo, 2.000 y Construcción: cumpliendo permanentemente las normas de calidad de aire contenidas en el DS N° 58/98 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, o la norma que en el futuro reemplace.	493132,1	7317843
15	2004	Actualización Proyecto Spence	BHP billiton	Campamento	Punto 8 de la RCA 0015/2004: Meteorología, Mensual, en una cantidad de 3 ejemplares y e,n forma electrónica o magnética, dentro de los quince días siguientes al término del mes respectivo	472053	7476725
311	2005	Mansa Mina	Codelco, Ministro Hales	San Jose	311 / 2005 - Mansa Mina: Válido el modelo de calidad de aire empleado después de un año calendario del inicio del proyecto. Válido el modelo de calidad de aire empleado después de un año calendario del inicio del proyecto (en la fase de construcción se debe iniciar la validación). Remitir la información a la Autoridad Sanitaria dentro de los 20 días posteriores al término de la validación con copia informativa a la Secretaría de la COREMA.	509243	7516913
311	2005	Mansa Mina	Codelco, Ministro Hales	Hospital del Cobre		507229	7532289

Resolución	Nombre del Proyecto	Mandante	Nombre Estación	Compromiso RCA y/o Documentos SEIA	ESTE	NORTE	
48	1995	Mina El Abra	Freport-McManon	Estación Planta	48 / 1995 - Mina El Abra	531469	7570152
48	1995	Mina El Abra	Freport-McManon	Estacion Ascotan	Programa de Monitoreo. Dar a conocer los resultados del Programa Cuatrimestral del Monitoreo Ambiental 2015 respecto a los parámetros de meteorología, calidad de aire y calidad de agua.	581214,6	7601580
39	2000	Ampliación Fase III Fundición Altonorte Antofagasta II Región	Altonorte Ltda	Central		365299	7364639
226	2006	Cambios y Mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama	SQM SALAR S.A.	Chaxas	1 0.2. Plan de seguimiento de las variables Hidrogeológicas	583498,5	7424261
226	2006			Salar	El PSA de las variables hidrogeológicas contempla mediciones en seis sistemas del salar de Atacama. Dichos sistemas son representativos de la dinámica del núcleo: de la dinámica de los sistemas lacustre emplazados en la periferia del salar y de la napa de agua dulce que alimenta la vegetación del borde este. Los sistemas objeto del PSA son los siguientes: Sistema Soncor, Sistema Aguas de Quelana, Sistema Vegetación Borde Este, Sistema Peine, Sector vegas de Tilopozo y Núcleo del Salar de Atacama	561561	7396614
221	2004	Uso de Petróleo en la Unidad N° 2 de la Central Termoeléctrica Taltal	Endesa S.A	Punto de máximo impacto PMI	La RCA 221/2004 en su considerando 5.6 dice que la Estación de Monitoreo PMI (Punto de Máximo Impacto) es en la actualidad Estación Monitora. Al cumplirse el 2do años. Se se valida la ubicación del Punto de Máximo Impacto y es necesario cambiar de lugar la estación PMI, entonces, ENDESA reorientará la estación monitora denominada PMI y su sistema alimentador de Energía a su nueva ubicación. Posteriormente se realizará la revalidación cada tres años.	352524	7236146
71	2007	Horno Cal N°3	Inacesa S.A.	Inacesa	En el capítulo 7.5. Plan de Seguimiento Ambiental contiene que desde noviembre de 2004, INACESA ejecuta un programa de monitoreo de calidad de aire, consistente en la medición continua del parámetro MP10 con mediciones de 24 hrs cada 3 días (10 días de muestro al mes). Adicionalmente, realiza un muestreo isocinético, a cada una de las fuentes de emisión por Chimenea en los hornos en operación 2 veces al año.	366001	7369267

Tabla 2.11 Estaciones Hidrometeorológicas de Terceros con obligación de informar (UTM WSG-84 zona 19S)

A continuación se muestra la ubicación de las Estaciones Hidrometeorológicas de Terceros con obligación de informar (Figura 2.9)

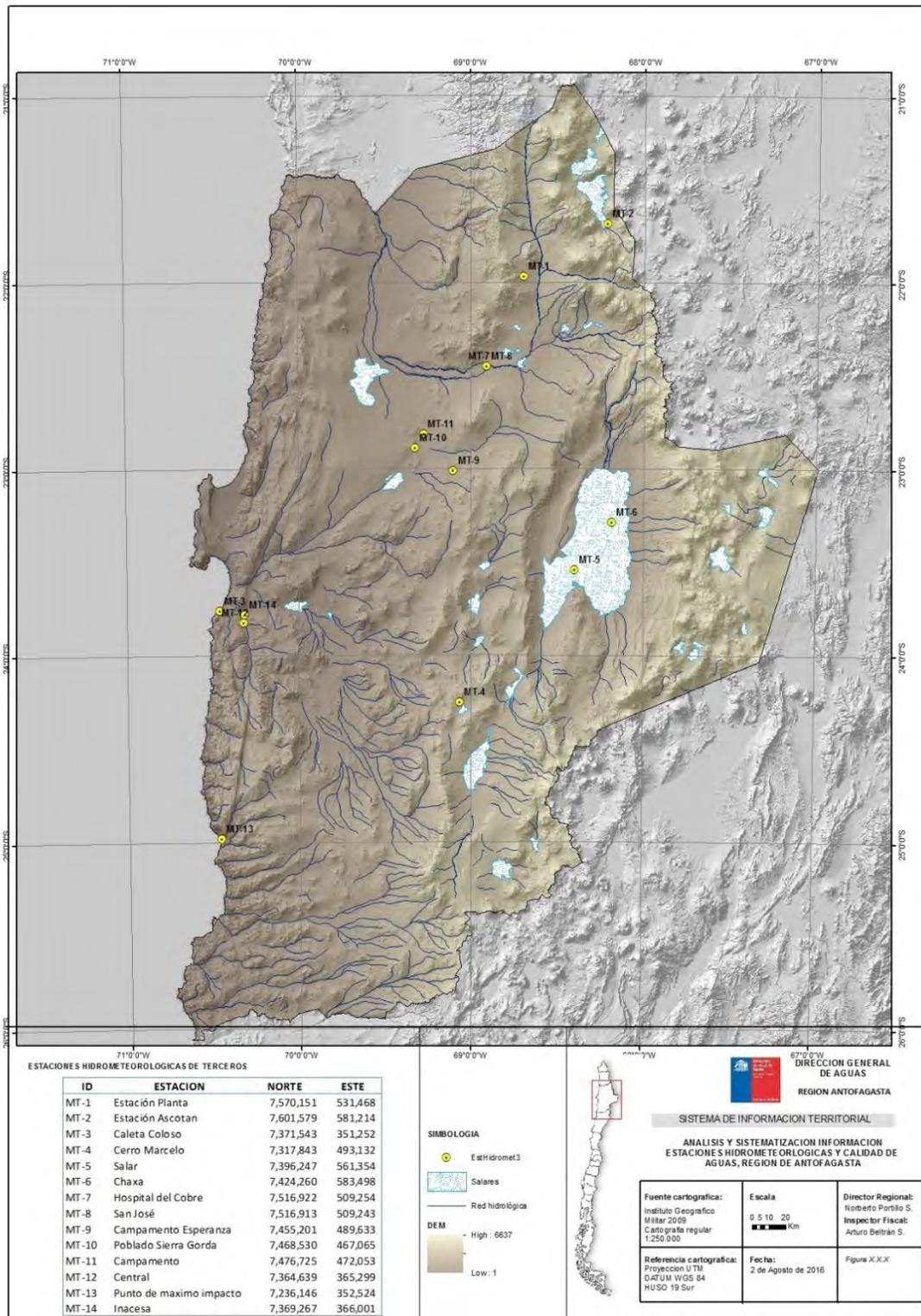


Figura 2.9: Ubicación de Estaciones Hidrometeorológicas de Terceros con obligación de informar

Por su parte las Estaciones de Calidad del Aire, casi en su totalidad han sido validadas por la autoridad ambiental (SMA) y autorizadas por decreto de la autoridad de salud para ser consideradas EMRP (Estación de Monitoreo de representación Poblacional), tras lo cual sus resultados, mantención y operación deben registrarse por DS n°61/08 del Ministerio de Salud. El Sistema de Información Nacional de Calidad del aire (SINCA) <http://sinca.mma.gob.cl/>. mantiene información en línea de 10 estaciones y registro histórico de alrededor de 29 estaciones en la región de Antofagasta.

id	Empresa a cargo	Estaciones Monitoreo	ESTE	NORTE	Comuna
1	SEREMI del Medio Ambiente	Oncológico	357923	7383182	Antofagasta
2	SEREMI del Medio Ambiente	Rendic	359138	7387995	Antofagasta
3	SEREMI del Medio Ambiente	Playa Blanca3	356498	7381134	Antofagasta
4	SEREMI del Medio Ambiente	Liceo Industrial A-16	358869	7387876	Antofagasta
5	Complejo Metal, Alto Norte	Coviefi	356661	7379377	Antofagasta
6	Complejo Metal, Alto Norte	Sur	366485	7363253	Antofagasta
7	Complejo Metal, Alto Norte	La Negra	365787	7368902	Antofagasta
8	Minera Escondida Ltda.	Caleta Coloso	351150	7371600	Antofagasta
9	Inacesa S.A.	Inacesa	366001	7369267	Antofagasta
10	Codelco: Chuquicamata	Auka Huasi	507229	7532289	Calama
11	Codelco: Chuquicamata	Hospital del Cobre	509243	7516913	Calama
12	Codelco: Chuquicamata	Servicio Médico Legal	505383	7516195	Calama
13	Codelco: Chuquicamata	Chiu-Chiu	535953	7529230	Calama
14	Codelco: Chuquicamata	Centro	507371	7516056	Calama
15	Codelco: Chuquicamata	Colegio Pedro Vergara Keller	506895	7518221	Calama
16	Codelco: Chuquicamata	Club Deportivo 23 de Marzo	506403	7516233	Calama
17	Inppamet Ltda.	Escuela D-126	509273	7511865	Calama
18	Minera El Abra S.A	Conchi Viejo	538969	7564486	Calama
19	SQM S.A.	Hospital	431557	7529201	María Elena
20	SQM S.A.	Iglesia	431963	7528848	María Elena
21	Endesa S.A.	Pto. de Max. Impacto	352524	7236146	Taltal
22	Endesa S.A.	Escuela Paposo	352352	7233451	Taltal
23	Cemento Palpaico S.A.	Norte Polpaico	355443	7445592	Mejillones
24	Cemento Palpaico S.A.	Sur Polpaico	355402	7445285	Mejillones
25	Gas Atacama S.A.	Compañía de Bomberos	351441	7444532	Mejillones
26	Enaex S.A.	Jardín Infantil Integra	352081	7444452	Mejillones
27	Enaex S.A.	Juan José Latorre	352388	7444139	Mejillones
28	Puerto Mejillones S.A.	Puerto Mejillones	358075	7447666	Mejillones
29	Molynor S.A.	Molynor	359079	7448225	Mejillones
30	Minera Esperanza S.A.	Michilla	368896	7487764	Mejillones
31	E-CL S.A.	Ferrocarril	350017	7444552	Mejillones
32	E-CL S.A.	Juan José Latorre	352224	7444131	Mejillones
33	E-CL S.A.	Subestación Electrica	354703	7445227	Mejillones
33	E-CL S.A.	Subestación Electrica	354703	7445227	Mejillones
34	Minera El Tesoro	Poblado Sierra Gorda	466670	7468150	Sierra Gorda
35	Minera Spence	Sierra Gorda	467362	7468637	Sierra Gorda
36	Minera Sierra Gorda S.C.M.5	Sierra Gorda (SCM)	467317	7468566	Sierra Gorda
37	Norgener S.A. 6	Gobernación	376087	7556373	Tocopilla
38	Norgener S.A	Gendarmería	377622	7559714	Tocopilla
39	Norgener S.A	Bomberos	375112	7554371	Tocopilla
40	E-CL S.A	Supersite (Ex Escuela E-10)	377362	7557230	Tocopilla

Tabla 2.12 Listado de estaciones de Calidad del aire (cenma-2014) (UTM WSG-84 zona 19S)

Las estaciones indicadas en el informe del centro nacional del medio ambiente, (Cenma- 2104) no considera las estaciones de mineras ubicados dentro del campamento o las plantas de producción y son mostradas a continuación:

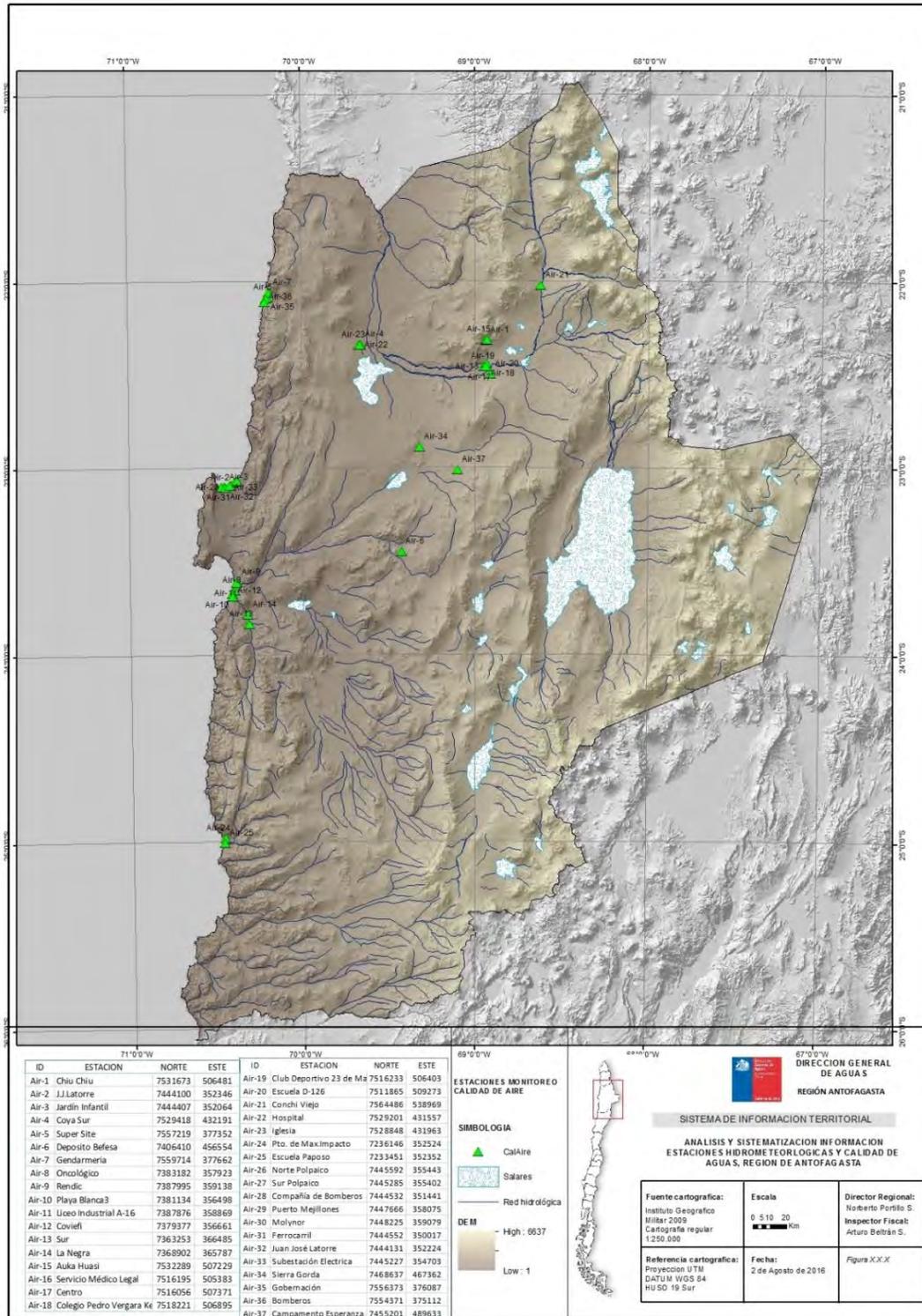


Figura 2.10: Ubicación geográfica de estaciones de Calidad de Aire

Gran parte de las estaciones que monitorean Calidad de aire poseen sensores para medir temperatura ambiente, dirección y velocidad del viento, los que podrían ser de interés para algunos tipos de estudios. Por su parte se han identificado 6 estaciones que poseen adicionalmente otros sensores para medir parámetros como Radiación Solar y/o Presión Atmosférica, los que se detallan a continuación: Estación Chiu-Chiu, Estación Juan José Latorre, Estación Jardín Infantil Integra, Supérstite, Gendarmería, Pto de Max. Impacto.

Adicional a las anteriores se han identificado estaciones de medición de Calidad de Aire en las instalaciones de Befesa (Deposito) en Sierra Gorda, en las instalaciones de SQM nitratos en Coya (Coya Sur) y en el Campamento de Minera Esperanza. De igual forma las estaciones Michilla y Sierra Gorda (SCM) denominada como EMSG01 por el propietario, han sido informadas por sus respectivos administradores y han sido incluidas dentro del grupo de Estaciones Privadas

Por su parte las estaciones Poblado de Sierra Gorda, Caleta Coloso, Hospital del Cobre, Pto de Máximo Impacto e Inacesa, también desarrollan funciones de estaciones Hidrometeorológicas, por lo que serán consideradas en esa agrupación para su análisis.

#### 2.3.4 Estaciones Hidrometeorológicas Empresas (Privadas)

Finalmente se indica la existencia de una serie de estaciones pertenecientes a mineras, que tienen el carácter de privadas, pues no existe obligación de informar de sus mediciones a la autoridad, las que han sido relevadas en el proceso de visita a terreno y en comunicaciones formales. El interés de estas estaciones es que por su ubicación podrían ser de interés para la autoridad dada que esta no posee estaciones en todas las subcuencas de la región.

Propietaria		ESTACION	NORTE	ESTE
Compañía Minera Sierra Gorda	*	CMSG-01	7.468.664	467.314
Minera el Abra		Estación Mina	7.576.826	514.872
Minera el Abra		Estación Cerro Jardin	7.601.280	585.872
Minera Escondida Ltda		Laguna Seca	7.301.673	482.936
Minera Escondida Ltda		Salar de Punta Negra	7.277.614	507.365
Minera Escondida Ltda		Volcan Lullailaco	7.273.052	538.221
Minera Escondida Ltda		Tilopozo	7.368.323	578.071
Compañía Minera Sierra Gorda		Planta Catabela	7.466.894	463.868
Universidad Catolica del Norte		UCN	7.380.389	356.125
Universidad de Antofagasta		Servicios Estudiantiles	7.378.108	355.202
Minera Centinela	*	Michilla	7.487.766	368.894
Minera Centinela	*	Campamento Tesoro	7.464.491	489.311

Tabla 2.13 Estaciones de monitoreo de carácter Privada (UTM WSG-84 zona 19S)

(\*)Se tiene antecedentes que tanto CMSG-01 como Michilla y campamento Tesoro realizan mediciones de Calidad de aire, por lo que no serán consideradas como Hidrometeorológicas para efectos de análisis y validación.

Dentro del proceso de recopilación de información se encontró disposición de los propietarios a facilitar información, previo establecimiento de algún tipo de convenio.

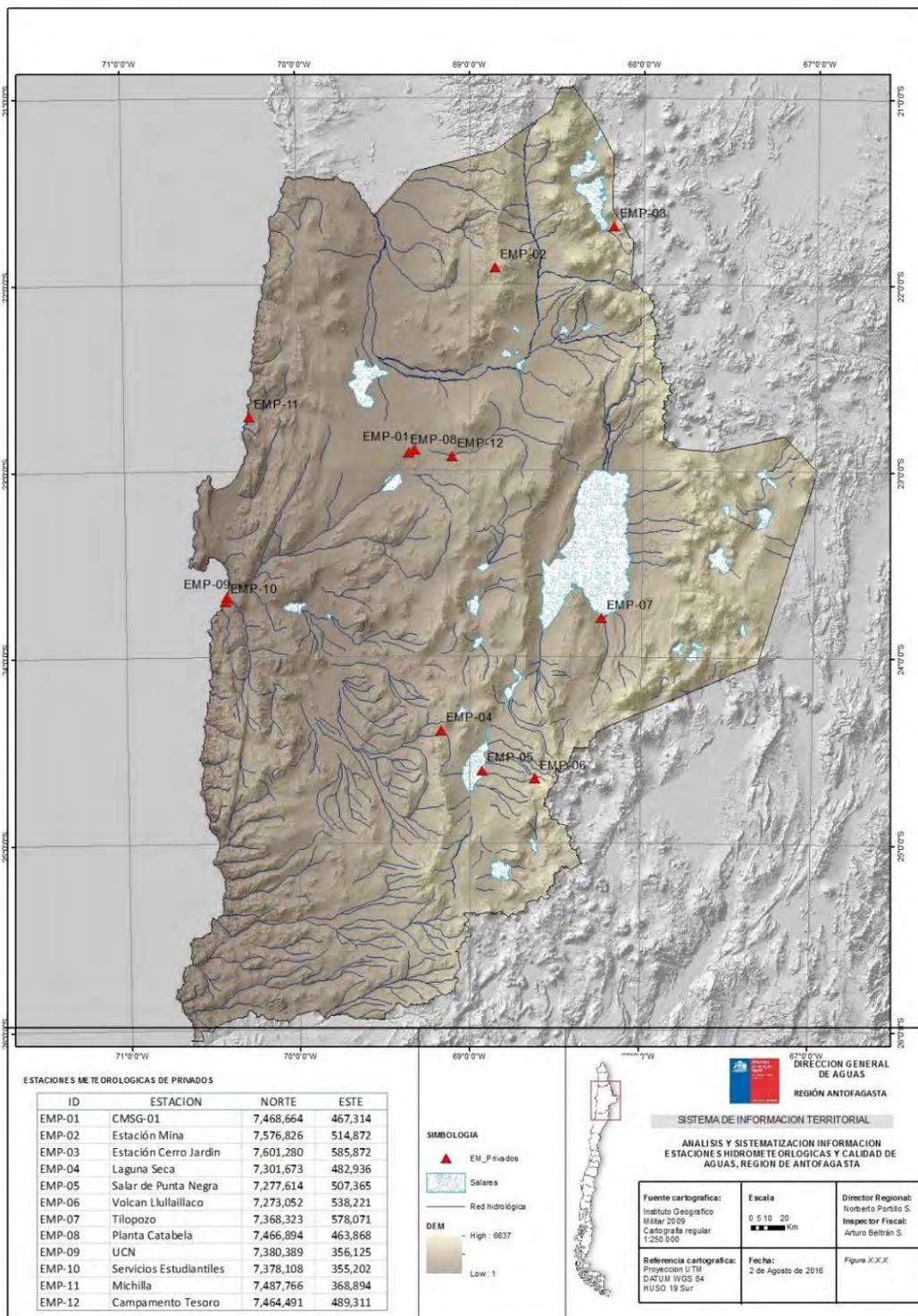


Figura 2.11: Ubicación geográfica de estaciones de carácter Privado

\* Las Estaciones UCN y Servicios Estudiantiles están ubicadas en zona aledaña en Antofagasta.

### 2.3.5 Validación de estaciones Hidrometeorológicas

En base a la información relevada se ha podido sistematizar la información de las estaciones Hidrometeorológicas, en términos de:

- a) Serie de datos para el parámetro de Cantidad de precipitaciones (Pp) mensual

En base a estas series se han definido los siguientes criterios de Validación:

1. Criterio de continuidad de las series: Para poder relevar efectos cíclicos, las series deben tener al menos 3 años continuos de medición y en caso de no ser continuos deben tener información en al menos la mitad de los periodos desde su instalación.
2. Criterios de isoyetas : Para efectos de validar la calidad de la información (no se conocen estándares de mantención y gestión de las estaciones) Se calculará valor promedio para la variable precipitación (Pp) y se compararán con el valore obtenido utilizando la capa ráster de distribución de precipitaciones. Se considerará como límite de validación valores entre +20% y -20% en zonas controladas (Subcuencas que superan el índice de densidad de la OMM) y +40% y 40% en zonas no controladas.

#### 2.3.5.1 Validación Información de Estaciones Públicas

Se releva el alcance temporal de las series de información meteorológica de las estaciones Públicas validando si superan el criterio de continuidad de las series.

ESTACION	1990									2000									2010					Criterio Continuidad				
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2		3	4	5	
Cerro Moreno	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	SI
El Loa (Calama)	0	0	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	SI
Tal-Tal DGAC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	12	NO
Univ.Catol.Norte (UCN)	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	SI	
Toconao DGAC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	12	12	12	12	SI
Ollague	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	12	12	12	12	SI
Caspana	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	12	12	12	12	SI
Chiu-Chiu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	12	12	12	12	SI
Calama Rural	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	12	12	12	12	SI
San Pedro de Atacama	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	12	12	12	12	SI
Toconao	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	12	12	12	12	SI
Socaire	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	12	12	12	12	SI

Tabla 2.14 Serie de información de estaciones Públicas

Las redes de Estaciones Publicas cuentan con un alto estándar en mantención de los equipos asi como en la gestión de su información, por tal razón solo se validará si se cuenta con serie de tiempo lo suficientemente largas para que sus datos sean validados con cierto nivel de seguridad.

Del análisis de la información se valida que todas las estaciones INIA cumplen con el criterio de continuidad de las series. Por su parte la red de la DGAC muestra serie extensas para las estaciones de Cerro Moreno, Calama y Universidad Católica del Norte, sin embargo, esta última solo tiene registros hasta el año 2006, lo que podría complejizar su uso. Por lo que solo se recomendará utilizar la información de las 2 primeras.

### 2.3.5.2 Validación Información de Estaciones Terceros (Obligación de informar)

A continuación, se releva el alcance temporal de las series de información meteorológica de las estaciones de terceros validando si superan el criterio de continuidad de las series.

Prpietario	Estaciones Hidrométricas	2000									2010					Validacion Continuidad		
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3		4	5
Minera Esperanza	Campamento Tesoro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	12	12	NO
Minera Esperanza	Poblado Sierra Gorda	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	12	12	NO
Escondida	Caleta Coloso	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	12	12	12	12	12	12	SI
Escondida	Cerro Marcelo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	12	12	12	12	12	5	SI
Spence	Campamento Spence	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	12	7	NO
Mansa Mina	San Jose	0	0	1	12	12	12	12	12	12	12	0	0	0	0	0	0	NO
Mansa Mina	Hospital del Cobre	0	0	1	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	SI
El Abra	Estación Planta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	12	12	12	12	10	SI
El Abra	Estacion Ascotan	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	12	12	12	12	10	SI
Alto Norte	Central	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	NO
Salar de Atacama	Chaxa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	NO
Salar de Atacama	Salar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	NO
Endesa	Punto de maximo impacto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	NO
Inacesa	Inacesa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	8	9	0	0	0	2	NO

Tabla 2.15 Serie de información de estaciones de Terceros y validación de criterio de continuidad

Del análisis de la información, solo superan la validación de continuidad las 2 estaciones de Minera Escondida, las 2 de El Abra y de hospital del cobre de Codelco. Sin embargo puede ser muy interesante seguir acumulando información de la Estación de Minera Spence y las 2 estaciones de Minera Esperanza, pues en general las estaciones administradas por mineras tienen buenos estándares de mantención.

Consecuentes con el segundo criterio, se rescata desde la capa ráster de precipitación y temperatura los valores para cada uno de los 5 puntos que superaron el primer criterio, cuyos resultados se muestran a continuación.

Propietario	Estaciones Hidrométricas	Precipitación Media	Precipitación Raster	Var %
Min.Escondida	Caleta Coloso	0,0	0,0	0%
Min.Escondida	Cerro Marcelo	0,2	29,0	99%
Codelco	Hospital el Cobre	1,2	3,9	69%
C.Min El Abra	Estación Planta	26,5	29,0	9%
C.Min El Abra	Estación Ascotan	35,4	68,0	48%

Tabla 2.16 Análisis de Criterios de Isoyetas para estaciones de Terceros

Solo las estaciones Caleta Coloso y estación Planta de Minera el Abra pasan la validación de isoyetas.

No obstante, lo anterior dada la variación espacial de las precipitaciones y el carácter convectivo de las tormentas en la región, parece razonable no descartar aquellas estaciones más lejanas a estaciones DGA, como Cerro Marcelo y Ascotan, además de mantener el levantamiento de información histórica para reanalizar la información del resto de las estaciones, en especial aquellas administradas por empresas Mineras.

Es importante indicar que las series consideradas son de pocos años y pudiesen variar importantemente ¿si se logra recabar la información histórica y volver a reanalizar, en este sentido no se debería descartar la información de la estación Ascotan, pues solo contamos con información de 6 años.

### 2.3.6 Recomendaciones de tipo territorial

Para este caso se validarán las ubicaciones de todas las estaciones Hidrometeorológicas de Terceros, dentro del "*Mapa de error*" del Kriging ordinario, cuya envolvente se muestra en la figura 5. Constructivamente (Correlación multipunto) el mapa identifica en azul las áreas donde existe alta densidad de estaciones y una baja desviación estándar (menor probabilidad de error entre valor esperado y observación) y por tanto considerar ubicar otra estación podría ser redundante pues en general las precipitaciones en el entorno están bien explicadas por las estaciones actuales o peor, podría introducir un mayor nivel de varianza. Por el contrario en áreas con alta desviación estándar, color rojo (alta probabilidad de error entre valor esperado y observación), en que normalmente las estaciones cercanas muestran baja correlación entre ellas, el adicionar una nueva estación podría mejorar la correlación general del sistema, reduciendo la varianza, y haciendo más probable un ajuste entre los valores modelados y los observados.

El método de interpolación basado en el "*Mapa de Error*" funciona muy bien en las áreas al interior de su envolvente que normalmente está delimitada por las estaciones que sirvieron de línea base para el proceso de interpolación, pero poco se puede decir sobre estaciones fuera de ella, salvo que deben ser consideradas para ampliar la red de estaciones base y aumentado el área de la envolvente y ampliando las áreas controladas.

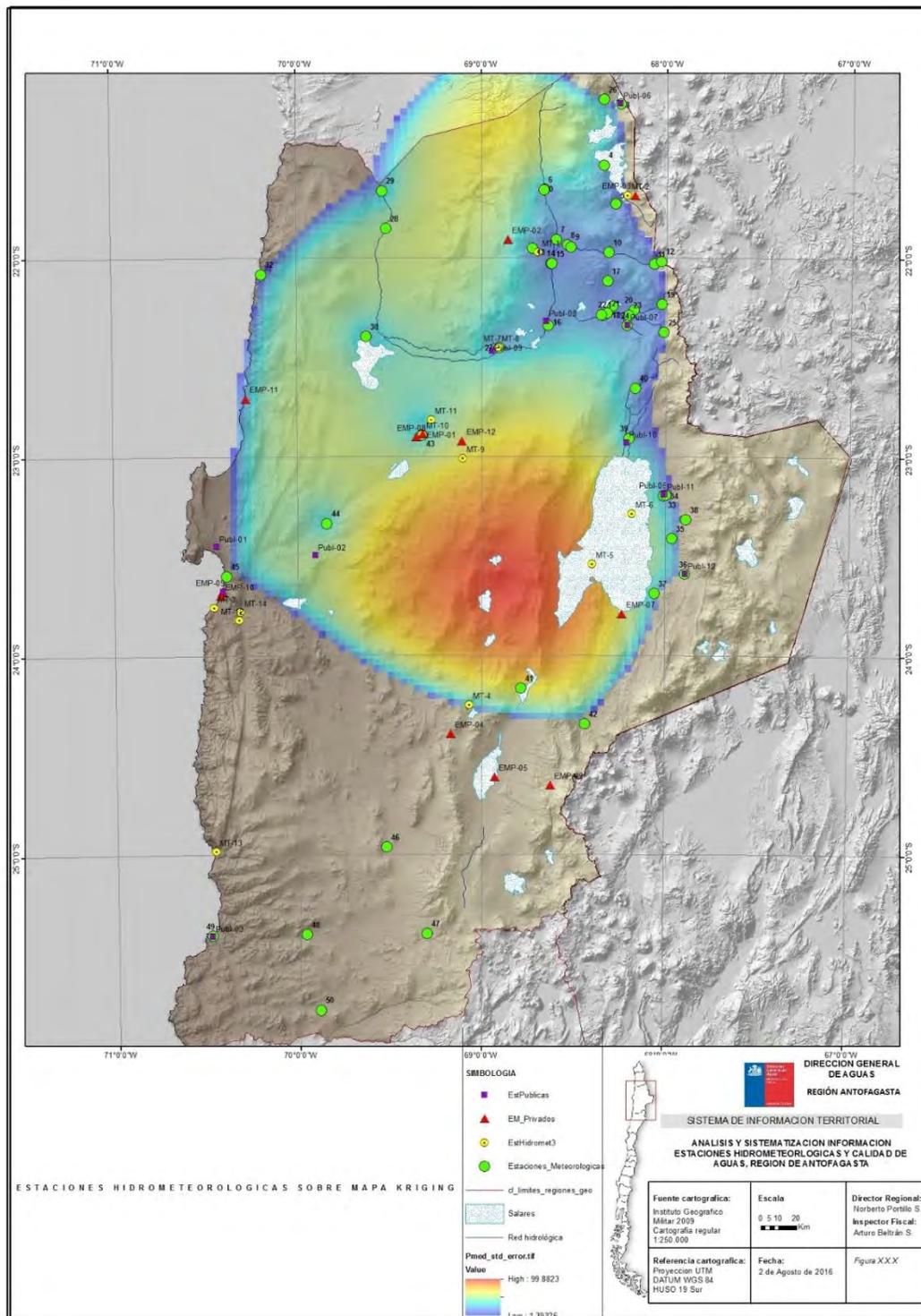


Figura 2.12: Estaciones Hidrometeorológicas sobre “Mapa de Error” (envolvente Kriging)

De acuerdo a lo discutido, en primer lugar, se debe recomendar la inclusión de todos aquellos puntos fuera de esta área, pues potencialmente podrían generar una

configuración que permitiese aumentar el área de control, siendo las primeras candidatas a ser incluidas en la red. A continuación, se enumeran estas estaciones:

Redes Publicas	Estaciones Privadas	Estaciones Hidrom.Terc
Cerro Moreno Antofagasta A.P	Estación Cerro Jardin	Caleta Coloso
Tal-Tal DGAC	Laguna Seca	Central
Univ. Catolica del Norte (UCN) DGAC	Salar de Punta Negra	Punto de maximo impacto
Ollague	Volcan Lullailaco	Inacesa
Socaire INIA	UCN	
	Servicios Estudiantiles (UDA)	

Tabla 2.17 Estaciones fuera del área de envolvente del Mapa de Error

Dentro del área de la envolvente del Mapa de Error, se visualiza claramente la falta de estaciones en el Salar de Atacama, en el área de Sierra Gorda y en Ollagüe .

Estaciones
<b>Chaxa</b>
<b>Salar</b>
<b>Poblado Sierra Gorda</b>
<b>Minera Esperanza</b>
<b>Ollague Inia</b>

Tabla 2.18 Estaciones recomendadas dentro del área de la envolvente del Mapa de Error

## 2.4 Recomendaciones y Conclusiones

En base a los criterios de validación, tanto para la extensión de las series de datos de las estaciones Hidrometeorológicas, como para los valores esperados de pluviometría en base a criterios de Isoyetas construidas a partir de la información de las estaciones de la DGA, Adicionalmente se ha establecido un criterio para validar territorialmente la inclusión de nuevas estaciones en base al mapa de error generado en la interpolación del método de Kriging normal.

Como resultado de estos procesos se ha recomendado considerar la inclusión de 4 estaciones que cumplen todos los criterios, a la red de monitorea de la DGA.:

1. *Estación Coloso de Minera escondida*
2. *Estación Cerro Moreno de la DGAC*
3. *Estación Ollagüe del INIA*
4. *Estación Socaire del INIA*

Adicionalmente se debe considerar, el solicitar información a las empresas mineras sobre sus estaciones privadas, en especial aquellas que se encuentran en áreas donde no existen estaciones DGA (áreas fuera de la envolvente del mapa de kriging) , en especial aquellas ubicadas en los salares de Atacama y Punta Negra.

Adicionalmente se recomienda mantener la recopilación de información para aquellas estaciones con series de datos muy recientes.

## 2.5 Sistematización de la información Hidrometeorológica

Como se ha indicado en el Capítulo 1 la información recabada en el proceso de levantamiento será sistematizada utilizando un software desarrollado por la consultora para tal efecto. Este software permitirá el ingreso de nueva información meteorológica, validando su consistencia, para luego poder graficar su comportamiento temporal y/o generar salidas a Excel de los datos almacenados.

## CAPÍTULO 3. MONITOREO FLUVIOMETRICO

### 3.1. Descripción General

Por la extensión temporal de sus registros y la cobertura territorial de sus estaciones se ha definido como *red de monitoreo fluviométrica* base para la región de Antofagasta, a la operada por la Dirección General de Aguas (DGA). Esta red está conformada por 35 estaciones con datos, de las cuales 21 tienen registros a partir del año 2010. En la Tabla (3.1) se muestran aquellas estaciones que tienen al menos un registro anual completo.

N°	Código BNA	Nombre de la Estación	Vig	UTM NORTE	UTM ESTE	ALTURA
1	02101001-4	RIO LOA ANTES REPRESA LEQUENA	(1)	7605197	534950	3315
2	02103001-5	RIO SAN PEDRO EN PARSHALL N°1	(1)	7570727	565449	3700
3	02103002-3	RIO SAN PEDRO EN PARSHALL N°2 (BT.CHILEX)	(1)	7573426	550371	3318
4	02103003-1	RIO SAN PEDRO EN CAMINO INTERNACIONAL		7574048	548222	3320
5	02103014-7	RIO SILOLI ANTES B.T. FCAB	(1)	7565684	600440	4000
6	02104001-0	RIO LOA EN CONCHI		7568412	540605	3010
7	02104002-9	RIO LOA EN SALIDA EMBALSE CONCHI	(1)	7564018	539132	2950
8	02104003-7	RIO LOA EN ALCANTARILLA CONCHI N°2		7569795	540523	2932
9	02104004-5	RIO LOA EN ALCANTARILLA CONCHI N°1		7569980	540609	2975
10	02104013-4	RIO LOA EN VADO SANTA BARBARA(DOH9	(1)	7570195	540438	2950
11	02105001-6	RIO SALADO A. J. CURTI	(1)	7536045	578012	3080
12	02105002-4	RIO SALADO EN SIFON AYQUINA	(1)	7534956	567504	2980
13	02105005-9	RIO SALADO A. J. LOA	(1)	7526665	536865	2500
14	02105007-5	RIO TOCONCE ANTES REPRESA SENDOS	(1)	7536667	588204	N/A
15	02110031-5	RIO LOA EN ANGOSTURA	(1)	7516384	527123	2470
16	02110001-3	RIO LOA EN ESCORIAL	(1)	7518218	511462	2450
17	02110002-1	RIO LOA EN YALQUINCHA		7517664	512605	2300
18	02110003-K	RIO LOA EN CHINTORASTE		7511488	502342	2200
19	02110004-8	RIO LOA EN FINCA	(1)	7511120	501142	2100
20	02112001-4	RIO LOA EN QUILLAGUA		7605787	444811	802
21	02112002-2	CANAL QUILLAGUA EN QUILLAGUA		7606523	444263	910
22	02112005-7	RIO LOA ANTES ZONA AGRICOLA QUILLAGUA	(1)	7598875	446559	950
23	02112006-5	RIO LOA D. J. SAN SALVADOR(CHACANCE)	(1)	7523630	445441	1238
24	02112007-3	RIO LOA D. J. SAN SALVADOR-(M.ELENA)	(1)	7529060	441818	1240
25	02120001-8	RIO LOA EN DESEMBOCADURA	(1)	7630449	390803	0
26	02500001-3	RIO VILAMA EN VILAMA		7470975	583780	2550
27	02500002-1	CANAL AGUAS BLANCAS		7425937	600918	2415
28	02500003-K	CANAL TULAN EN TILOMONTE		7368734	590873	2450
29	02500004-8	CANAL VILAMA EN VILAMA	(1)	7470634	584206	2550
30	02500005-6	CANAL CUNO EN SOCAIRE	(1)	7388227	617637	3600
31	02500006-4	CANAL TILOMONTE ANTES REPRESA	(1)	7367957	592170	4000
32	02510001-8	RIO SAN PEDRO EN CUCHABRACHI	(1)	7475873	582268	2585

Tabla 3.1 Estaciones DGA <sup>(2)</sup>, (UTM PSAD 56 zona 19-S)

(1) Estaciones con registros entre el año 2010 y año 2015.

(2) Las estaciones: Vertiente Turi-Turi, Rio Loa A.J Rio Salvador y Rio Salvador A.J. Rio Loa, no poseen registros continuos mayores a 1 año.

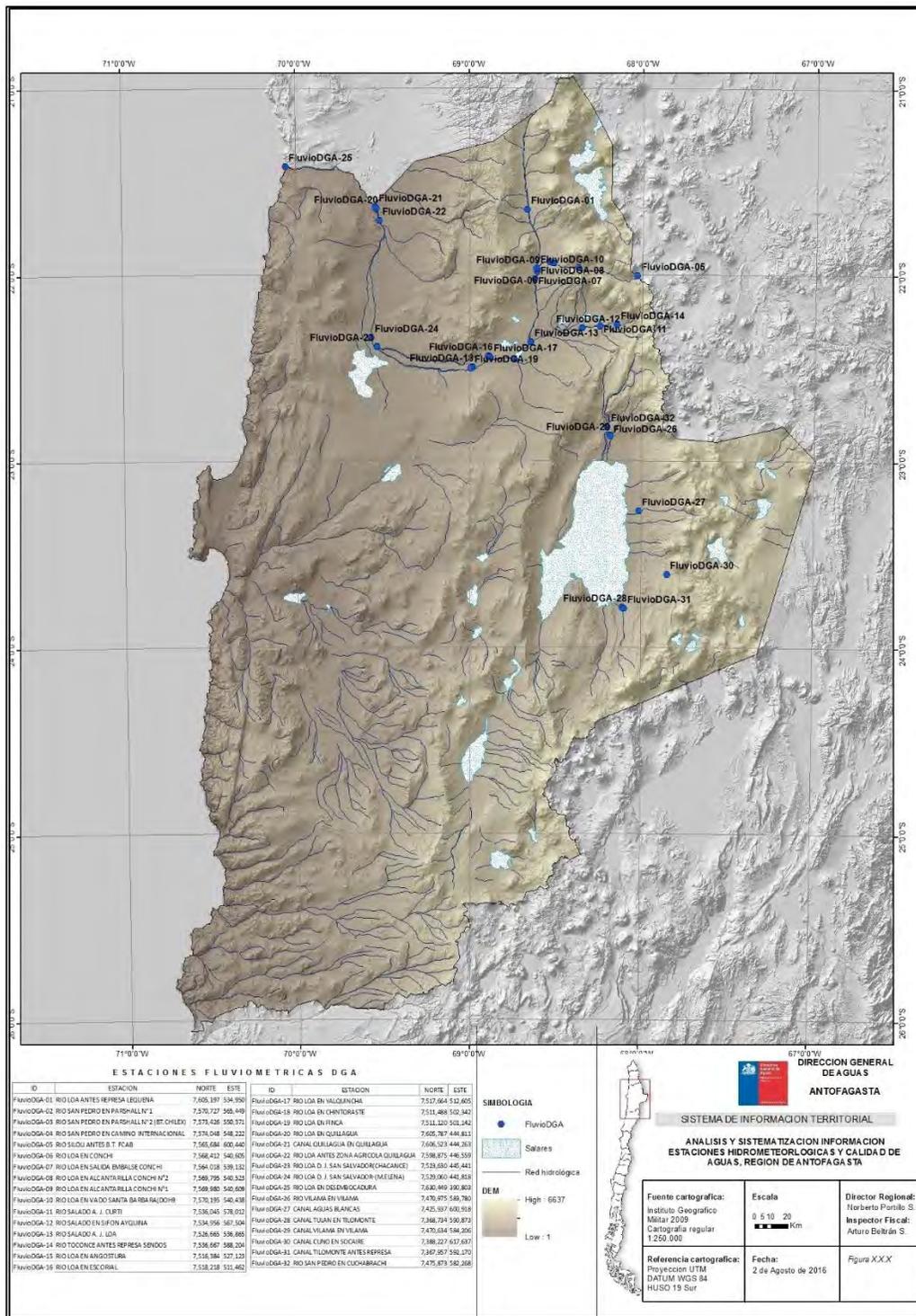


Figura 3.1: Mapa de Estaciones Fluviométricas Vigentes

\* Se encuentran Georreferenciadas la totalidad de las Estaciones, sin embargo, por efecto de superposición al tener coordenadas muy cercanas en el espacio no es posible visualizar las Estaciones Fluviométricas 2-3-4 y 15.

Los registros de las estaciones Fluviométricas han sido obtenidos a partir de la información sistematizada por la DGA, en su *Sistema Nacional de Información de Agua* (SNIA) (<http://snia.dga.cl/BNAConsultas/reportes>). Esta información se encuentra disponible para las variables asociadas a la medición de caudales (Valores medios mensuales, medios diarios e instantáneos) y son parte del Banco Nacional de Agua (BNA). La figura 2.1 muestra la ubicación geográfica de estas

Como se ha indicado, la información pública disponible de las estaciones de la DGA, corresponde a las mediciones de caudales medios, en diferentes puntos del Río Loa y sus principales afluentes (Río San Pedro, El Salado y El San Salvador,) además se mantienen puntos de monitoreo en el Río San Pedro de Atacama y Vilama y en una serie de cursos en las quebradas alrededor del Salar de Atacama. Las estaciones cuentan con amplia serie de registros, a partir de la década del 70, aunque hay estaciones como la del Río Loa en Yalquincha o del Río San Pedro en Cuchabrachi que tiene registros desde la década del 40. Las mediciones son realizadas tanto en forma manual como automática

### 3.2 Caracterización de los Recursos superficiales Regionales

Los recursos hídricos Superficiales de la región de Antofagasta se encuentran en dos cuencas principalmente: el *Río Loa* y el *Salar de Atacama*, que representan cerca del 90% de los recursos de agua de la Región (Arrau-2014) La última es una cuenca grande y cerrada, mientras que, en Río Loa es el único río de la región que desemboca en el mar. El 10% restante de los recursos hidráulicos se encuentra en los salares de Punta Negra y Ascotán, y en Agua Verde, entre otros.

La hoya geográfica del Río Loa comprende una superficie de 33.570 m<sup>2</sup>, contando con un cauce de 440 Km. de longitud que parte en la cordillera andina entre la las Regiones de Tarapacá y Antofagasta, atraviesa el desierto de Atacama y desemboca en el océano pacífico,

El *Río Loa* nace en la falda norte del volcán Miño en Ojos del Miño, con curso aproximadamente N-S, recorre casi 150 Km. en un profundo cañón de altura variable, desde su nacimiento hasta el oasis de Chiu-Chiu. Allí su curso dobla sensiblemente hacia el oeste para alcanzar, tras un recorrido de 115 km., la localidad de Chacance, donde se le reúne por su ribera derecha el río San Salvador. En este punto, el Loa toma dirección al norte por 80 km, hasta que alcanza el oasis de Quillagua. A partir de Quillagua, el Loa describe un gran arco y luego desemboca en el Pacífico en caleta Huelén, después de traspasar el macizo costero en un tajo profundo de más de 500 m de altura. (Cade-idepe 2004)

Los Afluentes más importantes, que aportan regularmente al Loa, son los ríos San Pedro, Salado y San Salvador.

La subcuenca del Río San Pedro consiste de dos partes cuya conexión hidráulica es incierta. La parte superior de la cuenca contiene los Ríos Siloli, Inacaliri y Colana, que

fluye a un valle ancho y se infiltra en el aluvión permeable. Debajo el valle se encuentra una vega larga llamada Ojos de San Pedro donde se origina el Río San Pedro.

El río Salado tiene sus orígenes en más de 30 vertientes frías y termales surgentes, en una gran hoyada que se extiende a los pies de la cadena del volcán Tatio, a unos 4.200 m s.n.m. Después de un breve recorrido S-N, toma dirección al W, labrando también un profundo cañón. En su curso medio recibe desde el norte el río Toconce reunido con el Hojalar; más abajo recibe por su orilla izquierda al río Caspana. En los afluentes del norte es donde se encuentra la principal toma de agua dulce con fines domésticos para Antofagasta, Tocopilla y las oficinas salitreras.

Ligadas al curso medio del río Salado se encuentran extensas vegas que constituyen lugares de pastoreo para el ganado de los habitantes de Toconce, Caspana y Ayquina; las más famosas de ellas son las vegas de Turi y de Ayquina. (cade-idepe 2004). El Salado tiene un desarrollo de 80 km. y su hoya hidrográfica comprende 2.210 km<sup>2</sup>.

El otro afluente de importancia es el río San Salvador, que viene a afluir en el curso medio del Loa. Nace de la reunión de varias quebradas secas con cabeceras en las proximidades de salares de la pampa. Después de un desarrollo de aproximadamente 25 km., al cauce así formado se le reúne por su ribera izquierda la quebrada Opache, en cuya pared surgen dos poderosas vertientes asociadas a una formación de calizas antiguas y compactas. Su recorrido continuo hasta su junta al Loa en Chacance, es de 56 km. y su cuenca cubre 619 km<sup>2</sup>.

A lo anterior se debe adicionar el aporte (tanto superficial como subterráneo) desde el salar de Llamara, de aproximadamente 1,1 m<sup>3</sup>/s

*El Salar de Atacama* es el más grande de la región. La cuenca tiene un área de drenaje de aproximadamente 16.000 km<sup>2</sup>, mientras que el Salar, ubicado en la zona central, cubre una superficie de aproximadamente 3.100 km<sup>2</sup>. La recarga de agua subterránea ocurre a lo largo del borde oriental del Salar.

En el sector noreste de la cuenca del Salar de Atacama hay dos ríos, el Río Grande de San Pedro y el Río Vilama, que fluyen a través de la Vega San Pedro de Atacama y se infiltran en los depósitos aluviales antes de alcanzar el salar. A lo largo del lado oriental del salar existen varios ríos pequeños y numerosas vertientes que se originan de la percolación de las aguas subterráneas, pero que también se infiltran en el aluvión antes de llegar al salar, pero también en su margen oriental se disponen una serie de quebradas paralelas que se originan en otras tantas vertientes en la parte alta y que sirven para cultivar zonas como Toconao, Aguas Blancas, Socaire y Peine

El resto de los sistemas hidrográficos de la región corresponden a cuencas cerradas de la depresión intermedia, prácticamente inactivas, y a cuencas cerradas intermontañas de la puna, la mayoría de ellas con escurrimientos muy menores. Solo las cuencas del Salar de Pujsa y Tara son más activas y poseen régimen permanente, el primero con el río Alítar cuyo origen se encuentra en la falda occidental de los cerros guallaques, sobre la línea fronteriza Chileno-Boliviano y recorre aprox. 38 Kms. hasta en la orilla del Salar de Pujsa desembocar y el segundo con el Río Internacional Zapaleri que en su último tramo penetra en un área protegida, la reserva nacional Los Flamencos para finalmente desembocar en el Salar de Tara a una altitud de 4322 msnm. El resto

de las hoyas pequeñas sólo se reactivan con lluvias intensas estivales que alimentan las lagunas remanentes en los salares que constituyen sus bases de equilibrio. Tales como las cuencas de los Salares de Ascotán y Carcote, al nororiente de la Región y las lagunas Lejía, Tayajto, Miscanti y Meñiques en conjunto con las hoyas de los salares de Quisquiro, **de Aguas Calientes (23°10', 23°30' y 25°) del Laco, Talar, Pirisunchi, Pular**, todas al centro oriente de ella.

Otros cursos de Agua son hoyas costeras de carácter arreico, algunas de considerable extensión, pero de escasa actividad actual, como las de Taltal y Pan de Azúcar. Sin embargo, en la terraza litoral, especialmente entre Taltal y Antofagasta aun afloran pequeñas vertientes al pie del acantilado costero, la mayoría de las veces con un escaso caudal y aguas salobres.

### 3.3 Análisis de Información Fluviométrica

De acuerdo a lo indicado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM), el principal objetivo de una red fluviométrica o de aforo de caudales, es obtener información sobre la disponibilidad de recursos hídricos superficiales, su distribución geográfica y su variabilidad en el tiempo (OMM, 1998).

Los monitoreos permiten generar series de caudales medios mensuales, que caracterizan los regímenes hídricos, para su uso en estudio hidrológicos. Sin embargo, esta caracterización puede ser influenciada por la acción entrópica de los usuarios de agua, los que pueden introducir variaciones importantes de los caudales entre dos puntos cercanos (captaciones, derrames, regulaciones, etc.)

Teniendo en cuenta los aspectos indicados se buscará establecer *Patrones Representativos* con significación estadística, para los cursos superficiales o para segmentos de estos, para lo cual se analizarán las series asociadas a cada punto de monitoreo o estación y se correlacionarán con las estaciones más cercanas aguas abajo.

Al realizar una detallada revisión de la información base del Banco Nacional de Aguas (BNA) se ha verificado la existencia de datos faltantes en las series, por lo que se ha propuesto la utilización de técnicas de relleno y extensión, con el fin de lograr nuevas serie completas y extensas, cuya consistencia y homogeneidad se validará utilizando el método de Curvas Doble Acumuladas (CDA)

A continuación, se muestra en forma gráfica (Tabla 3.2) la extensión y continuidad de las series de datos de caudales medios mensuales para la 33 estaciones vigente de la DGA en la región de Antofagasta, para lo cual se ha identificado el número de meses con datos (1 al 9), para valores de 10, 11 y 12 meses se han utilizado las letras a,b,C respectivamente.



### 3.3.1. Relleno y Extensión de Datos

En general el relleno fluviométrico se realiza buscando primero las estaciones inmediatamente aguas arriba o aguas abajo de la estación en cuestión. En caso de no obtener un buen coeficiente de correlación, se intenta con estaciones dentro del mismo cauce o en un cauce afluente al cauce en que se encuentra la estación a rellenar. Lo anterior se justifica por el hecho de que en una misma cuenca las variaciones de caudales debiesen verse reflejadas a lo largo del cauce, en cuanto no medie un efecto antropogénico importante.

Para el relleno y extensión de datos se utiliza un modelo de regresión lineal corregido con una variable aleatoria que permite preservar los parámetros estadísticos de cada serie, según la expresión:

$$Y_1 = \alpha \cdot Y_2 + \beta + \sqrt{1 - R^2} \cdot \varepsilon \cdot S_Y$$

Donde:

$Y_1$ : La variable que se desea rellenar

$Y_2$ : La variable que se utilizará para rellenar la estadística de  $Y_1$

$\alpha$ : Pendiente de la regresión entre la variable  $Y_1$  e  $Y_2$

$\beta$ : Coeficiente de intersección de la regresión entre la variable  $Y_1$  e  $Y_2$

$R^2$ : Coeficiente de determinación de la regresión entre la variable  $Y_1$  e  $Y_2$

$\varepsilon$ : Error aleatorio asociado a una distribución normal con media 0 y desviación estándar igual a 1

$S_Y$ : Desviación estándar de la serie  $Y_1$  original

Esta metodología ha sido ampliamente utilizada en estudios para la Dirección General de Aguas y Dirección de Obras Hidráulicas, (Revista SOCHID Vol. 10, Fernández B. y Salas J., 1995)

La ventaja de este método es que preserva la variabilidad natural que existe originalmente entre ambas series y no ve afectado su coeficiente de determinación inicial al utilizar directamente el relleno mediante correlación lineal simple.

Para aplicar esta metodología, se identifican inicialmente estaciones con estadísticas incompletas ya sea por intermitencia, cese de funciones o comienzos diferidos de operación. A cada estación con estadística incompleta, se le detecta una estación aledaña con mayor estadística (Patrón-Local) con la cual debía establecer una correlación consistente. La correlación permite completar la estadística de la estación con menor cantidad de datos y así contar con una mejor caracterización de la zona. Para implementar esta metodología se desarrollaron sendas rutinas en Matlab, las que son entregadas en Anexos.

Para evaluar la consistencia del relleno de datos estadísticos, se presentan: los datos originales de la estación Patrón-Local sujetos a correlación, con; los datos de la estación rellenada; adicionalmente se analizan curvas dobles acumuladas entre estas estaciones para evaluar la consistencia entre la estadística rellenada y la correspondiente estadística patrón (eje Horizontal) En la figura 3.2 se muestran ejemplo, el resto de los resultados se entregan como respaldo digital.

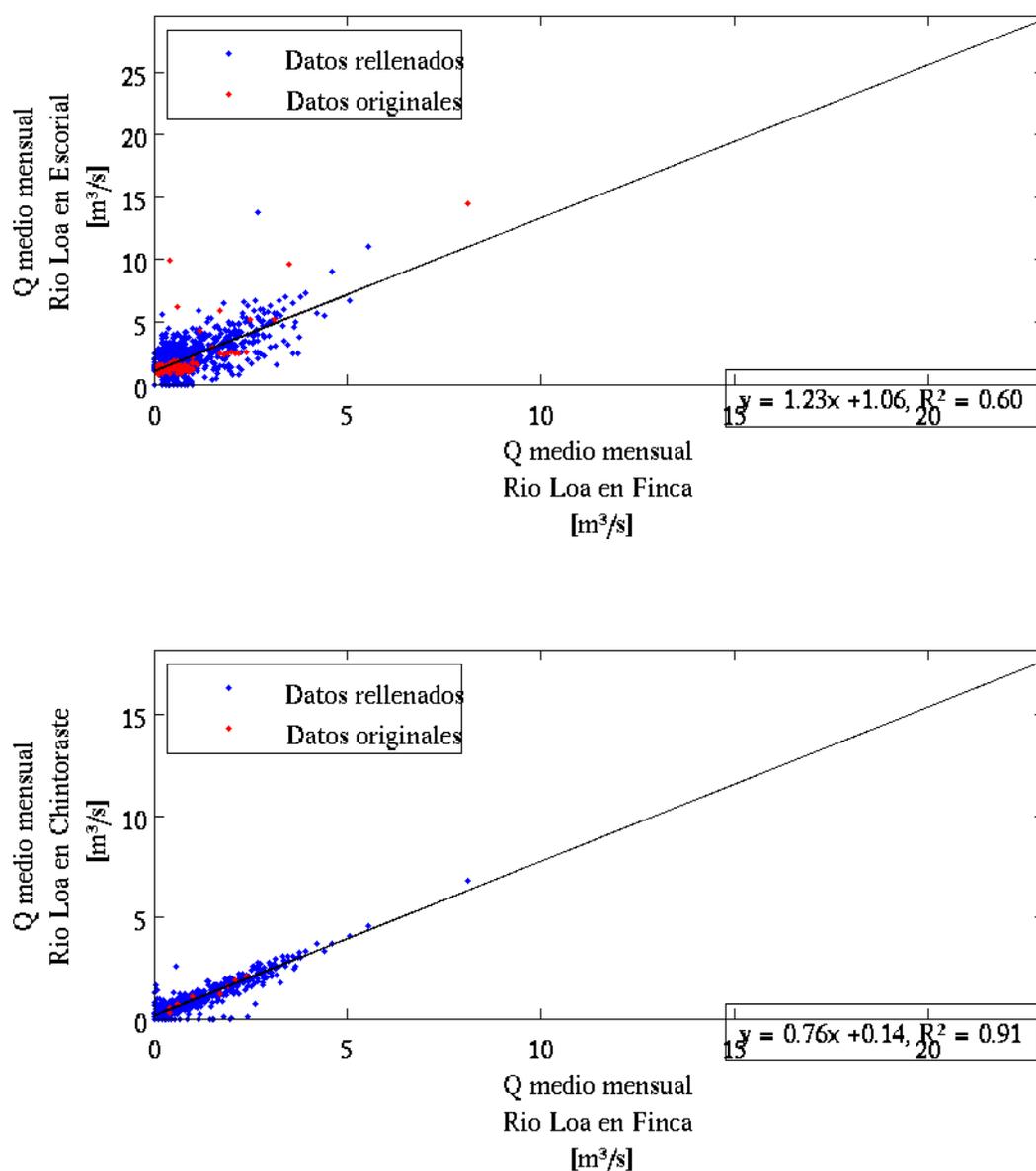


Figura 3.2: Grafico de correlación y CDA entre estación Inacaliri (patrón-Local) y estación Linzor (rellenada)

El proceso de relleno permitió detectar problemas en estaciones con mala correlación, carencia de datos. y/o problemas en sus niveles de detección, (hace discreta o escalonada la estadística)

Las estaciones que presentaron dificultades para su relleno son:

- Canal Quillagua en Quillagua: Datos van desde 0,0 a 0,4 m<sup>3</sup>/s. No hay muchos datos. Límite de detección igual a 0,1 m<sup>3</sup>/s lo que escalona la estadística.
- Río San Pedro en Camino Internacional: Datos van desde 0,0 a 0,2 m<sup>3</sup>/s. Pocos datos. Límite de detección igual a 0,1 m<sup>3</sup>/s lo que vuelve binaria la estadística.
- Río Loa en alcantarilla Conchi N1: Muy pocos datos. No es posible correlacionar.
- Río Loa en Conchi: No es posible encontrar una estación que se correlacione de buena manera.
- Río Siloli antes BT FCAB: Pocos datos, recientes. Solo datos más recientes presentan variaciones a la centésima. No es posible correlacionar.
- Río Toconce antes Represa Sendos: Poca variabilidad entre los datos. Presenta variaciones centesimales solo en las mediciones recientes. No es posible correlacionar.
- Río Loa en Angostura: Muy pocos datos, presenta variabilidad centesimal en las mediciones recientes. Aun así no es posible correlacionar.
- Río Vilama en Vilama: Muy pocos datos, casi toda la estadística tiene un solo valor.
- Canal Aguas Blancas: Muy pocos datos, presenta poca variabilidad.
- Canal Cuno en Socaire: Bastantes datos, presenta poca variabilidad.
- Canal Tulan en Tilomonte: Muy pocos datos, presenta poca variabilidad.
- Canal Tilomonte antes Represa: Muy pocos datos. Muchos valores nulos.

Las últimas cinco estaciones presentan un comportamiento común, poseen pocos datos en general y con una variabilidad muy baja que se ha arreglado en las últimas mediciones, pero no es suficiente para lograr correlaciones.

Se muestra a continuación la comparación de los parámetros estadísticos originales y rellenos para las estaciones rellenas. (Tabla 3.3)

Estacion	Media	Media	Desviacion	Desviación
	Original	Rellenada	Original	Rellenada
RIO LOA ANTES REPRESA LEQUENA	0.27	0.39	0.57	0.65
RIO SAN PEDRO EN PARSHALL N°1	0.19	0.20	1.02	0.99
RIO SAN PEDRO EN PARSHALL N°2 (BT.CHILEX)	0.16	0.16	0.98	0.98
RIO LOA EN SALIDA EMBALSE CONCHI	0.62	0.72	0.73	0.92
RIO LOA EN ALCANTARILLA CONCHI N°2	0.32	0.37	0.77	0.79
RIO LOA EN VADO SANTA BARBARA(DOH9	0.62	0.59	0.54	0.64
RIO SALADO A. J. CURTI	0.80	0.73	0.24	0.39
RIO SALADO EN SIFON AYQUINA	0.51	0.75	0.52	0.72
RIO SALADO A. J. LOA	0.26	0.40	0.52	0.59
RIO LOA EN ESCORIAL	1.62	2.01	2.00	2.25
RIO LOA EN YALQUINCHA	1.18	1.30	2.16	2.05
RIO LOA EN CHINTORASTE	0.75	0.98	1.07	0.92
RIO LOA EN FINCA	1.22	1.20	0.68	1.01
RIO LOA EN QUILLAGUA	0.76	0.90	0.84	0.67
RIO LOA ANTES ZONA AGRICOLA QUILLAGUA	0.43	0.37	0.43	0.41
RIO LOA D. J. SAN SALVADOR(CHACANCE)	1.01	1.33	0.92	1.31
RIO LOA D. J. SAN SALVADOR-(M.ELENA)	0.33	0.31	0.52	0.51
RIO LOA EN DESEBOCADURA	0.38	0.59	0.28	0.43
CANAL VILAMA EN VILAMA	0.06	0.06	0.15	0.15
RIO SAN PEDRO EN CUCHABRACHI	0.51	0.54	0.85	0.85

Tabla 3.3 Parámetros estadísticos de las series de caudales originales y las rellenadas.

### 3.3.2. Curvas Doble Acumulada

Las Curvas Doble Acumuladas (CDA) sirven para identificar las fallas que se pueden producir por modificaciones en el sensor de medición, en la técnica de observación, errores instrumentales o de lectura, cambios de instrumentación y hasta cambios en la localización de la estación. Estas curvas se construyen a partir de las observaciones a nivel anual acumuladas desde el año más actual al más antiguo, para luego graficar cada estación (eje ordenado) en relación a una estación patrón equivalente (en el eje de las abscisas) que se sabe tiene mediciones confiables.

En la Figura 3.3 se muestran las CDA para las algunas de las estaciones de medición de caudales, donde se ve que en general la información tiene un buen comportamiento en cuanto a que mantiene la pendiente constante y se nota una buena continuidad temporal de los datos. Sin embargo, se ve que las CDAs no son precisas en todos los tramos, esto se cree que ocurre porque el análisis se ha realizado en una zona con topografía compleja y abrupta y con interacción antrópica por captaciones importantes para consumo de agua potable y para los procesos Mineros.:

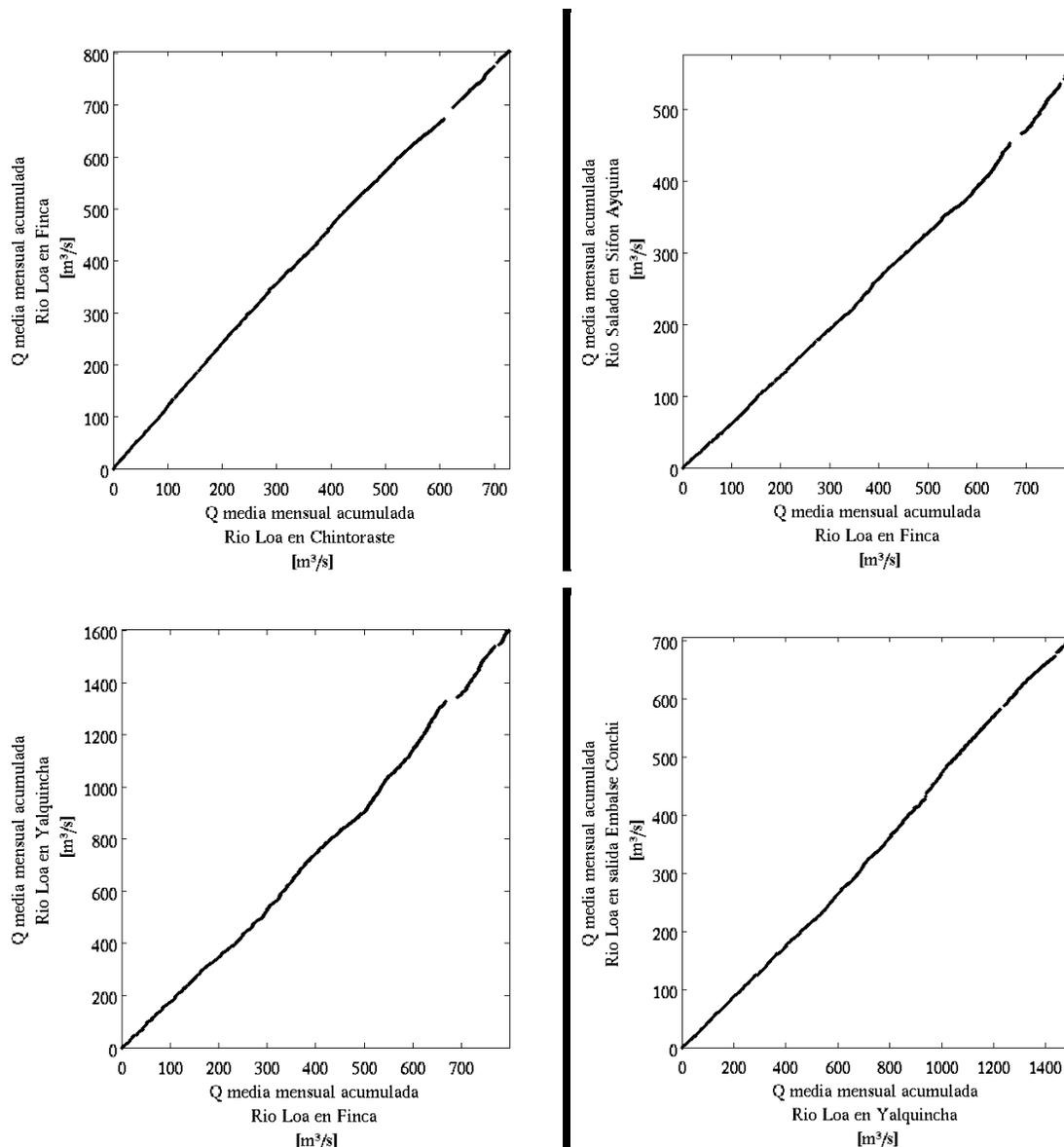


Figura 3.3: CDA para estaciones Fluviométricas en el Rio Loa

### 3.3.3. Análisis y Segmentación de Caudales Medios

Luego del relleno de información en escala mensual y de la verificación de las CDA, se cuenta con series de caudales medios mensuales para un conjunto de puntos en los cursos superficiales. Por su parte en función de las singularidades que muestran estos cursos se ha realizado una segmentación que considera a estas como límites de cada segmento. Para cada segmento se ha buscado una Estación Patrón que haya mostrado una buena correlación con sus vecinos y/o que tenga una serie extensa de información. A continuación, se muestran los segmentos y la Estación Patrón asociada (Tabla 3.4)

Cauce	Código Segmento	Inicio	Término	Estación Patrón
LOA	LOA-01	Nacimiento	Junta del Loa con el San Pedro	Rio Loa ante represa Lequena
	LOA-02	Junta del Loa con el San Pedro	Embalse Conchi	Rio Loa en alcantarilla Conchi n°2
	LOA-03	Embalse Conchi	Rio Loa en Junta con el Salado	Rio Loa a la salida del embalse Conchi
	LOA-04	Rio Loa en Junta con el Salado	Rio Loa en Junta con Ria Salvador	La Finca
	LOA-05	Rio Loa en Junta con Ria Salvador	Tranque Sloman	Rio Loa Despues junta con Rio Salvador (Chacance)
	LOA-06	Tranque Sloman	Quillagua	Rio Loa antes zona agricola quillagua
	LOA-07	Quillagua	Desembocadura	Rio Loa en Desembocadura
SAN PEDRO	SAP-01	Nacimiento	Junta con el LOA	San Pedro en Parshall N°2
SALADO	SAL-01	Nacimiento	Junta con el LOA	Rio Salado en Sifon Ayquina
R.GRANDE SANPEDRO	RGS-01	Nacimiento	Salar de Atacma	San Pedro en Cuchabrachi.

Tabla 3.4 Segmentación de cursos superficiales y Estación Patrón asociada

Los segmentos y la Estación Patrón entregaran herramientas para validar la información fluviométrica entregada por Terceros, en términos de su ubicación y de su correlación. Sin embargo, esta evaluación no puede ser considerada como definitiva, ya que existen otras singularidades, como extracciones de agua potable y de Mineras que podrían generar diferencias con respecto a la Estación Patrón.

#### 3.3.4. Análisis de distribución territorial de las Estaciones Fluviométricas DGA

Otro elemento que diversos estudios han considerado al momento de analizar la densidad territorial de las estaciones Fluviométricas, corresponde a las recomendaciones que ha hecho al respecto la Organización Meteorológica Mundial (OMM) a través de la guía de prácticas hidrológicas (OMM,2008, Volumen1)

La OMM ha generado una recomendación en la se establece una densidad mínima de estaciones Fluviométricas asociados a diferentes tipos de unidades fisiográficas. (Tabla 3.5)

<b>Unidad fisiográfica</b>	<b>Densidades mínimas por estación</b> (Superficie en km2 por estación)
	<b>Flujos Fluviales</b>
Costa	2 750
Montaña	1 000
Planicie Interior	1 875
Montes/ondulaciones	1 875
Islas Pequeñas	300
Areas Urbanas	-
Polos/Tierras aridas	20 000

Tabla 3.5 Densidad mínima de estaciones fluviométricas por tipo de unidades fisiográficas

Por su parte si analizamos la red regional de DGA, en base a las Cuencas y tomamos el área informada en el catastro de Cuencas y Subcuencas por la propia DGA, podremos construir el índice definido por la OMM. En primera instancia se realiza el cálculo para la red de 33 estaciones con registros mayores a un año. Los resultados así generados se muestran en la tabla 3.6

<b>Codigo Cuenca</b>	<b>Nom_cuenca</b>	<b>Estaciones Vigentes</b>	<b>Area cuenca Km2</b>	<b>Km2/ Estacion</b>
<b>21</b>	RIO LOA	25	33,083	1,323
<b>25</b>	SALAR DE ATACAMA	7	15,577	2,225
<b>Total general</b>		<b>32</b>	<b>130,090</b>	<b>4,065</b>

Tabla 3.6 Índice de densidad por Km2 para las estaciones Fluviométricas DGA.

Los valores indicados deben ser analizados considerando como unidad fisiográfica predominante la de montaña (Infraeco, 2011), cuyo índice de acuerdo a la recomendación de la OMM debe ser como mínimo, 1.000 Km2 por estación.

En la tabla 3.7 se han destacado los valores cuya densidad es mayor a la de la recomendación, mostrando que en la actual situación no hay cuencas que la supere. Si se mira el índice para la región se puede ver que actualmente no cumple los niveles mínimos (4.065 Km2/ estación)

La situación antes indicada, puede ser profundizada al analizar el comportamiento del índice de densidad recomendado por la OMM, a nivel de subcuenca, para lo cual volvemos a utilizar la información del inventario de Cuencas y sub-cuencas de la DGA para definir el área en Km2.

COD CUENCA	CUENCA	COD SUBC	NOMBRE	Estaciones Vigentes	Area cuenca Km2	Km2/ Estacion
021	Rio Loa	0210	Rio Loa Alto (bajo junta Rio Salado)	14	8,132	581
		0211	Loa Medio (entre R. Salado y Q. de Barrera)	10	24,409	2441
		0212	Loa Bajo (entre Quebrada Amarga y Desembocadura)	1	542	542
	<b>Total Rio Loa</b>					
025	Salar de Atacama	0250	Salar de Atacama	6	12,410	2068
		0251	Rio San Pedro	1	1,417	1417
	<b>Total Salar de Atacama</b>					

Tabla 3.7 Índice de densidad de la OMM por subcuenca

Al analizar los datos se puede observar que las grandes cuencas hidrográficas se encuentran controladas con un número de estaciones que no cumplen los mínimos recomendados por la OMM. Al analizar el mismo índice por Sub cuenca, notamos que la situación se replica y las Subcuencas más importantes en tamaño, poseen un número de estaciones que no permiten alcanzar dicho índice. La situación puede ser aun peor si solo se toman las 21 estaciones que tienen registros desde el año 2010.

### 3.4. Análisis de Información de Terceros

Como se indicó en el primer capítulo de este proyecto, el proceso de búsqueda, análisis y ordenamiento de información ha implicado la identificación de diversas fuentes de información, las cuales fueron catalogadas en términos de su disponibilidad y su facilidad para ser sistematizada (asociado al formato en que se almaceno).

#### 3.4.1 Levantamiento de estaciones Fluviométricas

El levantamiento de información permitió identificar una serie de puntos de monitoreo en cauces superficiales de carácter privado, que en la mayoría de los han sido implementadas en el marco de Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA), o de compromisos ambientales con diferentes entes públicos y/o comunitarios

Estos proyectos mineros durante su ciclo de vida pueden requerir de diversas RCA, que en muchos casos tienen que ver con proyectos de modificación, ampliación, actualización tecnológica o puesta en marcha de servicios con impacto territorial. Lo anterior hace complejo el seguimiento en el tiempo de los compromisos, pues en cada resolución pueden ser modificados en términos de su contenido o cambiar el periodo en que son requeridos. Por tanto, se ha adoptado como criterio el mostrar la última RCA y/o el último compromiso donde se ha definido o redefinido la obligación de monitoreo.

A continuación, se identifican las Estaciones de monitoreo Superficial de Terceros, el origen de su compromiso ambiental y sus ubicaciones en coordenadas UTM (Tabla 3.8).

ESTACION	NORTE	ESTE	Proyecto	RCA	PAT
RLE	7,619,006	533,067	Pampa Puno	2603/2005	PAT Pampa Puno
RL-1	7,656,118	534,636	Pampa Puno	2603/2005	
RL-11	7,604,671	535,223	Pampa Puno	2603/2005	
RL-12	7,576,173	541,126	Pampa Puno	2603/2005	
RL-13	7,570,216	540,408	Pampa Puno	2603/2005	
RL-2	7,656,056	534,546	Pampa Puno	2603/2005	
RL-8	7,616,341	533,595	Pampa Puno	2603/2005	
RL-9	7,615,589	534,114	Pampa Puno	2603/2005	
RL-6	7,649,152	532,641	Pampa Puno	2603/2005	
RL-4	7,656,031	534,572	Pampa Puno	2603/2005	
RLP	7,640,858	532,605	Pampa Puno	2603/2005	
RLA	7,656,202	534,784	Pampa Puno	2603/2005	
RLB	7,644,016	532,726	Pampa Puno	2603/2005	
RLC	7,634,055	532,248	Pampa Puno	2603/2005	
RLF	7,605,591	535,129	Pampa Puno	2603/2005	
RLG	7,592,147	539,337	Pampa Puno	2603/2005	
Río San Salvador MET_1	7,518,387	504,198	Minera el Tesoro	31/1997	PAT Calama
Río San Salvador MET_2	7,518,394	504,214	Minera el Tesoro	31/1997	
Vertiente Ojos de Apache en Nacimiento	7,514,026	500,49	Minera el Tesoro	31/1997	
Vertiente Ojos de Apache en Enaex	7,513,965	500,028	Minera el Tesoro	31/1997	
Vertiente Likantatay	7,515,511	504,506	Minera el Tesoro	31/1997	
Vertiente La Cascada	7,511,748	502,89	Minera el Tesoro	31/1997	
Río Loa en la Cascada	7,511,672	502,311	Minera el Tesoro	31/1997	
RLL	7,526,074	535,385	Ministro Hales	311/2005	Seguimiento de los caudales y de las características fisicoquímica de las aguas superficiales de los ríos Loa y San Salvador, en el marco de los compromisos ambientales adquiridos a través del proyecto MMH. El monitoreo de las aguas superficiales tiene relación con dos objetivos: 1. Realizar el seguimiento a las variables (Caudal y características físico-químicas) en las estaciones que pertenecen al Plan de Monitoreo para aguas superficiales, señalado en el E.I.A del proyecto Mansa Mina. 2. Determinar las eventuales afecciones del caudal de los ríos Loa y San Salvador producto del drenaje del rajo de MMH.
RLM	7,516,894	527,893	Ministro Hales	311/2005	
RLN	7,517,670	512,575	Ministro Hales	311/2005	
RLQ	7,517,670	512,575	Ministro Hales	311/2005	
RSSA	7,514,079	500,522	Ministro Hales	311/2005	
RSSB	7,513,887	496,963	Ministro Hales	311/2005	
NUÑEZ	7,514,434	508,076	Lomas Bayas	40/1995	
LA PRENSA	7,513,415	506,761	Lomas Bayas	40/1995	
DUPONT	7,512,205	504,568	Lomas Bayas	40/1995	
CHUNCHURI BAJO	7,512,225	504,907	Lomas Bayas	40/1995	
RIO LOA ANTES JUNTA SAN SALVADOR	7,523,201	445,672	Lomas Bayas	40/1995	El Punto Específico de captación debe cumplir con la normativa vigente en relación a la forma de extracción y registro de flujos del recurso. En especial para el control del caudal a extraer, por lo mismo debe instalarse medidores con almacenamiento de información y estar a la disposición de la Dirección general de Aguas, e informar semestralmente
Quebrada Carrizo	7,378,460	356,365	Rockwood Lithium	46/1999	La Res 3603/1996 del MINSAL Antofagasta fijó una periodicidad mensual para enviar al Servicio de Salud Antofagasta el resultado del monitoreo de la calidad de las aguas en los siguientes puntos de muestreo: Quebrada Carrizo, Pozo de Inacesa y Pozo de la Planta La Negra.
Puente San Luis	7,424,265	584,156	SQM Salar S.A.	226	1 0.2. Plan de seguimiento de las variables Hidrogeológicas
Aforo Salada	7,380,707	587,625	SQM Salar S.A.	226	El PSA de las variables hidrogeológicas contempla mediciones en seis sistemas del salar de Atacama. Dichos sistemas son representativos de la dinámica del núcleo: de la dinámica de los sistemas lacustre emplazados en la periferia del salar y de la napa de agua dulce que alimenta la vegetación del borde este. Los sistemas objeto del PSA son los siguientes: Sistema Soncor, Sistema Aguas de Quelana, Sistema Vegetación Borde Este, Sistema Peine, Sector vegas de Tilopozo y Núcleo del Salar de Atacama
Aforo Saladita	7,381,471	587,023	SQM Salar S.A.	226	

Tabla 3.8 Listado de puntos de monitoreo superficial de Terceros (UTM WSG 84 Huso 19-S)

En la Figura 3.3, se aprecia la ubicación espacial de los puntos de monitoreo de aguas superficiales realizadas por terceros.

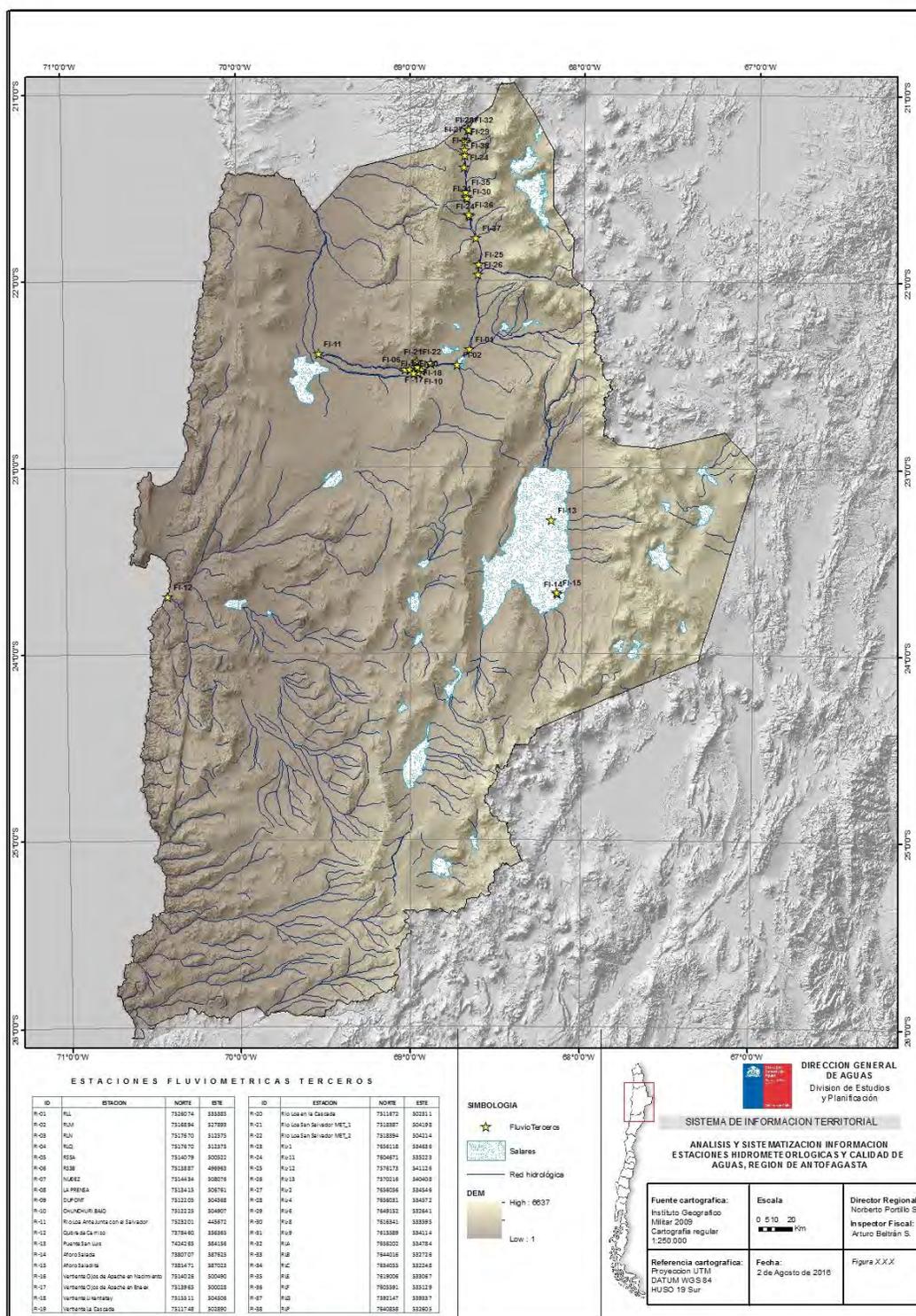


Figura 3.4: Ubicación geográfica de los puntos de monitoreo superficial de Terceros

Dentro de los puntos de medición de caudales superficiales se han encontrado flujos provenientes de vertientes, que tienen un régimen hídrico influenciado por la dinámica de acuíferos y quebradas cuyo régimen hídrico esta influenciado por las precipitaciones en la microcuenca. Lo anterior hace que sean tratados como cuerpos de agua distintos a los cauces fluviales de los ríos. Desde esa perspectiva no pueden ser validados a través de *Patrones Representativos*, pues en la práctica sus propios registros son patrones de los cuerpos de agua a que representan. Por otra parte, también existen una serie de canales en la zona agrícola de Calama, cuyo régimen de escurrimiento está muy influenciado por la acción entrópica de la agricultura y la expansión de la ciudad, por lo que su régimen también se aparta de los flujos que los originan. Finalmente existen una serie de aforos a canales de alimentación de las lagunas de la Zona Norte del Salar de Atacama cuyo origen son afloramientos y/o vertientes o escurrimiento de quebradas cuyo comportamiento es similar al indicado para este tipo de regímenes. En consideración de lo indicado no se considerarán estos monitoreos superficiales en el análisis de validación, quedando su información a disposición del mandante en la base datos del programa que sistematiza la información de este proyecto

ESTACION	NORTE	ESTE	Operación	No fluvimétricos
Vertiente Ojos de Apache en Nacimiento	7514026	500490	Minera el Tesoro	Vertiente Calama
Vertiente Ojos de Apache en Enaex	7513965	500028	Minera el Tesoro	Vertiente Calama
Vertiente Likantatay	7515511	504506	Minera el Tesoro	Vertiente Calama
Vertiente La Cascada	7511748	502890	Minera el Tesoro	Vertiente Calama
NUÑEZ	7514434	508076	Lomas Bayas	Canal Calama
LA PRENSA	7513415	506761	Lomas Bayas	Canal Calama
DUPONT	7512205	504568	Lomas Bayas	Canal Calama
CHUNCHURI BAJO	7512225	504907	Lomas Bayas	Canal Calama
Quebrada Carrizo	7378460	356365	Rockwood Lithium	Quebrada
Puente San Luis	7424265	584156	SQM Salar S.A.	Canal salar
Aforo Salada	7380707	587625	SQM Salar S.A.	Canal salar
Aforo Saladita	7381471	587023	SQM Salar S.A.	Canal salar

Tabla 3.9 Puntos de monitoreo superficial no relacionados a regímenes fluviales (UTM WSG 84 Huso 19-S)

Caso especial a considerar son las 2 estaciones del proyecto de Minera el Tesoro en el Rio Salvador, lamentablemente la estación MET\_2 fue construida para estudios y no presenta registros históricos, dado que la cuenca no se encuentra bien controlada, pues la estación del Rio San Salvador antes del Rio Loa posee escasos datos. A priori se recomienda considerar la estación MET\_1, para controlar la cuenca de este cauce y por tanto no se validará en la siguiente etapa.

Es importante indicar que, de la revisión realizada en terreno, durante la primera parte de este proyecto, se constató que no existía un claro programa de mantenimiento de las secciones de aforo utilizadas para las mediciones Fluviométricas. Por otra parte, la existencia de sedimentos podría generar fuertes distorsiones en la medición de flujos pequeños.

### 3.4.2. Validación de Información de Terceros

En base a estas a la información relevada se han definido los siguientes Criterios de Validación:

1. Criterio de Continuidad: Para poder relevar efectos cíclicos, las series deben tener al menos 3 años continuos de medición y en caso de no ser continuos deben tener información en al menos la mitad de los periodos desde su instalación.
2. Criterio de Segmento: Se determinará el segmento del curso superficial donde se ubica el punto de monitoreo, Luego se calcularán los valores mensuales promedios para los caudales, y se compararán con los valores mensuales promedio de la estación Patrón asociada al segmento, Se considerará como límite de validación un índice de correlación mayor al 30%.El resultado de estos criterios se muestra a continuación.

El análisis de continuidad de las series Fluviométricas se realiza en términos de la información relevada, pudiéndose alcanzar niveles de aceptación, al lograr integrar mayor número de registros históricos,

Operación	Cantidad de puntos	2000									2010					Criterio Continuidad					
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3		4	5			
Pampa Puno	16	0	0	0	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	SI	
Minera el Tesoro	1	12	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	SI	
Ministro Hales	6	0	0	0	4	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	SI	
Lomas Bayas	1	0	0	0	0	6	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	0	1	SI

Tabla 3.10 Análisis de continuidad de estaciones Fluviométricas terceros

De acuerdo a lo indicado todas los Proyectos cumplen el criterio de continuidad

Al realizar el análisis de segmentación se validó la posición del aforo de Lomas Bayas, el cual según la RCA 40/1995 se encuentra en la misma posición que el punto de medición de la DGA para el Rio Loa antes de la Junta con el Salvador. Por tanto, salvo que se dese validar la medición de este punto, parece inoficioso considerarlo como un nuevo punto , por lo que no se será considerado en el siguiente nivel de análisis, quedando su información a disposición del mandante en la base datos del programa que sistematiza la información de este proyecto

Las estaciones de los 3 proyectos fueron geo-referenciados y se la ubicado en los siguientes segmentos, haciendo la correspondiente correlación con la estación patrón.

Operación	ESTACION	SEGMENTO	Coefficiente R2	Criterio Segmento
Pampa Puno	RLE	LOA-01	13%	NO
	RL-1	LOA-01	1%	NO
	RL-11	LOA-01	1%	NO
	RL-12	LOA-01	0%	NO
	RL-13	LOA-01	1%	NO
	RL-2	LOA-01	11%	NO
	RL-8	LOA-01	8%	NO
	RL-9	LOA-01	34%	Si
	RL-6	LOA-01	7%	NO
	RL-4	LOA-01	24%	Si
	RLP	LOA-01	42%	Si
	RLA	LOA-01	5%	NO
	RLB	LOA-01	4%	NO
	RLC	LOA-01	17%	NO
	RLF	LOA-01	5%	NO
RLG	LOA-01	4%	NO	
Minera el Tesoro	Rio Loa en la Cascada	LOA-04	2%	NO
Ministro Hales	RLL	LOA-04	1%	NO
	RLM	LOA-04	0%	NO
	RLN	LOA-04	0%	NO
	RLQ	LOA-04	19%	NO
	RSSA	LOA-04	0%	NO
	RSSB	LOA-04	1%	NO

Tabla 3.11 Análisis de correlación con Segmento Patrón.

Del análisis de la información se ha podido determinar que en general las correlaciones de los puntos muestran una baja correlación con la estación patrón lo cual de acuerdo a lo explicado no es necesariamente concluyente y amerita un estudio más detallado del territorio y de las condiciones climatológicas de este.

Finalmente, solo 3 estaciones lograron superar los niveles exigidos, correspondientes a las estaciones RL-4, RL-9 y RLP del Proyecto Pampa Puno.

De acuerdo a la metodología las estaciones que han sido validadas por este criterio deben ser recomendadas para se analice la posibilidad de ser incorporadas en la red fluviométrica de la DGA.

### 3.4.3 Análisis espacial de información de tercero

Se referencia la ubicación de todos los puntos para ser se analizará bajo el criterio de índice de densidad definido por la OMM, en función del aporte que estas pudiesen generar en áreas no controladas o bajamente controladas. (tabla 3.12)

COD CUENCA	CUENCA	COD SUBC	NOMBRE	Estaciones Vigentes	Estaciones Validadas	Area cuenca Km2	Km2/ Estacion
021	Rio Loa	0210	Rio Loa Alto (bajo junta Rio Salado)	14	16	8,132	271
		0211	Loa Medio (entre R. Salado y Q. de Barrera)	10	8	24,409	1356
		0212	Loa Bajo (entre Quebrada Amarga y Desembocadura)	1		542	542
		<b>Total Rio Loa</b>					
025	Salar de Atacama	0250	Salar de Atacama	6		12,410	2068
		0251	Rio San Pedro	1		1,417	1417
		<b>Total Salar de Atacama</b>					

Tabla 3.12 Análisis de índice de densidad OMM con estaciones superficiales de terceros

Al incluir los 24 estaciones Fluviométricas de terceros , se genera una mejora en el índice de la sub Cuenca 0211, que permite alcanzar la densidad mínima recomendada por la OMM , por su parte la sub cuencas 0210 ya tenía buenos índices por lo que la mejora no es tan relevante.

### 3.5 Conclusiones y Recomendaciones

Del análisis de los caudales medios mensuales de la red de monitoreo de la DGA se ha podido definir *Patrones Representativos*, considerando para tal efecto la información de las denominadas *Estaciones Patrones* las cuales representan a segmentos de los principales cursos fluviales de la Región. Quizás la única excepción corresponda al cauce del Rio San salvador, cuya estación DGA presenta escasos registros, por lo que se ha sugerido considerar los datos provenientes de la estación "Rio San Salvador Met\_1", de Minera el Tesoro. Con la información de Estaciones Patrones se procedió a validar los registros de estaciones de Terceros considerando como nivel de aceptación un índice de correlación superior al 20%., quedando con recomendación las estaciones RL-4, RL-9 y RLP del Proyecto Pampa Puno.

Para aquellas estaciones que, habiendo cumplido la validación y que se encuentran espacialmente en áreas no controladas o bajamente controladas, se recomienda realizar las gestiones ante las empresas propietarias de las estaciones con el fin de validar sus procesos de medición y mantención, con el fin de incrementar el nivel de fiabilidad de la información entregada y de ser posible integrar sus resultados a la red de la DGA.

Con el efecto de sistematizar la información de estaciones Fluviométricas de Terceros se ha desarrollado una aplicación computacional ad-hoc, que perimirá almacenar y analizar dicha información.

## CAPÍTULO 4. MONITOREO DE AGUA SUBTERRANEA

### 4.1. Descripción General

La red regional de monitoreo de aguas subterráneas, que pertenece a la Dirección General de Aguas (DGA), consta de 55 puntos, de los cuales 28 muestran registros más allá del año 2010. En la Tabla 4.1 se muestran todos los puntos de monitoreo de la región

id	Codigo BNA	Estacion	Vig	Este	Norte	m.s.n.m
1	02010001-K	CARCOTE 1		559526	7637729	3712
2	02010002-8	CARCOTE 3		558470	7632291	3799
3	02020003-0	ASCOTAN 1		561660	7623179	3747
4	02020004-9	ASCOTAN 2		562457	7620993	3776
5	02020005-7	ASCOTAN 3		567074	7617223	3807
6	02020006-5	ASCOTAN 4		570396	7613734	3795
7	02020007-3	ASCOTAN 5		569755	7611892	3784
8	02020008-1	ASCOTAN 6		570679	7613118	3751
9	02020009-K	ASCOTAN 8		565205	7617384	3774
10	02020010-3	ASCOTAN 9		566535	7619070	3738
11	02020011-1	ASCOTAN 10		559943	7625921	3798
12	02020012-K	ASCOTAN 12		563223	7618099	3805
13	02020013-8	ASCOTAN 13		563311	7618622	3741
14	02020014-6	ASCOTAN 15		564872	7620368	3731
15	02020015-4	ASCOTAN 15-1		564929	7620306	3731
16	02020016-2	ASCOTAN 16		568575	7618477	3728
17	02020017-0	ASCOTAN 20		561582	7625393	3753
18	02110017-K	AEROPUERTO		514250	7510760	2389
19	02110018-8	MOCTEZUMA		512107	7510024	---
20	02110015-3	ISLA GRANDE 1		537915	7525817	---
21	02110016-1	ISLA GRANDE 2		537458	7526156	---
22	02110019-6	ISLA GRANDE 3	(1)	537458	7526156	2512
23	02105023-7	CHUI-CHUI	(1)	541271	7529559	2568
24	02105024-5	CUPO 1	(1)	562458	7534101	2925
25	02105030-K	TURI 1	(1)	571440	7539689	3007

Tabla 4.1 Estaciones de Agua Subterráneas DGA, coordenadas UTM PSAD 56 zona 19-S. Estaciones con registros entre el año 2010 y año 2015.

id	Codigo BNA	Estacion	Vig	Este	Norte	m.s.n.m
26	02105025-3	TURI 2	(1)	568058	7538597	3055
27	02105026-1	TURI 4		574269	7538753	---
28	02105027-K	TURI 5 I	(1)	573174	7543156	---
29	02105028-8	TURI 7		574591	7540074	3091
30	02105029-6	TURI 9		568620	7536473	---
31	02105032-6	TURI 10	(1)	569644	7541481	3041
32	02500024-2	MULLAY 1		599895	7422669	2408
33	02500022-6	ALANA 1		598933	7414864	2418
34	02500023-4	SOCAIRE 5		598137	7406197	2359
35	02942002-5	PIQUE AV-1	(1)	398441	7187902	1331
36	02942003-3	PIQUE AV 15	(1)	398774	7188120	1434
37	02942004-1	PiQUE AV-16	(1)	398580	7188026	1487
38	02942005-K	PIQUE AV-17	(1)	398914	7188090	---
39	02942006-8	PIQUE AV 40	(1)	413582	7183840	1760
40	02942007-6	PiQUE AV-39	(1)	422977	7186926	1775
41	02942008-4	PiQUE AV-42	(1)	420321	7182481	1717
42	02942009-2	PIQUE AV-43	(1)	419789	7182724	1793
43	02942010-6	PiQUE AV-45	(1)	409087	7187701	1718
44	02942023-8	ESSAN AV-48	(1)	408997	7188593	1726
45	02942012-2	PQ-AV 49	(1)	420853	7182392	1765
46	02942013-0	PiQUE AV-MUESTRA	(1)	398526	7187779	1449
47	02942014-9	PiQUE AV-NVO.A	(1)	398607	7188057	1419
48	02942015-7	PIQUE FRENTE ESSAN	(1)	403685	7190345	1657
49	02942016-5	POZO 4 ESSAN	(1)	403871	7190495	1498
50	02942017-3	ESSAN S 843-A	(1)	406554	7194452	1557
51	02942018-1	ESSAN S 844	(1)	407726	7194737	1590
52	02942019-K	ESSAN S 846 -A	(1)	403876	7193633	1415
53	02942020-3	ESSANS 864	(1)	537661	7194966	1533
54	02942021-1	PIQUE MINA CLEMENTINA 3	(1)	346127	7160091	472
55	02942022-K	PIQUE MINA CLEMENTINA 2	(1)	346158	7160022	472

Tabla 4.1 Cont.: Estaciones de Agua Subterráneas DGA, (UTM PSAD 56 zona 19-S.)

(1) Estaciones con registros entre el año 2010 y año 2015.

(2) La estación ESSAN AV-48 ha tenido 2 códigos BNA durante su funcionamiento.

(3)

Los registros de las estaciones de agua subterráneas han sido obtenidos a partir de la información sistematizada por la DGA, en su *Sistema Nacional de Información de Agua* (SNIA) (<http://snia.dga.cl/BNAConsultas/reportes>), esta información se encuentra disponible para las variables asociadas a la medición de niveles estáticos y son parte del Banco Nacional de Agua (BNA). La figura 4.1 muestra la ubicación geográfica de estas

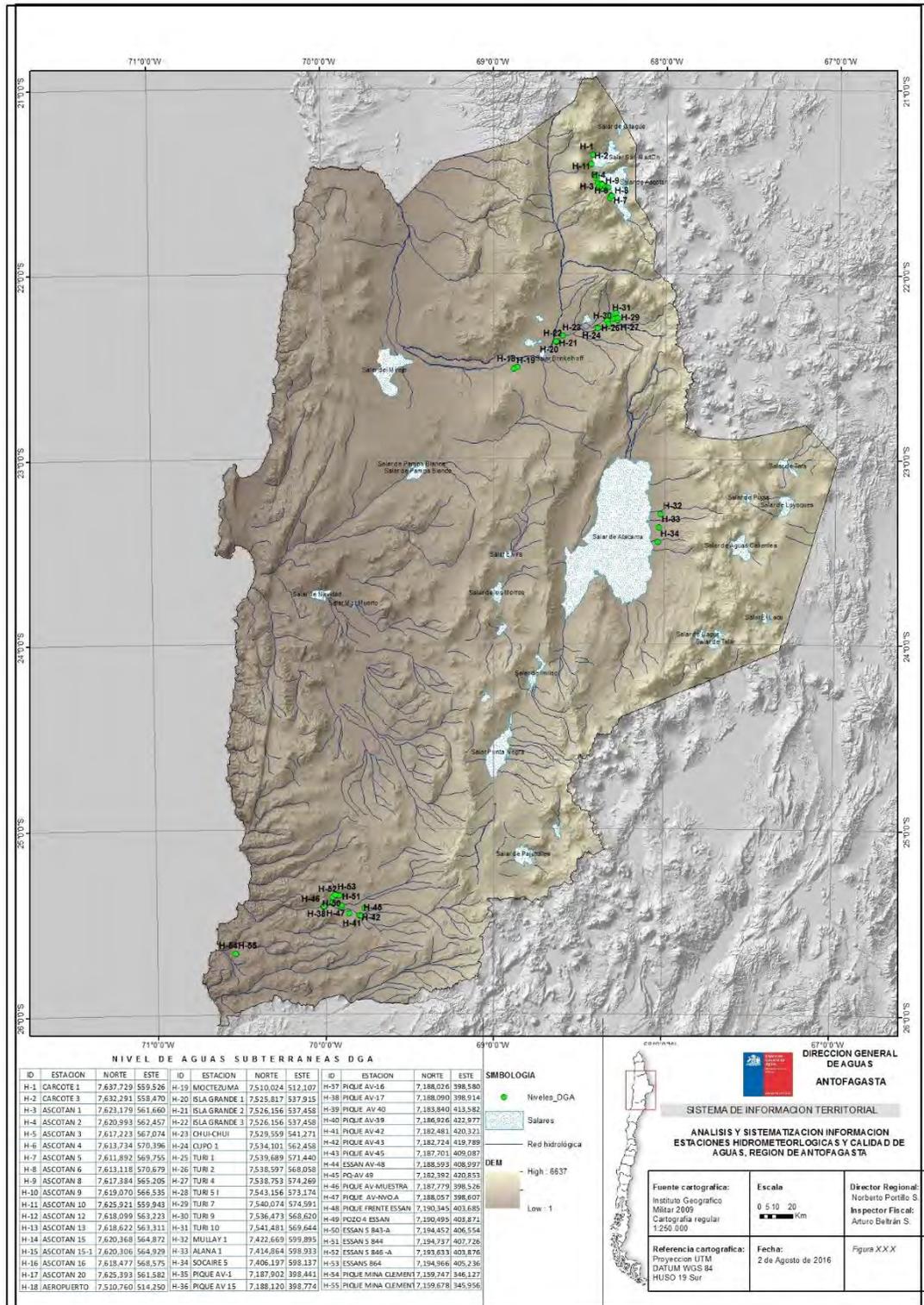


Figura 4.1: Mapa de Estaciones de aguas Subterránea de la DGA

. Como se ha indicado, la información pública disponible de las estaciones de la DGA, corresponde a las mediciones de niveles estáticos, en diferentes puntos de la región asociados a áreas de interés ambiental (salares, vegas, etc) o zonas donde se registran presiones a los recursos hídricos por acciones entrópicas (Extracciones, poblados, etc),

#### 4.2 Caracterización de los Recursos Hídricos Subterráneos de la Región

Los recursos hídricos subterráneos de la región de Antofagasta, tienen su origen en la zona de recarga de los volcanes cordilleranos, que escurren de este a oeste hacia la cordillera intermedia. Por su parte las zonas de descarga están constituidas por ríos, salares, vegas y playas.

La zona de recarga de aguas subterráneas es un gran cordón de lavas andesíticas, riolitas, ignimbritas y tufts, con dirección norte-sur a lo largo de las estribaciones occidentales de la Cordillera de los Andes. Las lavas e ignimbritas parecen ser el medio principal de transmisión del agua de recarga a través de fisuras y rajaduras. La Cordillera Media, que forma las estribaciones occidentales de las cuencas, consiste en roca sedimentaria plegada y lavas de poca o nula conductividad. Por su parte la distribución de las zonas de descarga indica que el flujo de agua subterránea ocurre principalmente a través de las rocas no consolidadas y, en menor grado, en lavas terciarias, ignimbritas, arcillas o cenizas. A su vez el área entre la zona de recarga y la zona de descarga está formada por arenas y gravas entremezcladas con acuitardos de ignimbritas, arcillas y cenizas volcánicas. Estas zonas son los principales acuíferos, y alcanzan generalmente varios cientos de metros de espesor. (Arrau, 2012)

Los escasos recursos hídricos de la región, a provocado una gran presión por el uso de ellos en las zonas de descarga, las que se pueden clasificar en:

1. Los ríos de la cuenca del Río Loa y la franja oriental del Salar de Atacama que incluye los ríos Grande de San Pedro y Vilama y los pequeños cursos de las quebradas que descargan hacia el Salar de Atacama.
2. Salares, vegas y playas.: Los salares tienen generalmente pequeñas lagunas que están orientadas en forma transversal a la dirección del flujo de agua subterránea. De las vegas, solamente Ojos de San Pedro tiene lagunas; algunas aparecen en la vega de Chiu-Chiu, pero éstas parecen estar relacionadas a una formación de tipo kárstico.

Para la caracterizar de los principales acuíferos existentes en la Región, utilizaremos el análisis hidrogeológico del trabajo “Diagnóstico Plan Estratégico para la Gestión de los Recursos Hídricos, Región de **Antofagasta** ”(Arrau,2012), que releva cuatro tipos de unidades hidrogeológicas, indicando que casi la totalidad de las extracciones y monitoreos de acuíferos se dan en los denominados acuíferos sedimentarios, los que están conformados por sedimentos lacustres y aluviales del Terciario Superior y Cuaternarios, incluyendo sedimentos de salares, playas, ríos y abanicos aluviales.

A continuación se releva las principales características hidrogeológicas de los principales acuíferos sedimentarios, los de la zona del salar y los de otras zonas de interés( Tabla 4.2)

Cuenca	Hidrogeología
Ojos de San Pedro	El agua subterránea fluye de Este a Oeste a lo largo del valle antiguo y desde las paredes del valle. A partir de la red de pozos de poca profundidad Existe una barrera de basamento impermeable (ignimbrita) a través del valle anterior al río San Pedro que ha causado el flujo vertical y la descarga natural del agua subterránea a Ojos de San Pedro.
Vegas de Turi	<p>En este acuíferos existe uno libre y otro confinado, debajo de la capa de ignimbrita.</p> <p>El agua subterránea entra a las zonas de descarga en la región de Turi por 3 vías principales; desde el NNE a través de sedimentos aluviales; otra desde el NE a través de un flujo de lava andesítica, y la tercera desde el E por sedimentos aluviales.</p> <p>La zona de recarga está ubicada en la línea de volcanes que limitan la cuenca desde el este hacia el norte. El afloramiento de aguas subterráneas ocurre en tres localidades: Baños de Turi; Río Salado y en la Salar y Playa, mediante evapotranspiración.</p>
Cuenca de Calama	<p>Existe un acuífero libre localizado en las rocas carbonatadas y sedimentarias, y probables numerosos acuíferos confinados, principalmente debajo de horizontes de arcilla. Estos acuíferos son probablemente de poca extensión.</p> <p>La recarga principal es por flujo de agua subterránea, proveniente del valle del Río Loa y del valle del Río Salado. Las principales zonas de descarga se presentan en las vegas de Calama y Chiu-Chiu y en el Río Loa entre Isla Grande y Escorial.</p>

Cuenca	Hidrogeología
Salar de Atacama	<p>Se han reconocido 3 sistemas acuíferos albergados en los depósitos del relleno aluvial circundante a la zona del salar y en los depósitos salinos. Estos acuíferos se denominan Acuífero del borde Este, Acuífero del Núcleo del salar y acuífero de Monturaqui-Negrillar-Tilopozo, estando el primero conformado por salmuera y los dos últimos por agua dulce.</p> <p>La recarga proviene del sector este donde se levanta la Alta Cordillera y su descarga se produce principalmente en el borde oriental del salar.</p>
Salar de Punta Negra	<p>En los subsuperficiales del sector del salar de Pta. Negra se ha estudiado un sistema acuífero el cual puede ser dividido en tres zonas principales, zona norte, zona centro y zona sur, a partir de sus características geológicas e hidrogeológicas. Al norte se distingue un acuífero confinado semiaislado con una compleja hidrogeología. Al centro se reconoce un acuífero menos complejo, el cual es dividido en un acuífero superior libre, en su parte norte, y un acuífero confinado en su porción sur. Por último se ha reconocido un acuífero sur, ubicado al sur del cerro Punta Negra, el cual tendría un carácter libre</p>
Agua Verde	<p>El agua subterránea se encuentra en acuíferos libres y confinados de arena, en las rocas no consolidadas que ocupan el antiguo valle excavado en el basamento granítico. La zona de recarga se encuentra al Este, en la Cordillera de los Andes con un gradiente hidráulico en sentido E-W.</p>
Sector Salar de Ollagüe	<p>Las unidades hidrogeológicas definidas en la cuenca comprenden: una primera unidad superficial de relleno sedimentario, compuesta por detritos tamaño grava a arena y con una potencia de 20 m, la cual formaría los niveles más permeable de acuífero. La Segunda unidad comprende una roca ignimbrítica fracturada, compuesta por una toba de ceniza y piroclastos tamaño lapilli y alcanza una potencia de 100 m. Por último se reconoció una unidad inferior de areniscas y limos, pero no se ha podido definir su potencial hidrogeológico con precisión, debido a que sólo un sondaje la atravesó y sin evidenciar su base</p>
Sector Salar de Carcote	<p>En la cuenca del Salar de Carcote se han identificado tres acuíferos. El primero de estos acuíferos está constituido por depósitos aluviales y coluviales, el segundo por rocas volcánicas fracturadas y el tercero, por depósitos salinos. Los acuíferos de depósitos aluviales y coluviales y de rocas volcánicas fracturadas, circundan el salar por sus costados oeste y norte, respectivamente. Estos constituyen las fuentes de recarga del acuífero de salmuera anidado en los depósitos salinos, así como también de la zona de vegas presentes en los márgenes norte y oeste del salar.</p>
Sector Salar de Ascotán	<p>El salar de Ascotán se ubica en una depresión estructural inter volcánica, en cuyo sector más deprimido se localizan los sedimentos salinos. Rodeando a estos sedimentos salinos se encuentran los depósitos aluviales y coluviales intercalados entre coladas de lavas, los cuales limitan la cuenca. El basamento, localizado bajo los depósitos sedimentarios, corresponden principalmente a andesitas en el sector este e ignimbritas en el sector oeste. Los</p>

Cuenca	Hidrogeología
	depósitos aluviales superficiales y subsuperficiales, junto con las rocas volcánicas fracturadas intercaladas y subyacentes y los sectores fracturados de la roca de caja infiltrante, conforman los medios permeables que constituyen el sistema acuífero en la cuenca de Ascotán.
Sector Pedro de Valdivia - María Elena	El acuífero de María Elena - Pedro de Valdivia, ubicado en el extremo occidental de la Depresión Central, comprende la prolongación oriental y occidental del río Loa, y se encuentra limitado por rocas paleozoicas y mesozoicas que conforman una franja impermeable de orientación norte-sur, tanto en su extremo oriental como occidental. En general la geología de subsuperficie, está definida por una cubierta aluvial cuaternaria no saturada de 10 a 50 m (Unidad 1), bajo la cual se dispone una sucesión de limos arenas y gravas con una potencia del orden de 200 a 300 m. Dentro de esta sucesión se pueden diferenciar la Unidad 2, compuesta por limos y arcillas y una potencia del orden de 10 a 20 m. La Unidad 3, de arenas y gravas con pocos finos, se dispone bajo la unidad anterior, con espesores entre 20 y 150 m. La Unidad 4, corresponde a arenas con limos y arcillas con una potencia de 40 m aproximadamente. Por último se reconoció la unidad 5, de gravas y arenas, la cual se dispone sobre el basamento, y tiene espesores entre los 100 y 200 m.
Sector Sierra Gorda	El acuífero de Sierra Gorda consta de dos zonas principales, por el norte Pampa Lina y por el sur Pampa Blanca, las cuales son separadas por una zona de angostura. Las características hidrogeológicas han permitido definir en total 5 zonas acuíferas con fronteras bastante bien definidas y que están conectadas entre sí: SECTOR PAMPA BLANCA: Acuífero 1: Sector Of. Sargento Aldea - La Pampita. Acuífero 2: Sector La Pampita - Of. Edwards. Acuífero 3 : Sector Of. Edwards - Of. Arturo Prat. Acuífero 4: Sector Of. Arturo Prat - Estación Chela. SECTOR PAMPA LINA: Acuífero 5: Sector Pampa Lina. El carácter de la mayoría de los acuíferos identificados es semiconfinado.

Cuenca	Descripción
Sector Calama - Pampa Llalqui	En el sector Calama - Pampa Llalqui se desarrolla un sistema acuífero alojado en los medios permeables conformados por las formaciones Calama, Jalquinche y Opache. Estas formaciones terciarias corresponden a los depósitos de relleno de la denominada Cuenca de Calama. El sistema de aguas subterráneas consta de un acuífero inferior confinado, conformado por las gravas de la Formación Calama y los sedimentos más finos de la Formación Jalquinche. El confinamiento de estas capas está dado por la presencia de una capa volcánica de ignimbrita que las sobreyace, la cual se extiende sobre la cuenca desde el sector del suroeste boliviano. La extensión de esta capa volcánica alcanza hasta el sector de Pampa Llalqui. El acuífero superior, formado por las calizas de la

Cuenca	Descripción
	formación Opache, se comporta de manera freática en toda la cuenca, exceptuando las zonas en que es sobreyacido por la Formación Chiu-Chiu, cuyos sedimentos arcillosos de carácter impermeable le otorgan un cierto grado de confinamiento. Las aguas se infiltran al acuífero superior desde las precipitaciones que ocurren en el sector suroriental (Sierra de Tuina).
Sector Pampa Elvira - Llano Mariposa	Sobre la base de los antecedentes estratigráficos disponible, es posible reconocer un acuífero de carácter freático anidado principalmente en la cobertura detrítica del área, conformada por gravas y arenas polimícticas con escasa presencia de limos y arcillas, que presenta una buena continuidad tanto arealmente como en profundidad. El espesor del relleno es variable y, de acuerdo a los antecedentes disponibles, fluctúa entre los 47 y 273 m de espesor. Se ha reconocido, además, un nivel inferior de areniscas rojas pertenecientes a la Formación Purilactis, que si bien en algunas zonas actúa como límite inferior impermeable del acuífero, se ha detectado en algunos sondajes como parte del medio permeable saturado. La napa en el sector del acuífero de Elvira- Mariposa varía su profundidad entre 40 y 166 m.
Sector Salar de los Morros	En la cuenca de Los Morros se reconoce un acuífero freático conformado por la cobertura detrítica del área, compuesta por gravas y arenas con escasa presencia de limos y arcillas. Los límites físicos del acuífero corresponden al basamento rocoso y a los cerros que bordean la depresión de la cuenca, que constituyen fronteras o bordes impermeables. La roca basal, en el sector central de la cuenca se encuentra alrededor de los 250 m de profundidad. Las mayores profundidades, que alcanzan los 550 m, se encuentran en el sector nor-este.

Tabla 4.2 Cuadro resumen características acuíferos dela región de Antofagasta (Arrau-2014)





En general el relleno de fluviométrica se realiza buscando primero las estaciones inmediatamente aguas arriba o aguas abajo de la estación en cuestión. En caso de no obtener un buen coeficiente de correlación, se intenta con estaciones dentro del mismo cauce o en un cauce afluente al cauce en que se encuentra la estación a rellenar. Lo anterior se justifica por el hecho de que en una misma cuenca las variaciones de caudales debiesen verse reflejadas a lo largo del cauce, en cuanto no medie un efecto antropogénico importante.

#### 4.4. Determinación de Patrones Representativos

Para la determinación de Patrones Representativos de los cuerpos de agua a los que pertenecen (acuíferos), la información de las series histórica de niveles estáticos se ha ordenado temporalmente, de tal forma que permitan validar los siguientes criterios:

- 1.- Que existe un numero relevante de observaciones que permita establecer tendencias y que sean estadísticamente representativas, para el parámetro que se requiera observar. (N° de Observaciones Continuas)
- 2.-Que existe un numero relevante de puntos de observación asociados a los cuerpos de agua, que permitan caracterizarlo e identificar comportamiento anómalo en algún punto. (N° de Puntos de Monitoreo)
- 3.- Que las mediciones sean lo suficientemente recientes, que permitan correlacionar información actualizada. (Nivel de Antigüedad)

Para efectos del presente trabajo se han definido niveles de aceptación mínimos para cada uno de estos criterios;

N° de Observaciones Continuas: 4 años de mediciones continuas (En general en este periodo se pueden observar variaciones de ciclos climáticos) . Para efectos de aquellos puntos con medición bi mensual se considera que estos son continuos con 6 mediciones al año.

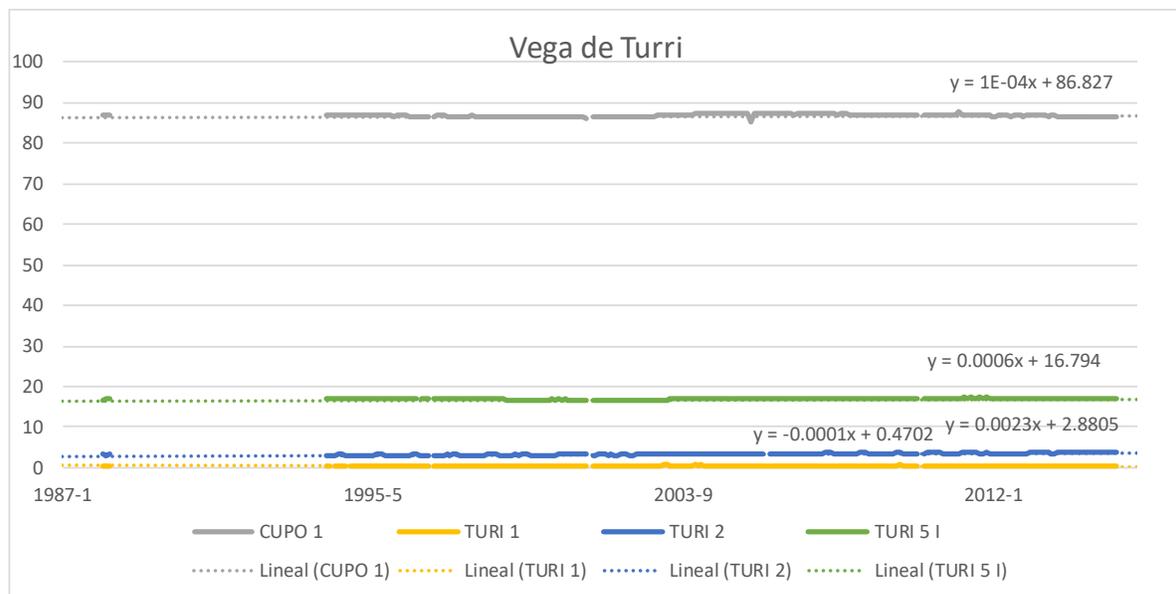
N° de Puntos de Monitoreo: Dependiendo del tipo de acuífero (geomorfología) podríamos caracterizar amplias áreas con 1 o 2 estaciones (sedimentarios) , sin embargo la presencia de zonas de formación rocosa en acuíferos obliga a mantener un número mayor de estaciones (existencia de singularidades). Considerando además que se requieren al menos 3 estaciones para poder determinar si alguna de ellas tiene un comportamiento anómalo, parece razonable mantener este número como límite mínimo.

Series con antigüedad: En la medida que poseamos series con una gran cantidad de observaciones, es posible logran extrapolaciones de buena calidad. Sin embargo, no es recomendable tener periodos muy extensos sin información, especialmente cercanos al periodo actual. Para efectos de este análisis se considera que los registros faltantes no deben ser mayores a la extensión de la serie continua más cercana

Acuífero	N° de Puntos	N° series continuas	Series Con Antigüedad	Criterio	Análisis
Salar de Carcote	2	0	0	Rechaza	Existen 2 puntos de observación, los cuales solo muestran datos para el año 1977, lo que de acuerdo a lo expresado no permite generar líneas base para este sector
Salar de Ascotan	15	0	0	Rechaza	existen 15 puntos, de los cuales 7 puntos mantienen información menor a los 3 años (Ascotan (3-5-6-8-10-16,20) las restantes 8 tienen algún registro entre 1997 y 1998 y luego poseen registros continuos entre 1992 y 1998 (Ascotan 1-2-4-9-12-13-15-15-I). No hay registros
Vegas de Turi	8	4	4	Acepta	existen 8 pozos de los cuales 3 (Turi 4-7-10) tienen menos de 3 años de registros, Sin embargo, los pozos Turi 1-2 y 5I y Cupo-1 poseen registros continuos desde el año 1987, por su parte el pozo Turi 9 posee registros entre el año 1987 y 1993.
Cuenca Calama	5	2	2	Rechaza	Se saca de analisis el punto CHIU-CHIU que muestra valores cercanos a cero o negativos lo que puede corresponder a los registros propios de un afloramiento natural y por tanto no son representativos del acuífero . Solo los puntos Aeropuerto e Isla Grande 3 muestran series extensas: el Punto AEROPUERTO mantiene registros entre 1987 al 2007 ISLA GRANDE 3 muestra registros continuos desde la decada del 2000
Salar de Atacama	3	0	0	Rechaza	Existen 3 pozos en el sector, que poseen información solo para los años 1986 a 1988.
Agua Verde	19	16	13	Acepta	En este sector se encuentran los pozos denominados Pique Av. y aquellos cercanos a la extracción de agua potable de Taltal denominados Essan. El monitoreo de estos puntos es bimensual, por lo que el analisis de continuidad se hace con 6 muestras anuales

Tabla 4.5 Análisis por criterios de la información de Puntos de Monitoreo de la DGA

De acuerdo a los resultados obtenidos se desarrollan líneas de proyección temporal para las series que cumplieron los criterios establecidos para los pozos del Sector de Vegas de Turi y el Sector de Aguas Verdes. Figura 4.2



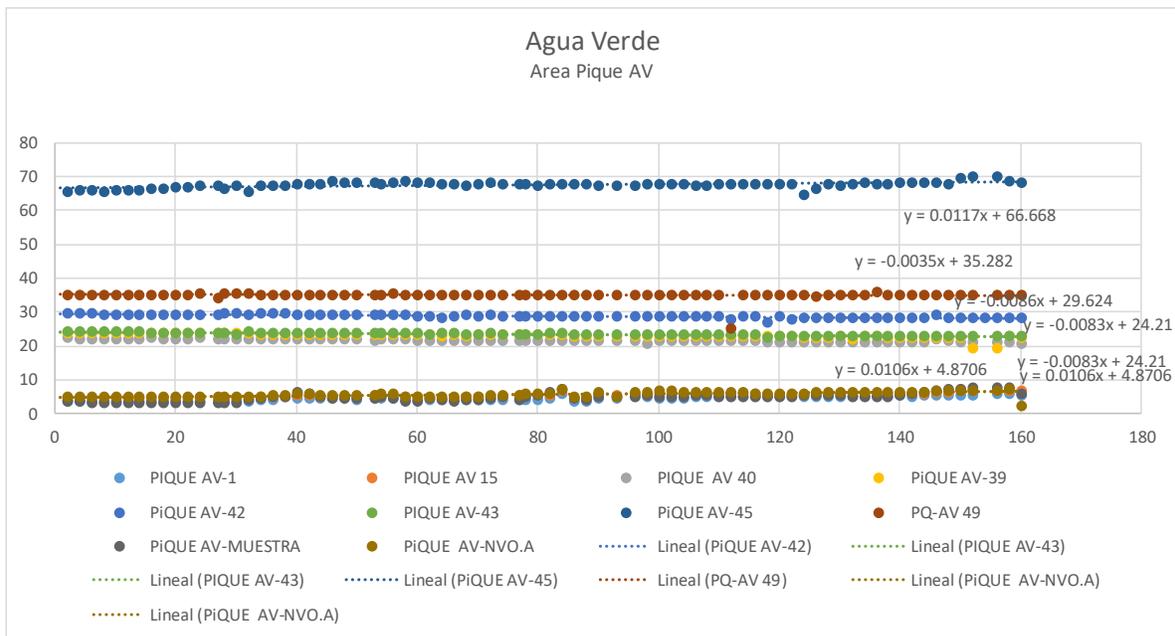
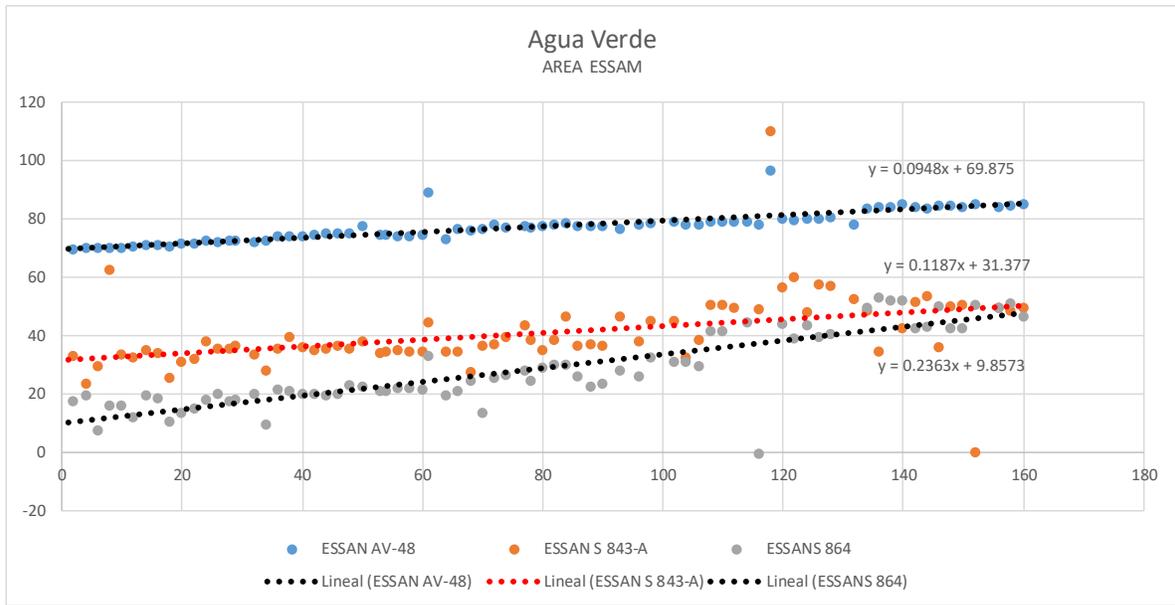


Figura 4.2: Líneas de tendencia para los Acuíferos que superaron criterios establecidos

Al Analizar las líneas de tendencia podemos indicar que:

- Vegas de Turi: La tendencia lineal es de mantener niveles estables en el tiempo, las pendientes de las rectas son prácticamente 0
- Aguas Verde Pique AV: La tendencia lineal es de mantener niveles estables en el tiempo, las pendientes de las rectas son prácticamente 0

- Aguas Verde ESSAM: La tendencia lineal es un aumento en la profundidad del nivel estático o una disminución en el nivel freático del acuífero.

#### 4.5 Análisis de Distribución de los Puntos de Monitoreo de Aguas Subterráneas

Con el fin de determinar la representatividad de una red de monitoreo, comúnmente se ha utilizado el estándar definido por la Organización Meteorológica Mundial (OMM-2008) que utiliza un índice de densidad asociado a la condición fisiográfica del entorno de la estación. Desafortunadamente este valor no fue desarrollado para el monitoreo de Aguas subterráneas. Por lo anterior se utilizara el índice recomendado por la Agencia Europea del Medioambiente (European Environment Agency, EEA) que aconseja la instalación de un punto de monitoreo por cada 20 o 25 Km<sup>2</sup> .(H<sub>2</sub> Cuenca, 2012)

Por su parte si analizamos la red regional de DGA, en base a las unidades más pequeñas, es decir las SubSubCuencas , tomando el área informada en el catastro de Cuencas y Subcuencas por la propia DGA, podremos construir el índice definido por la EEA. En primera instancia se realiza el cálculo para la red de 28 estaciones con registros desde el año 2010. Los resultados así generados se muestran en la tabla 4.5

SubSub Cuenca	Id	N° estaciones	km <sup>2</sup>	Estaciones / Km <sup>2</sup>
Rio Loa entre Rio Salado y Rio San Salvador	2110	1	3062	3,062
Rio Salado	2105	6	2288	381
Quebrada Taltal Entre Quebrada del Chaco y Bajo Junta Quebrada Corcovado	2942	21	1346	64

Tabla 4.6 Índice de densidad de la EEA para las estaciones de Aguas Subterráneas DGA.

La Sub-Subcuenca *Quebrada de Taltal entre Quebrada del Chaco y Bajo Junta Quebrada Corcovado* (2942), es la que se encuentra más cerca de los valores sugeridos por la EEA, pero debería casi triplicar el número de puntos actuales. Para alcanzar dicho índice. El resto de las sub subcuencas están muy lejanas al valor propuesto por la EEA y reflejan la necesidad de incrementar la red de monitoreo de la DGA, ya que la mayoría de las cuencas se encuentran no controladas.

Al analizar los resultados tanto del análisis de niveles de aceptación como el índice de la EEA se puede reconocer una situación bastante precaria, en términos de la cantidad y distribución de las estaciones de agua subterránea en la región, situación que se hace aún más compleja cuando se han analizado ampliamente las presiones que sufre el recurso hídrico (Infraeco -2014) por los diversos usos que se hacen de él. Desde esta realidad parece ser inconducente buscar Parámetros Representativos en la información generada por las estaciones de monitoreo de agua subterránea de la DGA, salvo en las cuencas Turi y aguas verdes. Debiendo buscar esta validación en los propios antecedentes recopilados a partir de la información entregada por Terceros.

#### 4.6 Análisis de Información de Terceros

Como se indicó en el primer capítulo de este proyecto, el proceso de búsqueda, análisis y ordenamiento de información ha implicado la identificación de diversas fuentes de información, las cuales fueron catalogadas en términos de su disponibilidad y su facilidad para ser sistematizada (asociado al formato en que se almaceno).

El levantamiento de información permitió identificar una serie de puntos de monitoreo de aguas subterráneas de carácter privado, que en la mayoría de los han sido implementadas en el marco de Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA), o de compromisos ambientales con diferentes entes públicos y/o comunitarios. Estos compromisos es su totalidad están relacionados con la actividad minera y los proyectos desarrollados en la región.

Estos proyectos privados durante su ciclo de vida pueden requerir de diversas RCA, que en muchos casos tienen que ver con proyectos de modificación, ampliación, actualización tecnológica o puesta en marcha de servicios con impacto territorial. Lo anterior hace complejo el seguimiento en el tiempo de los compromisos, pues en cada resolución pueden ser modificados en términos de su contenido o cambiar el periodo en que son requeridos. Por tanto, se ha adoptado como criterio el mostrar la última RCA y/o el último compromiso donde se ha definido o redefinido la obligación de monitoreo.

A continuación, se identifican las Estaciones de monitoreo subterráneo, el origen de su compromiso ambiental y sus ubicaciones en coordenadas UTM (Tabla 4.7).

Tabla 4.7 Listado de los puntos de monitoreo de Agua Subterránea pertenecientes a Terceros,

ESTACION	NORTE	ESTE	Faena	COMPROMISO
Petronila 3	7331060	412531	aguas Blancas	54 / 2007 - Ampliación Aguas Blancas: El titular implementará un Programa de Monitoreo del agua subterránea en cada uno de los pozos incluidos en la figura 1 de la Adenda N° 2 a la DIA. Los parámetros a medir serán: nivel del agua subterránea, sulfatos, conductividad, y pH. La medición se realizará mediante un laboratorio externo, debidamente autorizado y certificado. La entrega de informes será en forma trimestral que se dirigirán a la Dirección General de Aguas y a COREMA.
Yodomax	7331564	415065	aguas Blancas	
CHUCA-5	7521190	510309	Chuquicamata	Optimización Sistema De Conducción Y Distribución De Relave En Tranque Talabre
SE-4A	7520311	523719	Chuquicamata	Informar mediciones mensuales de niveles freáticos y calidad química del agua de los pozos SI-15E, CHUCA-5, SE-4

ESTACION	NORTE	ESTE	Faena	COMPROMISO
SAM 1A	7610377	577966	El Abra	Adicionalmente, como condición de la RCA, se elaboró un Plan de Manejo Ambiental del Salar de Ascotán, visado por la Dirección General de Aguas (DGA). Según el ORD. N° 140 del 23 de Agosto de 2010 de la Dirección General de Aguas, el seguimiento del proyecto que se describe en la RCA que aprueba el proyecto Sulfolix, establece umbrales y medidas a tomar en el caso de la activación de éstos.
SAM 1B	7610384	577965	El Abra	
SAM 1C	7609334	578087	El Abra	
SAM 2A	7609336	578076	El Abra	
SAM 2B	7609342	578083	El Abra	
SAM 2C	7607454	578951	El Abra	
SAM 3A	7607460	578959	El Abra	
SAM 3B	7607466	578958	El Abra	
SAM 3C	7604773	580512	El Abra	
SAM 4A	7604768	580805	El Abra	
SAM 4B	7604761	580813	El Abra	
SAM 4C	7603143	581603	El Abra	
SAM 5A	7603149	581623	El Abra	
SAM 5B	7603145	581619	El Abra	
SAM 5C	7601515	582214	El Abra	
SAM 6A	7601522	582217	El Abra	
SAM 6B	7601530	582218	El Abra	
SAM 6C	7609702	572727	El Abra	
SAM 7A	7609706	572719	El Abra	
SAM 7B	7609706	572711	El Abra	
SAM 7C	7607666	574884	El Abra	
SAM 8A	7607647	574883	El Abra	
SAM 8B	7607724	577817	El Abra	
SAM 8C	7607657	574886	El Abra	
SAM 9B	7603978	579307	El Abra	
SAM-10B	7605880	576636	El Abra	
SAM-11	7615350	578496	El Abra	
SA-1-2	7624023	577224	El Abra	
SA-2-1	7623044	577337	El Abra	
SA-5-1	7618906	576722	El Abra	
SA-7-1	7611794	578863	El Abra	
SA-9-1	7629451	573945	El Abra	
SAF-1	7630143	578160	El Abra	
SAF-2	7628200	576752	El Abra	
SAF-3	7627100	570974	El Abra	
SAF-4	7626999	566956	El Abra	
SAF-5	7626844	578055	El Abra	
SAF-6	7624419	575820	El Abra	
SAF-7	7624946	577646	El Abra	
SAF-8	7624466	569951	El Abra	
SAF-9	7622999	565003	El Abra	
SAF-10	7621816	570228	El Abra	
SAF-11	7621603	574700	El Abra	
SAF-12	7619884	570761	El Abra	
SAF-13	7617950	573547	El Abra	
SAF-14	7616367	575701	El Abra	
SAF-15	7615689	572760	El Abra	
SAF-16	7614892	578496	El Abra	
SAF-17	7613805	577174	El Abra	
SAF-18	7612505	574334	El Abra	
SAF-19	7611710	573130	El Abra	
SAF-20	7609974	575810	El Abra	
SAF-21	7608512	573944	El Abra	
SAF-22	7608454	578099	El Abra	
SAF-23	7607830	575935	El Abra	
SAF-24	7606351	576894	El Abra	
SAF-25	7605784	574986	El Abra	
SAF-26	7605232	578853	El Abra	
SAF-27	7604689	576210	El Abra	
SAF-28	7603775	580756	El Abra	
SAF-29	7602936	578746	El Abra	
SAF-30	7600373	579373	El Abra	
SAF-31	7564960	533950	El Abra	
SMW - 1	7565966	534485	El Abra	
SMW - 2	7566863	534071	El Abra	
SMW - 3	7568199	534391	El Abra	
SMW - 4	7569271	533430	El Abra	
SMW - 5	7569531	532950	El Abra	
SMW - 6	7568666	532742	El Abra	
SMW - 7	7568366	532080	El Abra	
SMW - 8	7568026	531755	El Abra	
SMW - 9	7567521	531520	El Abra	
SMW - 11	7572295	528417	El Abra	

ESTACION	NORTE	ESTE	Faena	COMPROMISO
RC 97-7	7291384	434779	El Peñon	<p>De acuerdo a lo establecido en el Estudio de Impacto Ambiental (EIA), la RCA N° 043/98 y la RCA N° 0251/2002, el programa de monitoreo de agua subterránea</p> <p>quedó establecido según la Tabla 1.</p> <p>Tabla 1: Programa de monitoreo de pozos de extracción de agua.</p> <p>-Determinación de los parámetros establecidos en la NCh409. Pozos: FMC-P1 y RC97-7 (Semestral) Se indicará de forma gráfica la variación histórica de la calidad físico-química.</p> <p>-Nivel freático Pozos: RPA-103, PW-1, PW-2, FMC-P1 y RC-97-7. (Mensual) Se indicará de forma gráfica la variación histórica del nivel freático.</p> <p>-Caudal total extraído Pozos correspondientes (Mensual) Se indicará de forma gráfica la variación histórica del caudal de extracción.</p>
LE-1	7516861	502861	El Tesoro	<p>Se enmarca dentro del Programa de Monitoreo Global del Plan de Alerta Temprana (PAT) "Habilitación Sectorial Pozo P-10 de Minera El Tesoro", aprobado en septiembre de 2010 por la Dirección General de Aguas (DGA).</p>
LE-4	7515785	502817	El Tesoro	
LE-6	7516371	503231	El Tesoro	
LE-7	7515108	504025	El Tesoro	
PPR-1	7515527	504582	El Tesoro	
PPR-4	7515081	504051	El Tesoro	
P-18	7515259	504075	El Tesoro	
P-19	7514882	503891	El Tesoro	
P-24	7514962	504277	El Tesoro	
P-25	7514520	503896	El Tesoro	
PBC-1	7515095	503081	El Tesoro	
OBS-6C	7516093	505564	El Tesoro	
OBS-7C	7514080	500670	El Tesoro	
OBS-8C	7514673	503585	El Tesoro	
OBS-10C-A	7514492	501801	El Tesoro	
OBS-10C-B	7514492	501801	El Tesoro	
AREL-1	7404530	512526	Gaby	<p>Para el área del salar Elvira y Los Morros, se determinará posibles fluctuaciones en el nivel de los pozos, estos se ejecutarán durante toda la etapa de explotación. Se instalarán controladores de caudal en cada pozo, estando éstos a su vez interconectados mediante un sistema de telecomando que permitirá operar los pozos con los caudales requeridos.</p>
ARMA-1	7434912	526299	Gaby	
ARMA-6	7419122	518338	Gaby	
ARMA-9	7422391	519405	Gaby	
ELE-3	7414488	514065	Gaby	
LMB-1	7386999	511501	Gaby	
LMB-3	7386005	513962	Gaby	
LMB-4	7386026	514280	Gaby	
LME-1	7387050	511501	Gaby	
LME-2	7385499	511501	Gaby	
MAE-2	7420789	519730	Gaby	
MAE-5	7425614	520468	Gaby	
PMB99-1	7385895	509102	Gaby	
RHE99-1	7378376	507511	Gaby	
RHE99-2	7382153	510009	Gaby	
RHE99-4	7386001	513994	Gaby	
Pozo SCL	7369430	365550	Roodwood Litio	<p>La Res 3603/1996 del MINSAL Antofagasta fijó una periodicidad mensual para enviar al Servicio de Salud Antofagasta el resultado del monitoreo de la calidad de las aguas en los siguientes puntos de muestreo: Quebraba Carrizo, Pozo de Inacesa y Pozo de la Planta La Negra.</p>
Pozo Inacesa	7369450	365600	Roodwood Litio	
PM2	7410593	397902	Mantos Blancos	<p>En la RCA 109/2003 señala como compromiso voluntario: 13.1 . Ampliar la actual red de pozos de monitoreo de agua subterránea , construyendo un pozo aguas abajo de las instalaciones del Dump Oeste, para controlar la calidad del agua subterránea.</p>
PM4	7406563	390333	Mantos Blancos	
PM6	7406123	388293	Mantos Blancos	
PM9	7408508	396249	Mantos Blancos	

ESTACION	NORTE	ESTE	Faena	COMPROMISO
MER-1	7331599	574641	Min. Escondida Ltda.	Plan de Alerta Temprana para el Acuífero Monturaqui-Negrillar-Tilopozo
MX-4	7331448	573815	Min. Escondida Ltda.	
MX-5	7331050	574368	Min. Escondida Ltda.	
MEC-1	7326314	569620	Min. Escondida Ltda.	
M-23	7324973	570012	Min. Escondida Ltda.	
MER-14	7324713	574206	Min. Escondida Ltda.	
M-22	7323542	569626	Min. Escondida Ltda.	
MER-20	7323459	572793	Min. Escondida Ltda.	
MER-28B	7323415	564173	Min. Escondida Ltda.	
MER-4	7323331	568578	Min. Escondida Ltda.	
MER-13	7322441	571874	Min. Escondida Ltda.	
MEC-2	7321805	565771	Min. Escondida Ltda.	
MER-23	7321299	572740	Min. Escondida Ltda.	
MEC-3	7321243	568051	Min. Escondida Ltda.	
M-7	7320900	566499	Min. Escondida Ltda.	
M-16	7319583	568103	Min. Escondida Ltda.	
MER-18	7319480	572630	Min. Escondida Ltda.	
MER-5	7319156	571315	Min. Escondida Ltda.	
M-17	7318753	567842	Min. Escondida Ltda.	
M-25	7318344	567140	Min. Escondida Ltda.	
MER-22	7317566	563176	Min. Escondida Ltda.	
M-24	7317518	567731	Min. Escondida Ltda.	
MER-11	7317081	570181	Min. Escondida Ltda.	
MX-6	7316576	565978	Min. Escondida Ltda.	
MER-26	7315996	564605	Min. Escondida Ltda.	
MER-24	7315714	568042	Min. Escondida Ltda.	
MX-3	7315612	563467	Min. Escondida Ltda.	
MX-1	7314646	565610	Min. Escondida Ltda.	
MER-27	7314031	562137	Min. Escondida Ltda.	
MER-12B	7313552	567497	Min. Escondida Ltda.	
MER-15-1	7326100	572881	Min. Escondida Ltda.	
TPB-05	7381312	577024	Min. Escondida Ltda.	
TPB-06	7380548	578911	Min. Escondida Ltda.	
TPB-02	7379857	571866	Min. Escondida Ltda.	
TPB-03	7379748	574434	Min. Escondida Ltda.	
TPB-04	7379320	576994	Min. Escondida Ltda.	
CL-6	7377278	572684	Min. Escondida Ltda.	
TPB-01	73377029	574901	Min. Escondida Ltda.	
TP-1	7367991	578686	Min. Escondida Ltda.	
TP-2	7369183	578680	Min. Escondida Ltda.	
TP-3	7367244	579108	Min. Escondida Ltda.	
SAT-2/D6	7365832	579424	Min. Escondida Ltda.	
DGA-4	7360059	580674	Min. Escondida Ltda.	
DGA-3A	7354815	581622	Min. Escondida Ltda.	
DGA-2	7349515	581580	Min. Escondida Ltda.	
DGA-1A	7348766	581152	Min. Escondida Ltda.	
NEP-1	7336037	575934	Min. Escondida Ltda.	
NEP-2	7337044	576686	Min. Escondida Ltda.	
NEP-3	7335385	577560	Min. Escondida Ltda.	
NEP-5	7333925	576653	Min. Escondida Ltda.	
NEP-6	7332049	576452	Min. Escondida Ltda.	
NEP-7	7339918	577630	Min. Escondida Ltda.	
NEP-8	7338543	577064	Min. Escondida Ltda.	
NEP-9	7339061	578626	Min. Escondida Ltda.	
NEP-10	7337282	578146	Min. Escondida Ltda.	
NEP-11	7334586	578061	Min. Escondida Ltda.	
MON-1	7344781	580247	Min. Zaldivar SpA.	El monitoreo ambiental queda determinado según resolución exenta N°574/93 del 8 de Octubre de 1993, del COREMA (Comisión Regional de Medio Ambiente) de la región de Antofagasta, que declaro favorable el Estudio de Impacto Ambiental (en adelante EIA) del Proyecto "Zaldivar" de la Compañía Minera Zaldivar SpA (En adelante CMZ), así mismo en las resoluciones de la Dirección General de Aguas ( En adelante DGA) N° 294/94 y N° 295/94 del 20 de julio de 1994, en que se constituyen los derechos de aprovechamiento de agua para el proyecto. En estos se establece la necesidad de monitorear el efecto que pudiese producir en el área de Tilopozo y el sector Sur del Salar de Atacama, las extracciones que se realizan de los pozos ubicados en acuífero de Monturaqui (Sector Negrillar)
MON-2	7348389	580971	Min. Zaldivar SpA.	
MON-3	7349164	581399	Min. Zaldivar SpA.	
MON-4	7354440	581443	Min. Zaldivar SpA.	
MON-5	7359682	580493	Min. Zaldivar SpA.	
SAT-1	7367992	578697	Min. Zaldivar SpA.	
SAT-2	7365832	579924	Min. Zaldivar SpA.	

ESTACION	NORTE	ESTE	Faena	COMPROMISO
ARMH-1	7525227	514863	Ministro Hales	COMPROMISOS: A. Determinar las eventuales afecciones del caudal de los ríos Loa, San Salvador y a las Vegas de Calama producto del drenaje del rajo de MMH. B. Determinar posibles infiltraciones provenientes de las aguas de relaves del tranque y, C. Realizar el seguimiento a las variables (Niveles y Características físico-químicas) en las estaciones que pertenecen al Plan de Monitoreo para aguas subterráneas, señalado en el E.I.A del proyecto.
ARMH-2	7525277	514863	Ministro Hales	
CC-1	7521875	508184	Ministro Hales	
CC-10	7518395	512120	Ministro Hales	
CC-11	7518390	512073	Ministro Hales	
CC-12	7516125	503276	Ministro Hales	
CC-14	7513794	500545	Ministro Hales	
CC-15	7513775	500524	Ministro Hales	
CC-16	7522437	509586	Ministro Hales	
CC-17	7520201	507079	Ministro Hales	
CC-18	7522425	509584	Ministro Hales	
CC-2	7521856	508173	Ministro Hales	
CC-4	7520903	510118	Ministro Hales	
CC-5	7520871	510123	Ministro Hales	
CC-6	7519719	510624	Ministro Hales	
CC-7	7519688	510591	Ministro Hales	
CC-8	7520786	508466	Ministro Hales	
CC-9	7520800	508504	Ministro Hales	
CHU-45	7525811	509894	Ministro Hales	
CHUCA-6B	7521358	507976	Ministro Hales	
CHUCA-7B	7516058	508205	Ministro Hales	
PBMM-4	7523406	509239	Ministro Hales	
PIQUE_MM	7521816	512003	Ministro Hales	
SI-18C	7523227	513587	Ministro Hales	
SI-23C	7520244	507350	Ministro Hales	
SI-24E	7520264	507256	Ministro Hales	
SI-7B	7522287	520951	Ministro Hales	
SI-8C	7519231	506063	Ministro Hales	
TL-02C	7521874	520753	Ministro Hales	
TL-03C	7522474	524293	Ministro Hales	
TL-04C	7520087	521009	Ministro Hales	
TL-05C	7520312	523732	Ministro Hales	
TL-06C	7520918	527374	Ministro Hales	
TL-07C	7521100	529470	Ministro Hales	
TL-09C	7523308	516323	Ministro Hales	
TL-10C	7524378	518095	Ministro Hales	
TL-11C	7523748	516521	Ministro Hales	
TL-12C	7518135	523766	Ministro Hales	
TL-13C	7518135	523766	Ministro Hales	
TL-24	7518630	517265	Ministro Hales	
TL-26C	7520467	517231	Ministro Hales	
TL-27C	7518491	515006	Ministro Hales	
TL-28C	7524158	525912	Ministro Hales	
TL-29	7526074	535349	Ministro Hales	
PIB-1	7655191	518307	Ministro Hales	
Puno-314 B	7642000	518000	Pampa Puno	PAT Pampa Puno
Puno-3 E A	7641335	522099	Pampa Puno	
Puno-3 E	7646475	521530	Pampa Puno	
PUNO-2B	7641380	521010	Pampa Puno	
Puno-2 E	7641251	522105	Pampa Puno	
PUNO-13	7645375	522911	Pampa Puno	
PUNO-11B	7646202	520443	Pampa Puno	
Puno-11 E	7641281	518457	Pampa Puno	
Puno11 B	7646202	520443	Pampa Puno	
YOC-8	7652785	516979	Pampa Puno	
YOC-9	7652893	517932	Pampa Puno	
YOC-10	7647247	521927	Pampa Puno	
PUNO-10B	7647243	521909	Pampa Puno	
Puno-10 E	7646180	520417	Pampa Puno	
PSAD-1	7645554	523715	Pampa Puno	
PSAD-2	7645504	523653	Pampa Puno	
PSAD-3	7645365	523470	Pampa Puno	
PUNO-9B	7648159	521001	Pampa Puno	
PUNO-4B	7646467	521521	Pampa Puno	
SAPUNTA-1	7645562	523723	Pampa Puno	
SAPUNTA-2	7645570	524190	Pampa Puno	
YOCA-03	7654291	516126	Pampa Puno	
YOCA-08	7647854	518955	Pampa Puno	
YOCA-09	7652777	516985	Pampa Puno	
YOCA-10	7650598	518146	Pampa Puno	

ESTACION	NORTE	ESTE	Faena	COMPROMISO
PCH-2	7548960	512338	Radomiro Tomic	El objetivo es informar sobre el seguimiento efectuado en las aguas subterráneas de los sectores industriales de la División Radomiro Tomic (DRT) en el marco del Plan de Vigilancia Ambiental, de acuerdo a lo consolidado y sistematizado en la Resolución Exenta N° 132/2012 del proyecto Ampliación
PCH-3	7547472	516721	Radomiro Tomic	Botadero de Ripios, el cual incluye todos los pozos de monitoreo hidrogeológico comprometidos en diversas RCA que sustentan la continuidad operacional de la División.
PCH-4	7546987	513455	Radomiro Tomic	
PCH-12	7547565	511620	Radomiro Tomic	
PCH-13	7546816	511946	Radomiro Tomic	
CB-2	7477062	470066	Sierra Gorda SCL	Para verificar que los resultados de la modelación hidrogeológica, detallado en el Anexo 1-5.1 de la Adenda N° 3 del EIA o Extracto: Verificar que los resultados de la modelación hidrogeológica, detallado en el Anexo 1-5.1 de la Adenda N° 3 del EIA, evolucionen y se mantengan dentro de lo predicho, se implementará un plan de monitoreo que permita registrar a lo largo del tiempo los cambios que efectivamente ocurran en la dinámica del acuífero y en pozos de terceros.
CB-3	7474759	468472	Sierra Gorda SCL	
CB-4	7474778	466947	Sierra Gorda SCL	
CB-5	7476311	461870	Sierra Gorda SCL	
CB-6	7473735	462584	Sierra Gorda SCL	
CB-7	7473958	457133	Sierra Gorda SCL	
CB-8	7472504	457316	Sierra Gorda SCL	
CB-9	7469049	462714	Sierra Gorda SCL	
CB-10	7472183	466418	Sierra Gorda SCL	
CB-11	7470767	458248	Sierra Gorda SCL	
CB-12	7466973	465590	Sierra Gorda SCL	
QSCSG6-237	7470397	467602	Sierra Gorda SCL	
QSG08-402	7475371	465800	Sierra Gorda SCL	
QSG08-493 (Ex 423)	7472800	466053	Sierra Gorda SCL	
SPM-1	7484527	475980	Spence	Punto 9 de la RCA 0015/2004: El programa actualizado de monitoreo hidrogeológico contempla el seguimiento de parámetros asociados a agua subterránea en tres tipos de ubicación, cada una con objetivos específicos:
SPM-2	7478181	471644	Spence	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alerta temprana: corresponde a sitios ubicados aguas abajo de las instalaciones mineras de interés, a una distancia relativamente corta, dentro del área del proyecto. Su objetivo es permitir una detección oportuna de eventuales alteraciones en las aguas subterráneas, de modo que se puedan aplicar medidas correctivas, en caso necesario.</li> <li>Control: corresponde a sitios donde el recurso subterráneo es utilizado por terceros (pozos de producción en este caso), y donde interesa no causar afectación. Su objetivo es verificar que el proyecto no altera las condiciones y características de las aguas subterráneas en estos puntos de control.</li> </ul>
SPM-3	7481096	469757	Spence	<ul style="list-style-type: none"> <li>Condición "natural": corresponde a sitios ubicados aguas arriba de las instalaciones mineras de interés, en lugares no susceptibles de verse afectados por el proyecto. Su objetivo es el seguimiento de las condiciones y características "no alteradas" de las aguas subterráneas afluentes al área de influencia del proyecto</li> </ul>
SPM-4	7482115	469421	Spence	
SPM-5	7483018	470008	Spence	
SPM-6	7480893	471558	Spence	
SPM-7	7480976	473577	Spence	
SPM-8	7482392	475814	Spence	
SPM-10	7479187	472500	Spence	
SPM-11	7478805	470523	Spence	
SPM-12	7477215	476037	Spence	
SPM-13	7477785	473970	Spence	
SPM-14	7476996	472021	Spence	
SPM-15	7475079	472119	Spence	
SPM-16	7474357	474351	Spence	
SPM-17	7473892	471894	Spence	
SPM-18	7472882	470090	Spence	
GTW-17	7479433	475089	Spence	
1001	7392246	575190	SQM Salar S.A.	1 0.2. Plan de seguimiento de las variables Hidrogeológicas
1024	7391600	589475	SQM Salar S.A.	El PSA de las variables hidrogeológicas contempla mediciones en seis sistemas del salar de Atacama. Dichos sistemas son representativos de la dinámica del núcleo: de la dinámica de los sistemas lacustre emplazados en la periferia del salar y de la napa de agua dulce que alimenta la vegetación del borde este. Los sistemas objeto del PSA son los siguientes: Sistema Soncor, Sistema Aguas de Quelana, Sistema Vegetación Borde Este, Sistema Peine, Sector vegas de Tilopozo y Núcleo del Salar de Atacama
1027	7424645	589797	SQM Salar S.A.	
1028	7383998	584433	SQM Salar S.A.	
1906	7418675	576809	SQM Salar S.A.	
2018	7391893	578015	SQM Salar S.A.	

ESTACION	NORTE	ESTE	Faena	COMPROMISO
2021	7414639	577629	SQM Salar S.A.	
2028	7410286	570640	SQM Salar S.A.	1 0.2. Plan de seguimiento de las variables Hidrogeológicas
2037	7391949	583465	SQM Salar S.A.	El PSA de las variables hidrogeológicas contempla mediciones en seis sistemas del salar de Atacama. Dichos sistemas son representativos de la dinámica del núcleo; de la dinámica de los sistemas lacustre emplazados en la periferia del salar y de la napa de agua dulce que alimenta la vegetación del borde este. Los sistemas objeto del PSA son los siguientes: Sistema Soncor, Sistema Aguas de Quelana, Sistema Vegetación Borde Este, Sistema Peine, Sector vegas de Tilopozo y Núcleo del Salar de Atacama
2040	7390080	565600	SQM Salar S.A.	
C1	7418721	585672	SQM Salar S.A.	
C2	7418806	585188	SQM Salar S.A.	
C3	7418888	584688	SQM Salar S.A.	
C4	7418968	584202	SQM Salar S.A.	
C4-B	7424698	579752	SQM Salar S.A.	
C5	7419050	583701	SQM Salar S.A.	
C6	7419628	583821	SQM Salar S.A.	
C7	7417529	583757	SQM Salar S.A.	
D-2	7403780	588663	SQM Salar S.A.	
E-101	7391636	564582	SQM Salar S.A.	
E-324	7393056	563023	SQM Salar S.A.	
EIA-5	7417291	573178	SQM Salar S.A.	
GD-01	7414651	584086	SQM Salar S.A.	
GD-02	7403739	589934	SQM Salar S.A.	
GD-03	7382385	586688	SQM Salar S.A.	
GD-04	7383854	586143	SQM Salar S.A.	
L10-1	7380661	591440	SQM Salar S.A.	
L10-10	7382730	588561	SQM Salar S.A.	
L10-11	7386713	585193	SQM Salar S.A.	
L10-12	7388773	584400	SQM Salar S.A.	
L10-13	7382759	584610	SQM Salar S.A.	
L10-14	7382945	582763	SQM Salar S.A.	
L10-15	7383840	589153	SQM Salar S.A.	
L10-16	7386333	590453	SQM Salar S.A.	
L10-17	7388611	591617	SQM Salar S.A.	
L10-2	7382683	589534	SQM Salar S.A.	
L10-3	7381276	585556	SQM Salar S.A.	
L10-4	7381408	584908	SQM Salar S.A.	
L10-5	7382631	585258	SQM Salar S.A.	
L10-6	7382952	586580	SQM Salar S.A.	
L10-7	7382733	587591	SQM Salar S.A.	
L10-8	7383323	587479	SQM Salar S.A.	
L10-9	7383281	588860	SQM Salar S.A.	
L1-1	7421794	599847	SQM Salar S.A.	
L1-10	7417519	587382	SQM Salar S.A.	
L1-11	7441708	581777	SQM Salar S.A.	
L1-11	7417157	584693	SQM Salar S.A.	
L1-12	7439199	581781	SQM Salar S.A.	
L1-12	7417177	584275	SQM Salar S.A.	
L1-13	7416804	584880	SQM Salar S.A.	
L1-14	7416827	584228	SQM Salar S.A.	
L1-15	7418752	586572	SQM Salar S.A.	
L1-16	7418742	586101	SQM Salar S.A.	
L1-17	7418239	591453	SQM Salar S.A.	
L1-2	7420525	596154	SQM Salar S.A.	
L12-1	7377873	573891	SQM Salar S.A.	
L12-2	7375145	578896	SQM Salar S.A.	
L12-3	7374917	576269	SQM Salar S.A.	
L12-4	7372653	578423	SQM Salar S.A.	
L1-3	7418705	593728	SQM Salar S.A.	
L13-1	7411009	594640	SQM Salar S.A.	
L13-2	7410994	593834	SQM Salar S.A.	
L13-3	7410998	593054	SQM Salar S.A.	
L13-4	7410800	592412	SQM Salar S.A.	
L13-5	7411030	591376	SQM Salar S.A.	
L13-6	7411020	590626	SQM Salar S.A.	
L13-7	7411029	589876	SQM Salar S.A.	
L1-4	7416185	588138	SQM Salar S.A.	
L14-1	7407110	595569	SQM Salar S.A.	
L14-2	7407113	594810	SQM Salar S.A.	

ESTACION	NORTE	ESTE	Faena	COMPROMISO
2021	7414639	577629	SQM Salar S.A.	
2028	7410286	570640	SQM Salar S.A.	1 0.2. Plan de seguimiento de las variables Hidrogeológicas
2037	7391949	583465	SQM Salar S.A.	<p><b>El PSA de las variables hidrogeológicas contempla mediciones en seis sistemas del salar de Atacama. Dichos sistemas son representativos de la dinámica del núcleo; de la dinámica de los sistemas lacustre emplazados en la periferia del salar y de la napa de agua dulce que alimenta la vegetación del borde este. Los sistemas objeto del PSA son los siguientes: Sistema Soncor, Sistema Aguas de Quelana, Sistema Vegetación Borde Este, Sistema Peine, Sector vegas de Tilopozo y Núcleo del Salar de Atacama</b></p>
2040	7390080	565600	SQM Salar S.A.	
C1	7418721	585672	SQM Salar S.A.	
C2	7418806	585188	SQM Salar S.A.	
C3	7418888	584688	SQM Salar S.A.	
C4	7418968	584202	SQM Salar S.A.	
C4-B	7424698	579752	SQM Salar S.A.	
C5	7419050	583701	SQM Salar S.A.	
C6	7419628	583821	SQM Salar S.A.	
C7	7417529	583757	SQM Salar S.A.	
D-2	7403780	588663	SQM Salar S.A.	
E-101	7391636	564582	SQM Salar S.A.	
E-324	7393056	563023	SQM Salar S.A.	
EIA-5	7417291	573178	SQM Salar S.A.	
GD-01	7414651	584086	SQM Salar S.A.	
GD-02	7403739	589934	SQM Salar S.A.	
GD-03	7382385	586688	SQM Salar S.A.	
GD-04	7383854	586143	SQM Salar S.A.	
L10-1	7380661	591440	SQM Salar S.A.	
L10-10	7382730	588561	SQM Salar S.A.	
L10-11	7386713	585193	SQM Salar S.A.	
L10-12	7388773	584400	SQM Salar S.A.	
L10-13	7382759	584610	SQM Salar S.A.	
L10-14	7382945	582763	SQM Salar S.A.	
L10-15	7383840	589153	SQM Salar S.A.	
L10-16	7386333	590453	SQM Salar S.A.	
L10-17	7388611	591617	SQM Salar S.A.	
L10-2	7382683	589534	SQM Salar S.A.	
L10-3	7381276	585556	SQM Salar S.A.	
L10-4	7381408	584908	SQM Salar S.A.	
L10-5	7382631	585258	SQM Salar S.A.	
L10-6	7382952	586580	SQM Salar S.A.	
L10-7	7382733	587591	SQM Salar S.A.	
L10-8	7383323	587479	SQM Salar S.A.	
L10-9	7383281	588860	SQM Salar S.A.	
L1-1	7421794	599847	SQM Salar S.A.	
L1-10	7417519	587382	SQM Salar S.A.	
L11-1	7441708	581777	SQM Salar S.A.	
L11-11	7417157	584693	SQM Salar S.A.	
L11-2	7439199	581781	SQM Salar S.A.	
L11-12	7417177	584275	SQM Salar S.A.	
L11-13	7416804	584880	SQM Salar S.A.	
L11-14	7416827	584228	SQM Salar S.A.	
L11-15	7418752	586572	SQM Salar S.A.	
L11-16	7418742	586101	SQM Salar S.A.	
L11-17	7418239	591453	SQM Salar S.A.	
L1-2	7420525	596154	SQM Salar S.A.	
L12-1	7377873	573891	SQM Salar S.A.	
L12-2	7375145	578896	SQM Salar S.A.	
L12-3	7374917	576269	SQM Salar S.A.	
L12-4	7372653	578423	SQM Salar S.A.	
L1-3	7418705	593728	SQM Salar S.A.	
L13-1	7411009	594640	SQM Salar S.A.	
L13-2	7410994	593834	SQM Salar S.A.	
L13-3	7410998	593054	SQM Salar S.A.	
L13-4	7410800	592412	SQM Salar S.A.	
L13-5	7411030	591376	SQM Salar S.A.	
L13-6	7411020	590626	SQM Salar S.A.	
L13-7	7411029	589876	SQM Salar S.A.	
L1-4	7416185	588138	SQM Salar S.A.	
L14-1	7407110	595569	SQM Salar S.A.	
L14-2	7407113	594810	SQM Salar S.A.	
L14-3	7407116	593699	SQM Salar S.A.	
L14-4	7407155	592926	SQM Salar S.A.	
L14-5	7407286	592187	SQM Salar S.A.	
L14-6	7407328	591426	SQM Salar S.A.	
L14-7	7407520	590656	SQM Salar S.A.	
L1-5	7415017	584234	SQM Salar S.A.	

ESTACION	NORTE	ESTE	Faena	COMPROMISO
L1-6	7416216	589607	SQM Salar S.A.	
L1-7	7416378	587730	SQM Salar S.A.	
L1-8	7416080	584706	SQM Salar S.A.	
L1-9	7417742	587632	SQM Salar S.A.	1 0.2. Plan de seguimiento de las variables Hidrogeológicas.
L2-10	7415104	587394	SQM Salar S.A.	El PSA de las variables hidrogeológicas contempla mediciones en seis sistemas del salar de Atacama. Dichos sistemas son representativos de la dinámica del núcleo; de la dinámica de los sistemas lacustre emplazados en la periferia del salar y de la napa de agua dulce que alimenta la vegetación del borde este. Los sistemas objeto del PSA son los siguientes: Sistema Soncor, Sistema Aguas de Quelana, Sistema Vegetación Borde Este, Sistema Peine, Sector vegas de Tilopozo y Núcleo del Salar de Atacama
L2-11	7412578	586095	SQM Salar S.A.	
L2-12	7411424	584748	SQM Salar S.A.	
L2-13	7412989	584841	SQM Salar S.A.	
L2-14	7410996	581183	SQM Salar S.A.	
L2-15	7414217	587447	SQM Salar S.A.	
L2-16	7415088	586221	SQM Salar S.A.	
L2-17	7414013	584892	SQM Salar S.A.	
L2-18	7416049	583665	SQM Salar S.A.	
L2-19	7416047	583118	SQM Salar S.A.	
L2-2	7416113	599287	SQM Salar S.A.	
L2-20	7414991	580892	SQM Salar S.A.	
L2-21	7414623	587352	SQM Salar S.A.	
L2-22	7416018	584095	SQM Salar S.A.	
L2-23	7415762	586244	SQM Salar S.A.	
L2-24	7415373	585261	SQM Salar S.A.	
L2-25	7414727	592440	SQM Salar S.A.	
L2-26	7414918	593787	SQM Salar S.A.	
L2-27	7412131	593471	SQM Salar S.A.	
L2-28	7412132	594586	SQM Salar S.A.	
L2-3	7415774	596809	SQM Salar S.A.	
L2-4	7414609	591851	SQM Salar S.A.	
L2-5	7414004	588272	SQM Salar S.A.	
L2-6	7412046	583568	SQM Salar S.A.	
L2-7	7415629	593777	SQM Salar S.A.	
L2-8	7416185	590828	SQM Salar S.A.	
L2-9	7414389	586445	SQM Salar S.A.	
L3-10	7409578	591215	SQM Salar S.A.	
L3-11	7409582	591057	SQM Salar S.A.	
L3-12	7409581	590857	SQM Salar S.A.	
L3-13	7409572	590539	SQM Salar S.A.	
L3-14	7409571	589773	SQM Salar S.A.	
L3-15	7409664	594922	SQM Salar S.A.	
L3-16	7409803	597731	SQM Salar S.A.	
L3-2	7409615	598845	SQM Salar S.A.	
L3-3	7409496	594615	SQM Salar S.A.	
L3-4 (SOPM-8)	7408833	587552	SQM Salar S.A.	
L3-5	7409547	593776	SQM Salar S.A.	
L3-6	7409555	593121	SQM Salar S.A.	
L3-7	7409604	592414	SQM Salar S.A.	
L3-8	7409579	591524	SQM Salar S.A.	
L3-9	7409573	591314	SQM Salar S.A.	
L4-11	7406056	590533	SQM Salar S.A.	
L4-12	7406057	590334	SQM Salar S.A.	
L4-13	7406058	590202	SQM Salar S.A.	
L4-14	7406060	590069	SQM Salar S.A.	
L4-15	7406063	589871	SQM Salar S.A.	
L4-16	7406100	588870	SQM Salar S.A.	
L4-17	7405963	595169	SQM Salar S.A.	
L4-3	7406265	596113	SQM Salar S.A.	
L4-4	7405733	594798	SQM Salar S.A.	
L4-5	7406037	589608	SQM Salar S.A.	
L4-6	7405468	585967	SQM Salar S.A.	
L4-7	7406038	593769	SQM Salar S.A.	
L4-8	7406128	593360	SQM Salar S.A.	
L4-9	7406144	592624	SQM Salar S.A.	
L5-1	7403308	600352	SQM Salar S.A.	
L5-10	7403629	591911	SQM Salar S.A.	
L5-11	7403630	591831	SQM Salar S.A.	
L5-12	7403640	591686	SQM Salar S.A.	
L5-13	7403660	591482	SQM Salar S.A.	
L5-14	7403676	591163	SQM Salar S.A.	

ESTACION	NORTE	ESTE	Faena	COMPROMISO
L5-15	7403723	590791	SQM Salar S.A.	
L5-2	7403455	597046	SQM Salar S.A.	
L5-3	7403544	593971	SQM Salar S.A.	
L5-4	7403703	589566	SQM Salar S.A.	
L5-6	7404843	595818	SQM Salar S.A.	
L5-7	7403481	595449	SQM Salar S.A.	1 0.2. Plan de seguimiento de las variables Hidrogeológicas
L5-8	7403503	594827	SQM Salar S.A.	
L5-9	7403631	592139	SQM Salar S.A.	
L7-1	7426657	599733	SQM Salar S.A.	
L7-10	7420011	586780	SQM Salar S.A.	
L7-11	7419861	586522	SQM Salar S.A.	
L7-12	7419493	583934	SQM Salar S.A.	
L7-13	7422455	594116	SQM Salar S.A.	
L7-14	7422403	592287	SQM Salar S.A.	
L7-15	7422678	599594	SQM Salar S.A.	
L7-2	7425182	597177	SQM Salar S.A.	
L7-3	7422583	591858	SQM Salar S.A.	
L7-4	7422858	588645	SQM Salar S.A.	
L7-5	7420405	583852	SQM Salar S.A.	
L7-6	7422552	595207	SQM Salar S.A.	
L7-7	7422843	589094	SQM Salar S.A.	
L9-1	7396682	594862	SQM Salar S.A.	
L9-2	7396786	594487	SQM Salar S.A.	
M1-C	7389115	566254	SQM Salar S.A.	
M2-C	7389269	558734	SQM Salar S.A.	
M7	7393787	562663	SQM Salar S.A.	
P1-1	7414807	584114	SQM Salar S.A.	
P1-2	7414914	584160	SQM Salar S.A.	
P1-3	7415117	584260	SQM Salar S.A.	
P1-4	7415196	584319	SQM Salar S.A.	
P1-5	7415372	584435	SQM Salar S.A.	
P1-6	7415521	584560	SQM Salar S.A.	
P1-7	7415711	584676	SQM Salar S.A.	
P2-1	7414518	586395	SQM Salar S.A.	
P2-2	7414713	586329	SQM Salar S.A.	
P2-3	7414892	586272	SQM Salar S.A.	
P2-4	7415282	586213	SQM Salar S.A.	
P2-5	7415498	586220	SQM Salar S.A.	
Sample-4	7379370	553221	SQM Salar S.A.	
SOPE-6	7402012	571691	SQM Salar S.A.	
SOPM-10	7398886	586802	SQM Salar S.A.	
SOPM-11	7393743	586120	SQM Salar S.A.	
SOPM-12C	7394294	574439	SQM Salar S.A.	
SOPM-13	7413065	583766	SQM Salar S.A.	
SOPM-14	7414053	583989	SQM Salar S.A.	
SOPM-02	7404052	571302	SQM Salar S.A.	
SOPM-04	7409931	578577	SQM Salar S.A.	
SOPM-05	7405277	579551	SQM Salar S.A.	
SOPM-07	7412046	583568	SQM Salar S.A.	
SOPM-09	7403823	587170	SQM Salar S.A.	
Zar-C-S	7387590	547922	SQM Salar S.A.	
RC-7	7414651	584086	SQM Salar S.A.	
L1-G4	7414817	585210	SQM Salar S.A.	
L3-4 (SOPM 08)	7412046	583568	SQM Salar S.A.	
SOPM -9	7398886	586802	SQM Salar S.A.	
SOPM-2	7404052	571302	SQM Salar S.A.	
SOPM-4	7409931	578577	SQM Salar S.A.	
SOPM-5	7405277	579551	SQM Salar S.A.	
Cuña 1	7417502	588592	SQM Salar S.A.	
Cuña 2	7417901	589402	SQM Salar S.A.	
Cuña 3	7420047	592879	SQM Salar S.A.	
Cuña 4	7405987	594842	SQM Salar S.A.	
Cuña 5	7406110	593362	SQM Salar S.A.	
Cuña 6	7406265	596113	SQM Salar S.A.	
Cuña 7	7382219	587723	SQM Salar S.A.	

A continuación, se muestran en forma gráfica la ubicación de los puntos de monitoreo de Terceros (Figura 4.3)

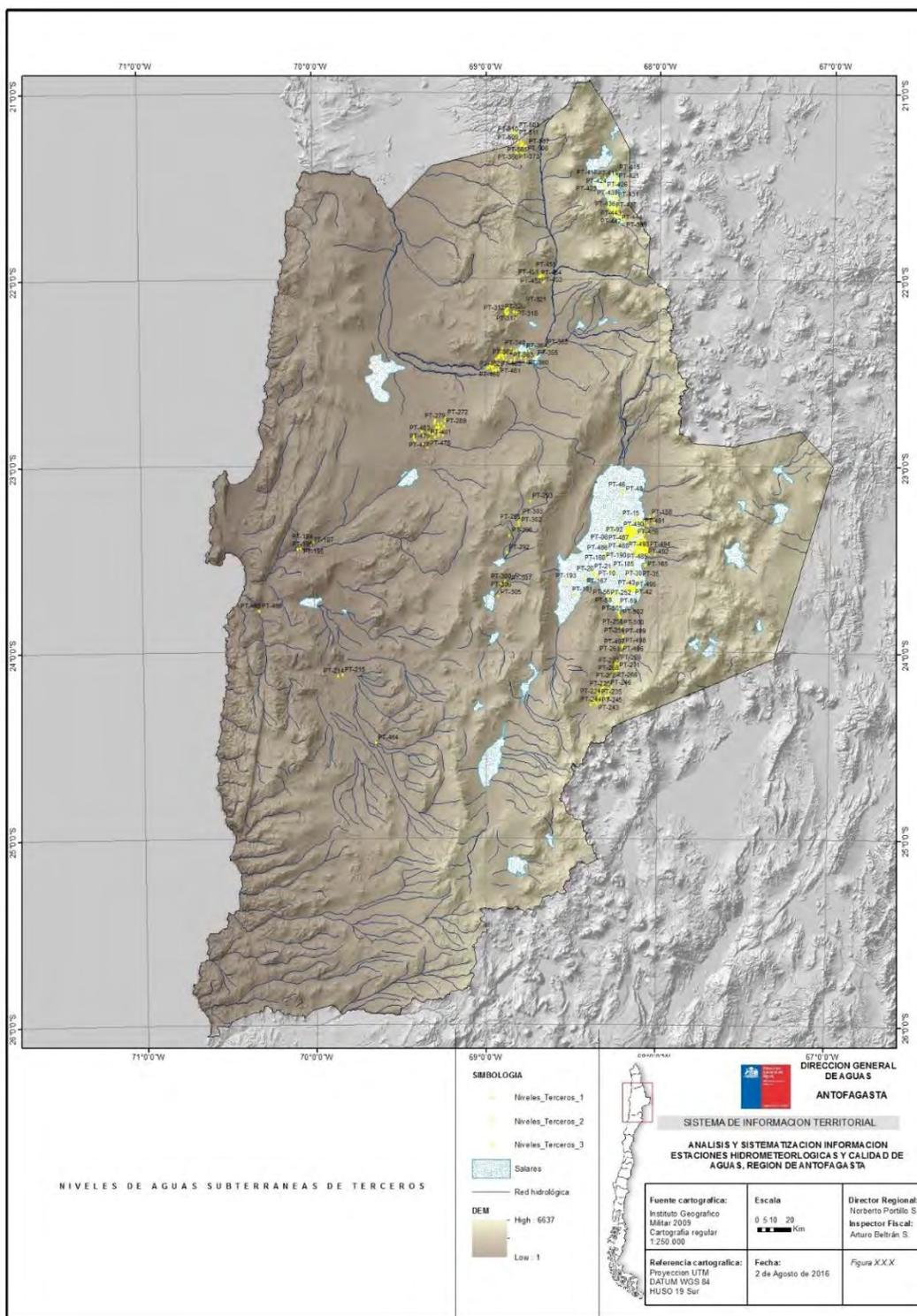


Figura 4.3: Ubicación Geográfica de los Pozos de Monitoreo de Agua Subterránea de Terceros.

Del análisis de la mayoría de RCA, se pueden establecer que los compromisos de monitoreo de agua subterránea siguen la lógica de responder a la necesidad de la autoridad y/o de los municipios y/o comunidades, respecto del efecto que pudiesen provocar sobre los cuerpos de agua (acuíferos, lagunas, vertientes, etc) y áreas protegidas o de interés biótico (Vegas, bofedales, salares , etc) ,las extracciones de agua informadas por cada empresa. Lo anterior generalmente ha implicado la construcción o habilitación de una serie de pozos (baterías) en las cercanías de los puntos de extracción y en aquellas áreas que pudiesen ser afectadas por esta. Consecuentemente es muy probable encontrar redes de monitoreo que son relativamente densas (más de 3 en la misma zona), que por obligación adquirida a través de la RCA entregan información en forma continua, y que en la mayoría de los casos están funcionando hace más de 4 años, salvo los proyectos más nuevos, que sin embargo dado la extensión de estos en un par de años tendrán series mayores al valor indicado. Lo anterior configura condiciones para que estas redes superen los niveles de aceptación considerados para las estaciones de monitoreo de la DGA. Si a lo anterior se agrega que en algunos casos estas baterías se encuentran en zonas no controladas por la DGA, parece recomendable ver la posibilidad de agregar estos puntos a la red de monitoreo de la DGA o en su defecto solicitar a las empresas autorización para utilizar los pozos de monitoreo para colocar instrumental de la propia DGA.

#### 4.7. Validación de Información de Terceros

En base a la información relevada y al análisis establecido en la sección anterior se han definido los siguientes criterios de validación para los pozos de monitoreo de aguas subterráneas de Terceros serán los definidos para la determinación de Patrones Representativos, es decir:

N° de Observaciones Continuas: 4 años de mediciones continuas.

N° de Puntos de Monitoreo: se requieren al menos 3 estaciones para poder determinar si alguna de ellas tiene un comportamiento anómalo

Series con antigüedad: Para efectos de este análisis se considera que los registros faltantes en una serie no deben ser mayores a la extensión de la serie continua más cercana.

A continuación, se muestra la información por Operación y solo la información que se a podido relevar

Operación	Puntos de Monitoreo	1990									2000									2010					
		3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	
aguas Blancas	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	8
Chuquicamata	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11	0	
El Abra	73	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	12	12	12	12	10		
El Peñon	1	0	0	0	0	0	0	10	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	0	0	0	
El Tesoro	16	8	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
Gaby	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	12	12	12	12	12	12	6	
Roodwood Litio	2	0	0	0	2	12	12	12	12	12	12	5	8	2	0	0	0	0	3	2	12	12	9		
Mantos Blancos	4	0	0	0	0	0	5	12	12	12	0	0	0	0	0	0	0	6	12	12	12	12	12		
Min. Escondida Ltda.	56	0	0	0	0	0	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12		
Min.Zaldivar SpA.	7	0	5	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	0	12	12	12	12	12	12	12		
Ministro Hales	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	0		
Pampa Puno	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12		
Radomiro Tomic	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	0		
Sierra Gorda SCL	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	12	12	12	10			
Spence	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	12	12	6			
SQM Salar S.A.	207	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	12	12	12	12	12	12	12	6		

Tabla 4.8 Listado de pozos de monitoreo por Operación y stock de información recabada.

Considerando que cada operación está monitoreando un área definida, asociada a una cuenca o acuífero y que las operaciones de Mansa Mina – Radomiro Tomic y Chuquicamata están operando en la cuenca de Calama y pueden ser consideradas como una unidad. Tenemos que por el criterio de puntos de monitoreo no cumplirían Aguas Blancas, El peñón y Roodwood .

De los restantes por continuidad se debería descartar a Spence, pero dado el proyecto viene del 2004, es posible que consiguiendo más información histórica pueda cumplir este criterio

El criterio de series de con antigüedad es cumplido por todos los proyectos restantes.

Operación	SISTEMA COMPROMISO
El Abra	PAT OLLAGUE
El Tesoro	PAT CALAMA
Gaby	PAT ELVIRA LOS MORROS
Min. Escondida Ltda.	PAT MNT
Min.Zaldivar SpA.	PAT MNT
Pampa Puno	PAT PAMPA PUNO
Chuquicamata	PLAN DE VIGILANCIA CODELCO
Ministro Hales	PLAN DE VIGILANCIA CODELCO
Radomiro Tomic	RCA
Mantos Blancos	
Sierra Gorda SCL	
SQM Salar S.A.	

Tabla 4.9 Proyectos Que superan los criterios de validación y los compromisos o planes a los que responden en forma periódica

De acuerdo a este análisis gran parte de las operaciones podrían ser consideradas para mejorar la cobertura geográfica y densidad de la actual red de la DGA. Por otra parte, se da que la mayoría de estos proyectos se encuentran asociados a un Plan de Alerta Temprana (PAT) o un Plan de Vigilancia, por lo que están periódicamente informando a la autoridad.

Finalmente indicar que en forma complementaria la información de las series de mediciones de nivel estático será sistematizada, en una aplicación desarrollada para tales efectos y que es parte de este proyecto.

#### 4.8. Conclusiones y Recomendaciones

Al analizar los resultados tanto del análisis de niveles de aceptación como el índice de la EEA, sobre las estaciones de monitoreo de Agua subterránea de la DGA se puede reconocer una situación bastante precaria, en términos de la cantidad y distribución de estas, lo que hace poco conducente buscar Parámetros Representativos en la información generada por estas por estas (salvo en las cuencas Turi y aguas verdes), No obstante lo anterior se han encontrado una serie de redes de monitoreo de agua subterránea de terceros que superen os niveles mínimos de aceptación definidos en la metodología. A lo anterior se debe agrega que en casi todos los casos estas redes se encuentran en zonas no controladas por la autoridad, por lo que parece recomendable ver la posibilidad de agregar estos puntos a la red de monitoreo de la DGA o en su defecto solicitar a las empresas autorización para utilizar los pozos de monitoreo para colocar instrumental de la propia DGA.

## CAPÍTULO 5. MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA

### 5.1. Descripción General

Por la extensión temporal sus registros, la cobertura territorial de sus estaciones y la estandarización de los procesos analíticos de su laboratorio se ha definido como *red de monitoreo fluviométrica* base para la región de Antofagasta, a la operada por la Dirección General de Aguas (DGA). Esta red está conformada por 20 estaciones, de las cuales 16 son superficiales y 4 subterráneas. En la Tabla (5.1) se muestran las estaciones de Calidad de la región.

COD_BNA	NOMBRE	ESTE	NORTE	ALTURA	TIPO
02101002-2	Río loa en represa lequena	535078	7604511	3308	Superficial
02104013-4	Río loa en vado Santa barbara	540243	7569856	3035	Superficial
02104002-9	Río loa en salida embalse conchi	539131	7564050	2976	Superficial
02104005-3	Río loa antes junta Río salado	535794	7526763	2509	Superficial
02110012-9	Agua potable calama	507409	7515913	2262	Subterránea
02110001-3	Río Loa en escorial (1)	511462	7518218	2451	Superficial
02110002-1	Río loa en la finca	501162	7510904	2107	Superficial
02111002-7	Río loa en zona agrícola quillagua	444473	7604611	809	Superficial
02120001-8	Río loa en desembocadura	390619	7630039	8	Superficial
02103001-5	Río san pedro en parshall n"1	565242	7570373	3777	Superficial
02105007-5	Río toconce antes represa sendos	588046	7536321	3409	Superficial
02105002-4	Río salado en sifon ayquina	567487	7534983	2979	Superficial
02104012-6	Pozo chiu chiu	541542	7529883	2553	Subterránea
02111002-7	Río san salvador antes junta Río loa	445815	7523208	1219	Superficial
02210001-7	Agua potable tocopilla	377112	7557156	46	Subterránea
02710001-5	Agua potable antofagasta	356997	7383635	8	Subterránea
02500004-8	Canal vilama en vilama	584011	7470563	2536	Superficial
02500005-6	Canal cuno en socaire	617767	7387891	3621	Superficial
02500006-4	Canal tilomonte antes represa	591962	7367608	2428	Superficial
02510001-8	Río san pedro en cuchabrachi	582060	7475521	2585	Superficial

Tabla 5.1 Estaciones DGA de monitoreo de Calidad de Agua, ( UTM en WSG 84 Huso 19-S) , con alturas calculadas como proyecciones sobre un DEM ASTER-13

La Estación de Río Loa en Escorial tiene registros solo hasta el año 2010.

Los registros de las estaciones Fluviométricas han sido obtenidos a partir de la información sistematizada por la DGA, en su *Sistema Nacional de Información de Agua* (SNIA) (<http://snia.dga.cl/BNAConsultas/reportes>). Esta información se encuentra disponible para las variables asociadas a la medición de parámetros físico químicos y el análisis de concentraciones de elementos orgánicos y metales siendo parte del Banco Nacional de Agua (BNA). La figura 4.1 muestra la ubicación geográfica de estas

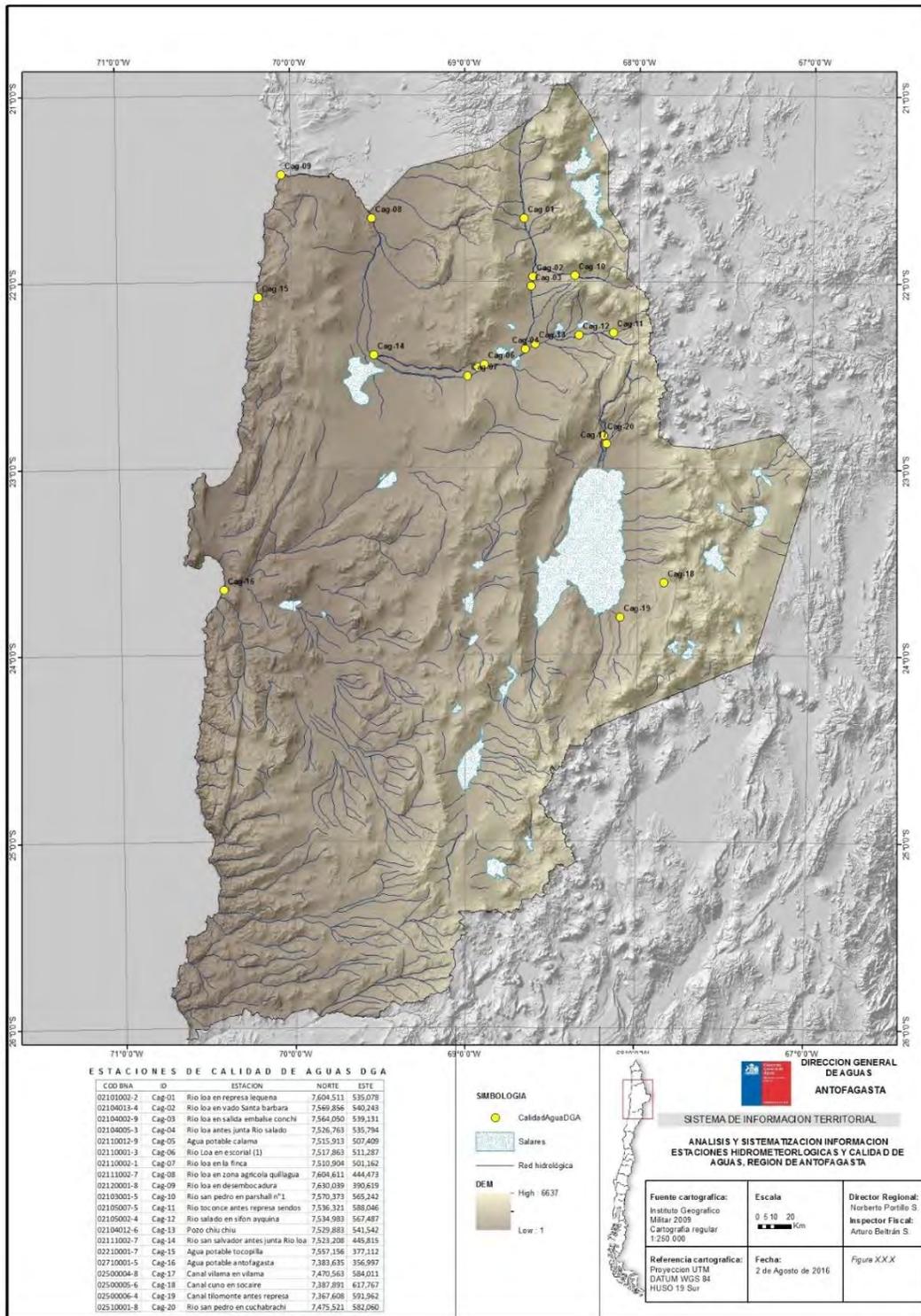


Figura 5.1: Mapa de Estaciones de Calidad Vigentes

Como se puede observar gran parte de los puntos de monitoreo de aguas superficiales se encuentran en la cuenca del Rio Loa (12 estaciones), quedando 4 en el salar de Atacama. Por su parte los puntos de Monitoreo de agua subterránea están asociados a puntos de extracción de agua potable (Antofagasta, Tocopilla y Calama) y minería (Chiu-Chiu).

En términos generales el monitoreo se realiza cada 3 o 4 meses por personal de la DGA regional. quienes toman información de parámetros Físico/Químico in situ para luego extraer y preparar muestras de agua para ser enviadas al Laboratorio central de la DGA en Santiago Una vez que se validan los datos generados por la analítica estos son puestos a disposición del público a través de la plataforma computacional (SNIA).

El proceso de toma de muestra está definido por el Manual de Normas y Procedimiento, SIT N° 132, del año 2007, el que fue generado por el departamento de conservación y protección de recursos hídricos de la DGA. Este establece entre otros aspectos, que las mediciones in-situ deben realizarse con un Equipo Multiparámetro, debiéndose registrar: la temperatura, pH, conductividad específica (25°C), turbiedad y oxígeno disuelto. Por su parte el uso de envases y la **preparación de las muestras cumplen con la Norma Chilena para "Muestreo de aguas residuales. Recolección y manejo de las muestras" NCh 411/10- 2005.**

Por su parte la analítica de laboratorio busca agrupar los parámetros descriptores en conjuntos homogéneos que permitan una interpretación de los resultados analíticos, pudiéndose organizar de acuerdo con el aspecto físico, la carga orgánica y los elementos minerales presentes en el agua. (CIDERH- 2014).

Un registro detallado sobre los parámetros analizados en las estaciones de la región se puede encontrar las fichas de los anexos de trabajo **"Análisis crítico de la red de calidad de aguas superficiales y subterráneas de la DGA" (INFRAECO-2014)**, de los cuales se muestra un ejemplo para la estación **"Rio Loa en la Finca"** en la figura 5.2.

		<b>ANÁLISIS CRÍTICO DE LA RED DE CALIDAD DE AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS</b>					
<b>RESUMEN DE ANALÍTICAS POR ESTACIONES</b>							
		ESTACIÓN	Código	Denominación	Cuenca	Región	
			02110004	RIO LOA EN LA FINCA	21	02	
Parámetro	Nº analíticas	Analíticas < LQ	Promedio Parámetro	Desvest Parámetro	CV	% de datos < LQ	Grupo
Boro	70	0	16.90	5.26	0.31	0%	Grupo 3
Aluminio Total	43	23	0.31	0.18	0.58	53%	Grupo 3
Arsenico total	83	1	1.55	0.51	0.33	1%	Grupo 3
Bicarbonato	54	0	296.60	98.23	0.33	0%	Grupo 3
Cadmio total	43	41	0.01	0.00	0.20	95%	Grupo 1
Calcio disuelto	65	0	227.99	48.92	0.21	0%	Grupo 3
Calcio total	6	0	243.95	65.96	0.27	0%	nº analíticas < 15
Carbonato	53	0	4.55	13.75	3.02	0%	Grupo 3
Cianuro							
Cloruro	71	0	2480.96	433.24	0.17	0%	Grupo 3
Cobalto Total	42	39	0.01	0.00	0.15	93%	Grupo 1
Cobre total	72	22	0.03	0.05	1.57	31%	Grupo 3
Coliformes Fecales							
Coliformes Totales							
Conductividad Específica	93	0	8285.73	1370.07	0.17	0%	Grupo 3
Cromo Hexavalente Disuelto	6	6	0.02	0.01	0.55	100%	nº analíticas < 15
Cromo Hexavalente Total	43	22	0.01	0.00	0.36	51%	Grupo 3
Demanda Bioquímica de Oxígeno - 5 dias							
Demanda Química de Oxígeno	38	5	24.87	19.06	0.77	13%	Grupo 3
Dureza (CaCO3)							
Hierro total	74	10	0.12	0.31	2.57	14%	Grupo 3
Fluoruro							
Fosfato							
Fosforo total	55	0	0.74	0.45	0.60	0%	Grupo 3
Litio disuelto							
Magnesio disuelto	65	0	137.34	24.97	0.18	0%	Grupo 3
Magnesio total	6	0	126.40	37.08	0.29	0%	nº analíticas < 15
Manganeso total	51	23	0.02	0.03	1.30	45%	Grupo 3
Mercurio disuelto	2	2	0.00	0.00	0.00	100%	nº analíticas < 15
Mercurio total	49	36	0.00	0.00	0.46	73%	Grupo 3
Molibdeno disuelto	51	25	0.03	0.02	0.60	49%	Grupo 3
Niquel total	46	40	0.02	0.02	1.20	87%	Grupo 1
Nitrato	55	0	0.56	1.31	2.32	0%	Grupo 3
Nitrito	2	0	0.01	0.01	0.61	0%	nº analíticas < 15
Nitrogeno Amoniacal	2	0	0.13	0.13	1.05	0%	nº analíticas < 15
Nitrogeno Organico							
Nitrógeno Total							
Oxígeno Disuelto	55	0	8.00	1.91	0.24	0%	Grupo 3
Ph	94	0	7.81	0.38	0.05	0%	Grupo 3
Plata total	43	42	0.01	0.00	0.29	98%	Grupo 1
Plomo total	41	33	0.03	0.02	0.65	80%	Grupo 1
Potasio disuelto	65	0	97.12	47.86	0.49	0%	Grupo 3
Potasio total	6	0	118.94	71.12	0.60	0%	nº analíticas < 15
Razon de Absorción de Sodio (RAS)	57	0	17.00	3.94	0.23	0%	Grupo 3
Selenio disuelto	34	32	0.00	0.00	0.00	94%	Grupo 1
Selenio total							
Silice							
Sodio disuelto	65	0	1300.18	326.42	0.25	0%	Grupo 3
Sodio total	6	0	1729.61	1154.53	0.67	0%	nº analíticas < 15
Solidos Suspendidos Totales							
Sulfato	68	0	456.40	496.50	1.09	0%	Grupo 3
Temperatura del Agua	69	0	13.74	2.95	0.21	0%	Grupo 3
Turbiedad Nefelométrica							
Zinc total	42	22	0.01	0.01	0.63	52%	Grupo 3
<b>TOTAL</b>	<b>1885</b>	<b>424</b>					

Figura 5.2: Ficha detallada de parámetros para la estación "Rio Loa en la Finca" (Infraeco, 2014)

Muchos de los parámetros que se muestran tienen carácter normativo, pues dependiendo de su uso, se han definido límites máximos de concentración, siendo los más estrictos aquellos que se relacionan con su uso como bebida para el consumo humano. Para efectos de este trabajo se utilizarán las normas chilenas para agua

potable (Nch 409/1 2005) y la Norma de requisitos de calidad de agua para distintos usos (NCh-1333) considerando el uso para riego. A continuación, se muestran los límites máximos considerados para diferentes elementos químicos.

Parámetros	Unidad	Expresión	Límite Máximo	
			Nch409 Aqua Potable	Nch1333 (Riego)
Aluminio	mg/L	Al		5
Amoniaco	mg/L	N	1.5	
Arsénico	mg/L	As	0.01	0,1
Berilio	mg/L	Be		0,1
Boro	mg/L	B		0,75
Bario	mg/L	Ba		4
Cadmio	mg/L	Cd	0.01	0,01
Cianuro	mg/L	CN-	0.05	0,2
Cloruros	mg/L	Cl-	400	200
Cobalto	mg/L	Co		0,05
Cobre Total	mg/L	Cu	2	0,2
Compuestos Fenólicos	mg/L	Fenol	0.002	
Cromo	mg/L	Cr	<b>0.05</b>	0,1
Cromo Hexavalente	mg/L	Cr6+		
Conductividad Eléctrica	(µS/cm)	CE		750
Detergentes	mg/L	SAAM		
Fluoruro	mg/L	F-	1.5	1
Hierro Disuelto	mg/L	Fe	0.3	5
Litio	mg/L	Li		2,5
Magnesio	mg/L	Mg	125	
Manganeso	mg/L	Mn	0.1	0,2
Mercurio	mg/L	Hg	0.001	0,001
Molibdeno	mg/L	Mo		0,01
Níquel	mg/L	Ni		0,2
Nitrato	mg/L	NO3	50	
Nitritos	mg/L	NO <sub>2</sub>	3	
pH	Unidad	pH	6,5- 8,5	5,5-9,0
Plata	mg/L	Ag		0,2
Plomo	mg/L	Pb	0.05	5
Selenio	mg/L	Se	0.01	0,02
Sodio Porcentual	%	Na		35
Sólidos Suspendidos	mg/L	SS		
Sulfatos	mg/L	SO <sub>4</sub>	500	250
Vanadio	mg/L	Va		0,1
Zinc	mg/L	Zn	3	2

Tabla 5.2 Límites de concentración definidas en normas chilenas de calidad de Agua.

## 5.2 Análisis de información de Calidad de Agua Estaciones DGA

La implementación de una red de calidad del agua tiene como objetivo establecer un sistema de monitoreo que reunirá los elementos necesarios para una evaluación de la calidad de los recursos hídricos de una región, debiendo considerar como objetivo el proporcionar los datos necesarios para el análisis de factores como la variabilidad de los parámetros en condiciones naturales o antrópicas y la variabilidad estacional de los mismos (CIDERH,2014).

Los monitoreos pueden ayudar en la generación series de análisis para las concentraciones de diversos elementos químicos, así como valores observados par una serie variable físico químicas (Temperatura, conductividad pH, etc.) que permiten caracterizar cualitativamente tanto las aguas carácter superficial como las de carácter subterráneo. Por otra parte, las mediciones pueden ser analizadas a la luz de factores normativos o situaciones de presión o riesgo sobre los recursos hídricos, sirviendo para la detección y /o prevención de tales situaciones.

Al realizar una detallada revisión de la información base del Banco Nacional de Aguas (BNA) se ha verificado que la base de información tiene diversas extensiones, dependiendo de cada estación, y que a partir del año 2006 se ha dejado de medir el  $\text{HCO}_3^-$  (bicarbonato), No obstante, lo anterior se buscara analizar las series previas buscando establecer patrones de análisis.

### 5.2.1 Caracterización hidro química de las aguas bajo monitoreo de la DGA

Para realizar la descripción hidroquímica de los cursos superficiales y subterráneos, se analizan los datos trimestrales de parámetros fisicoquímicos y de los iones mayoritarios proporcionados por las estaciones de la Dirección General de Aguas, DGA.

A diferencia de otras series de monitoreo, no se puede generar rutinas de relleno o extensión para este tipo de datos, dado que la química de agua no resiste un análisis estadístico para correlacionar datos tomados en dos estaciones distintas, debido a las características geológicas locales e interacciones entre las aguas en confluencias o entre suelo y agua.

Para evaluar los datos tomados, se efectuó un análisis de consistencia con el cual se buscó seleccionar las muestras (registros) que se utilizarían para confeccionar diagramas explicativos como el de Piper o el de Stiff ,ampliamente utilizados para caracterizar la composición química de las aguas.

El análisis de consistencia se basa en la realización de un balance iónico para cada muestra que presentan las estaciones a analizar. Este balance pondera las concentraciones de cationes y aniones, medidos en miliequivalentes por litro.

$$CBE = \frac{\sum \text{Cationes} - \sum \text{Aniones}}{\sum \text{Cationes} + \sum \text{Aniones}} * 100$$

El balance debe ser neutro ya que todas las aguas son eléctricamente neutras.

Los rangos de error para aceptar o no el análisis de una muestra de agua, dependen del valor de conductividad eléctrica o de la suma de aniones. Estos valores son conservadores y por lo tanto, se acepta un valor máximo de 10%, siendo que el 5% es el valor más común. (CIDERH,2014) (Arrau,2014). Una discusión mas detallada se puede encontrar en <http://gidahatari.com/ih-es/factores-que-influencian-el-balance-ionico>

Para el Balance iónico se ha considerado el uso de los siguientes elementos, denominados iones mayoritarios:

- Cationes: Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>
- Aniones: HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>-2</sup>, Cl<sup>-</sup>, N/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, P/PO<sub>4</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>

Para visualizar rápidamente la calidad de agua utilizaremos el diagrama de Stiff , pues además de representar las concentraciones de los iones considerados (cationes : Ca<sup>+2</sup>, Na<sup>+</sup> y Mg<sup>+2</sup> y aniones Cl<sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> y SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>) , por la forma del polígono que se genera , permite obtener una rápida idea del contenido salino general del agua, en términos de macro iones, además de permitir visualizar el predominio de alguna de las sales más típicamente presentes, como son el Bicarbonato de Calcio, el Sulfato de magnesio y el cloruro de sodio. Para la confección de los Diagramas de Stiff se consideran solo los datos de las muestras que aprueban el balance iónico, los cuales son promediados para calificar cualitativamente un comportamiento medio de las aguas.

Por otra parte debido a la variabilidad fluviométrica y climática que se produce al interior de las cuencas, es coherente estudiar la variación de parámetros físico-químicos en los cauces a lo largo de las estaciones del año. Los parámetros a observarse corresponden al pH, la conductividad eléctrica (CE), la temperatura y el potencial redox (en caso de ser medido regularmente). La variabilidad estacional de alguno de estos parámetros puede introducir hipótesis de trabajo respecto al origen de las alzas o bajas de uno o más de ellos, lo que pueden estar ligados a altas concentraciones de distintos elementos.

Finalmente para observar la variabilidad estacional de los parámetros, se clasifica por fecha cada muestra, para luego, ser graficadas usando diagramas de caja (Box-Plot), los que desglosan los datos estadísticos por cuartiles. Generalmente, un diagrama de caja consiste en una caja que lleva una línea punteada sobre y bajo sus límites, siendo estos límites el tercer y primer cuartil respectivamente. La caja está dividida por una línea, que representa el segundo cuartil, i.e. la mediana. Las líneas punteadas que emergen de los límites superior ( $L_S$ ) e inferior ( $L_I$ ) de la caja terminan en los valores correspondientes a los límites de la estadística. Los límites se determinan usando los valores correspondientes al tercer ( $Q_3$ ) y primer cuartil ( $Q_1$ ).

$$L_S = Q_3 + (Q_3 - Q_1) \cdot 1.5$$

$$L_I = Q_1 - (Q_3 - Q_1) \cdot 1.5$$

Dado que los límites no son los valores máximos y mínimos de la estadística, los valores que no quedan entre los límites son valores extremos que quedan fuera del diagrama (outliers).

A continuación, se muestra un resumen de los resultados obtenidos:

Se desarrollan los diagramas de Stiff para todas las estaciones, mostrándose a modo de ejemplo los correspondientes a la estación del Rio Loa en la Finca a la estación

de Agua Potable de Antofagasta (Figura 5.5) quedando el resto como parte del respaldo digital del proyecto.

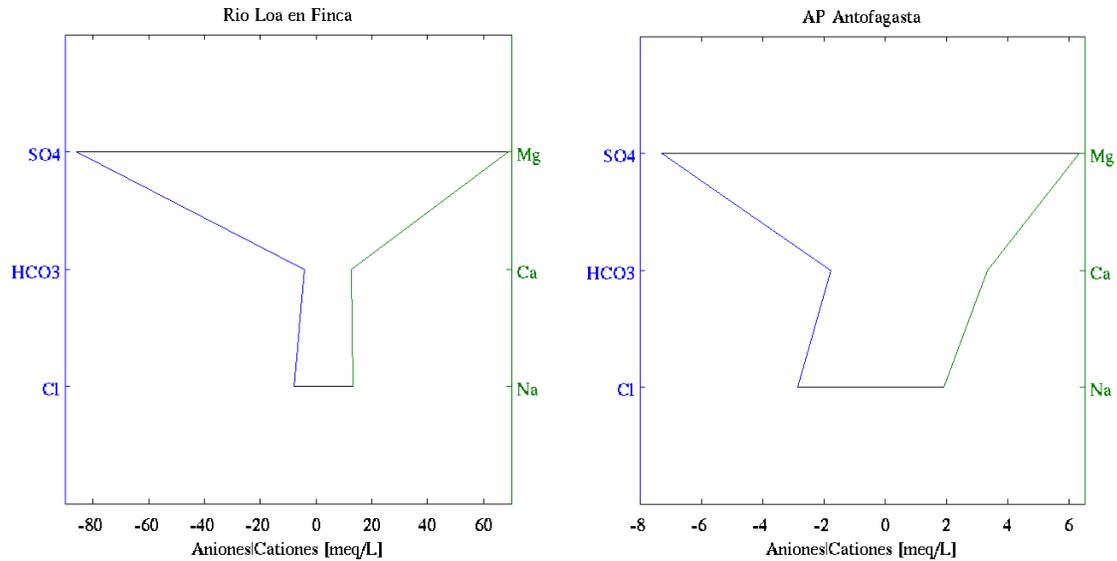


Figura 5.3: Diagrama de Stiff

Para efectos ilustrativos algunos de estos diagramas se grafican juntos para dar cuenta de la variación de los iones mayoritarios a lo largo del río Loa. (figura 5.6)

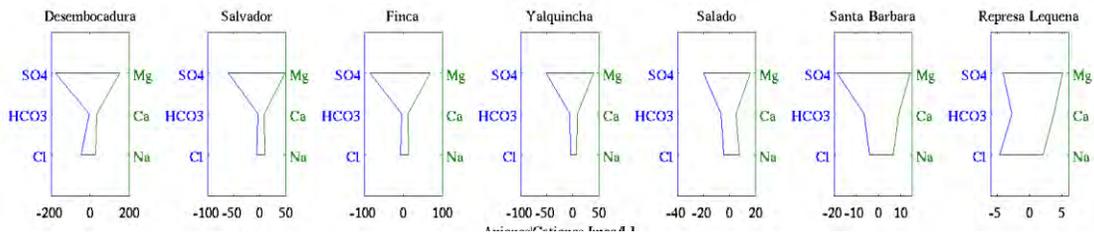


Figura 5.4: Diagramas de Stiff a lo largo del río Loa.

A partir de esta información se puede observar un alza generalizada de las concentraciones de los iones considerados para el diagrama de Stiff desde una zona de cabecera del río hasta su desembocadura, aumentando en dos órdenes de magnitud. De igual forma, se puede apreciar un cambio en la forma de diagrama, separando el comportamiento en dos: entre el subgráfico 1 y 4; y entre el subgráfico 5 y 7. Este cambio se debe principalmente a un alza en la concentración de  $SO_4^{2-}$ , que puede provenir de algún afluente en el tramo entre las estaciones Río Loa en Yalquincha y Río Loa Antes Junta Salado.

Por su parte se realizan los diagramas de caja para todas las estaciones para los parámetros de pH, CE y temperatura, mostrándose a modo de ejemplo los gráficos asociados a la estación Río Loa en La Finca (figura 5.7), quedando el resto de los gráficos en el respaldo digital de este proyecto.

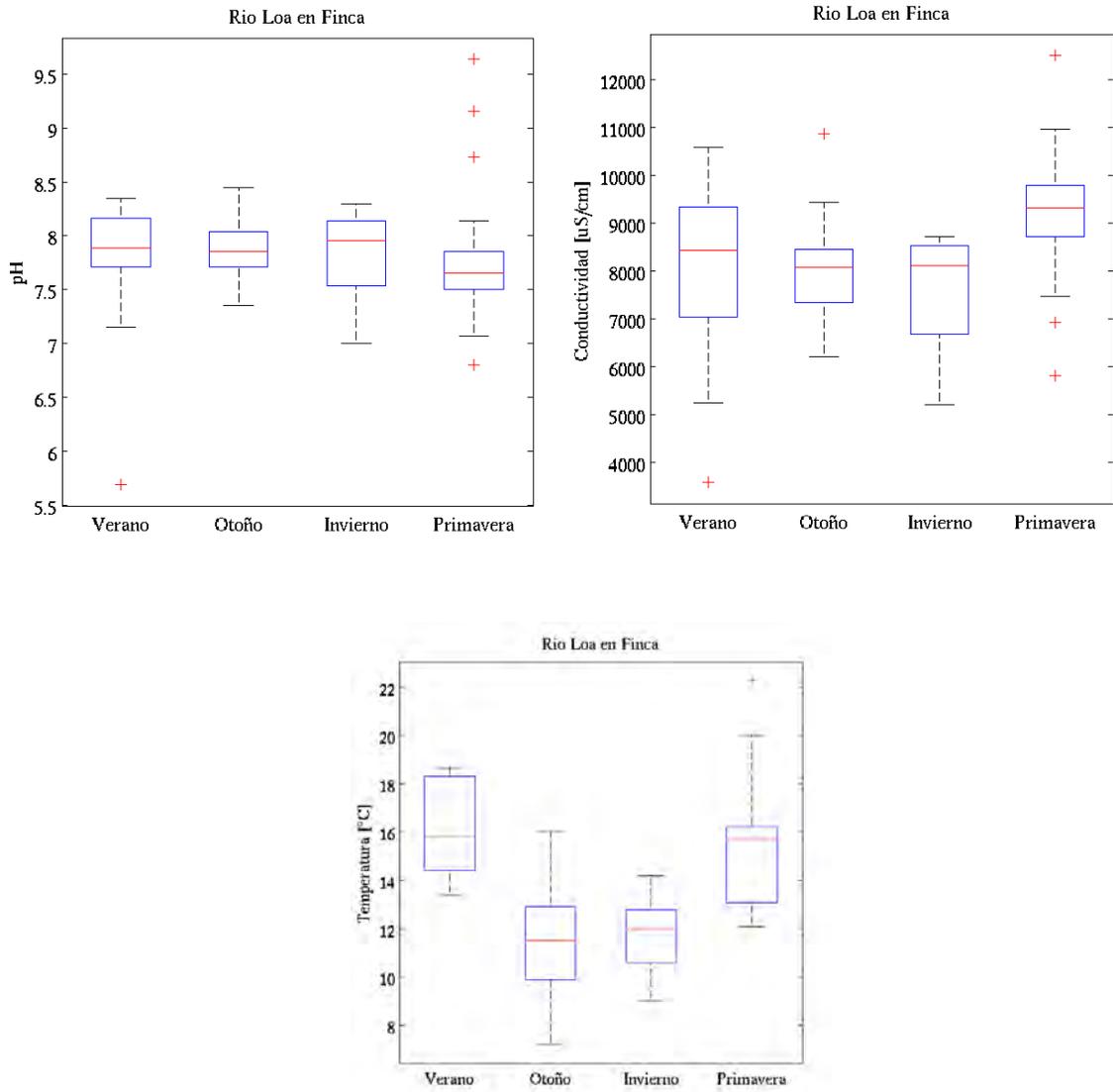
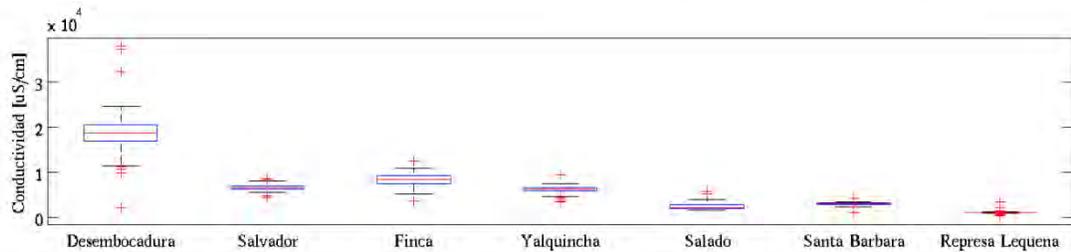


Figura 5.5: Diagramas de caja de la Estación Río Loa en la Finca

Para efectos ilustrativos algunos de estos diagramas de caja se grafican juntos para dar cuenta de la variación de los parámetros a lo largo del río Loa. (figura 5.8)



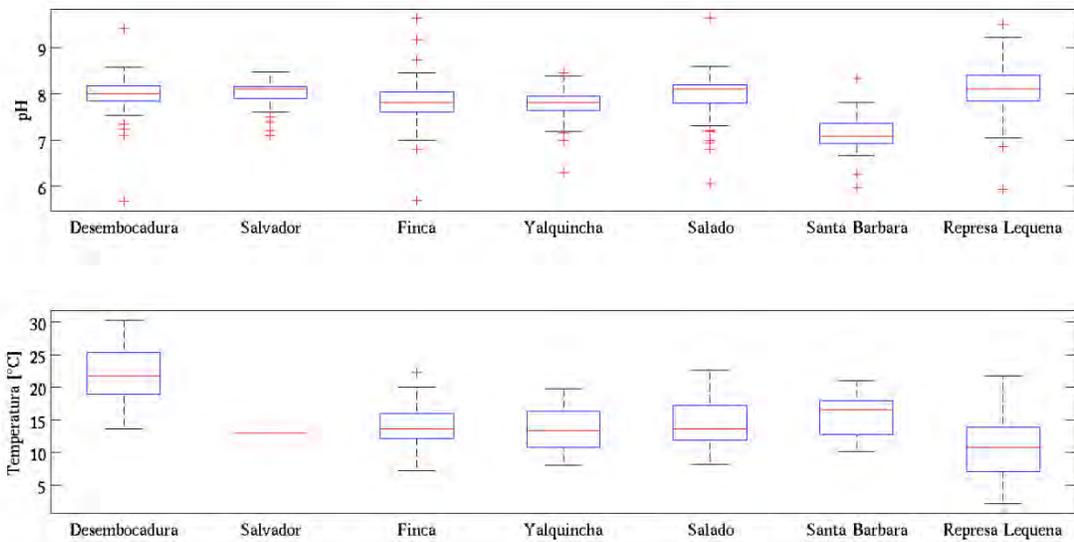


Figura 5.6: Diagramas de Caja para los parámetros físico-químicos a lo largo de Rio Loa

De la figura se desprende el fuerte ascenso de la Conductividad Eléctrica presente en el río desde una zona de cabecera, hasta su desembocadura, llegando a valores extremos superiores a 30000 [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]. No obstante, este ascenso se produce sin mayores cambios en el pH a lo largo del río, el cual se mantiene bastante neutro, salvo valores extremos que tampoco son muy ácidos o muy alcalinos

Independientemente de que se ha logrado establecer ciertas tendencias de comportamiento para diferentes puntos de monitoreo en las cuencas estudiadas, están se han basado en datos hasta el año 2006, pues en ese periodo la DGA dejó de medir el  $\text{HCO}_3^-$  sin el cual se hace imposible calcular balance iónico. Ante esta situación se discutirá a continuación la pertinencia de buscar Patrones Representativos a en base a la información suministrada por la DGA.

### 5.3 Análisis de Pertinencia para la Red de Calidad de Aguas de la Región de Antofagasta

Considerando que se busca establecer Patrones Representativos que permitan validar la información de estaciones de calidad operadas por Terceros, se realizará un análisis de la red de estaciones de la DGA, que sin ser del todo exhaustiva permitirán validar la pertinencia el uso de su información para los fines planteados.

Como se ha indicado una red de Calidad del Agua tiene como objetivo establecer un sistema de monitoreo que reúna los elementos necesarios para evaluar la calidad de los recursos hídricos de la región, por lo cual debe considerar la naturaleza de las fuentes y las presiones de su uso. El monitoreo debe proporcionar los datos necesarios para analizar a variabilidad de los parámetros en condiciones naturales o antrópicas y la variabilidad estacional de los mismos. También debe garantizar la correlación con los cambios causados por la actividad humana (CIDERH,2014).

Las composiciones de las aguas naturales están directamente relacionadas con los constituyentes de las capas geológicas que atraviesan y su calidad se ve muy afectada por las actividades económicas, la urbanización y otras actividades entrópicas menores (CIDERH, 2014) Es por esto que las redes de monitoreo de calidad de agua pueden ser de dos tipos:

- De referencia: Estas caracterizan cualitativamente los diferentes medios para lo cual se requiere mantener registros extensos, con frecuencias estacionales o mensuales (caracterización temporal) y monitorear con especial atención aquellos elementos representativos (Elementos mayoritarios), los que permiten finalmente generar patrones cualitativos.
- Específicas; Controlan situaciones puntuales de mayor riesgo. En este caso se requiere detectar un amplio número de parámetros, de acuerdo al riego y/o presiones entrópicas que se produce sobre el recurso. Las mediciones buscan mantener información sobre la evolución de las concentraciones de los parámetros, por lo que se requiere de una mayor frecuencia a las mediciones que en el primer caso, y establecer umbrales de activación en caso de que se alcancen valores específicos (Estos mecanismos se han ido incorporando a través de los Planes de vigilancia y en especial a través de los Planes de Alerta Temprana PAT)

No menos importante que el proceso de monitoreo es la calidad de los datos obtenidos, para lo cual es importante definir un protocolo para la toma, mantención y transporte de muestras, así como su validación contra mediciones In-Situ. En (CIDERH, 2014) se indica que la toma de muestra por parte de DGA muestra una serie de problemas asociado al uso ácido nítrico y ácido sulfúrico para adjuntarlo al agua en terreno, pues la acidificación protege las concentraciones de algunos elementos (retarda cambios químicos y biológicos), además establece problemas en la refrigeración de las muestras en el proceso de traslado a laboratorio.

Por otra parte desde el año 2006, la DGA no analiza el  $\text{HCO}_3^-$ , (Bicarbonato) uno de los iones denominados mayoritarios, que junto con  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{2-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  permiten construir el índice de Balance iónico, uno de los índices más utilizados para validar la calidad de los resultados de una muestra. Sin embargo, el  $\text{HCO}_3^-$  por sí solo, no tiene una gran importancia como elemento indicativo de condiciones de riesgo (INFRAECO, 2014) y su análisis no tiene carácter normativo.

Lo anterior nos lleva a concluir que por el momento el monitoreo de calidad de agua de la región busca el capturar condiciones específicas asociadas al riesgo que las concentraciones de ciertos elementos pueden tener para las personas y los seres vivos. Sin embargo, la situación descrita requiere monitoreos más frecuentes.

En condición de lo anterior, no es conducente buscar Parámetros Representativos en la información generada por las estaciones de monitoreo de la DGA, debiendo reorientar la validación de la información de monitoreo de calidad de agua de terceros a las condiciones específicas de cada muestra, las que debieran ser analizadas buscando capturar condiciones específicas (concordancia con el monitoreo DGA)

Lo anterior además es concordante con el objetivo original de las estaciones de Terceros ya que estas fueron solicitadas por la autoridad a través de las Resoluciones de calificación Ambiental o de otros compromisos, justamente para monitorear las

condiciones de calidad de agua en zonas que potencialmente pudiesen verse afectadas por el uso del recurso o por la acción entrópica de las actividades propias de cada proyecto.

#### 5.4. Análisis de Información de Terceros

##### 5.4.1 Marco general para el levantamiento de información de Terceros.

Como se indicó en el primer capítulo de este proyecto, el proceso de búsqueda, análisis y ordenamiento de información ha implicado la identificación de diversas fuentes de información, las cuales fueron catalogadas en términos de su disponibilidad y su facilidad para ser sistematizada (asociado al formato en que se almaceno).

##### 5.4.2 Levantamiento de la Información de las Estaciones de Calidad Aguas de Terceros.

El levantamiento de información permitió identificar una serie de puntos de monitoreo en cauces superficiales de carácter privado, que en la mayoría de los casos han sido implementadas en el marco de Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA), o de compromisos ambientales con diferentes entes públicos y/o comunitarios. Estos compromisos es su totalidad están relacionados con la actividad minera y los proyectos desarrollados en la región.

Estos proyectos mineros durante su ciclo de vida pueden requerir de diversas RCA, que en muchos casos tienen que ver con proyectos de modificación, ampliación, actualización tecnológica o puesta en marcha de servicios con impacto territorial. Lo anterior hace complejo el seguimiento en el tiempo de los compromisos, pues en cada resolución pueden ser modificados en términos de su contenido o cambiar el periodo en que son requeridos. Por tanto, se ha adoptado como criterio el mostrar la última RCA y/o el último compromiso donde se ha definido o redefinido la obligación de monitoreo.

A continuación, se identifican los puntos de monitoreo de calidad agua y el origen de su compromiso ambiental y sus ubicaciones en coordenadas UTM (Tabla 5.3).

ESTACION	NORTE	ESTE	Proyecto	RCA	PAT
A	7,375,943	576,858	Minera Escondida	314/1997	PAT Monturaqui-Negrillar-Tilopoza
B	7,375,961	577,198	Minera Escondida	314/1997	
C	7,375,473	577,398	Minera Escondida	314/1997	
D	7,376,556	577,667	Minera Escondida	314/1997	
E	7,376,919	577,936	Minera Escondida	314/1997	
F	7,377,154	578,487	Minera Escondida	314/1997	
H	7,369,793	578,058	Minera Escondida	314/1997	
MPW-01	7,326,974	572,79	Minera Escondida	314/1997	
MPW-02	7,326,130	571,453	Minera Escondida	314/1997	
MPW-03	7,326,112	572,898	Minera Escondida	314/1997	
MPW-04	7,325,068	571,606	Minera Escondida	314/1997	
MPW-05	7,325,117	573,418	Minera Escondida	314/1997	
MPW-07	7,324,195	572,902	Minera Escondida	314/1997	
MPW-08	7,323,132	571,87	Minera Escondida	314/1997	
MPW-09	7,320,998	568,077	Minera Escondida	314/1997	
MPW-09A	7,320,998	568,076	Minera Escondida	314/1997	
MPW-10	7,322,383	571,126	Minera Escondida	314/1997	
MPW-11	7,322,417	572,109	Minera Escondida	314/1997	
MPW-12	7,321,587	570,398	Minera Escondida	314/1997	
MPW-12A	7,321,587	570,395	Minera Escondida	314/1997	
MPW-13	7,321,322	572,175	Minera Escondida	314/1997	
MPW-14	7,320,915	571,284	Minera Escondida	314/1997	
MPW-15	7,320,274	570,973	Minera Escondida	314/1997	
MPW-16	7,319,533	570,973	Minera Escondida	314/1997	
MPW-2	7,326,134	571,453	Minera Escondida	314/1997	
MPW-17	7,318,201	564,576	Minera Escondida	314/1997	
MPW-18	7,318,046	565,714	Minera Escondida	314/1997	
MPW-19	7,317,072	563,99	Minera Escondida	314/1997	
MPW-20	7,317,108	565,107	Minera Escondida	314/1997	
MPW-21	7,324,279	571,693	Minera Escondida	314/1997	
MPW-22	7,315,601	563,466	Minera Escondida	314/1997	
MPW-23	7,316,015	564,581	Minera Escondida	314/1997	
MPW-23A	7,316,015	564,581	Minera Escondida	314/1997	
MPW-24	7,320,161	566,605	Minera Escondida	314/1997	
MPW-25	7,319,399	564,343	Minera Escondida	314/1997	
Agua Potable Calama	7,517,660	507,512	Minera El Tesoro	31/1997	PAT Calama
Aguas Servidas Quebrada Quetena	7,517,142	504,49	Minera El Tesoro	31/1997	
LE-2	7,517,179	503,306	Minera El Tesoro	31/1997	
LE-9	7,516,064	505,58	Minera El Tesoro	31/1997	
OBS-11C	7,513,604	498,849	Minera El Tesoro	31/1997	
OBS-12C	7,520,330	510,487	Minera El Tesoro	31/1997	
OBS-12L	7,520,326	510,479	Minera El Tesoro	31/1997	
OBS-7C	7,514,080	500,67	Minera El Tesoro	31/1997	
OBS-7L	7,514,075	500,675	Minera El Tesoro	31/1997	
OBS-9C	7,515,243	504,092	Minera El Tesoro	31/1997	
P-10	7,514,581	503,645	Minera El Tesoro	31/1997	
P-21	7,515,039	504,219	Minera El Tesoro	31/1997	
P-27	7,514,329	504,023	Minera El Tesoro	31/1997	
P-7	7,514,639	503,615	Minera El Tesoro	31/1997	
PBC-2	7,514,926	502,512	Minera El Tesoro	31/1997	
PPR-2	7,516,089	505,546	Minera El Tesoro	31/1997	
PPR-3	7,516,369	503,224	Minera El Tesoro	31/1997	
PPR-5	7,515,863	502,772	Minera El Tesoro	31/1997	
Puente_Viejo_Calama	7,513,889	507,308	Minera El Tesoro	31/1997	
Rio_Loa_Cascada	7,511,124	501,136	Minera El Tesoro	31/1997	
Rio_Loa_en_Yalquincha	7,517,608	512,623	Minera El Tesoro	31/1997	
Rio_Loa_este_Calama	7,517,119	510,498	Minera El Tesoro	31/1997	
Rio_San_Salvador_Met_1	7,518,387	504,198	Minera El Tesoro	31/1997	
Vertiente_La_Cascada	7,511,604	503,425	Minera El Tesoro	31/1997	
Vertiente_Likantatay	7,515,483	504,539	Minera El Tesoro	31/1997	
Vertiente_Ojos_de_Opache_Enaex	7,513,965	500,028	Minera El Tesoro	31/1997	
Vertiente_Ojos_de_Opache_Nacimiento	7,514,008	500,536	Minera El Tesoro	31/1997	
Rio Loa en la Cascada	7,511,672	502,311	Minera el Tesoro	31/1997	

ESTACION	NORTE	ESTE	Proyecto	RCA	PAT
PIB-1	7,655,191	518,307	Pampa Puno	2603/2005	PAT Pampa Puno
PUNO-9B	7,648,159	521,001	Pampa Puno	2603/2006	
PUNO-8B	7,645,237	521,932	Pampa Puno	2603/2007	
PUNO-7B	7,642,803	521,003	Pampa Puno	2603/2008	
PUNO-6B	7,644,155	521,203	Pampa Puno	2603/2009	
Puno-5 E	7,644,159	521,207	Pampa Puno	2603/2010	
PUNO-4B	7,646,467	521,521	Pampa Puno	2603/2011	
Puno-4 E	7,646,431	519,036	Pampa Puno	2603/2012	
PUNO-3EA	7,641,335	522,099	Pampa Puno	2603/2013	
PUNO-314B	7,641,279	518,455	Pampa Puno	2603/2014	
RL-1	7,656,118	534,636	Pampa Puno	2603/2015	
RL-11	7,604,671	535,223	Pampa Puno	2603/2016	
RL-12	7,576,173	541,126	Pampa Puno	2603/2017	
RL-13	7,570,216	540,408	Pampa Puno	2603/2018	
RL-2	7,656,056	534,546	Pampa Puno	2603/2019	
RL-8	7,616,341	533,595	Pampa Puno	2603/2020	
RLA	7,656,202	534,784	Pampa Puno	2603/2021	
RLB	7,644,016	532,726	Pampa Puno	2603/2022	
RLC	7,634,055	532,248	Pampa Puno	2603/2023	
RLD	7,632,973	534,329	Pampa Puno	2603/2024	
RLE	7,619,006	533,067	Pampa Puno	2603/2024	
RLF	7,605,591	535,129	Pampa Puno	2603/2025	
RLG	7,592,147	539,337	Pampa Puno	2603/2026	
SAPUNTA-1	7,645,562	523,723	Pampa Puno	2603/2005	
SAPUNTA-2	7,645,570	524,19	Pampa Puno	2603/2005	
YOCA-03	7,654,291	516,126	Pampa Puno	2603/2005	
YOCA-08	7,647,854	518,955	Pampa Puno	2603/2005	
YOCA-09	7,652,777	516,985	Pampa Puno	2603/2005	
YOCA-10	7,650,598	518,146	Pampa Puno	2603/2005	
Puno-314 B	7,642,000	518	Pampa Puno	2603/2005	
Puno-3 E A	7,641,335	522,099	Pampa Puno	2603/2005	
PUNO-2B	7,641,380	521,01	Pampa Puno	2603/2005	
PUNO-13	7,645,375	522,911	Pampa Puno	2603/2005	
PUNO-11B	7,646,202	520,443	Pampa Puno	2603/2005	
OLLAE-10B	7,657,430	574,973	Minera El Abra	S/n Resol.	PAT Ollague
OLLAE-11B	7,654,480	573,436	Minera El Abra	S/n Resol.	
OLLAE-2B	7,655,345	573,275	Minera El Abra	S/n Resol.	
OLLAE-3B	7,655,035	574,247	Minera El Abra	S/n Resol.	
OLLAE-4B	7,654,418	574,964	Minera El Abra	S/n Resol.	
OLLAE-5B	7,656,319	574,324	Minera El Abra	S/n Resol.	
OLLAE-8B	7,654,723	578,3	Minera El Abra	S/n Resol.	
VOLLAE-1	7,659,319	569,496	Minera El Abra	S/n Resol.	
VOLLAE-2	7,656,629	568,042	Minera El Abra	S/n Resol.	
VOLLAE-3	7,646,747	570,262	Minera El Abra	S/n Resol.	
<b>SMW - 1</b>	7,565,966	534,485	El Abra	0048/1995	Cumplir con la Resolución de Calificación Ambiental (RCA) 0048 del 08 de
<b>SMW - 2</b>	7,566,863	534,071	El Abra	0048/1995	Febrero 1995 que aprueba la "EIA del Proyecto de SCM El Abra, según lo
<b>SMW - 3</b>	7,568,199	534,391	El Abra	0048/1995	indica el Capítulo 7 del Programa de Monitoreo Ambiental en su punto 7.2.4. Agua Subterránea y el Capítulo 6 - Estrategia de Control Ambiental - en su punto 6.2 Plan de Contingencia.

ESTACION	NORTE	ESTE	Proyecto	RCA	PAT
SMW - 4	7,569,271	533,43	El Abra	0048/1995	Cumplir con la Resolución de Calificación Ambiental (RCA) 0048 del 08 de
SMW - 5	7,569,531	532,95	El Abra	0048/1995	Febrero 1995 que aprueba la "EIA del Proyecto de SCM El Abra
SMW - 6	7,568,666	532,742	El Abra	0048/1995	
SMW - 7	7,568,366	532,08	El Abra	0048/1995	
SMW - 8	7,568,026	531,755	El Abra	0048/1995	
SMW - 9	7,567,521	531,52	El Abra	0048/1995	
SMW- 11	7,572,295	528,417	El Abra	0048/1995	
P-5	7,569,980	540,609	El Abra	0048/1995	
P-6	7,568,412	540,605	El Abra	0048/1995	
AREL-2	7,400,315	512,201	Gaby	oct-03	PAT Elvira-Los Morros
ELB-5	7,406,499	512,25	Gaby	oct-03	
LMB-2	7,385,500	511,501	Gaby	oct-03	
LMB-5	7,379,764	509,28	Gaby	oct-03	
MAB-7	7,422,093	520,516	Gaby	oct-03	
Pozo 1	7,451,060	486,64	Minera Esperanza	201/2013	El Proyecto Óxidos Encuentro cuenta con la aprobación ambiental mediante la Resolución Exenta 201/2013 emitida el 30 de julio de 2013 de la Comisión de Evaluación Ambiental de la Región de Antofagasta. De acuerdo con lo estipulado en el punto 8.4 de la RCA 201/2013, el proyecto se compromete a realizar un seguimiento de la calidad de las aguas subterráneas en forma trimestral desde el inicio de su fase de construcción.
Pozo 2	7,449,670	486,72	Minera Esperanza	201/2013	
Pozo 3	7,447,907	492,178	Minera Esperanza	201/2013	
V-8	7,615,350	578,496	SCM El Abra	48/1995	
V-10	7,610,556	577,779	SCM El Abra	48/1995	Programa de Monitoreo. Dar a conocer los resultados del Programa Cuatrimestral del Monitoreo Ambiental 2015 respecto a los parámetros de meteorología, calidad de aire y calidad de agua.
V-12	7,611,800	578,75	SCM El Abra	48/1995	
V-11	7,601,618	581,21	SCM El Abra	48/1995	
NFPD1	7,514,879	528,973	Sta Margarita	82/2008	

ESTACION	NORTE	ESTE	Proyecto	RCA	PAT
FALDA 1	7,515,565	527,924	Sta Margarita	82/2008	En la Adenda N° 3 a la DIA, el titular señala que construirá un nuevo pozo de inspección de 2 pulgadas de diámetro y 50 metros de profundidad aproximadamente o hasta alcanzar nivel freático. La ubicación de este nuevo pozo es: Norte: 7.515.250 m Este: 527.000 m.
FALDA 2	7,515,648	528,475	Sta Margarita	82/2008	Este nuevo punto de monitoreo, sumado a los ya existentes, permitiría dar una alerta temprana ante cualquier infiltración de soluciones de operación, considerando el sentido de escurrimiento del agua subterránea.
RIO YALQUINCHA	7,517,657	512,594	Sta Margarita	82/2008	
RIO LOA	7,526,376	535,552	Sta Margarita	82/2008	
VERTIENTE	7,516,732	527,453	Sta Margarita	82/2008	
VERTIENTE ABAJO	7,526,376	526,5	Sta Margarita	82/2008	
VERTIENTE ARRIBA	7,526,376	528	Sta Margarita	82/2008	
FMC-P1	7,289,842	427,173	El Peñon	43/1998	De acuerdo a lo establecido en el Estudio de Impacto Ambiental (EIA), la RCA N° 043/98 y la RCA N° 0251/2002, el programa de monitoreo de agua subterránea quedó establecido según la Tabla 1. Tabla 1: Programa de monitoreo de pozos de extracción de agua. -Determinación de los parámetros establecidos en la NCh409. Pozos: FMC-P1 y RC97-7 (Semestral) Se indicará de forma gráfica la variación histórica de la calidad físico-química. -Nivel freático Pozos: RPA-103, PW-1, PW-2, FMC-P1 y RC-97-7.(Mensual) Se indicará de forma gráfica la variación histórica del nivel freático. -Caudal total extraído Pozos correspondientes (Mensual) Se indicará de forma gráfica la variación histórica del caudal de extracción.
Mullay	7,415,199	599,147	SQM Salar S.A.	226	1 0.2. Plan de seguimiento de las variables Hidrogeológicas

ESTACION	NORTE	ESTE	Proyecto	RCA	PAT
Allana	7,424,645	589,797	SQM Salar S.A.	226	El PSA de las variables hidrogeológicas contempla mediciones en seis sistemas del salar de Atacama. Dichos sistemas son representativos de la dinámica del núcleo; de la dinámica de los sistemas lacustre emplazados en la periferia del salar y de la napa de agua dulce que alimenta la vegetación del borde este. Los sistemas objeto del PSA son los siguientes: Sistema Soncor, Sistema Aguas de Quelana, Sistema Vegetación Borde Este, Sistema Peine, Sector vegas de Tilopozo y Núcleo del Salar de Atacama
Camar 2	7,410,191	598,261	SQM Salar S.A.	226	
Socaire 5B	7,406,542	598,349	SQM Salar S.A.	226	
P-2	7,369,430	596,086	SQM Salar S.A.	226	
1001	7,392,246	575,19	SQM Salar S.A.	226	
1028	7,383,998	584,433	SQM Salar S.A.	226	
L10-1	7,380,661	591,44	SQM Salar S.A.	226	
L10-10	7,382,730	588,561	SQM Salar S.A.	226	
L10-4	7,381,408	584,908	SQM Salar S.A.	226	
L1-4	7,416,185	588,138	SQM Salar S.A.	226	
L1-5	7,415,017	584,234	SQM Salar S.A.	226	
L1-6	7,416,216	589,607	SQM Salar S.A.	226	
L2-3	7,415,774	596,809	SQM Salar S.A.	226	
L2-4	7,414,609	591,851	SQM Salar S.A.	226	
L2-5	7,414,004	588,272	SQM Salar S.A.	226	
L4-12	7,406,057	590,334	SQM Salar S.A.	226	
L4-3	7,406,265	596,113	SQM Salar S.A.	226	
L4-6	7,405,468	585,967	SQM Salar S.A.	226	
L4-8	7,406,128	593,36	SQM Salar S.A.	226	
L4-9	7,406,144	592,624	SQM Salar S.A.	226	
L5-3	7,403,544	593,971	SQM Salar S.A.	226	
L7-3	7,422,583	591,858	SQM Salar S.A.	226	
SOPM-12C	7,394,294	574,439	SQM Salar S.A.	226	
SOPM-14	7,414,053	583,989	SQM Salar S.A.	226	
SOPM-07	7,412,046	583,568	SQM Salar S.A.	226	
RLL	7,526,073	535,384	Ministro Hales	311/2005	Seguimiento de los caudales y de las características fisicoquímica de las aguas superficiales de los ríos Loa y San Salvador, en el marco de los compromisos ambientales adquiridos a través del proyecto MMH. El monitoreo de las aguas superficiales tiene relación con dos objetivos: 1. Realizar el seguimiento a las variables (Caudal y características fisicoquímicas) en las estaciones que pertenecen al Plan de Monitoreo para aguas superficiales, señalado en el E.I.A del proyecto Mansa Mina. 2. Determinar las eventuales afecciones del caudal de los ríos Loa y San Salvador producto del drenaje del rajo de MMH.
RLM	7,516,894	527,893	Ministro Hales	311/2005	
RLQ	7,517,670	512,575	Ministro Hales	311/2005	
RSSA	7,514,078	500,522	Ministro Hales	311/2005	
RSSB	7,513,886	496,962	Ministro Hales	311/2005	
NUÑEZ	7,514,434	508,076	Lomas Bayas	40/1995	El Punto Específico de captación debe cumplir con la normativa vigente en relación a la forma de extracción y registro de flujos del recurso. En especial para el control del caudal a extraer, por lo mismo debe instalarse medidores con almacenamiento de información y estar a la disposición de la Dirección general de Aguas, e informar semestralmente
LA PRENSA	7,513,415	506,761	Lomas Bayas	40/1995	
DUPONT	7,512,205	504,568	Lomas Bayas	40/1995	
CHUNCHURI BAJO	7,512,225	504,907	Lomas Bayas	40/1995	
RIO LOA ANTES JUNTA SAN SALVADOR	7,523,201	445,672	Lomas Bayas	40/1995	Instalará los dispositivos de medición continua de caudal en la estación Fluviométrica Río Loa antes de Junta Río San Salvador

ESTACION	NORTE	ESTE	Proyecto	RCA	PAT
Petronila 3	7,331,060	412,531	Aguas Blancas	54/2007	54 / 2007 - Ampliación Aguas Blancas: El titular implementará un Programa de Monitoreo del agua subterránea en cada uno de los pozos incluidos en la figura 1 de la Adenda N° 2 a la DIA. Los parámetros a medir serán: nivel del agua subterránea, sulfatos, conductividad, y pH. La medición se realizará mediante un laboratorio externo, debidamente autorizado y certificado. La entrega de informes será en forma trimestral que se dirigirán a la Dirección General de Aguas y a COREMA.
CB-2	7,477,062	470,066	SCM Sierra Gorda	126/2011	Para verificar que los resultados de la modelación hidrogeológica, detallado en el Anexo 1-5.1 de la Adenda N° 3 del EIA o Extracto: Verificar que los resultados de la modelación hidrogeológica, detallado en el Anexo 1-5.1 de la Adenda N° 3 del EIA, evolucionen y se mantengan dentro de lo predicho, se implementará un plan de monitoreo que permita registrar a lo largo del tiempo los cambios que efectivamente ocurran en la dinámica del acuífero y en pozos de terceros.
CB-3	7,474,759	468,472	SCM Sierra Gorda	126/2011	
CB-4	7,474,778	466,947	SCM Sierra Gorda	126/2011	
CB-5	7,476,311	461,87	SCM Sierra Gorda	126/2011	
CB-6	7,473,735	462,584	SCM Sierra Gorda	126/2011	
CB-7	7,473,958	457,133	SCM Sierra Gorda	126/2011	
CB-9	7,469,049	462,714	SCM Sierra Gorda	126/2011	
CB-10	7,472,183	466,418	SCM Sierra Gorda	126/2011	
QSCSG6-237	7,470,397	467,602	SCM Sierra Gorda	126/2011	

Tabla 5.3 Listado de estaciones de Calidad de Agua de Terceros

En la figura 5.7 se muestra la distribución geográfica de estos puntos. Los códigos son entregados en Anexo digital que acompaña a este trabajo.

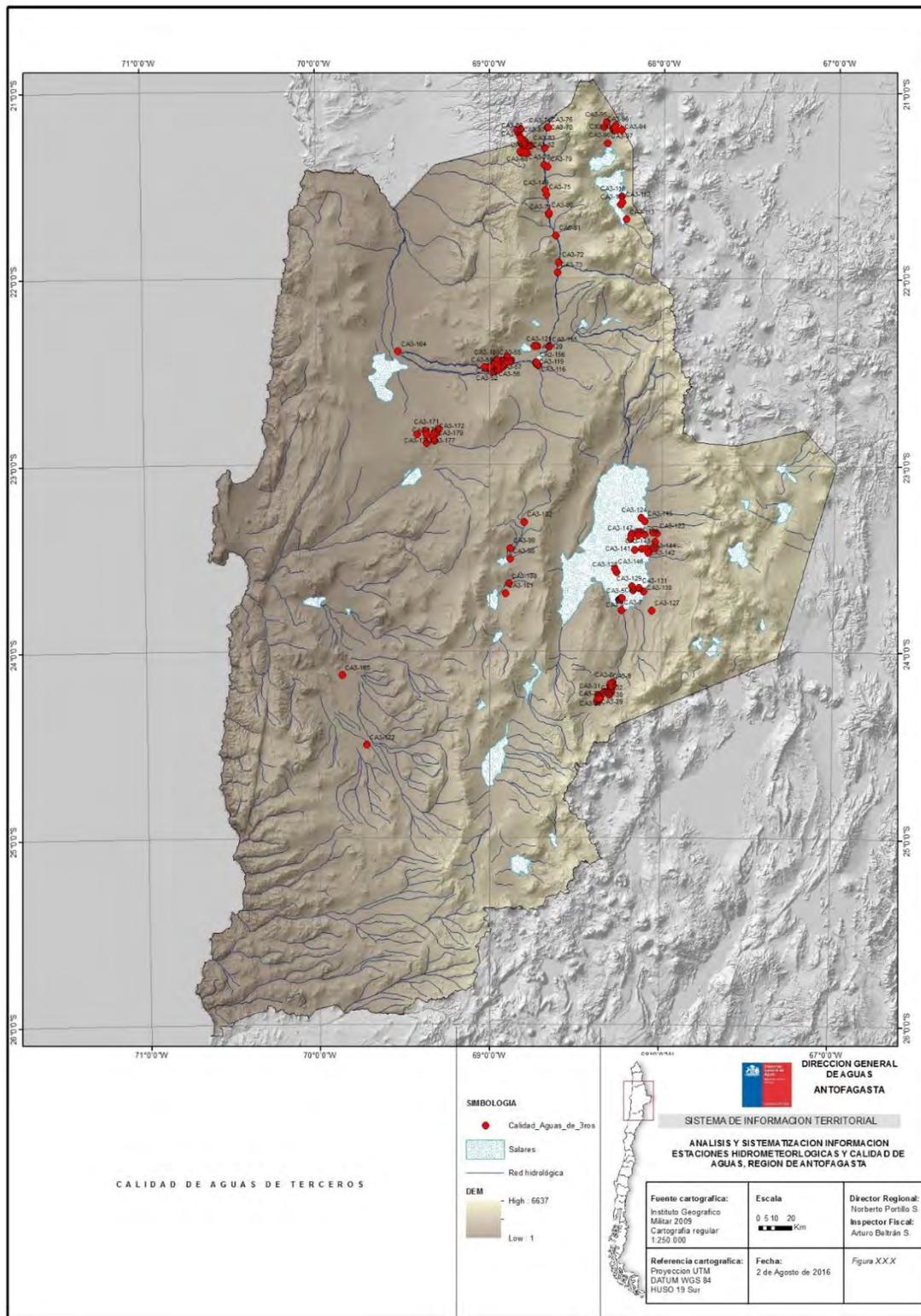


Figura 5.7: Ubicación geográfica de las estaciones de monitoreo de Calidad de terceros,

A partir de las visitas a terreno y de la información entregada por la SMA, se ha podido observar que la mayoría de los análisis de Calidad de Agua son realizadas por empresa bastante consolidadas en el mercado, las cuales cuentan con sus respectivas certificaciones.

#### 5.5. Validación de Información de Terceros

En base a la información relevada se han definido los siguientes criterios de Validación:

1. Se analizará la relación de los iones mayoritarios de cada muestra en base a su balance iónico, considerando solo aquella cuyo CBE sea menor o igual al 10% en valor absoluto.
2. A modo referencial se validará el cumplimiento de las normas chilena de calidad para agua potable (Nch 409) y se usos múltiples usos (Nch 1133) para riego

Se ha desarrollado un proceso de validación a través de la aplicación SIEHMCA que se entrega como parte de este proyecto.

#### 5.6 Conclusiones y Recomendaciones

Como se ha relevado, para efectos de validar la información de calidad de aguas de Terceros, no es pertinente la generación de Patrones Representativos ya que la naturaleza de las mediciones está relacionada con la determinación de situaciones específicas que pueden afectar o presionar a los recursos hídricos por efectos de carácter natural o por la acción entrópica de los proyectos y poblaciones establecidas en el área. Es por ello que se ha definido la validación de la información en términos del análisis de cada muestra, utilizando el cálculo del Balance iónico de sus iones mayoritarios, como condición de aceptación, en base a un CBE mayor o igual 10% en términos absolutos. Para la realización de este proceso se ha recomendado la utilización de una aplicación computaciones desarrollada para tal efecto denominada SIEHMCA (sistema de **información de Estaciones Hidrometeorológicas y Calidad de Agua**).

## CAPÍTULO 6. PROGRAMA PARA LA SISTEMATIZACION DE LA INFORMACION

### 6.1. Descripción General

Como parte del trabajo de validación y análisis de información Hidrometeorológica y de Calidad de Agua se ha desarrollado una solución computación que:

1. Permite almacenar la información recabada tanto de fuentes primarias como secundarias, durante todo el desarrollo del proyecto, que tengan relación con la caracterización de cada punto de monitoreo (estaciones) y las series de datos producto de su función.
2. Permitir la actualización de nuevas estaciones
3. Permitir el ingreso de nueva información o la actualización y/o ampliación de las series de datos de estaciones ya identificadas.
4. Permitir un control de calidad de la información ingresada ( blancos, repetidos)
5. Permitir realizar análisis básicos de consistencia de la información ingresada.
6. Permitir el despliegue grafico de la información ingresada
7. Permitir la exportación de las series de datos a herramienta de productividad como Excel,
8. Generar herramienta que permitan administrar la información almacenada.
9. Permitir su conexión a proyectos en Arc-Gis , para el despliegue de información de la base de datos, asociándolos a objetos georreferenciados (Puntos)

Esta solución denominada SIEHMCA **"SISTEMA DE INFORMACION DE ESTACIONES HIDROMETEOROLOGICAS Y CALIDAD DE AGUA"**, ha sido desarrollada en Visual C# 2008 con .NET Framework 3.5 y SQL Server 2008.

La aplicación ha sido desarrollada para trabajar en ambiente Windows, con compatibilidad de versión de Sistema Operativo Windows a 32 o 64 bit. Adicionalmente, utiliza el programa Microsoft Excel 2007 o superior para exportar data, poniendo la información a disposición del usuario en un programa de fácil manejo y muy potente para la realización de trabajos estadísticos

La base de dato en donde se almacena la información ha sido creada con Microsoft SQL Server 2008, la que es compatible con cualquier versión superior.

La aplicación se basa en arquitectura cliente-servidor, debiéndose habilitar el servidor de base de datos en una maquina definida, pudiendo los usuarios conectarse a esta desde cualquier punta habilitado para tal efecto.

A continuación se muestra la pantalla de inicio de sesión del sistema SIEHMCA (figura 6.1)



Figura 6.1: Pantalla de inicio del sistema SIEHMCA

## 6.2 Caracterización Funcional

El sistema SIEHMCA, basa su funcionamiento en torno a rutinas que son desplegadas como cortinas de un menú principal, y permiten: crear, administrar y **almacenar información asociada a entidades denominadas "Fichas"**, las que corresponden al conjunto armónico de campos de Caracterización, campos de Medición y campos para Parámetro de Medición, que sistematizan la información asociada a una Estación de Monitoreo.

Por su parte las Fichas se relacionan con los Registros de Medición a través de llaves únicas e indexadas, denominadas Códigos, los cuales son creados y administrados por la misma aplicación.

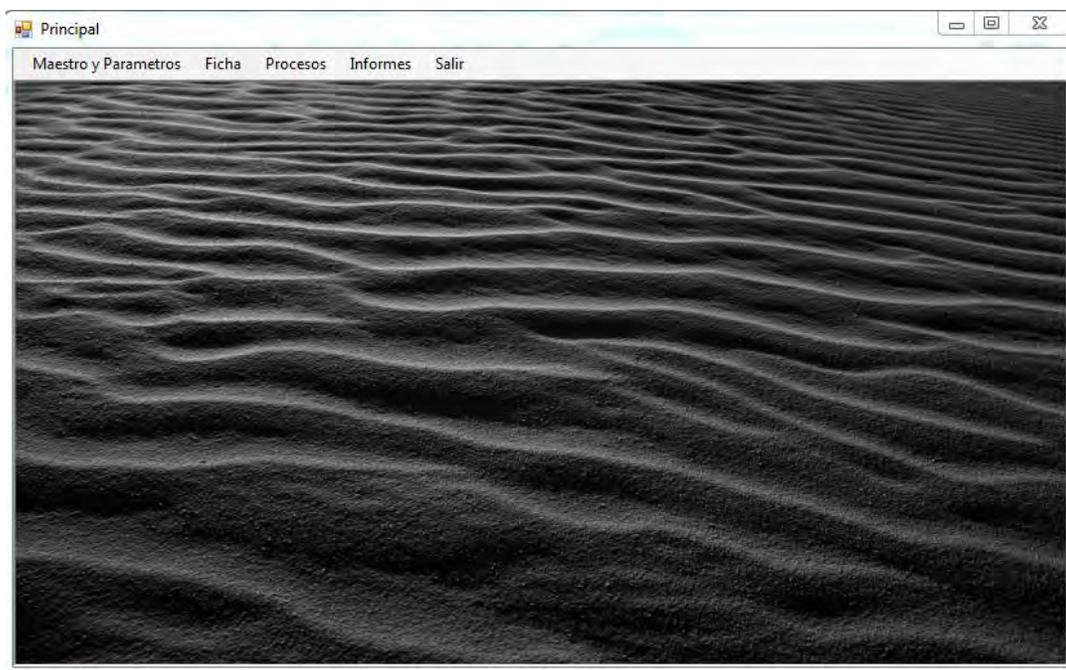


Figura 6.2: Pantalla de despliegue de cortinas con funcionalidad del sistema SIEHMCA.

El sistema se articula en torno a las relaciones entre la Ficha y un grupo de Maestros que mantiene información estructurada asociada a 4 niveles de información:

- Identificación
- Ficha Descriptiva
- Instrumentos de Medición
- Parámetros para Medición

#### Identificación

Mantiene la información de codificación de la Estación de Monitoreo, además de su relación con su propietario y el proyecto al cual está asociado.

#### Ficha Descriptiva.

Se mantiene información respecto, del tipo de Estación (fluviométrica, nivel de Agua subterránea, Calidad, hidrometeorológica, etc), de su ubicación, tanto geográfica, administrativa e hidrológica y de los compromisos de existir que regulan su funcionamiento.

## Instrumentos de Medición

Se mantiene información respecto los instrumentos utilizados para el proceso de medición en cada Estación.

## Parámetros

Se mantiene la información respecto de los parámetros medidos en cada estación, las que se relacionan con los registros de medición almacenados en la base de datos

The screenshot shows a software window titled 'Ficha' with a 'Ficha descriptiva' tab selected. The form is organized into several sections:

- Header:** 'Tiene Código BNA' with radio buttons for 'SI' and 'NO' (selected).
- Identification:** 'Cod. Estación' (17413526-T), 'Estación' (ESTACION DEMO), 'Cod. Propietario' (3526), 'Propietario' (SCM El Abra), and 'Proyecto' (MINA EL ABRA).
- Actions:** 'Grabar', 'Nuevo', and 'Salir' buttons.
- Measurement Type (Tipo de Medición):** A list of checkboxes including '20 Fluvimétrica' (checked), '21 Embalse o Lago', '23 Calidad de Agua', '24 Nivel Aguas Subt.', '27 Meteorológica', '28 Isotopo', and '29 Calidad del Aire'.
- Location (Lugar):** A list of checkboxes including '40 Zona Urbana' (checked), '41 Zona Rural', '42 Cauce Natural', '43 Canal', '44 Lago', '45 Pozo', '46 Nor', '47 Ver', '48 Des'.
- Topology (Topología):** A list of checkboxes including '60 Cumbre' (checked), '61 Valle o Cajón', '62 Ladera', '63 Llano', '64 Otro', and '65 Salar'.
- Location Data (Ubicación):** 'Cod. Norte' (70000), 'Cod. Este' (45000), 'Altitud msnm' (4), 'DATUM', and 'USO'.
- Administrative/Geographic Data:** 'CONARA' (4), 'TARAPACA', 'TAMARUGAL', 'POZO ALMONTE', 'Cuenca', 'Sub Cuenca', 'Sub Sub Cuenca', 'Fecha Instalacion', 'Fecha Supresion', 'RCA Numero' (48/1995), 'RCA Compromiso' (Capítulo 7.2.1 y 7.2.2 del EIA, Monitoreo de MP10, sílice, arsénico y cobre en estaciones Planta y Embalse Conchi y Meteorología sector Planta), and 'PAT Nombre' (Calama), 'PAT Resolucion' (RCA N° 031/1997).

Figura 6.3: Despliegue de la pantalla con nivel Ficha Descriptiva

Como se ha indicado cada nivel de información se relaciona en forma estructurada con diversos maestros, siendo los más utilizados

## 1. Maestro de Propietarios

Mantiene las principales características asociadas a los propietarios de cada estación

codigo	rut	Nombre	Grupo	Encargado	Telefono	Correo	F. j
3522	76485762-3	Minera Zaldivar S...	Antofagasta Mine...				01-C
3523	76081590-K	Sierra Gorda SCM	KGHM Polska Mi...				01-C
3524	76727040-2	Minera Centinela ...	Antofagasta Mine...				01-C
3525	79626800-k	SQM Salar S.A.	SQM				01-C
3526	96701340-4	SCM El Abra	Freeport-McManon				
3527	79587210-8	Minera Escondid...	BHP Billiton				

## 2. Maestro de Proyectos

Asocia un proyecto a un propietario, el cual puede tener más de un proyecto

Codigo_Propietario	Nombre_Propietario	Nombre_Proyecto	Ref_Norte	Ref_Este
3522	Minera Zaldivar S...	ZALDIVAR	7321000	494000
3523	Sierra Gorda SCM	SIERRA GORDA	7473561	464702
3524	Minera Centinela ...	El Tesoro		
3524	Minera Centinela ...	ENCUENTRO		
3524	Minera Centinela ...	ESPERANZA		
3525	SQM Salar S.A.	SALAR DE ATA...	7395000	560500
3526	SCM El Abra	MINA EL ABRA	7576300	517600
3527	Minera Escondid...	ESCONDIDA	7315542	494000
3528	Universidad Catól...	UCN		
3529	Dirección Genera...	DGAC		

### 3. Maestro de tipos de Medición

Mantiene el tipo de medición que se realiza en la estación.

The screenshot shows a software window titled "Tipo Medicion". It contains a form with the following fields: "Codigo" (20), "Nombre" (Fluviométrica), and "Tipo Estacion" (Caudales Aforados). Below the form are buttons for "Nuevo", "Grabar", "Eliminar", and "Salir". A table below the form lists various measurement types:

Codigo	Nombre	Tipo_Estacion
20	Fluviométrica	Caudales Aforados
21	Embalse o Lago	Lagunas
23	Calidad de Agua	Calidad
24	Nivel Aguas Subt.	Niveles
27	Meteorológica	Estaciones Mete...
28	Isotopo	Isotopo
29	Calidad del Aire	Calidad del Aire

### 4. Maestro de Parámetros

Mantiene los diferentes tipos de parámetros que pueden ser medidos por la estación

The screenshot shows a software window titled "Proyectos". It contains a form with the following fields: "Propietario" (3522), "Nombre" (ZALDIVAR), "Ref. Norte" (7321000), and "Ref. Este" (494000). Below the form are buttons for "Nuevo", "Grabar", "Eliminar", and "Salir". A table below the form lists various projects:

Codigo_Propietario	Nombre_Propietario	Nombre_Proyecto	Ref_Norte	Ref_Este
3522	Minera Zaldivar S...	ZALDIVAR	7321000	494000
3523	Sierra Gorda SCM	SIERRA GORDA	7473561	464702
3524	Minera Centinela ...	El Tesoro		
3524	Minera Centinela ...	ENCUENTRO		
3524	Minera Centinela ...	ESPERANZA		
3525	SQM Salar S.A.	SALAR DE ATA...	7395000	560500
3526	SCM El Abra	MINA EL ABRA	7576300	517600
3527	Minera Escondid...	ESCONDIDA	7315542	494000
3528	Universidad Catól...	UCN		
3529	Dirección Genera...	DGAC		

## 5. Maestro de Instrumentos.

Mantiene la información de los instrumentos utilizados para realizar las mediciones ya sean esta manuales o automáticas

Cod_equipo	Des_equipo	Tipo_Parametro	Tipo_medicion	Descripcion
ME1041	Altura de Nieve Snow Uni	Metereologico	Automatico	Sensor de Altura de Nieve Ultrasónico
QU1028	Análisis Químico de Laboratorio	Químico	Manual	Análisis de laboratorios para determinación de concentración de diversos elementos
ME1007	Anemómetro Fuess 82-A	Metereologico	Manual	Anemómetro mecánico con registro en papel que permite determinar la velocidad del
ME1045	Anemómetro MetOne 034B	Metereologico	Automatico	Anemómetro digital con Monitor de direccion Viento
ME1030	Barometro Baro-1QML	Metereologico	Automatico	Barómetro
ME1004	Barómetro Fuess Mercurial 11-A	Metereologico	Manual	Barómetro en base a columnas de mercurio
ME1043	Barómetro MetOne 093	Metereologico	Automatico	Barómetro
ME1024	Barometro Met-One 901	Metereologico	Automatico	Barómetro encapsulado a prueba de agua.
ME1038	Barómetro SB-UNI	Metereologico	Automatico	Barómetro
ME1034	Barómetro Vaisala CS-105	Metereologico	Automatico	Barómetro encapsulado a prueba de agua.
ME1020	Barómetro Vaisala CS-106	Metereologico	Automatico	Barómetro encapsulado a prueba de agua.
ME1009	Barómetro Vaisala PTB210	Metereologico	Automatico	Barómetro encapsulado a prueba de agua.
ME1012	Datalogger Campbell CR1000	Metereologico	Automatico	Datalogger para almacenamiento de mediciones
ME1036	Datalogger Hono Energy Logger	Metereologico	Automatico	Datalogger para almacenamiento de mediciones

## 6. Adicionalmente se utilizan los siguientes maestros

- Maestro de Lugares
- Maestros de compromisos
- Maestros de comunas
- Maestros de cuencas y subcuencas
- Maestros de RCA (Resolución de Calificación Ambiental)
- Maestros de PAT (Plan de Alerta temprana)
- Etc.

Por su parte el sistema provee una serie de aplicaciones que permiten administrar, cada maestro y los elementos que conforman una ficha, permitiendo su creación, modificación y almacenamiento:

**Ficha**

Tiene Código BNA  SI  NO

Cod. Estación: 17413526-T Estación: ESTACION DEMO  
 Cod. Propietario: 3526 Propietario: SCM El Abra

Proyecto: MINA EL ABRA

Grabar Nuevo Salir

---

Ficha descriptiva | Instrumentos de medicion | Parametros | Imagenes

**Tipo de Medicion**

<input checked="" type="checkbox"/> 20 Fluviométrica	<input type="checkbox"/> 28 Isotopo
<input type="checkbox"/> 21 Embalse o Lago	<input type="checkbox"/> 29 Calidad del Aire
<input type="checkbox"/> 23 Calidad de Agua	
<input type="checkbox"/> 24 Nivel Aguas Subt.	
<input type="checkbox"/> 27 Meteorológica	

**Lugar**

<input checked="" type="checkbox"/> 40 Zona Urbana	<input type="checkbox"/> 43 Canal	<input type="checkbox"/> 46 Nor
<input type="checkbox"/> 41 Zona Rural	<input type="checkbox"/> 44 Lago	<input type="checkbox"/> 47 Vert
<input type="checkbox"/> 42 Cauce Natural	<input type="checkbox"/> 45 Pozo	<input type="checkbox"/> 48 Des

**Topología**

<input checked="" type="checkbox"/> 60 Cumbre	<input type="checkbox"/> 65 Salar
<input type="checkbox"/> 61 Valle o Cajón	
<input type="checkbox"/> 62 Ladera	
<input type="checkbox"/> 63 Llano	
<input type="checkbox"/> 64 Otro	

Ubicación

Cod. Norte: 70000 Cod. Este: 45000 Altitud msnm: 4 DATUM: USO:

CONARA: 4 TARAPACA TAMARUGAL POZO ALMONTE

Desc. Ubicación:

Cuenca: Sub Cuenca: Sub Sub Cuenca:

Fecha Instalacion: Fecha Supresion:

RCA Numero: 48/1995 RCA Compromiso: Capítulo 7.2.1 y 7.2.2 del EIA. Monitoreo de MP10, sílice, arsénico y cobre en estaciones Planta y Embalse Concha y Meteorología sector Planta

PAT Nombre: Calama PAT Resolucion: RCA Nº 031/1997

Figura 6.4: aplicación para la creación de Fichas

**Modificación de Ficha**

Folio: 1 Limpiar Grabar Imprimir Salir

Cod. Estación: 10003523-T Estación: CMSG-01  
 Cod. Propietario: 3523 Propietario: Sierra Gorda SCM  
 Proyecto: SIERRA GORDA Estado: ACTIVO

---

Ficha descriptiva | Instrumentos de medicion | Parametros | Imagenes

**Tipo de Medicion**

<input checked="" type="checkbox"/> 27 Meteorológica	<input type="checkbox"/> 28 Isotopo
<input type="checkbox"/> 20 Fluviométrica	<input type="checkbox"/> 29 Calidad del Aire
<input type="checkbox"/> 21 Embalse o Lago	
<input type="checkbox"/> 23 Calidad de Agua	
<input type="checkbox"/> 24 Nivel Aguas Subt.	

**Lugar**

<input checked="" type="checkbox"/> 40 Zona Urbana	<input type="checkbox"/> 43 Canal	<input type="checkbox"/> 46 Nor
<input type="checkbox"/> 41 Zona Rural	<input type="checkbox"/> 44 Lago	<input type="checkbox"/> 47 Vert
<input type="checkbox"/> 42 Cauce Natural	<input type="checkbox"/> 45 Pozo	<input type="checkbox"/> 48 Des

**Topología**

<input checked="" type="checkbox"/> 63 Llano	<input type="checkbox"/> 65 Salar
<input type="checkbox"/> 60 Cumbre	
<input type="checkbox"/> 61 Valle o Cajón	
<input type="checkbox"/> 62 Ladera	
<input type="checkbox"/> 64 Otro	

Ubicación

Cod. Norte: 7468663,799 Cod. Este: 467313,672 Altitud msnm: 1629,120 DATUM: WGS84 USO: 19 S

CONARA: 20 ANTOFAGASTA ANTOFAGASTA SIERRA GORDA

Desc. Ubicación: La Estación se ubica en el poblado Sierra gorda

Cuenca: 027 Quebrada Caracoles  
 Sub Cuenca: 0270 Quebrada Caracoles bajo junta Quebrada El Buitre  
 Sub Sub Cuenca: 02700 Quebrada Caracoles bajo junta Quebrada El B

Fecha Instalacion: Noviembre 2012 Fecha Supresion: ACTIVA

RCA Numero: 126-2011 RCA Compromiso: Monitoreo de Calidad de Aire en areas comprometidas por el proyecto

PAT Nombre: PAT Resolucion:

Figura 6.5: Aplicación para la mantención de fichas

Adicionalmente el sistema mantiene una aplicación que permite exportar e imprimir una determinada Ficha.

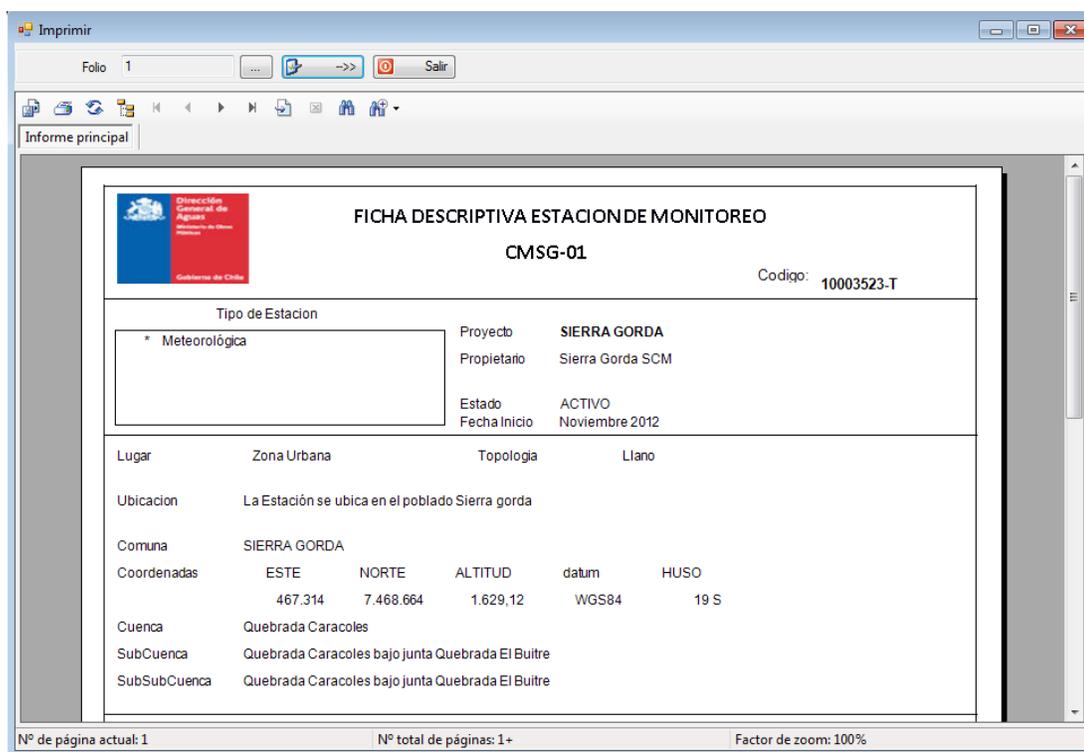


Figura 6.6: Pantalla de Salida para la impresión de Fichas.

### 6.3 Caracterización del proceso de carga de datos

Como se ha indicado cada ficha se asocia a una serie de datos a través de los parámetros y del código que la identifica dentro del sistema

Con el fin de facilitar el ingreso y validación de la información capturada en cada estación de monitoreo, se ha desarrollado un módulo dentro del sistema SIEHMCA que permite capturar a través de plantillas en Excel, los parámetros que han sido medidos por cada estación. Estas plantillas permiten agilizar los procesos de control de calidad que logran detectar registros en blanco y duplicados, además de validar el tipo de datos y su consistencia (números, fechas, enteros, etc).

A continuación, se muestran algunos de los formatos de carga utilizados.

Nombre Punto	Fecha	ID_Muestra	Codigo Ensayo	pH	T (°C)	CE (uS/cm)	O.D.	Alcalinidad mg/l de CaCo3	Dureza (mg/l)	Densidad (g/ml)	Ind. Langlier	AyG (mg/l)	Al_total (mg/l)
POZO SCL	01-10-15			7,534	20					1,016			
AGUA POZO INACESA	01-10-15			7,774	20					1,005			
AGUA QUEBRADA CARRIZO	01-10-15			7,153	20					1,021			
POZO SCL	01-09-15			7,36	20					1,01			
AGUA POZO INACESA	01-09-15			7,51	20					1,02			
AGUA QUEBRADA CARRIZO	01-09-15			7,03	20					1,02			
POZO SCL	01-08-15			7,98	20					1,01			
AGUA POZO INACESA	01-08-15			7,98	20					1,02			
AGUA QUEBRADA CARRIZO	01-08-15			7,46	20					1,03			
POZO SCL	01-07-15			7,81	20					1,02			
AGUA POZO INACESA	01-07-15			7,98	20					1,01			
AGUA QUEBRADA CARRIZO	01-07-15			7,45	20					1,02			
POZO SCL	01-06-15			7,38	20					1,02			
AGUA POZO INACESA	01-06-15			7,8	20					1			
AGUA QUEBRADA CARRIZO	01-06-15			7,11	20					1,02			
POZO SCL	01-05-15			7,63	20					1,02			
AGUA POZO INACESA	01-05-15			7,87	20					1,01			

Nombre Punto	Fecha	Hora	Caudal Aforado (m3/s)	Altura Limnimetrica (m)	Observación	Fuente
RL-1	24-01-2012		0,016			
RL-1	24-06-2012		0,02			
RL-2	26-01-2012		0,401			
RL-2	24-06-2012		0,325			
RL-6	22-07-2013		0,41			
RL-6	13-08-2013		0,391			
RL-6	04-09-2013		0,343			
RL-6	10-10-2013		0,41			
RL-6	26-11-2013		0,365			
RL-6	09-12-2013		0,378			
RL-6	09-12-2013		0,378			
RL-6	22-01-2014		0,354			
RL-6	11-02-2014		0,349			
RL-6	24-03-2014		0,282			
RL-6	21-04-2014		0,39			
RL-6	29-05-2014		0,383			
RL-6	17-06-2014		0,369			
RL-6	09-07-2014		0,369			

Figura 6.7: Formatos de Carga para información de estaciones de monitoreo.

En general el proceso de carga es administrado desde la aplicación a través de menús ad-hoc a esta función, los cuales permiten identificar el origen de los datos y asociarlos a una estación en particular.

El sistema mantiene una lógica de niveles espejos que permite marcar aquellos registros que mantienen problemas, de tal forma que exista una instancia posterior a la carga que determine si finalmente los registros serán adicionados a la base de datos



2. Series de tiempo: analizan la tendencia lineal de una serie

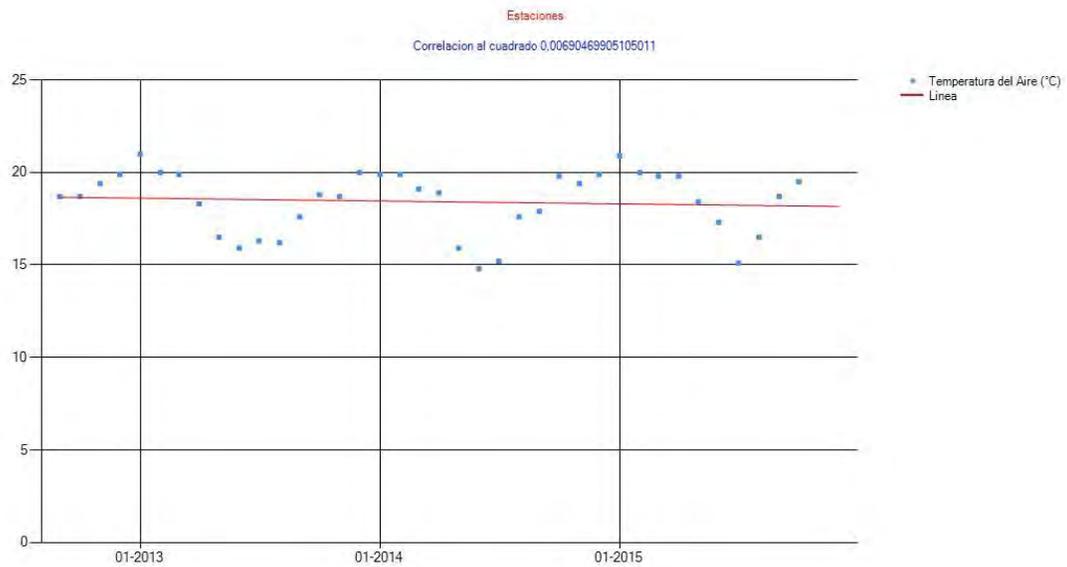


Figura 6.10: serie de tiempo y tendencia lineal

3 Análisis de Balance iónico: se realiza el análisis de balance iónico para series de Calidad de Agua

Exportar data

Estacion 12853531-T Vertiente\_Ojos\_de\_Opache\_Nacimiento

Ver Limpia XLS Salir

	Codigo	Nombre_Estacion	Fecha	HCO3	CO3	Cloruro	N/NO3	P/PO4	SO4	Ca	Mg	K	Na	Resultado	Validacion
▶	12853531-T	Vertiente_Ojos_de_Opache_Nacimiento	18-01-2011	420		2358	8,8		357	305	131	88,9	1220	-0.2	En Norma
	12853531-T	Vertiente_Ojos_de_Opache_Nacimiento	15-06-2012	439,2		2433,6	5,2		438	319,43	120,8	89,11	1195,95	-3,4	En Norma
	12853531-T	Vertiente_Ojos_de_Opache_Nacimiento	16-01-2013	414,8		2440,7	1,7		277	310,66	127,17	89,99	1187,6	-1,4	En Norma

Figura 6 11: Balance iónico de series de Calidad.

## 6.5 Caracterización del proceso de exportación

Una vez que la información ha sido analizada, el sistema permite exportar las series de datos a Excel y generar gráficos en formato Tiff, los que pueden ser luego utilizados para caracterizar una determinada estación.

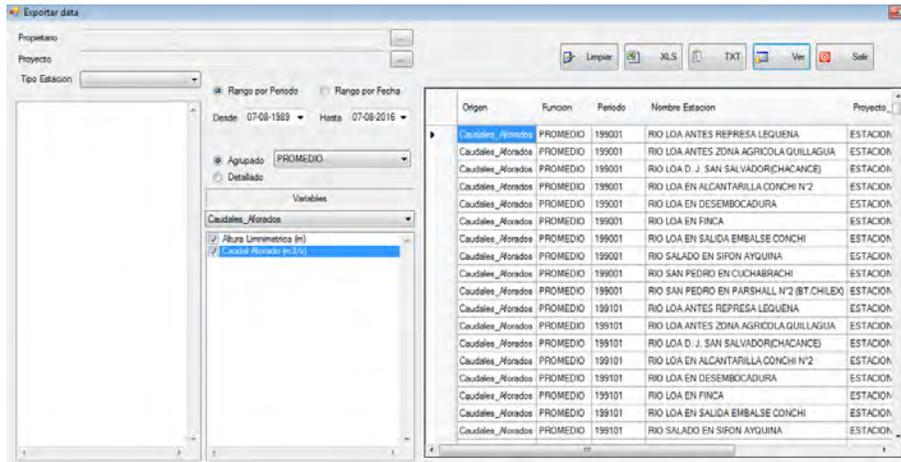


Figura 6.12: Mantenedor que permite la exportación de datos.

Adicionalmente se ha desarrollado una herramienta que permite actualizar los gráficos de series de tiempo en forma masiva, permitiendo asociar a la base de datos gráficos actualizados, los que a su vez pueden ser visualizados a través de otros programas como Arc-Gis.

## 6.6 Conexión con Programa Arc-Gis

ArgGis for Desktop permite conectarse a una base de datos o geodatabase de SQL Server, para lo cual es necesario la creación de un archivo de conexión en el árbol de catálogos de este,

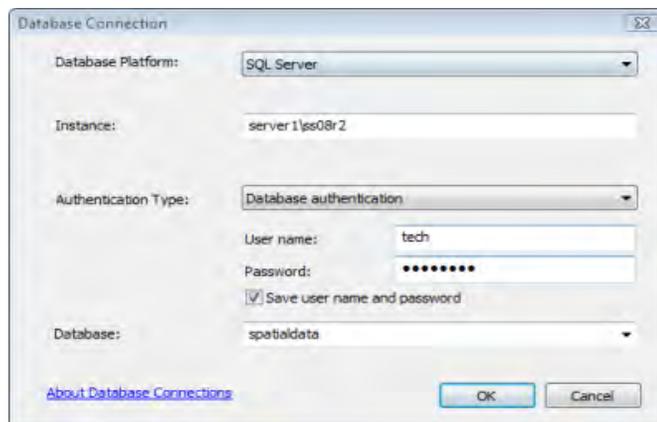


Figura 6.13: Pantalla de conexión a la base de datos

Para el caso del proyecto, ArcGis se ha conectado con la base de datos del sistema SIEHMCA, por lo que fue posible reconocer las tablas y relaciones que mantiene el sistema, pudiendo ocupar esta información como input para la generación de capas vectoriales.

Es así como se ha generado un proyecto en ArcGis denominado *SIEHMCA GIS* en el cual se han creado capas vectoriales utilizando las herramientas de "Query Layer", que permiten utilizar consultas en lenguaje SQL para rescatar información estandarizada desde la base de datos del sistema SIEHMCA y crear ubicaciones en una capa vectorial. Para el proyecto se han creado capas que diferencian los diferentes tipos de estaciones (Meteorológicas, Fluviométricas, Nivel y Calidad de Agua), que separan las estaciones de Terceros de las de la DGA y aquellas cuyo Datum es WSG-84 o PSAD-86.

Por su parte asociado a cada punto de estas capas vectoriales se ha habilitado la función de despliegue de ventanas Pop-Up, que permite mostrar la información de cada estación en un formato de ficha, a la que se ha agregado una gráfica histórica, si es que posee datos suficientes.

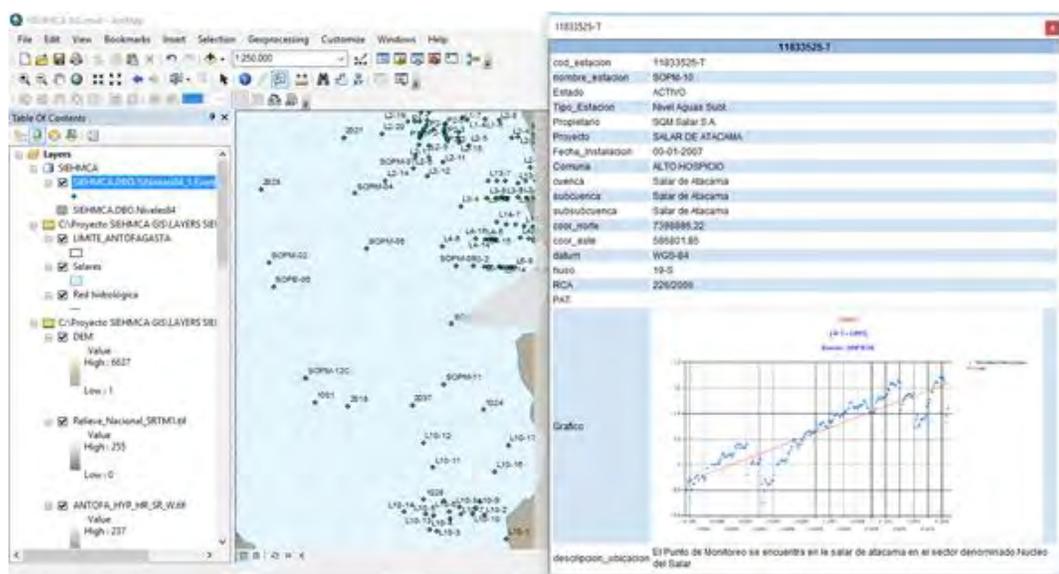


Figura 6.14: Despliegue de información proyecto SIEHMCA GIS

## 6.7 Desarrollo de proyecto en arc-Gis

Como parte del trabajo de desarrollo del sistema SIEHMCA y Proyecto SIEHMCA GIS se generaron los siguientes documentos:

- Manual de Usuario SIEHMCA
- Modelo y Diccionario de Datos SIEHMCA
- Documento de Análisis funcional SIEHMCA
- Manual de Instalación SIEHMCA
- Manual de Conexión ArcGis con SIEHMCA

Junto a las capas generadas por los Query Layers se han entregado las capas generadas en los capítulos anteriores como son:

- distribución de temperatura (Isotermas)
- distribución de precipitaciones (Isoyetas)
- Mapa de errores de interpolación modelo Kriging normal

#### 6.8 Modelo de datos y Manual de Usuarios

Como parte del proyecto se han entregado en formato digital

#### 6.9 Programas Fuentes y Capacitación.

De acuerdo a lo establecido por las bases del proyecto, se ha entregado programas fuente y documentación del programa SIEHMCA, adicionalmente se ha destinado personal para la capacitación e instalación del sistema en dependencias del mandante.

## CAPÍTULO 7. ACTUALIZACIÓN Y ANÁLISIS DE PAT's (PLAN DE ALERTA TEMPRANA)

### 7.1. Descripción General

Durante el año 2013 se desarrolló el proyecto "Diagnóstico y sistematización de información de planes de alerta temprana vigentes con condicionamiento de derechos", este fue realizado por HIDROMAS CEF Limitada, para la Dirección General de Aguas y cuyo Informe Final está disponible en el siguiente link <http://documentos.dga.cl/ADM5521v1.pdf>.

En el estudio en cuestión se estableció la vigencia de 6 Planes de Alerta Temprana PAT, que al consolidar los PAT Elvira y PAT Los Morros son tratados como cinco.

NOMBRE	ACUÍFERO	CUENCA	TITULAR EXTRACCIÓN
PAT Calama	Calama	Río Loa	Compañía Contractual Minera Leonor (CCML)- Minera El Tesoro Pozo P-10
PAT Pampa Puno	Pampa Puno	Río Loa	CODELCO
PAT Monturaqui -Negrillar - Tilopozo	Monturaqui . Negrillar -Tilopozo	Salar de Atacama	Minera Escondida Limitada - Compañía Minera Zaldivar SpA - Sociedad Chilena del Litio
PAT Elvira(*)	Elvira	Endorreica - Salar de Atacama - Vertiente Pacífico	CODELCO Proyecto Gaby
PAT Los Morros(*)	Los Morros	Endorreica - Salar de Atacama - Vertiente Pacífico	CODELCO Proyecto Gaby
PAT Salar de Ollagüe	Salar de Ollagüe	Fronteriza - Salar Michincha - Río Loa	CODELCO

Tabla 7.1 Planes de Alerta Temprana vigente con condicionamiento de derechos (Hidromas CEF Limitada)

(\*) En el caso del sistema Elvira y Los Morros, se determinó la existencia de un séptimo PAT, el PAT de Elvira-Los Morros, denominado "PAT-EM". Este PAT-EM nace del otorgamiento de un sólo derecho de aprovechamiento, al mismo Titular del PAT Elvira y del PAT Los Morros. Por esta razón se ha consolidado en un solo compromiso denominado PAT Elvira-Los Morros, los compromisos asociados a estos acuíferos y al mandante único.

Del análisis de la información relevada se ha podido determinar la existencia de una serie de variables hidrológicas que son informadas en cada PAT.

- |   |   |
|---|---|
| 1 Niveles (de aguas subterráneas)                 | 6 Monitoreo Limnigráfico de vegas y lagunas |
| 2 Control de Extracciones                         | 7 Espejos de Agua                           |
| 3 Caudales Superficiales o Aforos                 | 8 Cuña Salina                               |
| 4 Caudales Medios                                 | 9 Isotopos                                  |
| 5 Calidad de aguas (superficiales y subterráneas) |   |

De acuerdo a lo informado en el proyecto, la información fue sistematizada a través de una aplicación desarrollada en Microsoft Access denominada A.S.A.P (Aplicación de Seguimiento y Administración de Planes de Alerta Temprana), cuyo objetivo es el de mantener la información proveniente de los informes de seguimientos de los diferentes PAT.

La consultora ha tenido acceso al programa y a la base de datos asociada obteniéndose el siguiente resumen respecto de la información histórica almacenada:

		DATOS EN BASE DE DATOS A.S.A.P x AÑO																			
PAT	VARIABLES	93	94	95	96	97	98	99	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13
CALAMA	Niveles	6	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	3
	Caudales_Aforados	3	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	3
	Calidad																		12	12	3
	Isotopos																4	12	12	12	3
PAMPA PUNO	Niveles									12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	9
	Caudales_Aforados									12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	6
	Calidad									6	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	9
	Minotoreo_Limnimétrico												12	12	12	12	12	12	12	12	11
OLLAGUE	Niveles									12	12	12	12	12	12	12	6				
	Calidad									6	12	12	12	12	12	12	6				
ELVIRA-LOS MORROS	Niveles														4	12	12	12	12	12	7
	Control_Extracción																	12	12	12	6
	Calidad																	12	12	12	6
MNT(*)	Niveles	3	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	Control_Extracción		7	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	Calidad																				
	Minotoreo_Limnimétrico		2	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	Espejo_Agua									3	12	12	12	12	12	12	12	12	12	6	
	Cuña_Salina	2	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

Fuente: Análisis base de datos programa A.S.A.P

Tabla 7.2 Meses con información en base de datos aplicación A.S.A.P.

## 7.2 Actualización Base de Datos A.S.A.P

En la etapa final del proyecto la consultora propuso actualizar la información almacenada en la base de datos de la aplicación A.S.A.P. considerando la solicitud de información a las empresas titulares de los PAT's, y el relevamiento de información entregado a la DGA de Antofagasta. En este proceso se logró obtener información actualizada de gran parte de los PAT's con excepción de los asociados al PAT Elvira-Los Morros y al control de isotopos del PAT Calama.

La información en la totalidad de los casos fue entregada en archivos digitales con formatos PDF, por lo que fue necesario un extenso proceso de transformación, digitalización, ordenamiento y posterior carga en el sistema A.S.A.P.

El siguiente esquema muestra la información que se actualizó en la base de datos asociada a la Aplicación A.S.A.P.

PAT	VARIABLES	DATOS ACTUALIZADOS x AÑO						
		09	10	11	12	13	14	15
CALAMA	Niveles					9	12	6
	Caudales_Aforados					9	12	6
	Calidad					9	12	6
	Isotopos							
PAMPA PUNO	Niveles					3	12	12
	Caudales_Aforados					6	12	9
	Calidad					3	12	12
	Minotoreo_Limnimétrico				1	12	12	12
OLLAGUE	Niveles	6	12	12	12	12	12	12
	Calidad	6	12	12	12	12	12	12
ELVIRA-LOS MORROS	Niveles							
	Control_Extracción							
	Calidad							
MNT(*)	Niveles					12	12	12
	Control_Extracción					12	12	12
	Calidad					12	12	12
	Minotoreo_Limnimétrico					12	12	12
	Espejo_Agua		6	12	12	12	12	6
	Cuña_Salina					12	12	12

Fuente: Documento Entregados por los Titulares PAT's

Tabla 7.3 Meses con información cargados al sistema A.S.A.P para su actualización.

Una vez realizada la actualización la información histórica de la base de datos de la aplicación A.S.A.P, se han generado los gráficos actualizados de las principales variables de monitoreo, las que permiten realizar el análisis del comportamiento histórico de dichas variables y su contrastación con los compromisos de cada Plan de alerta.

### 7.3 Análisis de información de planes de alerta temprana.

Para cada uno de los PAT's relevados se hará referencia a la "Ficha Resumen" generada en el proyecto realizado por HIDROMAS CEF Limitada, ya referido, junto a los gráficos generados por la aplicación A.S.A.P a partir de la información actualizada.

#### 7.3.1 Plan de Alerta Temprana Calama

Este plan de Alerta Calama presenta 3 tipos de condicionantes:

- El volumen embalsado del acuífero no debe variar en más de un 5%. Esta condición se modeló considerando que el consumo estimado para los primeros 50 años del proyecto debería generar una disminución esperada de 3%, por lo que un análisis a corto plazo no tiene gran relevancia.

- b. Umbrales de caudal mínimo en el punto de Monitoreo correspondiente a la "Vertiente ojos de Apache en ENAEX", para valores promedios móviles de 12 meses, de 283 l/s y 318 l/s.
- c. Condición isotópica en la caracterización del agua del acuífero inferior: no presencia de este elemento en las aguas provenientes del acuífero inferior, o formación Calama.

Nombre del PAT:		Calama	
Región:	Antofagasta	Fecha del PAT:	Agosto_2010
Comuna	Calama	Sector:	
Provincia	Loa		Calama
Resolución DGA que aprueba el PAT:		RES DGA N° 2341 del 10.09.2010	
Titular (del PAT)		Minera El Tesoro	
Proyecto con RCA asociado	SI	Número RCA	RCA N° 031/1997
Pozos con derechos en PAT / Q otorgado (l/s)		Resolución DGA que aprueba los derechos	
P-10 (73,2 l/s)			RES DGA N°48/2004
P-19 (65 l/s)			
P-24 (46,8 l/s)			
P-25 (70 l/s)			
P-27 (65 l/s)			
		Expedientes asociados a los derechos	
		ND-0202-1864	
<b>PROGRAMA DE MONITOREO</b>			
Monitoreo Fase prebombeo	NO	Puntos	no aplica
no aplica			
<b>Monitoreo en Fase Bombeo:</b>			<b>FRECUENCIA</b>
Monitoreo de Niveles Napa	FCAB; LE-1; LE-2; LE-4; LE-6; LE-7; LE-9; OBS-10C(A); OBS-10C(B); OBS-11C; OBS-12C; OBS-12L; OBS-6C; OBS-7C; OBS-8C; OBS-9C; OBS-7L; OBS-8Li (A, B y C); OBS-6Li (A, B y C); ; P-7; P-10; P-18; P-19; P-21; P-24; P-25; P-27; PBC-1; PBC-2; PPR-1; PPR-2; PPR-3; PPR-4; PPR-5;		variable, desde horario a quincenal
Control de Extracciones	P-19; P-24; P-25; P-27; P-10; PPR-2		mensual
Aforo/Caudales en Aguas Superficiales	Si	Si, 1 punto en río Loa, 2 en río San Salvador, 4 en vertientes	mensual
Mon. Altura limnimétrica en cauce o laguna	No	No aplica	N/A
Monitoreo Calidad Subterránea	Si	Si, en 15 pozos	trimestral
Monitoreo Calidad Superficial	Si	Si, en 3 puntos del río Loa; 1 en río San salvador; 4 en	trimestral
Monitoreo de Isotopos	Si	SI	trimestral
Monitoreo Cobertura vegetal	Si	Si, en 23 pozos	N/A
Medición profundidad Cuña_salina	No	No aplica	N/A
Monitoreo Fotográfico	No	No aplica	N/A
Control Areal Lagunas c/Imágenes Satelitales	No	No aplica	N/A
Entrega de Reporte a la DGA	Si	Si, primer año de operación	Anual
<b>CONDICIONANTES Y MEDIDAS</b>			
Condición Volumen Embalsado (%)	Volumen máximo del 5%		
Condición Extracción Máx (Q)	No aplica		
Condición Descenso de Nivel de Aguas	No aplica		
Condición de Flujo pasante (Q)	No aplica		
Condición Radio de Influencia (Km)	No aplica		
Condición Caudal Mínimo en Vertientes o Río	Dos umbrales en Vertiente Ojos de Opache: 283 l/s y 318 l/s		
Condición Cobertura Vegetacional	No aplica		
Condición Isotópica	Ausencia de Tritio en Formación Calama		
<b>SITUACIÓN DE ACTUALIZACIÓN DEL PAT</b>			
A la fecha de noviembre 2013, MET no ha realizado actualizaciones del modelo utilizado.			

Tabla 7.4 Ficha Resumen PAT Atacama

Como se indicó inicialmente no se obtuvo información respecto de la medición isotópica para el periodo 2013-2015, las que deben ser incluidas en la base de datos actualizada de la aplicación, una vez que sean remitidas por el titular, debiéndose validar la no existencia de isotopos en los puntos monitoreados.

Respecto de los caudales en el punto de Vertiente Ojos de Apache en Enaex, se analiza el siguiente gráfico de caudales medios móviles (12 meses):

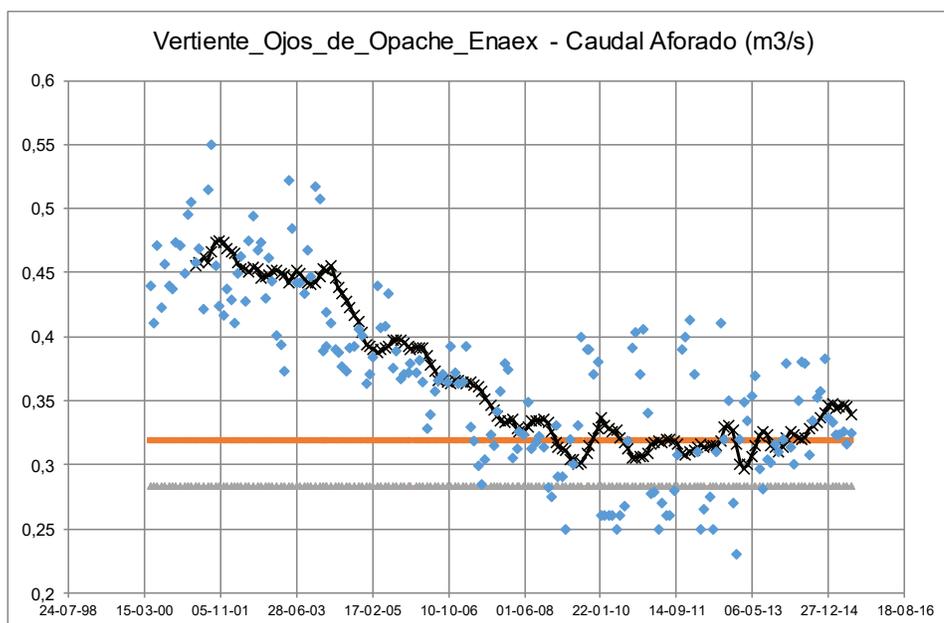


Figura 7.1: Gráfico de Caudales Medios y condicionantes de Vertiente Ojos de Apache en Enaex.

Se ha graficado en negro la curva de caudales medios móviles de 12 meses, pudiéndose notar que los caudales mínimos bajaron del primer límite (línea naranja) 318 l/s durante gran parte del año 2010 y 2013, el segundo umbral (Línea Ploma) correspondiente a 283 l/s no se ha sido alcanzado durante el periodo de monitoreo. La tendencia actual (2015) muestra valores que se mantienen sobre los umbrales requeridos.

### 7.3.2 Plan de Alerta Temprana Ollagüe.

Este plan de Alerta temprana Ollagüe presenta 2 tipos de condicionantes

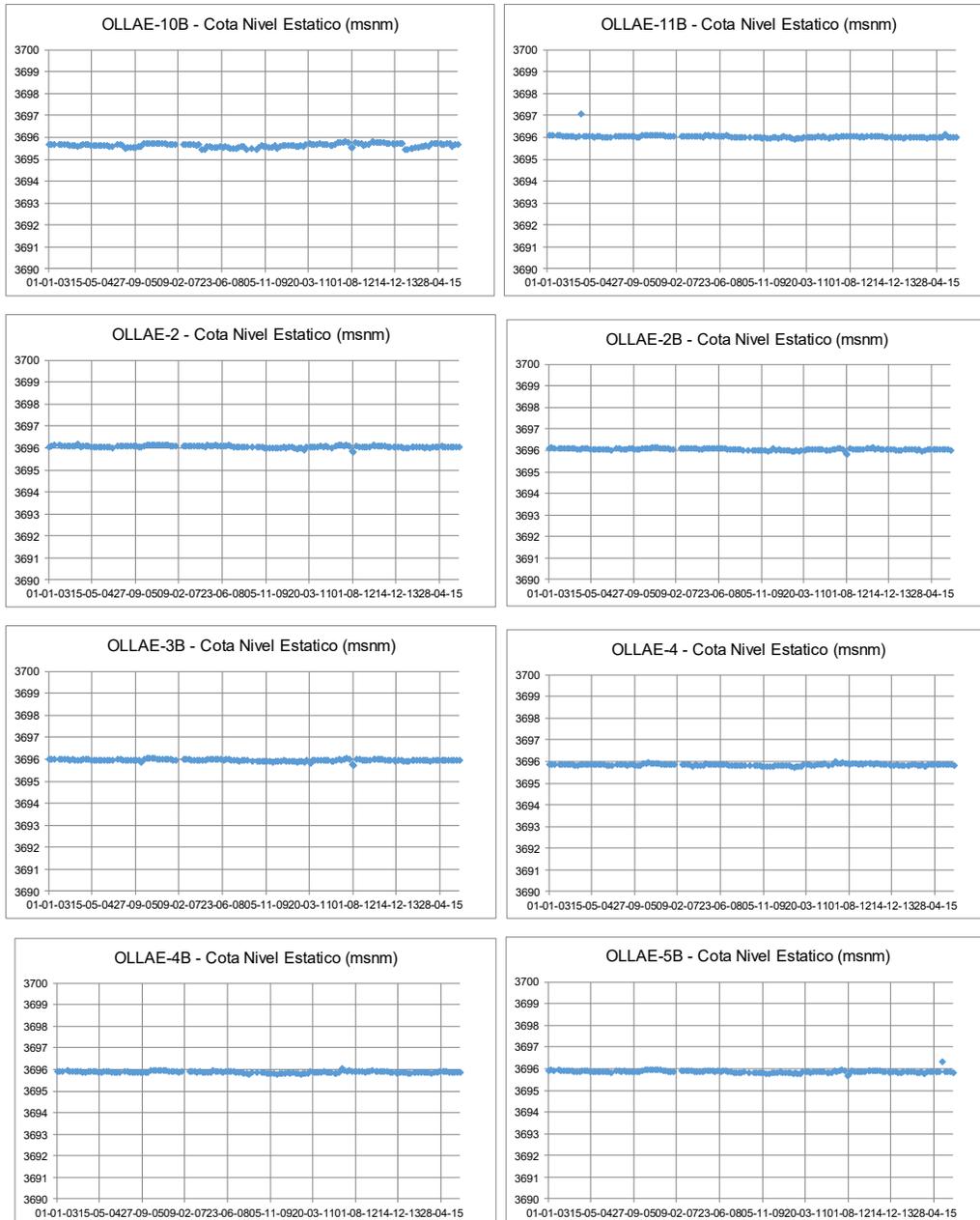
- Condición de descenso máximo: de 12-30 m. del nivel del agua subterránea en el área del campo de pozos del salar de Ollagüe

- b. Condición de disminución de flujo de agua subterránea hacia Bolivia. Este análisis fue realizado el año 2009 a través de curva equipotenciales mostrando un constante movimiento de las aguas subterráneas hacia el Este (Bolivia).

Nombre del PAT:		Ollagüe	
Región:	Antofagasta	Fecha del PAT:	Junio_2002
Comuna	Ollagüe	Sector:	Ollagüe
Provincia	Loa		
Resolución DGA que aprueba el PAT:	no tiene		
Titular (del PAT)	CODELCO		
Proyecto con RCA asociado	NO	Número RCA	No tiene
Pozos con derechos en PAT / Q otorgado (l/s)		Resolución DGA que aprueba los derechos	
OLLAE 2B (50 l/s)	OLLAE 11B (120 l/s)	RES DGAN°80/2003	
OLLAE 3B (60 l/s)			
OLLAE 4B (50 l/s)		Expedientes asociados a los derechos	
OLLAE 5B (90 l/s)		ND-0202-1586; ND-0202-2066	
OLLAE 7B (150 l/s)			
OLLAE 8B (200 l/s)			
OLLAE 10B (30 l/s)			
<b>PROGRAMA DE MONITOREO</b>			
Monitoreo Fase prebombeo	SI	Puntos	19 estac_ de monitoreo (14 subte y 5 superf)
al menos 2 años			
<b>Monitoreo en Fase Bombeo:</b>			<b>FRECUENCIA</b>
Monitoreo de Niveles Napa	OLLAE-2; OLLAE-2B; OLLAE-3B; OLLAE-4; OLLAE-4B; OLLAE-5B; OLLAE-6; OLLAE-7; OLLAE-7B; OLLAE-8; OLLAE-8B; OLLAE-9; OLLAE-10B; OLLAE-11B		mensual
Control de Extracciones	OLLAE-2B; OLLAE-4B; OLLAE-5B; OLLAE-7B; OLLAE-8B; OLLAE-10B; OLLAE-11B		mensual
Aforo/Caudales en Aguas Superficiales	Si	Si, en 3 puntos .Amincha y del Inca y V18	mensual
Mon. Altura limnimetrica en cauce o laguna	No	No aplica	N/A
Monitoreo Calidad Subterránea	Si	Si, en 8 pozos	trimestral
Monitoreo Calidad Superficial	Si	Si, en 3 puntos. Amincha_Inca	trimestral
Monitoreo de Isotopos	No	No aplica	N/A
Monitoreo Cobertura vegetal	Si	2 estacas	trimestral
Medición profundidad Cuña_salina	No	No aplica	N/A
Monitoreo Fotográfico	Si	Si, en 2 puntos	trimestral
Control Areal Lagunas c/Imágenes Satelitales	No	No aplica	N/A
<b>Entrega de Reporte a la DGA</b>	Si	en Julio y Febrero de c/ año	Bianual
<b>CONDICIONANTES Y MEDIDAS</b>			
Condición Volumen Embalsado (%)	No aplica		
Condición Extracción Máx (Q)	No aplica		
Condición Descenso de Nivel de Aguas	Desc. máximo de 12 a 30 m.sector Ollagüe		
Condición de Flujo pasante (Q)	Disminución de flujo de agua saliente hacia Bolivia		
Condición Radio de Influencia (Km)	No aplica		
Condición Caudal Mínimo en Vertientes o Río	No aplica		
Condición Cobertura Vegetacional	No aplica		
Condición Isotópica	No aplica		
<b>SITUACIÓN DE ACTUALIZACIÓN DEL PAT</b>			
A la fecha de noviembre 2013, los Pozos de Ollagüe se encuentra en Fase de Prebombeo. Según la empresa No se proyecta bombear en el corto plazo. Por lo que no se ha realizado hasta ahora Revision ni actualización del PAT. El Titular Si entrega Informes de Monitoreo en donde se analizan las variables comprometidas a monitorear en la Sección II.			

Tabla 7.5 Ficha Resumen PAT Ollague

Para el análisis de niveles en los pozos, los valores históricos se grafican en un rango de 10 metros, el que es menor al primer umbral de 12 metros, como se muestra a continuación:



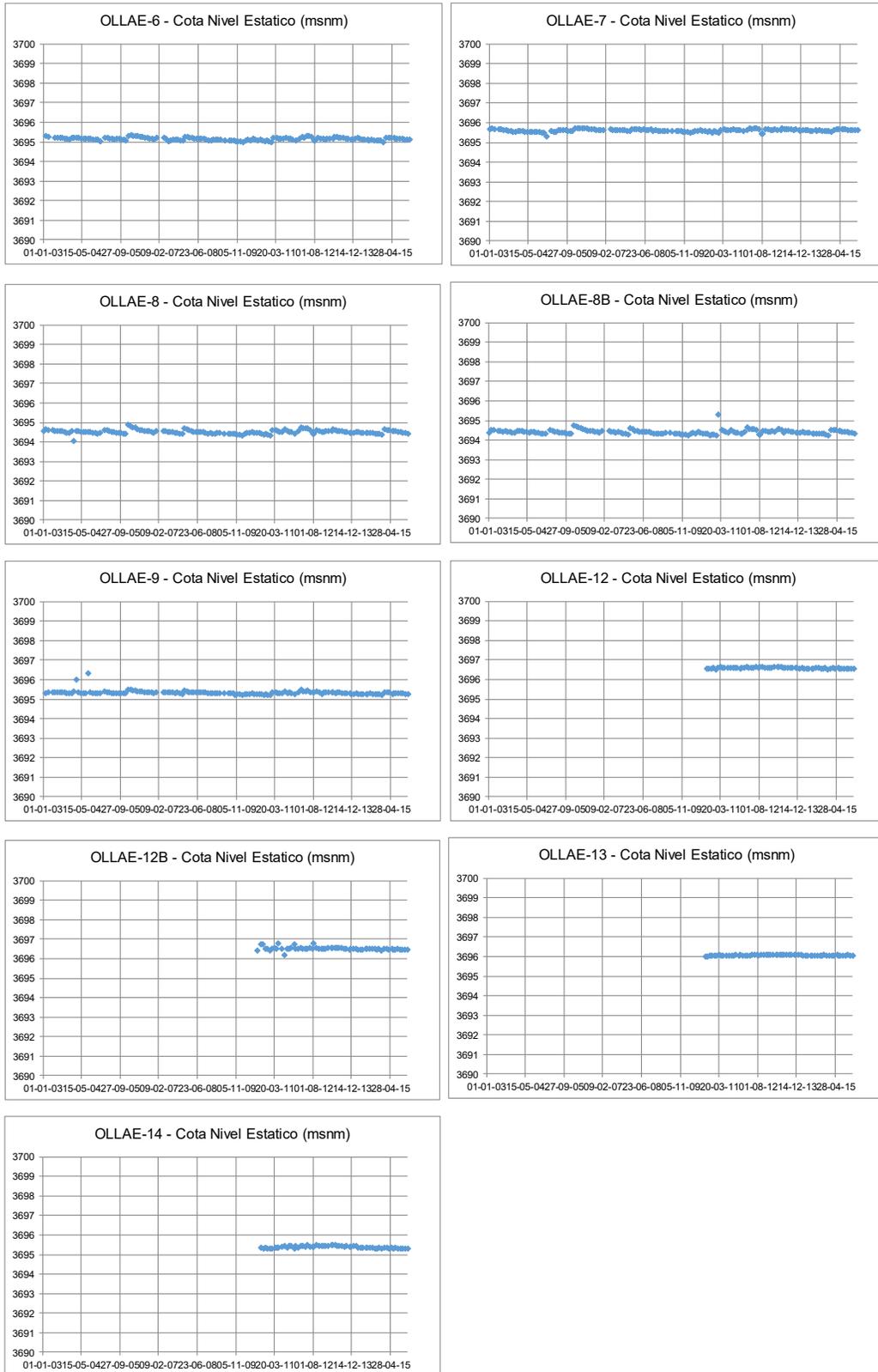


Figura 7.2: Niveles estáticos pozos PAT Ollagüe

Como se puede observar las variaciones históricas para todos los pozos son menores, no superando en la mayoría de los casos el metro. A partir de esta información podemos concluir que los niveles estáticos de los pozos del PAT Ollagüe se han mantenido estables durante el proceso de monitoreo.

### 7.3.3 Plan de Alerta Temprana Pampa Puno

Este plan de Alerta temprana Pampa Puno presenta 3 tipos de condicionantes, las que se han activado a partir de noviembre del 2013, fecha en que el titular ha informado el inicio de su proceso de extracciones productivas.

- a. Condición de descenso máximo: de 15 a 50 m del nivel del agua subterránea en el área del campo de pozos; Descenso máximo de 5 m del nivel del agua subterránea en el sector de Pampa Yocas.
- b. Condición de disminución máxima de flujo de salida hacia Pampa Yocas a 91 l/s. Esta condición es de carácter general pues no se establece el punto de medición y está íntimamente relacionada al modelo hidrológico con que se definió el PAT.
- c. Condición de radio de influencia, debido al bombeo, no debe superar los 5 km al sur de los pozos 1E, 2B y 3E y al pozo YOCA-8 (Reemplazó al YOC-8) por el norte. Esta condición no ha sido encontrada en los informes entregados por el titular.

A continuación, se muestra la Ficha Resumen del PAT Pampa Puno.

Nombre del PAT:		Pampa Puno	
Región:	Antofagasta	Fecha del PAT:	Mayo_2002
Comuna	Calama	Sector:	
Provincia	Loa		Pampa Puno
Resolución DGA que aprueba el PAT:		no tiene	
Titular (del PAT)	CODELCO-Div Chuquicamata		
Proyecto con RCA asociado	SI	Número RCA	RCA N° 2603/2005
Pozos con derechos en PAT / Q otorgado (l/s)		Resolución DGA que aprueba los derechos	
Puno 2B (35 l/s) Puno 11B (60 l/s)		RES DGA N°859/2002	
Puno 4B (110 l/s) Puno 314-B (5 l/s)			
Puno 6B (50 l/s)		Expedientes asociados a los derechos	
Puno 7B (50 l/s)			
Puno 9B (50 l/s)			
Puno-8B (9 l/s)			
Puno 10B (30 l/s)			
Puno 8B (9 l/s)		ND-0202-1880; ND-0202-2068	
<b>PROGRAMA DE MONITOREO</b>			
Monitoreo Fase prebombeo	SI	Puntos	33 estac_ de monitoreo (17 subte y 16 superf)
al menos 2 años			
<b>Monitoreo en Fase Bombeo:</b>			<b>FRECUENCIA</b>
Monitoreo de Niveles Napa	Puno-1E; Puno-2B; Puno-2E; Puno3E; Puno-314-B; Puno-4B; Puno-4E; Puno-5E; Puno-6B; Puno-7B; Puno-8B; Puno-9B; Puno-10E; Puno-11E; Yoca-08; Yoca-09; Yoca-10		mensual
Control de Extracciones	Puno-2B; Puno-314-B; Puno-4B; Puno-6B; Puno-7B; Puno-8B; Puno-9B; Puno-10B; Puno-11B		mensual
Aforo/Caudales en Aguas Superficiales	Si	Si, en 16 puntos del río Loa	mensual
Mon. Altura limnimétrica en cauce o laguna	Si	Si, en 2 pozas de Vega Sapunta	PAT no indica
Monitoreo Calidad Subterránea	Si	Si, en 9 pozos	trimestral
Monitoreo Calidad Superficial	Si	Si, en 2 pozas de Vega Sapunta	trimestral
Monitoreo de Isotopos	No	No aplica	N/A
Monitoreo Cobertura vegetal	No	No aplica	N/A
Medición profundidad Cuña_salina	No	No aplica	N/A
Monitoreo Fotográfico	Si	Si, en 2 pozas de Vega Sapunta	trimestral
Control Areal Lagunas c/Imágenes Satelitales	No	No aplica	N/A
<b>Entrega de Reporte a la DGA</b>	Si	Si, en Julio y Febrero de c/ año	Bianual
<b>CONDICIONANTES Y MEDIDAS</b>			
Condición Volumen Embalsado (%)	No aplica		
Condición Extracción Máx (Q)	Caudal otorgado máx. de 300 l/s al conjunto de pozos de extracción		
Condición Descenso de Nivel de Aguas	Desc. máximo de 15-50m. sector Campo de Pozos en Pampa Puno; Desc. Máx. de 5m. En sector de Pampa Yocas		
Condición de Flujo pasante (Q)	Disminución de flujo de agua saliente hacia Pampa Yoca a 91 l/s		
Condición Radio de Influencia (Km)	No debe superar los 5 kms. al sur de los pozos PUNO1E, 2B y 3E y al pozo YOC-8 por el norte.		
Condición Caudal Mínimo en Vertientes o Río	No aplica		
Condición Cobertura Vegetacional	No aplica		
Condición Isotópica	No aplica		
<b>SITUACIÓN DE ACTUALIZACIÓN DEL PAT</b>			
A la fecha de noviembre 2013, el Proyecto de Extracción de Pampa Puno aun se encuentra en Fase de Prebombeo, por lo que no se ha realizado hasta ahora Revisión y actualización del PAT. El Titular SI entrega Informes de Monitoreo en donde se analizan las variables comprometidas a monitorear en la Sección II.			

Tabla 7.6 Ficha Resumen PAT Pampa Puno

En primera instancia se someterá a análisis los niveles estáticos del campo de pozos en el acuífero de Pampa Puno considerando variaciones límites de 15m (Línea Naranja) y 50m (Línea Ploma) Se debe considerar adicionalmente que La RCA asociada a este proyecto (2603/2005), establece un único límite de descenso de 50 metros, el cual debe mantenerse al menos 3 meses.

Se observa en los gráficos que los pozos 2B-4B-6B-7B-9B-10B y 11B, han superado el límite de 15 metros durante el periodo posterior al inicio de bombeo y que en especial el pozo 6B ha superado el segundo límite de 50 Metros.

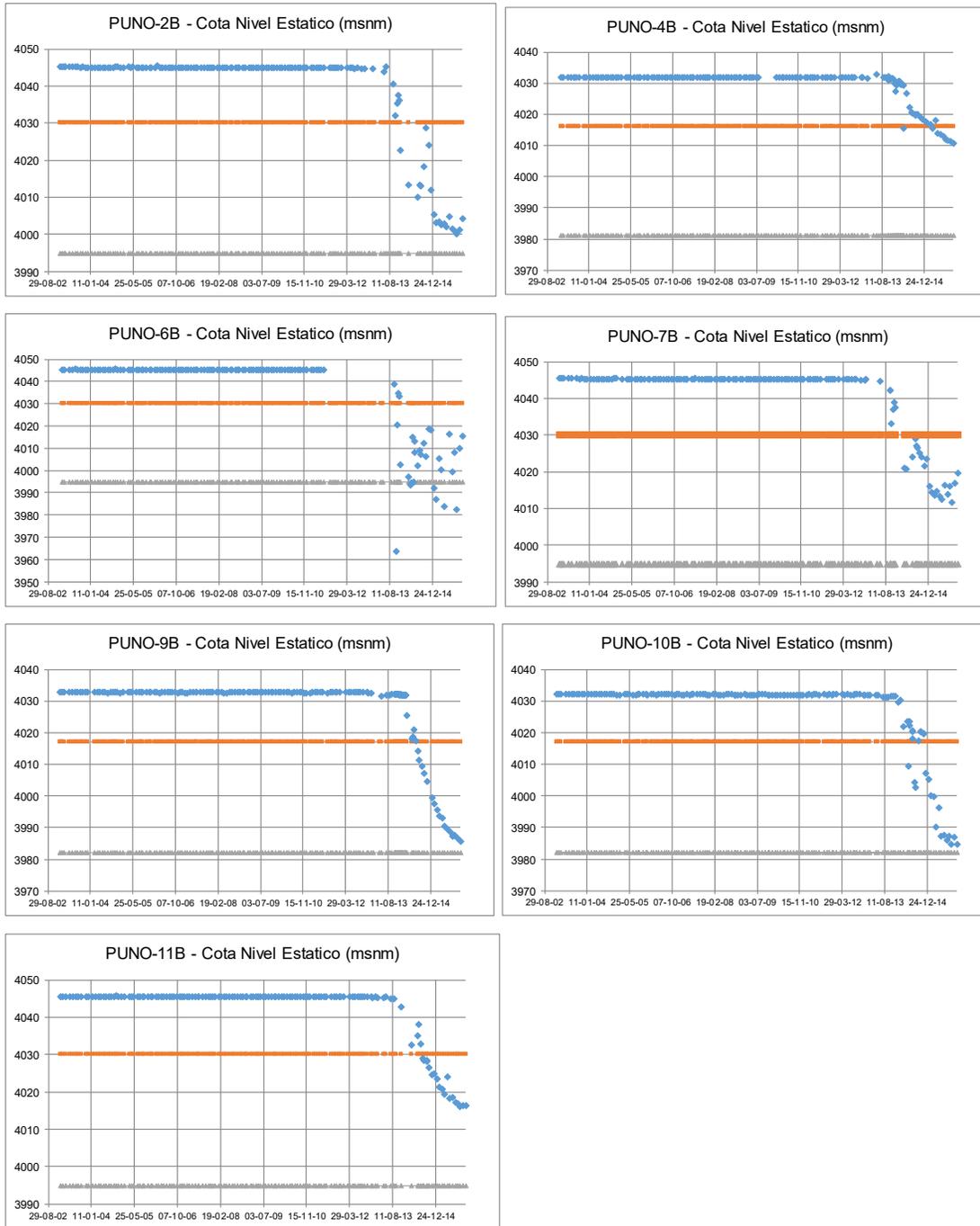


Figura 7.3: Pozos con disminución de niveles estáticos mayores a los límites de 15 y 50 metros respectivamente.

El resto de los pozos (1E-2E-3EA-4E-5E-8B-10E-11E-13-314B-PIB1) muestra variaciones menores a los límites indicados:

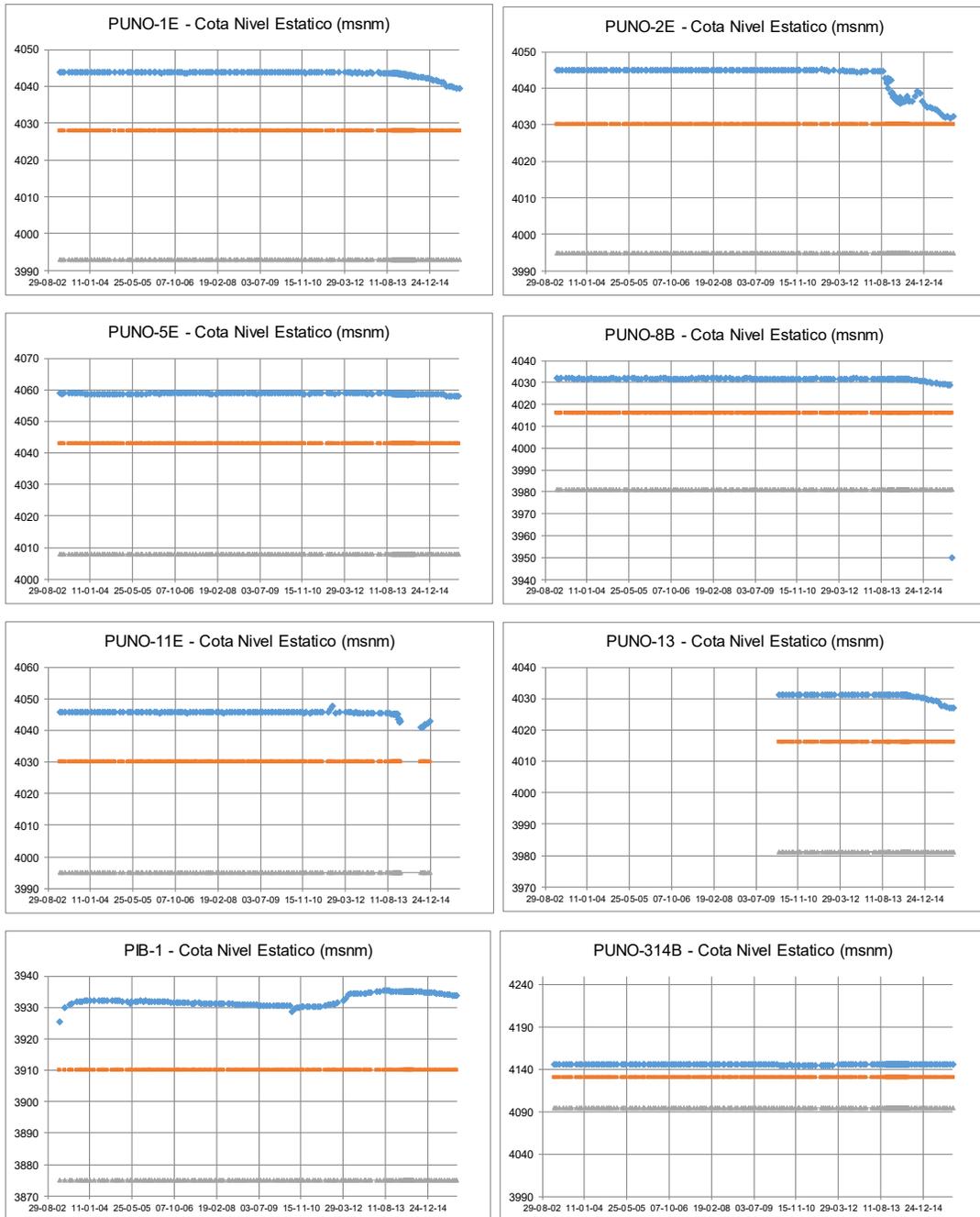


Figura 7.4: Gráficos de pozos que no superan límites de variación de nivel estático.

Respecto de los pozos del sector de Pampa Yocas, estos no han superado el límite de variación de 5 metros, como se muestra en los siguientes gráficos:

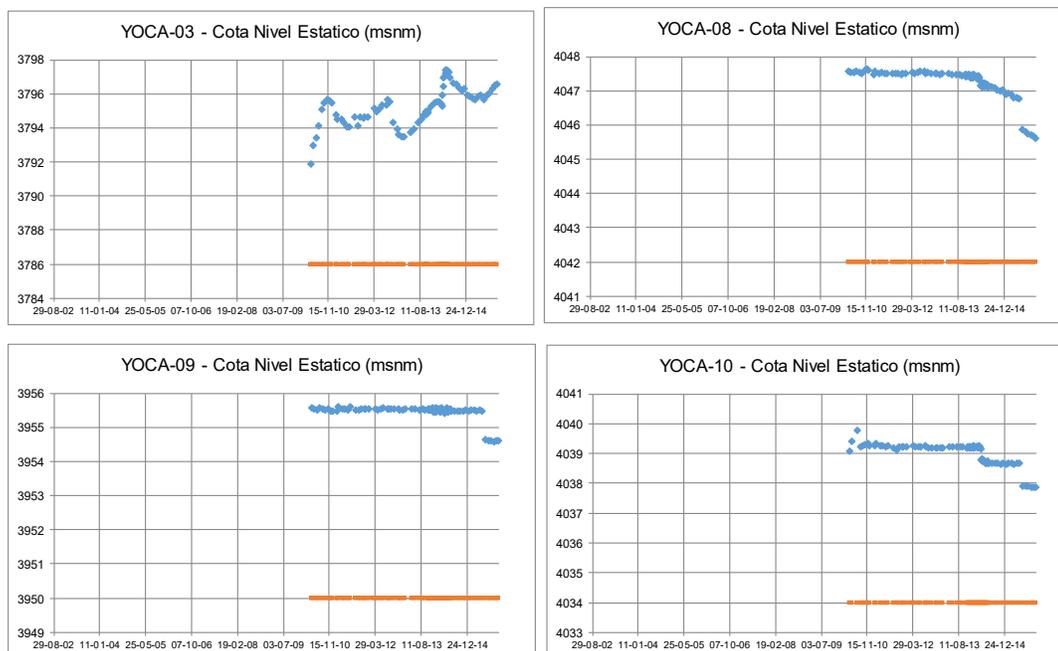


Figura 7.5: Niveles estáticos pozos zona Pampa Yocas y límite de variación de 5m

Finalmente indicar que la Resolución de Calificación ambiental asociada al proyecto Pampa Puno, establece mayor número de condiciones y restricciones que el Plan de Alerta Temprana, en especial aquellas asociadas a las vegas de Sapunta.

#### 7.3.4 Plan de Alerta Temprana Monturaqui-Negrillar-Tilopozo (MNT)

Este plan de Alerta temprana MNT presenta 3 tipos de condicionantes

- Condición de descenso máximo: de 25 cm del nivel del agua subterránea en el sector de Tilopozo;
- Condición de disminución máxima de flujo de salida o flujo pasante hacia el sector de Tilopozo de 6%;
- Condición de extracción máxima, desde todos los pozos de bombeo en los sectores de Monturaqui y Negrillar de 1800 l/s.

La segunda condición es abordada por el PAT-MNT, entregando la metodología para determinar la disminución de flujo pasante hacia el sector de Tilopozo producto de la explotación desde los sectores Monturaqui y Negrillar. Este no solo considera la explotación del año informado, sino que el acumulado en el tiempo desde que la explotación comenzó. Asimismo, utiliza como variable el volumen extraído medido tanto por Minera Zaldívar (CMZ) como por Minera Escondida (MEL).

Para determinar la disminución de flujo pasante se entregan gráficos de doble entrada (a diferentes escalas), determinados a partir de simulaciones realizadas con un modelo numérico, los cuales utilizan como variables de entrada el volumen total extraído desde Monturaqui y el volumen total extraído desde Negrillar.

La tercera condición, asociada a la extracción máxima desde Monturaqui y Negrillar ha implicado coordinar el intercambio de información entre CMZ y MEL quien es el titular del PAT, para la entrega de la información en forma consolidada. "

Nombre del PAT:				Monturaqui-Negrillar-Tilopozo			
Región:	Antofagasta			Fecha del PAT:	Julio_2001		
Comuna	Calama			Sector:			
Provincia	Loa			Monturaqui-Negrillar-Tilopozo			
Resolución DGA que aprueba el PAT:				RES DGA N° 1972 del 23.07.2001			
Titular (del PAT)		Minera Escondida Ltda.					
Proyecto con RCA asociado		SI	Número RCA		RCAN° 314/1997		
Pozos con derechos en PAT / Q otorgado (l/s)				Resolución DGA que aprueba los derechos			
MPW-3 (57,6 l/s) MPW-13 (40,3 l/s)				RES DGA N°604/2000; RES DGA N°605/2000;			
MPW-4 (36,4 l/s) MPW-14 (37,8 l/s)				RES DGA N°6060/2000			
MPW-5 (49,7 l/s) MPW-15 (31,8 l/s)							
MPW-7 (48,8 l/s) SAT-1 (3,8 l/s)				Expedientes asociados a los derechos			
MPW-8 (94,2 l/s)				ND-0203-1153; ND-0203-1455; ND-0203-			
MPW-10 (47,5 l/s)				1456			
MPW-11 (52,9 l/s)							
<b>PROGRAMA DE MONITOREO</b>							
Monitoreo Fase prebombeo		NO	Puntos		no aplica		
no aplica							
<b>Monitoreo en Fase Bombeo:</b>						<b>FRECUENCIA</b>	
Monitoreo de Niveles Napa		CL-6; DGA-1; DGA-1A; DGA-2; DGA-3A; DGA-4; M-7; M-16; M-17; M-22 al M-25; MEC-1 al MEC-3; MER- 1, 4, 5, 11, 12B, 13,14, 15-1, 18, 20, 22 al 17, 28b; MPW-01 al 21; MX-1, 3 al 6; NEP-1 al NEP-11; P-1 al P-6; SAT-2/D6; TP-1 al TP-3; TPB-01 al TPB-06				mensual	
Control de Extracciones		P-1 al P-6; MPW-01 al MPW-21				mensual	
Aforo/Caudales en Aguas Superficiales		No	No aplica			N/A	
Mon. Altura limnimétrica en cauce o laguna		Si	Si, lagunas La Punta y La Brava			mensual	
Monitoreo Calidad Subterránea		Si	Si, en pozos de producción 6 pozos P y 21 pozos MPW			trimestral	
Monitoreo Calidad Superficial		Si	Si, laguna La Punta- La Brava			trimestral	
Monitoreo de Isotopos		No	No aplica			N/A	
Monitoreo Cobertura vegetal		No	No aplica			N/A	
Medición profundidad Cuña_salina		Si	Si, en pozos TP-1, TP-2 y TP-3			mensual	
Monitoreo Fotográfico		Si	Si, laguna La Punta-La Brava			mensual	
Control Areal Lagunas c/Imágenes Satelitales		Si	Si, laguna La Punta-La Brava			semestral	
<b>Entrega de Reporte a la DGA</b>		Si	Si, en Julio y Febrero de c/año			Anual	
<b>CONDICIONANTES Y MEDIDAS</b>							
Condición Volumen Embalsado (%)		No aplica					
Condición Extracción Máx (Q)		1800 l/s en total de todos los usuarios					
Condición Descenso de Nivel de Aguas		0,25 m en el sector de Tilopozo					
Condición de Flujo pasante (Q)		Disminución de flujo de agua saliente hacia Tilopozo de 6%					
Condición Radio de Influencia (Km)		No aplica					
Condición Caudal Mínimo en Vertientes o Río		No aplica					
Condición Cobertura Vegetacional		No aplica					
Condición Isotópica		No aplica					
<b>SITUACIÓN DE ACTUALIZACIÓN DEL PAT</b>							
A la fecha de noviembre 2013, MEL ha informado que ha actualizado el modelo, sin embargo esta información aún no está en manos de la DGA.							

Tabla 7.7 Ficha Resumen PAT Monturaqui-Negrillar-Tilopozo.

A continuación analizaremos las graficas de los niveles estaticos de los pozos de la zona de Tilopozo, considerando un limite de descenso de 25cms (Linea naranja)

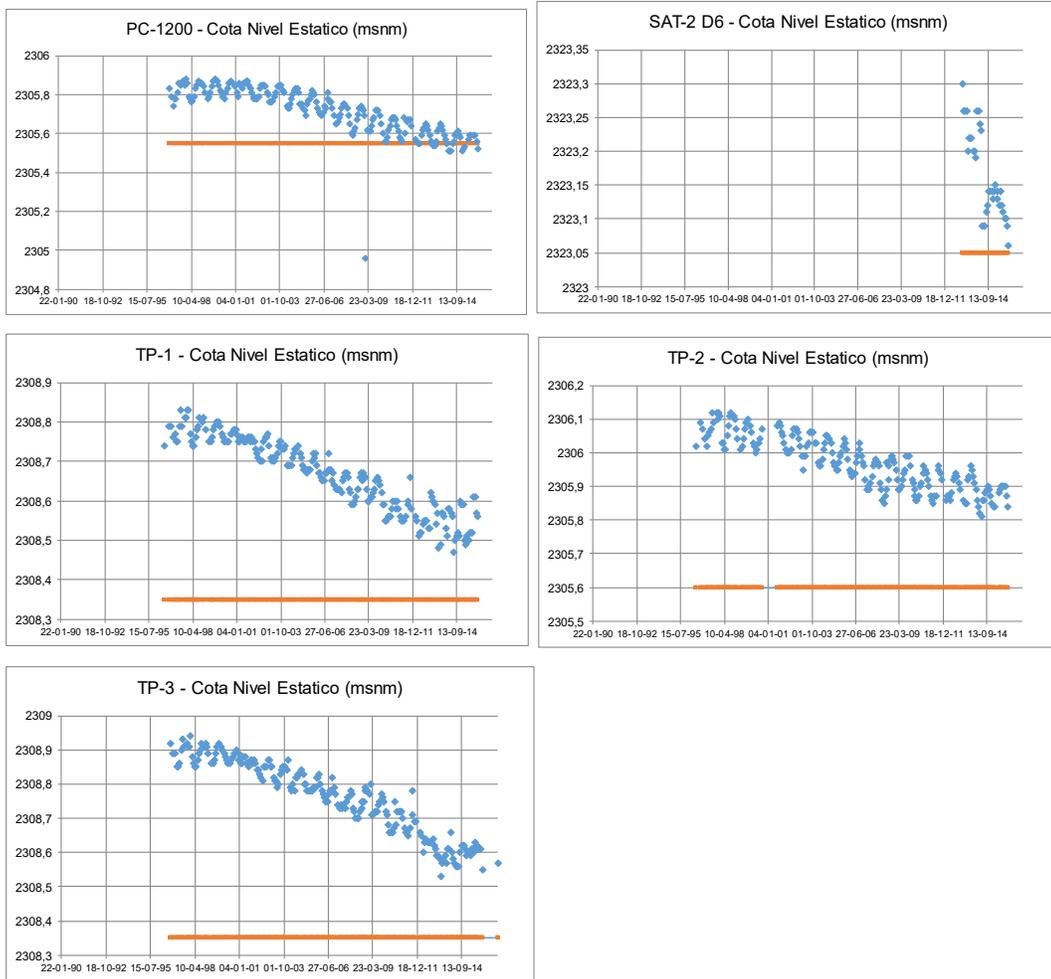


Figura 7.6: Gráfico de nivel estatico de pozos zona de Tilopozo

Se puede apreciar que el pozo PC-1200 ha superado el limite de descenso en diversas oportunidades durante el periodo 2014 y 2015, manteniendose en valores muy próximos a este límite.

### 7.3.5 Plan de Alerta Temprana Elvira-Los Morros

Este plan de Alerta temprana Elvira-Los Morros, corresponde a la consolidación de 3 planes generados independientemente, con un mismo titular y presenta las siguientes condiciones:

PAT ELVIRA	PAT EM	PAT LOS MORROS
De acuerdo a los modelos de simulación, contruidos, calibrados y operados con los antecedentes disponibles a la fecha (mayo 2003)	El método para estimar descensos y volúmenes se basa en simulaciones de modelos. De acuerdo a estos modelos:	De acuerdo a los modelos de simulación, contruidos, calibrados y operados con los antecedentes disponibles a la fecha (mayo 2003)
* Descensos máximos de niveles después de 50 años de explotación, no deben superar los 23 m en sector mariposas y 16 m en sector Elvira	* Los descensos máximos en los pozos después de 15 años de explotación son de aproximadamente 22 m. en Elvira y 9 m. en los Morros.	* Los descensos máximos de niveles después de 50 años de explotación, no deben superar los 13 metros.
* La explotación del acuífero del salar de Elvira no debe involucrar una extracción superior al 5% del volumen embalsado.	* La explotación de los acuíferos de Elvira y Los Morros no afecte negativamente el acuífero, no produciendo una disminución más allá de un 3% del volumen embalsado de los acuíferos.	* La explotación del acuífero no debe involucrar una extracción superior al 5% del volumen embalsado.
La Resolución agrega la condición de que con el ejercicio de los derechos, no se podrá explotar en la cuenca del Salar de Elvira un caudal nominal medio anual superior a 413 litros por segundo.	*Con el ejercicio de los derechos, no se podrá explotar un caudal nominal medio anual superior a 697 l/s	La Resolución no agrega nada más e indica lo mismo que el PAT.

Fuente: "Diagnostico y sistematización de información de planes de alerta temprana vigentes con condicionamiento de derechos " HIDROMAS CEF- 2013

Tabla 7.8 Condicionamientos de los PAT consolidados en el PAT Elvira-Los Morros

A continuación, se muestra la Ficha Resumen del PAT Elvira-Los Morros , generada el proyecto "Diagnostico y sistematización de información de planes de alerta temprana vigentes con condicionamiento de derechos "

<b>Nombre del PAT:</b>		<b>Elvira-Los Morros</b>	
Región:	Antofagasta	Fecha del PAT:	Enero_2003
Comuna	Sierra Gorda	Sector:	Sector Pampa Elvira y Sector Pampa Los Morros
Provincia	Antofagasta		
Resolución DGA que aprueba el PAT:		no tiene	
Titular (del PAT)		Santiago de Río Grande SAC (Codelco - División GABY)	
Proyecto con RCA asociado		SI	Número RCA: RCAN°10/2003
Pozos con derechos en PAT / Q otorgado (l/s)			Resolución DGA que aprueba los derechos
MAB-1 (4 l/s)	MAB-8 (18 l/s)	LMB-3 (30 l/s)	RES DGA N°716/2003; RES DGA N°356/2003; RES DGA N°02/2003; RES DGA N°408/2003
MAB-2 (9 l/s)	ELB-1 (60 l/s)	LMB-4 (24 l/s)	
MAB-3 (2 l/s)	ELB-3 (59 l/s)	LMB-5 (45 l/s)	Expedientes asociados a los derechos
MAB-4 (5 l/s)	ELB-4 (60 l/s)	PMB-99-1 (7 l/s)	
MAB-5 (45 l/s)	ELB-5 (65 l/s)		ND-0203-1990; ND-0203-1991; ND-0203-2033; ND-0203-2035
MAB-6 (20 l/s)	LMB-1 (14 l/s)		
MAB-7 (60 l/s)	LMB-2 (15 l/s)		
<b>PROGRAMA DE MONITOREO</b>			
<b>Monitoreo Fase prebombeo</b>		SI	Puntos: 17 pozos_monitoreo (11 Elvira-6 Los Morros)
no se especifica			
<b>Monitoreo en Fase Bombeo:</b>			<b>FRECUENCIA</b>
Monitoreo de Niveles Napa		ARMA-1; ARMA-6; ARMA-9; MAE-2; MAE-5; MAB-2; MAB-5; MAB-6; MAB-7; MAB-8; AREL-2; AREL-1; ELB-1; ELB-3; ELB-4; ELB-5; ELE-3; LOS MORROS: RHE99-1; RHE99-2; RHE99-4; PBM99-1; LME-1; LME-2; LMB-1; LMB-2; LMB-3; LMB-4; LMB-5	mensual
Control de Extracciones		MAB-6; MAB-7; ELB-1; ELB-3; ELB-5; MAB-2; MAB-5; MAB-8; ELB-4; MAB-1; MAB-3; MAB-4; PBM99-1; LMB-1; LMB-2; LMB-3; LMB-4; LMB-5	mensual
Aforo/Caudales en Aguas Superficiales		No	No aplica
Mon. Altura limnimétrica en cauce o laguna		No	No aplica
Monitoreo Calidad Subterránea		Si	Si, en 3 pozos en Elvira y 2 en Lmorros
Monitoreo Calidad Superficial		No	No aplica
Monitoreo de Isotopos		No	No aplica
Monitoreo Cobertura vegetal		No	No aplica
Medición profundidad Cuña salina		No	No aplica
Monitoreo Fotográfico		No	No aplica
Control Areal Lagunas c/Imágenes Satelitales		No	No aplica
<b>Entrega de Reporte a la DGA</b>		Si	Si, en Julio y Febrero de c/ año
<b>CONDICIONANTES Y MEDIDAS</b>			
Condición Volumen Embalsado (%)		3% PAT-EM; 5% PAT Elvira y 5% PAT Los Morros	
Condición Extracción Máx (Q)		Caudal máx. 413 l/s PAT-Elvira; 697 l/s PAT-EM	
Condición Descenso de Nivel de Aguas		PAT-Elvira -> Desc. Máx de 16 m. Elvira / 23 m. Mariposas PAT-EM --> Desc. Máx 22m. Elvira / 13 m. Los Morros PAT-LM --> Desc. Máx 13m. Los Morros	
Condición de Flujo pasante (Q)		No aplica	
Condición Radio de Influencia (Km)		No aplica	
Condición Caudal Mínimo en Vertientes o Río		No aplica	
Condición Cobertura Vegetacional		No aplica	
Condición Isotópica		No aplica	
<b>SITUACIÓN DE ACTUALIZACIÓN DEL PAT</b>			
A la fecha de noviembre 2013, Proyecto GABY se encuentra bombeando Pampa Elvira desde el año 2007. Los Morros está en Fase de Prebombeo. Hasta ahora no se ha realizado Revisión ni Actualización del PAT. El Titular Si entrega Informes de Monitoreo en donde se analizan las variables comprometidas a monitorear en la Sección II.			

Tabla 7.9 Ficha resumen PAT Elvira -Los Morros

Como se ha explicitado al comienzo de este análisis, no fue posible conseguir la información para la actualización de la base de datos asociada al PAT Elvira- Los Morros, por lo que se recomienda referenciar el trabajo Diagnostico y sistematización de información de planes de alerta temprana vigentes con condicionamiento de derechos "del año 2013 donde se aborda en detalle la situación de este PAT a esa fecha.

#### 7.4. Conclusiones y Recomendaciones

El proceso de actualización de la información asociada a los PAT´s fue un proceso lento en el que se debió trabajar con información en formato pdf, por lo que parece razonable requerir de parte de los titulares de cada plan el envío de la información en formato de Microsoft Excel, lo que haría más simple y seguro el proceso de carga de información al sistema A.S.A.P.

En términos generales, se debe buscar una forma en que la información de los titulares esté disponible en menos tiempo a los actuales, siendo recomendable desarrollar herramientas computacionales que permitan a estos actualizar su propia información. De igual forma se deben desarrollar herramientas de análisis que permitan una mejor gestión de la información para la toma de decisiones.