



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS DEL SISTEMA DE EVALUACIÓN AMBIENTAL EN RELACIÓN CON LA
RESPUESTA DE LOS SISTEMAS VEGETACIONALES AZONALES HÍDRICOS
ALTOANDINOS JACHUCOPOSA Y PAMPA LAGUNILLAS PRODUCTO DE LA
EXPLOTACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL

NATALIA ANDREA ROJAS SWANECK

PROFESORA GUÍA:
MESENIA DEL CARMEN ATENAS VIVANCO

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
CLAUDIA MELLADO TIGRE
ADOLFO OCHOA LLANGATO

SANTIAGO DE CHILE

2020

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR
AL TÍTULO DE: Ingeniera Civil
POR: Natalia Andrea Rojas Swaneck
FECHA: 2020
PROFESORA GUÍA: Mesenia Atenas Vivanco

**ANÁLISIS DEL SISTEMA DE EVALUACIÓN AMBIENTAL EN RELACIÓN CON LA
RESPUESTA DE LOS SISTEMAS VEGETACIONALES AZONALES HÍDRICOS
ALTOANDINOS JACHUCOPOSA Y PAMPA LAGUNILLAS PRODUCTO DE LA
EXPLOTACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS**

Jachucoposa y Pampa Lagunillas son dos sistemas vegetacionales azonales hídricos terrestres localizados en el altiplano chileno y que fueron impactados producto de la explotación de recursos hídricos subterráneos mediante el bombeo desde pozos pertenecientes a dos empresas mineras, Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi y Compañía Minera Cerro Colorado respectivamente. Ambos proyectos cuentan con Estudios de Impacto Ambiental publicados en el Servicio de Evaluación Ambiental, junto con información de seguimiento publicada en la Superintendencia del Medio Ambiente. Con dicha información de carácter público se realizó una revisión bibliográfica para conocer la evolución de ambos sistemas vegetacionales en relación con el proceso de evaluación ambiental llevado a cabo para ambos proyectos que han tenido modificaciones en el tiempo. A partir de ahí, se buscó determinar la influencia existente entre la explotación de los recursos hídricos, el proceso de evaluación ambiental junto a su institucionalidad y la evolución de la vegetación azonal de dichos sistemas. Finalmente se realizó un análisis crítico de cómo fue realizado dicho proceso a lo largo de los años para establecer cuáles fueron las pautas que marcaron las principales decisiones de las autoridades competentes y cómo estas influenciaron los cambios observados en la vegetación.

DEDICATORIA

A mi madre, abuela, amigas, y profesoras.

AGRADECIMIENTOS

Al fin puedo decir que culmina este largo proceso de estudios, que comenzó en el 2011 con una Naty muy ilusionada entrando a Bachillerato en la Universidad de Chile, pero bastante perdida en la vida. Sin duda, darme vueltas es parte de mí, por lo que elegir mi camino no iba a ser la excepción. El año 2013, luego de dos años bastante acontecidos, en donde puedo decir que conocí realidades totalmente diferentes a la mía y que me abrieron los ojos, al fin pude decidirme a estudiar Ingeniería Civil en Beauchef. Siempre supe que el camino de la Ingeniería no sería fácil, pero no imaginé lo difícil que realmente fue. A pesar de todo, soy una mujer persistente, pero además sé, que sin el apoyo de mi familia y amigos no hubiera sido lo mismo.

Quiero agradecer primero a mi Fran P. por ser mi partner los últimos años de colegio, las dos ñoñas matemáticas, y que hasta el día de hoy sigue siendo mi gran confidente. A la Diana R. por ser la amiga más apañadora de todas, desde los inicios del 2011 y ahora a muchos kilómetros de distancia, siempre con tus consejos de bruja y palabritas de amor. A mis Girlas Javi, Joti y Nine, nos conocimos en bachi, y luego nos fuimos juntas a ingeniería. Han sido parte importante en muchos momentos duros de la vida universitaria, siempre dándome apoyo, tirándome para arriba sin dejar que me rindiera. No puedo dejar de mencionar los buenos carretes, bailoteos, cumpleaños y break de chelas que pasamos juntas (mención especial al Rodri R, quien es una girla más). Estoy muy feliz y orgullosa de verlas hoy y de todo lo que han logrado. A los Hidrauloquillos, grandes compañeros de la hidráulica, de muchos almuerzos y noches de estudio. Soy muy feliz de estar terminando esta etapa junto a ustedes, por tener tantas aspiraciones y ser mi motivación de la profesional en la que me quiero convertir, Cata, Isa, Javi, Rodri, Álvaro, Pauli, Cami, Cony. Mención especial para las niñas bellas Ale, Cote C y Cote G. por siempre irradiar amor y luz, pero por sobre todo ser secas e inteligentes. También agradecer al Curso Pulento, quienes se han convertido en grandes colegas. A mis ángeles de JC, Tomás E, Diego G, Denisse, Daniel V. y Tomás C, por apañarme en mis prácticas profesionales y mostrarme el camino del bien en la vida laboral. Y por último al Lucho T. porque en tiempos de tesis se convirtió en un gran consejero. Obvio hay más personitas que han sido parte de esta etapa y están siempre en un lugar de mi corazón.

Por otro lado, agradecer a mi mamá y a Iván, mis padres, por apoyarme en todo este proceso, por nunca perder las esperanzas en mí, y por sobre todo siempre creer que sería capaz. Por darme los valores y enseñanzas que me convierten en la persona que soy hoy. A mis hermanos, tíos y primos por estar siempre pendiente de este proceso tan importante para mí. A mi Lily y Tata por ser los mejores abuelitos.

No puedo dejar de mencionar a mis perritos, que sin duda han sido los que más han trasnochado conmigo. A mi Pandora que duerme ahora en mis pies.

No fue fácil, pienso que, si pudiera elegir de nuevo, probablemente no elegiría esta carrera, por ser un ambiente demasiado hostil. Pero dentro de todo, amo lo que estudie, amo la ingeniería y la hidráulica, herramientas con las que sé que puedo aportar un granito de arena al mundo y al medio ambiente. Este camino me mostró que hay gente bacán que tiene grandes aspiraciones, y por, sobre todo, mujeres ingenieras espectaculares, que son un ejemplo para mí.

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1. Introducción.....	1
1.1. Motivación.....	1
1.2. Objetivos.....	2
1.3. Resultados Esperados	3
1.4. Glosario	4
CAPÍTULO 2. Metodología.....	5
2.1. Descripción de los SVAHT	5
2.2. Descripción Marco Normativo	5
2.3. Descripción y Funcionamiento de los Sistemas en Estudio	5
2.4. Análisis Crítico (Causa-Efecto) de los Sistemas de Estudio	6
2.5. Alcances.....	6
CAPÍTULO 3. Marco Teórico.....	7
3.1. Descripción general de los Sistemas Vegetacionales Azonales Hídricos Terrestres de la ecorregión altiplánica (SVAHT)	7
3.1.1. Agentes forzantes de los SVAHT.....	8
3.1.2. Clasificación de los SVAHT asociado a las características del componente abiótico ..	9
3.1.3. Funcionamiento de los SVAHT	10
3.1.4. Descripción de la Línea Base, Manejo y Seguimiento Ambiental de Humedales.	13
3.2. Descripción del Marco Normativo	15
3.2.1. Historia del Marco Normativo en Chile	15
3.2.2. Institucionalidad	15
3.2.3. Ley de Bases Generales del Medio Ambiente.....	17
3.2.4. Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.....	18
3.1.5. Desarrollo de una Evaluación de Impacto Ambiental	19
3.2.5. Relación entre marco normativo y SVAHT	20
CAPÍTULO 4. Descripción y Funcionamiento de los Sistemas Lagunillas y Jachucoposa	21
4.1. Sistema Hídrico y Vegetacional Lagunillas	21
4.1.1. Caracterización Área de Estudio	21
4.1.2. Desarrollo de la Evaluación Ambiental.....	43
4.1.3. Funcionamiento del Sistema – Línea Base.....	61
4.1.4. Funcionamiento del Sistema – Caso con Proyecto.....	68

4.2. Sistema Hídrico y Vegetacional Jachucoposa.....	95
4.2.1. Caracterización Área de Estudio	95
4.2.2. Desarrollo de la Evaluación Ambiental.....	117
4.2.3. Funcionamiento del Sistema – Línea Base.....	136
4.2.4. Funcionamiento del Sistema – Caso con Proyecto.....	146
CAPÍTULO 5. Análisis Crítico (causa- efecto) de los Sistemas de Estudio.....	179
5.1. Sistema Hídrico y Vegetacional Lagunillas	179
5.2. Sistema Hídrico y Vegetacional Jachucoposa.....	183
CAPÍTULO 6. Conclusiones.....	186
CAPÍTULO 7. Bibliografía.....	190

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1: Clasificación y características del suministro hídrico.....	8
Tabla 3-2: Clasificación y características del suelo.....	9
Tabla 3-3: Clasificación de los Sistemas Vegetacionales Azonales Hídricos Terrestres.....	10
Tabla 4-1: Conductividad hidráulica de las unidades hidrogeológicas en cuenca Lagunillas	34
Tabla 4-2: Formaciones vegetacionales en Lagunillas.....	39
Tabla 4-4: Variables de seguimiento agua y biota	60
Tabla 4-5: Balance hídrico cuenca Lagunillas en régimen natural	65
Tabla 4-6: Cobertura esperada del Bofedal Lagunillas en fase de recuperación Climax (Imagen Objetivo: Corresponde a la línea base))	67
Tabla 4-7: Fecha estimada de extinción de las vertientes	85
Tabla 4-8: Balance hídrico en situación con medida de mitigación en Lagunillas	88
Tabla 4-9: Cobertura vegetal de cojines, cespitosas, canales y Total en el polígono "Bofedal Puro" entre 2009 y 2015	89
Tabla 4-10: Cobertura (%) y superficie (ha) de plantas acojinadas en el Bofedal Puro.....	89
Tabla 4-11: Evaporación media mensual neta (mm/día) en estaciones de la cuenca de Coposa	100
Tabla 4-12: Parámetros hidráulicos de las unidades geológicas en cuenca Coposa	106
Tabla 4-13: Unidades Hidrogeológicas en cuenca Coposa y parámetros hidráulicos.....	108
Tabla 4-14: Vegetación azonal en el salar de Coposa.....	111
Tabla 4-15: Formaciones Vegetales Azonales Sector Jachucoposa.....	114
Tabla 4-16: Caudales de extracción de aguas subterráneas proyectadas para la cuenca Coposa	133
Tabla 4-17: Balance hídrico en cuenca Coposa, Régimen Natural	143
Tabla 4-18: Derechos de aguas subterráneas en cuenca de Coposa.....	148
Tabla 4-19: Descensos estimados en la operación actual y el Proyecto en áreas con vegetación azonal en el salar de Coposa.....	160
Tabla 4-20: Balance hídrico Régimen Natural y Situación Actual	168
Tabla 4-21: Fecha, campaña y período de la cobertura (%) y riqueza (N° de especies) histórica de las parcelas terrestres establecidas en el subsistema de Coposa.....	177

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 3-1: Esquema de vías de suministro hídrico de ecosistemas humedales altiplánicos.....	11
Figura 3-2: Tipo de Vegetación asociada a la humedad y componentes del sustrato	11
Figura 3-3: Dependencia de la vegetación a las napas subterráneas en función de la precipitación y afloramiento salino	12
Figura 3-4: Dinámica de cambio para sistemas vegetacionales azonales hídricos terrestres del altiplano y nivel de impacto.....	13
Figura 3-5: Diagrama de Flujo de un Estudio de Impacto Ambiental	19
Figura 4-1: Cuenca Lagunillas, Tarapacá, Chile	22
Figura 4-2: Sistema Lagunillas SVAHT – Laguna -Salar	23
Figura 4-3: Estaciones meteorológicas DGA cercanas a Lagunillas.....	24
Figura 4-4: Temperaturas Medias Estación Collacagua (°C).....	25
Figura 4-5: Temperaturas Medias Estación Lagunillas (Pampa Lirima) (°C)	25
Figura 4-6: Precipitaciones Medias Mensuales Sector Lagunillas (mm).....	26
Figura 4-7: Humedad Relativa Sector Lagunillas	26
Figura 4-8: Serie de precipitaciones anuales estaciones Lagunillas Pampa Lirima, Collacagua y Cancosa.....	27
Figura 4-9: Cauces principales en Cuenca Lagunillas.....	28
Figura 4-10: Ubicación histórica de las vertientes en el sector de Pampa Lagunillas.....	29
Figura 4-11: Vista general Laguna Huantija. Registro fotográfico 1997	30
Figura 4-12: Geología superficial cuenca Lagunillas.....	31
Figura 4-13: Leyenda Geología Superficial	32
Figura 4-14: Geología Subsuperficial. Perfil geológico A-A' y C-C' cuenca Lagunillas	33
Figura 4-15: Distribución vertical de unidades hidrogeológicas. A) Perfil A-A'; b) Perfil B-B'; c) Perfil C-C'. (M&A, diciembre 2019).....	34
Figura 4-16: Ubicación de áreas sensibles y acuíferos protegidos por la DGA en cuenca Lagunillas	36
Figura 4-17: Área de Estudio e Influencia de la Vegetación en sector Lagunillas	37
Figura 4-18: Distribución Histórica de la Vegetación (Línea Base). (Línea verde: Límite de bofedal puro, 8,3 ha; Línea roja: Límite de laguna durante inundación de 2001).....	38
Figura 4-19: Ubicación de pozos de monitoreo en la cuenca de Lagunillas	41
Figura 4-20: Ubicación de pozos de observación, punteras y pozos de bombeo en la cuenca Lagunillas	42
Figura 4-21: Línea de tiempo Proyectos CMCC.....	44
Figura 4-22: Piezometría conceptual régimen pre-bombeo	61
Figura 4-23: Esquema conceptual cuenca de salar.....	63
Figura 4-24: Esquema conceptual hidrológico e hidrogeológico de un acuífero formado en relleno sedimentario	64
Figura 4-25: Modelo conceptual del funcionamiento del sistema acuífero de la cuenca Lagunillas	64
Figura 4-26: Ubicación de formaciones vegetacionales en Pampa Lagunillas hasta cota 4.050 m.s.n.m.	66
Figura 4-27: Pozos de bombeo en cuenca Lagunillas	68
Figura 4-28: Caudal de bombeo en Pozos de Extracción.....	70

Figura 4-29: Descensos observados en pozos LA-1 y LA-2. Período 1994 a 2019.....	72
Figura 4-30: Descensos observados en pozos LA-3 y LA-4. Período 1994 a 2019.....	73
Figura 4-31: Descensos observados en pozos LA-5 y LA-6. Período 1994 a 2019.....	74
Figura 4-32: Descensos observados en pozos LA-7. Período 1994 a 2019	75
Figura 4-33: Elevación nivel piezométrico en piezómetros: (a) PZ-1A y PZ-1C y PZ-1A; (b) PZ-2A y PZ-2B;	76
Figura 4-34: Elevación nivel piezométrico en piezómetros: (c) PZ-3A,PZ-3B y PZ-3C; (d) PZ-5A y PZ-5B	77
Figura 4-35: Piezometría conceptual situación actual, abril 2019.....	78
Figura 4-36: Línea de tiempo de Actividades de Mitigación en Lagunillas	80
Figura 4-37: Distribución de los puntos del SRA, según fecha de instalación en el bofedal de Lagunillas (Imagen febrero 2015).....	82
Figura 4-38: Distribución de los puntos de recarga del SRA según tipo de surgencia asociada (Imagen febrero 2015).....	83
Figura 4-39: Modelo hidrogeológico conceptual sector Laguna - SVAHT	86
Figura 4-40:Cobertura de vegetación y recuperación de cojines entre 2009 y 2015	89
Figura 4-41; Ubicación de las parcelas de monitoreo del bofedal Lagunillas.....	90
Figura 4-42: Cobertura vegetal promedio en agrupación C2 y C5 de las parcelas del bofedal Lagunillas	91
Figura 4-43: Variación de la riqueza en Bofedal Lagunillas.....	92
Figura 4-44: Sectores de recarga del bofedal Lagunillas	93
Figura 4-45: Grillas de 1m ² para trasplante y siembra de semillas. Cuadrante de 10*10cm.	94
Figura 4-46: Cuenca Coposa, Tarapacá Chile.....	96
Figura 4-47: Sistema Jachucoposa SVAHT – Laguna – Salar.....	97
Figura 4-48: Estaciones meteorológicas en sector de cuenca Coposa.....	98
Figura 4-49: Temperaturas Medias Estación Ujina(°C).....	99
Figura 4-50: Precipitaciones Medias Mensuales Sector Coposa (mm).....	99
Figura 4-51: Humedad Relativa sector Lagunillas y Coposa.....	100
Figura 4-52: Serie de precipitaciones anuales en estaciones Ujina y Coposa	101
Figura 4-53: Lagunas Salar de Coposa (Cuando se nombra la laguna del salar de Coposa se refiere a todo este sistema	102
Figura 4-54: Registro Fotográfico de Laguna Jachucoposa	102
Figura 4-55: Geología superficial en cuencas Coposa y Michincha.	104
Figura 4-56: Geología subsuperficial. Perfiles geológicos A y D en cuenca Coposa.....	105
Figura 4-57: Pozos con pruebas hidráulicas en cuencas Coposa y Michincha	107
Figura 4-58: Mapa hidrogeológico cuencas de Coposa y Michincha	109
Figura 4-59: Perfiles Hidrogeológicos A-A' y D-D'	110
Figura 4-60: Vegas y acuíferos protegidos en cuenca de Coposa	112
Figura 4-61: Ubicación de la vegetación azonal potencialmente afectada en el salar de Coposa	113
Figura 4-62: Ubicación de los pozos de monitoreo y bombeo	116
Figura 4-63: Línea de tiempo de los proyectos de CMDIC	118
Figura 4-64: Nombres de pozos y niveles estáticos (con fecha) piezometría Coposa acuífero profundo en Régimen Natural	137
Figura 4-65: Nombres de pozos y niveles estáticos piezometría Coposa acuífero somero en Régimen Natural.....	138

Figura 4-66: Esquema conceptual hidrológico e hidrogeológico en Fallas Geológicas.....	140
Figura 4-67: Geología superficial y localización de perfiles N-S y W-E.....	141
Figura 4-68: Funcionamiento hidrogeológico de la vertiente Jachucoposa. Perfil N-S.....	142
Figura 4-69: Funcionamiento hidrogeológico de la vertiente Jachucoposa. Perfil W-E.....	142
Figura 4-70: Fotografía de vertederos en estación CSW-2, Vertiente Jachucoposa	144
Figura 4-71: Caudal Jachucoposa entre abril 1979 y junio de 1981	144
Figura 4-72: Registro fotográfico de aforadores y laguna Jachucoposa	145
Figura 4-73: Ubicación pozos vigentes con derechos de aguas subterráneas en la cuenca de Coposa.	149
Figura 4-74: Ubicación y traslado de pozos de bombeo de la CMDIC en la cuenca de Coposa (1998- 2011).....	150
Figura 4-75: Variación del nivel de los pozos de observación CWE23-1, CWE23-2, CWE23-3, CWE23-4, CWE-22-1, CWE-22-2,CWE-22-3 y CWE-22-4 y ubicación de las cribas en cada uno de ellos.....	153
Figura 4-76: Variación del nivel de pozos de observación CWE-22-1, CWE-22-2, CWE-22-3 y CWE-22-4.....	154
Figura 4-77: Variación del nivel de los pozos de observación CPZ-4A, CPZ-4B y CPZ-4C.....	156
Figura 4-78: Variación de niveles en punteras localizadas en sector Jachucoposa.....	157
Figura 4-79: Variación de nivel en punteras CMW-14, 17B, 18, 23, 26, 30, PC-01 PC-02, 03, 04, 05, 06, CMW-33, CMW-34 y CMW-36	159
Figura 4-80: Nombres de pozos y niveles estáticos piezometría Coposa acuífero profundo en situación Actual	161
Figura 4-81: Piezometría Coposa acuífero somero situación actual (2018).....	162
Figura 4-82: Aforos en vertiente Jachucoposa pre y post extracciones en la cuenca de Coposa	164
Figura 4-83: Geología superficial y localización de perfiles N-S y W-E.....	165
Figura 4-84: Evolución de la piezometría en sector de la vertiente Jachucoposa. Perfil N-S.....	166
Figura 4-85: Evolución de la piezometría en sector de la vertiente Jachucoposa. Perfil W-E....	166
Figura 4-86: Gradientes verticales reconocidos en el acuífero profundo en situación actual	167
Figura 4-87: Línea de Tiempo de Actividades de Mitigación en Jachucoposa.....	170
Figura 4-88: Ubicación de sitios por aspersión y surco (Coordenadas UTM, Datum WGS84, Huso 19 Sur.....	173
Figura 4-89: Caudal de descarga de vertiente Jachucoposa y niveles de pozos cercanos.....	174
Figura 4-90: Caudal Jachucoposa con Mitigación	175
Figura 4-91: Ubicación de las parcelas de vegetación acuática y terrestre en Salar de Coposa (Jachucoposa).	176
Figura 4-92: Cobertura y riqueza histórica de las parcelas terrestres establecidas en el subsistema de Coposa	178

CAPÍTULO 1. Introducción

1.1. Motivación

Junto con el desarrollo productivo y económico del país se han ido implementando en Chile las bases principales para el manejo, cuidado y mantención del medio ambiente. Dichas bases se plasman principalmente en la Ley N°19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente, la que en conjunto con el Reglamento presentado en el DS. N°40 marcan la pauta principal para abordar distintos proyectos, ya sean de tipo productivos, desarrollo energético, minería, tecnología, ciencia, entre otros.

En este ámbito es que surge la inquietud de estudiar cómo han sido abarcados los ecosistemas presentes a lo largo del país en el desarrollo de este tipo de proyectos, en donde cada uno presenta características particulares dependiendo de la zona en donde se ubique.

Este trabajo se centra en el estudio de los Sistemas Vegetacionales Azonales hídricos Terrestres (de aquí en adelante SVAHT) Pampa Lagunillas y Jachucoposa, los que están ubicados dentro de las cuencas altoandinas chilenas. Ambos sistemas tienen en común que su existencia dependía de afloramientos de aguas subterráneas provenientes desde los acuíferos en donde las compañías mineras Cerro Colorado y Doña Inés de Collahuasi, respectivamente, construyeron sus pozos de explotación para el abastecimiento hídrico de sus operaciones. Ambas mineras están operando desde la década de los 90 y presentan medidas de mitigación sobre sus Sistemas Vegetacionales Azonales Hídricos Terrestres. Además, llevan años de seguimiento y registros de sus variables ambientales relevantes y, lamentablemente, han tenido sanciones relacionadas a efectos ambientales en los ecosistemas antes nombrados.

Dado que ambos proyectos y sistemas presentan un registro contundente de información de la evolución de sus variables y de su operación es que se escogieron para ser estudiados en esta memoria. El análisis de la revisión bibliográfica da el punta pie para identificar el origen de cada una de las acciones tomadas durante el desarrollo y operación de estos proyectos mineros. Por lo cual, primero se debe conocer cómo es el funcionamiento hidrogeológico que permitió la existencia de cada sistema, para luego entrar de lleno a lo que fue el desarrollo, evaluación y seguimiento de la operación de los proyectos y analizar el comportamiento de las variables ambientales relevantes, en particular, sus recursos hídricos a nivel acuífero y la vegetación azonal.

Una parte fundamental dentro de esta tesis es conocer el rol que desempeñaron las instituciones medioambientales. Dentro de ellas, destacan, la CONAMA la que era responsable de actuar como un servicio de consulta, análisis, comunicación y coordinación en materias relacionadas con el medio ambiente y de proponer políticas para la gestión ambiental e informar sobre el cumplimiento de la legislación, entidad que el año 2010 se modificó mediante la creación del MMA encargado de regular, SEA a cargo de evaluar y SMA de fiscalizar y sancionar.

1.2. Objetivos

El objetivo general del presente trabajo de título es analizar las pautas que marcaron las decisiones en términos de la evaluación ambiental y del sistema de evaluación ambiental en relación con la respuesta en los sistemas vegetacionales azonales hídricos terrestres Jachucoposa y Pampa Lagunillas, producto de la explotación de recursos hídricos subterráneos llevados a cabo por las compañías mineras Doña Inés de Collahuasi y Cerro Colorado en el desarrollo de sus respectivos proyectos.

Los objetivos específicos de este trabajo son:

Objetivo específico 1:

Describir el marco normativo en Chile, incluyendo la Ley 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente y sus modificaciones en el tiempo. Describir el rol que tuvo CONAMA y posteriormente el Ministerio del Medio Ambiente, Servicio de Evaluación Ambiental y Superintendencia del Medio Ambiente. Identificar los servicios públicos competentes en el proceso de evaluación ambiental y los cambios que ha tenido la Ley de Bases en relación con los recursos hídricos y su implicancia en los SVAHT. En este último punto, identificar la inclusión de los SVAHT en el Sistema de Evaluación Ambiental, y el grado de importancia que se le ha ido dando a lo largo de los años identificando hitos clave que provocaron que estos tuvieran relevancia en el proceso.

Objetivo específico 2:

Describir el sistema hidrogeológico que permite la existencia de los sistemas vegetacionales azonales de Jachucoposa y Pampa Lagunilla y su relación con los requerimientos y/o dependencia con los recursos hídricos. Describir el modelo conceptual hidrogeológico en situación natural de ambos sistemas.

Objetivo específico 3:

Describir la relación entre cada proyecto y sistema natural (agua y vegetación), describir el modelo conceptual hidrogeológico en situación con proyecto de ambos sistemas e identificar la información que se fue generando en el desarrollo de los proyectos (SEA) y su seguimiento (SMA).

Objetivo específico 4:

Analizar críticamente la relación causa-efecto en relación con los sistemas vegetacionales, disponibilidad hídrica y desarrollo de la evaluación ambiental para los proyectos relacionados con los sistemas Jachucoposa y Pampa Lagunilla. Lo anterior incluye el proceso de evaluación en el SEIA, la participación de servicios públicos competentes, condiciones establecidas en las RCA y la información de seguimiento del SMA.

1.3. Resultados Esperados

Sobre la base de la recopilación de antecedentes y del análisis de la información, se espera conocer cuál sería el grado de influencia que tiene del sistema de evaluación ambiental con respecto a los impactos producidos en los sistemas vegetacionales.

En términos específicos se espera:

- Conocer la “pregunta clave” sobre cómo evolucionó el Sistema de Evaluación Ambiental y cómo influyeron los pronunciamientos de la autoridad ambiental en la evolución hacia la protección de los sistemas vegetacionales.
- Dar una opinión en función de lo que pasó, si las preocupaciones de las instituciones fueron relevantes, atingentes, realistas, entre otros.
- Plantear de manera general, si el sistema de evaluación se ha reformulado en algunos aspectos, y si ha incluido exigencias y/o información en relación con los sistemas vegetacionales azonales hídricos.

1.4. Glosario

A continuación, se presenta un glosario que contiene las palabras claves y/o abreviaciones de conceptos utilizadas en el desarrollo del presente trabajo.

Adenda: Adiciones o complementos añadidos a una DIA o EIA.

CMCC: Compañía Minera Cerro Colorado

CMDIC: Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi

CONAF: Comisión Nacional Forestal

CONADI: Corporación Nacional de Desarrollo Indígena

DIA: Declaración de Impacto Ambiental. Consiste en el documento descriptivo de una actividad o proyecto que se pretende realizar, o de las modificaciones que se le introducirán, otorgado bajo juramento por el respectivo titular, cuyo contenido permite al organismo competente evaluar si su impacto ambiental se ajusta a las normas ambientales vigentes.

DGA: Dirección General de Aguas

D.S: Decreto Supremo

EIA: Estudio de Impacto Ambiental. Un EIA es el documento que describe pormenorizadamente las características de un proyecto o actividad que se pretenda llevar a cabo o su modificación. Debe pormenorizar antecedentes fundados para la predicción, identificación e interpretación de su impacto ambiental y describir la o las acciones que ejecutará para impedir o minimizar sus efectos significativamente adversos

ICE: Informe Consolidado de Evaluación

ICSARA: Informe Consolidado de Solicitud de Aclaraciones, Rectificaciones y/o Ampliaciones

Línea Base: Consiste en la descripción detallada de los distintos componentes ambientales en la condición previa al emplazamiento de un proyecto o actividad; dentro del área de influencia del mismo. Constituye, además, uno de los contenidos mínimos exigidos por la Ley N°19.300.

MMA: Ministerio del Medio Ambiente

OAECA: Órganos de la Administración del Estado con Competencia Ambiental

RCA: Resolución de Calificación Ambiental

Res Ex: Resolución Exenta

SAG: Servicio Agrícola y Ganadero

SEA: Servicio de Evaluación Ambiental

SEIA: Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental

SERNAGEOMIN: Servicio Nacional de Geología y Minería

SMA: Superintendencia del Medio Ambiente

SNIFA: Sistema Nacional de Información de Fiscalización Ambiental

SVAHT: Sistema Vegetacional Azonal Hídrico Terrestre

ZFP: Zona Falla Pabellón

CAPÍTULO 2. Metodología

2.1. Descripción de los SVAHT

En esta sección, incluida dentro del marco teórico de la tesis, se describe el funcionamiento de los Sistemas Vegetacionales Azonales Hídricos Terrestres, de acuerdo a Ahumada y Faúndez (2009), y en conjunto con otros autores allí citados. Se definen en qué consiste este tipo de sistema vegetacional, cuáles son sus agentes forzantes, los grupos en que se clasifican y cómo es el funcionamiento de cada uno de ellos. Se finaliza con la descripción de los contenidos mínimos que debe tener la línea base cuando estos sistemas se encuentran inmersos en alguna zona que fuera o tuviera posibilidades de ser afectada por proyecto que ingrese al SEIA.

2.2. Descripción Marco Normativo

En esta sección incluida dentro de la segunda parte del marco teórico, se describe el marco normativo en Chile, desde antes de la existencia de la Ley 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente, hasta la actualidad. Se describe la Ley de Bases Generales del Medio Ambiente, el Reglamento y sus principales modificaciones en el tiempo. Es importante mencionar que el desarrollo de los proyectos que afectan los sistemas tratados se realizó durante un periodo en que se implementaron nuevas leyes y normativas ambientales, los cuales fueron sujetos de cambio a lo largo de los años.

2.3. Descripción y Funcionamiento de los Sistemas en Estudio

En esta sección se describen los sistemas de estudio Lagunillas y Jachucoposa en base a la Línea Base de los Estudios de Impacto Ambiental que los involucran, pertenecientes a la Compañía Minera Cerro Colorado y a la Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi respectivamente.

Se comienza con una descripción del funcionamiento del sistema hídrico y vegetacional general de la cuenca con información del área de estudio, clima y meteorología hidrogeología, descripción de la vegetación de la zona y ubicación de pozos y punteras de monitoreo.

Luego se describe el desarrollo de la evaluación ambiental de cada uno de los proyectos ingresados al SEIA y que tienen relación con los sistemas en estudio. Aquí se incluye una descripción del proyecto al entrar al SEIA, ya sea mediante un EIA o DIA, los comentarios realizados por los OAECA, Adendas, ICSARAS, ICE y RCA. Todo lo anterior enfocado en las temáticas relacionadas a la extracción de aguas subterráneas, niveles del acuífero, cobertura, riqueza y evolución de la vegetación azonal y medidas de mitigación o remediación implementadas en cada uno de los proyectos ingresados al SEIA. Además, se describen los procesos sancionatorios, de modificación a resoluciones y de reclamaciones que involucraron a las compañías.

Luego se presenta la condición de la zona en el caso base, es decir, antes de la implementación y operación de los proyectos, en cuanto a niveles piezométricos históricos, condición de la vegetación, balance hídrico en régimen natural y modelo conceptual. Siguiendo por la descripción de la zona una vez implementada el proyecto. Aquí se incluyen los caudales de bombeo, los niveles piezométricos y su evolución, balance hídrico, modelo hidrogeológico conceptual, evolución de la vegetación en cuanto a cobertura y riqueza y finalmente describen las actividades de mitigación, reparación y/o compensación llevadas a cabo debido a los impactos ocurridos en ambos sistemas.

2.4. Análisis Crítico (Causa-Efecto) de los Sistemas de Estudio

En base al desarrollo de los proyectos y la información obtenida de las evaluaciones ambientales del SEA y del seguimiento del SMA se realiza un análisis crítico de cómo fueron llevados a cabo dichos procesos. Se toma en cuenta los pronunciamientos emitidos por los Órganos de la Administración del Estado con Competencia Ambiental, las ICSARAS, ICE y RCA junto con los seguimientos y sanciones posteriores.

El análisis se enfoca en los estudios, comentarios, decisiones y medidas implementadas durante dichos procesos con respecto a las variables de agua y vegetación azonal. Ello incluye la información presentada por el titular de cada proyecto, las observaciones y exigencias de los OAECA y la participación del SEA y SMA. Este análisis se realiza a lo largo del tiempo, es decir, previo a la implementación del proyecto y durante la operación del proyecto, incluyendo el comportamiento de las variables relevantes, las medidas de mitigación y las medidas de seguimiento de cada una de las variables de interés relacionadas con la vegetación azonal.

2.5. Alcances

Los alcances del trabajo de título se basan en la información recopilada a través de una exhaustiva revisión bibliográfica de información de uso público.

La información entregada del funcionamiento hidrogeológico de las cuencas Coposa y Lagunillas consta de la recopilación de los estudios llevados a cabo por las EIAs y DIAs publicadas en la página oficial del SEA, junto con la información de todo el proceso posterior, que incluye las respuestas de los Servicios Públicos, Adendas, ICSARAs, ICEs, RCAs e información de seguimiento del SNIFA publicada en la página oficial de la SMA.

Además, se revisó documentación regulatoria, correspondientes a la Ley 19.300 Sobre Bases Generales del Medio Ambiente, y las leyes posteriores que la modifican junto con los decretos 30 y 40 del Reglamento y Nuevo Reglamento del SEIA.

Todo lo anterior fue complementado con los textos y publicaciones de los expertos citados y referenciados a lo largo del trabajo para comprender los conceptos técnicos desarrollados.

En este trabajo no se realizaron visitas a terreno, medición de datos ni estudios experimentales por parte de la autora. Solo se analizaron los datos ya publicados en los casos necesarios.

El trabajo trata únicamente sobre los efectos en los sistemas vegetacionales Jachucoposa y Lagunillas. La descripción de las cuencas realizada es para contextualizar el funcionamiento específico de dichos sistemas.

CAPÍTULO 3. Marco Teórico

3.1. Descripción general de los Sistemas Vegetacionales Azonales Hídricos Terrestres de la ecorregión altiplánica (SVAHT)

La ecorregión altiplánica se define como el sector de la estepa altoandina circunscrita por sobre los 3.500 m.s.n.m. hasta los 4.500 m.s.n.m. de altitud como rango promedio. Predomina un régimen climático de tundra fría de altura, con influencia tropical que determina precipitaciones concentradas en temporada de verano, con presencia marcada de aridez en la medida que se avanza en sentido norte-sur (Ahumada y Faúndez, 2001).

La vegetación de la ecorregión del altiplano chileno comprende una serie de formaciones vegetacionales que conforman a grandes rasgos dos grupos o conjuntos de vegetación. El primero, corresponde a la denominada vegetación zonal, que ocupa laderas y llanos de gran extensión en toda la zona de estudio, se conforma principalmente por unidades de vegetación arbustiva y herbáceas perennes. El segundo grupo, y de interés en este trabajo, es la vegetación azonal, las que genéricamente se denomina humedales de altura (Biota, 2006) y se describirán en detalle a continuación.

Los humedales altiplánicos correspondientes a Sistemas Vegetacionales Azonales Hídricos Terrestres (SVAHT) y se caracterizan porque su existencia responde a condiciones locales o patrones azonales, las que normalmente están acotadas a características del suelo o sustrato, humedad o cualquier característica particular que determine su presencia, sin observarse en ningún caso un patrón continuo de distribución. Por el contrario, la vegetación zonal que define la mayor parte de la distribución de la vegetación altiplánica responde principalmente a factores zonales, influenciados por agentes forzantes como lo son el nivel de precipitaciones estivales, pendiente, exposición y altitud, determinando la presencia de vegetación herbácea y arbustiva. (Ahumada y Faundez, 2009).

La vegetación azonal se caracteriza por tener un aporte hídrico permanente y constante durante la temporada de crecimiento (fines de primavera, verano e inicios de otoño) y por su presencia en ambientes normalmente árido-fríos. Estos sistemas se desarrollan en medio de matrices arbustivas o herbáceas que componen el sistema ecológico zonal, resaltando por su mayor actividad vegetativa y sus mayores cubrimientos (normalmente sobre el 50 %) (Biota, 2006).

De las 8.864.000 ha. que alcanza la ecorregión altiplánica de Chile, 58.600 ha. es vegetación azonal hídrica terrestre, lo que es tan solo un 0.56% de la superficie total de la zona. A pesar de ser los sistemas de menor tamaño, corresponden a los de mayor productividad en las áreas en las cuales se ubican, lo que los constituye en elementos funcionales de alta significación para los ecosistemas relacionados (Biota, 2006). Estos sistemas se han constituido en lugares de alta relevancia por su particular biodiversidad biológica y por el rol que representan para los sistemas productivos de las comunidades locales, basados en técnicas ancestrales (Ahumada y Faundez, 2009).

Los bofedales son ecosistemas clave porque desempeñan un papel crítico en el mantenimiento de una diversidad particular de fauna que depende de ellos para encontrar su alimento y como sitios de reproducción, influyen en el microclima local, atemperando los rigores de la sequedad medioambiental, además, las comunidades locales que tienen ganado camélido, como alpacas y llamas dependen directamente de éstos ya que los utilizan para el pastoreo de sus rebaños, que son la base de su economía. Por estas razones, es importante establecer un programa de monitoreo a

largo plazo acerca de su salud ecosistémica: las características fisicoquímicas del agua y del suelo, la composición de flora y fauna, la productividad para la ganadería y la producción de agua para las comunidades humanas. (Naoki, et. al., 2014).

3.1.1. Agentes forzantes de los SVAHT

La existencia de los SVAHT está determinada por la interacción entre características del sitio o medio abiótico y la vegetación. Dichas características son variables físicas de tipo azonal y corresponden a la cantidad de humedad, materia orgánica y salinidad presentes en el medio.

La humedad es el agente forzante de mayor importancia en los humedales altoandinos, la que proviene de 2 fuentes: acuíferos subterráneos y cursos de agua superficiales. La Tabla 3-1 resume sus principales características.

Tabla 3-1: Clasificación y características del suministro hídrico

	Suministro hídrico		
	Acuífero Subterráneo		Cursos de aguas superficiales
Clasificación	Afloramientos hídricos a través de surgencias	Suministro hídrico por ascenso capilar desde el acuífero	Ríos superficiales que atraviesan superficies
Características principales	Pueden ser en forma de vertientes; afloramientos canalizados; surgencias difusas	Determinado por la cercanía de la napa a la superficie del sustrato; variaciones inter e intra anuales	Humedad por inundación o por infiltración lateral

Fuente: Elaboración propia en base a texto de Ahumada y Faúndez, 2009

Las características del suelo o sustrato son el segundo agente forzante de mayor importancia en los humedales, los que difieren en cantidad de materia orgánica y salinidad en el medio, condicionando la presencia y variedad de la vegetación. La Tabla 3-2 presenta las principales características del sustrato.

Tabla 3-2: Clasificación y características del suelo

	Tipo de Suelo	
	Orgánico	Mineral
Clasificación	Contenido de materia orgánica superior al rango de 20-35%	Contenido de materia orgánica menor al rango de 20-35%
Presencia	Acumulación de estructuras de plantas que van quedando en los primeros centímetros del suelo con procesos de descomposición lento	Afloramiento salino permanente o estacional
Características principales	Directamente proporcional al contenido de agua en el suelo	El % de cubrimiento y tiempo de permanencia de sales en la superficie es inversamente proporcional a la disponibilidad de agua.

Fuente: Elaboración propia en base a texto de Ahumada y Faúndez, 2009

3.1.2. Clasificación de los SVAHT asociado a las características del componente abiótico

En la Guía de Ahumada & Faúndez (2009), se plantean tres criterios para la clasificación de la vegetación, los que consideran la arquitectura del crecimiento de las especies dominantes de la formación vegetal, la humedad del sitio y la presencia de afloramiento de sales para determinar la característica salina o no.

El primer criterio, correspondiente a la arquitectura, la cual clasifica a la vegetación en los siguientes grupos:

- Forma de la planta, cespitosa o no cespitosa
- Formaciones de cojines, compactos o no
- Predominio de plantas, rizomatosas o no
- Altura de desarrollo de las especies dominantes
- Superficie cubierta por afloramientos salinos

El segundo y tercer criterio están relacionados entre si y corresponden a la dependencia de la humedad del sitio y la presencia de afloramientos salinos sobre la superficie de las plantas que componen la formación dominante y el sustrato que las acompaña. En base a estos dos criterios los tipos de formaciones vegetales definidos son:

- Bofedales no salinos
- Bofedales salinos
- Pajonales hídricos no salinos
- Pajonales hídricos salinos
- Vegas no salinos
- Vegas salinas

De acuerdo con los criterios nombrados se presenta la siguiente tabla propuesta por Ahumada y Faúndez (2009), con la clasificación de los SVAHT.

Tabla 3-3: Clasificación de los Sistemas Vegetacionales Azonales Hídricos Terrestres

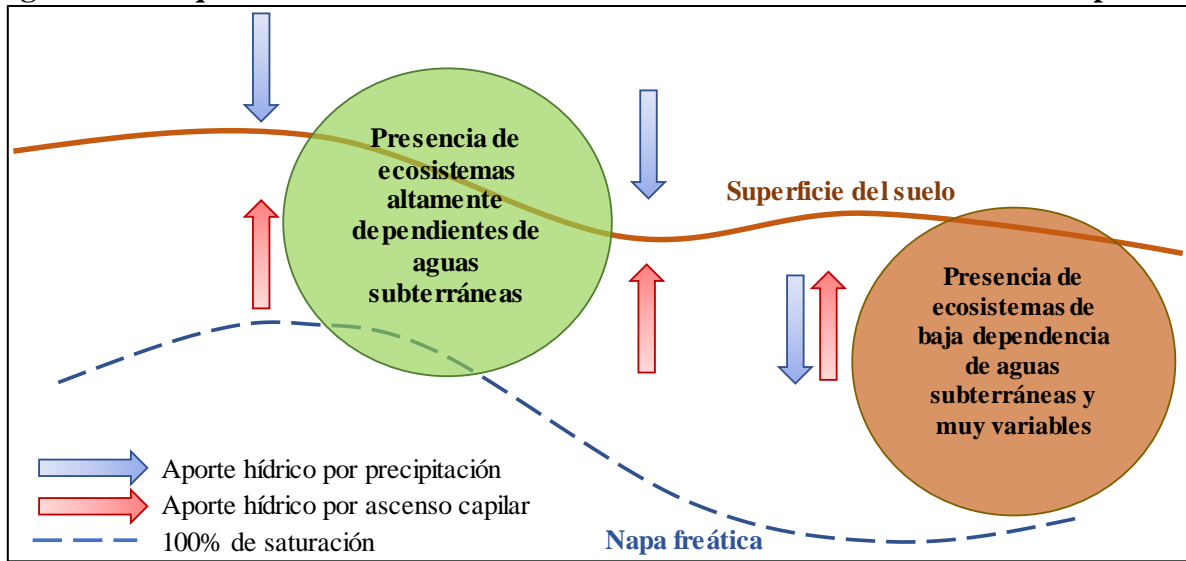
Clasificación de Vegetación	Criterios de Clasificación			
	Aporte hídrico	Arquitectura de crecimiento	Materia orgánica en el suelo	Afloramiento salino (%)
Bofedal no salino	Lagunas, escurrimientos superficiales, napa freática alta, que mantienen humedad permanente en el sustrato	Principalmente en cojín, no cespitoso. Pastos bajos con crecimiento muy compacto	Sustratos con alto contenido de materia orgánica	< 5%
Bofedal salino	Lagunas, escurrimientos superficiales, napa freática alta			> 5%
Pajonal hídrico no salino	Lagunas y escurrimientos superficiales. Saturación de sustrato en época estival	Cespitoso (forma champas). Plantas con altura de crecimiento > a 40 cm.	Sustratos con contenidos medios de materia orgánica	< 30%
Pajonal hídrico salino	Lagunas y escurrimientos superficiales. Saturación de sustrato en época estival, con períodos más restringidos que el anterior			> 30%
Vega no salina	Lagunas y escurrimientos superficiales. Sustrato al menos en capacidad de campo en época estival.	Rizomatoso, no cespitoso (forma un cespado corto). Plantas con altura de crecimiento < a 40 cm	Sustratos con contenido de materia orgánica muy variable	< 20%
Vega salina	Amplia plasticidad que va de sustratos con saturación baja a completamente saturados			> 20%

Fuente: Ahumada y Faúndez, 2009

3.1.3. Funcionamiento de los SVAHT

Tal como se ha descrito, la vegetación azonal depende de las características locales específicas, lo que la hace ser más o menos hidrófila. En la Figura 3-1 se esquematizan las vías de suministro hídrico en relación al tipo de ecosistema. En ella se puede observar que mientras más somera se ubique la napa freática, la humedad del suelo que determina la presencia de especies vegetales hidromórficas es más estable y está influenciada principalmente por el ascenso capilar desde la zona saturada en profundidad o por las surgencias que la presión del acuífero determine. En estas áreas es posible encontrar formaciones de bofedal no salino, pajonal hídrico no salino y vega (salina y no salina). A medida que el nivel freático se encuentra a mayor profundidad, los ecosistemas presentes son menos dependientes de las aguas subterráneas, la superficie cubierta por sales aumenta, en tanto que la vegetación presente es del tipo pajonal salino o vega salina.

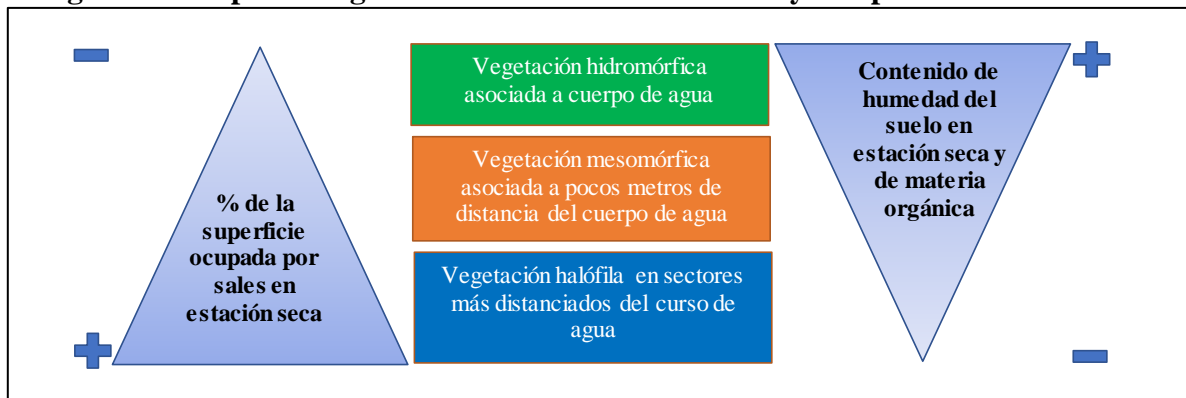
Figura 3-1: Esquema de vías de suministro hídrico de ecosistemas humedales altioplánicos



Fuente: Elaboración propia basado en Ahumada y Faúndez, 2009

A la vez, el tipo de vegetación está asociado al tipo de sustrato y humedad. En la Figura 3-2 se esquematiza que, a menor porcentaje de superficie ocupada por sales, mayor es el contenido de humedad y de materia orgánica, por lo que se presenta vegetación de tipo hidromórfica asociada a cuerpos de agua. A medida que aumenta la cantidad de sales, disminuye la humedad del suelo y la presencia de materia orgánica, pasando de vegetación de tipo mesomórfica y halófila (organismo que vive en ambientes con gran cantidad de sales) a un mayor distanciamiento del cuerpo de agua.

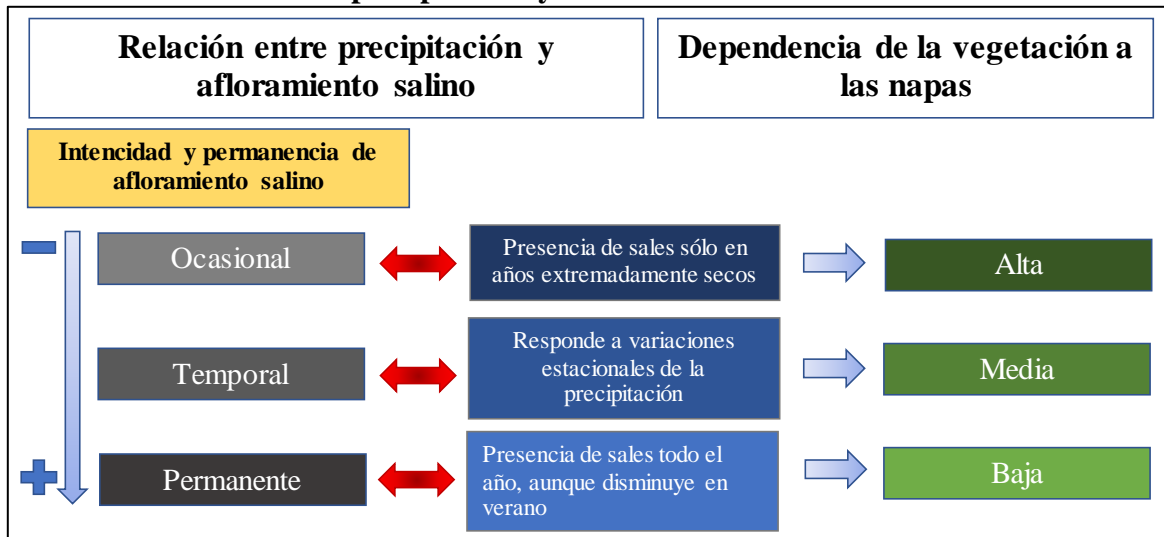
Figura 3-2: Tipo de Vegetación asociada a la humedad y componentes del sustrato



Fuente: Elaboración propia basado en Ahumada y Faúndez, 2009

En la Figura 3-3 se presenta la dependencia de la vegetación a las napas subterráneas en función de la precipitación y afloramiento salino. Cuando el afloramiento salino es ocasional, se asocia a años extremadamente secos y la dependencia de las napas subterráneas es alta, cuando la presencia de sales es temporal, se asocia a variaciones estacionales, donde la salinidad aumenta entre otoño y primavera y disminuye en verano producto de la ocurrencia de precipitaciones, en este caso la dependencia a las napas es de carácter medio. En el otro extremo está la presencia permanente de afloramientos salinos, la que disminuye levemente en verano y con una baja dependencia a las napas.

Figura 3-3: Dependencia de la vegetación a las napas subterráneas en función de la precipitación y afloramiento salino



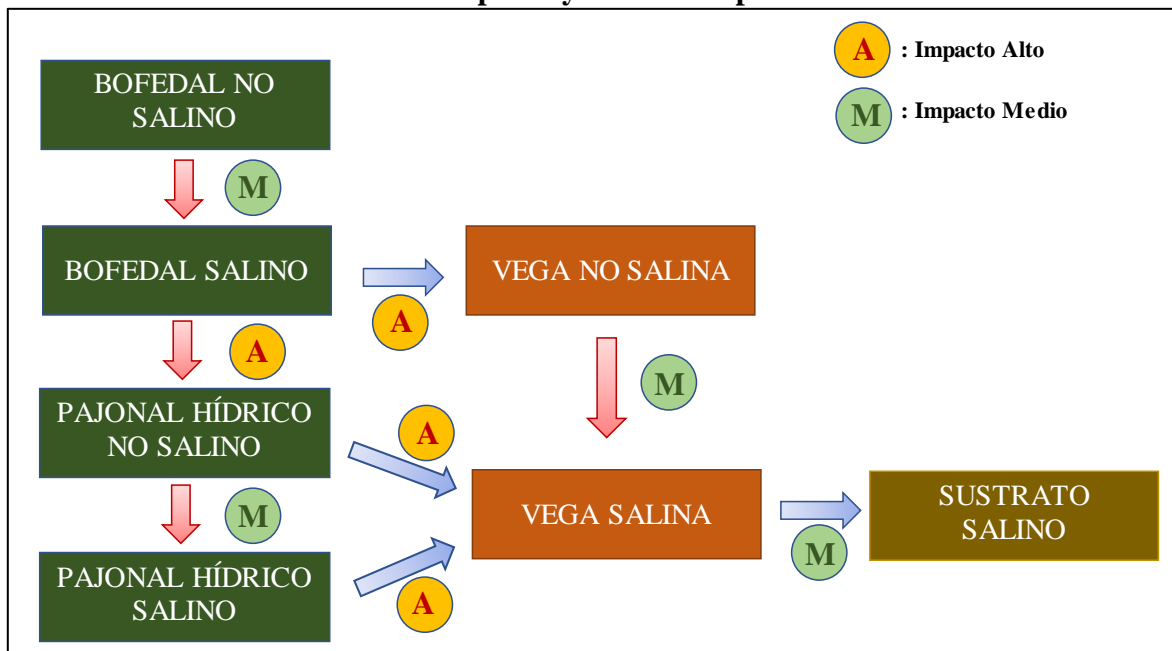
Fuente: Elaboración propia basado en Ahumada y Faúndez, 2009

La principal acción desequilibrante en el funcionamiento natural de los humedales corresponde a la alteración y/o modificación del régimen hídrico, el que puede ser modificado de alguna de las siguientes formas:

- Interrupción o disminución de caudales de cursos superficiales que irrigan directamente humedales
- Aumento de las extracciones de agua de los diferentes acuíferos, ya sean estas superficiales o de napas subterráneas, lo que se traduce en aumentos de la profundidad del nivel freático.

De acuerdo con el funcionamiento de los SVAHT es que la guía de Ahumada y Faúndez (2009) establece criterios de evaluación de los impactos en humedales. En la Figura 3-4 se presenta un esquema teórico desarrollado en el mismo texto el que muestra el cambio sucesional en la vegetación para cada tipo definido y la dinámica apunta a estados de mayor deterioro considerando exclusivamente el aporte hídrico como factor restrictivo. El punto de partida es la caracterización de la línea base, por lo que resulta muy importante identificar el tipo de vegetación presente en el sitio sujeto a análisis en el tiempo. Esta descripción debe incluir la formación vegetal específica con descripción detallada de la dimensión areal para cada tipo vegetacional definiendo la composición específica al interior de esta.

Figura 3-4: Dinámica de cambio para sistemas vegetacionales azonales hídricos terrestres del altiplano y nivel de impacto



Fuente: Elaboración propia basado en Ahumada y Faúndez, 2009

3.1.4. Descripción de la Línea Base, Manejo y Seguimiento Ambiental de Humedales.

De acuerdo a la guía de Ahumada y Faúndez (2009) el plan de seguimiento de los SVAHT debe contemplar indicadores biológicos que permitan determinar la condición de un ambiente específico, de manera de evitar niveles de deterioro que sean difíciles de revertir. Además, deben permitir identificar los cambios que pueden ser generados por actividades antrópicas y/o permitir evaluar la eficacia de alguna medida ambiental implementada con el objeto de mitigar impactos.

Los indicadores recomendados para la flora, por ser fácilmente monitoreables, corresponden al número de especies, composición de las especies, abundancia proporcional de las especies y cobertura.

Para que estos parámetros puedan ser utilizados efectivamente como bioindicadores, deben establecerse valores o rangos asociados a la condición de los ecosistemas, según niveles de humedad, formaciones vegetacionales y época del año.

Además de los indicadores biológicos, otros aspectos a considerar son los cambios en el sustrato, ya sea en humedad, salinidad y materia orgánica, la plasticidad de las especies que componen la vegetación y la influencia de la humedad proveniente de las napas.

En la Guía para la Conservación y Seguimiento Ambiental de Humedales Andinos (Ahumada, et al., 2011) se describen los parámetros mínimos que se deben incluir para caracterizar la línea base de un humedal en cuanto a componentes hídricos, acuáticos y terrestres.

La descripción de la línea base corresponde a la información necesaria para describir la condición basal o natural del humedal, bajo el entendido que no existen perturbaciones de origen antrópico que alteren la dinámica de los ecosistemas.

Dentro de los componentes hídricos se encuentra:

- Caudales superficiales
- Nivel freático, niveles subterráneos, altura de escurrimiento, nivel hidrométrico, según características del humedal
- Variables meteorológicas: dirección e intensidad del viento, temperatura del aire, precipitaciones, radiación total, evaporación.

En el componente acuático se describen los parámetros fisicoquímicos y biológicos entre los que se encuentra la temperatura del agua, conductividad, pH, salinidad, oxígeno disuelto, potencial redox y sedimentos.

Dentro de las componentes terrestres, se deben describir la vegetación en cuanto a:

- Formaciones Vegetacionales
- Superficie por formación vegetacional
- Cobertura específica por formación
- Características del sustrato

Y la Fauna con su composición y abundancia vinculada permanente o temporalmente con el humedal.

3.2. Descripción del Marco Normativo

3.2.1. Historia del Marco Normativo en Chile

En el mes de noviembre del año 1994 se promulgó la Ley 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente, la cual establece un marco general de regulación con respecto al derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación, la protección del medio ambiente, la preservación de la naturaleza y la conservación del patrimonio ambiental, tal como se indica en su Artículo 1° (Ley 19.300, 1994). Se creó la Comisión Nacional de Medio Ambiente, CONAMA, responsable de actuar como un servicio de consulta, análisis, comunicación y coordinación en materias relacionadas con el medio ambiente. Además, era encargada de proponer al Presidente de la República, políticas para la gestión ambiental e informar sobre el cumplimiento de la legislación. En la Ley se identifican los Órganos de la Administración del Estado con Competencia Ambiental (OAECA) entre los que se destaca la Dirección General de Aguas (DGA), el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN) y el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), entre otros. Antes de la existencia de la Ley de Bases, los Servicios Públicos realizaban revisiones técnicas de los proyectos en las que incorporaban temas ambientales.

Mediante el D.S. N°30 de marzo de 1997 se creó el Reglamento del SEIA, el que establece las disposiciones por las cuales se rige el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental y la Participación de la Comunidad, de conformidad con los preceptos de la Ley N° 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente.

En enero del año 2010 se promulgó la Ley 20.417 la cual introdujo modificaciones en la Ley de Bases Generales del Medio Ambiente, principalmente en el ámbito de la institucionalidad. En ella se elimina la CONAMA, y se reemplaza por tres entidades que separan las funciones en materia regulatoria, de evaluación y de fiscalización y sanción. Se crea el Ministerio del Medio Ambiente (MMA), el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) y la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA), manteniéndose el SEIA y los OAECA.

El 2013 se modificó el Reglamento del SEIA, con el fin de adaptarlo a las modificaciones realizadas a la Ley de Bases Generales del Medio Ambiente el año 2010, tanto en lo que respecta a la institucionalidad ambiental como a las normas que regulan el sistema de evaluación de impacto ambiental. Esta modificación fue hecha mediante el D.S N°40 publicado en agosto del año 2013.

3.2.2. Institucionalidad

3.2.2.1. Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA)

La CONAMA es la responsable de actuar como un servicio de consulta, análisis, comunicación y coordinación en materias relacionadas con el medio ambiente. Además, era encargada de proponer al Presidente de la República, políticas para la gestión ambiental e informar sobre el cumplimiento de la legislación. Estuvo vigente desde la creación de la Ley de Bases Generales del Medio Ambiente en 1994, hasta la modificación hecha por la Ley 20.417 en el año 2010, en donde la CONAMA es reemplazada por el MMA, SEA y SMA.

3.2.2.2. Ministerio del Medio Ambiente (MMA)

El MMA se crea en el artículo 69 de la Ley 20.417 del año 2010 y es el órgano encargado de colaborar con el Presidente de la República en el diseño y aplicación de políticas, planes y programas en materia ambiental, así como en la protección y conservación de la diversidad biológica y de los recursos naturales renovables e hídricos, promoviendo el desarrollo sustentable, la integridad de la política ambiental y su regulación normativa.

3.2.2.3. Servicio de Evaluación Ambiental (SEA)

En el artículo 80 y artículo 81 de la Ley 20.417, se crea el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) y se establecen sus atribuciones y responsabilidades dentro del marco de la ley, que corresponde principalmente a la de administrar el SEIA.

El Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) es un instrumento de gestión ambiental de carácter preventivo que permite a la autoridad determinar antes de la ejecución de un proyecto si cumple con la legislación ambiental vigente y si este se hace cargo de los potenciales impactos ambientales significativos. Este procedimiento, que en base a un EIA o DIA, determina si el impacto ambiental de una actividad o proyecto se ajusta a las normas vigentes se denomina Evaluación de Impacto Ambiental (Ley 19.300).

Los proyectos sometidos al SEIA son calificados aprobados o rechazados según sea el caso, por una Comisión presidida por el Intendente e integrada por los Secretarios Regionales Ministeriales del Medio Ambiente, de Salud, de Economía, Fomento y Reconstrucción, de Energía, de Obras Públicas, de Agricultura, de Vivienda y Urbanismo, de Transportes y Telecomunicaciones, de Minería, y de Planificación, y el Director Regional del Servicio.

3.2.2.4. Superintendencia del Medio Ambiente

La Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) es la institución a cargo de la fiscalización del permanente cumplimiento de las normas y condiciones sobre la base de las cuales se han aprobado o aceptado los Estudios y Declaraciones de Impacto Ambiental, de las medidas e instrumentos que establezcan los Planes de Prevención y de Descontaminación, de las normas de calidad y emisión, así como de los planes de manejo establecidos en la Ley 19.300. Esta entidad se crea junto con el MMA y el SEA en la modificación de la Ley del año 2010.

3.2.2.5. Órganos de la Administración del Estado con Competencia Ambiental

La Administración del Estado está constituida por los Ministerios, las Intendencias, las Gobernaciones y los órganos y servicios públicos creados para el cumplimiento de la función administrativa (Artículo 1° LEY N° 18.575).

La Administración del Estado está al servicio de la persona; su finalidad es promover el bien común atendiendo las necesidades públicas en forma continua y permanente y fomentando el desarrollo del país a través del ejercicio de las atribuciones que le confiere la Constitución y la ley, y de la aprobación, ejecución y control de políticas, planes, programas y acciones de alcance nacional, regional y comunal. (artículo 3° Ley N° 18.575)

Los Ministerios son los órganos superiores de colaboración del Presidente de la República en las funciones de gobierno y administración de sus respectivos sectores. (Artículo 22° Ley N° 18.575).

Los servicios públicos son órganos administrativos encargados de satisfacer necesidades colectivas, de manera regular y continua. Están sometidos a la dependencia o supervigilancia del Presidente de la República a través de los respectivos Ministerios, cuyas políticas, planes y programas les corresponderá aplicar. (Artículo 28° Ley N°18.575)

Los Órganos de la Administración del Estado con Competencia Ambiental (OAECA) participan en el proceso de revisión de las DIA y de los EIA en las materias relativas al respectivo proyecto o actividad. Los pronunciamientos de los OAECA deberán ser fundados y formulados dentro de las esferas de sus respectivas competencias. La evaluación técnica incluye también pronunciamientos y observaciones planteadas por la comunidad e interesados. Dentro de estos Órganos se incluyen la CONADI, DGA, SERNAGEOMIN, SAG, SERNAPESCA, INDAP, Superintendencia del Medio Ambiente, Ministerio del Medio Ambiente, entre otros. La participación de los Órganos aquí nombrados son los de principal interés en el desarrollo de este trabajo.

3.2.3. Ley de Bases Generales del Medio Ambiente

Tal como se dijo en el inicio de esta sección, la Ley de Bases Generales del Medio Ambiente establece un marco general de regulación del derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación, la protección del medio ambiente, la preservación de la naturaleza y la conservación del patrimonio ambiental. Asimismo, regula los instrumentos de gestión ambiental como la Evaluación Ambiental Estratégica¹, el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental y el Acceso a la Información Ambiental, la Responsabilidad por Daño Ambiental, la fiscalización y el fondo de protección ambiental y la Institucionalidad de Chile. (<https://observatoriop10.cepal.org/es/instrumentos/ley-bases-generales-medio-ambiente-ley-19300>).

En el Artículo 10 de esta Ley se establecen los proyectos o actividades susceptibles de causar impacto ambiental, en cualesquiera de sus fases, y que deberán someterse al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. Es de interés para este trabajo aquellos que se describen en la letra i), del mismo artículo, que incluye los proyectos de desarrollo minero, incluidos los de carbón, petróleo y gas comprendiendo las prospecciones, explotaciones, plantas procesadoras y disposición de residuos y estériles, así como la extracción industrial de áridos, turba o greda.

En el Artículo 11 de la Ley N°19.300 se establecen cuáles de los proyectos o actividades nombrados en el artículo 10° requerirán la elaboración de un Estudio de Impacto Ambiental en el caso que generen o presenten a lo menos uno de los efectos, características o circunstancias allí indicados. Se destacan para este trabajo la letra b) que considera proyectos o actividades que generen efectos adversos significativos sobre la cantidad y calidad de los recursos naturales renovables, incluidos el suelo, agua y aire; y la letra d) aquellos proyectos o actividades localizados en o próxima a poblaciones, recursos y áreas protegidas, sitios prioritarios para la conservación, humedales protegidos, glaciares y áreas con valor para la observación astronómica con fines de

¹ La Ley 20.417, promulgada en enero de 2010, que modifica la Ley N°19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente, integra la Evaluación Ambiental Estratégica como un nuevo instrumento de gestión ambiental, y la define como “el procedimiento realizado por el Ministerio sectorial respectivo, para que se incorporen las consideraciones ambientales del Desarrollo Sustentable, al proceso de formulación de las políticas y planes de carácter normativo general, que tengan impacto sobre el medio ambiente o la sustentabilidad, de manera que ellas sean integradas en la dictación de la respectiva política y plan, y sus modificaciones sustanciales”.

investigación científica, susceptibles de ser afectados, así como el valor ambiental del territorio en que se pretende emplazar.

3.2.4. Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental

El Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental fue presentado en primera instancia mediante el D.S N°30 en 1997 y luego modificado con el D.S N°40 en el 2013. Establece las disposiciones por las cuales se rige el SEIA y la Participación de la Comunidad en el proceso de Evaluación de Impacto Ambiental, de conformidad con los preceptos de la Ley N°19.300, sobre Bases Generales del Medio Ambiente (D.S N°40).

En el Artículo 3° de este reglamento se establecen en detalle los tipos de proyectos o actividades susceptibles de causar impacto ambiental en cualesquiera de sus fases que deberán someterse al SEIA, lo que se correlaciona con el Artículo 11 de la Ley 19.300. En Particular en sus letras i) y p).

En el Artículo 4° del Reglamento se explica la vía de evaluación a la que deberá someterse el proyecto o actividad, ya sea mediante una DIA o un EIA. En el caso de que el proyecto genere alguno de los efectos, características o circunstancias contempladas en el artículo 11 de la Ley N°19.300 y en los Artículos 5° al 10° del Reglamento, el titular deberá elaborar un EIA. Dentro de los artículos nombrados, el Artículo 6° detalla los efectos adversos significativos sobre recursos naturales renovables incluidos el suelo, agua y aire, según el cual, se entenderá que el proyecto o actividad genera un efecto adverso significativo sobre la cantidad y calidad de los recursos naturales si, como consecuencia de la extracción de estos recursos; el emplazamiento de sus partes, obras o acciones; o sus emisiones, efluentes o residuos, se afecta la permanencia del recurso, asociada a su disponibilidad, utilización y aprovechamiento racional futuro; se altera la capacidad de regeneración o renovación del recurso; o bien, se alteran las condiciones que hacen posible la presencia y desarrollo de las especies y ecosistemas. Deberá ponerse especial énfasis en aquellos recursos propios del país que sean escasos, únicos o representativos. En la letra g) del mismo artículo se especifica el impacto generado por el volumen o caudal de recursos hídricos a intervenir o explotar, así como el generado por el transvase de una cuenca o subcuenca hidrogeográfica a otra, incluyendo el generado por ascenso o descenso de los niveles de las aguas subterráneas y superficiales. Luego en el apartado g.3) se especifican vegas y/o bofedales que pudieren ser afectadas por el ascenso o descenso de los niveles de aguas; y en g.4) áreas o zonas de humedales, estuarios y turberas que pudieren ser afectadas por el ascenso o descenso de los niveles de aguas subterráneas o superficiales.

En el artículo 18° y 19° del RSEIA se especifican los contenidos mínimos que debe tener un EIA y una DIA respectivamente. En el caso de un EIA se incluye la descripción del proyecto a desarrollar, descripción de la Línea Base la que deberá considerar todos los proyectos que cuenten con Resolución de Calificación Ambiental; la descripción pormenorizada de aquellos efectos características o circunstancias del Artículo 11 de la Ley que dan origen a la necesidad de efectuar un EIA; la predicción y evaluación de impactos, medidas de mitigación, plan de seguimiento; y plan de cumplimiento de la Legislación Ambiental.

La letra h) del Artículo N° 12 del Reglamento, indica que la elaboración de un Estudio de Impacto Ambiental deberá considerar un Plan de Manejo Ambiental (Plan de Medidas de Mitigación, Reparación y/o Compensación, orientado principalmente a hacerse cargo de los efectos, características o circunstancias a que se refiere el Artículo N°11 de la Ley N°19.300, es decir, a los Impactos Significativos.

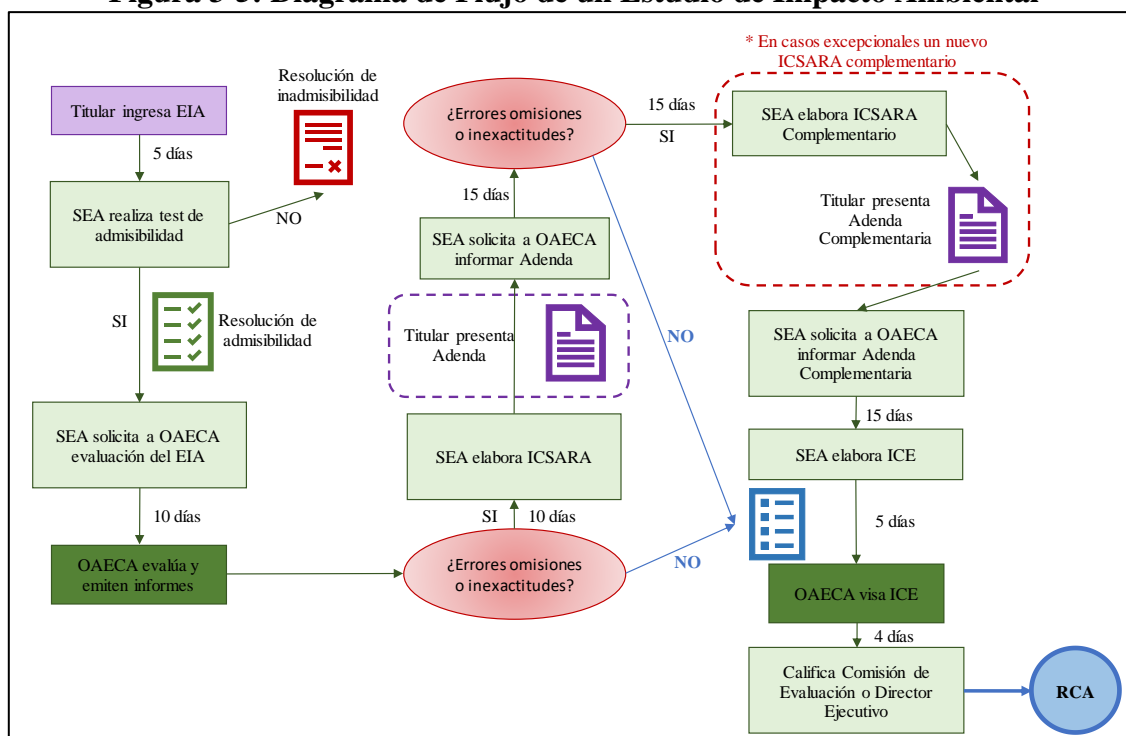
3.1.5. Desarrollo de una Evaluación de Impacto Ambiental

El proceso de desarrollo de la evaluación de impacto ambiental de una DIA o EIA es similar para ambos casos salvo por los plazos, en donde para los EIA estos son más extensos.

La evaluación de impacto ambiental de un proyecto comienza con su ingreso al SEIA mediante una DIA o un EIA. El SEA realiza el test de admisibilidad el que tiene un plazo de 5 días, y emite la resolución de admisibilidad o de inadmisibilidad. Si el proyecto es admitido entonces el SEA solicita a los OAECA la evaluación del EIA. Los OAECA tienen un plazo de 30 días para evaluar y emitir sus informes con observaciones. En el caso de existir errores omisiones o inexactitud el SEA elabora un ICSARA (plazo de 30 días), donde selecciona, pondera y unifica las observaciones realizadas por los OAECA. En el caso de que las observaciones sean conformes y el SEA así lo dictamine, entonces se redacta el ICE. Por el contrario, si se redacta una ICSARA el titular debe presentar una Adenda al SEIA, y nuevamente el SEA solicita a los OAECA su evaluación (plazo de 15 días). En el caso de existir errores omisiones o inexactitud indicados por los órganos de administración, el SEA elabora un ICSARA complementario (plazo de 15 días) o en el caso de ser aceptado se elabora el ICE. Luego de la ICSARA complementaria el titular presentar una Adenda complementaria y nuevamente el SEA solicita a los OAECA informar sobre la Adenda complementaria² (plazo de 15 días). Posteriormente el SEA elabora y publica el ICE, en donde los OAECA tienen un plazo de 5 días para visarlo y finalmente el proyecto es calificado por la comisión de Evaluación o Director Ejecutivo, formulándose finalmente la RCA.

En la Figura 3-5 se presenta el diagrama de flujo del proceso explicado en el párrafo anterior.

Figura 3-5: Diagrama de Flujo de un Estudio de Impacto Ambiental



Fuente: Elaboración propia basado en <https://www.sea.gob.cl/evaluacion-de-impacto-ambiental/cual-es-el-proceso-de-evaluacion-de-impacto-ambiental>

² En casos excepcionales se puede realizar un nuevo ICSARA complementario. Antiguamente este proceso iterativo podía llevar a tener entre 4 a 5 Adendas.

3.2.5. Relación entre marco normativo y SVAHT

En las modificaciones realizadas a la Ley de Bases Generales del Medio Ambiente el año 2010 por medio de la Ley 24.417, se incluyen dentro del artículo 11° aquellos proyectos localizados en o próximos a poblaciones, recursos y áreas protegidas, sitios prioritarios para la conservación, humedales protegidos y glaciares, susceptibles de ser afectados, así como el valor ambiental del territorio que se pretende emplazar.

En el D.S N°40 del año 2013 que modifica el RSEIA se incluyen dentro del Artículo 6° aquellos proyectos o actividades que generan o presentan efectos adversos significativos sobre vegas y /o bofedales que pudieren ser afectadas por el ascenso o descenso de los niveles de agua; y áreas o zonas de humedales, y estuarios y turberas que pudieren ser afectadas por el ascenso o descenso de los niveles de aguas subterráneas o superficiales. Dichos efectos causados por el volumen o caudal de recursos hídricos a explotar.

La Resolución DGA N°186, de 1996 que reglamenta lo establecido en el Código de Aguas, considera restricciones a la exploración en zonas que alimentan vegas y bofedales, además de las consideraciones ambientales aplicables a la exploración y explotación de aguas subterráneas. Además, en sus Res. N°909 (1996), Res. N°523 (2003), Res. N°464 (2004), Res N°87 (2006), de declaran áreas de protección de zonas que alimentan vegas y bofedales de las regiones de Arica y Parinacota y de Antofagasta (Ahumada, et al., 2011).

El año 2011 se publica la Guía para la Conservación y Seguimiento Ambiental de Humedales Andinos realizada por el Ministerio del Medio Ambiente y que sintetiza los conceptos que deben ser considerados en el manejo, evaluación y seguimiento ambiental de humedales. En ella se describen aspectos mínimos que deben ser considerados en la evaluación y levantamiento de información de los humedales altoandinos, así como las metodologías y criterios que deben ser adoptados en el manejo y seguimiento ambiental de estos ecosistemas (Ahumada, et al., 2011). Esta guía unifica diferentes estrategias de conservación junto a una serie de investigaciones sobre la biodiversidad de estos ecosistemas. Entre ellos la estrategia Regional de Humedales Andinos, Ramsar 2004; Perfiles Ambientales Humedales Altoandinos, CONAF 2007; Guía Descriptiva de SVAHT en la Ecorregión Altiplánica, SAG 2009.

CAPÍTULO 4. Descripción y Funcionamiento de los Sistemas Lagunillas y Jachucoposa

4.1. Sistema Hídrico y Vegetacional Lagunillas

4.1.1. Caracterización Área de Estudio

El sistema vegetacional Pampa Lagunillas se encuentra en la región de Tarapacá a 138 km al este de la ciudad de Iquique dentro de las cuencas altiplánicas, específicamente en la cuenca Lagunillas ubicada en las coordenadas UTM 516.100 m E y 7.796.340 m S.

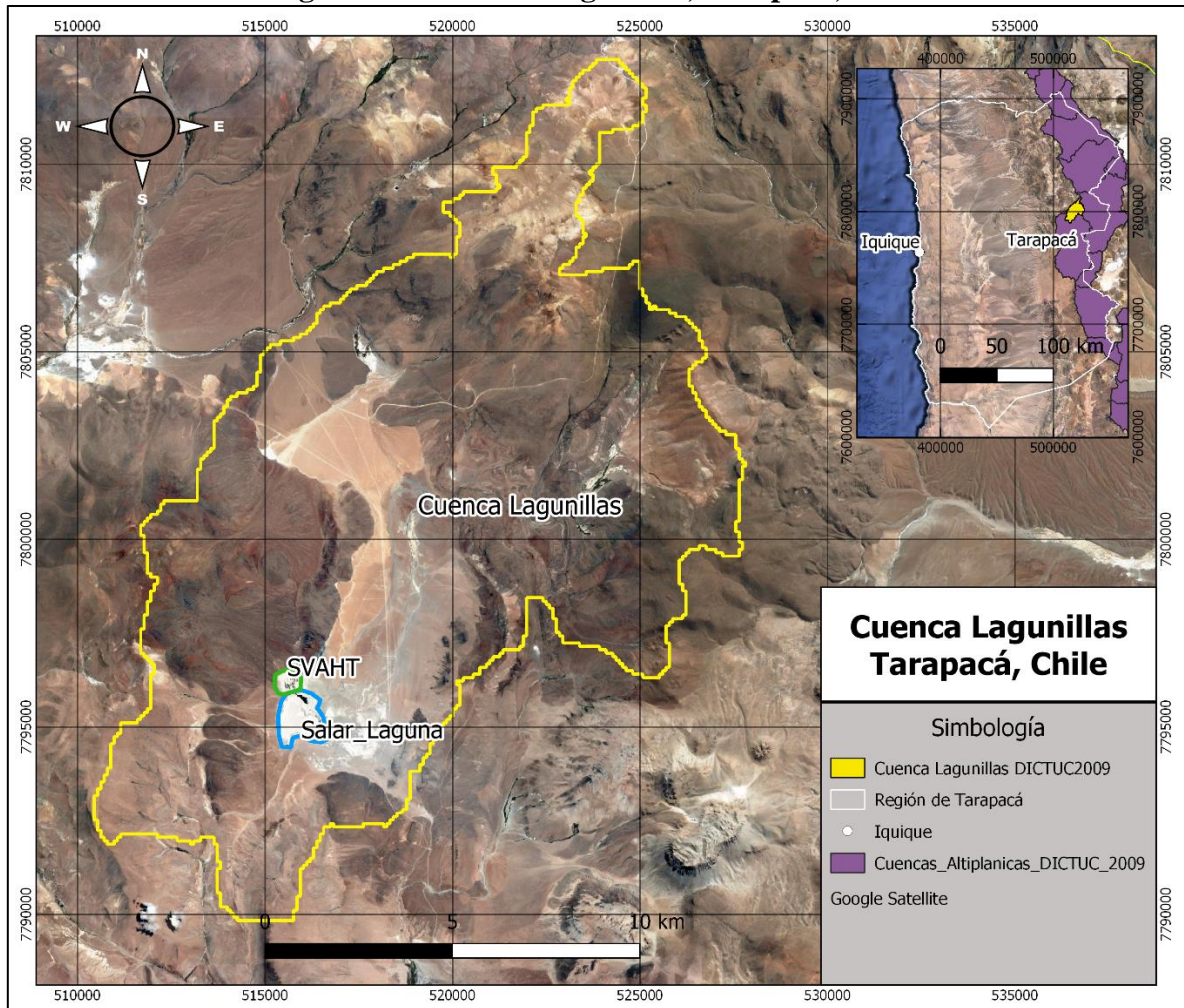
Limita al norte y al este con la cuenca de Cancosa, al sur con la cuenca del Salar del Huasco y por el oeste con la cordillera occidental.

La Cuenca Lagunillas abarca una superficie de 182 km² y presenta elevaciones que van desde los 4.012 m.s.n.m. en el sector del salar, hasta los 4.800 m.s.n.m. en las cumbres que rodean la cuenca. En ella existe un salar, en donde se ubica la laguna Huantija, la cual, en su condición natural, era alimentada principalmente por las vertientes que nacían por los afloramientos de aguas subterráneas del acuífero. Al noroeste de la laguna Huantija se localiza el sistema vegetacional Pampa Lagunillas el que se abastecía hídricamente de las vertientes que allí afloraban.

La cuenca es de régimen endorréico, desconectada de otras cuencas tanto superficiales como subterráneas. El acuífero de Lagunillas es un acuífero confinado por los depósitos de salar, lacustres y suelos finos en el sector del salar y no confinado en las zonas que delimitan el salar y alrededores. El acuífero se forma en una depresión generada por fallas en la cuenca y que fue rellenada por depósitos sedimentarios, aluviales, coluviales, de laguna, depósitos de salar. También, en un menor porcentaje, existen flujos que se originan en rocas fracturadas (Arcadis, 2020).

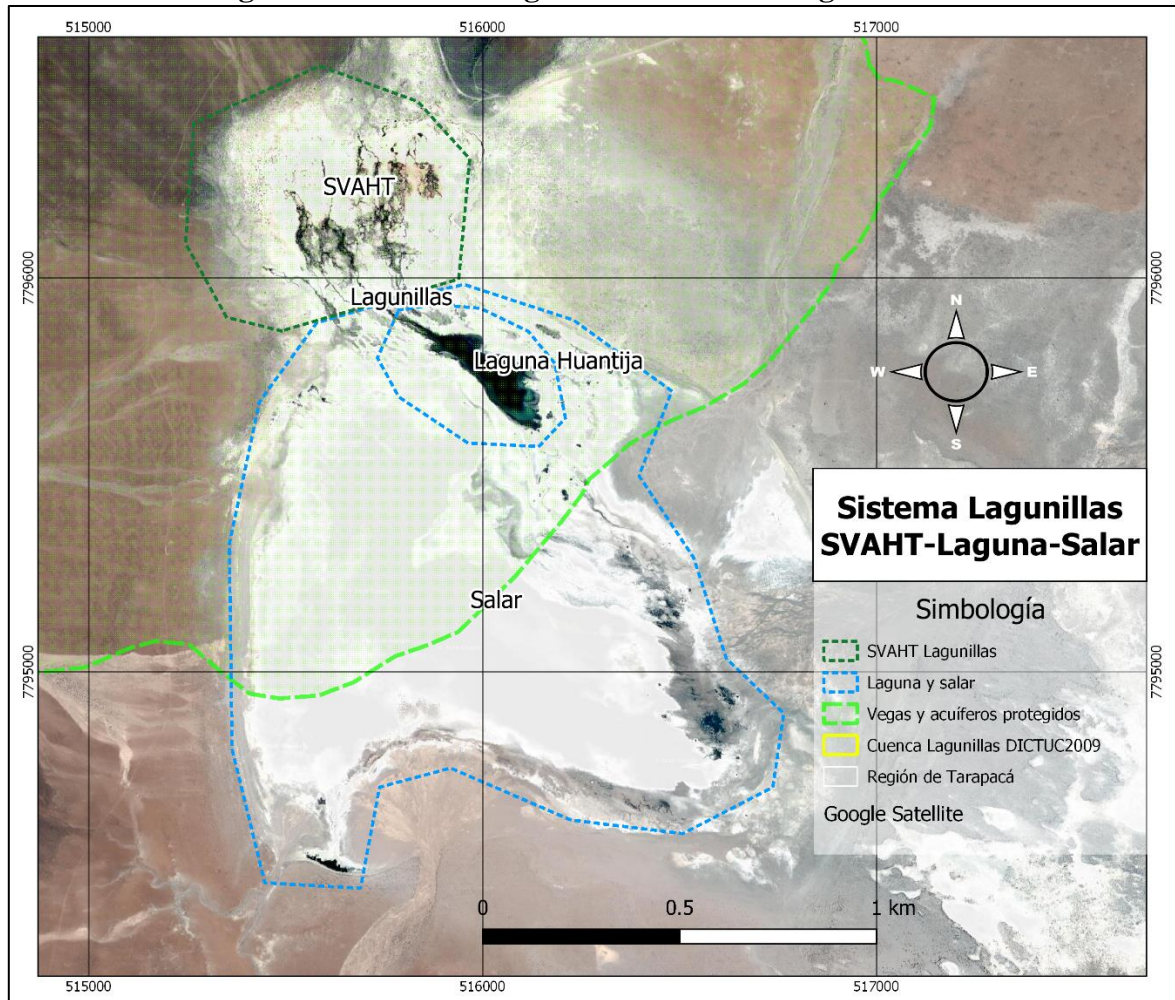
La Figura 4-1 muestra una vista general de la cuenca Lagunillas y en la Figura 4-2 se presenta el sistema Lagunillas correspondido por el SVAHT, la laguna Huantija y Salar.

Figura 4-1: Cuenca Lagunillas, Tarapacá, Chile



Fuente: Elaboración propia

Figura 4-2: Sistema Lagunillas SVAHT – Laguna -Salar



Fuente: Elaboración Propia

4.1.1.1. Clima y Meteorología

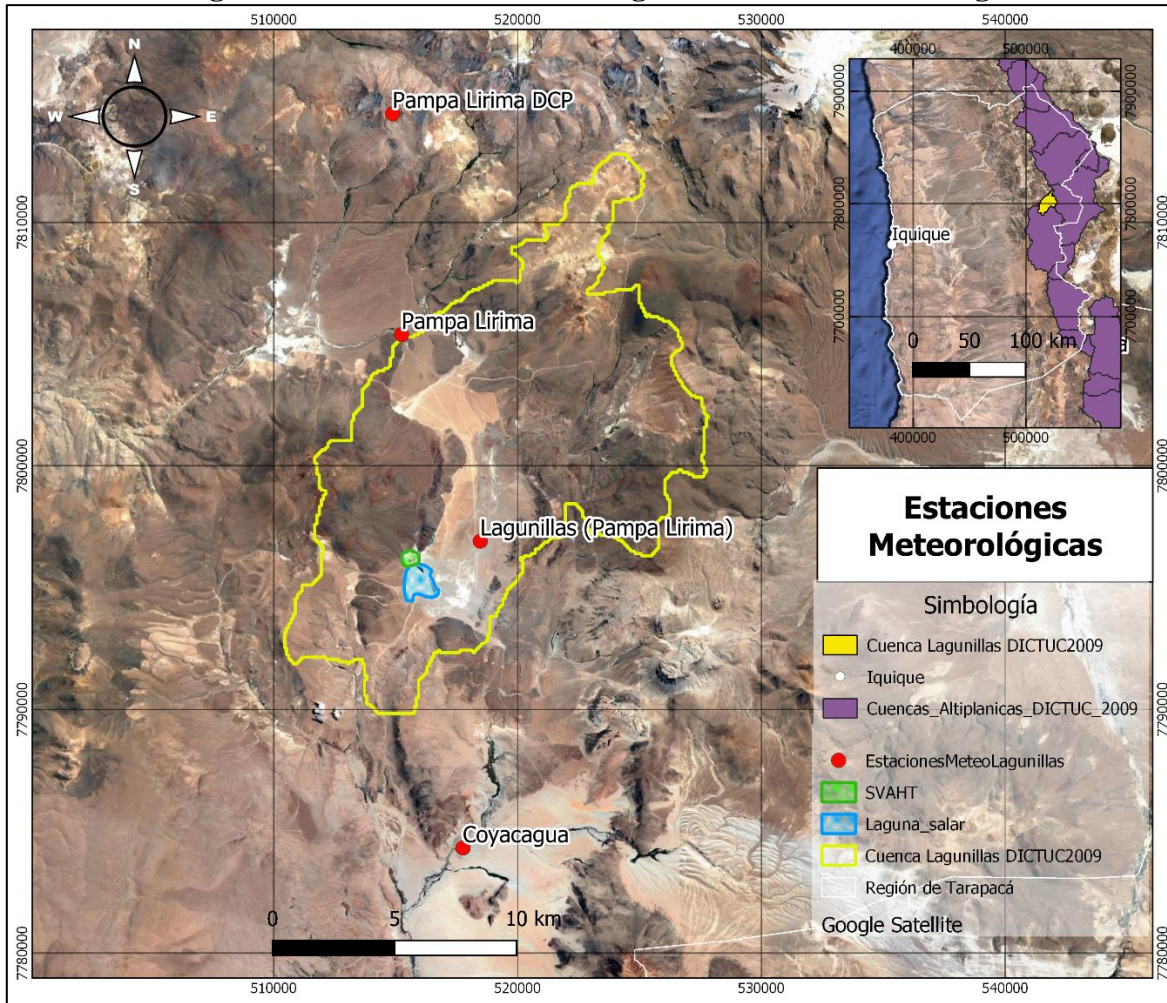
La cuenca de Lagunillas tiene un clima estepárico en altura (clasificación climática según Köppen) que se presenta por sobre los 3.500 metros de altitud, lo que produce que las temperaturas medias no sobrepasen los 5°C, generando una gran amplitud térmica entre el día y la noche. Las precipitaciones, de tipo convectivo, aumentan con la altura, pero simultáneamente las temperaturas descienden. Normalmente un suavizamiento de las condiciones desérticas debe originar un ambiente estepario, sin embargo, en el presente caso el descenso de la temperatura hace que al desierto suceda una tundra de altura según los límites de la clasificación de Köppen. No obstante, la vegetación típica de la alta cordillera al interior de la Provincia de Tarapacá es propia de un clima de estepa. (Arcadis, diciembre 2018b)

De acuerdo con la clasificación climática según Distritos Agroclimáticos obtenida del Mapa Agroclimático de Chile, las cuencas se encuentran insertas en el distrito 7 (Putre), que corresponden a uno de los distritos agroclimáticos definidos para la Región de Tarapacá (Arcadis, diciembre 2018b)

En los siguientes párrafos se muestra información climatológica obtenida del Mapa Agroclimático de Chile, la que fue complementada con los datos hidrometeorológicos de la DGA.

En la Figura 4-3 se presentan las estaciones meteorológicas cercanas a la cuenca Lagunillas

Figura 4-3: Estaciones meteorológicas DGA cercanas a Lagunillas



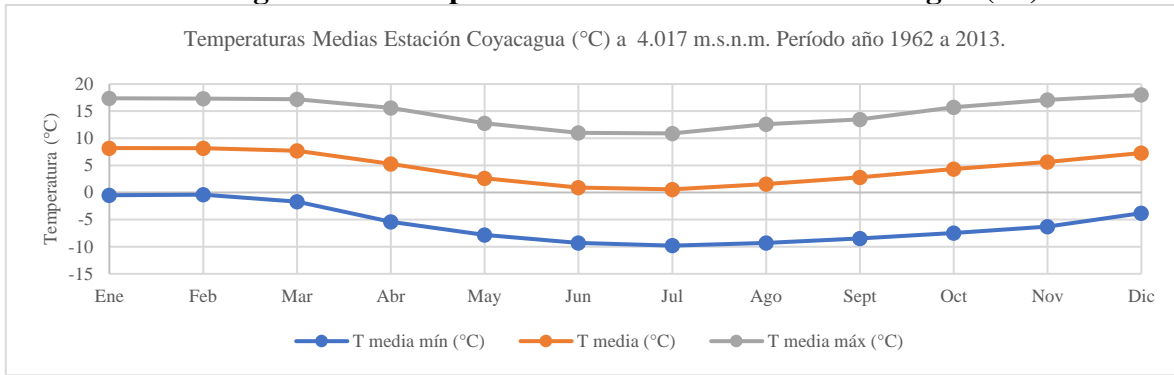
Fuente: Elaboración propia en base a información de M&A 2013

Temperatura

A continuación, se presentan las temperaturas mínimas, medias y máximas para dos estaciones meteorológicas pertenecientes a la DGA ubicadas en el sector de Lagunillas, y representativas de la zona. Se observa una correlación en los datos registrados en ambas estaciones. La temperatura mínima se registra en el mes de julio, llegando a una media mínima de $-9,8^{\circ}\text{C}$ en Coyacagua y $-11,9^{\circ}\text{C}$ en Lagunillas (Pampa Lirima). La temperatura máxima se registra en enero para ambas estaciones siendo de 18°C y $16,3^{\circ}\text{C}$ respectivamente.

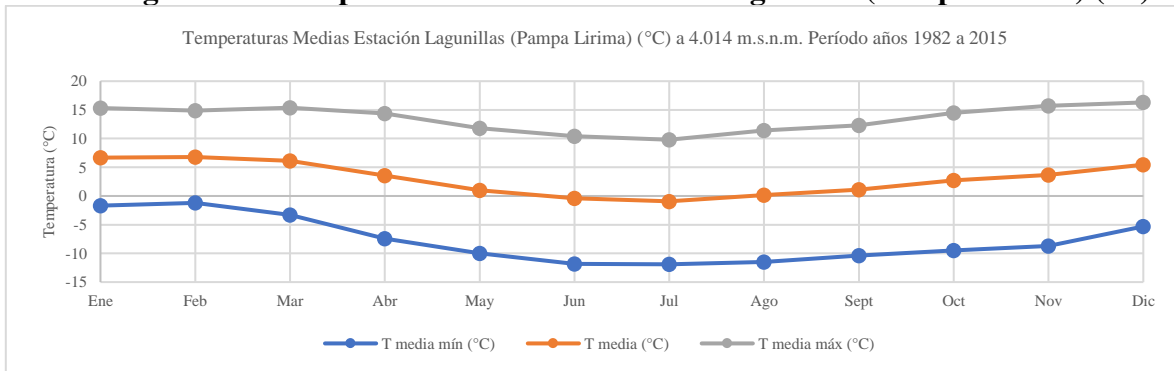
En la Figura 4-4 y Figura 4-5 se presentan las temperaturas medias para ambas estaciones.

Figura 4-4: Temperaturas Medias Estación Collacagua (°C)



Fuente: AGRIMED, 2017

Figura 4-5: Temperaturas Medias Estación Lagunillas (Pampa Lirima) (°C)



Fuente: AGRIMED, 2017

Precipitaciones

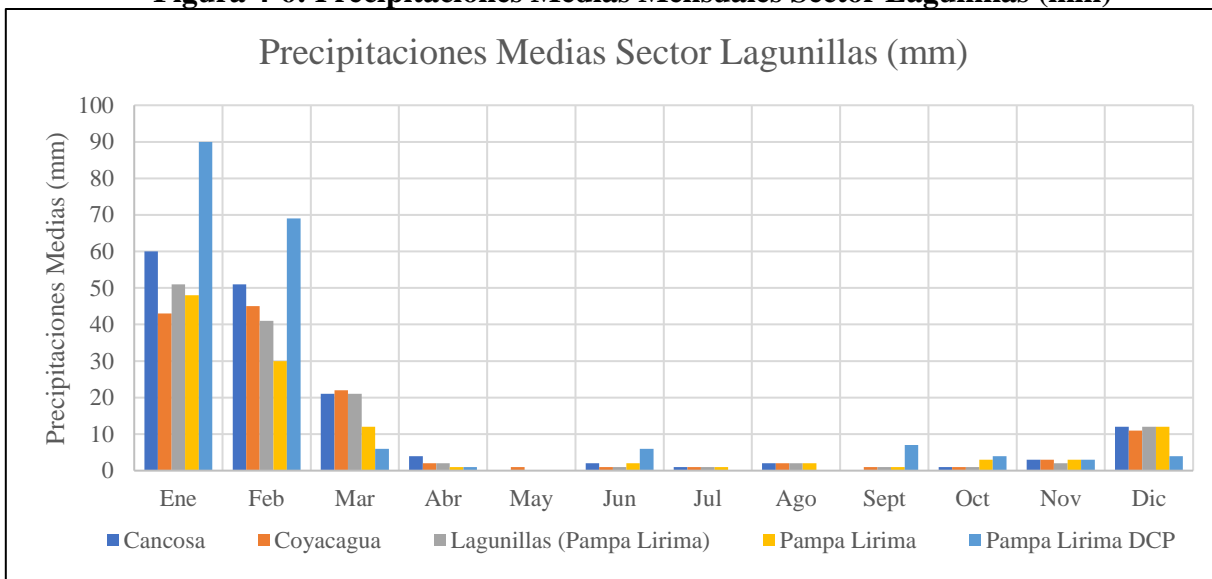
A continuación, se presentan las precipitaciones medias mensuales para cinco estaciones representativas de la cuenca Lagunillas entre los años 1962 y 2013. Dichas estaciones muestran una correlación entre los datos de precipitación registrados, dada la proximidad de las estaciones y la similitud en altitud, registrándose precipitaciones medias anuales entre 116 y 190 mm.

Se observa que las precipitaciones se concentran en la temporada de verano, periodo conocido como “invierto altiplánico” entre los meses de diciembre a marzo, el cual se estima que la precipitación se genera de forma líquida, siendo comparativamente menores los aportes asociados a derretimiento de nieves (M&A, enero 2020b).

Enero es el mes que registra mayores precipitaciones, las que van entre 43 mm en la estación Collacagua y alcanzando los 90 mm en la estación de Pampa Lirima DPC, siendo esta última la que se ubica a mayor altura de 5100 msnm.

En la Figura 4-6 se grafican las precipitaciones medias mensuales en las estaciones de la DGA Cancosa, Collacagua, Lagunillas (Pampa Lirima), Pampa Lirima y Pampa Lirima DPC.

Figura 4-6: Precipitaciones Medias Mensuales Sector Lagunillas (mm)

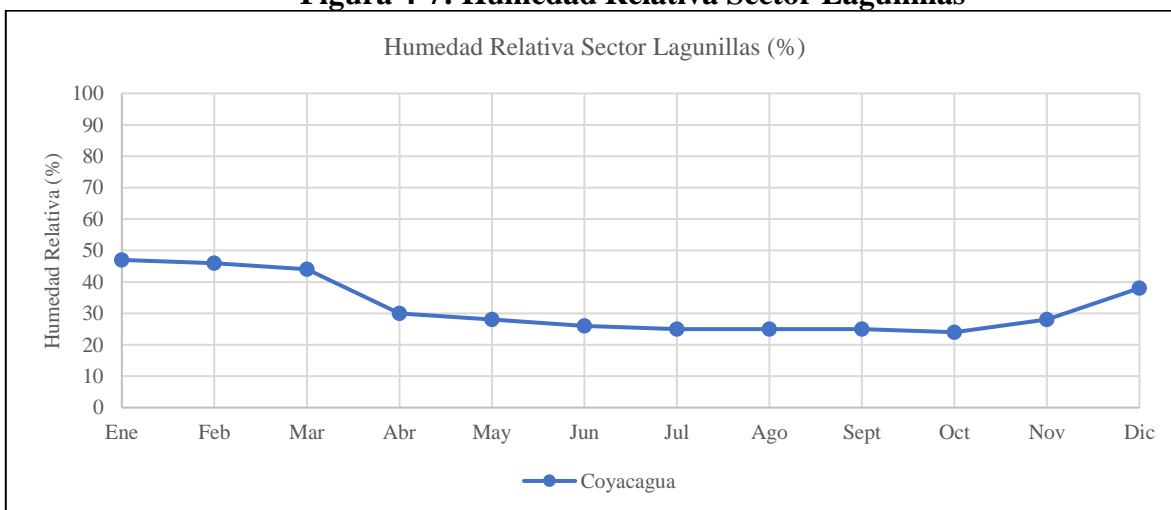


Fuente: AGRIMED, 2017

Humedad Relativa

En este caso, solo la estación Collacagua presenta información de humedad relativa (Figura 4-7), la cual se considera representativa de la zona, con valores que van desde un 25% durante el invierno y llegando a 47% en enero.

Figura 4-7: Humedad Relativa Sector Lagunillas



Fuente: AGRIMED 2017

4.1.1.2. Hidrología

La cuenca Lagunillas es de tipo endorreica ya que todo su drenaje ocurre hacia su interior, siendo el único mecanismo natural de descarga la evaporación (M&A, diciembre 2019).

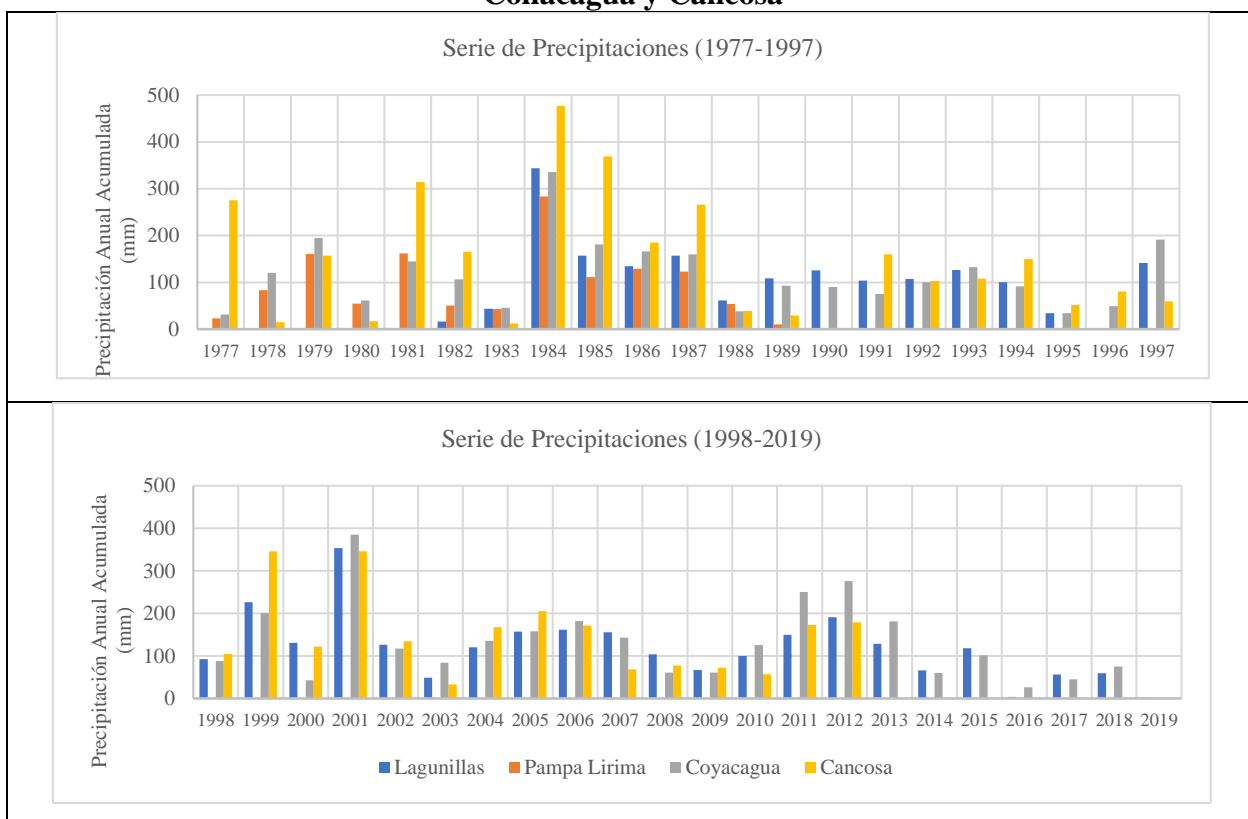
La hidrología de la cuenca está altamente influenciada por las precipitaciones, principalmente en la época estival, por los cursos de agua superficial que se forman producto de estas y la laguna Huantija, la que producto de la meteorología de la zona cambia constantemente su tamaño

Precipitaciones

En el sector cercano a la cuenca Lagunillas existen 10 estaciones meteorológicas pertenecientes a la Dirección General de Aguas. En Particular, dos de ellas, se encuentran dentro de la cuenca Lagunillas, correspondientes a la Estación Meteorológica Pampa Lirima y Estación Meteorológica Lagunillas (ver Figura 4-3)

Se graficaron las precipitaciones anuales de las estaciones meteorológicas Pampa Lirima, Lagunillas, Coyacagua y Cancosa, con información desde el año 1977 al 2019 (M&A, enero 2020b). En la Figura 4-8 se observa que los años 1984, 2001 y 2012 fueron años altamente lluviosos.

Figura 4-8: Serie de precipitaciones anuales estaciones Lagunillas Pampa Lirima, Collacagua y Cancosa



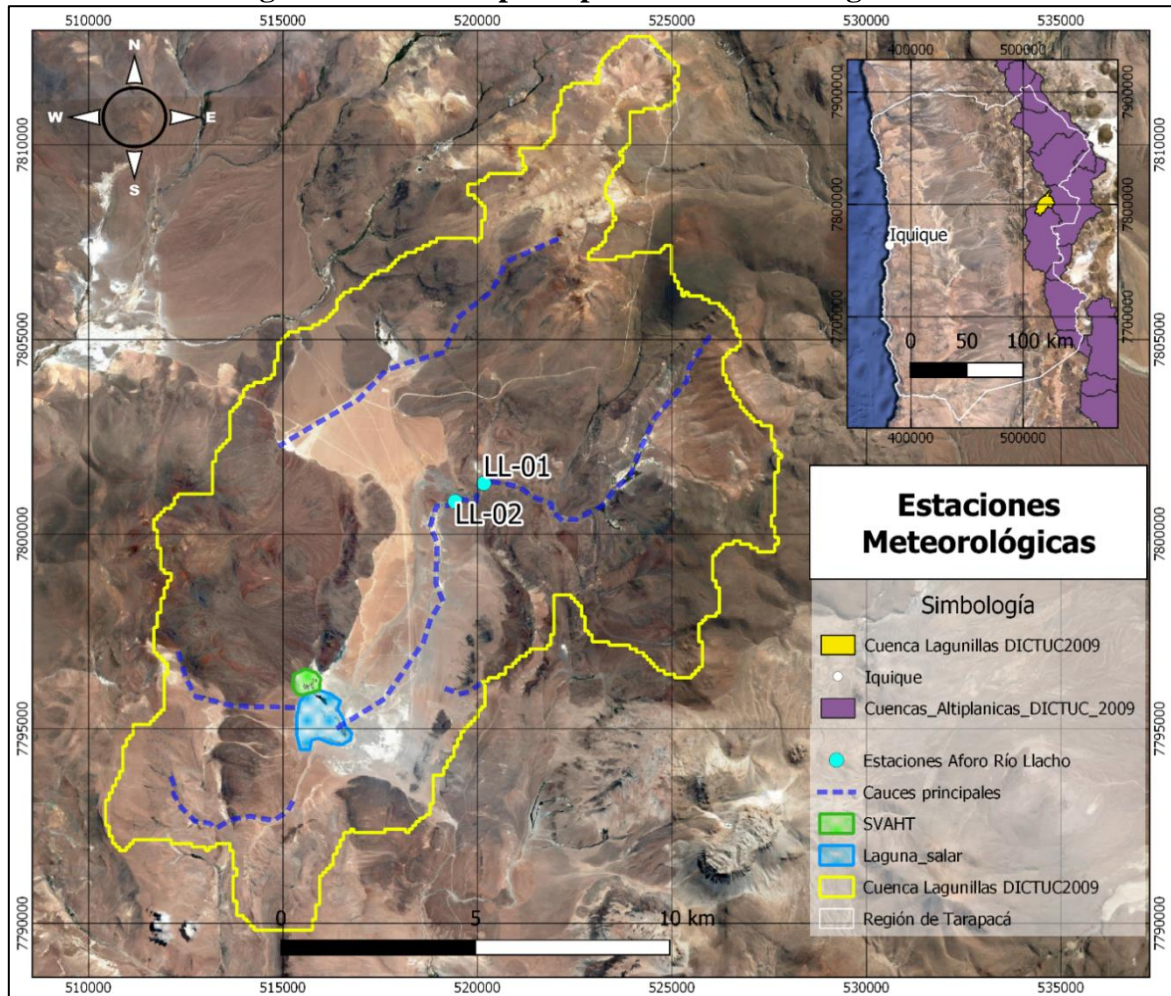
Fuente: Elaboración propia en base a información de la DGA

Cursos de agua superficial

- Río Llacho: es el curso de agua de mayor importancia en la cuenca. Nace en las altas cumbres al este de la cuenca hasta prácticamente desaparecer antes de llegar al salar, infiltrando sus aguas al acuífero. Eventualmente ocurren conexiones entre la laguna y el río en temporadas de precipitaciones de alta intensidad. Durante el análisis de datos de las estaciones, entre los años 2013 y 2014, solo se registraron escorrentías durante un día en dos de los puntos de monitoreo (M&A noviembre 2019a). En la Figura 4-9, se indican las principales quebradas, en donde se incluye el Río Llacho, la que cuenta con dos estaciones fluviométricas (LL-01 y LL-02) pertenecientes a la CMCC.
- Quebradas: Durante diciembre a marzo se forman de manera esporádica por las precipitaciones del invierno boliviano y en menor porcentaje por derretimiento de nieves.

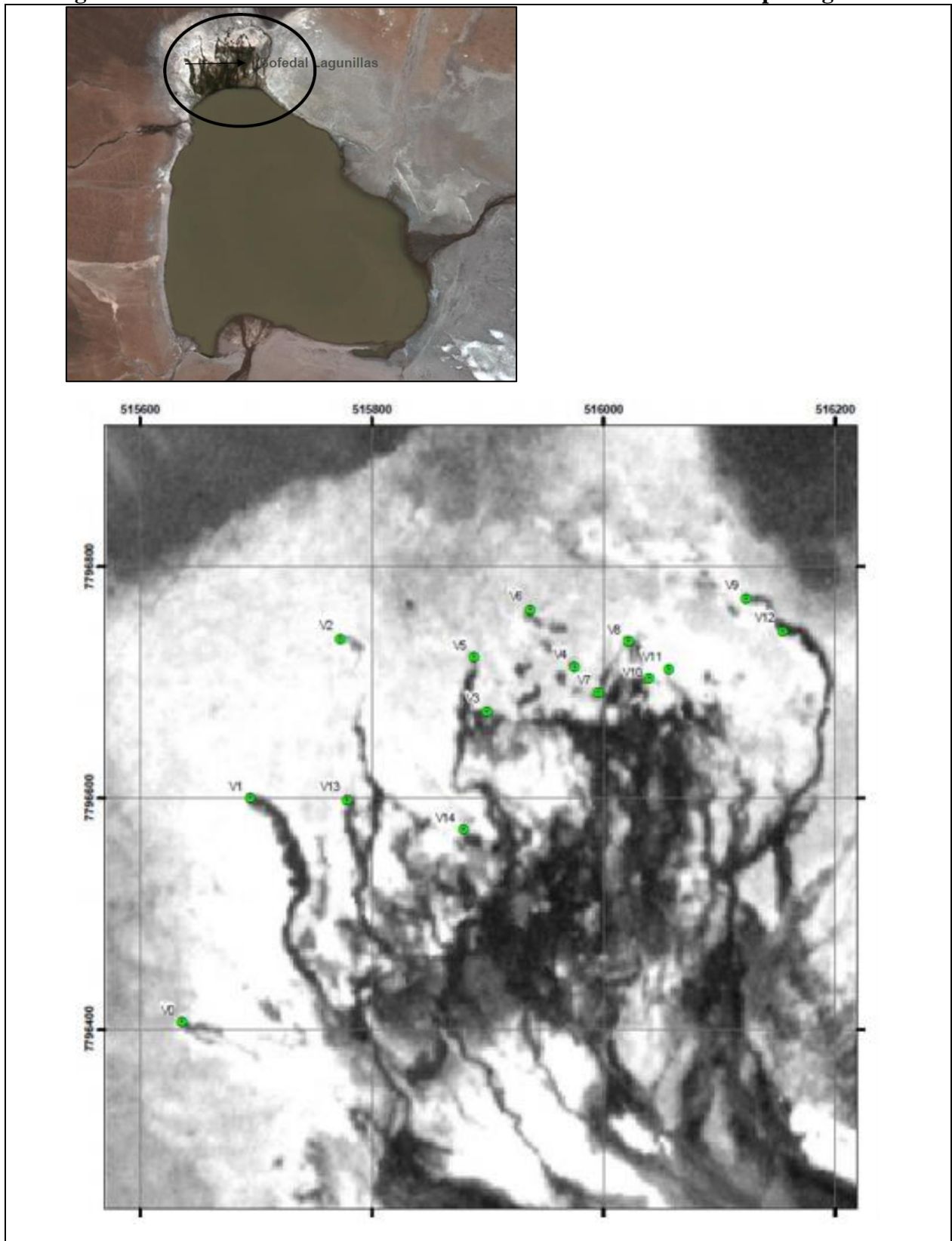
- **Vertientes:** En la cuenca se formaban vertientes producto de las presiones hidrostáticas generadas por el acuífero confinado en el sector del salar y que afloran en los bordes de este. En la Figura 4-10 se muestra la localización histórica de dichas vertientes, las que cesaron su escurrimiento producto del descenso de niveles freáticos entre los años 1998 y 2001 (M&A, noviembre 2019a). De acuerdo a los estudios realizados por la CMCC, históricamente existían 15 puntos de afloramiento (directos o difusos) y que actualmente son reemplazados por el Sistema de Recarga Artificial que se explicará más adelante.

Figura 4-9: Cauces principales en Cuenca Lagunillas



Fuente: Elaboración propia en base a M&A, enero 2020b.

Figura 4-10: Ubicación histórica de las vertientes en el sector de Pampa Lagunillas



Fuente: J. Illanes y Asociados, 2013

Laguna Huantija (o Laguna Lagunillas)

La Laguna Huantija se ubica en la cota más baja de la cuenca lagunillas, en el mismo sector del Salar. Esta se recarga mediante afloramientos del acuífero subterráneo y mediante escurrimiento superficial producto de las precipitaciones. En los registros históricos su superficie varía entre prácticamente cero hasta 6.151.651m² registrado el año 2012. En la actualidad la laguna se sustenta por el Sistema de Recarga Artificial implementado desde el año 2004 con lo que la CMCC se compromete que el área no descenderá de los 5.000 m² (M&A, noviembre 2019a).

La fotografía presentada en la Figura 4-11 a continuación, corresponde a una vista general de la laguna Huantija el año 1997.

Figura 4-11: Vista general Laguna Huantija. Registro fotográfico 1997



Fuente: Knight Piélsion, marzo 1997

4.1.1.3. Geología

La cuenca de Lagunillas se ubica en una depresión geológica estructural rodeada por cumbres de la Cordillera de los Andes que alcanzan elevaciones de más de 4.800 m.s.n.m. en los cerros Charcollo, en el límite Este de la Cuenca y el cerro Patalani, al Oeste. En el área de la Pampa Lagunillas destacan fallas prominentes con orientación nor-noreste a lo largo de los márgenes oriental y occidental de la cuenca. El movimiento de éstas es descendente hacia el centro de la cuenca y parecen formar los límites occidental y oriental de una cuenca geológica estructural. Asimismo, se observa una falla de orientación este-oeste, descendente hacia el norte, y adyacente al margen sur del salar de Lagunillas. También se considera que esta falla encierra la cuenca (M&A, diciembre 2019).

En la Figura 4-12 se presenta la geología superficial y se observa que la cuenca está delimitada por diferentes tipos de volcanes, secuencias volcánicas e Ignimbritas, presentando también algunos afloramientos de origen volcánico en su parte central. Se observan, además, depósitos sedimentarios de diferentes orígenes, tanto fluviales, aluviales, coluviales, glaciares, lacustres y evaporíticos.

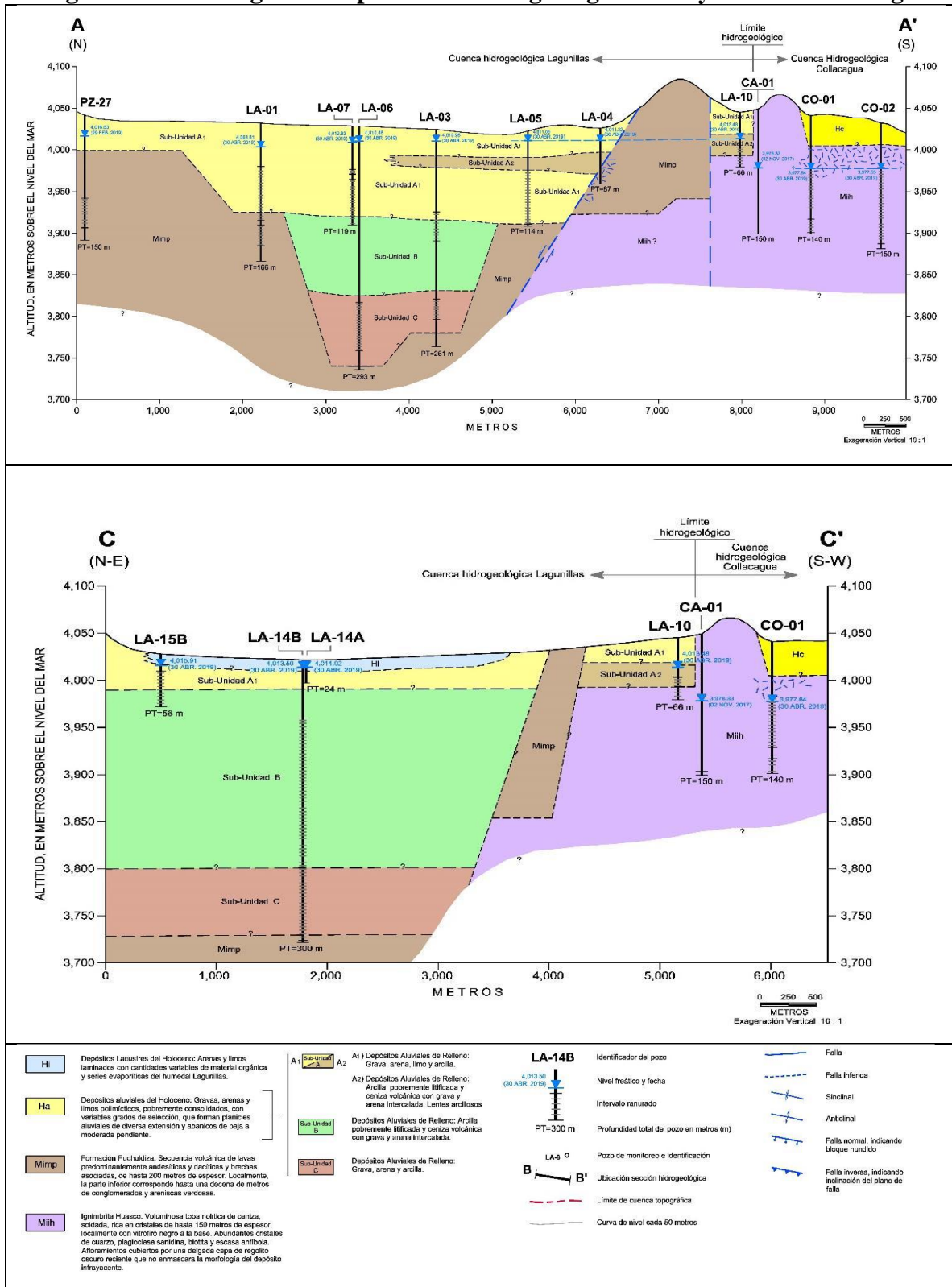
En la Figura 4-14 se muestra, a modo de ejemplo, el perfil transversal A-A' y el perfil transversal C-C' para describir la geología subsuperficial. Se destaca una unidad de gran extensión de depósitos sedimentarios dividido en tres sub-unidades. Abarca desde depósitos fluviales a cenizas tamaño limo, conformada por una combinación de procesos aluviales, fluviales, lacustres y

Figura 4-13: Leyenda Geología Superficial

HI	Depósitos Lacustres del Holoceno: Arenas y limos laminados con cantidades variables de material orgánica y series evaporíticas del humedal Lagunillas.	Mmcg	Ignimbrita Cerro Gordo (Mioceno Medio, ca. 12 Ma); Toba de ceniza dacítica, comúnmente muy soldada y compacta como vitrofros negros o rojos. Compuesta por cristales orientados de plagioclasa y piroxeno, además de escaso cuarzo y biotita en matriz vítrea, con escasos fragmentos líticos.
Hf	Depósitos fluviales del Holoceno: Gravas, gravas arenosas y arenas no consolidadas bien a moderadamente seleccionadas asociadas a cursos fluviales permanentes o intermitentes. Localmente incluyen depósitos palustres y evaporíticos.	Mmep	Estratos de Panavinto (Mioceno Medio; 13.5-12.4 Ma); Secuencia continental de areniscas, conglomerados y tobas de hasta 200 m. de espesor total, constituida por dos miembros. Cubre en discordancia de erosión a la formación Utayane. Miembro Inferior: 40-50 m. de areniscas, conglomerados verdosos areniscas tobáceas pardas y tobas de cenizas, pobremente consolidadas. Miembro Superior Ignimbrita Carnaval Congelado: Toba de ceniza riolítica, no soldada, maciza, de cristales de cuarzo y biotita, rica en líticos angulosos de volcánicas intermedias y pómez fibrosas. Localmente, abundante lapilli acrecionarlo en la parte inferior.
Ha	Depósitos aluviales del Holoceno: Gravas, arenas y limos polimictos, pobremente consolidados, con variables grados de selección, que forman planicies aluviales de diversa extensión y abanicos de baja a moderada pendiente.	Mmv	Volcanes y secuencias volcánicas del Mioceno Medio (ca. 15-10Ma); Secuencias de lavas aisladas, sin centros reconocibles y edificios volcánicos, variablemente erosionados, algunos con núcleos alterados expuestos. Composición predominante andesítica y andesítica basáltica de proxenos, subordinadamente con olivino y mas raramente, anfíbola.
Hc	Depósitos Coluviales del Holoceno: Gravas mal seleccionadas de fragmentos angulosos y abundante matriz, adosados a laderas de alta pendiente.	Mimp	Formación Puchuldiza (Mioceno Inferior-Medio 17.4-15 Ma); Secuencia volcánica de lavas predominantemente andesíticas y dacíticas y brechas asociadas, de hasta 200 metros de espesor. Localmente, la parte inferior corresponde a hasta una decena de metros de conglomerados y areniscas verdosas.
PIHa	Depósitos aluviales del Pleistoceno Superior - Holoceno: Gravas, gravas arenosas y arenas pobremente consolidadas, alojadas en cauces labrados en abanicos de depósitos aluviales inactivos en el flanco sur del complejo Sillajhuay y disectados por drenaje activo.	Mlh	Ignimbrita Huasco. (Mioceno Inferior alto; ca. 17-16 Ma); Voluminosa toba riolítica de ceniza, soldada, rica en cristales, de hasta 150 metros de espesor, localmente con vitrofiro negro en la base. Abundantes cristales de cuarzo, plagioclasa, sanidina, biotita y escasa anfíbola. Afloramientos cubiertos por una delgada capa de regolito oscuro reciente que no enmascara la morfología del depósito infrayacente.
Pig	Depósitos glaciales (Pleistoceno Superior): Gravas pobre a débilmente consolidadas, macizas, mal seleccionadas, con abundante matriz de arena y arcilla, comúnmente matriz soportadas, con bloques de hasta 2 metros de diámetro.	Mlt	Ignimbrita Tambillo (Mioceno Inferior; ca. 20 Ma); Toba de ceniza, riolítica, soldada, color rosado a violáceo oscuro, de hasta 200 metros de espesor. Contiene cristales de cuarzo, abundante sanidina, plagioclasa, biotita, menos anfíbola y escaso piroxeno, además de proporciones variables de pómez colapsadas.
PImsv	Complejos volcánicos del Pleistoceno-Superior: Complejo de domos dacítico Porquesa y depósitos piroclásticos asociados. Constituyen la actividad volcánica más reciente del área. Composiciones exclusivamente dacíticas de anfíbola y biotita y texturas porfídicas gruesas. Domos y coladas-domos dacíticas; depósitos piroclásticos de flujo, principalmente bloques y cenizas, y subordinadamente de caída y epiclásticos dispuestos radialmente a los pies del domo; depósitos de talud en ángulo de reposo en los márgenes empinados del domo.		
Msv	Volcanes y secuencias volcánicas del Mioceno Superior (10-5 Ma): Remanentes de edificios volcánicos de composición predominantemente andesítica, variablemente erosionados, en algunos casos con núcleos alterados expuestos o como secuencias desconectadas de centros de emisión.		

Fuente: M&A, diciembre 2019

Figura 4-14: Geología Subsuperficial. Perfil geológico A-A' y C-C' cuenca Lagunillas

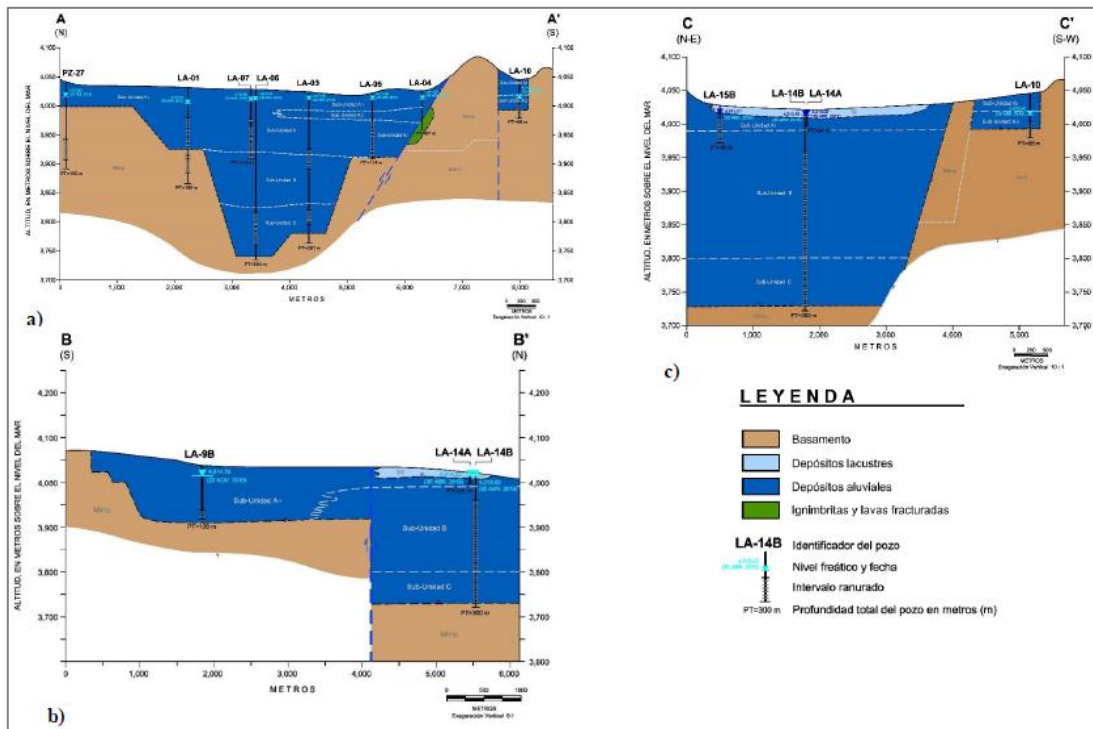


Fuente: M&A, diciembre 2019

4.1.1.4. Unidades Hidrogeológicas y parámetros hidráulicos

Las unidades geológicas descritas por M&A fueron clasificadas en cuatro unidades hidrogeológicas. Estas unidades corresponden al basamento, depósitos lacustres, depósitos aluviales e ignimbritas y lavas fracturadas. La Figura 4-15 presenta los perfiles transversales hidrogeológicos trazados en la cuenca.

Figura 4-15: Distribución vertical de unidades hidrogeológicas. A) Perfil A-A'; b) Perfil B-B'; c) Perfil C-C'. (M&A, diciembre 2019)



Fuente: M&A, diciembre 2019

En la Tabla 4-1 se presenta el rango de conductividad hidráulica para cada unidad hidrogeológica, obtenido de acuerdo las pruebas de bombeos realizadas por la compañía minera. Estas van desde los $2,7 \cdot 10^{-4}$ m/d, en los depósitos lacustres, hasta los 4.1 m/d en promedio para las ignimbritas y lavas fracturadas.

Tabla 4-1: Conductividad hidráulica de las unidades hidrogeológicas en cuenca Lagunillas

Unidad Hidrogeológica	Conductividad Hidráulica [m/d]		
	Mínimo	Máximo	Promedio
Basamento	-	-	-
Depósitos lacustres	2.70E-04	0.12	0.032
Depósitos aluviales	0.1	19.7	5.8
Ignimbritas y lavas fracturadas	0.3	182 ³	4.1 ⁴

Fuente: M&A, diciembre 2019

³ El valor fue obtenido a partir de la prueba de bombeo realizado en el pozo LA-04 lo que evidencia un alto grado de fracturamiento en el sector de emplazamiento de dicho pozo (M&A, diciembre 2019).

⁴ El valor corresponde al promedio de los valores obtenidos sin considerar el valor máximo medido que se escapa del rango de resultados (M&A, diciembre 2019).

4.1.1.5. Vegetación

En la cuenca de Lagunillas se definen cuatro sectores, que según la Resolución DGA N°909 de 1996, corresponden a vegas y acuíferos protegidos. De norte a sur los sitios son: 1) Pampa Penjamo y Hueilla Rinconada; 2) Guailacagua, Guantija, Salasalani y Llacho; 3) Pampa Lagunillas y 4) Coniri, los que se muestran en la Figura 4-16. En ellos existe vegetación de tipo azonal, en donde aquellos sectores ubicadas a mayor altura se abastecen de escurrimientos hídricos superficiales locales y, por otro lado, Pampa Lagunillas, que se encuentra a una menor cota, se abastece principalmente del afloramiento subterráneo y la humedad del suelo.

El sector de interés en este trabajo es la vegetación azonal de Pampa Lagunillas, la que se ubica en el borde noroeste de la laguna Huantija. En la Figura 4-17, el sector denominado Área de Influencia (color naranja de la figuraFigura 4-17) corresponde al Sistema Azonal, el cual incluye al Bofedal Lagunillas y las áreas directamente colindantes, y tiene una superficie estimada de 43,73 ha.

De acuerdo a los antecedentes recogidos en terreno, revisión de bibliografía y otros estudios realizados en el área por Jaime Illanes y Asociados (2013), la vegetación del sistema azonal presente en Pampa Lagunillas representa una alta singularidad, ya que constituye parte de los Sistemas Vegetacionales Azonales Hídricos Terrestres de la Ecorregión Altiplánica (SVAHT).

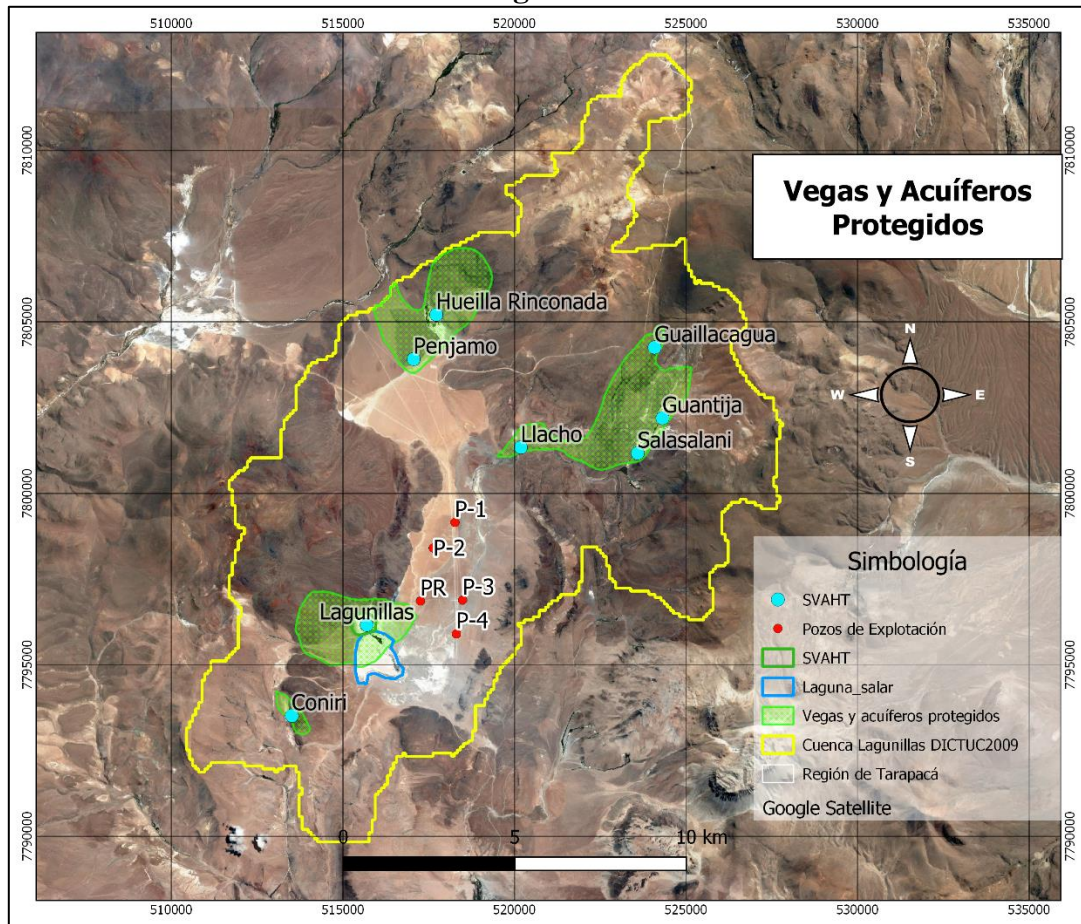
Las principales formaciones vegetacionales identificadas en el área de interés del proyecto correspondieron a Herbazal, donde dominan las especies *Carex maritima*, *Deyeuxia curvula* y *Deyeuxia chrysantha* (en el sistema azonal) y finalmente Bofedal (también sistema azonal), donde domina la especie en cojín, *Oxychloe andina* (Jaime Illanes y Asociados, 2013).

En la

Tabla 4-2 se presenta la descripción de las formaciones vegetacionales existentes en el sector de Pampa Lagunillas (área de influencia de 43,73 ha de la Figura 4-17). En ella se indica el sistema vegetacional, la formación vegetacional, la superficie, el porcentaje ocupado dentro del área de influencia, el tipo de vegetación, una descripción general y una fotografía representativa de cada uno de ellos. Dicha información fue registrada por una de las campañas de terreno que se realizaron para la elaboración del EIA del año 2013.

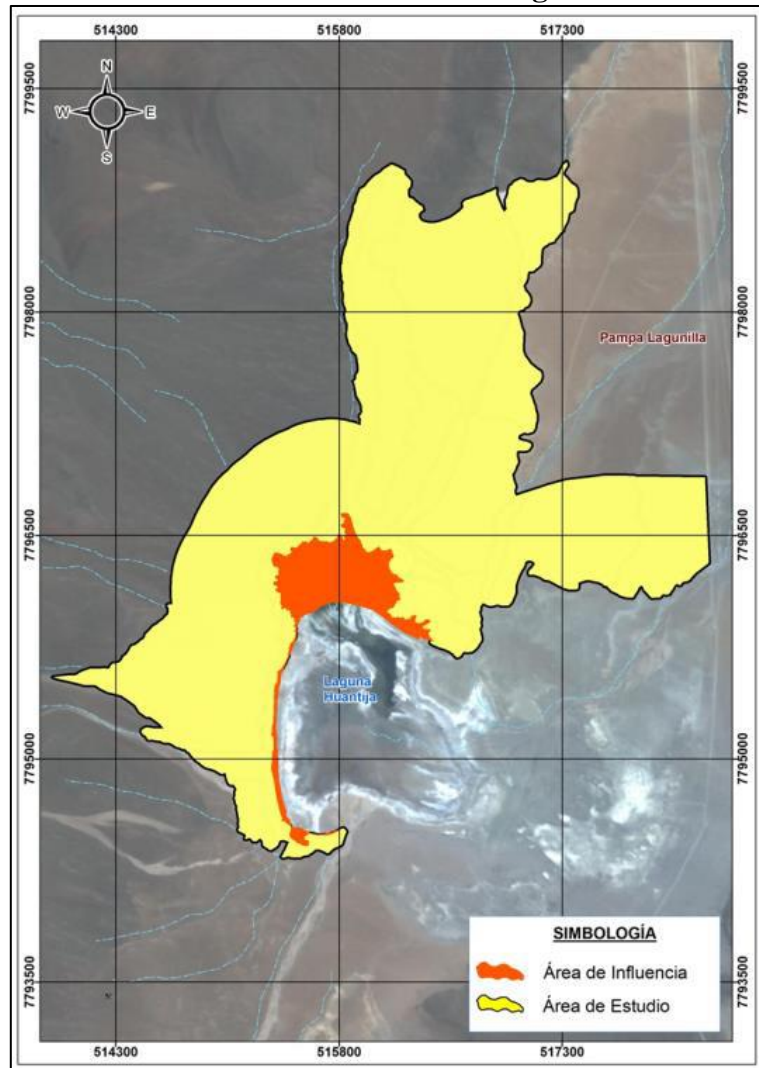
De acuerdo a la información que se obtuvo de los informes de seguimientos presentados en el SNIFA, se seleccionó un área de 8,3 ha que representa al “bofedal puro” y sobre el cual se realizaron los principales seguimientos de la vegetación azonal. Dado que no existen registros cartográficos en detalle de la zona previo a la operación del proyecto de la CMCC realizó una reconstrucción de la vegetación histórica de la zona, la que correspondía a aquella que conformaba el sistema azonal previo a los efectos provocados por la compañía minera (Línea Base). En la Figura 4-18 se presenta la dicha distribución.

Figura 4-16: Ubicación de áreas sensibles y acuíferos protegidos por la DGA en cuenca Lagunillas



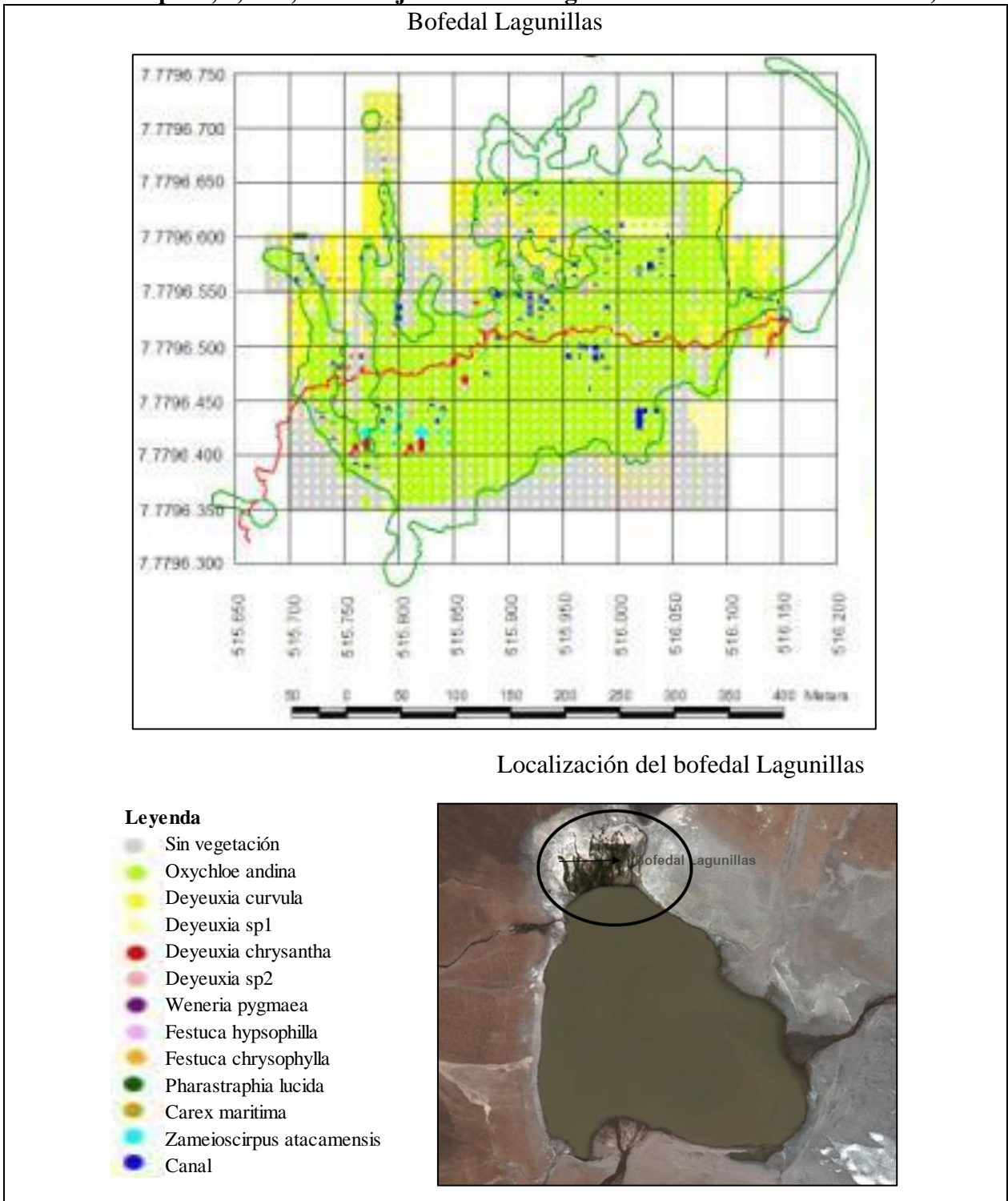
Fuente: Elaboración propia en base a Dictuc2009 y DGA

Figura 4-17: Área de Estudio e Influencia de la Vegetación en sector Lagunillas








Fuente: Jaime Illanes y Asociados, 2013

Figura 4-18: Distribución Histórica de la Vegetación (Línea Base). (Línea verde: Límite de bofedal puro, 8,3 ha; Línea roja: Límite de laguna durante inundación de 2001)



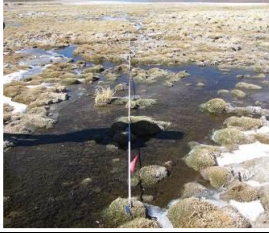
Fuente: SNIFA 2019

Tabla 4-2: Formaciones vegetacionales en Lagunillas

Sistema Vegetacional	Formación Vegetacional	Superficie en Área de Influencia (ha)	% de participación en Área de Influencia	Tipo de Vegetación	Descripción	Foto
Azonal de transición	Matorral	28.8	65.90%	Parastrephia lucida	Presenta estratos leñosos bajos de 0.25 a 1 m de altura dominados estructuralmente por esta especie de y densidad que va de 10 a 50% de cobertura.	
	Herbazal	0.09	0.22%	Festuca Ortophylla	Especie dominante de altura que va de 0.05 a 0.25 m y cobertura de 10 a 25% acompañado de un segundo estrado de Deyeuxia curvula inferior a 0.05m y cobertura de 10 a 25%	
Azonal	Herbazal	11.05	25.27%	Carex marítima	Altura no supera los 0.05 m y densidad de 50 a 100% acompañado de Oxichloe andina y Deyeuxia chrysantha en coberturas de 1 a 50% y otras especies aisladas..	
				Deyeuxia curvula	Altura varía entre 0.05 y 0.25 m con densidad de cobertura clara a muy clara entre el 25 y 50% y de 5 a 25% respectivamente. Está acompañado de Carex maritima, Oxychloe andina y otras especies en menor porcentaje.	
				Especies acuáticas	De densidad clara, densa a muy densa (25 a 50%; 50 a 75% y 75 a 90% de cobertura respectivamente) en escurrimientos hídricos superficiales. Especies variadas: Puppia filifolia, Stuckenia filiformis, Brium sp y presencia de unidades de transición de Deyeuxia curvula, Festuca ortophylla, Oxychloe andina y Carex maritima	

Fuente: Elaboración propia basado en Jaime Illanes y Asociados, 2013

Tabla 4-2: (CONTINUACIÓN) Formaciones vegetacionales en Lagunillas

Sistema Vegetacional	Formación Vegetacional	Superficie en Área de Influencia (ha)	% de participación en Área de Influencia	Tipo de Vegetación	Descripción	Foto
Azonal	Bofedal	3.75	8.59%	Oxychloe andina	Especies presentan crecimiento en cojines en forma semiglobosa de altura de 0 a 0.25m y cobertura promedio de 50 a 75%. Especies acompañantes de Zameioscirpus atacamensis, ddeyeuxia chrysantha, Deyeuxia curvula, carex marítima principalmente en los límites de alguna unidad.	
Total		43.73	100.00%			

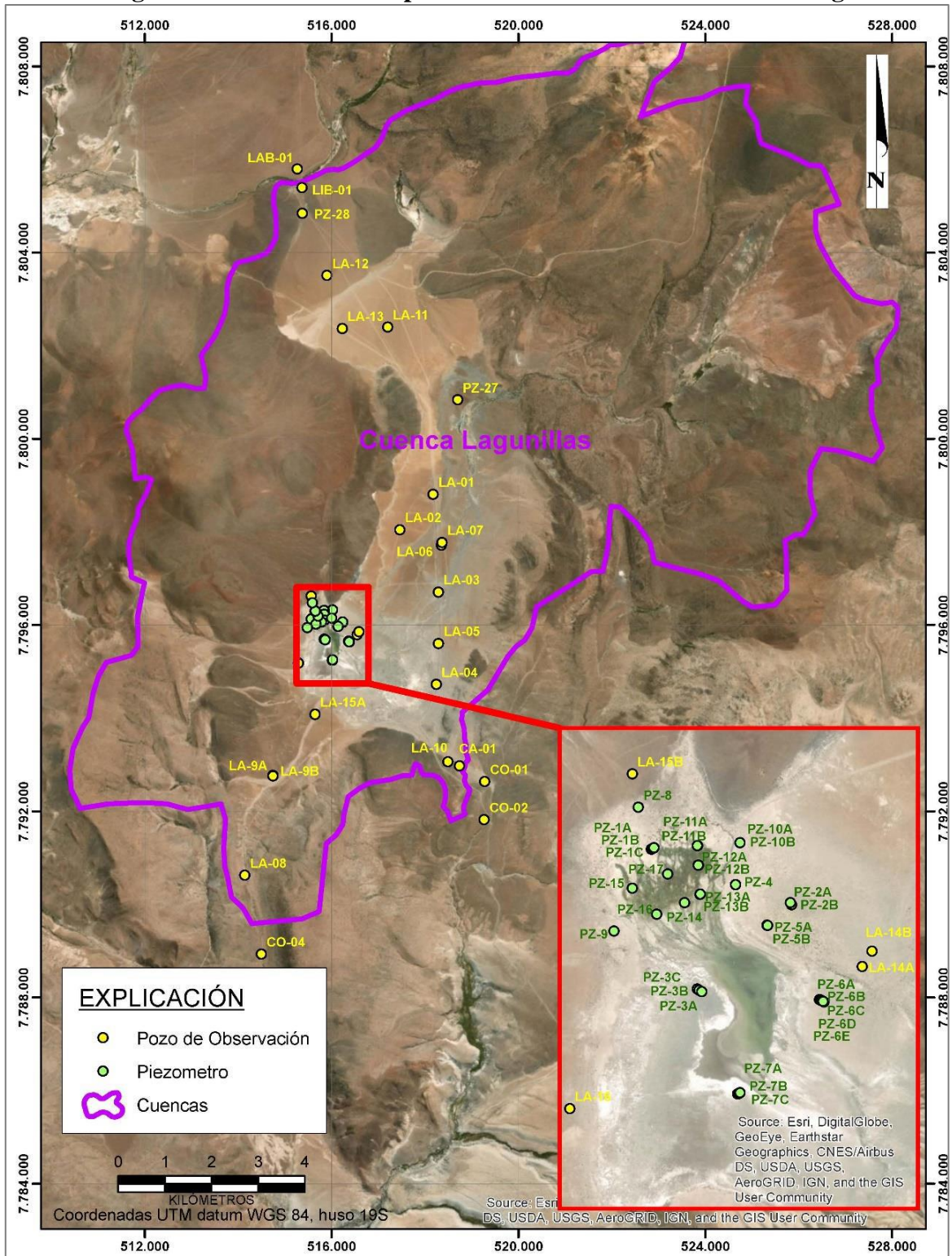
Fuente: Elaboración propia basado en Jaime Illanes y Asociados, 2013

4.1.1.6. Pozos de monitoreo y bombeo

Dentro de la cuenca lagunillas se han implementado por la CMCC varios pozos de monitoreo, los que le han permitido realizar estudios para poder caracterizar la geología e hidrogeología de la cuenca en conjunto con el monitoreo de los niveles freáticos durante la operación del proyecto.

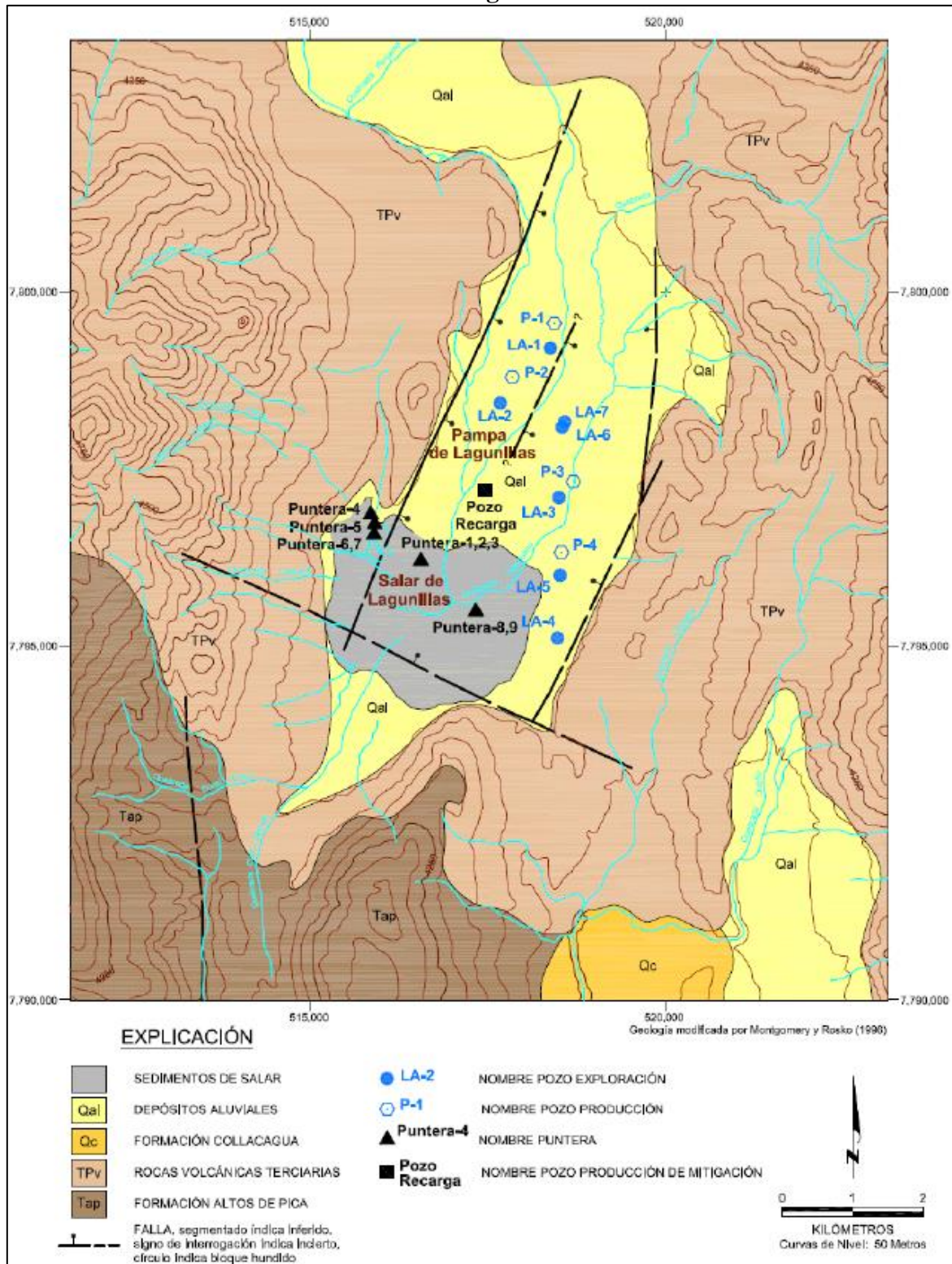
A continuación, se presentan dos imágenes con la ubicación de los pozos de observación, piezómetros y punteras en la cuenca lagunillas. La Figura 4-19 es una vista de la cuenca completa, y la Figura 4-20 muestra el detalle del sector salar de lagunillas, con los pozos y punteras representativos del sector, junto con una descripción geológica.

Figura 4-19: Ubicación de pozos de monitoreo en la cuenca de Lagunillas



Fuente: M&A diciembre 2019

Figura 4-20: Ubicación de pozos de observación, punteras y pozos de bombeo en la cuenca Lagunillas



Fuente: CMCC, 2019

4.1.2. Desarrollo de la Evaluación Ambiental

La CMCC ha sometido en varias ocasiones proyectos al SEIA, en el marco del proyecto minero que se lleva a cabo en Tarapacá, en la Provincia de Pozo Almonte desde el año 1992. De estos proyectos, hay tres en que se someten a evaluación los caudales de explotación de aguas subterráneas desde el acuífero de Pampa Lagunillas en donde la Compañía tiene otorgado Derechos de Aprovechamiento Agua Subterránea por un caudal de 300 L/s. Los proyectos en cuestión son los siguientes:

- EIA del “Proyecto Explotación de Mina y Planta de Lixiviación”, aprobado por el SERNAGEOMIN en mayo de 1994
- EIA del Proyecto “Expansión Cerro Colorado”, aprobado por el SEA en septiembre de 1997 mediante la Resolución Exenta N°22/97
- DIA del Proyecto Mejoramiento de Eficiencia Stretch Plan, aprobado por el SEA en marzo de 2002 mediante la Resolución Exenta N°102/02
- EIA Proyecto Continuidad Operacional Cerro Colorado, probado por el SEA en octubre de 2015 mediante la Resolución Exenta N°69/2015

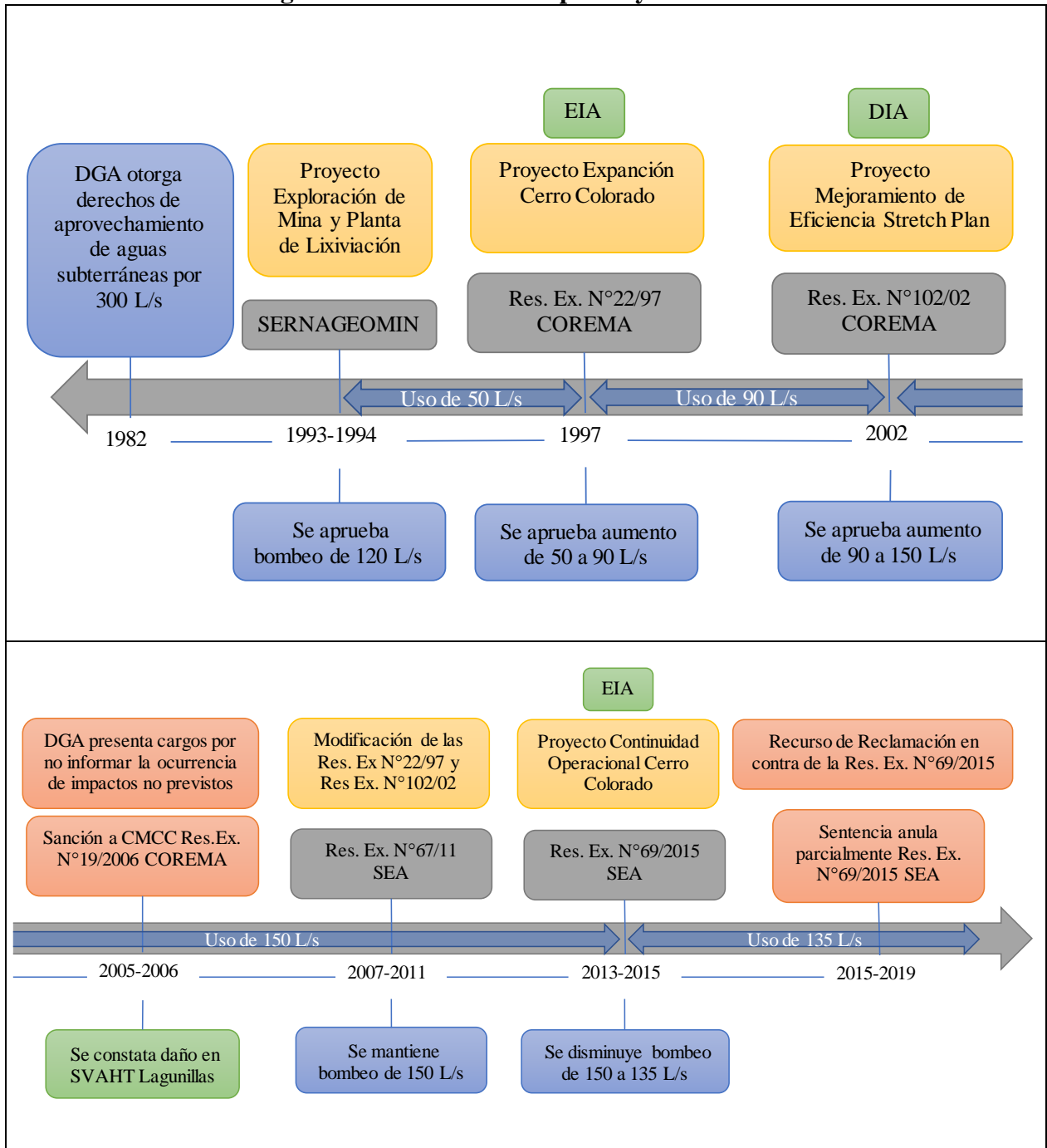
Además, la Compañía fue sancionada el año 2006, luego de la DIA del Proyecto Mejoramiento de Eficiencia Stretch Plan, producto de que las variables ambientales no se comportaron según lo previsto en la RCA respectiva, en particular con respecto a los niveles de descenso del acuífero, los que fueron mayores a los proyectados, y a raíz de lo cual, el bofedal Lagunillas se vio afectado en su totalidad, según constata la DGA (Ord. N°113 de la DGA, 2005).

A raíz del suceso anterior, es que en el año 2011 mediante la Resolución Exenta N°67/11 se modificaron las Resoluciones Exentas N°22/97 y N°102/02, dando paso, además, a la aprobación de un plan de recuperación y seguimiento de las variables ambientales relevantes. Esta modificación se llevó a cabo mediante el mecanismo del SEIA.

El último caso controversial en el que se ha visto involucrada la compañía fue el proceso de reclamación realizado por parte de un particular en conjunto con Asociación Agrícola Indígena en contra de la última RCA establecida el año 2015 que aprueba el Proyecto Continuidad Operacional Cerro Colorado. En el año 2019 el Tribunal Ambiental emitió la sentencia en la que se resuelve anular parcialmente la RCA N°69/2015, solo en la parte relativa a las medidas y condiciones establecidas para hacerse cargo del impacto ambiental del proyecto en los tiempos de recuperación del acuífero de Pampa Lagunillas y el Bofedal.

En la Figura 4-21 se presenta una línea de tiempo con los principales hitos dentro de los proyectos y resoluciones ingresados al SEIA de la CMCC.

Figura 4-21: Línea de tiempo Proyectos CMCC



Fuente: Elaboración propia

A continuación, se describe de manera detallada cada uno de los procesos antes nombrados.

4.1.2.1. Proyecto Explotación de Mina y Planta de Lixiviación (1992-1994)⁵

La CMCC somete a evaluación ambiental voluntaria por primera vez el año 1992 con el EIA del “Proyecto Explotación de Mina y Planta de Lixiviación” el cual fue aprobado por el SERNAGEOMIN en mayo de 1994. En dicho proyecto se aprobó el uso de 120 L/s como promedio mensual, extraídos desde los pozos de bombeo ubicados en el sector de Pampa Lagunillas, en la Cuenca Lagunillas. Es importante notar que la Compañía ya contaba con un total de 300 L/s de derechos de aprovechamiento de agua subterránea otorgados por la DGA. En esta EIA se realizó un balance hídrico en donde para el escenario natural (previo al inicio del proyecto) con precipitaciones de 50% de probabilidad de excedencia se calculaba un excedente de 69.38 L/s. Pese a la aprobación ambiental de 120 L/s, el uso real de agua de la Compañía llegó a los 50 L/s durante los años 1993 al 1997, lo que dejaba un excedente de 19 L/s.

De manera complementaria, el año 1993 la Universidad de Arturo Prat (UNAP) comenzó a realizar estudios de monitoreo de la flora y fauna de Pampa Lagunillas, incorporando estudios comparativos con el salar de Huasco y Pampa Lirima. Por otro lado, las variaciones de nivel freático en la cuenca Lagunillas han sido monitoreadas por la CMCC en forma discontinua entre febrero de 1982 y mayo de 1991 y en forma continua a partir de febrero de 1994.

4.1.2.2. EIA “Proyecto Expansión Cerro Colorado” (CMCC,1997)

El proceso de evaluación ambiental llevado a cabo sobre este EIA, comenzó el 7 de marzo de 1997 y fue resuelto el 16 de septiembre del mismo año. Dentro de él, se realizaron tres procesos de observaciones de los OAECA, en los que se destaca la participación de la DGA y SAG en las componentes aguas subterráneas y vegetación respectivamente. Se elaboraron dos ICSARAs los que se respondieron mediante dos ADENDAS. La Adenda N°2 presentó observaciones por parte de la DGA y fueron respondidas directamente al órgano en cuestión. Finalmente se emitió la Resolución de Calificación Ambiental el 16 de septiembre de 1997.

Descripción del EIA (Knight Piésold, 1997)

La Compañía Minera sometió de forma voluntaria el Proyecto Expansión Cerro Colorado al SEIA, dado que a la fecha de emisión del EIA (marzo de 1997) aún no se publicaba el Reglamento para la Ley 19.300. El proyecto se enmarca en la letra i) del artículo 10 de la Ley de Bases Generales del Medio Ambiente.

En este proyecto se consideraba el aumento de producción anual de cátodos de cobre a través de la expansión de las instalaciones de la compañía y la vida útil de la mina se proyectaba por un plazo de 20 años. Con respecto a la componente agua, se consideraba aumentar la demanda de 50 a 90 L/s (si bien en 1997 se aprobó el uso de 120 L/s, la compañía solo llegó a utilizar 50 L/s). En el Estudio, se utilizó el mismo balance hídrico elaborado el año 1993, en el cual, producto del aumento de extracción de 50 a 90 L/s desde el acuífero, pasaría de un excedente de 19 L/s a un déficit hídrico de 20,6 L/s (excedente de 69,38L/s – extracción de 90 L/s = déficit de 20,62 L/s).

Como única fuente de impacto en el sector de Lagunillas se identificó la extracción de agua. Las componentes ambientales identificadas como susceptibles a recibir los impactos producto de la extracción de agua subterránea fueron los flujos subterráneos y la flora y fauna terrestre. En la evaluación se le asignó al agua subterránea una importancia máxima, debido a la escasez del

⁵ No se cuenta con información más detallada del informe “Proyecto Explotación de Mina y Planta de Lixiviación” dado que no se encontró el documento original. Lo que se conoce es producto de la información recopilada a partir de los informes de evaluación posteriores.

recurso en la región y a su importancia en la flora y fauna de la zona. Pese a lo anterior, los impactos que provocaría la disminución del recurso en el ámbito hidrogeológico se consideraron de carácter “no significativo”.

Al igual que en el EIA de 1992, se afirmó que se generarían impactos indirectos sobre la flora y fauna de la zona de Pampa Lagunillas producto de las extracciones de agua, pero para calificar el tipo de impacto era necesario establecer la relación entre nivel de extracción y el nivel freático para luego determinar la sensibilidad del ecosistema a los cambios del nivel. De acuerdo con el informe del EIA presentado en 1997, con los datos disponibles hasta esa fecha no era posible predecir el impacto que se produciría sobre el nivel freático al aumentar las extracciones y por lo tanto tampoco sobre la flora y fauna del lugar. Por lo tanto, se reconoce en el EIA que existirían potenciales efectos en la flora y fauna, pero no se determina la significancia de dichos efectos.

De acuerdo a la información de niveles desde febrero de 1994 a enero de 1996 la tasa de descenso promedio fue de 0,03 m/mes, con el que se alcanza un descenso total de 0,81m en dicho período. En el pozo LA-5 se registró el mayor descenso, el que alcanzó los 1,11m (ver Figura 4-20). En el informe se le adjudican estos descensos a la escasa pluviosidad observada en el periodo de 1994-1995, ya que las precipitaciones alcanzaron una probabilidad de 97% de excedencia, lo que disminuiría la recarga al acuífero.

Dentro de la descripción de la línea base se afirmó que las extracciones de 50L/s efectuadas en el acuífero de Pampa Lagunillas desde 1993 hasta 1997 no interfirieron con la condición de equilibrio hídrico en la Laguna Huantija. Lo anterior se justificó indicando que: los conos de depresión de los pozos productores no alcanzaban a la laguna Huantija; debido a que la laguna se ubica en el área de menor cota de la hoya y al menos un 30% de las recargas por precipitación convergerían directamente a ella; cuando se registran años húmedos siempre ocurrirían escurrimientos superficiales que llegarían a la laguna; y que las lagunas altiplánicas mantienen todo el año sus aguas de superficie debido a la existencia de un sub estrato somero de materiales extremadamente finos, limosos hasta arcillosos, de pequeña a muy pequeña permeabilidad que impide la infiltración de tales aguas de superficie. Sin perjuicio de lo anterior, indican que la Laguna Huantija podría tender a secarse en el transcurso de varios años seguidos con escasa precipitación (años secos) (Knight Piésold, 1997).

En cuanto a la vegetación, según el programa de monitoreo efectuado por la UNAP desde el año 1993, al año 1997 no se habían detectado cambios en el ecosistema de Pampa Lagunillas que pudieran ser atribuidos a la operación del proyecto.

Dentro del área de Pampa Lagunillas no se implementó ninguna medida en el plan de manejo ambiental. En el Programa de Monitoreo se consideró el monitoreo del nivel freático, meteorología y flora y fauna de la zona de Pampa Lagunillas.

Proceso de Evaluación de Impacto ambiental (CMCC, 1997)

En general, en los pronunciamientos de los órganos con respecto al EIA y a las dos Adendas, se señaló que se debían determinar exhaustivamente los impactos sobre el recurso flora y fauna que se producirían en Pampa Lagunillas, Laguna de Huantija y en los bofedales de Lagunilla y Lirima, todos producto de la extracción de agua subterránea. Por otro lado, se hizo énfasis en establecer y estipular medidas de mitigación para la flora y fauna producto de la extracción de agua y determinar los parámetros para los cuales se iniciaría la mitigación. De manera reiterada se solicitó que la línea base se debía fortalecer.

En las adendas presentadas por CMCC se indicó que el impacto que se podría producir en la flora y fauna sería de carácter “no significativo”, esto de acuerdo a los estudios de la UNAP. Reiteran, además, la escasa precipitación en la zona durante los últimos años. Se especifica el plan de monitoreo en los pozos de observación y de las campañas que se realizarían sobre la flora y fauna.

Dentro de las Adendas se detalló un plan de mitigación, para el caso en que las recargas a la Laguna Huantija se vieran afectadas, el que consistía en implementar un sistema de turnos en el bombeo de pozos y/o la utilización de los pozos más lejanos a la laguna. Como segunda alternativa se planteó una medida de mitigación adicional que consistía en el bombeo de agua desde pozos lejanos hasta la Laguna Huantija para facilitar su recarga; o solicitar derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas para bombear agua desde el sector de la vertiente en el caso de que la laguna se secara por un período superior a un año.

El 4 de septiembre de 1997 se publicó el Informe Consolidado de Evaluación, que sintetizaba el proceso de evaluación llevado a cabo. Con las descripciones de la Línea Base, en el acuífero de estimó un volumen de agua almacenado de 450 millones de m³, el que mediante un bombeo de 120L/s podría extraerse el 50% en un plazo de 60 años. Con la remoción de agua hasta el año 1997 de 50 L/s el titular afirmaba que, de acuerdo al balance hídrico presentado en el EIA, no se había producido ninguna interferencia en el mecanismo de recarga y descarga del acuífero. Se presentaron de manera resumidas las principales observaciones de los órganos sectoriales y las medidas de mitigación y planes de seguimiento. Estos últimos planteaban continuar con el monitoreo mensual de los niveles freáticos, medir el espejo de agua de la laguna tres veces al año, mediciones de la calidad del agua cada cuatro meses y campañas para monitorear la flora terrestre cada cuatro meses en cuanto a las variables distribución y abundancia de la vegetación en el área de Pampa Lagunillas. La mitigación consistiría en el turno de uso de los pozos, utilización de los pozos más lejanos a la laguna y la implementación de un Sistema de Recarga Artificial para la laguna en el caso que esta se secara por un período superior a un año alimentado con agua desde el campo de pozos o mediante la solicitud de derechos de agua subterránea en el sector de las vertientes de Lagunillas. Finalmente se sugirió a la Comisión Regional del Medio Ambiente de Tarapacá, la aprobación del Estudio de Impacto Ambiental, presentado por la Compañía Minera Cerro Colorado Limitada.

Mediante la Resolución Exenta N°22/97 emitida el 16 de septiembre de 1997 se resolvió calificar favorablemente el Proyecto Expansión Cerro Colorado

4.1.2.3. DIA del Proyecto Mejoramiento de Eficiencia Stretch Plan (CMCC, 2002)

El 13 de marzo del 2002, mediante una DIA, se sometió a evaluación el “Proyecto Mejoramiento de Eficiencia de Stretch Plan” el que fue aprobado en menos de cuatro meses. La evaluación ambiental tuvo dos procesos de observaciones de los Servicios Públicos, una ICSARA y una Adenda. Se destacó la participación del SAG, CONAF, DGA y Municipalidad de Pozo Almonte en los componentes agua y vegetación. En mayo del 2002 se elaboró el ICE el cual consolidaba las principales observaciones y adendas, el que tuvo las últimas modificaciones luego de un acuerdo conformado por la DGA y la CMCC. Finalmente, el Proyecto fue aprobado por la COREMA de Tarapacá el 2 de julio de 2002.

Descripción de la DIA (Knight Piésold, 2002)

Este proyecto corresponde al tipo i) del artículo 10 de la Ley 19.300 y en particular a una modificación de un proyecto minero.

El proyecto consistía en la optimización de las instalaciones existentes que permitirían un aumento en la producción de cátodos de cobre. Con respecto a la componente agua, planteaba aumentar la extracción desde 90 a 150 L/s, utilizando tres de los cuatro pozos pertenecientes a la compañía, con un caudal de 50 L/s en cada uno. Para dicho aumento de caudal, también era necesario la modificación del acueducto que transportaba las aguas desde el campo de pozos hacia el sector de la mina.

Para verificar si es que se generarían impactos producto del aumento del bombeo, se realizó un modelo hidrogeológico de flujo de las aguas subterráneas del acuífero el que incluyó toda la información geológica, hidrogeológica e hidrológica que poseía la CMCC, organismos públicos y la recopilada por el consultor en dicho estudio de la cuenca Lagunillas. Para evaluar el impacto se compararon los descensos en los sectores identificados como más sensibles al abastecimiento, entre ellos el sector del Bofedal Lagunillas para el periodo de simulación desde el 1 de enero de 2002 hasta el 31 de diciembre de 2016. Como resultados, se indicó que se esperaba que en el Bofedal Lagunillas los niveles del agua subterránea se profundizaran un máximo de entre 0,3 m y 0,35 m adicionales respecto a la situación de bombeo anterior (aprobada en la EIA de 1997) luego de 15 años de bombeo. Este descenso se estimaba no significativo y similar al previsto para el sector de la laguna. Es importante señalar que, de acuerdo a los resultados de la modelación, el descenso esperado para un bombeo de 90 L/s era de 1,30 m como promedio, por lo que con 150 L/s el descenso alcanzaría un máximo de 1,65 m (1,30m + 0,35m). Después de finalizada la extracción de agua, al año 2031 los niveles se recuperarían alcanzando un abatimiento de 1 m en el sector del bofedal. Por lo que en el informe se concluye que los efectos generados por el incremento del caudal de extracción no cambiaron en relación a la situación aprobada en el año 1997.

En el informe entregado con los resultados del modelo hidrogeológico se concluyó que “... la laguna recibe aportes de aguas subterráneas, lo cual es lógico por cuanto es una de las principales salidas de agua desde la cuenca endorreica de Pampa Lagunilla. Estos aportes son habitualmente del orden o menores a 2 l/s. Sin embargo, en períodos extremadamente lluviosos, tal como en el año 2001, crecen en forma sustancial y se mantienen altos en forma transitoria y hasta que la evaporación desde la laguna restablece el equilibrio en régimen permanente de la cuenca”. Y con respecto al ecosistema se destaca que “los elementos de la cuenca de mayor susceptibilidad al abastecimiento de agua son las vegas y bofedales y la laguna del salar” y que “no es conocido el suministro de agua que requieren esas vegas y bofedales para su existencia ni el máximo estrés hídrico que podrían resistir.”

Por otro lado, en esta DIA se presentó como anexo el Informe “Análisis Histórico Ambiental de Pampa Lagunillas”, realizado por la Universidad Arturo Prat en noviembre de 2001. La evaluación de la flora y fauna local indicaba que había una disminución de la población local debido a un ciclo sin precipitaciones entre 1992 y 1999, concluyendo que la flora y fauna dependía de las aguas lluvias de la zona y no de las aguas del acuífero de la cuenca. Por lo tanto, concluían que un aumento en la extracción de agua subterránea, como era el requisito para el Stretch Plan, no impactaría el ecosistema existente.

A pesar de las afirmaciones entregadas en el informe del modelo hidrogeológico sobre la relación entre acuífero y vertientes que abastecían la vegetación y laguna, en la EIA no se consideraron. Finalmente, de acuerdo al análisis realizado en la DIA, el titular concluyó que el Proyecto Stretch Plan no provocaría impactos significativos que ameritasen la presentación de un Estudio de Impacto Ambiental (en particular con respecto a los ámbitos relacionados con el agua y la vegetación).

Se presentaron compromisos ambientales voluntarios, en los que se especificaba la medida de mitigación propuesta el año 1997, sobre reponer el agua del bofedal y la laguna. Estos consistían en que, durante el período de explotación de los pozos, en el caso de que el espejo de agua descendiese a valores menores a las mediciones históricas y se mantuviera por este valor en un período de un año, se bombearía agua desde un pozo con un caudal promedio anual de 3 L/s por el período que fuese necesario hasta que la laguna se recuperase; luego, para el período posterior al término de la explotación de los pozos, en el caso que el área de la laguna fuera cero por un período de un año, se repondría un caudal de 3 L/s hasta que los niveles de agua subterránea se recuperasen y permitiesen que el espejo de la laguna se mantenga por los afloramientos naturales del agua subterránea. Dentro de los compromisos se incluyó también la construcción de un pozo para la reposición del agua de la laguna, la instalación de un sistema de vigilancia con la instalación de un piezómetro de observación de los niveles de agua subterránea ubicado entre la laguna y los pozos de producción; y la instalación de un multipiezómetro de observación de niveles en las proximidades del bofedal Lagunillas, con el objetivo de observar los niveles de agua a diferentes profundidades y constatar si existen o no flujos verticales de afloramiento de aguas subterráneas que abastezcan el agua del bofedal. La frecuencia de medición sería mensual.

Proceso de Evaluación de Impacto Ambiental (CMCC, 2002)

Dentro de las observaciones realizadas a la DIA, se mencionó la medida de mitigación de recargar el agua de la laguna, con respecto a que no se podía esperar un año desde que se secase la laguna, ya que si eso ocurría el álveo de esta ya se habrá deprimido, poniendo en riesgo la vegetación. Después de finalizada la explotación de los pozos, se señala que, si fuese el caso, se deberán mantener las medidas de mitigación sobre la vertiente mientras esta no alcance, en forma natural, a lo menos un caudal igual al ecológico. Además de que la calidad del agua para esta mitigación debía ser de similares características a la de las vertientes, de forma tal que no afectase la calidad de agua de la laguna. Por otro lado, se señaló que dicha medida no podía estar sujeta a la solicitud de un derecho de aprovechamiento ni a un pozo que no existía; y que se debía estudiar hasta qué punto el aumento de la extracción del recurso de agua sería significativo. En cuando a las medidas de seguimiento, se recomendaba medir cuatro veces al año la superficie de la laguna y no tres como se indicó en el EIA, debido a la nidificación de aves acuáticas. Además, se especificó cómo debían ser entregados los informes de seguimiento y fiscalización a la DGA.

En la Adenda, CMCC acogió medir cuatro veces al año el área de la laguna, y aclaró que la calidad del agua si estaba considerada, ya que esta se repondría desde un pozo que se construiría en las cercanías del bofedal. Además, entregó las justificaciones de que sí era posible trasladar parte de los derechos que pertenecían a la compañía a este nuevo pozo, del cual especifican las coordenadas de localización en la adenda; y en el caso que la autoridad no autorizase el cambio de locación de los derechos, entonces el agua se extraería de los pozos de producción ya habilitados.

Luego de la redacción del ICE, se llevó a cabo una reunión entre CMCC y la DGA, en la que se redactó un acta de acuerdos en los que CMCC se comprometía a reponer el caudal faltante que permitiría mantener el área de la laguna en 5.000 m², y que la ubicación del punto de entrega sería acordada entre la DGA y CMCC. Además, aclaraban que el agua utilizada para la reposición se extraería desde un nuevo pozo el que sería construido en un sector cercano al bofedal de Lagunilla, pero fuera del sector del acuífero protegido por la DGA. Para esto la CMCC tramitaría el traslado del punto de captación de parte de sus derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas (CMCC, junio 2002).

Finalmente, la COREMA de Tarapacá resolvió calificar favorablemente el Proyecto “Mejoramiento de Eficiencia Stretch Plan” mediante la Resolución Exenta N°102/02 del 2 de julio de 2002.

4.1.2.4. Sanción a CMCC (2005-2006) (Res Ex. N°67/11)

El 7 de marzo de 2005 comenzó un proceso sancionatorio en el que se dio cuenta de una serie de incumplimientos por parte de CMCC relacionados con el monitoreo de las variables ambientales, implementación de medidas de mitigación y se dio cuenta el manifiesto daño ambiental en el Bofedal de Lagunillas, atribuible a la extracción de recursos por parte de CMCC. Los cargos incluyeron la no entrega de los informes de monitoreo hidrogeológico de los pozos de producción de Pampa Lagunilla y del monitoreo del área lagunar; y no informar a la COREMA de Tarapacá la ocurrencia de impactos ambientales no previstos. Junto con lo anterior se incluyó el hecho de que se construyó el pozo de mitigación y se instaló el Sistema de Recarga Artificial sin acuerdo de la DGA, que no se solicitó el traslado de derechos hacia el pozo, y que se implementaron los piezómetros y multipiezómetros de forma incompleta.

La compañía presentó sus descargos indicando que había entregado de manera regular los monitoreos del nivel freático y los resultados de los monitoreos del área lagunar, salvo los reportes posteriores a julio de 2003. Además, señaló que el traslado de derechos se retrasó por causas ajenas a la Compañía y con respecto a los piezómetros y multipiezómetro dio cuenta de la regularización de dichas circunstancias.

En relación a los cargos de daño ambiental en el bofedal Lagunillas, el titular señaló que de acuerdo al informe “Estado Ambiental del Bofedal de Lagunilla 1992 – 2005” presentado en marzo de 2005, realizado por los profesionales de la Universidad Arturo Prat, se concluyó que la afectación sobre la casi totalidad del bofedal de Lagunilla se explicaba por los cambios naturales de un ecosistema que está en un lugar de fuertes fluctuaciones anuales e interanuales de las variables abióticas. Indicaron que el análisis de diversos estudios permitió concluir que el daño ambiental tuvo su origen en causas naturales producto de las lluvias de 2001 que dejaron bajo el agua el 75% del área de cobertura vegetal del bofedal y que habría quedado inundado por casi un año y medio, producto de lo cual comenzaron a degradarse los componentes vegetacionales y, por lo tanto, las causas de la condición actual del Bofedal Lagunillas tendría su origen en procesos naturales y no en las actividades de extracción realizadas por CMCC, razón por la cual no serían responsables de daños imputados a la compañía.

El 14 de febrero de 2006 se emitió la Resolución Exenta N°19 que resolvió sancionar a la Compañía Minera Cerro Colorado con una multa de 500 Unidades Tributarias Mensuales por no dar cumplimiento a las normas impuestas en relación con la implementación de las medidas de mitigación evaluadas en el proyecto; sancionar a la empresa precitada con una multa de 500 UTM, por no dar cumplimiento a plan de seguimiento de las variables ambientales asociadas al proyecto; y sancionar a la empresa precitada con una multa de 500 UTM, por no informar la ocurrencia de impactos ambientales no previstos, ni asumir las acciones necesarias para controlarlos y mitigarlos, en relación con la ejecución del proyecto minero Cerro Colorado, contenido en las Res Ex N°102/02 y Res Ex. N°22/97 que califican como favorables los proyectos respectivos.

En dicha resolución se dejan sin efecto la mayoría de descargos presentados por la Compañía, además de aclarar que la comisión no formuló cargos por el hecho que exista daño ambiental en la Laguna Huantija, sino que por la inobservancia de las normas y procedimientos contenidos en los permisos de funcionamiento que autorizaron la ejecución del proyecto, sin perjuicio de estimar que constituye una agravante calificada al momento de imponer las sanciones que se establecen en la

parte resolutive de dicha resolución. Se tuvo además presente que CMCC acompañó antecedentes que daban cuenta del error en que incurrió en una primera instancia, al atribuir a causas naturales la afectación del Sector Lagunillas.

4.1.2.5. Modificación de las Res Ex N°22/97 y Res Ex N°102/02 mediante la Resolución Exenta N°67/11 (2007-2011)

En noviembre de 2007 comenzó un proceso administrativo para modificar las Resoluciones que aprobaron los proyectos Expansión Cerro Colorado del año 1997 y Mejoramiento de Eficiencia Stretch Plan del 2002, a efecto de determinar si las variables ambientales relacionadas con el Bofedal Lagunillas se comportaron conforme a lo previsto, y en caso de que corresponda, adoptar las medidas necesarias para corregir el desarrollo de estas.

CMCC interpuso dos recursos de reposición en contra de dicho proceso, los que fueron rechazados por la COREMA de Tarapacá.

El 15 de febrero de 2008 CMCC presentó un informe que contenía el “Plan de Trabajo para el Manejo de las Funciones Ecosistémicas del Sistema Lacustre de Lagunillas” el que fue tramitado en el SEIA. Fue enviado a los Servicios Públicos para que se pronunciasen al respecto y el 21 de enero de 2009 el SEA publicó el primer Informe Consolidado de Observaciones. En agosto de 2009 CMCC emitió sus respuestas y luego hubo una segunda instancia de observaciones a las que la compañía minera responde directamente a cada uno de los órganos. Este proceso finaliza en junio de 2011 mediante la Resolución Exenta N°67/11, la que contiene el Plan de Trabajo para el Manejo de las Funciones Ecosistémicas del Sistema Lacustre de Lagunillas, con todo lo que se observó y complementó durante el proceso de evaluación.

Descripción del Plan de Trabajo para el Manejo de las Funciones Ecosistémicas del Sistema Lacustre de Lagunillas (Res Ex. N°67/11)

El Plan de Manejo presentado en febrero de 2008 por la CMCC contenía un conjunto de medidas propuestas con el objetivo de asegurar el manejo sustentable del ecosistema de Lagunillas, a fin de mantener su estructura y funcionamiento, en función de los resultados de un modelo hidrogeológico y sus calibraciones. Contenía un plan de seguimiento ambiental, que incluiría las investigaciones y nuevas tecnologías que se realizaran en su ejecución, los efectos del manejo hídrico artificial y los lineamientos futuros que se establecerían en coordinación con la autoridad. Era un plan que planteaba ir actualizándose en el tiempo, conforme a los resultados y nuevas calibraciones del modelo, y eventualmente un nuevo modelo si fuese necesario.

El plan tenía como base el principio corporativo de mejoramiento continuo e integrado de la gestión global de la compañía y las principales actividades que contenía eran:

- Regularización del Sistema de Recarga Artificial (SRA). Implementación y operación del SRA a través de descargas múltiples.
- Reubicación de uno de los pozos de producción.
- La reubicación de la fuente de Agua para el SRA.
- Caracterización hidrogeológica del sistema lacustre.
- Actualización del modelo hidrogeológico.
- Desarrollo modelo ecosistémico
- Monitoreos planificados con fines precisos
- Otras investigaciones asociadas al ecosistema
- Revisiones semestrales a través de un equipo profesional externo independiente.

El plan contenía también un “plan de seguimiento” de las variables ambientales relevantes del plan de manejo resumidas a continuación:

- Medir y controlar la recuperación de las funciones ecosistémicas de los componentes ambientales sensibles que se identificaron a lo largo del plan de manejo
- Medir y controlar el comportamiento en el tiempo de los componentes ambientales susceptibles de afectación que se identificaron a lo largo del plan de manejo.
- Verificar la efectividad de las medidas de mitigación implementadas y permitir su ajuste y adecuación a los reales requerimientos de los sistemas, conforme a los comportamientos que se observen en los mismos a través del tiempo.
- Detectar de manera temprana cualquier efecto no previsto y no deseado, de modo que fuese posible controlarlo aplicando oportunamente las medidas o acciones pertinentes.

En dicho informe se constataron ciertos compromisos asumidos en la DIA del 2002 y que estaban siendo desarrollados por CMCC, pero con algunas modificaciones. Entre ellos la medida de reposición del agua de la laguna para mantenerla sobre los 5.000 m². La construcción del pozo para el abastecimiento de la medida y la instalación de 9 piezómetros en el sector de Lagunillas. Además, se desarrolló un nuevo modelo hidrogeológico de la cuenca. CMCC estaba reportando trimestralmente ante la DGA los resultados de los monitoreos comprometidos en 1997 y 2002, con copia a CONAMA, SAG, SERNAGEOMIN.

En este informe consideraron varios supuestos para describir el funcionamiento del sistema de Lagunillas. Entre ellos se asumía que existía dependencia hídrica entre la laguna respecto del bofedal y otras zonas de surgencia. La zona alta del bofedal estaba afectada tanto en cantidad de vegetación (pérdida de cobertura) como en calidad de la misma (salud de las plantas), pero el sistema vegetacional, a pesar de encontrarse afectado, continuaba activo. La reposición de la escorrentía y eventuales medidas de manejo en la colonización natural, debían reestablecer la estructura y funcionamiento del sistema Bofedal Lagunillas. La modelación de la interrelación de los tres componentes iba a permitir determinar los umbrales de respuesta biogeoquímicos frente a los cambios naturales y/o antrópicos del sistema (Res. Ex 67/11).

De acuerdo a estos supuestos, se incluía un modelo ecosistémico conceptual que describía el funcionamiento de los tres componentes: acuífero, sistema vegetacional (bofedal) y sistema salobre (laguna). De acuerdo al modelo, se afirmó que había efectos en las componentes ambientales sensibles provocados por la acción del campo de pozos de la CMCC, lo que modificaba las condiciones naturales del acuífero y que generaba efecto sobre los niveles de aguas subterráneas, presiones hidrostáticas y afloramientos de aguas subterráneas (vertientes). CMCC constató que de acuerdo a las evaluaciones ambientales realizadas para la cuenca lagunillas en 1997 y 2002 la extracción de aguas desde el Campo de Pozos había afectado negativamente el nivel de agua subterránea y escurrimiento superficial, generando una disminución y cese de la alimentación hídrica al bofedal.

En el informe también se habla sobre la capacidad de mantención de bofedales mediante escurrimiento superficial, en base al uso de un sistema de irrigación artificial desde puntos superficiales, ejemplificando que en la naturaleza existen “sistemas azonales colgados” como el de Pampa Lirima, en que los bofedales son dependientes de vertientes de ríos que determinan sistemas de flujos locales sin relación de dependencia con acuíferos. Además, de acuerdo con el estudio geofísico desarrollado en este lugar (bofedal Lagunillas) en noviembre del 2007, se demostró que la presencia o posición del nivel subterráneo de aguas no era limitante para la existencia natural o

mantención artificial de una vega/o bofedal. De esta manera daban justificación a la implementación y efectividad del Sistema de Recarga Artificial que ya se había comenzado a implementar desde el año 2004.

El objetivo del nuevo modelo hidrogeológico era simular los escenarios futuros y conocer cuál sería la fecha de término de la reposición del caudal a la laguna y bofedal. En diciembre de 2005 este modelo fue presentado a la autoridad en el informe “Resumen de los Resultados del Desarrollo y Aplicación de un Modelo de Flujo de Agua Subterránea en la Cuenca Salar de Lagunillas”. Este modelo tendría la premisa de que sería constantemente actualizado, ya sea en parámetros de calibración y de ser necesario la estructura del modelo conceptual. Estas actualizaciones permitirán ir actualizando el Plan de Manejo.

Proceso de Evaluación Ambiental (Res Ex. N°67/11)

La DGA, CONADI, Secretaría Ministerial Regional de Agricultura, SAG, SERNAGEOMIN, y CONAF, se pronunciaron con respecto a las componentes vegetación y aguas subterráneas del informe que presentó el Plan de Manejo en los temas desarrollados en los siguientes párrafos:

- *Con respecto a los procesos de evaluación de los proyectos del 2002 y de 1997 se afirmó que la compañía no predijo el descenso de las aguas subterráneas al nivel que se presentó en la realidad y no hubo una predicción por parte de la compañía de la variación en la cobertura vegetal y la presencia de especies características en el bofedal Lagunillas. Por lo que los servicios indicaron que ambas variables relevantes no evolucionaron de acuerdo a lo previsto.*
- *En relación al modelo hidrogeológico presentado por CMCC se señaló que la recalibración de un modelo hidrogeológico, no se hacía cargo de nuevos impactos ambientales y solamente generaba una herramienta para el mejor conocimiento de la unidad hídrica. Además, de que el titular debería incorporar en los modelos la interrelación entre las variaciones en el nivel de las aguas subterráneas y la vegetación asociada al bofedal Lagunillas. Con respecto al modelo hidrogeológico (2005) se señaló que necesitaba una definición conceptual del sistema hidrogeológico más completa.*
- *Respecto del levantamiento cartográfico se observó que las especies sucesionales que colonizaron el rastrojo no eran propias del mismo, por lo tanto, dentro de los indicadores de éxito, estas especies no deberían ser consideradas en la cobertura final ya que deberían desaparecer en la medida que se restablezca la vegetación propia del humedal.*
- *Con respecto a la interrelación funcional entre ambas variables ecosistémicas (nivel de aguas subterráneas y vegetación del bofedal lagunillas) se determinó que había una alta dependencia de estos ecosistemas con las aguas subterráneas, por lo que la disminución de las napas subterráneas incidió en el cese de los afloramientos hídricos, impactando negativamente el funcionamiento del bofedal. Además, el cese de las vertientes era una acción directa (y no indirecta) del efecto causado por el bombeo.*
- *En cuanto a las medidas de mitigación y recuperación expuestas por el titular, se indicó que estas no entregaban información convincente y clara con respecto a las variables ambientales a un mediano y largo plazo. Los órganos señalaban que existía experiencia de bofedales y pajonales que podían ser mantenidos por sistemas colgados, pero no existía la certeza de que fuera posible mantener una vega estable en el tiempo a través de un sistema artificial de aporte hídrico. Con respecto al SRA, se indicó que el monitoreo debía continuar posterior al cese del SRA, ya que la situación podría revertirse. Señalaron que un factor importante a considerar para la recuperación de las vertientes era el plazo en*

años en que se recuperarían los niveles. Este factor dependería directamente de los descensos autorizados. Además, el titular debería modelar el valor umbral del descenso

- *Considerando que el Bofedal Lagunillas tuvo una deficiente línea base en la evaluación ambiental era fundamental generar antecedentes para una adecuada comprensión del ecosistema.*

Las respuestas anteriores se consolidaron en el Informe Consolidado de Observaciones al que CMCC dio las respuestas presentadas a continuación:

- *Con respecto a los modelos hidrogeológicos afirmaron que, en efecto, estos eran herramientas que pronosticaban el comportamiento de las variables ambientales y por lo tanto dan alarmas a la toma de decisiones.*
- *La información científica disponible hasta esa fecha del bofedal de Lagunillas indicaba que la dependencia funcional de la vegetación y el agua subterránea no sería un factor limitante para el manejo y sobrevivencia de la vegetación, en el entendido que la vegetación hidrófila depende del escurrimiento superficial y del grado de humectación del suelo sobre los “sellos” de arcilla.*
- *En relación a las medidas de mitigación CMCC afirmó que era posible mantener el bofedal en una condición “colgada” con un sistema de recarga artificial cuando los niveles de agua subterránea estuvieran deprimidos. Lo anterior estaba respaldado por las investigaciones y observaciones realizadas en terreno por la compañía y que mostraban que el agua del SRA era capaz de generar escorrentías superficiales que mantenían humectadas más de 8 hectáreas de terreno y más aún, era capaz de mantener el espejo lacustre.*
- *Con respecto a la recuperación de las condiciones naturales de escorrentía del Bofedal Lagunillas afirmaban que el concepto básico e inicial de manejo para el bofedal de Lagunillas había sido el de reinstalar o emular las condiciones naturales de flujo superficial y humectación del sistema. Se estimaba, sujeto a la prevención, que la mayor recuperación del bofedal se lograría en un plazo de 4 a 7 años.*
- *En las respuestas de la compañía se detallaba el plan de recuperación el que consistía en tres fases: rehabilitación de la condición natural del bofedal; etapa de mantención de caudales y vegetación mediante el SRA; y reinstalación de los flujos naturales en las vertientes. En el caso de que la recuperación estuviera sustancialmente bajo los indicadores de referencia, entonces se consideraría la implementación de medidas de recolonización asistida.*
- *Se indica que el monitoreo se mantendría por un período de tres años una vez finalizada la recarga artificial.*

Finalmente, dado que la compañía no hizo pronunciamientos con respecto a los umbrales de decisión y toma de medidas de mitigación, la DGA se pronunció con respecto a ellas, y estableció los umbrales permisibles de descensos. En ellos se definen los conceptos “tendencia negativa”, descenso máximo” y valor máximo” los que darían paso a aumentar o reducir caudales de bombeo dependiendo de cómo se comportasen los niveles freáticos.

En junio de 2011 mediante la Resolución Exenta N°67/11 se finalizó el proceso de modificación de las Res Ex N°22/97 y Res Ex N°102/02 por las cuales se aprobaron los proyectos “Expansión Cerro Colorado” y “Mejoramiento de Eficiencia Stretch Plan”, respectivamente, en el sentido de que CMCC debería dar cumplimiento a las medidas correctivas, que en lo pertinente adecuaban las

resoluciones individualizadas, con el propósito de cautelar la variable ambiental relevante “niveles de aguas subterráneas” de la unidad hidrogeológica Lagunillas.

En la resolución se mantuvo el régimen de extracción de 150 L/s desde los pozos de producción P1, P3 y P4, para el período enero 2009 a fin del año 2016 sujeto a que CMCC debería cumplir con el plan de seguimiento de los niveles de aguas subterránea, que contemplaba los umbrales establecidos por la DGA.

CMCC debería adoptar las medidas asociadas al Plan de Manejo, que incluía el plan de seguimiento de variables ambientales relevantes (flujo de vertientes, superficie de laguna, nivel de agua subterránea en el bofedal y laguna, salud de la vegetación del bofedal, cobertura del bofedal y superficie del bofedal), el plan de seguimiento de los recursos naturales renovables afectados por la extracción de agua (superficie del bofedal, cobertura específica de bofedales, actividad fotosintética en bofedales, flujo de vertientes, fauna, superficie de laguna, química de aguas, microfauna y fauna acuática), el plan de seguimiento de las medidas de mitigación (Recarga Artificial, manejo de zonas de vertientes y bofedales) y plan de seguimiento de las variables de calibración de los modelos hidrogeológicos (volúmenes de extracción de agua subterránea, niveles de agua subterránea, niveles y superficie de lagunas, meteorología).

Posterior a esta modificación se comienza a llevar un seguimiento presentado en el SNIFA a través de monitoreos de las variables flora y vegetación y niveles de agua subterránea.

4.1.2.6. EIA Proyecto Continuidad Operacional Cerro Colorado (2013-2015) (CMCC, 2013)

El 25 de julio de 2013 el EIA del Proyecto Continuidad Operacional Cerro Colorado fue admitido al SEIA. Este proyecto tenía por objetivo continuar explotando las reservas mineras extendiendo la operación hasta el año 2023, sin modificar el proceso y manteniendo el nivel de producción autorizado.

El proceso de evaluación ambiental tuvo cuatro instancias de pronunciamiento de los OAECA junto con un proceso de participación ciudadana. Se redactaron tres ICSARAs, la Compañía presentó tres Adendas y finalmente el SEA redactó el ICE. En las visaciones al ICE se destaca que la DGA lo aprobó, pero sujeto a una serie de condiciones y exigencias.

Descripción del EIA (Jaime Illanes y Asociados, 2013)

El proyecto consideraba mantener la misma tasa de extracción de agua aprobada en la última resolución de 150 L/s desde el campo de pozos ubicados en el Sector de Lagunillas. El cese de las operaciones sería el año 2023, y los monitoreos post cierre junto con la continuación del riego artificial del Bofedal lagunillas, comenzarían a partir del año 2024. En el EIA se señaló por parte del titular que se podrían generar efectos adversos significativos sobre el recurso hídrico subterráneo en el sector Lagunillas debido a la extensión temporal del bombeo. Con respecto a los componentes ambientales flora y vegetación del sector del Sistema Azonal Lagunillas, se señaló que la continuación de la extracción de aguas subterráneas no generaría impactos significativos en ellos, debido a que este sistema se estaba desarrollando a merced del Sistema de Recarga Artificial. El caudal para el funcionamiento del SRA se trasladó desde el pozo de recarga P-R (implementado el 2004) al pozo de producción P-3 a partir del año 2013, situación que se mantendría hasta el cierre del Proyecto a fines del año 2023. Al año 2013 el SRA consistía en 31 puntos de recarga con un caudal total aproximado de 20 L/s.

Como medida de mitigación posterior al cierre, se planteó la construcción de un nuevo pozo desde el cual se extraería el agua para sostener el riego artificial del bofedal de Lagunillas. Este pozo se construiría en el sector de Pampa Pénjamo, al norte del salar, con lo que se reducirían los tiempos de recuperación del acuífero en 9 años dado que este estaría más alejado del sector del humedal. Además, se propone un “Plan de Gestión para la Conservación de la Biodiversidad” (o Plan de Conservación de Biodiversidad), que tenía por objeto la conservación de un sector en estado natural y de condición similar o equivalente al sistema azonal de Lagunillas, con el fin de asegurar que no exista una pérdida neta de la biodiversidad del sector y, a su vez, buscar una ganancia en biodiversidad.

Desarrollo de la Evaluación de Impacto Ambiental (CMCC, 2013)

El proceso de evaluación de este proyecto fue bastante extenso. Se inició el año 2013 y finalizó a mediados de 2015. Tuvo cuatro instancias de observaciones, tres ICSARAs y tres Adendas. De manera general, las observaciones de los OAECA se centraron en las siguientes temáticas:

Con respecto a la Línea Base:

- *No se presentó una línea base hidrológica adecuada en el sector de lagunillas lo que impidió hacer una correcta distinción entre la situación con proyecto y sin proyecto.*
- *No existió una caracterización de las aguas superficiales de la cuenca.*
- *La información levantada en el sector lagunillas era insuficiente para el análisis, por lo que se requería que este tipo de humedal fuera estudiado desde un punto de vista ecosistémico.*
- *Se debió considerar que el proyecto, en lo que se refiere a Pampa Lagunillas, se emplaza en tierras indígenas, entre ellos asociaciones y grupos humanos Indígenas Aymaras y Quechuas.*

Con respecto al modelo hidrogeológico:

- *En la conceptualización del modelo y en los resultados presentados no se hizo un análisis detallado de las áreas ambientalmente sensibles, en especial las zonas de vegas y bofedales que ha delimitado la DGA en la cuenca.*
- *Se solicitó al titular presentar los valores del modelo hidrogeológico (niveles esperados de agua subterránea) en los puntos definidos para las vertientes que alimentarían a la Laguna Huantija. Junto con realizar un análisis detallado de los resultados del modelo hidrogeológico en las áreas de protección definidas por la DGA.*

Con respecto a la vegetación azonal se solicitó que el titular debía realizar las siguientes acciones:

- *Establecer cuál era el porcentaje de cobertura actualizado de plantas vivas y descontar de este, la superficie ocupada por plantas muertas.*
- *Controlar el efecto del ganado sobre el bofedal.*
- *Esclarecer cuál sería la imagen objetivo del bofedal, considerando que la reposición artificial considera subetapas con umbrales definidos.*
- *Especificar si la prolongación en el tiempo de extracción de agua incidiría en demandas crecientes de suministro hídrico para satisfacer las necesidades del humedal de Lagunillas.*
- *Explicitar si el impacto por el retardo en la recuperación de las condiciones de hidromorfismo natural del sitio, afectaría el plan de recuperación de este a través de la reposición artificial de agua.*

En relación a los impactos que generaría el proyecto:

- *Se solicitó considerar el impacto sinérgico provocado por el funcionamiento actual y los 7 años más de extracción de aguas subterráneas, lo que provocará el retardo en la recuperación del acuífero de entre 25-30 años adicionales a 60 años de acuerdo a los compromisos establecidos en la Resolución 67/2011.*
- *Se señaló que la extracción de los recursos hídricos de la cuenca Lagunillas generó y sigue generando un importante deterioro en el humedal y sus subsistemas, por lo que las acciones implementadas para la recuperación del ecosistema no debiesen servir de precedente para futuras evaluaciones ambientales.*

Medidas de mitigación:

- *Se solicitó al titular aclarar el cumplimiento de la Res Ex N°67/11.*
- *Con respecto al cambio del pozo para el SRA al término de las operaciones, se informó que no era suficiente reducir el tiempo de recuperación del sistema en solo 9 años. Por lo que la medida no era consistente con la magnitud del impacto esperado ni con la relevancia del componente ambiental afectado.*
- *Se pidió información y respaldo con respecto a la selección de los puntos de descarga del SRA. En ello justificar la implementación de 16 puntos de descarga adicionales a los 15 puntos que simulan las surgencias naturales.*

Plan de seguimiento:

- *El Plan de Seguimiento que se estableció en la EIA, carecía de indicadores de éxito para todas las medidas propuestas, lo que no aseguraba que estas se hicieran cargo de los impactos previstos.*
- *Se solicitó al titular establecer indicadores para el componente flora, fauna, para la mantención del SVAHT de Lagunillas y para el mejoramiento del hábitat.*
- *Se solicitó especificar cuál sería el seguimiento de las variables en la etapa de cierre y abandono.*
- *La evaluación ambiental incorporada en el EIA era incompleta y no abordaba apropiadamente la relación entre el recurso hídrico y todas aquellas componentes ambientales que éste sustenta.*

Las respuestas realizadas por la CMCC a las observaciones se presentaron en tres Adendas, las que se resumen en las siguientes temáticas:

Con respecto a los posibles impactos:

- *A partir de la definición de efectos sinérgicos de la Ley 19.300 en su Artículo 2. h bis) y en relación al presente Proyecto el titular concluyó que no se generarían impactos sinérgicos, sino que acumulativos consistentes en el retardo en el tiempo de recuperación de los niveles de aguas subterráneas del acuífero Lagunillas. De acuerdo a ello el titular indicó que el efecto acumulativo sobre el acuífero no provocaría una desconexión hidráulica mayor que la autorizada previamente y no alteraría las metas de recuperación del bofedal (imagen objetivo). Este impacto se evaluó como significativo en el Capítulo 4 “Evaluación de Impactos” del EIA.*

Con respecto a las medidas de mitigación:

- *Se establecieron los indicadores de éxito para la etapa de operación, cierre y post cierre del proyecto. En cuanto a la vegetación, el porcentaje de recuperación sería al menos un 70% de cobertura propia del bofedal. En cuanto al sistema hidrogeológico, el indicador de éxito sería cuando las surgencias más altas topográficamente hayan recuperado su flujo natural.*
- *Posterior a la recuperación de los sistemas se deberá verificar que esta situación se mantenga y para esto se realizaría un plan de seguimiento de tres años abierto a extenderse de ser necesario.*
- *Dado que el bofedal Lagunillas sufriría constantes modificaciones en su estructura vegetal se producirían cambios de los flujos de agua artificialmente incorporados al sistema. Con esto se justificó el aumento de los caudales de recarga desde los 10 L/s el año 2006 a 20 L/s al año 2013 y un aumento a 25 L/s estimados para el año 2014. Estos caudales se irían disminuyendo una vez recuperada la vegetación, a flujos que fluctuarían entre los 8.5 y 13 L/s dentro de las etapas de operación, cierre y post cierre.*

Con respecto a la Vegetación Azonal y el plan de seguimiento de esta variable el titular presentó lo siguiente:

- *Detalle de la cobertura de la vegetación al año 2013 específica para cada tipo de formación vegetal.*
- *La imagen objetivo del sistema azonal lagunillas en cuanto a porcentaje de coberturas de cada formación.*
- *Que las conclusiones respecto del Plan de Manejo daban cuenta que el bofedal de Lagunillas mantenía signos tanto cualitativos y cuantitativos recuperación.*

Finalmente, el año 2015 se aprobó el proyecto mediante la Resolución Exenta N°69/15 en donde se informó que se mantendrían las medidas definidas en las resoluciones previas, en conjunto con el plan de manejo del bofedal lagunillas. Además, se disminuyó el caudal de bombeo de 150 L/s a 135 L/s lo que fue propuesto de forma voluntaria por la compañía, y se proyectó el uso de agua subterránea hasta el año 2023. Esto último provocaría un descenso mayor en los niveles de agua, y por ende un mayor tiempo de recuperación de los niveles a condición natural.

4.1.2.7. Proceso de Reclamación de la RCA N°69/15 (CMCC, 2013)

Posterior a la RCA del proyecto Continuidad Operacional Cerro Colorado, a fines del año 2015 se inició un proceso de reclamación ante el Comité de Ministros por parte de un particular en conjunto con la Asociación Agrícola Indígena en contra de la Resolución de Calificación Ambiental N°69/15. El 2019 el Tribunal Ambiental emitió la sentencia en la que se resolvió anular parcialmente la RCA N°69/2015, solo en la parte relativa a las medidas y condiciones establecidas para hacerse cargo del impacto ambiental del proyecto en los tiempos de recuperación del acuífero de Pampa Lagunillas y el Bofedal. Con esto se retrotrajo la RCA hasta la ICSASA N°2, solo en lo que refiere a componentes de la recuperación del acuífero y bofedal Lagunillas. Además, se pidió que se tomara en consideración los escenarios del cambio climático. A la fecha⁶, la compañía ha presentado la Adenda N°2 con las respuestas a la ICSARA, y se ha comenzado con los pronunciamientos de los Servicios Públicos.

⁶ Diciembre, 2020

4.1.2.8. Seguimiento SMA

Los informes de seguimiento publicados en el SNIFA de la SMA comenzaron posterior a la emisión de la Resolución Exenta N°67 del año 2011 que modificó las resoluciones de los años 1997 y 2002 y que presentó el Plan de Trabajo para el Manejo ecosistémico del Sistema Lacustre Lagunillas.

Desde el segundo semestre del año 2012 hasta el segundo semestre del año 2015 se emiten informes semestrales sobre la cuenca Lagunillas con la recopilación de la información de los monitoreos correspondientes a cada semestre, los cuales están comprometidos en las Resoluciones de Calificación Ambiental N°22/97, 102/02, y que fueron modificadas por la Resolución Exenta N°67, del 7 de julio del 2011. Estos monitoreos comprenden los Flujos bombeados desde campo de pozos Lagunillas; Niveles de aguas subterráneas; Área Lagunar; Calidad de agua; Flora, fauna y limnología. A partir del año 2015 se incluye la reportabilidad asociada a la última Resolución de Calificación Ambiental N°69/15 que aprueba el proyecto “Continuidad Operacional Compañía Minera Cerro Colorado”.

Además, se emite de manera anual el “Informe Plan de Trabajo para el Manejo de las Funciones Ecosistémicas del Sistema Lacustre de Lagunillas” en que se presenta el plan de seguimiento a los recursos naturales renovables afectados por la extracción de agua. Este plan se realiza sobre las variables ambientales sensibles (bofedal y laguna) receptoras de los impactos ambientales de la extracción de aguas subterráneas; sobre las Variables Ambientales Relevantes y Variables Ambientales Complementarias.

Las Variables Ambientales Relevantes son aquellas que funcionan como indicador de cambio de un componente ambiental sensible y han sido definidas para detectar y evaluar cambios producidos por la operación del campo de pozos sobre el bofedal y la laguna de la cuenca. Estas variables son: Flujo de Vertientes; Superficie de Laguna; Nivel de Agua Subterránea en el Bofedal y la Laguna; Salud de la Vegetación del Bofedal; Cobertura del Bofedal; Superficie del Bofedal.

Las Variables Ambientales Complementarias corresponden a: química de las aguas, fitoplancton, zooplancton, y fauna acuática para las variables complementarias para la laguna; fauna, química de las aguas, evapotranspiración y actividad fotosintética para el caso del bofedal y causal de recarga en cada surgencia, calidad del agua de recarga como variables complementarias para el Sistema de Recarga Artificial.

Posteriormente, a partir del año 2016 hasta el 2019, se emiten informes semestrales para los componentes agua y bióticos, y uno trimestral para solo el componente agua. En la tabla a continuación se presentan los componentes incluidos.

Además, se publican informes anuales de actualización del Modelo Numérico Hidrogeológico Cuenca Lagunillas desde el año 2012 hasta el año 2018.

Tabla 4-3: Variables de seguimiento agua y biota

Componente	Atributo	Variable
Agua	Cantidad de Agua	Flujo Bombeado (Caudal)
		Niveles de aguas subterráneas en pozos de observación
		Niveles de aguas subterráneas en el sistema lacustre lagunillas
	Área lagunar	
	Calidad de agua	Análisis Químico
Biota	Vegetación	Especies, Abundancia y cobertura
	Fauna	Especies y abundancia
	Limnología	Microalgas, microinvertebrados

Fuente: Elaboración propia en base a SNIFA

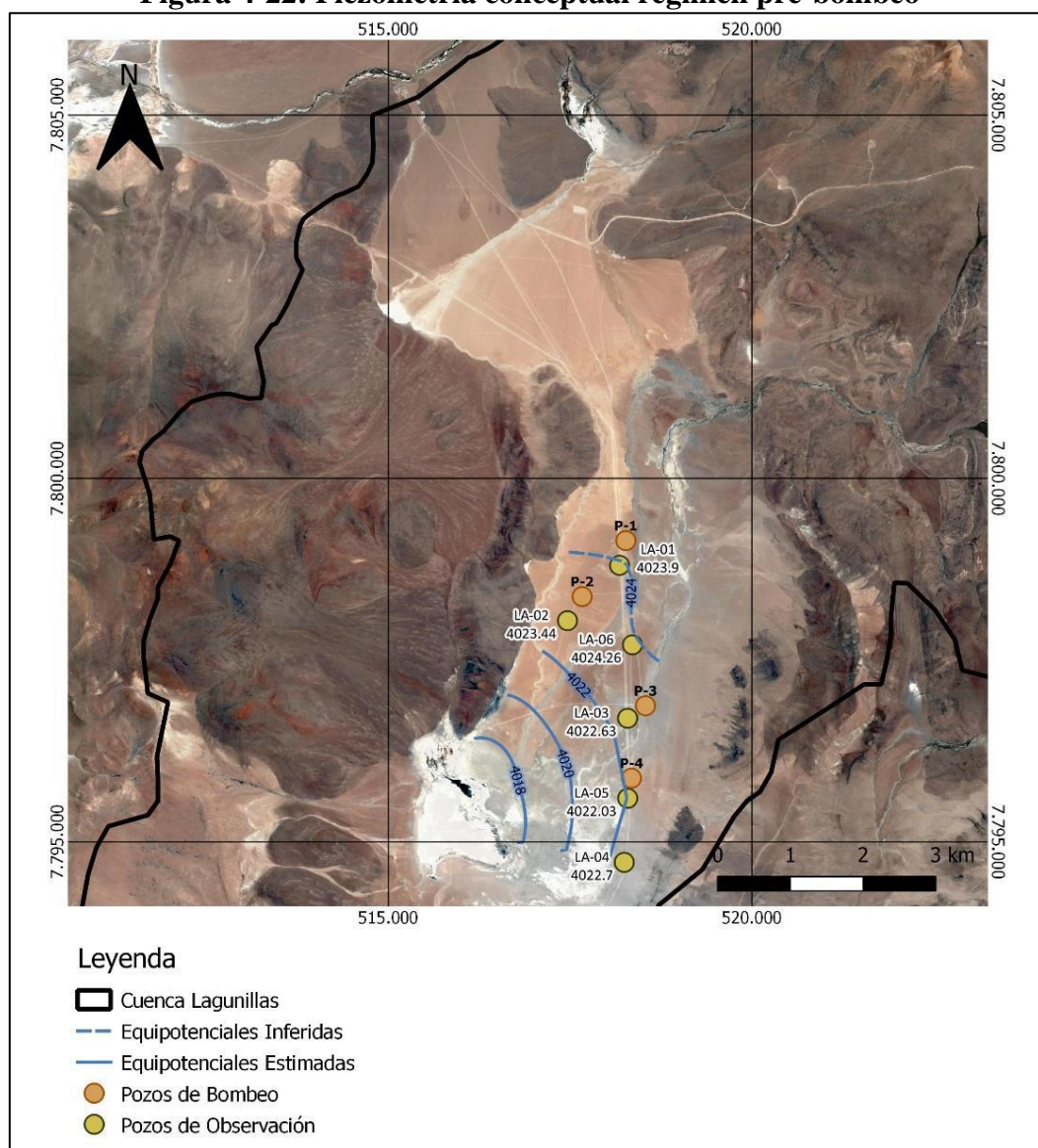
4.1.3. Funcionamiento del Sistema – Línea Base

En esta sección se explica el funcionamiento del sistema natural de la cuenca Lagunillas, previo a que entrara en operación el Proyecto de la CMCC.

4.1.3.1. Niveles – Piezometría

A continuación, en la Figura 4-22, se presenta la piezometría en régimen natural de la cuenca Lagunillas en la zona cercana a la laguna y salar. Se observa que los flujos están dirigidos de este a oeste y de norte a sur. El potencial va desde los 4.024 m.s.n.m. en el pozo LA-01 los 4.018 m.s.n.m. en el sector del salar y laguna.

Figura 4-22: Piezometría conceptual régimen pre-bombeo



Fuente: Fuente: M&A, diciembre 2019

4.1.3.2. Modelo Hidrogeológico Conceptual

La cuenca de Lagunillas es una cuenca endorreica, lo que implica que sus entradas son únicamente por precipitación y sus salidas por evaporación. Además, esta cuenca no presenta flujos subterráneos intercuenas, es decir está desconectada superficialmente de las cuencas aledañas de Collacagua y Coscaya

Las entradas o recarga al sistema ocurren mediante las precipitaciones principalmente en época estival, una parte de ellas se infiltra, especialmente en las zonas de mayor altura y de contacto con las rocas, y otra parte escurre superficialmente hacia las zonas de menor elevación. La parte infiltrada fluye de manera subterránea con gradientes que se dirigen hacia al sector del salar y laguna (Jaime Illanes y Asociados, 2013).

Por otro lado, las salidas o descargas de la cuenca se concentraban en la superficie topográfica de menor elevación en donde se ubica la Laguna (Jaime Illanes y Asociados, 2013). Las descargas ocurren por evaporación directa desde suelos húmedos, evaporación desde los cuerpos de agua y por evapotranspiración de la vegetación.

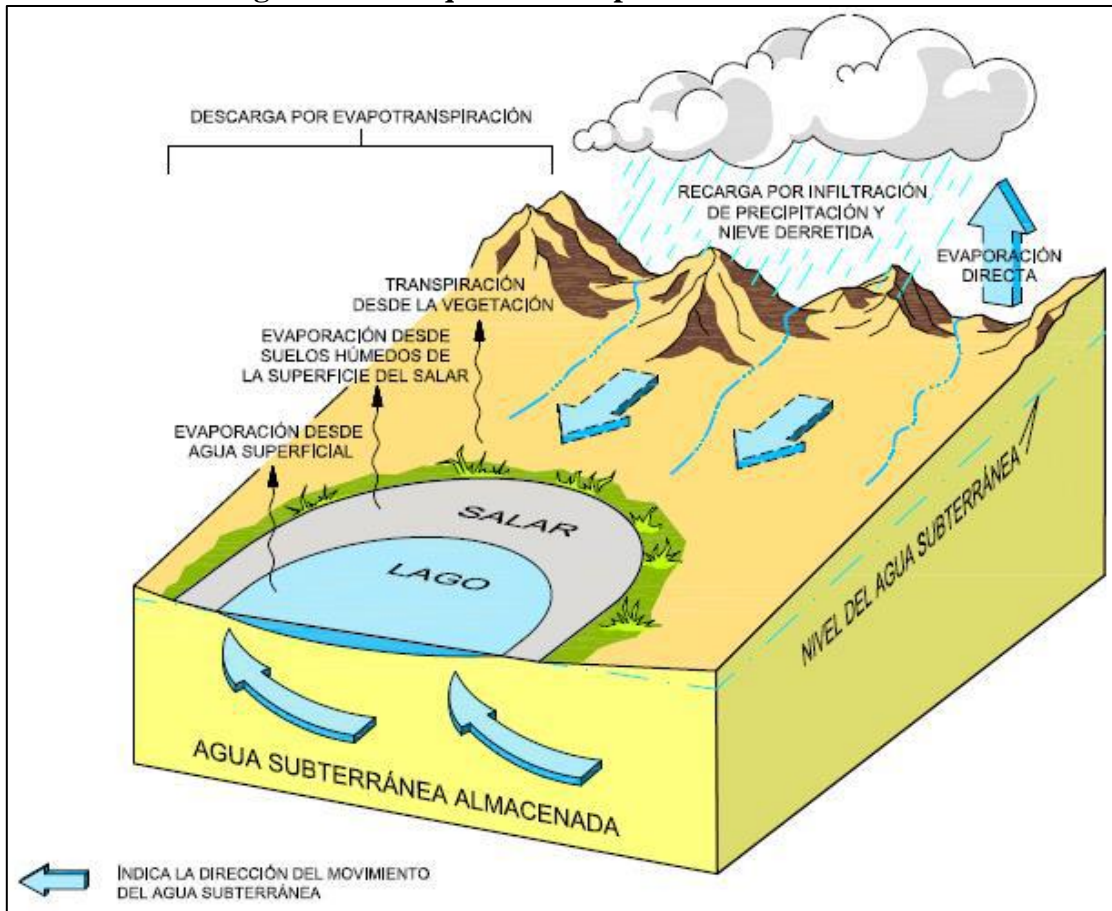
El funcionamiento del sistema local en los sectores Pampa Lagunillas, laguna Huantija y salar Lagunillas dio origen a la vegetación azonal. Esta se originó debido al afloramiento de agua por flujos ascendentes desde el acuífero, y que irrigaban el sector. La costra salina de los salares forma un estrato impermeable que le imprime presión al acuífero (lo confina). En los bordes de los salares la presión es similar, pero el estrato confinante es más débil, existiendo fisuras por donde el agua termina por aflorar a la superficie. Este afloramiento ocurre en determinados puntos de los bordes, que pueden corresponder a vertientes o a pequeños afloramientos difusos (SAG, 2006).

En cuanto a la laguna, esta recibía entradas de agua mediante:

- i) el aporte del flujo subterráneo vertical ascendente;
- ii) por vertientes adyacentes; y
- iii) por escorrentía superficial de arroyos efímeros.

En la Figura 4-23 se muestra un esquema conceptual de un sistema acuífero de salar que representa el funcionamiento hidrogeológico que ocurre en la cuenca Lagunillas.

Figura 4-23: Esquema conceptual cuenca de salar

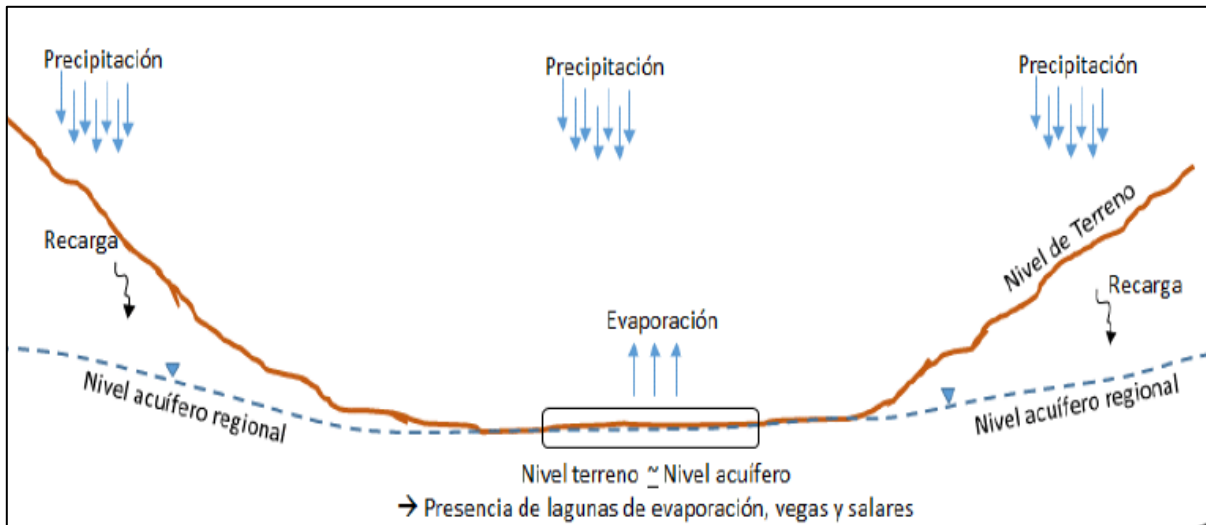


Fuente: M&A, diciembre 2019

En la Figura 4-24 se muestra un esquema conceptual hidrológico e hidrogeológico de un acuífero formado en relleno sedimentario. Este tipo de forzante hidrogeológico determina la existencia de complejos ecosistemas en las cuencas endorreicas, que han sido caracterizadas como “vega-canal-laguna” que se encuentran en la periferia del núcleo del salar o núcleo de salmuera. En este estudio el modelo hidrogeológico se denomina vegas-laguna de evaporación y salares (Arcadis, 2016).

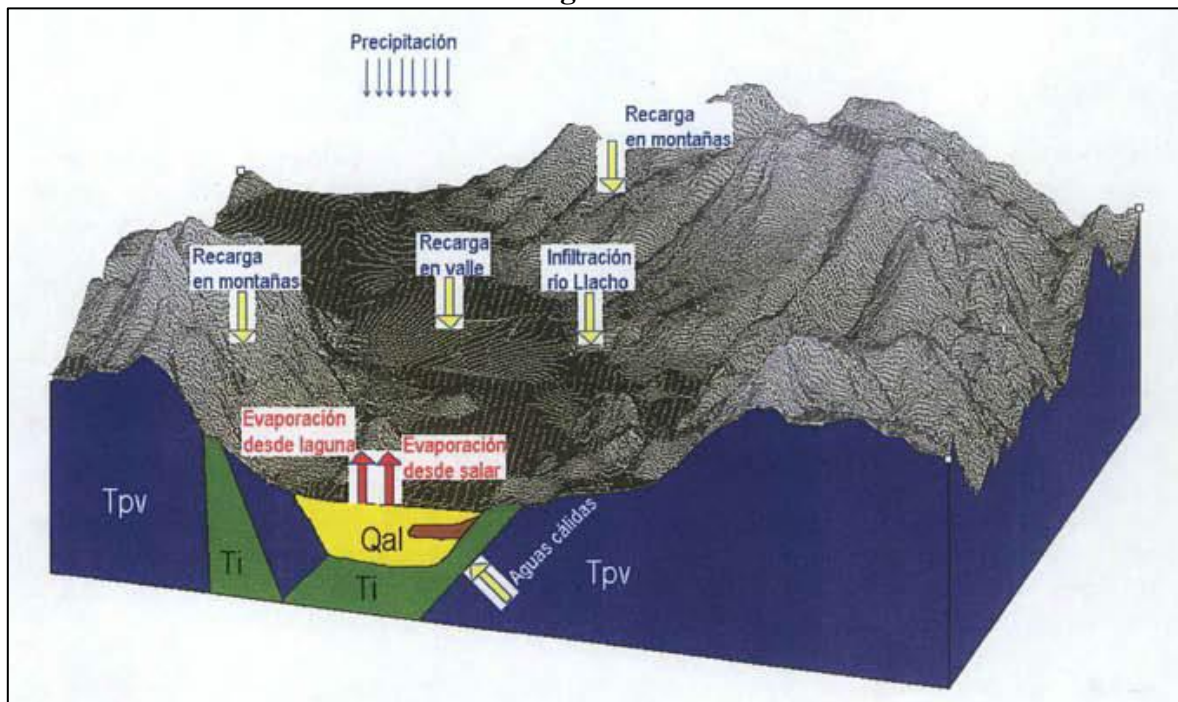
En la Figura 4-25 se muestra el modelo hidrogeológico conceptual de la cuenca Lagunillas, en la que se observa la recarga por precipitación en montañas y valle, escurrimiento superficial del río Llacho que se infiltra en su tramo final y las salidas de evaporación desde la laguna y salar.

Figura 4-24: Esquema conceptual hidrológico e hidrogeológico de un acuífero formado en relleno sedimentario



Fuente: Arcadis, diciembre 2018d

Figura 4-25: Modelo conceptual del funcionamiento del sistema acuífero de la cuenca Lagunillas



Fuente: Knight Piélsold, 1997

4.1.3.1. Balance Hídrico

En la tabla a continuación se presenta el balance hídrico de la línea base del informe del proyecto Continuidad Operacional Cerro Colorado del año 2013 para el régimen natural de la cuenca. En él las entradas y las salidas están equiparadas, lo que sería el escenario ideal para la cuenca. Pero es importante notar que este equilibrio hídrico es producto del promedio de la información de varios años, por lo de manera interanual hay años con déficit hídrico en la cuenca y que posteriormente son compensados por años altamente lluviosos.

Tabla 4-4: Balance hídrico cuenca Lagunillas en régimen natural

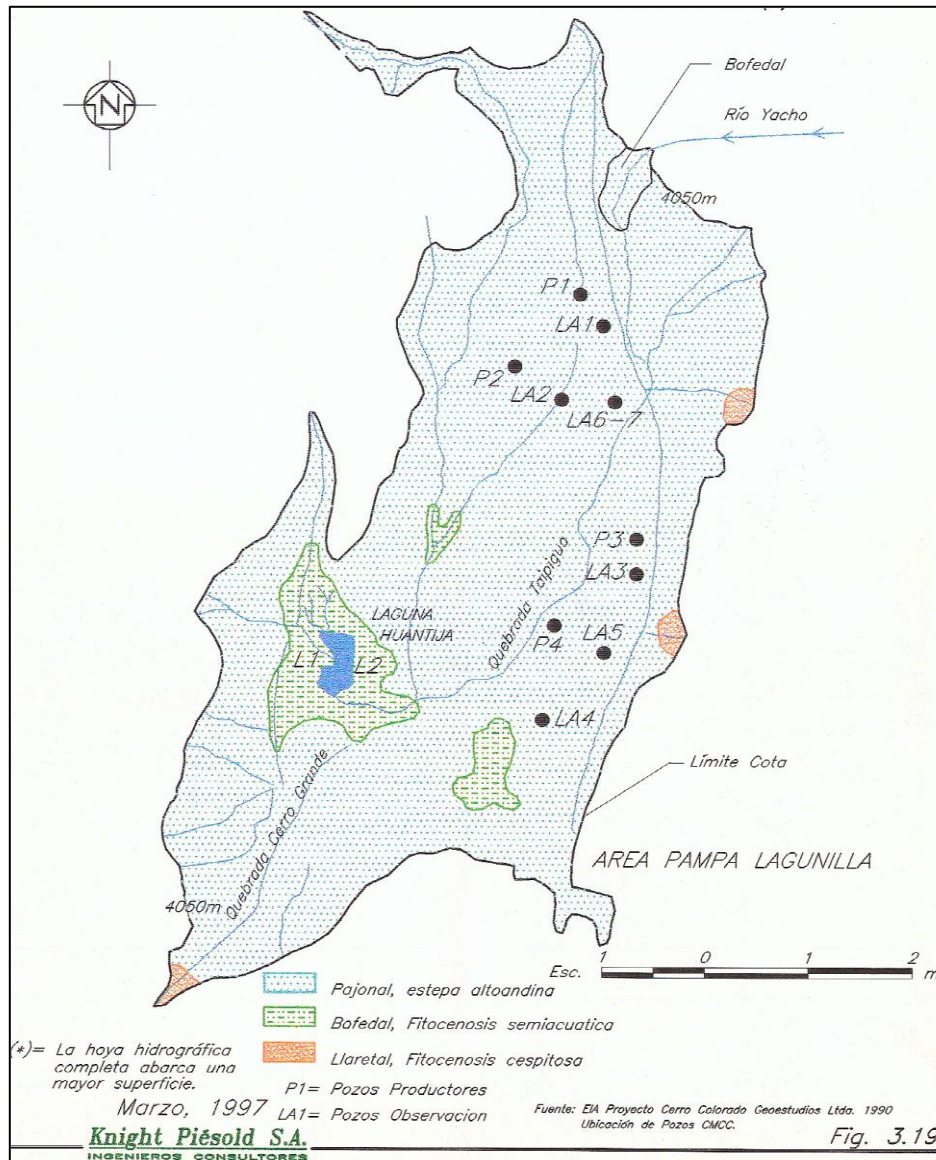
Balance Hídrico Cuenca Lagunillas	Régimen Natural
Entrada (L/s)	
Recarga por precipitación en roca fracturada	21.3
Recarga por precipitación en macizo montañoso	35.1
Total Entradas	56.4
Salidas (L/s)	
Evaporación cuerpos de agua superficial	13.6
Evaporación desde suelos húmedos	37.9
Evaporación áreas con vegetación	4.9
Total Salidas	56.4
Diferencia entre entradas y salidas	0

Fuente: Jaime Illanes y Asociados, 2013

4.1.3.2. Condición de la Vegetación Azonal en situación base

Dentro de la Cuenca Lagunillas la vegetación azonal está localizada en los sectores cercanos a la laguna y quebradas dependientes del recurso hídrico del lugar. En la figura a continuación se muestra esquemáticamente la vegetación en el sector de cotas más bajas de la cuenca. Dicha imagen corresponde a la vegetación observada el año 1990, de acuerdo con la EIA del proyecto inicial de CMCC y posteriormente citada en el EIA de 1997. Las formaciones vegetales principales corresponden a Bofedal y Pajonal, ambas clasificadas dentro de los SVAHT.

Figura 4-26: Ubicación de formaciones vegetacionales en Pampa Lagunillas hasta cota 4.050 m.s.n.m.



Fuente: Knight Piésold. marzo 1997

Gracias a los restos de vegetación preexistente que permitió diferenciar el hábito de crecimiento de las especies, es decir, entre especies de hábito en cojín o champas cespitosas, (pero no diferenciar entre cojines a esta condición), en el año 2006 fue posible realizar un levantamiento en terreno de lo que se llamó "bofedal puro", correspondiente a un polígono de 8,3 hectáreas que delimitó un área con presencia de cojines, especialmente de las especies *Oxychloe andina* y *Zamaeocirpus atacamensis*. Al interior del polígono se incluían cojines activos e inactivos. Esto se presentó en una cartografía vegetacional el año 2009 con la distribución y cobertura histórica (Figura 4-18).

De acuerdo a las evaluaciones realizadas en el año 2009 e incluidas en la resolución 67/2011 (informe "Cartografía vegetacional histórica y actual del Bofedal Lagunillas"), la estructura vegetacional histórica del bofedal Lagunillas, con una superficie total establecida en 8,3 hectáreas, estuvo conformada en un 86% por cojines y de ellos un 78% estaba constituido por la especie *Oxychloe andina* y un 8% por *Zameiocirpus atacamensis*. El resto de la superficie del sistema

azonal (1,2 ha), se componía de especies de flora acompañantes y cuerpos de agua como canales y pozones. (Jaime Illanes y Asociados, 2013 (Adenda N°2)) (Figura 4-10)

Tabla 4-5: Cobertura esperada del Bofedal Lagunillas en fase de recuperación Climax (Imagen Objetivo: Corresponde a la línea base)

Componente	% superficie
<i>Oxychloe andina</i>	77,1%
<i>Zameioscirpus atacamensis</i>	7,9%
<i>Carex maritima</i>	3,6%
<i>Lobelia oligophylla</i>	2,2%
<i>Ranunculus cymbalaria</i>	3% en total (ninguna especie supera el 1% de participación)
<i>Deyeuxia chrysantha</i>	
<i>Lilaeopsis macloviana</i>	
<i>Ranunculus uniflorus</i>	
<i>Potamogeton sp.</i>	
<i>Bryum sp.</i>	
<i>Werneria pygmaea</i>	
<i>Distichia muscoide</i>	
<i>Mimulus glabratus</i>	
<i>Eleocharis sp</i>	
Suelo desnudo	0,4%
Agua y canales	5,8%
Total	100%

Fuente: Jaime Illanes y Asociados ,2013 (Adenda N°2)

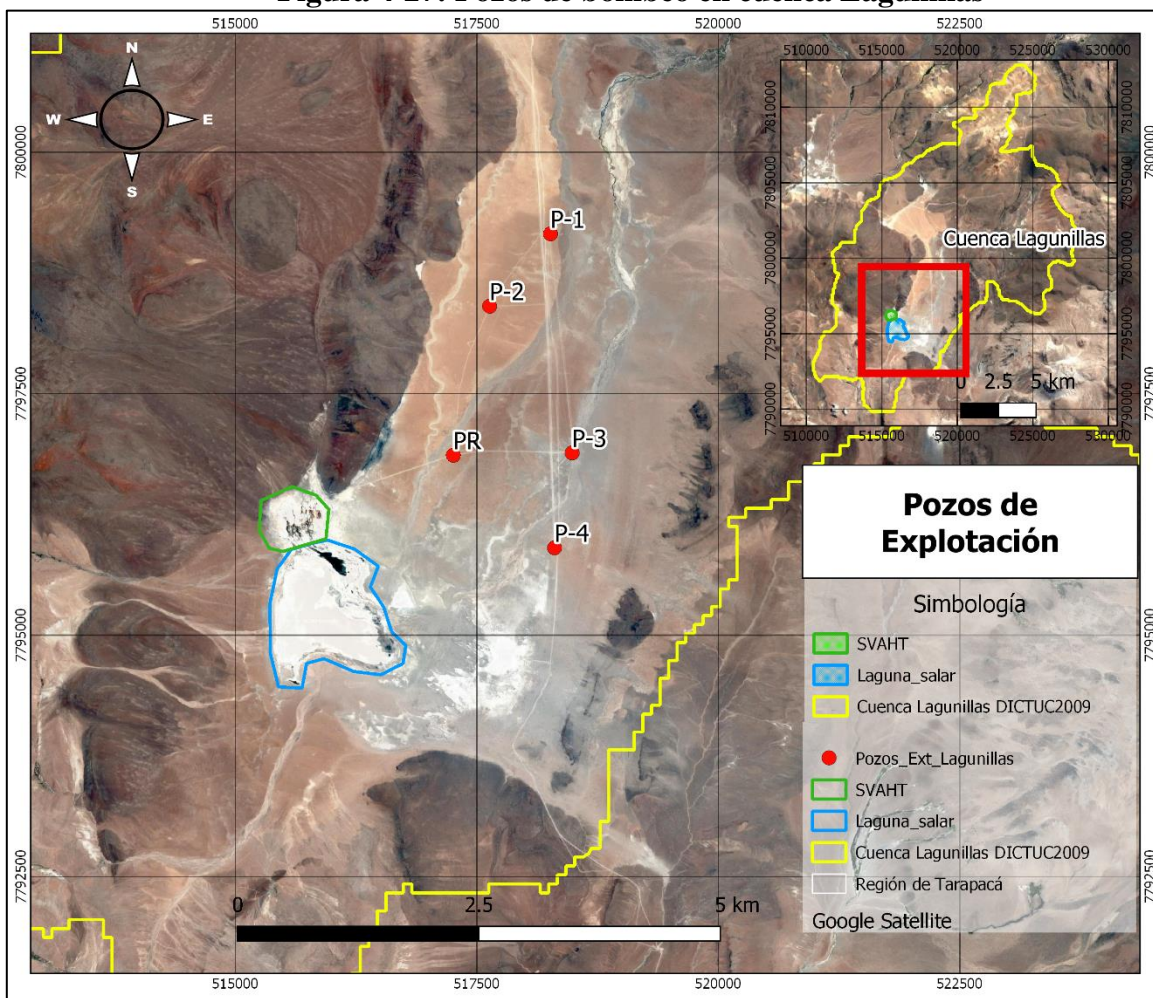
4.1.4. Funcionamiento del Sistema – Caso con Proyecto

4.1.4.1. Pozos de bombeo y caudales de extracción

Los primeros pozos de exploración en el acuífero de Lagunillas se construyeron durante el año 1982 (Jaime Illanes y Asociados, 2013), mismo año en que se otorgan los Derechos de Aprovechamiento Consuntivo de Aguas Subterráneas a la CMCC sobre un caudal total de 300 L/s (Res Ex. N°425/1981) el cual sería repartido en cuatro pozos. La Compañía Minera comienza sus operaciones el año 1992 y en 1993 se construyen los pozos de bombeo denominados P-1, P-2, P-3 y P-4. El agua es transportada desde los pozos al sector de la mina mediante un acueducto de 76 km de longitud. (RCA N°69/15).

El año 2004 se construye el pozo PR, el cual fue utilizado para extraer el caudal para la medida de mitigación de SRA. Dicho pozo estuvo en operación hasta el año 2009, cuando la extracción del caudal para el sistema de riego artificial es trasladada al pozo P-3. En la Figura 4-27 se observa la ubicación de los pozos de bombeo.

Figura 4-27: Pozos de bombeo en cuenca Lagunillas



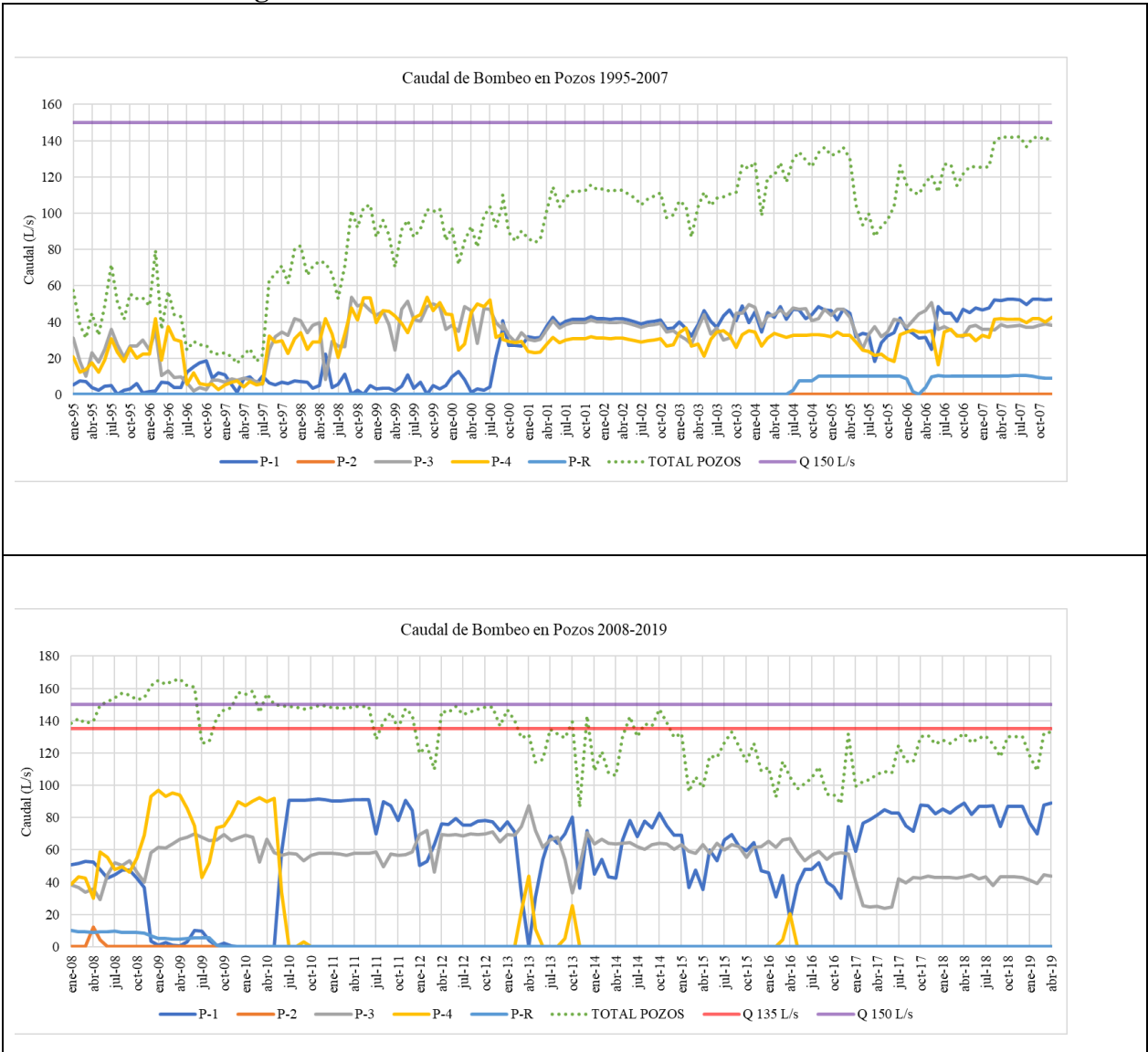
Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con las RCA aprobadas para la CMCC, los caudales de bombeo son los siguientes:

- 1982: Se otorgan derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas por 300 L/s
- 1993: Se aprueba mediante la Res Ex N°22/97 la extracción de 120 L/s.
- 1993 a 1997: Caudal real bombeado fue de 50 L/s como promedio anual
- 1997: Se aprueba el aumento de bombeo/ desde 50 a 90 L/s
- 2002: Se aprueba el bombeo de 150 L/s
- 2015: Se disminuye el caudal de bombeo a 135 L/s

Los caudales extraídos desde cada pozo durante su operación se muestran en la Figura 4-28. Se observa que durante los años 1995 y 2000 se bombeaban los pozos P3 y P4 alcanzando caudales no superiores a los 60 L/s en cada uno. El pozo P-1 se utilizaba con bombeos pequeños de alrededor de 10 L/s. Posteriormente, durante los años 2001 al 2008 se utilizó el pozo P-4 con un caudal de alrededor de 30 L/s, y los pozos P-1 y P-3 con caudales que oscilaban entre los 40 y 50 L/s en cada uno. Se observa, además, a mediados del año 2004, la entrada en funcionamiento del pozo PR y por única vez, en el año 2008 se bombea desde el pozo P-2. Durante los años 2009 y 2010 descienden las extracciones desde P-1, utilizándose P-3 y P-4, en donde la suma de los caudales mensuales promedio son 150 L/s. A partir del año 2010 en adelante, se utilizan únicamente los pozos P-1 y P-3, dando un total aproximado de 150 L/s, y utilizándose esporádicamente el pozo P-4 cuando alguno de los otros dos pozos está en mantención. Luego de la RCA 69/15 del 2015 el caudal total promedio desciende a 135 L/s, lo que se ha mantenido hasta los últimos años.

Figura 4-28: Caudal de bombeo en Pozos de Extracción



Fuente: Elaboración propia en base a M&A enero 2020^a

4.1.4.2. Niveles – Piezometría (evolución post inicio del bombeo)

En las Figura 4-29 a Figura 4-32 se presenta el hidrograma de descensos de los niveles piezométricos de los pozos de observación cercanos a la laguna Huantija, denominados LA- 1, LA-2, LA-3, LA-4, LA-5, LA-6 y LA-7, con datos desde 1981 hasta 2019. En el periodo pre bombeo existen dos intervalos de tiempo con mediciones, entre septiembre y marzo de los años 1982-1983 y entre enero y julio de 1991. En los gráficos se observa que los descensos comienzan el año 1994, mismo año de inicio de los bombeos. De estos registros, se observa que en el pozo LA-1 el nivel original estaba bajo los 7.5 m desde el nivel de referencia. LA-2 bajo 4 metros, LA-3 y LA-4 entre 2 y 3 metros, LA-5 prácticamente a nivel del suelo, y LA-6 y LA-7 entre 4 y 5 metros de profundidad.

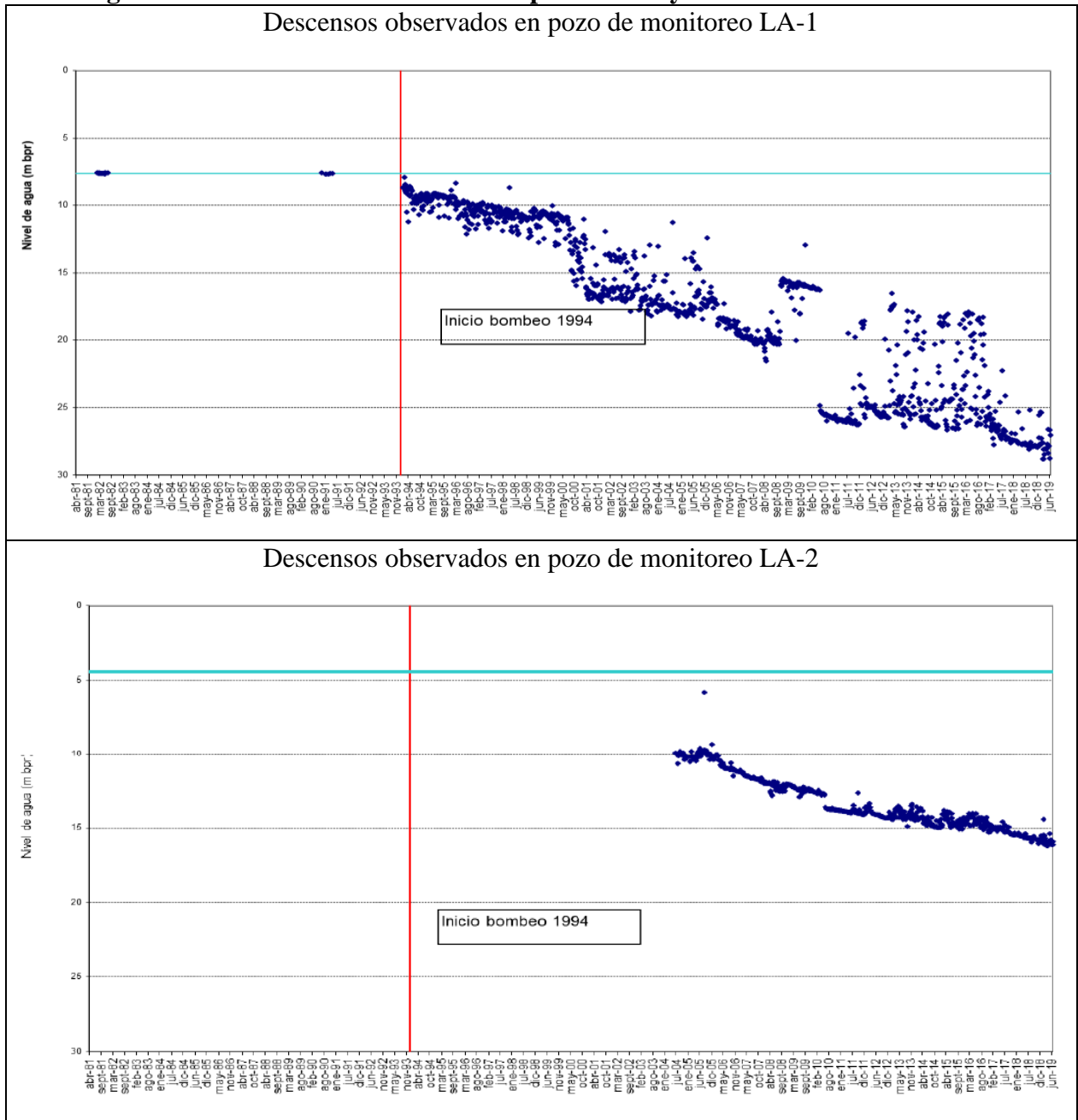
De la evolución de niveles, se observa que LA-1 respondería a los cambios en el bombeo del pozo P1, el que, desde el inicio de los bombeos, hasta el año 2000 se mantiene con caudales del orden de 15 L/s. Luego en el año 2000 se aumenta el caudal a 40 L/s, lo que se ve reflejado con una caída abrupta en los niveles. Entre el 2009 y 2010 se observa una recuperación en los niveles que se relaciona con el bombeo casi nulo en esos años desde P1. EL 2010 se vuelve a utilizar P1 con un caudal total de aproximadamente 90 L/s, observándose el descenso en los niveles. En este sector se observan oscilaciones interanuales de gran amplitud, pero manteniendo la tendencia de descenso. El descenso total de este pozo es de alrededor de 20 m entre los años 1993 y 2019.

Para el pozo LA2, se observa un descenso constante en todo el período de registro. El descenso de este pozo es de aproximadamente 12 m entre 2004 y 2019.

Los pozos de observación LA-3, LA-4 y LA-5 se correlacionan con las extracciones de los pozos P3 y P4. Se observa una tendencia uniforme al descenso entre los inicios del bombeo hasta el año 2007. Durante el año 2008 y 2010 se observa un descenso abrupto, que coincide con el aumento del caudal de bombeo del pozo P3, el que venía siendo en promedio de aproximadamente 40 L/s, y aumenta hasta 60 L/s en el año 2008. Luego, a fines del 2010 se observa que los niveles se recuperan levemente, lo que se podría relacionar con que el pozo P-4 deja de bombear por completo. Del año 2010 en adelante los niveles continúan descendiendo, pero más lentamente en comparación con los años anteriores. Los descensos en estos pozos son del orden de los 13 metros desde 1993 a 2019.

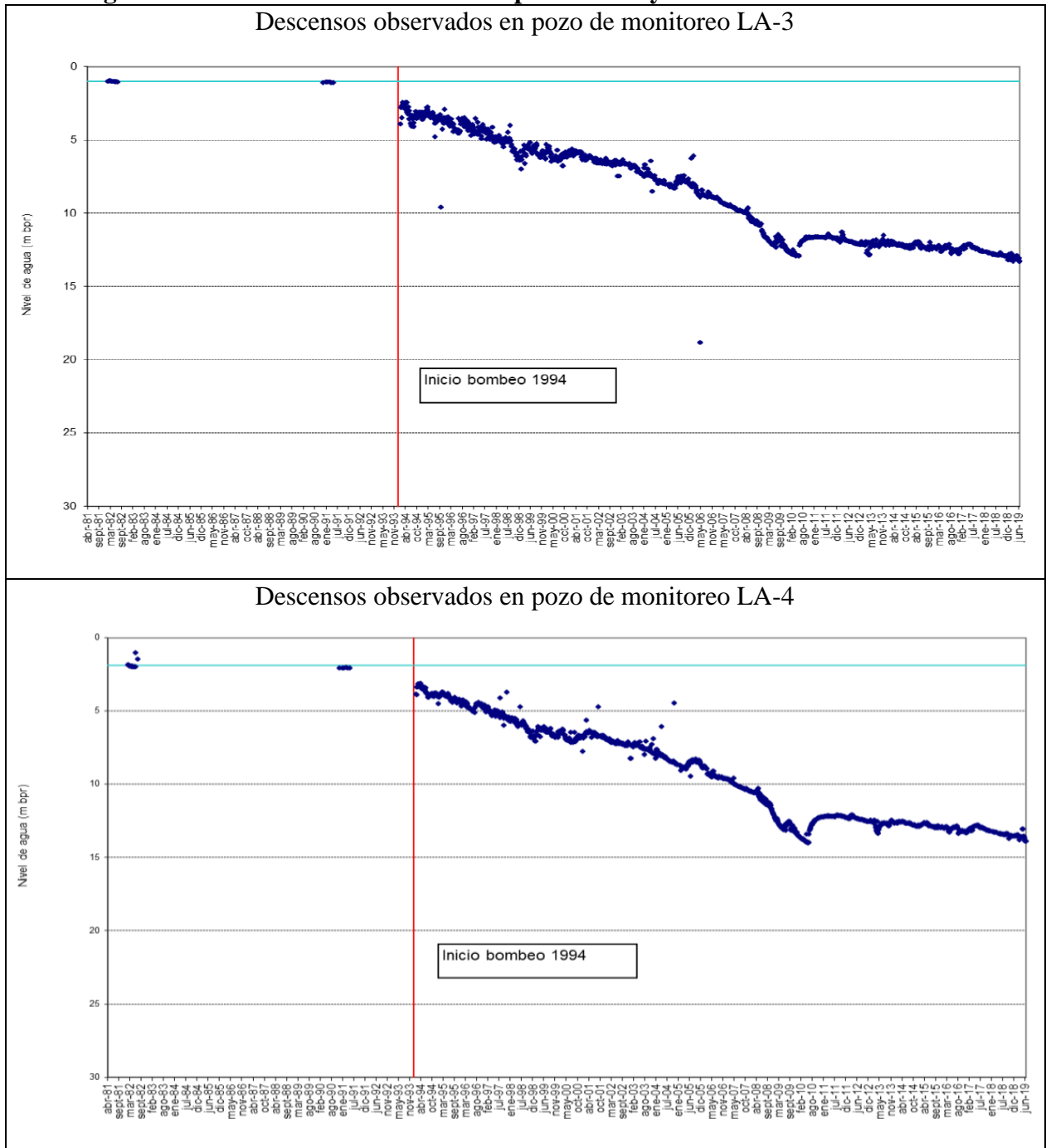
Los pozos LA-6 y LA-7 se ubican entre los pozos P1-P2 y P3-P4. Se observa que estos podrían reflejar el funcionamiento de los pozos P1, P3 y P4. Los descensos se observan desde el año 1994, en un comienzo con una tasa de avance leve. A fines del año 2000 se observa un descenso abrupto que se puede relacionar al aumento del bombeo desde P1. Entre el 2001 y el 2010 la tasa de descenso aumenta, periodo en que los tres pozos (P-1, P-3 y P-4) estuvieron bombeando simultáneamente. Del 2010 en adelante, la tasa de descenso es menor, año en que se deja de utilizar el pozo P4, y los bombeos se hacen solo desde P1 y P3. El descenso total en estos pozos alcanza en promedio los 15 metros en los años 1993 a 2019.

Figura 4-29: Descensos observados en pozos LA-1 y LA-2. Período 1994 a 2019



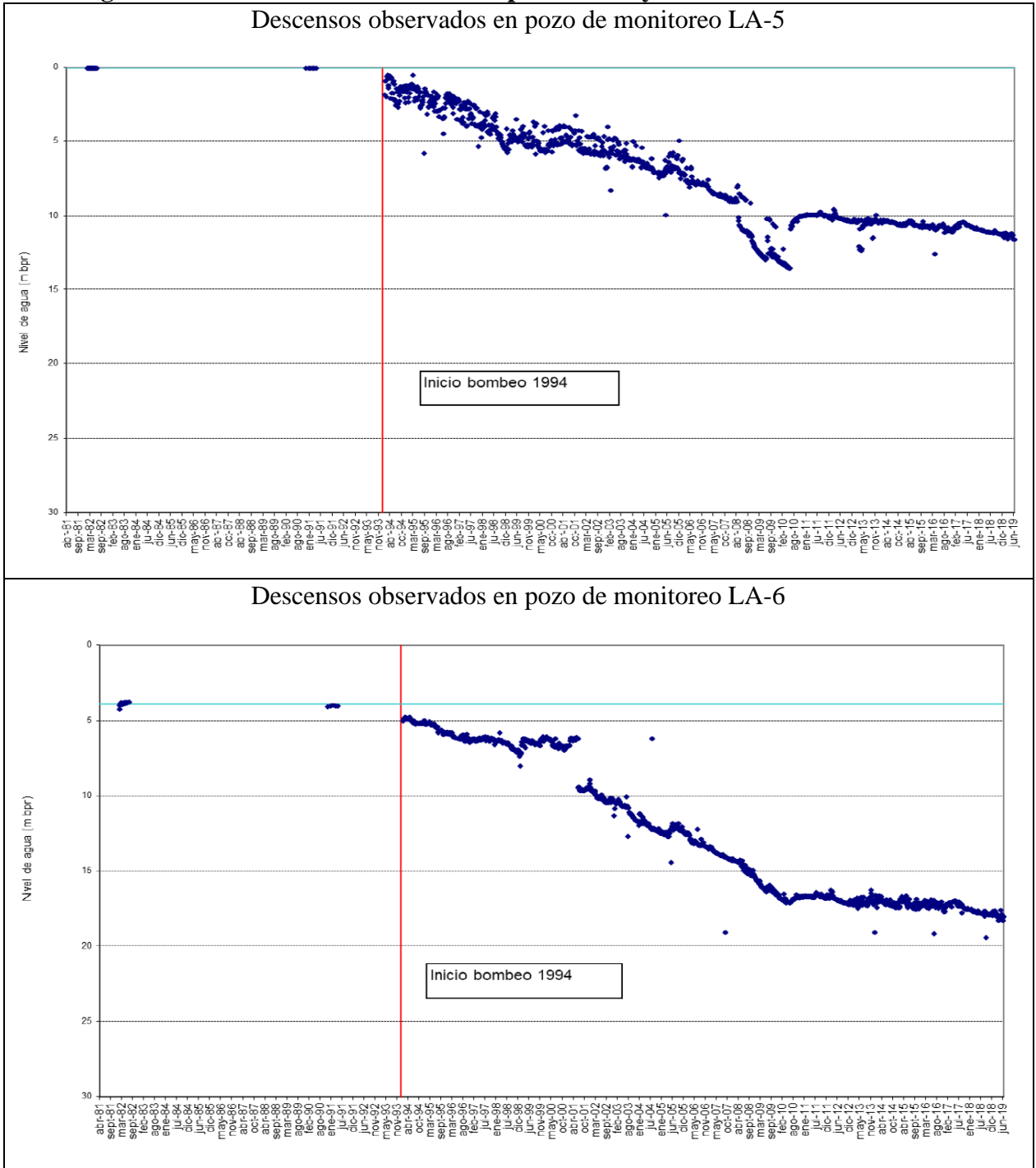
Fuente: SNIFA CMCC, 2019

Figura 4-30: Descensos observados en pozos LA-3 y LA-4. Período 1994 a 2019



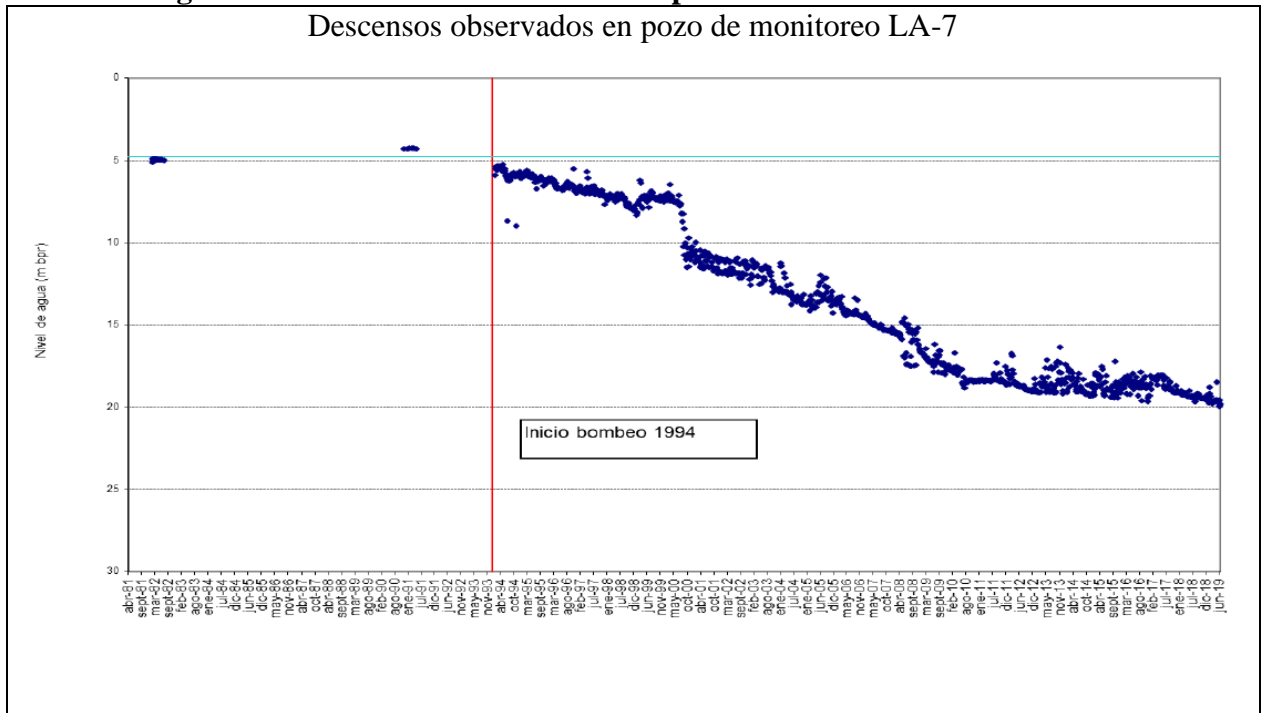
Fuente: SNIFA CMCC, 2019

Figura 4-31: Descensos observados en pozos LA-5 y LA-6. Período 1994 a 2019



Fuente: SNIFA CMCC, 2019

Figura 4-32: Descensos observados en pozos LA-7. Período 1994 a 2019

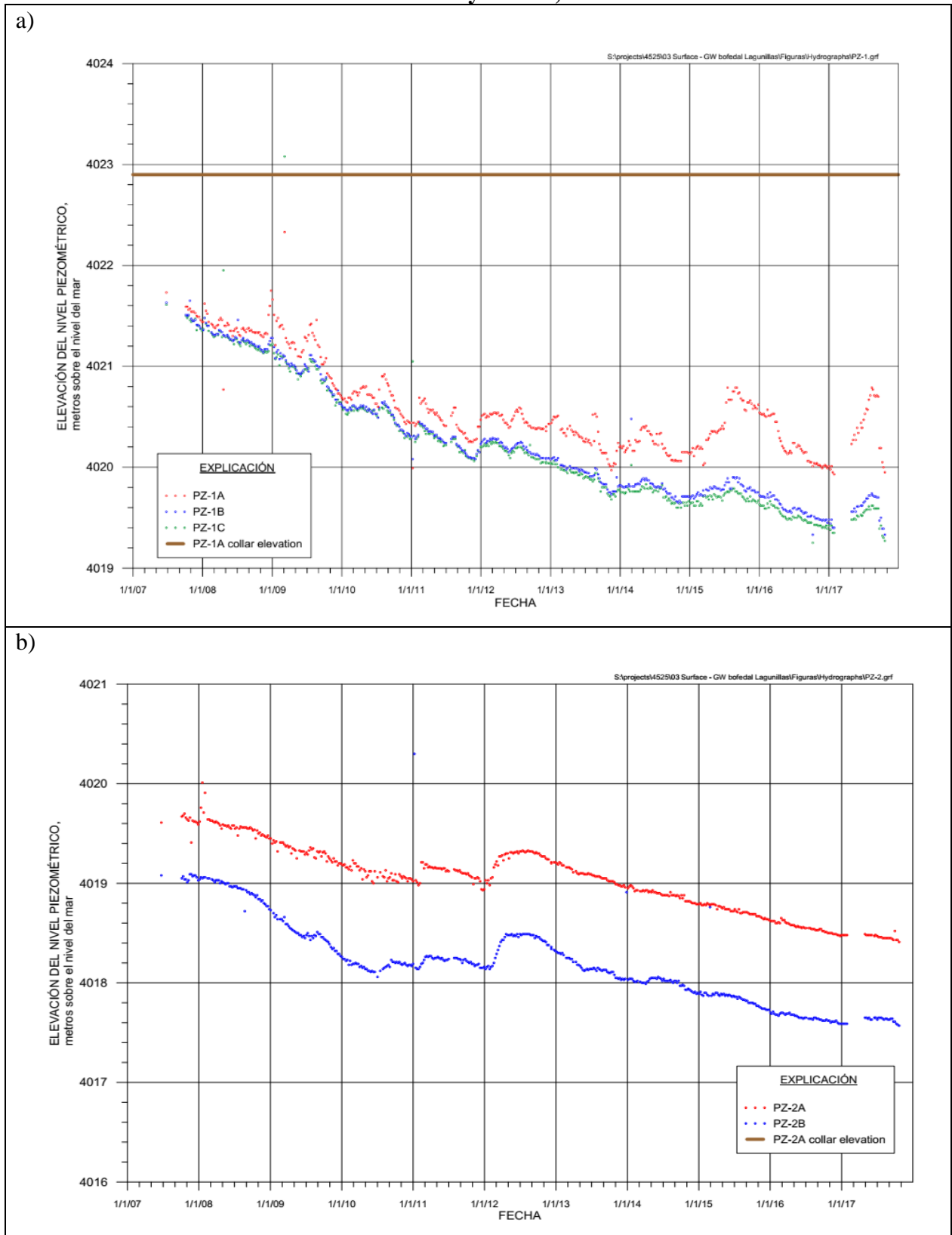


Fuente: SNIFA, CMCC 2019

En la Figura 4-33 y Figura 4-34 se presentan los niveles freáticos de los piezómetros ubicados en el sector del salar. Estos registros se realizan desde mediados del 2007 y reflejan un descenso generalizado en la zona, marcado por variaciones intranuales. Se observa una recuperación el año 2012, año en que se registraron altas precipitaciones. Estos descensos son de aproximadamente 2 m medidos entre los años 2007 y 2018.

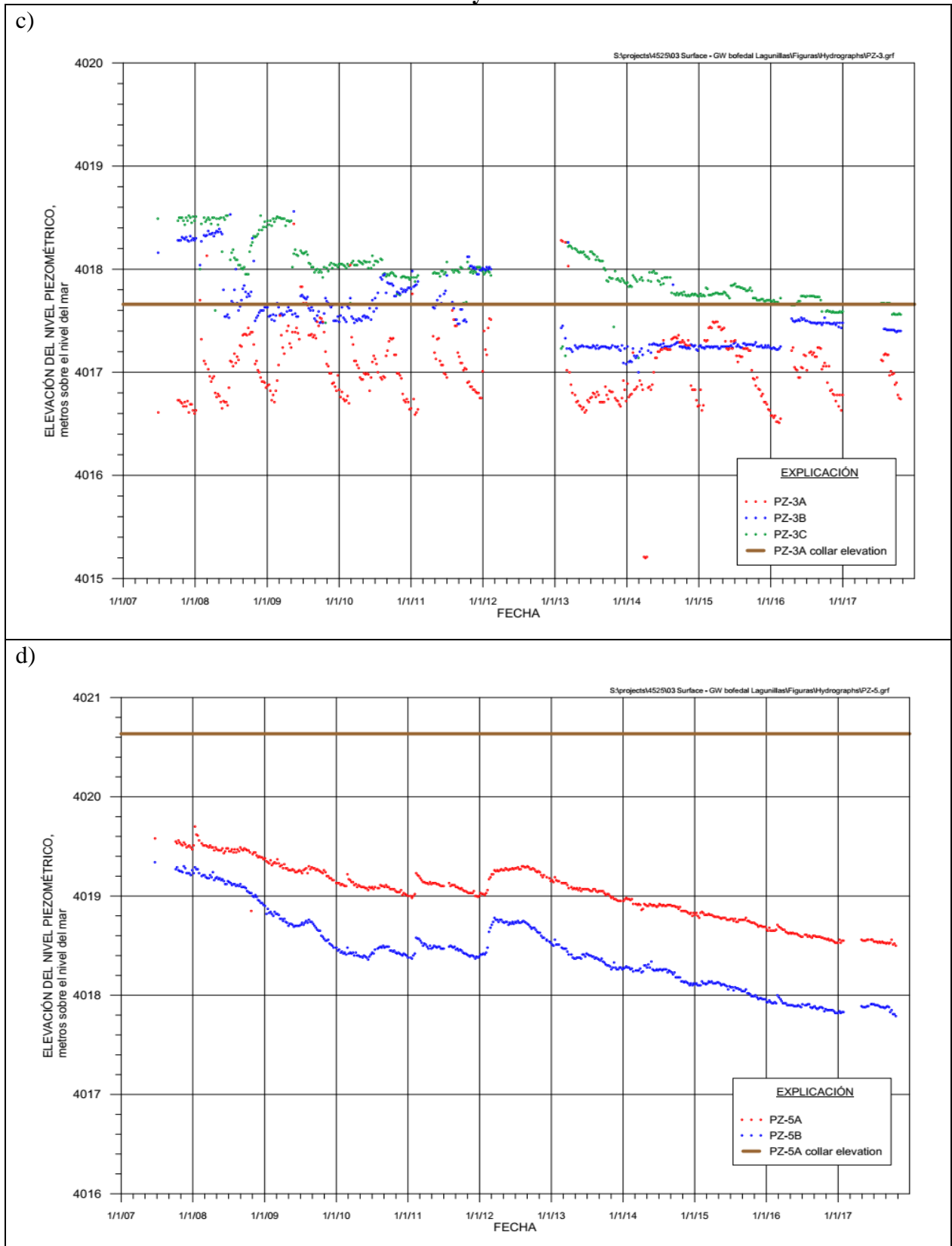
La excepción son los piezómetros PZ-3 en los que los niveles se mantienen constantes, presentando solo las oscilaciones intranuales características de la pluviometría de la zona. En el año 2012 se observa un período sin datos, debido a que el piezómetro estuvo cubierto por el agua de la laguna que había aumentado su nivel producto de las precipitaciones abundante de aquel año.

Figura 4-33: Elevación nivel piezométrico en piezómetros: (a) PZ-1A y PZ-1B y PZ-1C; (b) PZ-2A y PZ-2B;



Fuente: Fuente: M&A, diciembre 2019

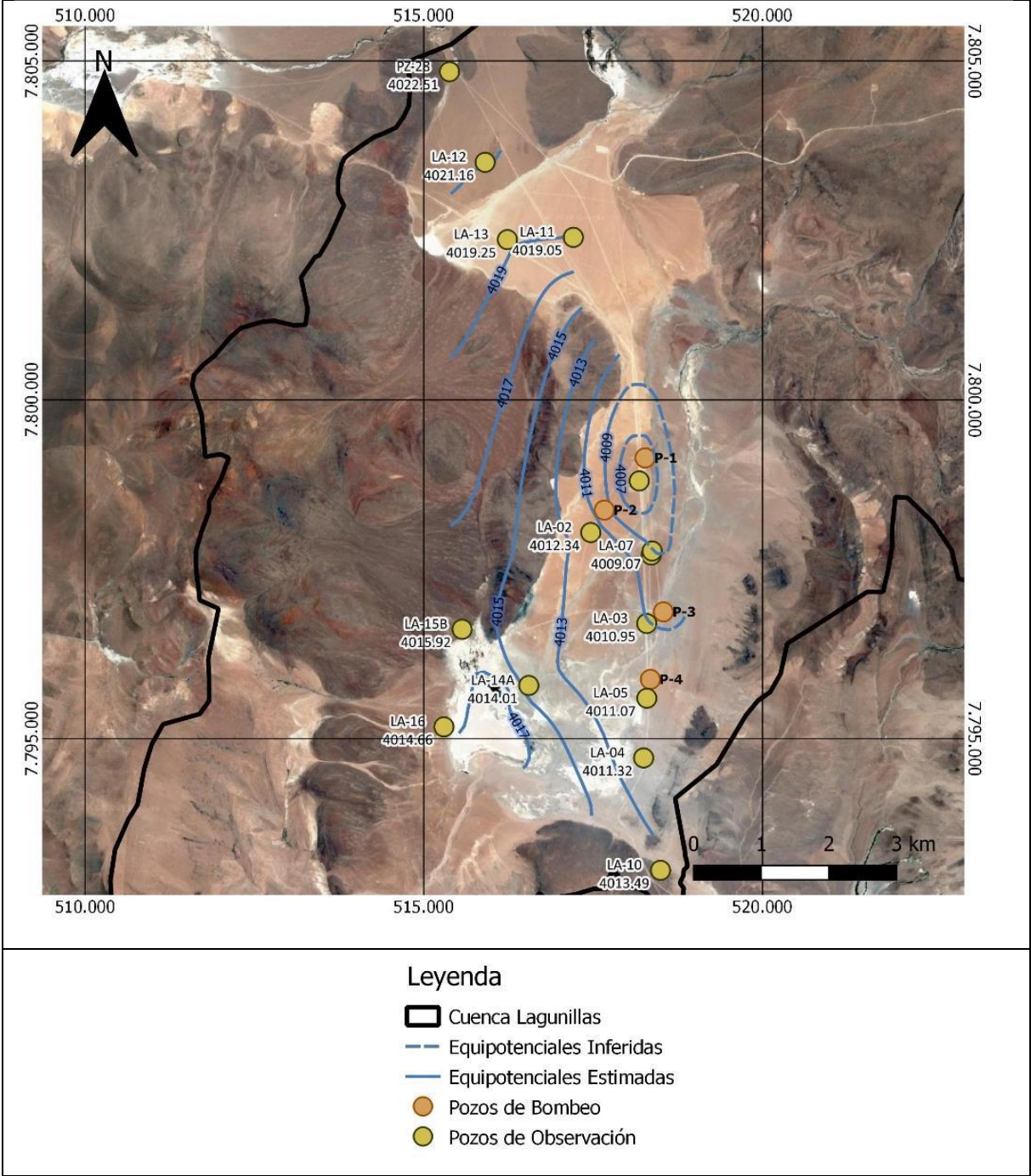
Figura 4-34: Elevación nivel piezométrico en piezómetros: (c) PZ-3A,PZ-3B y PZ-3C; (d) PZ-5A y PZ-5B



Fuente: Fuente: M&A, diciembre 2019

En la Figura 4-35, se presentan los niveles piezométricos en abril de 2019. En ella se observa que los conos de depresión se forman en torno a los pozos P1 y P3, conforme a los pozos que se encuentran funcionando en esa fecha. A diferencia de la situación sin proyecto en donde, de acuerdo al comportamiento típico de cuencas de salar, los flujos se dirigirían únicamente al sector de la laguna y salar.

Figura 4-35: Piezometría conceptual situación actual, abril 2019



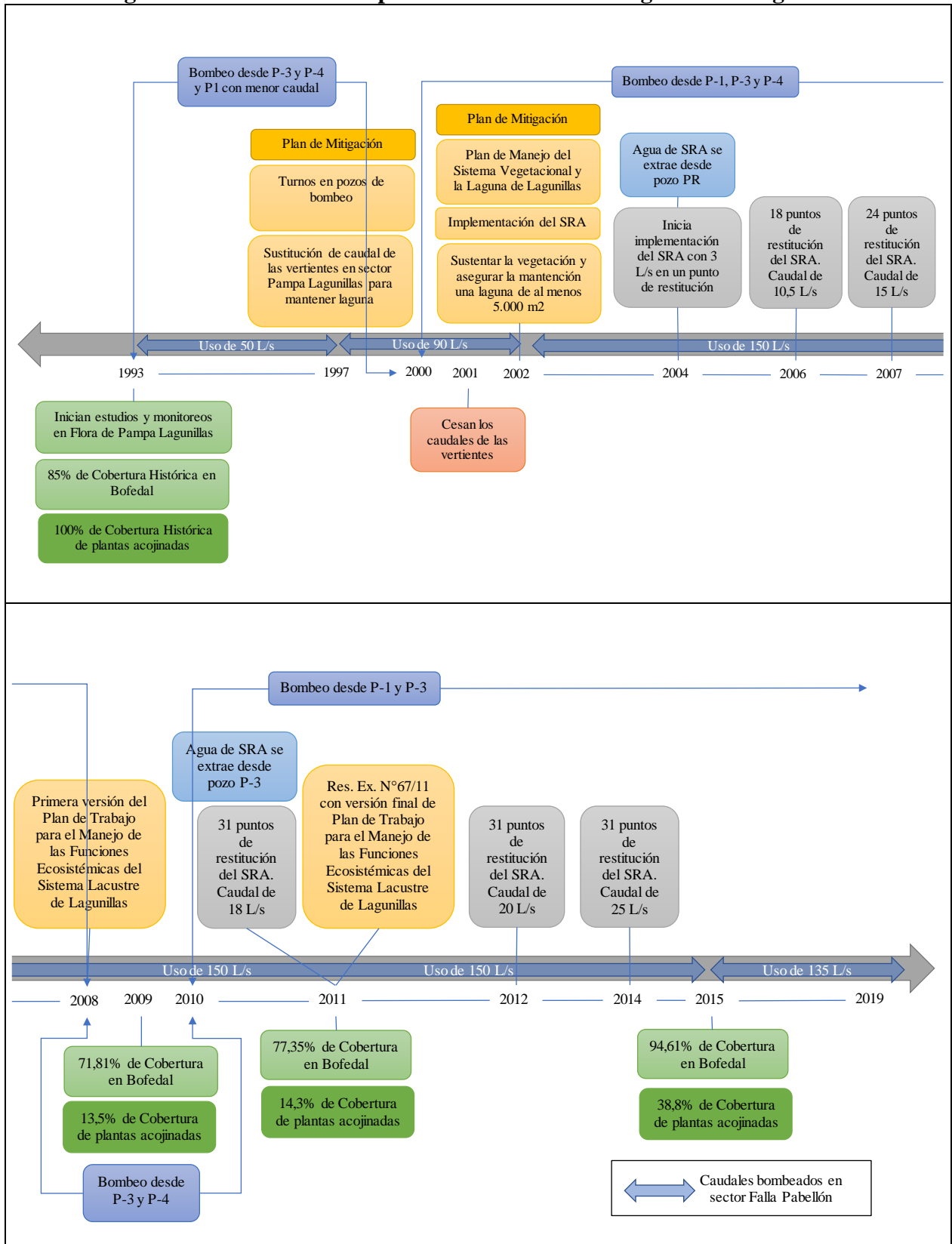
Fuente: M&A, diciembre 2019

4.1.4.3. Actividades de Mitigación

En esta sección se explica de manera conjunta las actividades de mitigación y seguimiento en el sector bofedal Lagunillas, en las que se incluye el cuidado y mantenimiento de la superficie de la laguna, vertientes y sistema azonal Lagunillas. Estas medidas se plantean desde el inicio del proyecto de la CMCC, y comienzan a implementarse luego de que se constatará por la DGA la afectación sobre la totalidad del bofedal Lagunillas en el año 2004. A partir de ese hito CMCC realiza un conjunto de actividades enmarcadas en las Resoluciones Exentas N°22/97 y N°102/02, modificadas por la Resolución Exenta N°67/2011. Estas actividades tienen por objeto asegurar el manejo sustentable de este ecosistema a fin de mantener su estructura y funcionamiento y se encuentran sistematizadas en el documento Plan de Trabajo para el Manejo de las Funciones Ecosistémicas del Sistema Lacustre Lagunillas. El objetivo principal de este Plan es asegurar el manejo sustentable de este ecosistema mediante una estrategia de gestión hídrica de la cuenca, basado en el comportamiento de los niveles de agua subterránea conforme a un modelo validado (Jaime Illanes y Asociados, 2013)

A continuación, se explica el procedimiento de implementación de las actividades de mitigación involucradas en el sistema vegetacional de Lagunillas. En la Figura 4-36 se presenta de manera esquemática dicho proceso con los hitos más importantes en cuanto a bombeo de agua, implementación de las medidas de mitigación, caudales de vertientes y cobertura y riqueza del SVAHT Lagunillas.

Figura 4-36: Línea de tiempo de Actividades de Mitigación en Lagunillas



Fuente: Elaboración propia

Los primeros estudios y monitoreos en la flora y fauna en Pampa Lagunillas se inician en el año 1993. Luego, en el Proyecto Expansión Cerro Colorado del año 1997 se estableció un Programa de Monitoreo que incluía el monitoreo del nivel freático, meteorología y flora y fauna de la zona de Pampa Lagunilla. Además, se detalla un plan de mitigación, en el caso que las recargas a la Laguna Huantija se vieran afectadas. Dicho plan consistía en que se implementaría un sistema de turnos en el bombeo de pozos y/o la utilización de los pozos más lejanos a la laguna. Además, se plantea por primera vez la medida de mitigación que consistía en el bombeo de agua desde pozos lejanos hasta la laguna Huantija para facilitar su recarga; o solicitar derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas para bombear agua desde el sector de la vertiente en el caso de que la laguna se secase por un período superior a un año (Knight Piésold, 1997).

En la DIA del Proyecto Mejoramiento de Eficiencia Stretch Plan del año 2002, mediante compromisos ambientales voluntarios se vuelve a presentar la medida de mitigación que consistía en la reposición del agua del bofedal y la laguna. En este compromiso, la CMCC implementó el Plan de Manejo del Sistema Vegetacional y la Laguna de Lagunillas con el fin de sustentar la vegetación y asegurar la mantención una laguna de al menos 5.000 m². El plan de manejo incluía la implementación de un Sistema de Riego Artificial (SRA) que buscaba reproducir los volúmenes de los flujos naturales en las vertientes. Dentro de los compromisos se incluyó la construcción de un pozo para la reposición del agua de la laguna, la instalación de un sistema de vigilancia con la instalación de un piezómetro de observación de los niveles de agua subterránea ubicado entre la laguna y los pozos de producción; y la instalación de un multipiezómetro de observación de niveles en las proximidades del bofedal lagunillas (Knight Piésod, 2002).

Luego, a fines del año 2004 se comienza a implementar el SRA, luego de que la DGA constatará el daño en prácticamente la totalidad del SVAHT Lagunillas.

Mediante los compromisos estipulados en la Res Ex N°67/2011 que modificaba las resoluciones de los años 1997 y 2003, CMCC se compromete a adoptar las medidas asociadas al Plan de Trabajo para el Manejo de las Funciones Ecosistémicas del Sistema Lacustre Lagunillas (Res Ex N°67/2011), las que incluía:

- Plan de seguimiento de variables ambientales relevantes (flujo de vertientes, superficie de laguna, nivel de agua subterránea en el bofedal y laguna, salud de la vegetación del bofedal, cobertura del bofedal y superficie del bofedal),
- Plan de seguimiento de los recursos naturales renovables afectados por la extracción de agua (superficie del bofedal, cobertura específica de bofedales, actividad fotosintética en bofedales, flujo de vertientes, fauna, superficie de laguna, química de aguas, microfauna y fauna acuática),
- Plan de seguimiento de las medidas de mitigación (Recarga Artificial, manejo de zonas de vertientes y bofedales) y
- Se detallaba el plan de recuperación el que consistía en tres fases: (1) rehabilitación de la condición natural del bofedal; (2) etapa de mantención de caudales y vegetación mediante el SRA; y (3) reinstalación de los flujos naturales en las vertientes. En el caso de que la recuperación estuviera sustancialmente bajo los indicadores de referencia, entonces se consideraría la implementación de medidas de recolonización asistida
- Plan de seguimiento de las variables de calibración de los modelos hidrogeológicos (volúmenes de extracción de agua subterránea, niveles de agua subterránea, niveles y superficie de lagunas, meteorología).

La distribución de los puntos de suministro hídrico del SRA refleja el entendimiento del sistema natural de irrigación del bofedal, donde el estudio del terreno permitió identificar la existencia de surgencias directas (vertientes), surgencias verticales (tipo volcán) y sectores con surgencias de tipo difuso (escarpes). A partir de la identificación de las surgencias naturales se establecieron sectores de flujo, en los que se concentraron las áreas de riego del SRA para el bofedal de Lagunillas, según se indica en figuras siguientes (Jaime Illanes y Asociados, 2013 (Adenda 3)).

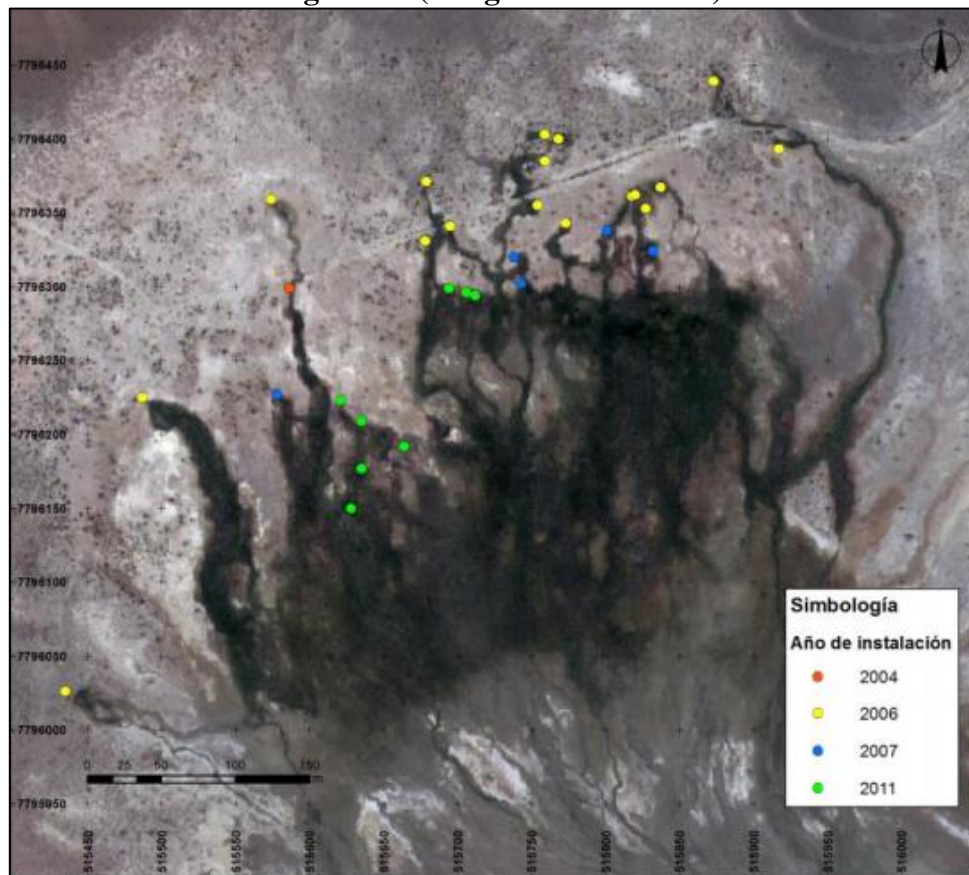
A partir de la identificación de las surgencias naturales en el bofedal de Lagunillas, se ha desarrollado la siguiente secuencia de implementación del SRA:

- 2004: Línea de recarga única, con un flujo de 3 l/s
- 2006: Se expande a 18 puntos de recarga, con un flujo de 10,5 l/s
- 2007: Se expande a 24 puntos de recarga con un flujo de 10,5 l/s llegando a 15 l/s
- 2011: Se expande a 31 puntos de recarga con flujo de 18 l/s
- 2012: Se expande el flujo a 20 l/s manteniendo los 31 puntos de recarga.
- Marzo 2014: Se expande el flujo a 25 l/s manteniendo los 31 puntos de recarga.

En la Figura 4-37 se muestra la distribución de los puntos del SRA, según fecha de instalación en el Bofedal de Lagunillas.

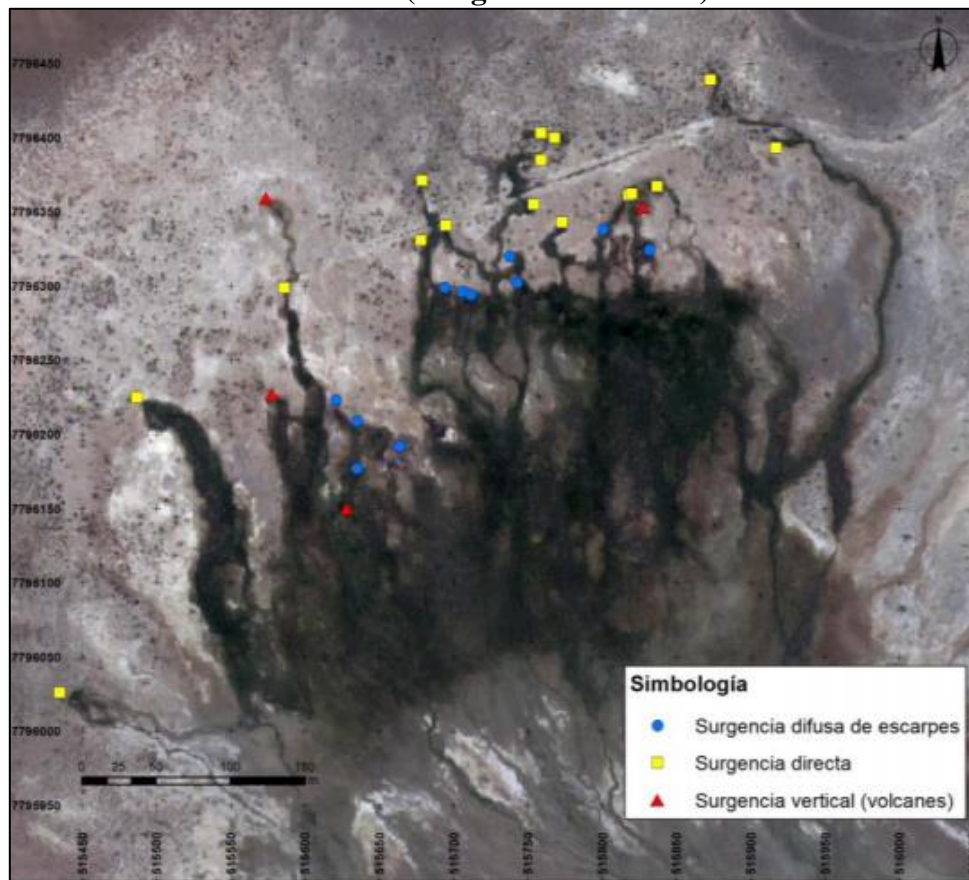
Luego en la Figura 4-38 se describe cómo era el tipo de surgencia en su estado natural, ya sea difusa, directa o vertical.

Figura 4-37: Distribución de los puntos del SRA, según fecha de instalación en el bofedal de Lagunillas (Imagen febrero 2015)



Fuente: CMCC, 2013 (Adenda 3)

Figura 4-38: Distribución de los puntos de recarga del SRA según tipo de surgencia asociada (Imagen febrero 2015)



Fuente: Jaime Illanes y Asociados, 2013 (Adenda 3)

Las mediciones realizadas indican que el bofedal de Lagunillas abarca una superficie aproximada de 8,3 hectáreas. En principio, se estima que, a fines del año 2012, en condiciones normales, la superficie del bofedal debió estar en el rango entre 5 y 6 hectáreas (60 y 70%). Se estima que, en condiciones normales debería haber un incremento paulatino de la superficie, llegando a un rango entre 6 y 8,3 hectáreas (70 a 100%) a finales del año 2016. El hito que definiría la recuperación del sistema hidrológico, para los efectos de dar término al SRA se estima ocurriría cuando la surgencia más elevada del sistema y la primera en mermar su escurrimiento en el período 1998-2001, recupere el flujo natural. Evidentemente en el momento de reponer los flujos y humectación de estas zonas la vegetación establecerá un proceso sucesional que repondrá la condición vegetacional existente antes de la reducción del aporte hídrico (RCA N°67/11).

En el caso de que la recuperación esté sustancialmente bajo los indicadores de referencia, se considerará de común acuerdo con la autoridad la implementación de medidas de recolonización asistida, como dispersión de semillas, plantación de esquejes y/o trasplante de champas y/o adecuaciones a la distribución del SRA (RCA N°67/11)

A continuación, se muestra en detalle los umbrales de decisión y toma de medidas elaborado por parte de la DGA posterior a la sanción interpuesta a la CMCC. Estas medidas consisten en lo siguiente:

- i) Se deben establecer ciertos umbrales, medidas y criterios de decisión para que el plan de seguimiento cumpla con el objetivo de mantener bajo control los niveles de aguas subterráneas, que tienen directa relación con la recuperación de los flujos naturales;
- ii) Se deben incorporar acciones correctivas o de recuperación para que dichos niveles se condigan con lo presentado en las nuevas modelaciones hidrogeológicas.
 - a. Con respecto a esto, se establece un valor permisible o de error de $\pm 0,5$ metros con respecto a los descensos establecidos.
 - b. Se establecen los conceptos de “tendencia negativa” si por 9 semanas consecutivas existen valores fuera de modelación, “descenso máximo” cuando durante 30 semanas consecutivas existen valores fuera de modelación. En ningún caso los niveles deben sobrepasar el “valor máximo” correspondiente al establecido para la última fecha modelada 01/01/2017.
 - c. Luego, si al cabo de 1 año no se observa “tendencia negativa” se podrá aumentar el caudal en 7 L/s propuesto por el titular y al cabo de 2 años a 8 L/s.
 - d. Por el contrario, si en las evaluaciones se concluye que los descensos superan el “descenso máximo” se aplicará un plan de reducción de caudales de extracción, que consiste en suspender las extracciones adicionales y reducir en 5 L/s por año el caudal de extracción, esto hasta que se haya reestablecido la condición de los niveles según los descensos modelados establecidos.
 - e. En el caso que se supere el “valor máximo” para la última fecha de modelación, se deberá reducir en un 50% (75L/s) la extracción total de aguas subterráneas de la cuenca Lagunillas. Si el descenso se mantiene por los siguientes 6 meses por sobre el “valor máximo” entonces se restringirá a 30% (45L/s) la explotación total. Si luego de un plazo de 3 meses esta medida tampoco tiene efecto se restringirá la extracción solo al caudal necesario para el SRA. De recuperarse los niveles, se acordará en conjunto con la autoridad el nuevo caudal susceptible a explotar.

4.1.4.4. Modelo Hidrogeológico Conceptual

La situación del funcionamiento hídrico con proyecto en el sector de la laguna y salar fue afectado por el descenso de los niveles freáticos del acuífero, lo que provocó la desaparición de las presiones hidrostáticas que lo confinaban y originaban las vertientes en el sector del bofedal. Es por esto que entre los años 1998 y 2001 se produjo el cese de estos escurrimientos. La fecha estimada de cada uno de ellos se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 4-6: Fecha estimada de extinción de las vertientes

Vertiente	Fecha de Extinción
V0	sept-99
V1	jun-98
V2	oct-94
V3	jun-01
V4	may-98
V5	ago-00
V6	ene-94
V7	ene-99
V8	ene-99
V9	feb-94
V10	jun-98
V11	feb-98
V12	mar-99
V13	ago-01
V14	ago-03

Fuente: Jaime Illanes y Asociados, 2013 (AdendaN°1)

Por este motivo es que a partir del año 2004 se implementa el Sistema de Recarga Artificial por parte de la CMCC como medida de mitigación a este impacto. El que consiste en varios puntos de descarga de agua proveniente del pozo P3 en el sector del Bofedal Lagunillas. Esta medida reemplaza los flujos que originalmente correspondían a afloramientos subterráneos, generando escorrentía superficial y subsuperficial en el sector del bofedal hasta llegar a la laguna permitiendo que esta se recargue.

Por lo tanto, en la actualidad⁷ se destacan dos sistemas de flujos, el primero dado por el acuífero subterráneo de manera natural, con los flujos que se forman en dirección de los conos de depresión generados por el bombeo de los pozos, en particular de los pozos P1 y P3 a partir del año 2010 y con flujos que se dirigen hacia la laguna pero ahora de forma deprimida, y sin provocar las presiones hidrostáticas características de este sector, de acuerdo a lo indicado por M&A (noviembre 2019). El segundo, dado por los escurrimientos del SRA que produce flujos en dirección de la laguna, los que escurren de manera superficial y subsuperficial.

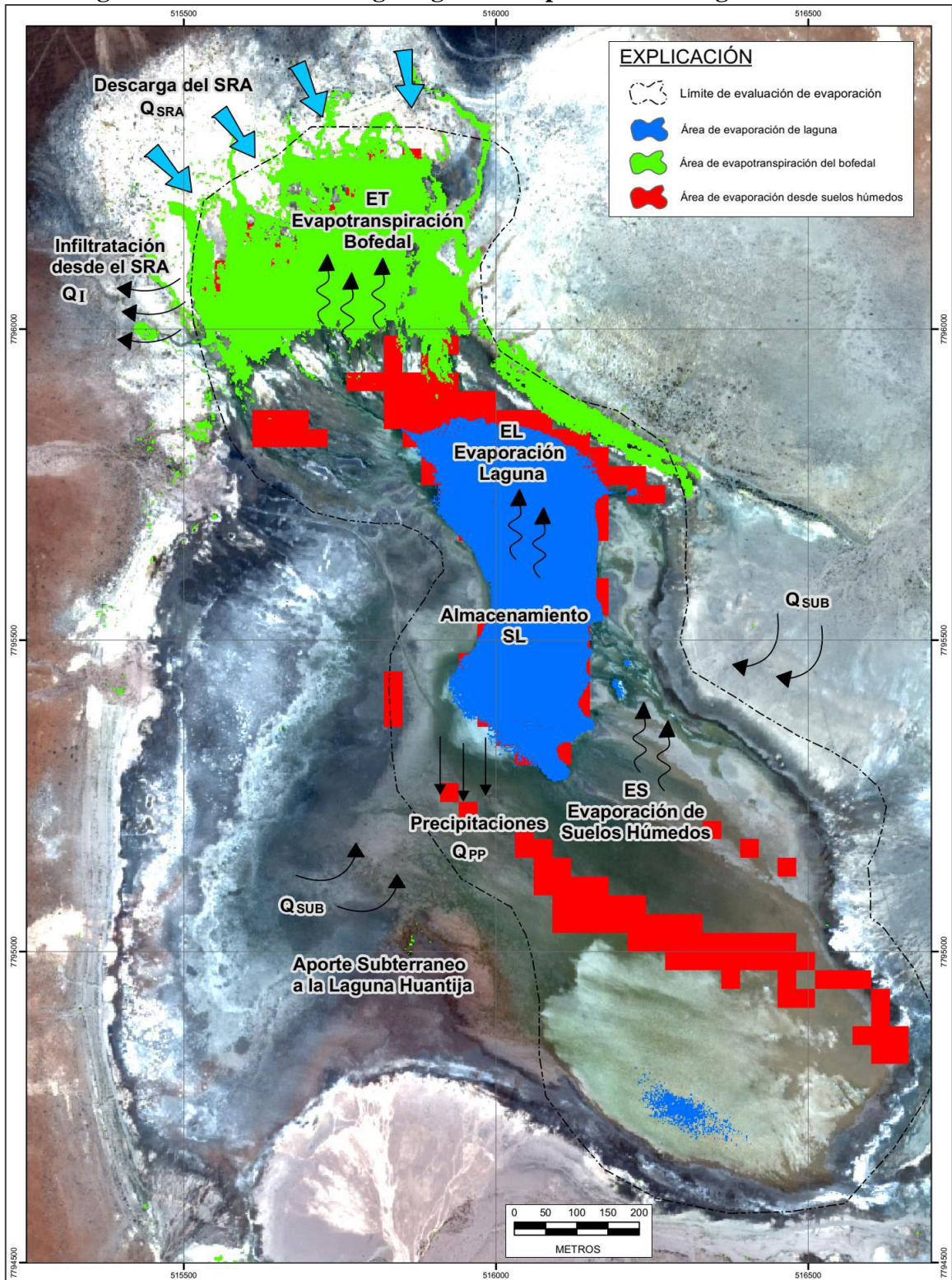
Para el análisis se debe considerar también los usos de los otros pozos en los años intermedios, como el pozo P4, que se utilizó hasta el año 2010, y que se encuentra más cercano a la laguna.

A continuación, se presenta una imagen del modelo hidrogeológico conceptual del nivel acuífero subterráneo de la cuenca Lagunillas.

La siguiente figura representa la hidrogeología conceptual del sector laguna-SVAHT con medidas de mitigación. Las entradas al sistema consideran la descarga del riego artificial Qsra, parte de la cual infiltra al acuífero, los flujos provenientes del resto de la cuenca en dirección hacia el centro de la laguna y salar Qsub y los flujos de entrada por precipitación Qpp. Las salidas consideran la evapotranspiración desde el SVAHT (Bofedal), evaporación desde suelos húmedos y evaporación desde la Laguna (M&A noviembre 2019).

⁷ Diciembre, 2020

Figura 4-39: Modelo hidrogeológico conceptual sector Laguna - SVAHT



Fuente: M&A noviembre 2019a

4.1.4.5. Balance Hídrico

En M&A, 2019 se realizó un balance hídrico localizado en el sistema de Salar – Laguna – SVAHT de Lagunillas, en el sector indicado en la Figura 4-39, utilizado como superficie de control.

El funcionamiento hidrogeológico del sistema se conceptualizó según el balance hídrico dado por ecuación (1) cuyos componentes se describen a continuación, y se esquematizan en la Figura 4-39.

$$Q_{SRA} + Q_{PP} + Q_{sub} = E_L + ET + E_S + Q_I + \Delta S_L \quad (1)$$

Donde:

- Q_{SRA} : Caudal de riego del SRA
- Q_{PP} : Caudal de entrada por precipitaciones directas
- Q_{sub} : Caudal aportante desde el acuífero hacia la laguna
- E_L : Evaporación desde la superficie de la laguna
- ET : Evapotranspiración del bofedal (representa el consumo de las especies)
- E_S : Evaporación desde suelos húmedos
- Q_I : Infiltración del SRA hacia el acuífero
- ΔS_L : Cambio de almacenamiento en la laguna

El período de análisis fue desde 2011 al 2018, y se buscó determinar cuál era la infiltración del SRA al acuífero (Q_I) (M&A, noviembre, 2019a).

En cuanto a los valores e información para realizar el balance se tiene lo siguiente (M&A, noviembre, 2019a):

- Para el Q_{SRA} se utilizó información de los caudales del campo de pozos.
- Para Q_{PP} se utilizó información de las estaciones DGA Lagunillas y Collacagua, y dos estaciones particulares de la CMCC.
- Con respecto al caudal aportante desde el acuífero hasta la laguna Q_{sub} , no existía información suficiente para estimar dicho flujos, se consideró que estos eran muy pequeños (~ 0) debido a los potentes niveles de arcilla observados en los pozos LA-14B y LA16.
- Las tasas medias mensuales de evaporación y evapotranspiración se estimaron a base de valores medios mensuales de evaporación potencial y evapotranspiración de referencia, estimadas a partir de registros meteorológicos, que fueron ajustadas a partir de resultados de mediciones de evaporación in-situ.
- El cambio de almacenamiento en la laguna ΔS_L se evaluó a partir del cambio en la extensión la superficie de la laguna y la cota de nivel de aguas en ésta entre dos meses consecutivos (ambos parámetros estimados e interpolados a base de registros históricos de levantamientos topográficos de la laguna).

Tabla 4-7: Balance hídrico en situación con medida de mitigación en Lagunillas

Componente del Balance de Agua	Caudal Promedio (L/s)
Entradas	
Riego del SRA	23
Precipitaciones directas	2
Aporte de agua subterránea a la laguna	0
Total Entradas	25
Salidas	
Evaporación de la laguna	7.1
Evaporación de suelos húmedos	5.2
Evapotranspiración del bofedal	1.3
Infiltración del SRA al acuífero	13
Total Salidas	26.7
Cambio de Almacenamiento en la Laguna	-1.6
Error ([Entradas - Salidas] - [Cambio de Almacenamiento])	0.0 (0%)

Fuente: M&A, noviembre 2019a

El resumen de valores medios anuales muestra una superioridad de las salidas de flujo por sobre las entradas. Numéricamente, esto indicaría una tendencia a la baja del almacenamiento en la laguna, sin embargo, esto está sujeto tanto a la omisión de casos con error de balance distinto de cero, como al hecho que el promedio mensual asignado a cada mes no se sustenta en la misma cantidad de meses. Luego, este valor se debe considerar sólo a nivel referencial y no como una tendencia observada, recordando la ausencia de información área-nivel en la laguna en algunos de los meses en estudio, donde la interpolación de valores puede provenir de meses distantes en el tiempo (M&A, noviembre 2019a).

A pesar del alcance anterior, los resultados obtenidos se consideran aceptable para efectos de caracterizar porcentualmente el aporte de infiltración del SRA al acuífero respecto al total de caudal de riego, que corresponde aproximadamente a un 55% del total de riego (M&A, noviembre 2019a).

4.1.4.6. Condición de la Vegetación Azonal – Variación de cobertura y riqueza

El área de la laguna ha sido monitoreada mediante levantamientos topográficos de su borde desde 1995 por CMCC. M&A ha analizado la evolución histórica de la superficie de la vegetación y la laguna (M&A 2019).

Dado el cese de las vertientes alrededor del año 2001 la vegetación y la Laguna se sustentan con el caudal de recarga artificial. De acuerdo a lo informado por la DGA previo a la sanción efectuada a la compañía, el año 2005 el bofedal se encontraba dañado prácticamente en su totalidad. Se entiende que el caudal de riego se adapta a las condiciones observadas del sistema vegetacional y la laguna, es decir, si se observan señales de stress hídrico en la vegetación, o la laguna tiende a perder superficie muy rápido, se incrementa la descarga, y viceversa (M&A noviembre 2019a).

En los informes anuales de seguimiento se presenta la evolución de la cobertura vegetacional desde el año 2009 hasta el año 2015 (CMCC, 2016).

En la Tabla 4-8 y Tabla 4-9, continuación, se muestra la cobertura de los indicadores del sistema azonal Lagunillas.

Tabla 4-8: Cobertura vegetal de cojines, cespitosas, canales y Total en el polígono "Bofedal Puro" entre 2009 y 2015

Especies	Histórico		2009		2010		2011		2012		2013		2014		2015	
	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha
Cojines	85	7.13	13.46	0.96	14.17	1.01	14.30	1.00	16.90	1.21	24.96	1.78	33.28	2.37	38.79	3.22
Deyeuxia chrysantha			11.7	0.97	12.05	1.00	7.47	0.62	4.94	0.41	5.06	0.42	6.73	0.48	4.60	0.38
Carex maritima			41.9	3.48	34.70	2.88	43.86	3.64	45.75	3.80	33.49	2.78	35.62	2.54	22.20	1.84
Agua y canales			6.63	0.55	8.43	0.70	8.92	0.74	10.66	0.89	7.83	0.65	8.13	0.58	7.30	0.61
Cobertura total			71.8	5.96	67.35	5.59	77.35	6.00	81.92	6.30	87.58	7.65	88.77	7.72	94.61	7.88

Fuente: CMCC, 2016

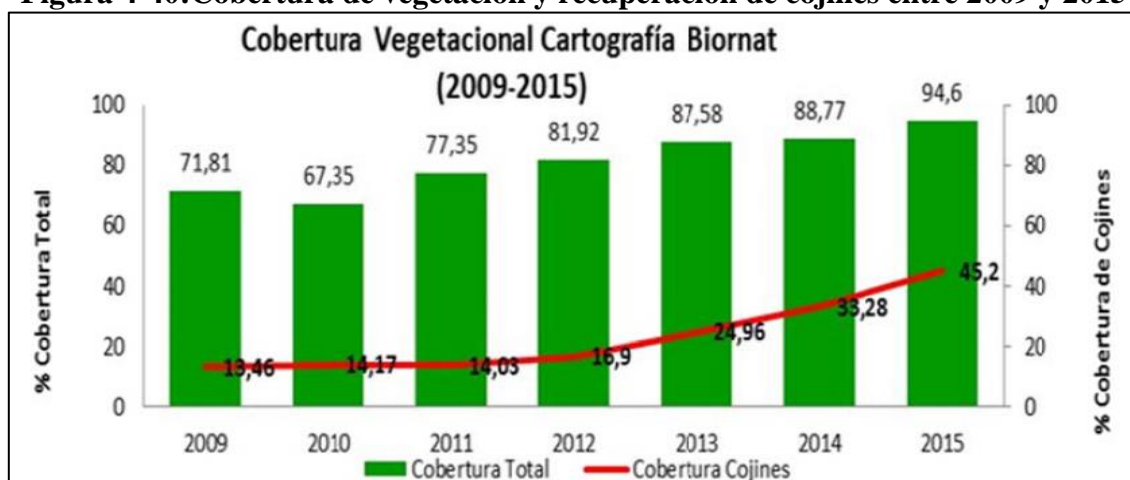
En la tabla a continuación se muestra la evolución histórica de las plantas acojinadas (cojines)

Tabla 4-9: Cobertura (%) y superficie (ha) de plantas acojinadas en el Bofedal Puro (*) Superficie de Cojines

Especies	Histórico		2009		2010		2011		2012		2013		2014		2015	
	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha
Oxichloe andina			13.50	0.96	13.90	0.99	13.00	0.93	15.20	1.08	20.34	1.45	28.35	2.02	33.60	2.79
Zameioscirpus atacamensis				0.00	0.30	0.02	1.00	0.07	0.84	0.06	4.62	0.33	4.91	0.35	5.20	0.44
Eleocharis sp.				0.00	0.60	0.04	0.30	0.02	0.84	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	100	7.13	13.5	0.96	14.80	1.05	14.30	1.02	16.90	1.20	24.96	1.78	33.26	2.35	38.80	3.22

Fuente: CMCC, 2016

Figura 4-40: Cobertura de vegetación y recuperación de cojines entre 2009 y 2015



Fuente: Fuente: CMCC, 2016

En el Centro de Investigación en Medio Ambiente (CENIMA) de la Universidad Arturo Prat ha realizado monitoreos en la Pampa de Lagunillas desde el año 1992, antes del inicio de la extracción hídrica. En el año 2006, la compañía solicita ampliar los monitoreos a CENIMA, iniciándose un estudio en el bofedal Lagunillas, que busca monitorear los cambios presentados en la vegetación,

ya sea por inundaciones o desecación abarcando todas las zonas del bofedal, estableciéndose 38 parcelas representativas de las distintas zonas (CMCC, agosto 2019).

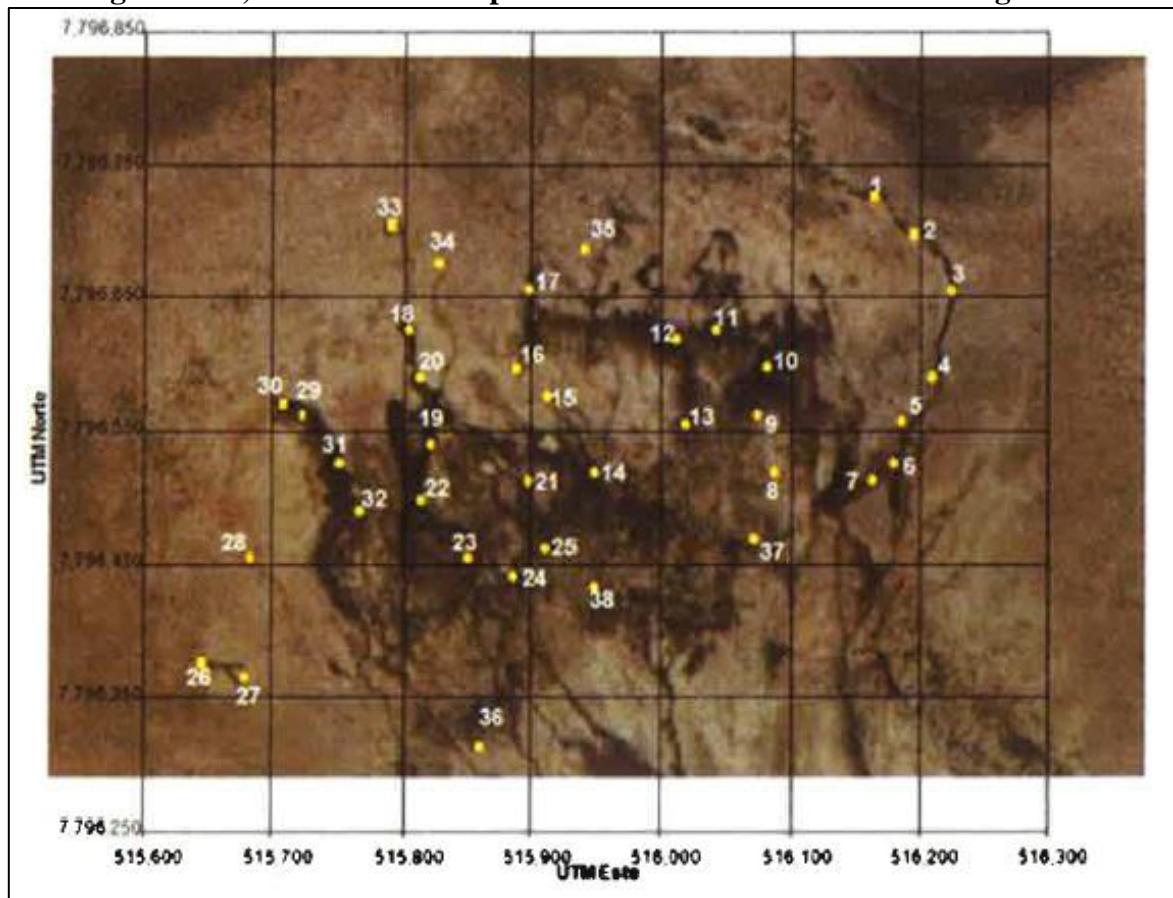
La ubicación de los sitios de muestreo de la vegetación corresponde al establecimiento de parcelas fijas para observar la evolución de las plantas respecto al sistema de recarga artificial y se consideró las asociaciones vegetacionales, tipo de suelo y distancia con respecto al agua superficial.

Se monitorean 38 parcelas fijas dispuestas en el bofedal de Lagunillas, El área total de las parcelas es de 331 m², donde cada parcela presenta tamaños entre 4 m² y 25 m². En cada una de las parcelas se monitorean las abundancias relativas, densidades y cobertura de la vegetación.

La metodología utilizada es la observación y estimación a través del método de Braun-Blanquet. En cada parcela se registran los siguientes parámetros; composición florística y cobertura/abundancia de las distintas especies que son parte de la formación vegetacional, agregando, además, observaciones generales de los estados vegetativos de cada especie.

Dada la heterogeneidad de la morfología natural del bofedal, con presencia de canales, ecotonos y zonas de recarga, las parcelas fueron agrupadas según su ubicación en cada uno de los nichos. A continuación, se muestran los resultados de cobertura relativa de las especies presentes en las parcelas de monitoreo del bofedal de lagunilla, registrados entre abril de 2006 y enero de 2018, de las agrupaciones denominadas C2 y C5. La agrupación C2 contiene las parcelas 18,19,20 y 22 y la agrupación C5 a las Parcelas 1 a 7 (Figura 4-42).

Figura 4-41; Ubicación de las parcelas de monitoreo del bofedal Lagunillas



Fuente: CMCC, agosto 2019

Figura 4-42: Cobertura vegetal promedio en agrupación C2 y C5 de las parcelas del bofedal Lagunillas

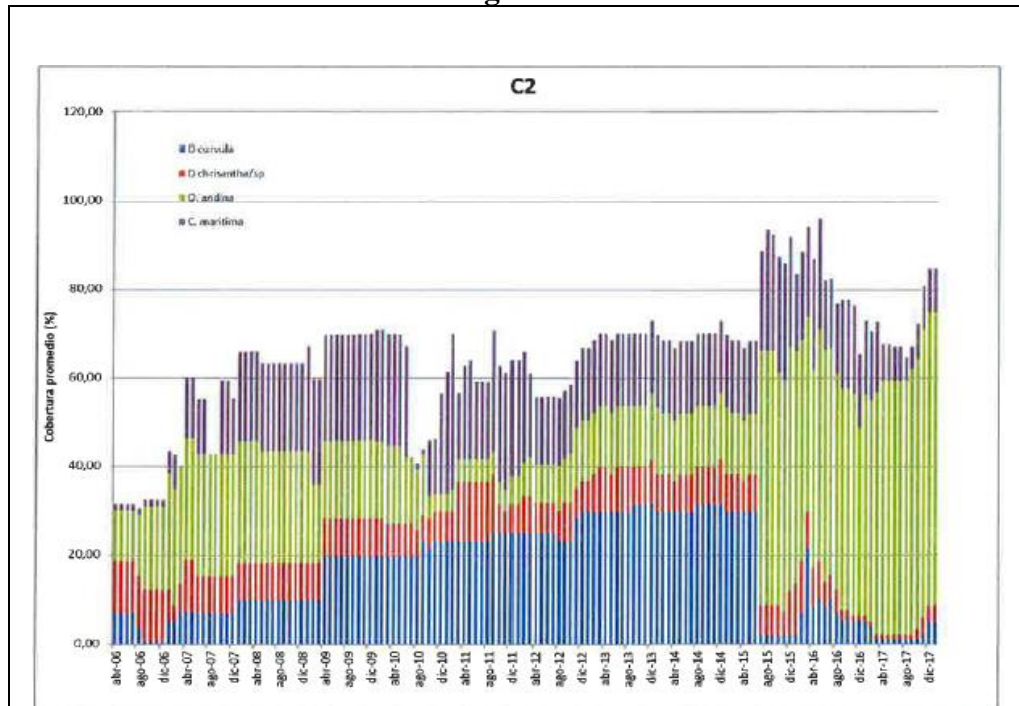


Gráfico 2: Cobertura Vegetal Promedio en Parcelas C2 de bofedal Lagunilla

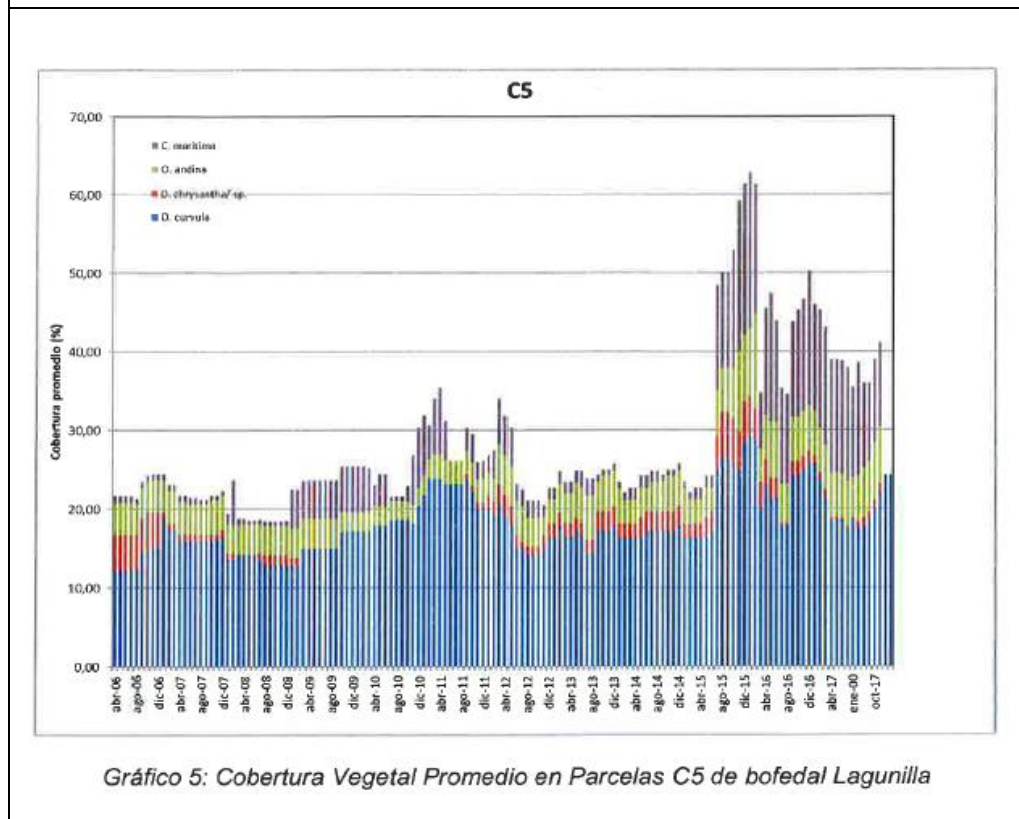


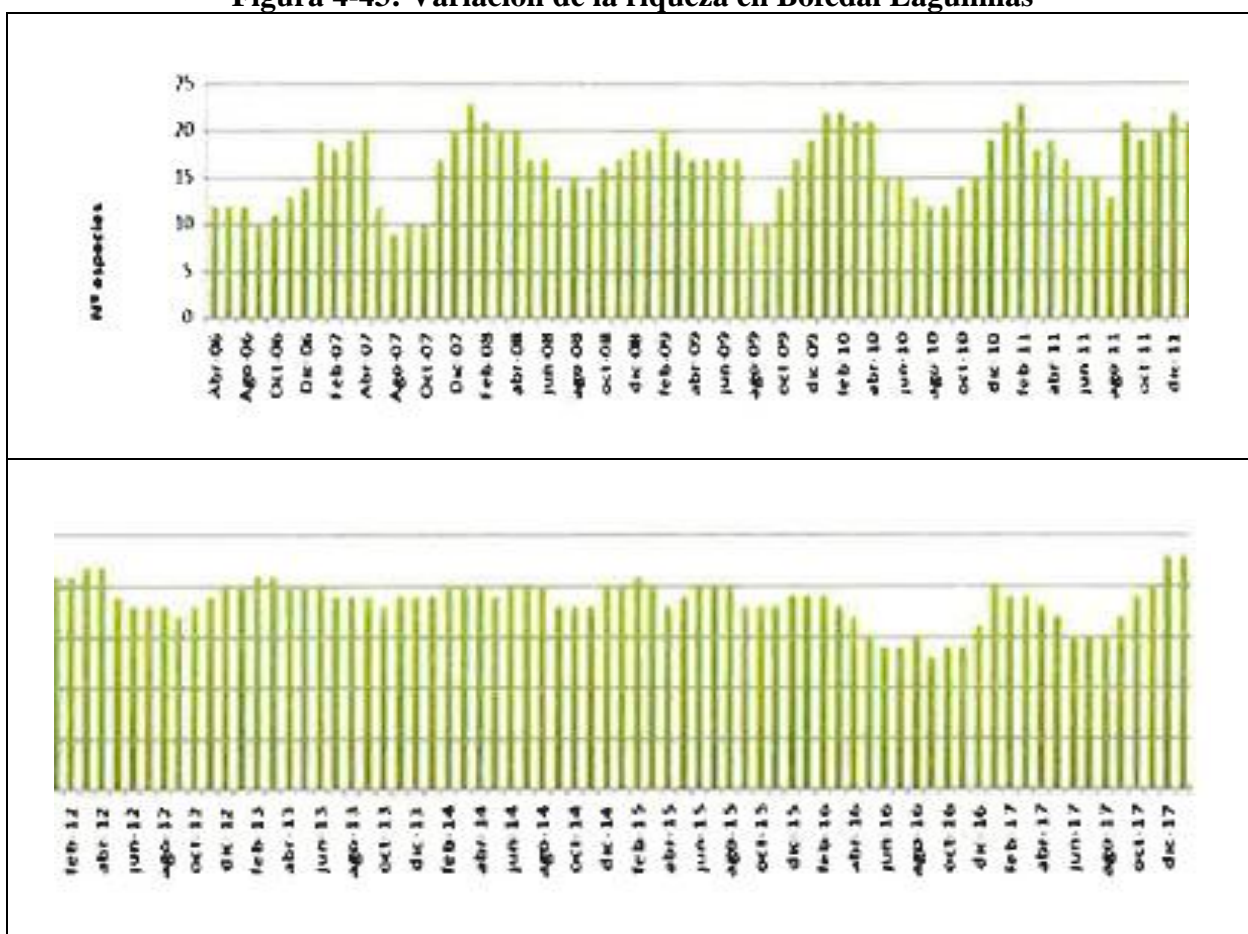
Gráfico 5: Cobertura Vegetal Promedio en Parcelas C5 de bofedal Lagunilla

Fuente: CMCC, agosto 2019

En lo que respecta a la cobertura relativa (%) se observa una tendencia creciente hasta fines del año 2009 y luego se presenta una estabilización, que se agrega a la fluctuación estacional dependiente de las condiciones climáticas. Durante los meses de verano aumenta la cobertura y durante los meses de invierno disminuye, hecho característico de las zonas desérticas del norte de Chile, donde las principales precipitaciones se registran en la época estival. Se debe reseñar, que la baja cobertura presente en invierno se debe principalmente al estado de latencia en la que se halla la vegetación, presumiblemente debido a la presencia de heladas invernales (Figura 4-42).

En la Figura 4-43 se presenta la variación de la riqueza (N° de especies) en las parcelas del bofedal. En él se observa una fluctuación estacional que depende de las condiciones ambientales afectadas por los parámetros climáticos. En los meses de verano aumenta la riqueza, al aumentar la radiación, la temperatura y la pluviosidad. Mientras que en invierno disminuye la riqueza al imperar condiciones extremas para la vegetación, la que parte de ella entra en dormancia o latencia. En invierno de 2017 se evidencia una disminución de la riqueza similar a la del invierno de 2016, sin embargo, en verano 2018 la riqueza de especies aumenta considerablemente con respecto a los años anteriores.

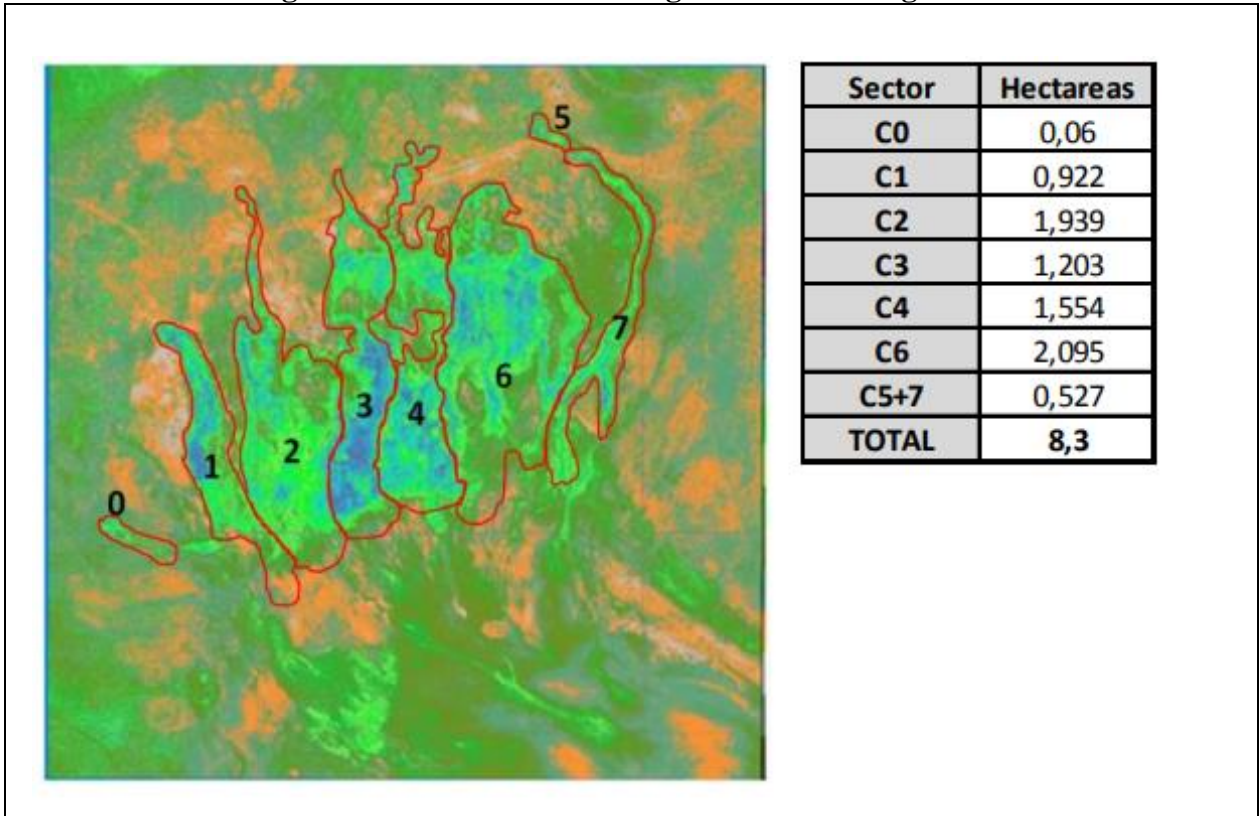
Figura 4-43: Variación de la riqueza en Bofedal Lagunillas



Fuente: CMCC, agosto 2019

El bofedal de Lagunillas (8,3 ha) ha sido dividido naturalmente en siete (7) sectores de flujo (Jaime Illanes y Asociados, 2013 (Adenda 3)), producto del escurrimiento preferente de eje Norte-Sur, en respuesta a las pendientes y topografía del sistema azonal (Figura 4-44).

Figura 4-44: Sectores de recarga del bofedal Lagunillas



Jaime Illanes y Asociados, 2013 (Adenda 3)

- Sector 1: El sector de recarga número 1 consta de 0,922 hectáreas de superficie y a la fecha está siendo humectada con un flujo de recarga artificial de 1,22 L/s. Lo anterior implica que en términos de aporte de recurso respecto a vegetación el sector está recibiendo 1,32 L/s/ha. Entre 2013 y 2015 en el sector se observa un incremento de la vegetación de 6% asociada a la reducción de superficie de agua expuesta, de rastrojo y suelo desnudo.
- Sector 2: El sector de recarga número 2 consta de 1,939 hectáreas de superficie y a la fecha está siendo humectada con un flujo de recarga artificial de 5,49 L/s. Lo anterior implica que en términos de aporte de recurso respecto a vegetación el sector está recibiendo 2,83 L/s/ha. Entre 2013 y 2015 en el sector se observa un incremento de la vegetación de 10% asociada a la reducción de superficie de agua expuesta, de rastrojo y suelo desnudo.
- Sector 3: El sector de recarga número 3 consta de 1,203 hectáreas de superficie y a la fecha está siendo humectada con un flujo de recarga artificial de 3,88 L/s. Lo anterior implica que en términos de aporte de recurso respecto a vegetación el sector está recibiendo 3,22 L/s/ha. Entre 2013 y 2015 en el sector se observa un incremento de la vegetación de 11,7% asociada a la reducción de superficie de agua expuesta, de rastrojo y suelo desnudo.
- Sector 6: El sector de recarga número 6 consta de 2,095 hectáreas de superficie y a la fecha está siendo humectada con un flujo de recarga artificial de 5,07 L/s. Lo anterior implica que en términos de aporte de recurso respecto a vegetación el sector está recibiendo 2,42 L/s/ha. Entre 2013 y 2015 en el sector se observa un incremento de la vegetación de 17,6% asociada a la reducción de superficie de agua expuesta, de rastrojo y suelo desnudo.
- Sector 5+7: El sector de recarga número 5+7 consta de 0,527 hectáreas de superficie y a la fecha está siendo humectada con un flujo de recarga artificial de 4,78 L/s. Este sector, de escasa superficie y de flujo canalizado, se ha definido como un aporte preferentemente a la

mantención de los niveles lagunares. De lo anterior, se estima que al menos 3,5 litros por segundo alimentan directamente la laguna Huantija. Entre 2013 y 2015 en el sector se observa un incremento de la vegetación de 21,4% asociada a la reducción de superficie de agua expuesta, de rastrojo y suelo desnudo.

A partir de la información de evolución de riego y cobertura del bofedal, se señala en los informes de seguimiento que los distintos sectores de riego han presentado un comportamiento coherente con lo esperado de acuerdo al diseño del Plan de Manejo, observándose un incremento general de la cobertura vegetal, a medida que el proceso de humectación de los sectores ha ido incorporando todas las áreas que constituyeron parte del bofedal.

El Plan de Mitigación incluyó el manejo de recolonización asistida del bofedal, el que consistió en plantación de esquejes, recolonización y dispersión de semillas y recolonización natural. Estas actividades se realizan del año 2015 al 2017 en sectores seleccionados con características óptimas del bofedal.

Figura 4-45: Grillas de 1m² para trasplante y siembra de semillas. Cuadrante de 10*10cm.



Fuente: CMCC, 2016

4.2. Sistema Hídrico y Vegetacional Jachucoposa

4.2.1. Caracterización Área de Estudio

El sistema vegetacional Jachucoposa se encuentra en la primera región de Tarapacá a 160 km al este de la ciudad de Iquique dentro de las cuencas altiplánicas en la Región de Tarapacá, específicamente en la cuenca de Salar de Coposa, en la comuna de Pica, en las coordenadas UTM 531.827 m.E. y 7.713.296 m.S.

La cuenca del Salar de Coposa corresponde a una cuenca endorreica rodeada por cadenas montañosas y volcánicas. Limita al norte con el Cerro Napa y el Salar Empexa, al sur con el Cerro Pabellón del Inca y la cuenca de Michincha, al este con una serie de complejos volcánicos y al Oeste con la Cordillera de Domeyko, que separa el altiplano de la Pampa del Tamarugal. Todo el límite este de la cuenca define también la separación con Bolivia. Tiene una elevación mínima de 3.730 m.s.n.m. en el sector del salar y supera los 5.000 m.s.n.m. en los cordones montañosos que la rodean alcanzando una extensión de 1119 km² (Arcadis, 2018).

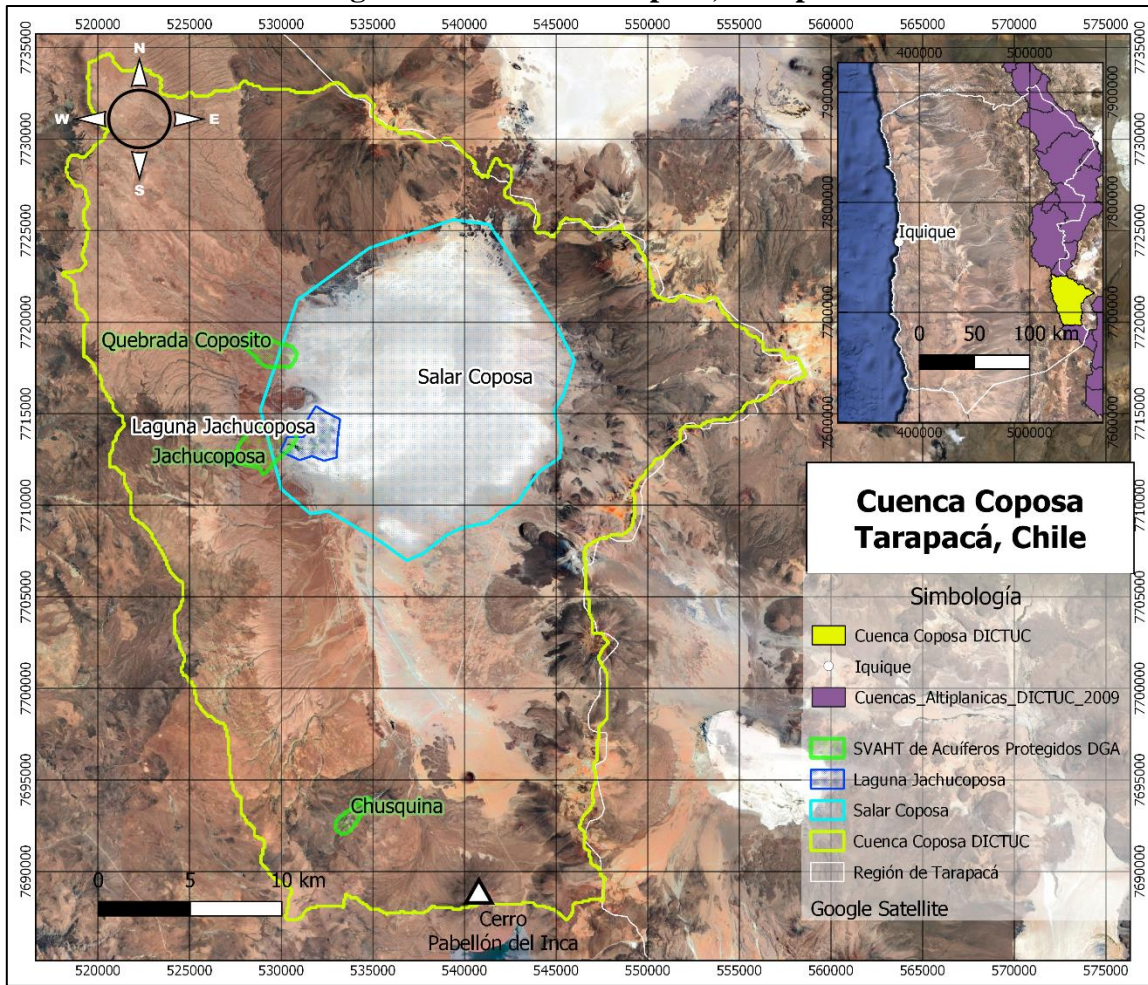
La cuenca posee una laguna denominada Jachucoposa, ubicada al suroeste del salar de Coposa, y la vegetación del SVAHT Jachucoposa se encuentra en el borde oeste de la laguna. El principal aporte hídrico a la laguna es la quebrada de Pabellón que nace en la falda norte del cerro Pabellón del Inca (5.110 m.s.n.m.) y dirige su curso hacia el noroeste, hasta desembocar en el extremo sur del salar (Figura 4-46).

La cuenca es de régimen endorréico, presentando el comportamiento hidrogeológico típico de salar, donde la recarga se asocia a precipitaciones directas y a los aportes acumulados en los cordones montañosos, y la descarga se asocia a la evaporación de los cuerpos de agua y evapotranspiración por parte de la vegetación. Presenta entradas de agua a nivel acuífero desde el sector sur de la cuenca, desde el acuífero de Michincha, sector Portezuelo e Irruputuncu, y salidas hacia el norte al Salar Empexa. La ubicación de cada uno de estos sectores, se indica más adelante (Arcadis, diciembre 2018c).

En el sector de la cuenca existen dos niveles acuíferos. En profundidad, un acuífero confinado ubicado en roca volcánica fracturada, en la zona de la falla Pabellón, y un acuífero de superficie en los depósitos evaporíticos del salar (Arcadis, diciembre 2018c).

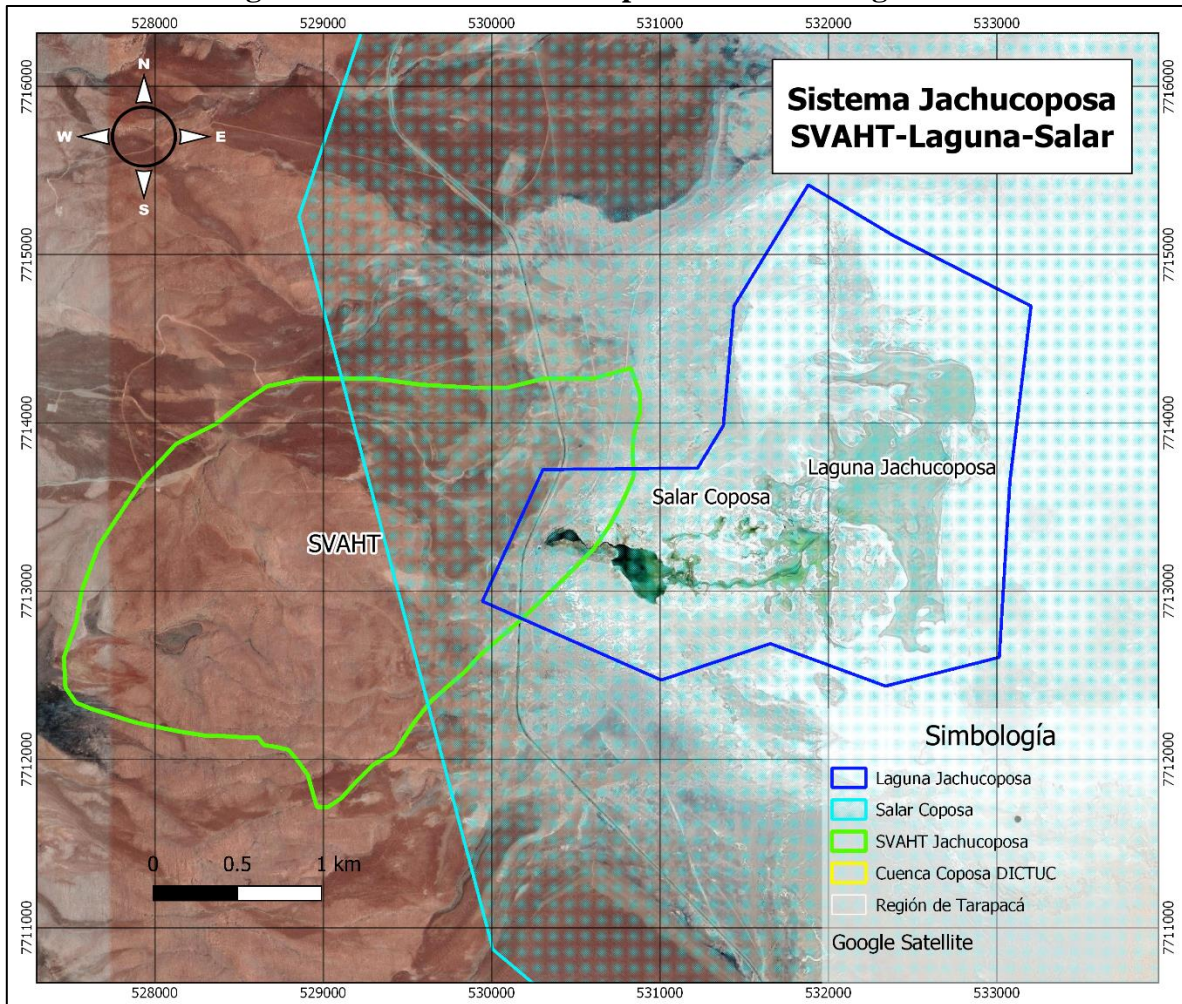
En la Figura 4-47 se presenta el sistema compuesto por el SVAHT, laguna y salar, en Jachucoposa.

Figura 4-46: Cuenca Coposa, Tarapacá Chile



Fuente: Elaboración propia

Figura 4-47: Sistema Jachucoposa SVAHT – Laguna – Salar



Fuente: Elaboración propia

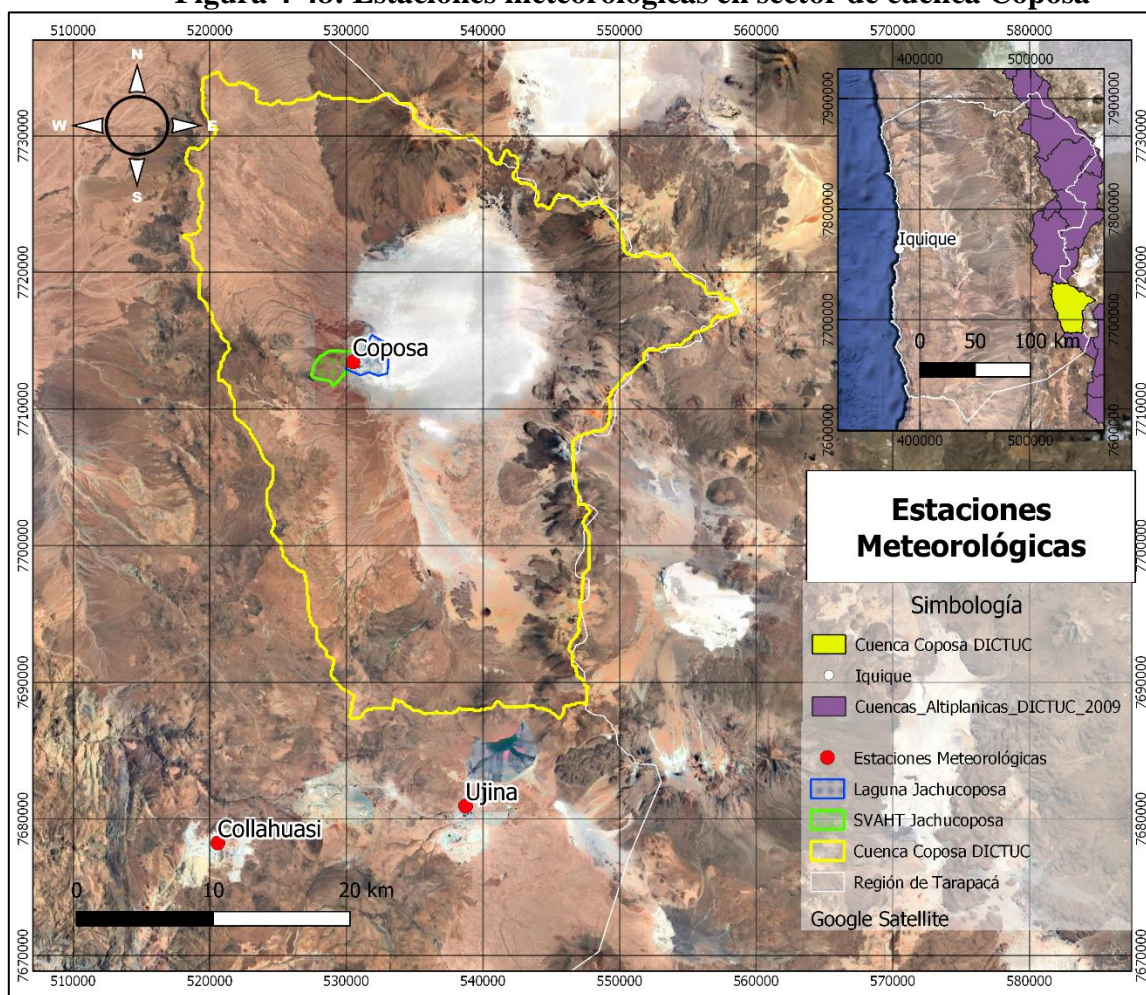
4.2.1.1. Clima y Meteorología

Al igual que en la cuenca de Lagunillas, en Jachucoposa existe un clima estepárico en altura (según la clasificación climática de Köppen) y de acuerdo con los distritos agroclimáticos se encuentra en el distrito 7 de Putre.

En la Figura 4-48 se presenta la ubicación de las estaciones meteorológicas que se utilizaron para el análisis de la meteorología de la cuenca.

En los siguientes párrafos se muestra información climatológica obtenida del Mapa Agroclimático de Chile, la que fue complementada con datos hidrometeorológicos de la DGA.

Figura 4-48: Estaciones meteorológicas en sector de cuenca Coposa



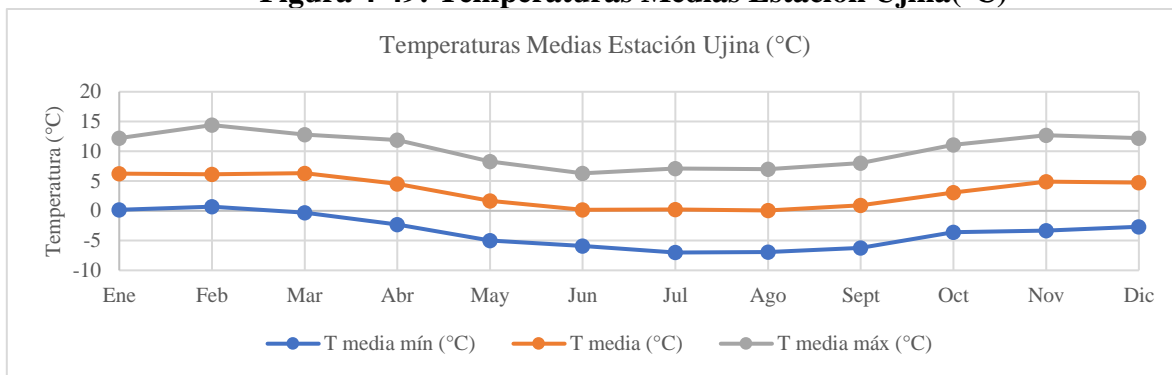
Fuente: Elaboración propia

Temperatura

A continuación, en la Figura 4-49 se presentan las temperaturas mínimas, medias y máximas para la estación meteorológica Ujina perteneciente a la DGA ubicadas en la cuenca de Michincha, aledaña a la cuenca de Coposa y que se considera representativa de la zona.

La temperatura mínima se registra en el mes de Julio, siendo de -7°C y la temperatura máxima se registra en febrero de 14.4°C respectivamente. En cuanto a la temperatura media, esta oscila entre 0.1°C en invierno y 6.3°C durante la temporada estival.

Figura 4-49: Temperaturas Medias Estación Ujina(°C)



Fuente: AGRIMED, 2017

Precipitaciones

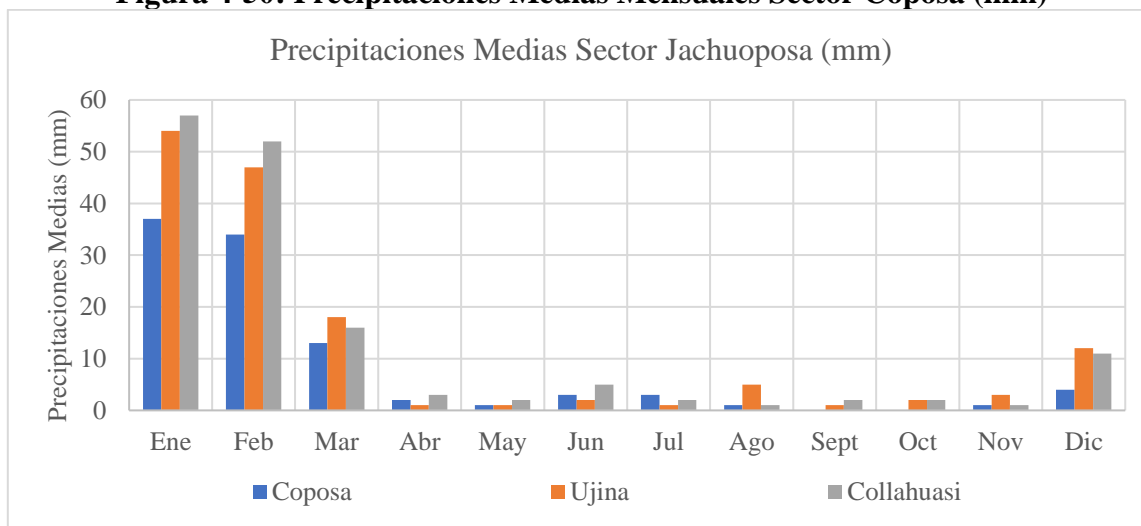
En esta sección se presentan las precipitaciones medias mensuales para tres estaciones representativas de la cuenca, Estación Meteorológica Coposa, Ujina y Collahuasi, todas pertenecientes a la DGA. En ellas se puede observar una correlación entre datos de precipitación, dada la proximidad de las estaciones y la similitud en altitud, registrándose precipitaciones medias anuales entre 98 mm y 153 mm.

Se observa que las precipitaciones se concentran en la temporada de verano, periodo conocido como “invierto altiplánico” entre los meses de diciembre a marzo, donde la precipitación se genera de forma líquida, siendo comparativamente menores los aportes asociados a derretimiento de nieves (M&A, enero 2020b).

Enero es el mes que registra mayores precipitaciones, las que van entre 37 mm en la estación Coposa y alcanzando los 59 mm mensuales en la estación Collahuasi.

La Figura 4-50 muestra un gráfico de barras con las precipitaciones medias mensuales.

Figura 4-50: Precipitaciones Medias Mensuales Sector Coposa (mm)

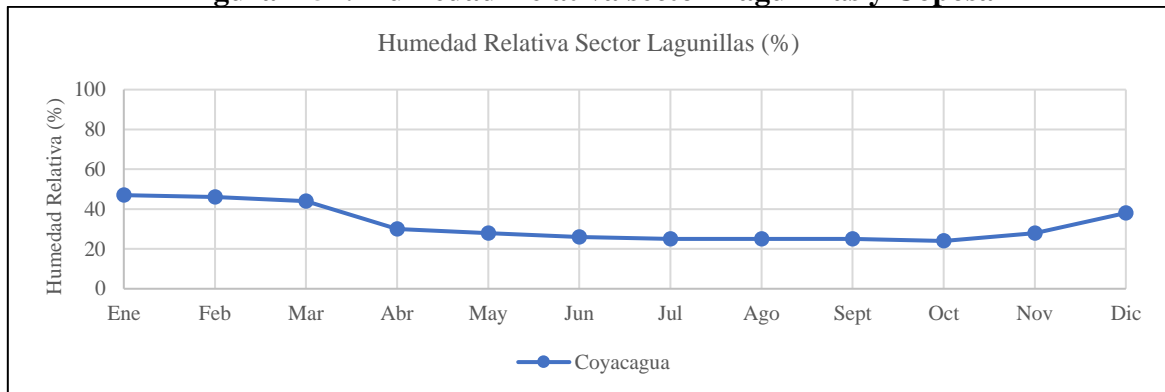


Fuente: AGRIMED, 2017

Humedad Relativa

Para este caso, se considera la misma estación que en Lagunillas, dado que solo la estación Collacagua presenta información de Humedad Relativa, la cual se considera representativa de la zona, con valores que van desde un 25% en invierno y llegando a 47% en enero (Figura 4-51).

Figura 4-51: Humedad Relativa sector Lagunillas y Coposa



Fuente: AGRIMED, 2017

Evaporación

En la Tabla 4-10 se muestran los promedios mensuales de evaporación diaria estimados aplicando el modelo de Penman-Monteith, donde los valores mínimos se producen en los meses de invierno, asociado a una menor radiación solar y en los meses de verano se produce un mínimo local, asociado a una mayor cobertura nubosa de la atmósfera, a una mayor humedad relativa del aire y a menor temperatura producto de la temporada lluviosa (Arcadis, diciembre 2018c).

Tabla 4-10: Evaporación media mensual neta (mm/día) en estaciones de la cuenca de Coposa

Estación	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	Año Hidrológico (oct-sep)
Pampa Ujina	5.0	5.5	5.4	4.5	4.2	4.0	3.8	3.0	2.8	2.7	3.4	4.2	4.0
Coposa Norte	5.6	6.3	6.4	5.3	4.5	4.9	4.2	3.4	3.0	3.1	3.8	4.7	4.6
Salar Coposa	5.3	6.0	5.8	5.3	4.9	4.7	3.9	3.0	2.6	2.8	3.6	4.5	4.4

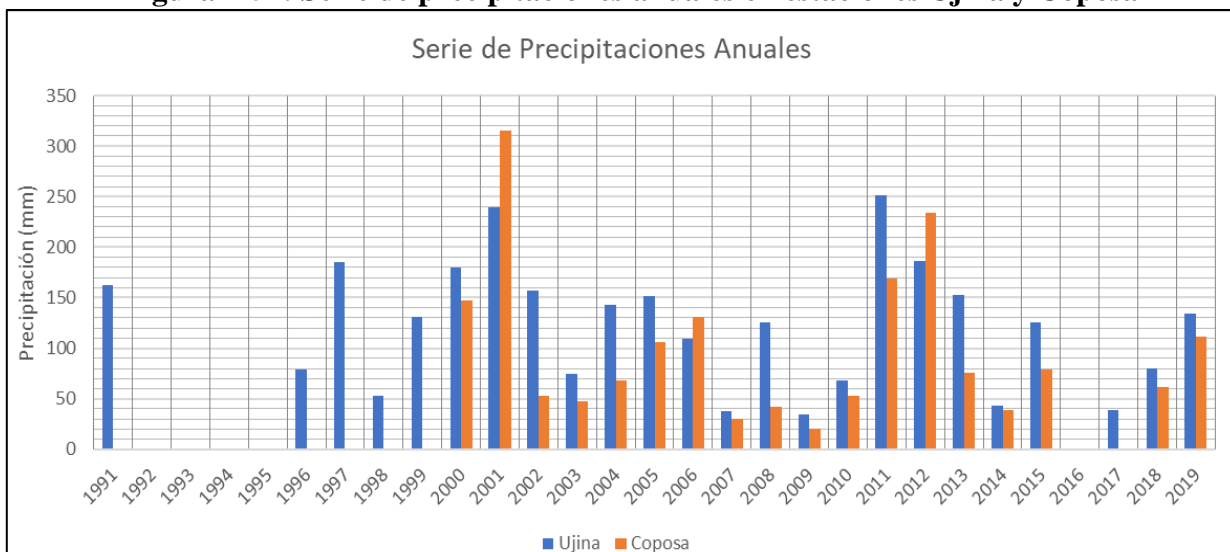
Fuente: Arcadis, diciembre 2018c

4.2.1.2. Hidrología

Precipitaciones

En el siguiente gráfico (Figura 4-52) se presentan las series de precipitaciones anuales de las estaciones meteorológicas Ujina y Coposa, las que tienen registro de información desde el año 1991 hasta 2019 para el caso de la estación Ujina y desde el año 2000 hasta el 2019 para la estación Coposa. En la figura se observa que los años 2001 y 2012 fueron altamente lluviosos.

Figura 4-52: Serie de precipitaciones anuales en estaciones Ujina y Coposa



Fuente: Elaboración propia en base a información de la DGA

Cursos de Agua Superficial

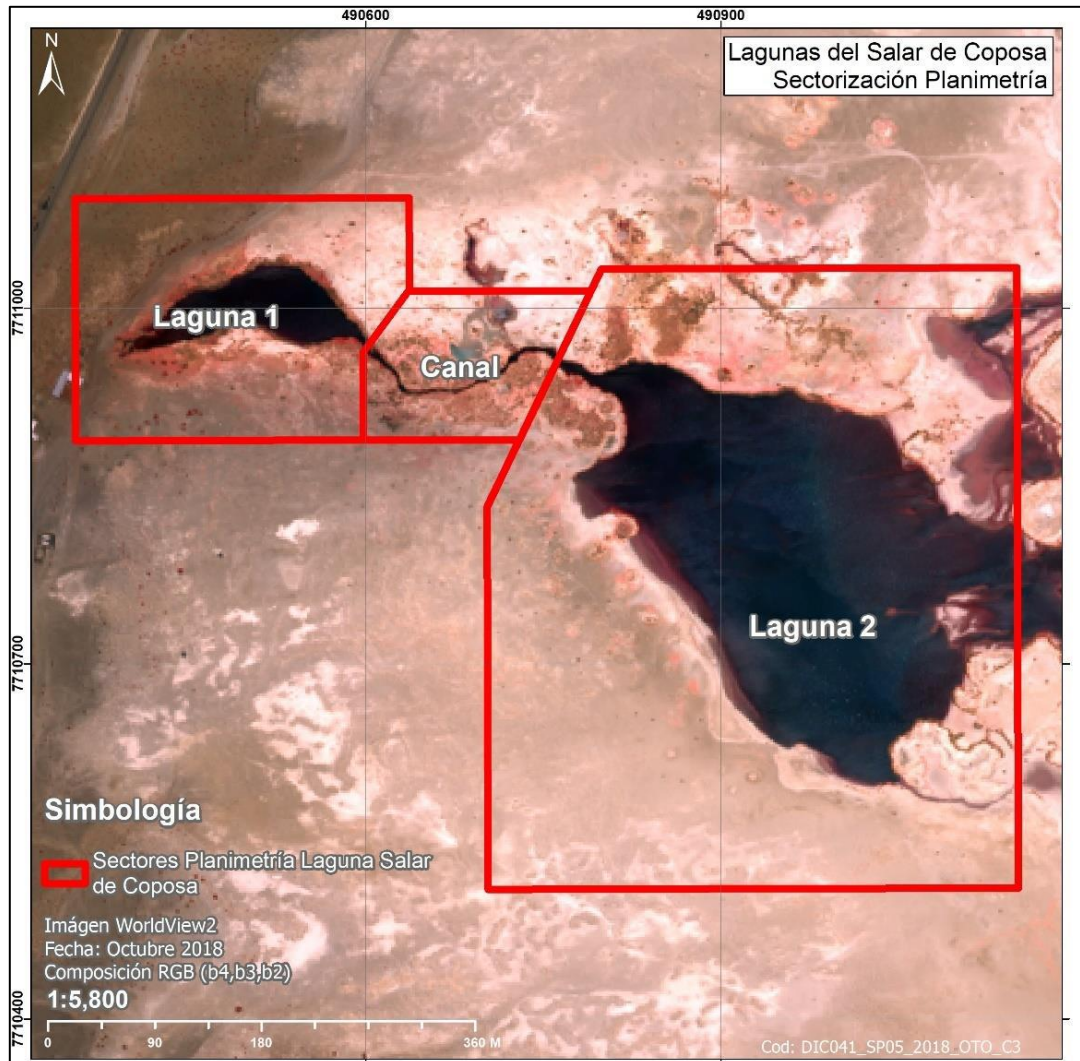
- **Quebradas:** En la cuenca de Coposa existen numerosas quebradas que son tributarias al salar de Coposa, siendo la más importante la llamada quebrada Pabellón, que nace en la ladera norte del cerro Pabellón del Inca, dirigiéndose sensiblemente al NNW, hasta desembocar en el extremo sur del salar tras un recorrido poco mayor a 20 km. Cabe señalar que los tributarios presentan escurrimientos esporádicos asociados a eventos de precipitación y que generalmente se encuentran secos.
- **Vertiente Jachucoposa:** La vertiente Jachucoposa se origina en el sector de la Falla Pabellón, producto de las presiones hidrostáticas existentes en el acuífero confinado allí presente, provocando el afloramiento en el sector noroeste de la Laguna Jachucoposa. Dichos afloramientos, irrigan el sector de la vegetación azonal del sector Jachucoposa y también aportan al volumen de agua de la laguna homónima.

Laguna Jachucoposa

Los sistemas lacustres ubicados en el salar de Coposa corresponden a cuerpos de agua someros cuyos aportes principales provienen de la precipitación, afloramientos subterráneos y el aporte de algunas vertientes cercanas.

En el caso de la laguna Jachucoposa es abastecida por la vertiente homónima y está conformada por dos lagunas permanentes (laguna 1 y 2) separadas por un estrecho canal, cuyos excedentes vierten a la laguna de evaporación (Figura 4-53 y Figura 4-54).

Figura 4-53: Lagunas Salar de Coposa (Cuando se nombra la laguna del salar de Coposa se refiere a todo este sistema)



Fuente: CMDIC, 2019 (Adenda SGA, Gestión Ambiental, 2019).

Figura 4-54: Registro Fotográfico de Laguna Jachucoposa



Fuente: <https://mapio.net/pic/p-1498836/>

4.2.1.3. Geología

El sistema de Jachucoposa está ubicado dentro de la cuenca de Coposa, en la unidad geomorfológica denominada depresión de salares y está delimitada lateralmente por dos cordones montañosos de origen volcánico. Al este por la Cordillera Occidental y al oeste por el cordón oriental de la Precordillera, localmente denominado Sierra del Medio. La zona de depresión de salar está conformada por diferentes tipos de depósitos aluviales, coluviales e Ignimbritas. En particular, en la zona donde se ubica la laguna y el salar, por depósitos evaporíticos (Arcadis, diciembre 2018c).

En la Figura 4-55 se presentan las unidades geomorfológicas superficiales y las principales fallas geológicas de la cuenca. La falla geológica de importancia para el sistema vegetacional analizado es la Falla Pabellón, que cruza la cuenca en dirección norte sur y la cual afecta a la Ignimbrita Huasco, condicionando significativamente el funcionamiento hidrogeológico de la cuenca, ya que, a través de esta, se produce un flujo subterráneo cuya orientación principal, sigue la dirección sur – norte. En la falla Pabellón se aloja un acuífero confinado, de muy buen potencial hidrogeológico (Ignimbrita Huasco con alto grado de fracturamiento) que presenta un nivel surgente donde la ignimbrita aflora en superficie y se reconoce la falla. En este sector es donde nace la vertiente Jachucoposa. La ignimbrita Huasco cubre una gran extensión areal en el borde oeste de la cuenca de Coposa, en forma casi continua, con disposición NNW y manteo levemente al SE (~3°), intercalándose con sedimentos. La cuenca cuenta, además, con un segundo acuífero superficial ubicado en el sector de depósitos evaporíticos (Arcadis, diciembre 2018c).

El Sector de interés en este trabajo es la Vertiente Jachucoposa, que tal como se indicó anteriormente se origina debido al afloramiento de la unidad hidrogeológica Ignimbrita Huasco, la que está afectada por estructuras de orientación principal norte-sur, que le otorgan permeabilidad secundaria en el sector de Falla Pabellón y controlan el flujo de descarga de la vertiente Jachucoposa, así como los niveles en el sector de Coposito.

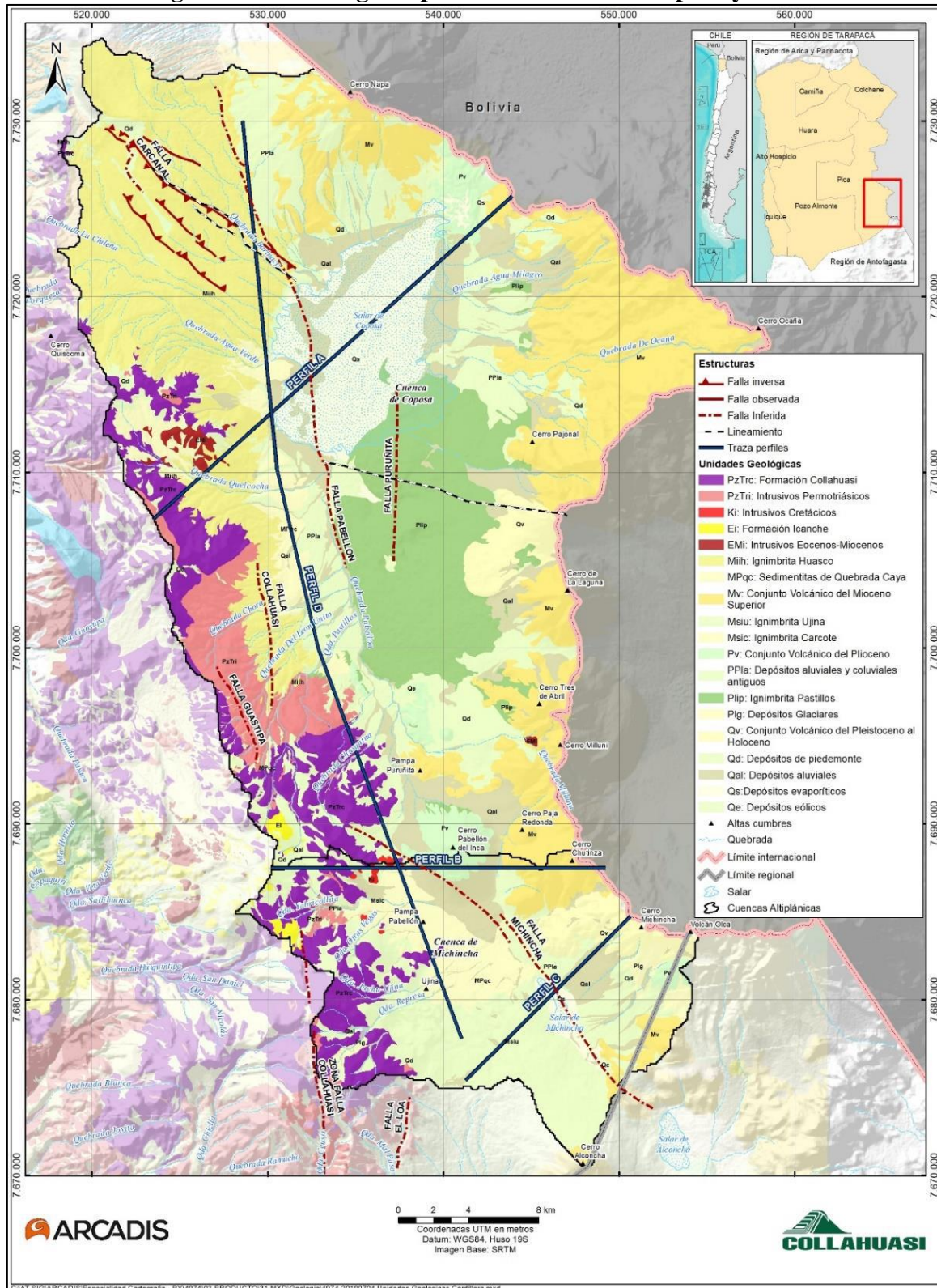
En la Figura 4-55 se observa el Perfil A y el perfil D, los que pasan sobre la vertiente Jachucoposa. La Figura 4-56 presenta la vista en corte transversal de dichos perfiles.

El Perfil A (Figura 4-56) pasa por el salar Coposa, cruzándolo en dirección suroeste – noreste. Se observa a la izquierda el basamento indiferenciado (Bi), que hace referencia a la roca de origen volcánico que va desde alturas que llegan a los 4.500 m.s.n.m. y luego se profundiza hacia la derecha a una profundidad de 2.600 m.s.n.m. por debajo de la Ignimbrita Huasco. Luego se observa la Ignimbrita Huasco, roca volcánica afectada por la Falla Pabellón, que aflora en la superficie originando la vertiente Jachucoposa. La máxima profundidad reconocida para la ignimbrita Huasco es 631 m de profundidad, mientras que en otro de los pozos de 1.430 m de profundidad y cota 2.990 m.s.n.m. no se reconoce su límite máximo de extensión. Tanto el basamento indiferenciado y la ignimbrita Huasco están basculados hacia el sureste según el manteo observado en superficie (~3-4°). En el centro del perfil y de forma ascendente se tienen depósitos volcánicos y sedimentarios, ignimbrita pastillos y en la superficie del salar depósitos evaporíticos. Finalmente, en el costado derecho se observan dos tipos de conjuntos volcánicos (Mv y Pv) pertenecientes a la Cordillera Occidental, con alturas del orden de los 3.900 m.s.n.m. (Arcadis, diciembre 2018c).

En el perfil D (Figura 4-56), se observa a la izquierda (norte de la cuenca) se observa el conjunto volcánico (Mv) seguido de la Ignimbrita Huasco, que continua hacia el sur con un espesor máximo que alcanza aproximadamente los 600 m, hasta llegar a la Formación Collahuasi que forma parte

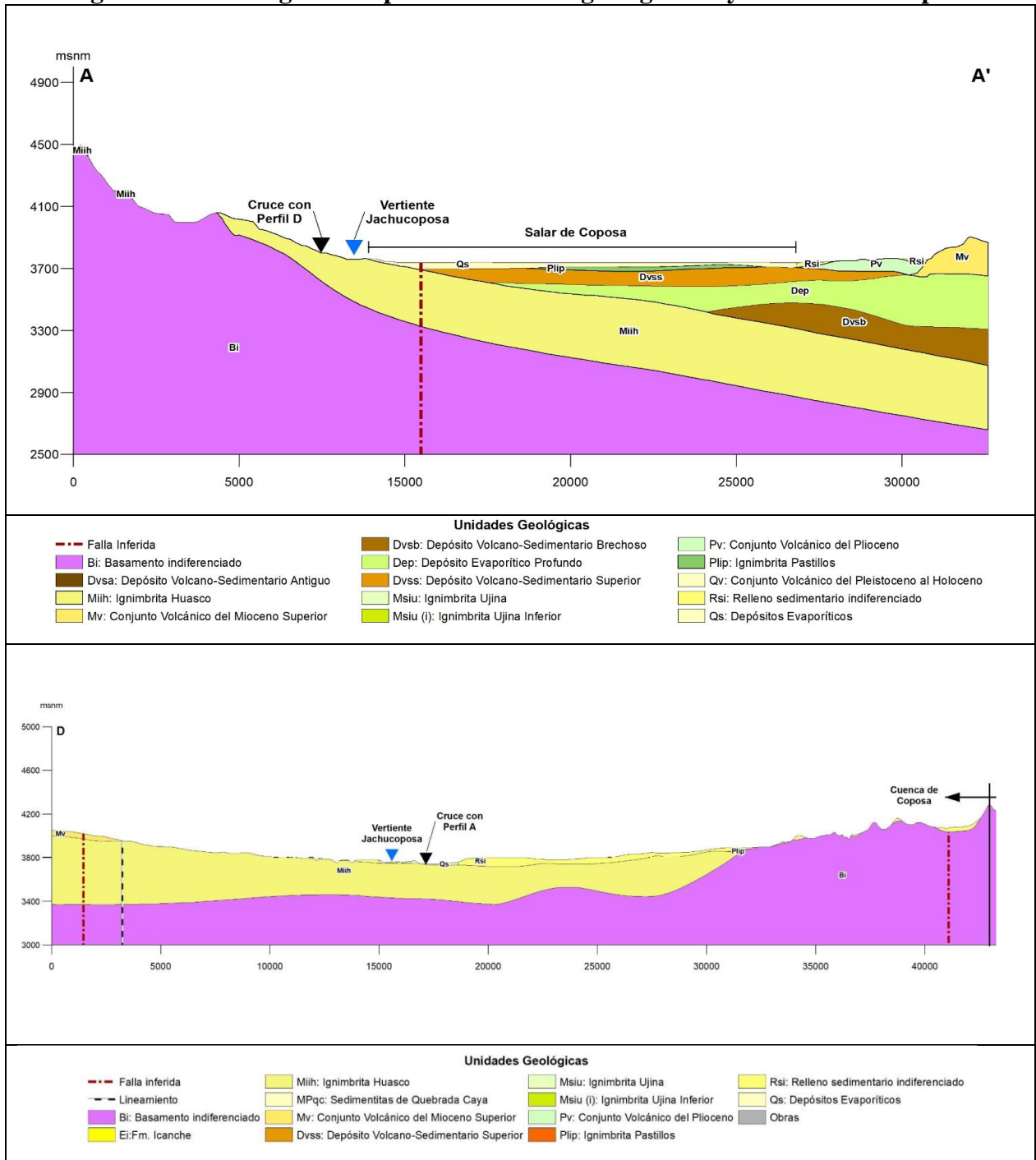
del Basamento indiferenciado (Bi) y que separa por el sur la cuenca Coposa de la cuenca Michincha (Arcadis, diciembre 2018c).

Figura 4-55: Geología superficial en cuencas Coposa y Michincha.



Fuente: Arcadis, 2019 (Basado en AURUM, 2009; AURUM,2011 y Vergara y Thomas.1984).

Figura 4-56: Geología subsuperficial. Perfiles geológicos A y D en cuenca Coposa



Fuente: Arcadis, diciembre 2018c

4.2.1.4. Parámetros Hidráulicos (K y S)

De acuerdo con Arcadis (diciembre 2018b), la cuenca de coposa tiene una cantidad importante de pozos de bombeo y de ensayos realizados en estos. Con estas pruebas de bombeo estimaron la transmisividad (T), el coeficiente de almacenamiento (S) y la conductividad hidráulica (K).

La Figura 4-57 muestra la permeabilidad representativa de cada pozo, donde se observa que los sectores con mayor permeabilidad son Falla Pabellón y el flanco este del cerro Pabellón del Inca.

La Ignimbrita Huasco tiene una mediana de permeabilidad 46,5 m/d. Es importante considerar que la mayor parte de los pozos con pruebas de bombeo en la unidad ignimbrita Huasco, se encuentran sobre la traza de la falla Pabellón, por lo que una gran parte de las conductividades obtenidas están asociadas a una permeabilidad secundaria otorgada por estructuras, más que a las características hidrogeológicas de las Ignimbritas propiamente tal. Dados los valores de permeabilidad a lo largo de la falla Pabellón en la ignimbrita Huasco, la convierte en una importante unidad acuífera en este sector permitiendo un camino preferencial del flujo subterráneo (Arcadis, diciembre 2018b).

Además, destacan con un mayor rango de permeabilidades la unidad depósito volcanosedimentario superior (Dvss), depósitos evaporíticos profundo (Dep) y relleno sedimentario indiferenciado (Rsi).

Las unidades con menor permeabilidad son Basamento indiferenciado, Bi de mediana 0,03 m/d y Conjunto Volcánico del Mioceno (Mv) de mediana 0,7 m/d. Los valores más altos de permeabilidad (sobre 1 m/d), se dan justamente en algunos pasos importantes como Portezuelo y el paso de Pabellón del Inca.

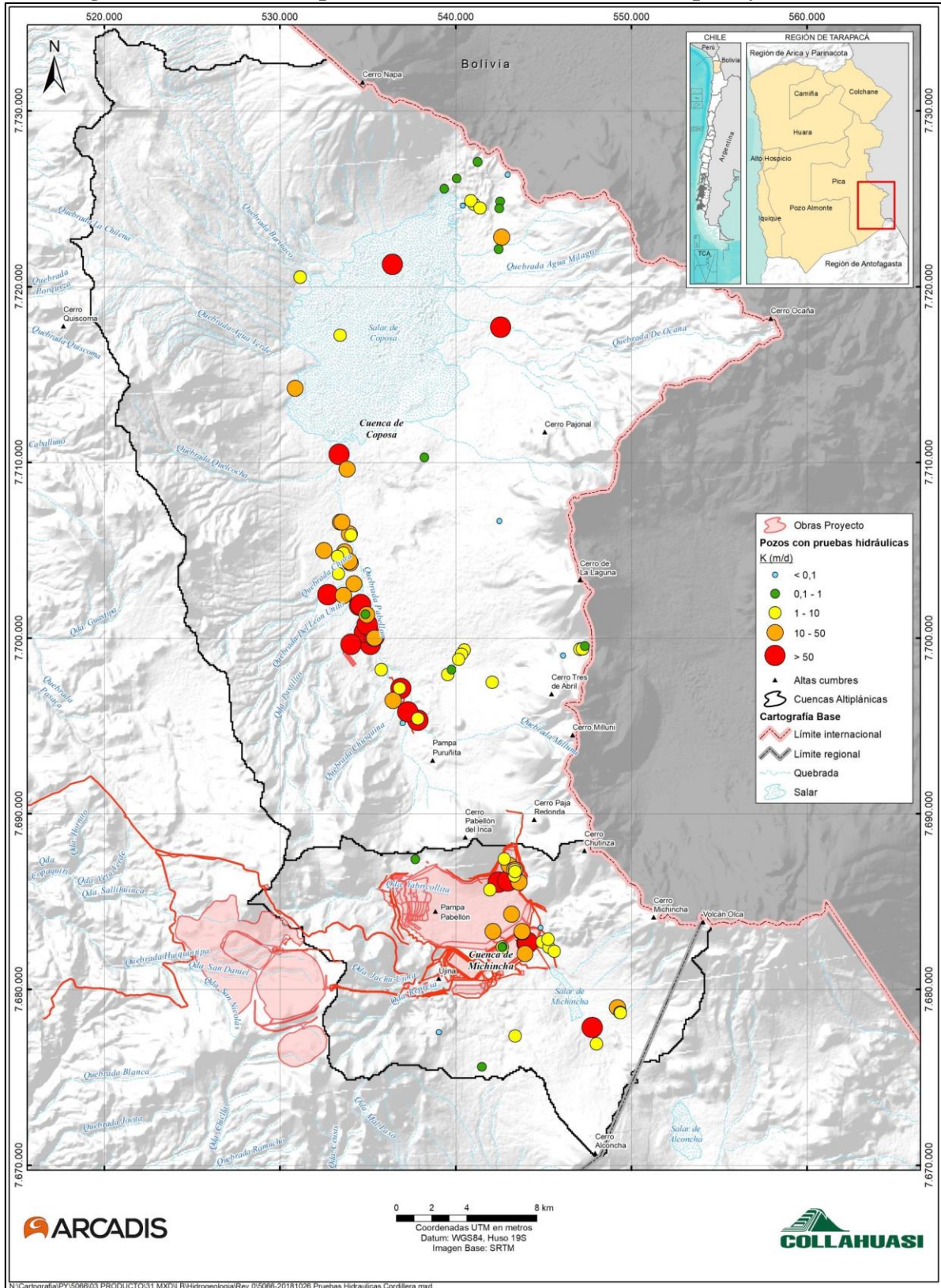
Se ha estimado un rango de conductividad hidráulica de 0,1 a 10 m/día para los Depósitos Evaporíticos (Qs), con base en su granulometría y ensayos de laboratorio.

Tabla 4-11: Parámetros hidráulicos de las unidades geológicas en cuenca Coposa

Unidad Geológica	N° Pozos	Permeabilidad				Almacenamiento			
		Mínimo (m/d)	Mediana (m/d)	Máximo (m/d)	N° Datos	Mínimo	Mediana	Máximo	N° Datos
Basamento Indiferenciado	6	0.01	0.03	0.14	3	1.30E-01	1.30E-01	1.30E-01	1
Ignimbrita Huasco	23	0.94	46.5	135	23	2.60E-12	4.35E-04	1.40E-03	14
Conjunto Volcánico del Mioceno	7	0.005	0.67	1.5	7	4.70E-07	2.63E-03	8.30E-03	3
Dep. Evaporíticos Profundos	5	0.0455	3	41.4	5	1.80E-03	1.80E-03	1.80E-03	1
Dep. VolcSed. Superior	19	0.016	7.1	201.76	19	3.80E-05	1.02E+03	1.60E-02	8
I. Pastillo/I. Huasco	3	7.9	17.5	34	3	1.80E-03	2.45E-03	3.10E-03	2

Fuente: Arcadis, diciembre 2018c

Figura 4-57: Pozos con pruebas hidráulicas en cuencas Coposa y Michincha



Fuente: Arcadis, diciembre 2018c

4.2.1.5. Unidades Hidrogeológicas

La cuenca de Coposa se clasificó en 10 Unidades Hidrogeológicas por parte de Arcadis, diciembre 2018c presentadas en la Tabla 4-12 con el rango de valor de la permeabilidad y almacenamiento para cada una de ellas.

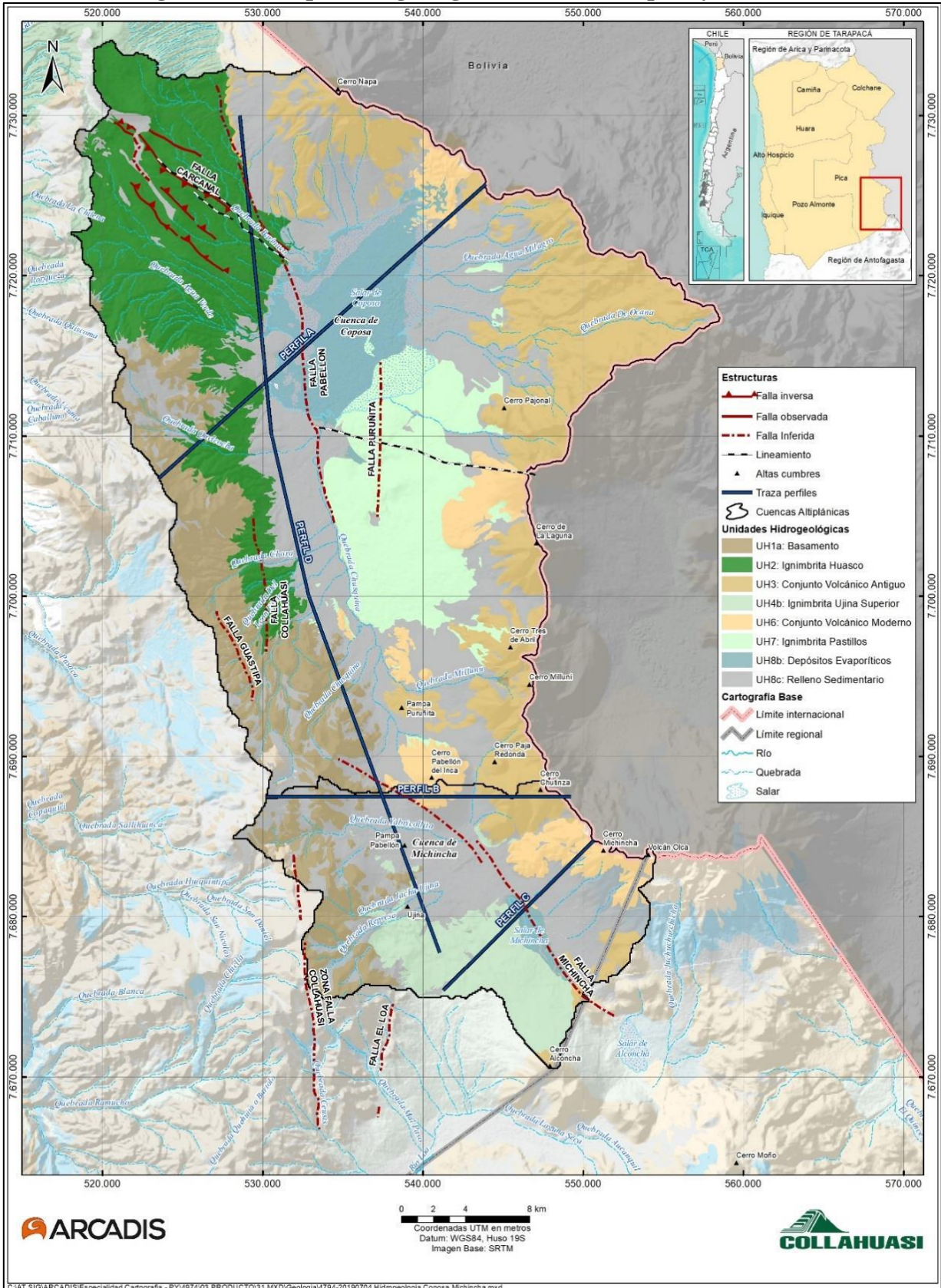
Tabla 4-12: Unidades Hidrogeológicas en cuenca Coposa y parámetros hidráulicos

UH	Unidad Hidrogeológica	K (m/d)	Sy (%)	Ss (1/m)
UH1a	Basamento	10E-6 a 1	0.01 a 1	10E-9 a 10E-6
UH2	Ignimbrita Huasco	10E-3 a 150	1 a 10	10E-5 a 10E-4
UH3	Conjunto Volcánico Antiguo	10E-4 a 1	0.1 a 5	10E-5 a 10E-3
UH5a	Subunidad Volcano-sedimentaria Brechosa	10E-3 a 10	0.1 a 10	10E-5 a 10E-3
UH5b	Subunidad Evaporítica Profunda	10E-2 a 50	0.1 a 10	10E-5 a 10E-4
UH5c	Subunidad Volcánico-sedimentaria Superior	10E-2 a 200	0.1 a 10	10E-5 a 10E-3
UH6	Conjunto Volcánico Moderno	10E-4 a 1	0.1 a 5	10E-5 a 10E-3
UH7	Ignimbrita Pastillo	10E-3 a 10	1 a 10	10E-5 a 10E-3
UH8b	Depósitos Evaporíticos	10E-2 a 50	0.1 a 10	10E-5 a 10E-4
UH8c	Relleno Sedimentario	10E-3 a 10E3	1 a 20	10E-4 a 10E-3

Fuente: Arcadis, diciembre 2018c

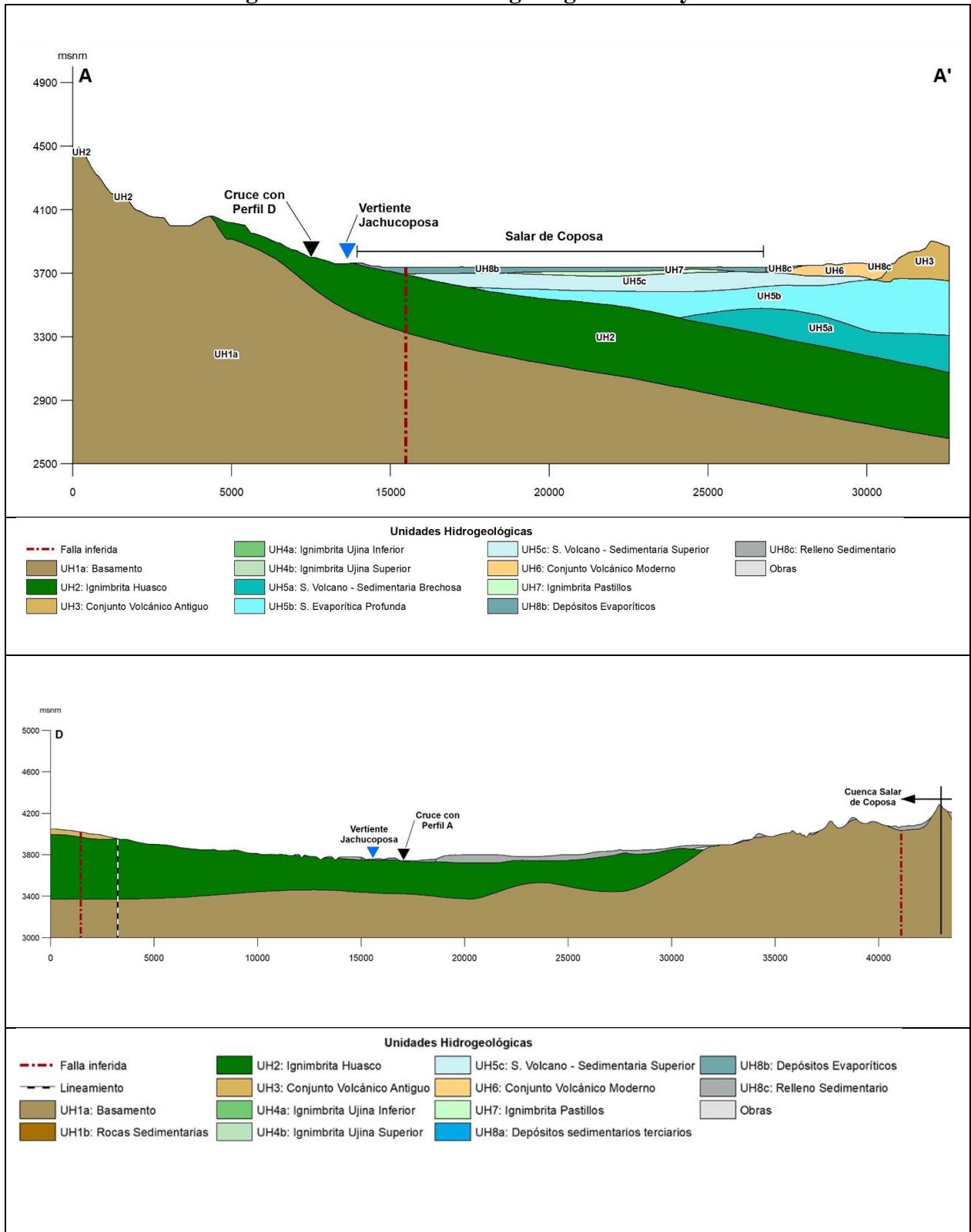
En la Figura 4-58 y Figura 4-59 se presenta el mapa hidrogeológico de la cuenca y perfiles hidrogeológicos de profundidad.

Figura 4-58: Mapa hidrogeológico cuencas de Coposa y Michincha



Fuente: CMDIC, 2019 (Adenda)

Figura 4-59: Perfiles Hidrogeológicos A-A' y D-D'



Fuente: CMDIC, 2019 (Adenda)

4.2.1.6. Vegetación

En la cuenca de Coposa existen 35.832,35 has. cubiertas por vegetación. De ellas 34.817,47 has. son de vegetación zonal y 1.014,8 has. de vegetación azonal. La vegetación azonal se ubica principalmente en torno a quebradas y sectores del salar (Arcadis, diciembre 2018c).

En la cuenca de Coposa existen tres sectores (Figura 4-60) que según Resolución DGA N° 909 de 1996 corresponden a vegas y acuíferos protegidos. De norte a sur los sitios son: 1) Quebrada Coposito; 2) Jachucoposa; y 3) Chusquina.

En el sector Salar de Coposa, se presentan niveles de agua subterránea someros, lo que, sumado a las altas tasas de evaporación, origina zonas con vegetación azonal, lagunas de evaporación y salares que se encuentran conectados directamente con el acuífero (acuífero en relleno sedimentario). De acuerdo con la Tabla 4-13, se determinó que los sistemas azonales de Coposa están formados por praderas y matorrales, alcanzando las 851,17 ha, representados en los siguientes tipos vegetacionales (Arcadis, diciembre 2018c).

Tabla 4-13: Vegetación azonal en el salar de Coposa

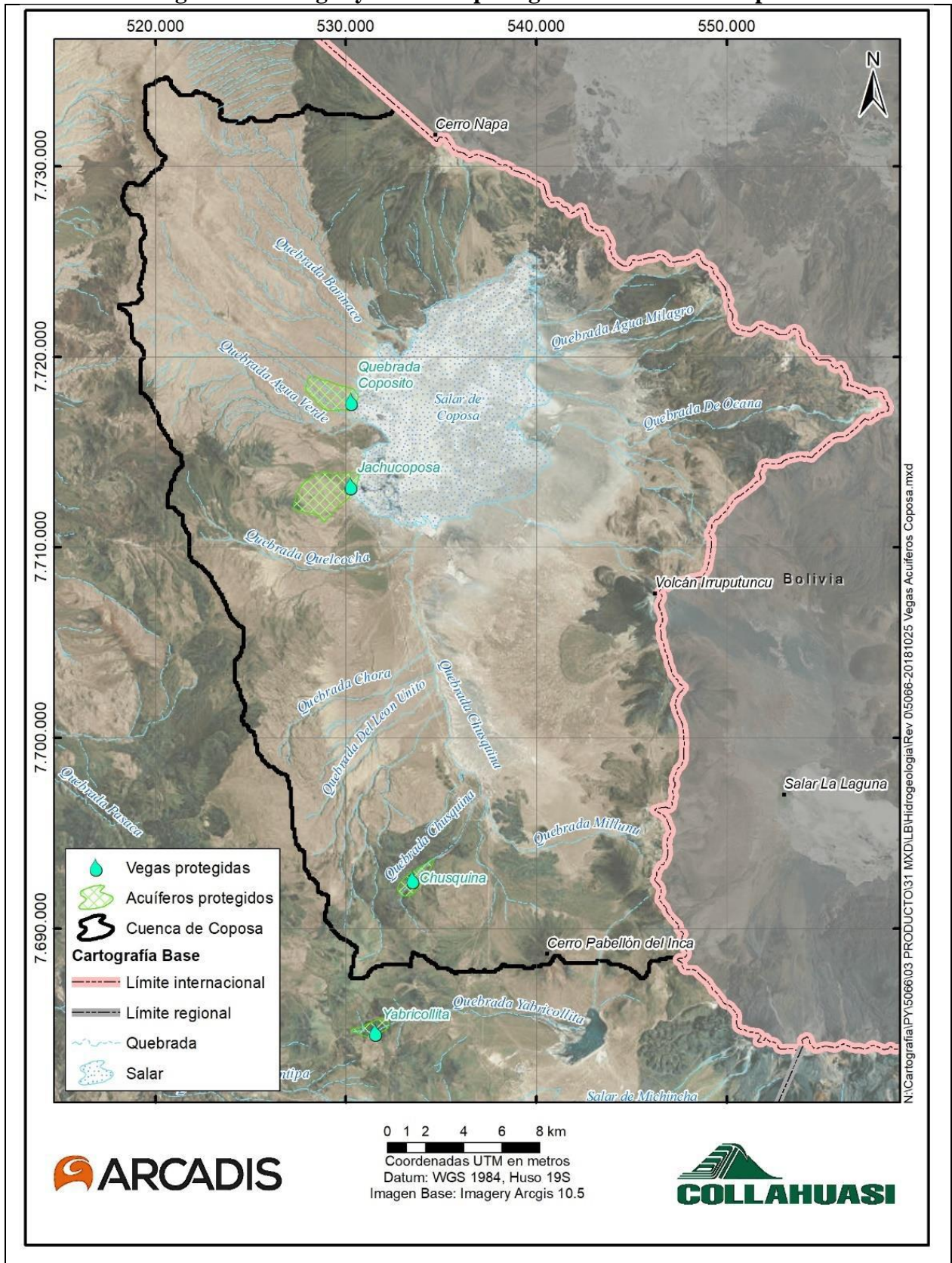
Formación Vegetal	Tipo Vegetacional	Superficie (ha)
Matorral	Matorral de Frankenia triandra	732.89
Pradera	Pradera de Distichlis humilis	13.5
	Pradera de Sarcocornia pulvinata	22.5
	Pradera de Xenophyllum incisum	78.49
	Pradera de Zameiorcirpus atacamensis-Festuca hypsophilla	3.79
Total (ha)		851.17

Fuente: Arcadis, diciembre 2018d

Al suroeste del salar, asociada la laguna Jachucoposa se desarrollan tipos vegetacionales herbáceos azonales, correspondiente a Pradera de Sarcocornia pulvinata (22,5 ha), Pradera de Distichlis humilis (7,89 ha), Pradera de Zameioscirpus atacamensis y Festuca hypsophilla (3,79 ha), además de una unidad de Matorral de Frankenia triandra (10,35 ha). La vegetación de esta zona se origina debido al afloramiento de aguas en el sector noroeste de la Laguna, en donde se destaca la Vertiente Jachucoposa. (Las que desaparecen alrededor del año 2001 producto del descenso de niveles), por lo que la vegetación crece en torno a la quebrada Jachucoposa, cercanías del Salar y bordes de la Laguna Jachucoposa. Se encuentra compuesta por formaciones vegetacionales de bofedal y pajonal de distinta composición florística (Arcadis, diciembre 2018c) (ver Figura 4-61).

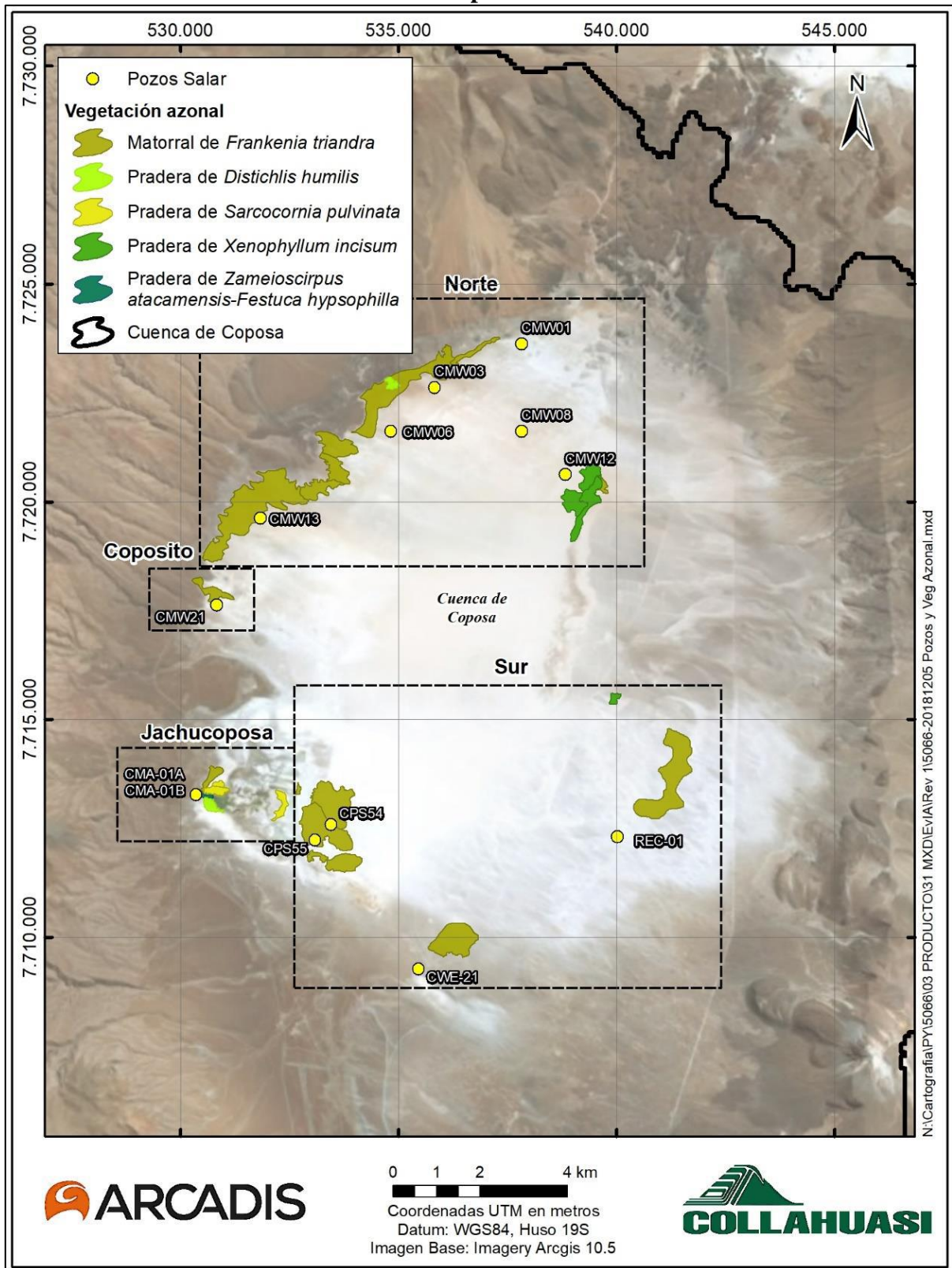
En la Tabla 4-14 se describen las principales formaciones vegetacionales del sistema azonal en torno al Salar de Coposa.

Figura 4-60: Vegas y acuíferos protegidos en cuenca de Coposa








Fuente: Arcadis, diciembre 2018c

Figura 4-61: Ubicación de la vegetación azonal potencialmente afectada en el salar de Coposa



Fuente: Arcadis, diciembre 2018d

Tabla 4-14: Formaciones Vegetales Azonales Sector Jachucoposa

Tipo Vegetacional Azonal	N° de unidades	Superficie (ha)	Descripción	Ubicación	Foto
Pradera de Zameioscirpus Atacamensis y Festuca Hypsophila	1	3,79	Estrato herbáceo dominado por las especies Zameioscirpus Atacamensis y Festuca Hypsophila, con alturas que no superan los 0,5 y 1 m respectivamente. Cobertura semidensa (50-75%)	Asociada a la vertiente Jachucoposa a una altura media de 3.750 msnm	
Pradera de Distichlis Humilis	2	13,5	Estrato herbáceo dominado por la especie Distichlis humilis, con altura inferior a los 0,05 a 0,1 m y cobertura muy abierta (5 a 10%).	Asociada a la vertiente Jachucoposa, a una altura media de 3.749 msnm	
Matorral de Frankenia triandra	16	732,89	Estrato arbustivo en forma de cojín semigloboso, de 0,05 a 50 m de altura, dominado por individuos de Frankenia triandra, con coberturas entre rala y abierta (1 a 25 %). Puede estar acompañada por un estrato herbáceo que alcanza hasta el 25% del recubrimiento, representada principalmente por Distichlis spicata.	Se distribuye de forma discontinua exclusivamente en los sistemas salinos de la cuenca de Coposa, especialmente asociado a planicies salinas, a una altitud media de 3.755 msnm	
Pradera de Sarcocornia pulvinata	3	22,5	Estrato herbáceo dominado por Sarcocornia pulvinata, cuya altura se encuentra entre los 0,20 y 0,50 m, y coberturas entre muy abierta y abierta (5 a 25%). Entre las especies acompañantes se encuentran las herbáceas Oxychloe andina, Festuca rigescens y Phylloscirpus acaulis.	Habita únicamente en sistemas azonales salinos de Coposa, específicamente en el sector sur oeste, a una altitud media de 3.742 msnm.	
Pradera de Xenophyllum incisum	5	79,27	Estrato arbustivo dominado por la especie Xenophyllum incisum, cuya altura se encuentra entre los 0,20 y 0,40 m, y cobertura rala a semiabierto (1-50 %).	Se ubica en el sector de Coposa a una altura media de 3.818 msnm.	

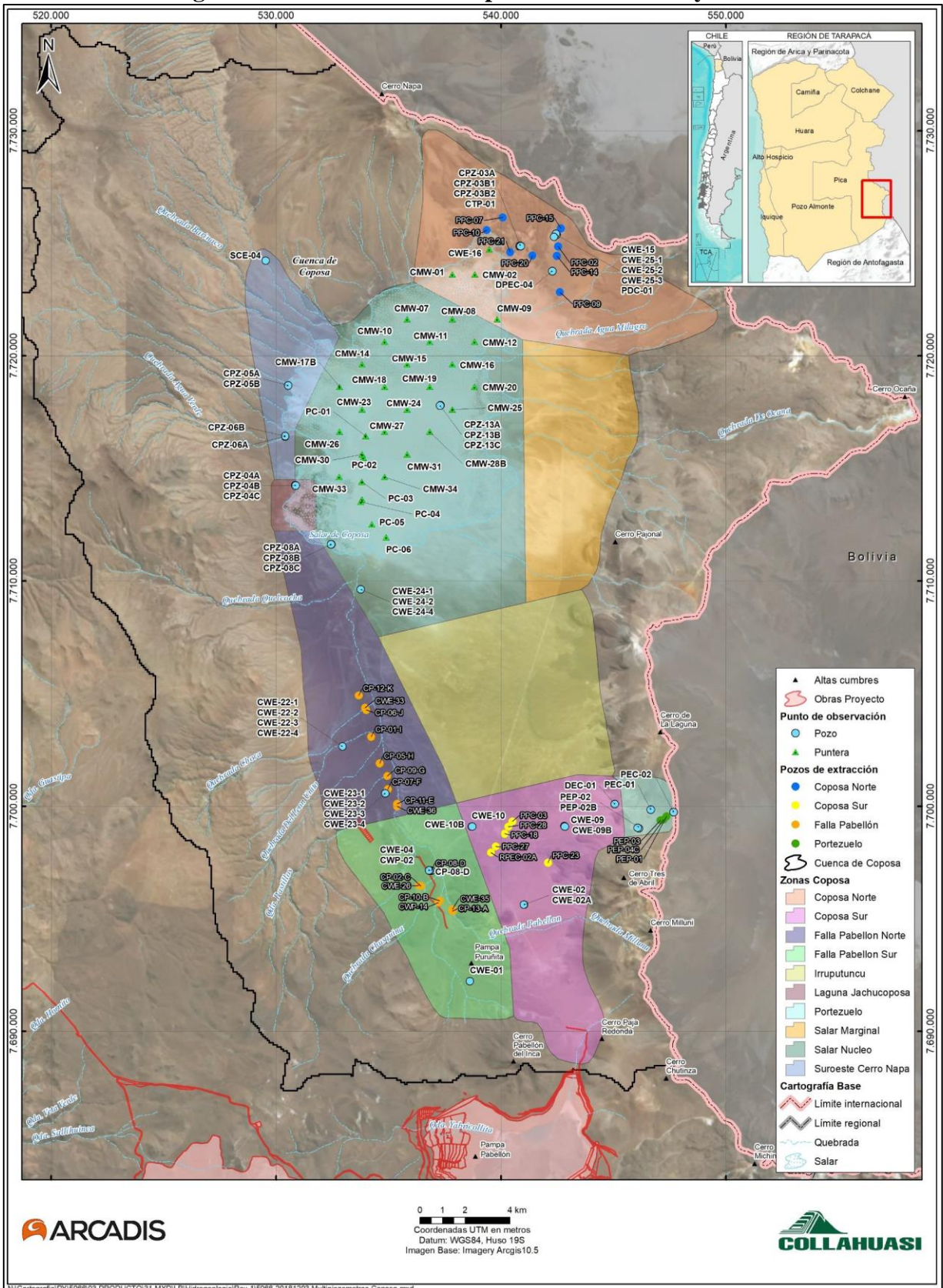
Fuente: Elaboración propia basado en Arcadis, diciembre 2018c

4.2.1.7. Pozos de Monitoreo y bombeo

En la Figura 4-62 se presenta la ubicación de los puntos de observación, los que se clasifican en punteras y pozos. Además, se presentan los pozos de bombeo activos y no activos clasificados de acuerdo al sector en que se localicen en la cuenca de Coposa. Los sectores de la cuenca de coposa se clasifican en Coposa Norte, Coposa Sur, Falla Pabellón Norte, Falla Pabellón Sur, Irruputuncu, Laguna Jachucoposa, Portezuelo, Salar Marginal, Salar Núcleo y Suroeste Cerro Napa. Por otro lado, los pozos de bombeo se clasifican en cuatro grupos denominados Coposa Norte, Coposa Sur, Falla Pabellón y Portezuelo.

El detalle de cada pozo ya sea de bombeo, puntera o de observación, se presenta más adelante en las secciones 4.2.4.1 y 4.2.4.2.

Figura 4-62: Ubicación de los pozos de monitoreo y bombeo



Fuente: Arcadis, diciembre 2018b

4.2.2. Desarrollo de la Evaluación Ambiental

De manera similar a la Compañía Minera Cerro Colorado, la Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi se ha sometido varias veces al SEIA, en el marco de modificar y ampliar en producción y en tiempo la operación del proyecto minero que se lleva a cabo desde el año 1995 en Tarapacá, y que conlleva instalaciones en las cuencas Michincha y Coposa, y ductos que recorren desde el sector cordillera hasta la zona del Puerto de Patache en la ciudad de Iquique. Los recursos hídricos para la operación de la planta son extraídos principalmente de la cuenca del salar de Coposa, y complementados con caudales del acuífero de la cuenca de Michincha y aguas del desaguado del rajo minero. En la actualidad⁸ la compañía tiene derechos de aprovechamiento de agua de carácter consuntivo por un total de 1.040 L/s, de los cuales 174 L/s corresponden a derechos eventuales, que le fueron otorgados posterior a que la cuenca de Coposa fuera declarada Área de Restricción el año 2001.

Los proyectos que modifican los caudales de explotación de las aguas subterráneas en la cuenca de Coposa son los siguientes:

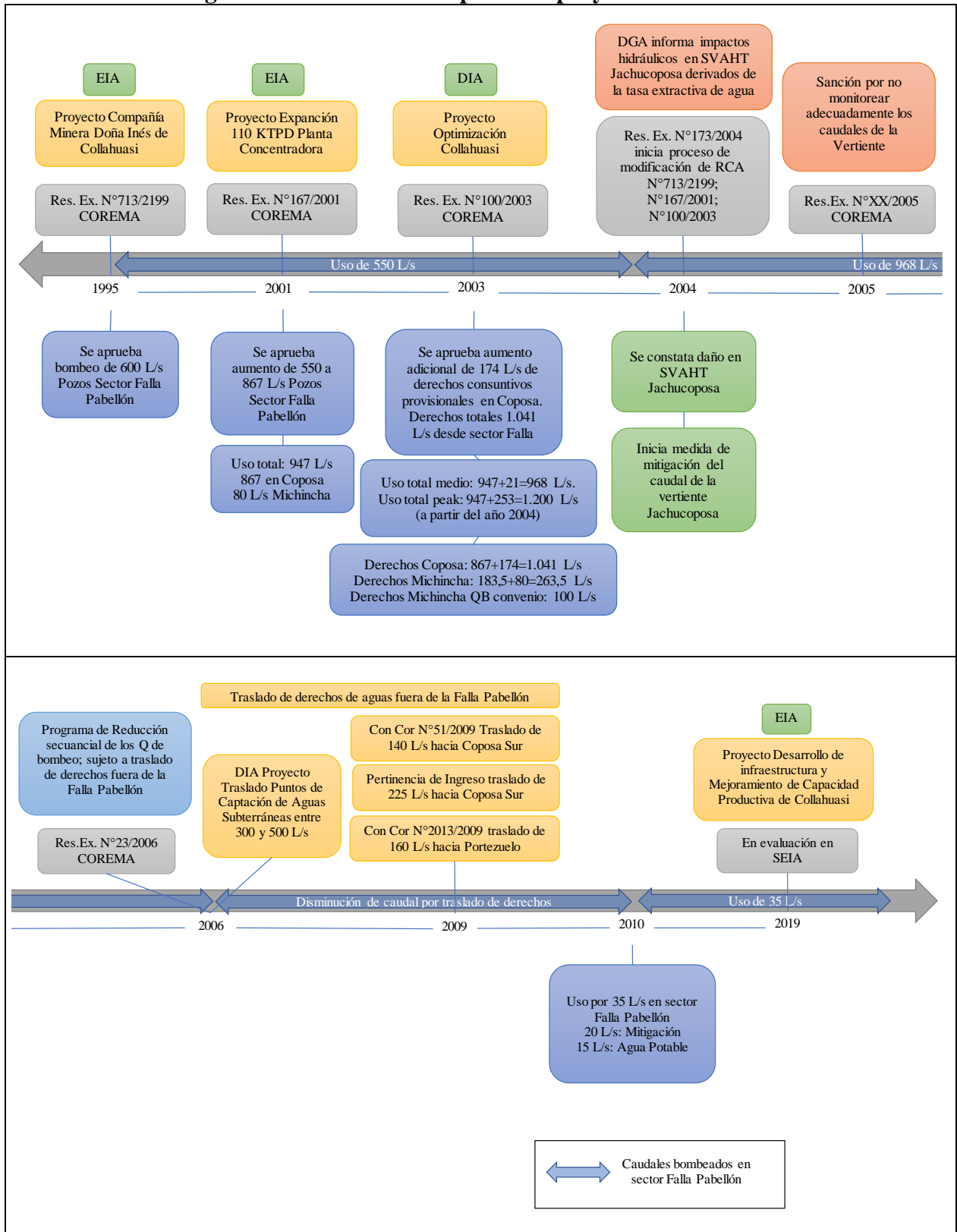
- EIA del proyecto “Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi”, aprobado por la COREMA de Tarapacá mediante la Res. Ex N°713/2199 en diciembre de 1995
- EIA del proyecto “Expansión 110 KTPD Planta Concentradora Collahuasi”, aprobado por la COREMA de Tarapacá mediante la Res. Ex N°167/2001 en septiembre de 2001
- DIA del proyecto “Optimización Collahuasi” aprobada por la COREMA mediante la Res. Ex N°100/2003 en agosto de 2003
- DIA Proyecto “Traslado Puntos de Captación de Aguas Subterráneas en Cuenca Coposa” aprobado mediante la Res. Ex. N°144/2006 en el año 2006
- EIA del proyecto “Desarrollo de Infraestructura y Mejoramiento de Capacidad Productiva de Collahuasi”, presentado en 2019 y que aún se encuentra en evaluación.

Por otro lado, la Compañía fue sancionada el año 2005 por no monitorear adecuadamente los caudales de la vertiente Jachucoposa asociados al Proyecto de Expansión 110 KTPD Planta Concentradora Collahuasi. A raíz de ese acontecimiento, se llevó a cabo un procedimiento de modificación de las tres RCAs que aprueban los proyectos de expansión y modificación de la CMDIC de los años 1995 (Res. Ex N°713/2199), 2001 (Res. Ex N°167/2001) y 2003 (Res. Ex N°100/2003), a efectos de establecer, ambientalmente, el máximo caudal a extraer de la cuenca Coposa y establecer las medidas de mitigación que fueran procedentes para evitar afectación ambiental del área intervenida.

En la Figura 4-63Figura 4-21 se presenta una línea de tiempo con los principales hitos dentro de los proyectos y resoluciones ingresados al SEIA de la CMDIC.

⁸ Diciembre, 2020.

Figura 4-63: Línea de tiempo de los proyectos de CMDIC



Fuente: Elaboración propia

4.2.2.1. EIA Proyecto “Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi” (CMDIC, 1995)

Este proyecto fue ingresado al SEIA el 22 de junio de 1995, tuvo una Adenda con aclaraciones a las observaciones del Comité Técnico (Servicios Públicos), junto con varias reuniones entre la compañía y los Servicios Públicos en las cuales se explicó el proyecto y se aclararon aspectos relevantes. Además, se realizaron exposiciones para informar del proyecto a la ciudadanía. El proyecto fue aprobado por la COREMA de Tarapacá el 27 de diciembre de 1995 mediante la Resolución Exenta N°713/2199.

Descripción del EIA (CMDIC, 1995).

Este proyecto se diseñó para producir y comercializar 380.000 toneladas anuales de cobre fino, durante una vida útil mínima de 25 años, con una inversión estimada alrededor de 1.500 millones de dólares.

Durante el primer año de operación el proyecto proyectaba una demanda media total de agua de 650 L/s la que luego sería del orden de 600 L/s aproximadamente. El consumo máximo de agua en situaciones puntuales, como la puesta en marcha o el reinicio luego de detenciones importantes, se estimaba en 1.050 L/s. La fuente de abastecimiento de agua sería subterránea, y se ubicaría en la cuenca del salar de Coposa.

En aquel año, Collahuasi poseía solo derechos de exploración de agua subterránea en el Salar de Coposa y se encontraba constituyendo los respectivos derechos de aprovechamiento. Se calculaba que en la cuenca la capacidad máxima instalada sería de 1.400 L/s (cantidad de derechos de aprovechamiento solicitados en total).

La localización del proyecto se dividió en tres grandes áreas que corresponden al sector “cordillera”, “mineroducto” y “puerto”. El de interés en esta tesis es Cordillera, ubicado en el altiplano chileno y que, geográficamente corresponde a la ubicación de los tres yacimientos mineros (Rosario, Ujina y Huinquentipa) y las instalaciones para su desarrollo: plantas de procesamiento, pilas de lixiviación, botaderos, depósitos de relaves, campamento, estaciones de bombeo de agua y otras.

La extracción de agua se haría desde un campo de pozos que se ubicaría al sur del salar de Coposa con un total de 14 pozos, de los cuales 6 a 7 operarían de manera simultánea para abastecer la planta en operación, y 4 a 5 para suplir demandas peak durante la puesta en marcha o luego de períodos de detenciones. Los pozos restantes serían de reserva en caso de falla, como por ejemplo si ocurriesen derrumbes u otros eventos similares.

El EIA, dentro de lo comprendido en la línea base, incluía la descripción geológica, hidrogeológica e hidrológica en el sector de la cuenca del Salar de Coposa, junto con una descripción de la vegetación del mismo sector. En ella se describió la flora y número de especies presente en el lugar y las unidades vegetacionales, que incluían pajonales, tolares y bofedales. Para dicho estudio se utilizó la metodología de la Escuela de Zuruch-Montpellier (Braun-Blanquet 1979). Como conclusiones se recomendó realizar una profundización en los estudios tendientes a generar efectivos planes de manejo y mitigación para permitir la conservación de la riqueza y diversidad de especies y del ecosistema en general.

El abastecimiento de agua proveniente de la extracción subterránea mediante bombeo desde los pozos se identificó como una posible fuente de impacto del proyecto. Dentro de las componentes ambientales susceptibles de recibir impactos se incluyó la calidad y cantidad del agua superficial y la calidad y cantidad del agua subterránea, ambas calificadas con una importancia alta, dado que

son recursos para la flora y fauna existente en los bofedales, vegas, vertientes y lagunas. La flora y fauna terrestre también fue calificada como de alta importancia.

En cuanto a los efectos que podrían provocarse, se identificó la depresión de la napa en la cuenca de Coposa, esto dado que la cantidad de agua extraída excedería la recarga natural de agua, lo que a su vez causaría un indirecta reducción en las vertientes originadas por afloramientos de aguas subterráneas que abastecían a los bofedales y vegas del salar, junto con una gradual disminución en la laguna. Esto tendría como consecuencia un impacto sobre las comunidades bióticas que se desarrollan en dichas aguas. De acuerdo al EIA, este impacto no era fácil de evaluar, ya que los sistemas de salares sufren variaciones naturales asociadas a los ciclos variables de precipitaciones y en esos años no se conocía completamente la ecología de dichos hábitats.

La cuantificación de los efectos señalados se realizó mediante la aplicación de modelos hidrogeológicos. De acuerdo a estos, se esperaba que el bombeo en la cuenca de Coposa generara un descenso progresivo de los niveles del agua subterránea, hasta comenzar a afectar las lagunas del salar, aproximadamente en el tercer año de operación, y consecuentemente habría una disminución del caudal de la vertiente de Jachucoposa, indicando que si no se mitigaba, el impacto derivado de estas situaciones sería la disminución y probable pérdida de los hábitats y comunidades existentes en las lagunas afectando a varias especies de fauna. Este impacto es calificado como de importancia mayor.

Como manera de mitigar el impacto producto del bombeo se propuso la alimentación artificial de la vertiente de Jachucoposa con recursos hídricos de similares características, en el caso que el monitoreo ambiental acusara una reducción significativa del caudal natural de recarga de la laguna Jachucoposa. Con esta medida los ecosistemas relacionados (incluyendo flora y fauna nativa) se verían ambientalmente protegidos. Para realizar esto, se usaría agua subterránea de la misma cuenca. El bombeo para la alimentación artificial continuaría después del cierre de la mina, hasta que la napa recuperase sus condiciones naturales, tiempo que se estimaba aproximadamente de 5 años.

Se señaló que dentro del seguimiento ambiental para el sector Coposa se incluiría meteorología, calidad de agua superficial y subterránea, escurrimientos superficiales en la vertiente Jachucoposa, nivel freático, nivel y espejo de agua, flora y fauna terrestre y acuática, estos últimos se controlarían cada 3 años, la meteorología con frecuencia de una hora y los demás parámetros entre 2 a 4 veces al año (CMDIC, 1995).

Proceso de Evaluación de Impacto Ambiental (CMDIC, 1995).

Posterior a la EIA se realizaron las observaciones de los OAECA. Dentro de las componentes agua y vegetación se pronunciaron el SAG, la CONAF, la DGA, el SERNAGEOMIN y el INDAP.

En ellos se hizo referencia a que la compañía aún no obtenía la aprobación de la solicitud de derechos por los 1.400 L/s de agua subterránea y se cuestionó la factibilidad de presentar una EIA bajo dicha circunstancia. Se pidieron aclaraciones y una mayor profundización en la información entregada en torno a la vegetación, y sobre cómo se realizó el estudio en relación a la elección de localidades de muestreo. Dentro de la descripción hidrogeológica, se solicitó que se aclarara la dirección de los flujos subterráneos y se pidió esclarecer parte de los datos utilizados en el modelo hidrogeológico.

En cuanto a las medidas de mitigación se solicitó un mayor desarrollo y detalle en los mecanismos de recarga en la vertiente de Jachucoposa. Además, se pidió que se verificara el cumplimiento de los procedimientos y monitoreos con respecto al uso del agua tanto superficial como subterránea,

dada su alta importancia y que se estableciera de forma clara y precisa el plan de monitoreo en la etapa de abandono del proyecto. En particular, uno de los comentarios señaló que no se debería ignorar el conocimiento autóctono existente en la etnia Aymara para la recuperación y manejo de bofedales.

En general, las respuestas de la compañía se refirieron a que las descripciones solicitadas en los pronunciamientos ya se habían realizado en el EIA. Que con respecto a la solicitud de una mayor profundización de la información entregada sobre la vegetación señalaron que la línea base de la flora era totalmente adecuada y suficiente. En cuanto al plan de mitigación en la vertiente Jachucoposa indicaron que no se podía dar mayor profundización al funcionamiento técnico, dado que este se iría complementando a medida que se tuviera más conocimiento y monitoreo del sistema. En cuanto al plan de abandono, estuvieron de acuerdo en que se podía explicitar con mayor detalle, pero hicieron notar que no existía legislación que se refiriera específicamente a las obligaciones que debiese cumplir el proponente.

El 27 de diciembre de 1995 se emitió la Resolución Exenta N°713/2199 que aprobó favorablemente el EIA.

En la ficha del proyecto del e-SEIA se presentan documentos de este proyecto con información de seguimiento que incluyen meteorología, niveles freáticos, bofedales e implementación de actividades de mitigación

4.2.2.2. EIA Proyecto Expansión 110 KTPD Planta Concentradora Collahuasi (2001) (CMDIC, 2001).

La compañía Minera Doña Inés de Collahuasi presentó el 2 de marzo del año 2001 el EIA del Proyecto “Expansión 110 KTPD Planta Concentradora Collahuasi”, el que fue admitido al SEIA el día 5 de marzo del mismo año, de acuerdo a la letra i) del artículo 10 de la Ley N°19.300 y correspondiente a una modificación de un proyecto minero. En cuanto a la necesidad de elaborar una EIA, conforme al artículo 11 de la misma Ley, dado que el salar Coposa está considerado como sitio prioritario para la conservación de la diversidad biológica y el proyecto contemplaba el aumento de la tasa de extracción de agua subterránea desde la cuenca de este salar.

El proceso de evaluación tuvo cuatro instancias de observaciones de los Servicios Públicos, tres ICSARAs y tres Adendas con las respuestas respectivas.

En las observaciones de los Servicios Públicos, se pronunciaron el SAG, la DGA, la CONADI, la Ilustre Municipalidad de Pica y el SERNAGEOMIN, dentro de las componentes agua subterránea, ecosistemas, flora y vegetación. En cuando a las observaciones, luego de las tres Adendas, la mayoría se pronunció conforme, salvo la CONADI, que consideró que sus últimas solicitudes no fueron consideradas por la Compañía Minera.

Se realizó un proceso de participación ciudadana previo a la emisión de la EIA, y luego, otra instancia de observaciones ciudadanas dentro del plazo establecido del SEIA, en la que tuvo participación la Asociación de Propietarios Agrícolas y el CIEDE (Centro de investigación y Educación Ecológica).

Finalmente se presentó el Informe Técnico Final (o ICE) el que recomendaba la aprobación del proyecto. Luego, en la Resolución Exenta N°167/2001 del 13 de septiembre del 2001 se resolvió aprobar el proyecto favorablemente.

Descripción del EIA (Arcadis, 2001)

El Proyecto Expansión 110 KTPD Planta Concentradora Collahuasi (Arcadis, 2001) proyectaba aumentar la capacidad de beneficio de la planta concentradora de 60 mil a 110 mil ton, con el propósito de aumentar la producción de cobre contenido en concentrados hasta los 350 mil - 410 mil toneladas por año. El Proyecto de Expansión 10 ktpd implicaba una inversión estimada en 600 millones de dólares y proyectaba una vida útil de 25 años. La etapa de construcción tendría una duración estimada de dos años, iniciándose el segundo semestre de 2001 y la operación expandida se iniciaría el año 2004.

Al año 2001 la operación utilizaba en promedio 550 L/s extraídos desde el campo de pozos ubicados al sur del salar de la cuenca del Salar Coposa, en la Falla Pabellón (en el EIA de 1995, se proyectó un caudal medio de 600 L/s, con un peak de 1050 L/s en ocasiones puntuales). El proyecto de expansión requería un aumento adicional de 397 L/s, de los cuales 317 L/s se extraerían desde el campo de pozos de Coposa, 30 L/s provendrían desde los drenajes de la mina, y 50 L/s desde agua subterránea de la cuenca de Michincha. Es importante notar que la compañía tenía derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas otorgados por la DGA por 867 L/s en Coposa y 264 L/s en Michincha.

En la línea base se hizo una descripción de la cuenca Coposa, el abastecimiento y descarga hídrica de la cuenca y los flujos subterráneos. Se describió el agua subterránea que afloraba en forma de vertiente (Vertiente Jachucoposa), la que presentaba un caudal medio histórico de 60 L/s y que constituía la recarga natural de la laguna Jachucoposa. Además, se describió la calidad del agua tanto superficial, como subterránea de la cuenca Coposa.

Se describió la vegetación en el sector mina-planta. Se registró un total de 37 comunidades hidromorfas que se agruparon en bofedales, vegas, pajonal hidromorfo y tolar hídrico, lo que se presentó en una cartografía. En particular, en el sector cercano a Jachucoposa, se observaron las formaciones de tipo bofedal, pajonal hidromorfo y tolar hídrico. Esta información se complementó con el estudio presentado por CMDIC en invierno de 1999 que determinó la cobertura vegetal en 10 sitios de monitoreo (parcelas), mediante el método Braun-Blanquet⁹. En él se estimó, en una de las parcelas localizada en el sector Jachucoposa, una cobertura de vegetación azonal total de 85%.

El impacto de las extracciones de agua subterránea se evaluó a través de un modelo hidrogeológico. Para su elaboración utilizaron información geológica e hidrogeológica actualizada hasta esa fecha. En los resultados de la simulación del modelo en Coposa, se mostró que un caudal de bombeo de 867 L/s arrojaba una depresión final mayor a 25 m en el sector de los pozos de bombeo CP7, CP5 y CP11, y de unos 18 m en el sector de los pozos CP-10 y CWP-14 durante el período de operación de 25 años. En el sector de Jachucoposa se proyectaba que, para los mismos 867 L/s de caudal de bombeo, en un período de 25 años, se produjese una disminución del caudal de la vertiente Jachucoposa desde el nivel promedio natural de 60 L/s hasta 42 o 43 L/s, es decir 18 L/s menos de caudal. Por otra parte, se observó que después de finalizado el bombeo, el caudal de la vertiente se recuperaría en forma natural, alcanzando más de 55 L/s en un lapso de unos 25 años.

Para mitigar la reducción de los caudales de las vertientes producto del bombeo de aguas subterráneas se estableció la medida de mitigación que consistía en recargar artificialmente, con aguas de la misma calidad, las vertientes Jachucoposa y Michincha. El ámbito del impacto en “la cantidad de aguas (caudales)” sería a nivel local y la relevancia de la componente fue calificada

⁹ Método de Braun- Blanquet consiste en básicamente en la toma de inventarios (muestreos) en comunidades homogéneas climáticamente y la asignación de un valor numérico (1 al 5) a los taxa encontrados para referir un índice de abundancia/cobertura, siendo 5 el valor más alto (Braun-Blanquet (1932; en Dansereau 1957)

como “Muy Alta”. La calificación del impacto ambiental se consideró BAJO y REVERSIBLE, esto dado que la evaluación se realizó considerando la implementación de la medida de mitigación. Esta medida (eventual) de mitigación sobre las vertientes se aplicaría durante el tiempo que fuese necesario hasta asegurar una recuperación de los caudales naturales de las vertientes, con respecto a sus valores promedios históricos.

Otra medida para evitar impactos en la flora y fauna consistió en la señalética que ya se encontraba instaurada en los sectores de interés, como por ejemplo en la laguna Jachucoposa, previniendo acciones que pudieran afectar la biota existente.

Dentro de la evaluación de impactos no se refirieron a la vegetación de Coposa, ya que solo se evaluaron los impactos generados en la vegetación que se vería directamente afectada por el emplazamiento de las obras del proyecto.

Collahuasi realizaba monitoreos permanentemente de los niveles freáticos, niveles de lagunas y caudales de vertientes en los salares de Coposa y Michincha con el objetivo de verificar en el tiempo que las extracciones de agua subterránea no ocasionaran abatimientos significativos. Para ello se estableció el plan de seguimiento de las variables ambientales relevantes, el que incluía el monitoreo de la calidad y el caudal de vertientes y quebradas, entre ellas la vertiente Jachucoposa (CSW-2) y Vertiente Coposa (Cerro Chusquiza CSW-5) con una frecuencia mensual o trimestral. Se monitoreaba la calidad del agua subterránea y niveles piezométricos, en particular en Coposa en los sectores del salar, con una frecuencia trimestral. Con respecto al agua en las lagunas se monitoreaba la superficie del espejo de agua, profundidad del cuerpo de agua en puntos establecidos en la Laguna Jachucoposa. Las mediciones de la laguna se realizaban semestralmente, en los meses de enero y agosto de cada año.

En cuanto al monitoreo de flora y fauna terrestre, se realizaba el seguimiento en la riqueza y cobertura de la vegetación en el Salar de Coposa. El monitoreo de flora consideraba la determinación de riqueza y cobertura mediante parcelas de monitoreo. La frecuencia del monitoreo era 2 veces al año en las temporadas de invierno y verano.

Proceso de Evaluación de Impacto Ambiental (CMDIC, 2001)

Con respecto a las observaciones de los servicios públicos, estas se centraron en pedir aclaraciones con respecto a los umbrales para implementar la medida de mitigación, y la definición de los caudales específicos de la medida, ubicación de las descargas y ubicación del pozo desde donde se extraería el agua. Se pidió establecer un plan de alerta temprana que permitiese monitorear la variables y predecir con antelación los efectos indeseados. Se piden aclaraciones con respecto a las medidas que se tomarían en el caso de que los niveles fueran afectados por eventuales sequías. Además, preguntaron cómo se verificaría la calidad del agua de reposición de las vertientes. Preguntan qué medidas de mitigación se realizarían en el caso que la vegetación de los salares de Coposa y Michincha se viese afectada.

Se pidieron aclaraciones con respecto a la afirmación de la compañía, que indicaba que el único impacto esperable producto del descenso del nivel freático de los salares sería una disminución de la vegetación. Por ello se solicitó la realización de un estudio para definir la relación entre la profundidad del nivel freático y su afectación al medio ambiente, incluyendo el efecto producido por el aumento del gradiente hidráulico entre las formaciones acuíferas superficiales, laguna o nivel saturado de las formaciones de vegas y bofedales existentes. Además, observaron que dado que los descensos del nivel freático estaban directamente relacionados con la disminución de los caudales

de las vertiente, se deberán establecer caudales mínimos asociados a descensos máximos tolerables en el acuífero.

También se hicieron observaciones (CONADI) en relación a que la intervención de salares debía evaluar el impacto que podría generar en la población (indígena) y sus actividades, así como usos y costumbres especialmente las actividades ancestrales de ganadería camélida (pastoreo).

En las Adendas, CMDIC argumentó que, el modelo realizado en la cuenca de Coposa permitió prever que el aprovechamiento de las aguas a las que tiene derecho produciría una disminución del caudal que era alumbrado por las vertientes, agregando que el modelo fue realizado desde un enfoque pesimista y que dichos cálculos se sustentaban en que el caudal de las vertientes dependía directamente de la posición del nivel del agua subterránea en el sector donde surgen.

Con respecto a los caudales mínimos asociados a descensos máximos tolerables la compañía afirmó que no era necesario aplicar el concepto de “descensos máximos tolerables” dado que CMDIC repondría el agua de la vertiente en el eventual caso que ella fuera afectada por el proyecto. En consecuencia, nunca existiría un mayor estrés hídrico que el que ya ha experimentado en forma natural el sistema vertiente-bofedal-laguna. CMDIC propuso mantener siempre los caudales de las vertientes en el rango entre el caudal promedio histórico (60 L/s) y el correspondiente a un 95% de probabilidad de excedencia (45 L/s). Dado lo anterior, se aclaró que el umbral para implementar el programa de mitigación era con respecto al caudal de la vertiente y no con relación al nivel freático.

En cuanto a las observaciones en relación a que la intervención en los salares debería evaluar el impacto que podría generar en la población y sus actividades, señalaron que en el Salar de Coposa no se observaban asentamientos indígenas, pero que el lugar si era utilizado para el pastoreo de animales durante ciertas temporadas. La mitigación del impacto en el pastoreo se incluía dentro de la medida de la recarga de agua de la vertiente Jachucoposa, junto con la instalación de abrevaderos para los animales.

Con respecto a la red de medición o monitoreo de las variables hidrológicas relevantes, se estableció en la última Adenda que se medirían los parámetros y variables de interés ambiental, lo que debería iniciarse al menos un año antes de la entrada en marcha del Proyecto de Expansión 110 ktpd Planta Concentradora Collahuasi.

Estas mediciones incluían:

- Elaboración de un plano batimétrico de las lagunas del salar Coposa asociadas a la vertiente de Jachucoposa.
- Instalación de uno o más instrumentos de medición continua de los niveles de la laguna asociada a las aguas de la vertiente Jachucoposa.
- Monitoreo de las aguas de la vertiente de Jachucoposa, de los siguientes parámetros: temperatura, pH, Conductividad Eléctrica y Caudal. Elaboración de mapas con las características físico-químicas de las aguas de la laguna asociada a la vertiente Jachucoposa y medición de las variaciones verticales de las características físico-químicas.
- Instalación de un sistema de medición de precipitación (pluviómetro), y un sistema de medición de la evaporación de las aguas de la laguna (evaporímetro) y del agua subterránea a través del suelo del salar (lisímetro).
- Construcción de al menos 2 pozos pequeños ubicados aguas abajo de la vertiente de Jachucoposa y en la zona de la laguna permanente asociada a esta vertiente. Uno de ellos para observación de niveles y muestreo de las aguas correspondientes al sistema superficial y el otro para el sistema profundo.

- Si la DGA otorgaba los permisos correspondientes, se construirían pozos de control stratigráfico ubicados en la zona de alimentación de la vertiente de Jachucoposa (zona protegida), los cuales serían habilitados para la observación de niveles y muestreo de aguas subterráneas.

Finalmente, con fecha 13 de septiembre de 2001 mediante la Resolución Exenta N°167/2001, la Comisión Regional del Medio Ambiente de Tarapacá resolvió calificar favorablemente el proyecto “Expansión 110 ktpd, Planta Concentradora Collahuasi” de la Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi SCM, bajo las condiciones establecidas dentro de la misma RCA, que consideraban las acciones del Plan de Mitigación, medidas para evitar impactos en la flora y fauna y las acciones que se debían aplicar en el Plan de Monitoreo (CMDIC, 2001).

4.2.2.3. DIA “Proyecto Optimización Collahuasi” (CMDIC, 2003)

El 26 de mayo de 2003 ingresó al SEIA la DIA del Proyecto “Optimización Collahuasi” de la CMDIC. Esta DIA consistía en una adaptación de la EIA del “Proyecto Expansión 110 KTPD Planta Concentradora Collahuasi” del año 2001 y en general mantenía las mismas instalaciones y medidas de mitigación. En ella se planteaba aumentar el caudal de explotación de aguas subterráneas y reducir en un año la operación del proyecto, de esta manera se extraería el mismo volumen de caudal aprobado en la EIA del año 2001. El inicio de la operación y explotaciones descritas en ambos proyectos se iniciarían el año 2004 (CMDIC, 2003).

El proyecto ingresa al SEIA de acuerdo al artículo 10 letra i) de la ley N°19.300, dado que se trata de una modificación de un proyecto de desarrollo minero. Es importante notar que de acuerdo a la Resolución N°909 de la DGA del año 1996, parte del acuífero de Coposa está delimitado como Zona de Prohibición, por lo que los pozos están ubicados fuera de esta zona. Además, mediante la Resolución N°655 del año 2002 se declara área de restricción para nuevas extracciones de aguas subterráneas del sector correspondiente a la cuenca del Salar de Coposa. Por este último motivo, el caudal adicional que se requería desde esta cuenca se solicitó como derechos de aprovechamiento de agua de carácter provisional.

Con respecto a la DIA se pronunciaron el SAG, la Gobernación Provincial de Iquique, la CONAF y la DGA, en relación a las variables agua y ecosistema y se realizaron dos procesos de Adendas¹⁰. Posterior a la segunda Adenda, solo se pronunció la DGA, de manera conforme, pero con condiciones para la compañía. Finalmente, en agosto del mismo año la DIA fue calificada favorablemente por la COREMA de Tarapacá.

Descripción de la DIA (Arcadis, 2003)

El Proyecto “Optimización Collahuasi” tenía como objetivo optimizar el proyecto “Expansión 110 ktpd Planta Concentradora Collahuasi”, aprobado el año 2001, dado que nuevos antecedentes geológicos y mineralógicos indicaban que el mineral que se extraería desde la mina Rosario presentaba una menor dureza respecto de lo previsto originalmente, lo que permitía tratar una cantidad mayor de mineral en las instalaciones de proceso de dicho proyecto sin requerir modificaciones. Dado esto es que se contemplaba llevar adelante una optimización del caso base (Expansión 110 ktpd Planta Concentradora Collahuasi), que permitiera aumentar la tasa de procesamiento de mineral de sulfuros de cobre, alcanzándose un promedio anual de 126 ktpd.

El proyecto implicaba aumentar el suministro de algunos insumos en la planta concentradora (para tratar mayor cantidad de mineral), entre ellos el suministro de agua fresca a partir de fuentes de

¹⁰ En E-SEA solo está disponible el documento de la Adenda N°1.

agua complementarias en las cuencas de Michincha y Coposa. En efecto, el proyecto preveía un consumo medio de agua fresca de 0,66 m³ por cada tonelada de mineral procesado (m³/ t), disminuyendo el consumo de 0,74 m³/ t proyectado en el caso base. Con esta tasa optimizada de consumo de agua fresca, el procesamiento de un promedio anual de 126 ktpd de mineral implicaba una demanda promedio anual de agua fresca de 968 L/s.

Para mantener el volumen total de agua fresca aprobado para el caso base (947 L/ s durante un período de 25 años, equivalente a aproximadamente 746,6 millones de m³), el proyecto de Optimización Collahuasi consideraba aumentar el consumo medio de agua a 968 L/s y reducir la vida útil del proyecto a 24 años. Para suministrar el consumo adicional de agua fresca respecto del caso base (21 L/s como promedio anual y hasta un máximo de 253 L/s adicionales), Collahuasi disponía de las siguientes fuentes de abastecimiento:

- Derechos provisionales en trámite de redacción de la resolución otorgante por parte de la DGA por 174 L/ s en la cuenca de Coposa, los cuales se sumarían a los derechos otorgados por 867 L/ s en esta cuenca, ya considerados en el caso base, alcanzando un total de 1041 L/s.
- Collahuasi solicitaría a la DGA el traslado de los puntos de captación de los derechos provisionales de Coposa (174 L/s), hacia los pozos de producción existentes de donde serían extraídos.
- Derechos consuntivos permanentes por 263,5 L/s en la cuenca de Michincha, de los cuales 80 L/s ya estaban considerados en el caso base, quedando un remanente de 183,5 L/s para el proceso de optimización.
- En la cuenca Michincha se disponía además de 168,6 L/s de derechos consuntivos pertenecientes a la Compañía Minera Quebrada Blanca, de los cuales 100 L/s fueron materia de convenio entre las Compañías para ser utilizados por Collahuasi.

La identificación y predicción de los impactos fueron realizadas utilizando los modelos hidrogeológicos de simulación presentados a la Autoridad Ambiental durante el proceso de aprobación del EIA correspondiente a la Expansión 110 KTPD. Sin embargo y en forma previa a realizar la evaluación de los impactos, a dichos modelos se les incorporó la nueva información de bombeos y de niveles de las aguas subterráneas, procediéndose a efectuar una recalibración.

Para evaluar la magnitud del impacto, se consideró el escenario extremo, hipotético, en que se extraería permanentemente el caudal máximo (1200 L/ s) proveniente desde ambas cuencas por un período de 20 años (período en que se alcanzaría el volumen total equivalente al caso base).

Se declara que no habría efectos adversos significativos sobre la cantidad y calidad de los recursos naturales renovables, incluidos suelo, agua y aire, lo que justificaba la presentación de una DIA.

Se evaluó por la CMDIC que la condición de los sistemas hidrobiológicos de los salares de Coposa y Michincha no se vería sensiblemente modificada o alterada respecto del caso base, ya que se mantendrían los mismos volúmenes de extracción de aguas que fueron definidos en el marco del proyecto anterior. Adicionalmente, el Proyecto Optimización Collahuasi tenía considerado mantener las medidas de mitigación de reposición de caudales para mantener cada vertiente por sobre los valores umbrales acordados en la RCA. Lo anterior aseguraría el caudal de las vertientes, y la mantención de la diversidad biológica.

Dentro de los compromisos ambientales voluntarios se incluyó controlar periódicamente la evolución de las lagunas y vertientes aplicando el programa de monitoreo aprobado en la RCA anterior, y verificar la efectividad de las medidas de mitigación, junto con informar oportunamente

a la autoridad cualquier situación o condición relevante que difiera de lo previsto, a fin de acordar las medidas complementarias que permitieran evitar efectos ambientales significativos.

Proceso de Evaluación de Impacto Ambiental (CMDIC, 2003)

Los pronunciamientos de los OAECA se refirieron principalmente a la calibración del modelo hidrogeológico, las medidas de mitigación y de seguimiento.

Se solicitó por parte de los órganos que se actualizaran las medidas de mitigación de acuerdo al nuevo escenario de bombeo. En particular aclarar cómo sería el monitoreo de las tasas de bombeo, cuál sería la calidad del agua de reposición para ambas vertientes y la ubicación de los pozos de reposición de agua.

Se pidió esclarecer cuáles serían los pozos a los que se trasladarían los nuevos derechos de agua provisionales solicitados en la cuenca de Coposa.

Se observó que la información entregada de varios aspectos del modelo hidrogeológico era insuficiente, y que la CMDIC debía considerar una nueva recalibración debido a que el titular informó que el modelo no representaba adecuadamente las variaciones estacionales, en particular para el período previo a la intervención antrópica de las vertientes.

Dentro de las Adendas, la compañía se refiere a que tal como lo habían presentado en la DIA, se mantendría la medida de reposición del caudal en la vertiente Jachucoposa de la misma manera en que se había acordado en la RCA del “Proyecto Expansión 110 KTPD Planta Concentradora Collahuasi”. Dicha medida sería controlada y vigilada por un plan de alerta temprana, bajo el criterio del valor umbral, el que no debería ser inferior al caudal mensual con probabilidad de excedencia de 95% equivalente a 45 L/s. En cuanto al periodo de tiempo de aplicación de la medida de mitigación, esta si presentó modificaciones con respecto a la establecida el año 2001, ya que originalmente la medida de reposición de agua (15 L/s) debería iniciarse el año 2018 e interrumpirse el año 2032, pero de acuerdo a la simulación del nuevo escenario del proyecto optimizado, la medida se adelantaría al año 2012 finalizando el año 2035, considerando el mismo caudal de reposición de 15 L/s.

Con respecto al modelo hidrogeológico la compañía informó que se había incluido la nueva información recopilada posterior a la RCA del 2001, con la cual se realizó la recalibración del modelo.

La última Adenda solo fue visada por la DGA, servicio que se pronunció conforme, pero señalando varias condiciones que la Minera debía cumplir posterior a la aprobación del proyecto. Estas condiciones incluían complementar el monitoreo de los recursos hídricos existentes en vertientes, lagunas y acuíferos, mejorando cobertura y precisión de los sistemas de toma de datos; evaluar con mayor precisión la hipótesis de conectividad entre lagunas y acuíferos en cuenca Michincha y Coposa; implementar junto al monitoreo satelital de las lagunas, un sistema de control de profundidad y fluctuaciones estacionales e interanuales en su área de cobertura, estableciendo parámetros hidrobiológicos de alerta, junto con mejorar las secciones de aforo de las vertientes, con el objetivo de cautelar el mantenimiento de condiciones ecológicas compatibles con el proceso de optimización.

Finalmente, mediante la Resolución Exenta N°100/2003 del 21 de agosto de 2003, se calificó favorablemente el Proyecto “Optimización Collahuasi” en base a lo descrito en la DIA, aclaraciones y compromisos de las respectivas adendas y observaciones de los Servicios Públicos.

4.2.2.4. Modificación de las Res Ex N°713/2199, Res Ex N°167/2001 y Res Ex N°100/2003 mediante la Res Ex N°23/2006 (2004-2006)

De acuerdo con el seguimiento ambiental, revisión de los informes de monitoreo de la compañía y análisis de la información hidrogeológica, en agosto de 2004 la DGA informó que, en el sector del humedal del Salar de Coposa, se estaban produciendo impactos hidráulicos derivados de la tasa extractiva de agua subterránea y que la magnitud de las afecciones y los antecedentes recopilados indicaban que podrían seguir en aumento de manera tal de poner en peligro el ecosistema vinculado al humedal. A raíz de lo anterior, en noviembre del 2004 se informó esta situación a la COREMA, los que resolvieron dar inicio, formal, a un procedimiento de investigación. Ello, a efectos de modificar y/o adecuar las resoluciones que calificaron los proyectos aprobados por las Res. Ex. N°713/2199 del 27 de diciembre de 1995 que aprobó el EIA correspondiente al “Proyecto Minero Collahuasi”; Res. Ex N°167/2001 del 13 de septiembre de 2001 que aprobó el EIA correspondiente al Proyecto “Expansión 110 KTPD, Planta Concentradora Collahuasi” y Res. Ex N°100/2003 del 21 de agosto de 2003 que aprobó el proyecto “Optimización Collahuasi”, dándole a Collahuasi un plazo de 30 días hábiles para presentar sus descargos. (CMDIC, 2001)

El procedimiento de investigación consideró las siguientes temáticas:

- *Que el 15 de septiembre de 2004 se inició la mitigación de la vertiente Jachucoposa;*
- *Que, en el sector del humedal del Salar de Coposa, se estaban produciendo impactos hidráulicos derivados de la tasa extractiva de agua subterránea que implicaba una importante alteración de la situación de la línea base;*
- *Que la magnitud de las afecciones y los antecedentes recopilados indicaban que éstas seguirían en aumento de manera tal de poner en peligro el ecosistema vinculado al humedal;*
- *Que, por otro lado, los estudios previos subestimaron el caudal natural de la vertiente Jachucoposa.*
- *Que los impactos advertidos se habían registrado a los 5 años de explotación del recurso para una tasa de extracción menor a la autorizada, siendo que éstos se visualizaban en un horizonte no inferior a los 20 años según consta de los antecedentes proporcionados por la CMDIC.*
- *Que los estudios y análisis indicaban que el sistema hidrodinámico del Salar de Coposa había demostrado un comportamiento hidráulico e hidrogeológico más restrictivo que el inicialmente previsto.*
- *Que las evaluaciones realizadas previas a la explotación sobreestimaron la resiliencia del acuífero ante la tasa extractiva de agua subterránea actual.*
- *Que los estudios realizados por la DGA de la Región de Tarapacá señalaban que las variables ambientales del proyecto, en lo que tenían relación con los efectos de la extracción de agua del Salar de Coposa, no habían evolucionado conforme a lo previsto en los estudios*

Por todo lo anterior, era deber de la Comisión Regional del Medio Ambiente adecuar las resoluciones de calificación ambiental a efectos de establecer el comportamiento de la cuenca; determinar los máximos niveles permisibles de extracción del recurso y determinar la pertinencia de establecer otras medidas de mitigación además de las que ya estaban establecidas.

El 9 de diciembre de 2004, mediante la Res. Ex N°173/2004 se inició el procedimiento para modificar y adecuar las resoluciones N°713/2199 de 27 de diciembre de 1995, N°167/2001 del 13

de septiembre de 2001 y N°100/2003 del 21 de agosto de 2003 a efectos de establecer, ambientalmente, el máximo caudal a extraer de la cuenca Coposa y establecer medidas de mitigación que fueren procedentes para evitar afectación ambiental del área intervenida.

La Res. Ex. N°23/2006 de la COREMA Primera Región estableció un límite de extracción de agua desde Coposa de 780 L/s como promedio mensual (teniendo disponibles en forma puntual los 1.041 L/s de derechos), sujeto a que Collahuasi aplicara un plan de gestión hídrica (que incluyera el traslado de los puntos de captación) que tuviera como resultado una recuperación del caudal natural de la vertiente Jachucoposa a una tasa de 5 L/s por año (medido cada 2 años según Res. Ex. N°125/2008)

En el marco de este proceso se resolvió establecer un programa de reducción secuencial de los caudales de captación de agua en los pozos actualmente en uso.

Esta reducción consideraba los siguientes caudales máximos a extraer (Arcadis, 2019):

- a) 750 L/s promedio mensual hasta el 31 de diciembre del 2007;
- b) 650 L/s promedio mensual entre el 1 de enero de 2008 y el 31 de diciembre de 2008;
- c) 400 L/s promedio mensual entre el 1 de enero de 2009 y el 31 de diciembre de 2010;
- d) 300 L/s promedio mensual entre el 1 de enero de 2011 en adelante.

Dicho programa de reducción se suspendería, en la etapa en que se encontrara, en caso de que Collahuasi:

- a) Traslada derechos desde su actual batería de pozos hacia fuera de la Falla Pabellón.
- b) Y redujera efectivamente la extracción en la Falla Pabellón en 300 L/s en forma permanente, en relación con el nivel de explotación actual.
- c) Además, se podrían extraer 30 L/s adicionales a los autorizados desde fuera de la Falla Pabellón, cuando se cumplan las condiciones anteriormente señaladas, caso en el cual Collahuasi debería trasladar fuera de la Falla un total de 100 L/s adicionales.

Finalmente, la decisión tomada por Collahuasi fue trasladar parte de sus derechos de agua subterránea fuera de la Falla Pabellón, a través de un proyecto que describía el cambio de los pozos de captación lo que implicaba habilitar nuevos pozos en la cuenca de Coposa. Lo anterior se dio lugar en la DIA del año 2006 del proyecto “Traslado de Puntos de Captación de aguas subterráneas en Cuenca Coposa”, junto con acuerdos de pertinencia.

4.2.2.5. Sanción a CMDIC (2004-2005) (CMDIC, 2001)

El 28 de julio de 2005 se sancionó a la CMDIC con una multa de 150 Unidades Tributarias Mensuales, por no monitorear adecuadamente los caudales de la vertiente de Jachucoposa asociados al Proyecto “Expansión 110 KTDP Planta Concentrado Collahuasi”. Dicha sanción fue la culminación de un proceso que inició con la presentación de los cargos hacia la Compañía Minera dado que se notificó el incumplimiento a la Res.Ex. N°167/2001 “Expansión 110 Planta Concentradora Collahuasi” y su posterior optimización (CMDIC, 2001).

Dentro de los cargos se señaló que, las condiciones establecidas en las RCAs suponían mantener los caudales de la vertiente Jachucoposa por sobre los valores umbrales establecidos, pero se verificó que la vertiente se mantuvo con caudales inferiores a los 45 L/s (valor umbral mínimo) por un período no inferior a un año. Se estableció, además, que el caudal real de la vertiente a junio de 2004 era de 30 L/s y no 60 L/s como informaba la compañía. Incluyendo además que, la merma de los caudales de la vertiente de Jachucoposa estaba considerada hacia el final de la vida útil del

proyecto y no antes del quinto año como en realidad sucedió. Por lo que, el incumplimiento de la RCA tuvo relación con que el titular del proyecto no monitoreó adecuadamente los caudales de la vertiente, lo que tuvo como consecuencia que estos se mantuvieran por debajo de los niveles establecidos y no se informara a la COREMA respecto de impactos ambientales no previstos.

Por su parte, la Compañía solicitó la absolución de los cargos argumentando que en las evaluaciones ambientales si habían previsto el impacto sobre la disminución de los niveles de agua de la vertiente Jachucoposa., y que la COREMA ya había tomado conocimiento de los hechos investigados en julio de 2004 fecha en que la DGA realizó mediciones a la vertiente que dieron cuenta de valores de caudal inferiores a los informados por la empresa. Motivo por el cual, mediante la Res. Ex. N°173/2004 de diciembre de 2004, ya se había iniciado el proceso para modificar y adecuar las RCA involucradas, existiendo ya un pronunciamiento de la COREMA.

Por el motivo anterior la CMDIC tomó medidas para revisar los informes emitidos sobre las mediciones a la vertiente y con fecha 15 de septiembre de 2004 inició la implementación de la medida de mitigación que consistía en reponer los caudales de la vertiente Jachucoposa.

Como defensa hacia los cargos efectuados sobre la CMDIC, se señaló que Collahuasi había dado cumplimiento en todo momento y de buena fe, de las medidas de seguimiento y obligaciones establecidas por las RCAs. Que, además, realizó el seguimiento permanente a todas las variables de monitoreo ambiental establecidas y particularmente de los caudales de la vertiente Jachucoposa. En dicho sentido se señaló que, si bien era cierto que hubo algunas mediciones erróneas en el caudal de la vertiente, dicha situación fue causada única y exclusivamente por la fortuita descalibración del molinete utilizado para los aforos y que dicha descalibración no resultaba apreciable a simple vista. Que las condiciones del vertedero en donde se efectuaban las mediciones impedían detectar algún cambio en el caudal de agua que pasaba por el mismo. Se señaló que los vertederos presentaban un grado de deterioro en sus superficies y muros laterales, por lo cual existían infiltraciones restando confiabilidad a la información obtenida a partir de ellos, en donde turbulencias causadas por la rugosidad de la superficie del vertedero o por el simple efecto del viento, llevaban a diferencias de importancia en las mediciones. En el mismo sentido se señaló que existía un sistema integrado de seguimiento ambiental, y que las demás variables no mostraron variaciones que hicieran sospechar alguna diferencia entre el caudal medido y el caudal real. Además, el titular señaló que no se determinó la existencia de un daño ambiental.

Como un alegato final, la compañía solicitó la aplicación de las normas de prescripción establecidas para las faltas, dado que ya habían transcurrido más de 6 meses desde la fecha en que la COREMA tuvo conocimiento del hecho.

En cuanto a la DGA, ésta sostuvo su postura en relación a la infracción imputada al titular. Con respecto a la descalibración del molinete, la DGA señaló que dichas mediciones se habían dado por un plazo no inferior a un año, añadiendo que en un oficio anterior ya se había establecido que “era evidente que existía una disminución muy significativa del caudal de la vertiente por simple apreciación visual de la altura del agua y las marcas que ha dejado el agua en el pasado en las paredes del vertedero”, además “... el año 1998 la altura del agua registrada era de 10 cm, mientras que el año 2004 era de solo 5 cm, hecho que puede ser apreciado a simple vista”. También agregó que, teniendo en cuenta que la compañía advirtió las condiciones de deterioro del vertedero, esta debió ser más rigurosa en la realización de sus mediciones, más aún con el hecho de que existía un sistema integrado de seguimiento ambiental, por lo que se llegó a la conclusión de que la compañía debió haber sido diligente en la realización de los análisis.

Con respecto a la argumentación del titular de que no se estaba en presencia de impacto no previsto, se precisó que si bien era cierto que se anticiparon los impactos a la vertiente a raíz de la explotación de los recursos, la negligencia en las mediciones trajo como consecuencia que no se implementaran oportunamente las medidas de mitigación, hecho del que era responsable la empresa y que lo relevante guardaba relación con la falta de cuidado con la que operó la empresa sus sistemas de medición de la vertiente.

Finalmente, mediante la Res.Ex. N°XX¹¹ del 28 de julio de 2005 se resolvió sancionar a la CMDIC por no monitorear adecuadamente los caudales de la vertiente Jachucoposa asociados al “Proyecto de Expansión 110 KTPD Planta Concentradora Collahuasi”. Y que, sin perjuicio de lo anterior, el titular debería dar estricto cumplimiento a la RCA que calificó dicho Proyecto. De reincidir, la CONAMA podría aplicar sanciones más graves, contempladas en el artículo 64 de la Ley N°19.300 de Bases Generales del Medio Ambiente.

4.2.2.6. Traslado de Puntos de Captación (2006-2009) (Arcadis, diciembre, 2018c)

El objetivo del traslado de pozos era poner en aplicación la opción contenida en el numeral 2 de la parte resolutive de la Resolución Exenta N°23/2006 de la COREMA Primera Región, que establecía que el programa de reducción de caudales en la cuenca de Coposa se suspendería, en la etapa que se encontrase, si Collahuasi trasladaba derechos desde su batería de pozos existente a esa fecha hacia fuera de la Falla Pabellón, y redujera efectivamente la extracción en la Falla Pabellón en 300 L/s en forma permanente, en relación con el nivel de explotación de ese entonces.

A partir del año 2008 Collahuasi trasladó derechos por 1.006 L/s desde Falla Pabellón hacia Coposa Norte, Coposa Sur y Portezuelo, cuyas autorizaciones ambientales corresponden a (Arcadis, diciembre 2018c):

- Res. Ex. N°144/2006 que califica ambientalmente favorable la DIA del “Proyecto Traslado Puntos de Captación de Aguas Subterráneas en Cuenca Coposa”. Aprueba la extracción entre 300 y 500 L/s en el sector de Coposa Norte hasta el 2023 (vida útil en 16 años desde enero del año 2008).
- Con Cor¹² N° 51 de 2009 COREMA Región de Tarapacá. “Informa Traslado de Pozos de Captación de agua, desde el sector de Falla Pabellón, hacia el sector de Coposa Sur” del 13 de mayo del 2009, por un caudal de 140 L/s manteniendo la vida útil aprobada hasta el año 2027.
- Pertinencia de Ingreso “Informa Traslado de Pozos de Captación de agua, desde el sector de Falla Pabellón, hacia el sector de Coposa Sur” del 17 de septiembre del 2009, por un caudal de 225 L/s manteniendo la vida útil aprobada hasta el año 2027.
- Con-Cor¹² N° 213 de 2009 COREMA Región de Tarapacá, relativo al traslado de pozos de captación desde la Falla Pabellón al sector de Portezuelo de 20 de octubre de 2009, por un caudal de 160 L/s manteniendo la vida útil aprobada hasta el año 2027.

¹¹ No se logra leer el número de la resolución dado que es un documento fotocopiado y/o escaneado.

¹² De acuerdo al Capítulo 1 “Descripción del Proyecto” de CMCC, 2019, se utilizó la abreviatura “Con-Cor”, para denominar el documento aquí enumerado. Sin embargo, en la elaboración de este trabajo no se encontró el documento original, y tampoco se logró identificar el significado de dicha abreviatura.

4.2.2.7. EIA Proyecto “Desarrollo de Infraestructura y Mejoramiento de Capacidad Productiva de Collahuasi” (CMDIC, 2019)

Este proyecto es la última modificación de la CMDIC ingresada al SEIA el 7 de enero del 2019, conforme lo establecido en el Artículo 2, letra g), y el Artículo 3, letra i) del D.S. N° 40/2012. Aún se encuentra en proceso de evaluación y hasta la fecha lleva dos procesos de pronunciamiento de los OAECA, una Adenda y una Adenda Complementaria con fecha 18 de septiembre del 2020.

Descripción del EIA (Arcadis, 2018)

El proyecto consiste en el mejoramiento de la capacidad productiva y extensión de la operación durante 20 años adicionales. Las obras y acciones que incluye el proyecto son las necesarias para la extensión de la depositación de relaves, el aumento de la tasa de procesamiento de minerales sulfurados de 170 ktpd a 210 ktpd¹³ y la modificación de la tecnología de lixiviación por una de biolixiviación en la línea de producción de cátodos de cobre. El proyecto considera una fuente complementaria de abastecimiento hídrico que consiste en la construcción y operación de una planta desaladora de agua de mar, junto con su sistema de impulsión y transporte de agua desalada, lo que implica una disminución paulatina del uso de agua continental. Se estima que el proyecto inicie su construcción y operación, una vez obtenidos los permisos necesarios, el año 2021 y se extienda su operación hasta el año 2040, inclusive.

El sistema de producción de agua desalada a implementar en el sector Puerto Collahuasi, considera una captación de 2.600 L/s de agua de mar para lograr una producción de agua desalada o agua producto mediante osmosis inversa de un caudal nominal de 1.050 L/s. Luego, el agua producto será transportada hasta el sector Cordillera mediante una impulsión. El sistema de desalinización y conducción será habilitado en dos fases para suplir caudales máximos de 525 L/s y 1.050 L/s en el cuarto y octavo año del Proyecto, respectivamente.

Adicionalmente, se solicita la extensión de la aprobación ambiental vigente para el uso de parte de los derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas que Collahuasi posee en las cuencas de Coposa y Michincha. En la cuenca de Coposa, Collahuasi tiene aprobaciones ambientales vigentes hasta el año 2023 en Coposa Norte y hasta el año 2027, en los sectores de Falla Pabellón, Portezuelo y Coposa Sur.

Posterior a dichos años, el Proyecto considera la extensión y disminución de las extracciones, según lo presentado Tabla 4-15. En ella se observa el detalle de las extracciones consideradas por el Proyecto para cada sector, en comparación con las extracciones ambientalmente aprobadas en vigencia. Se observa que las extracciones totales no superan los 500 L/s entre los años 4 y 7 del Proyecto, y 388 L/s a partir del octavo año de la operación del Proyecto.

Es importante destacar que para las extracciones de agua subterránea se hará uso de todos los pozos con derechos de aguas disponibles, sin superar los caudales medios anuales presentados en el párrafo anterior. De esta forma se plantea dar flexibilidad al sistema y la posibilidad de gestionar las extracciones para evitar efectos ambientales

Cuando entren en funcionamiento las nuevas obras que incrementarán el procesamiento de mineral en la línea de producción de concentrado en forma paulatina entre 170 y 210 ktpd, se realizará una primera disminución en el uso de agua continental de 280 L/s en la cuenca de Coposa correspondiente a un 28% de la extracción de aguas subterráneas. Cuando entre en operación la

¹³ Mediante la Res. Ex. N° 9/2010 asociada al proyecto “Optimización 170 ktpd”, se aprobó el aumento de la capacidad de procesamiento de minerales sulfurados de 126 a 170 ktpd.

Fase 2 de la Planta Desaladora, se prevé esté operativo el procesamiento de mineral a su máxima capacidad de 210 ktpd y se realice una segunda disminución en el uso de agua continental de 314 L/s en las cuencas de Coposa y Michincha, correspondiente a un 58% de las extracciones de la operación actual.

Esta condición garantizaría que el bombeo proyectado sea inferior a la recarga total del sistema (recarga por precipitaciones más aportes de flujos subterráneos desde cuencas vecinas). En términos generales, esta acción derivará en un ascenso de los niveles piezométricos de esta cuenca con respecto a la situación actual, sin perjuicio de que el bombeo genere una disminución local de los niveles de agua subterránea en torno a los campos de pozos de bombeo durante el tiempo que opera el Proyecto.

Tabla 4-15: Caudales de extracción de aguas subterráneas proyectadas para la cuenca Coposa

Sector	Caudal por año (L/s)		
	1 ^{er} a 3 ^{er} año	4 ^o a 7 ^o año	8 ^o a 20 ^o año
<i>Coposa Norte</i>	265	155	155
<i>Falla Pabellón</i>	20	20	20
<i>Portezuelo</i>	160	120	93
<i>Coposa Sur</i>	335	205	120
<i>Total</i>	780	500	388

Fuente: Elaboración propia basado en Arcadis, diciembre 2018a

En la línea base del EIA se incluye un capítulo que explica las relaciones ecosistémicas con el objetivo de establecer las principales relaciones dentro y entre los diferentes tipos de ecosistemas. En particular se analiza la dependencia hídrica de los ecosistemas acuáticos continentales más sensibles incluyendo los humedales de vega y bofedales altoandinos, mediante la recopilación de información de este tipo de sistemas, el levantamiento de información de campo de tipo estacional, y la presentación de un análisis integrado de la información. La metodología considera como primera etapa realizar una identificación y caracterización de los distintos tipos de ecosistemas presentes en cada uno de los sectores del proyecto y luego una segunda etapa que consiste en identificar las relaciones existentes entre los distintos tipos de ecosistemas, a través de modelos conceptuales que integren componentes bióticas, abióticas y sus comportamientos.

En el salar de Coposa se han identificado dos mecanismos de potencial alteración de la vegetación azonal por la variación del nivel freático. El primero de ellos corresponde a la disponibilidad del agua para las plantas, lo que se relaciona a la presencia del nivel freático en superficie o a la disponibilidad de humedad suficiente que permita el desarrollo de la vegetación azonal, la que podría afectarse directamente ante variaciones del nivel freático. En segundo lugar, se encuentra la alteración de la vegetación azonal debido a la erosión eólica local la que se genera como consecuencia de la pérdida de humedad de las capas/horizontes más superficiales del suelo por el descenso del nivel freático, produciendo una reducción de la cohesión de las partículas que lo componen las que se desprenden de la matriz del suelo por acción del viento. Este fenómeno tendría efectos adversos sobre la vegetación azonal, como la pérdida de la capacidad de sustentación del suelo; la exposición de los individuos a la abrasión de las partículas transportadas (falla mecánica), y la exposición de raíces a la atmósfera, produciendo daño mecánico y desecación.

Para determinar los posibles efectos en la vegetación azonal del salar de Coposa producto del descenso del nivel freático, se analizaron los potenciales efectos directos e indirectos del descenso

de los niveles freáticos en esta área. El análisis se desarrolló a través de una modelación numérica del desarrollo del perfil de humedad en el suelo, y a aproximaciones teóricas desarrolladas en base a información de campo, las cuales permitieron determinar los umbrales del nivel freático para los cuales la vegetación azonal puede alterarse por (1) la disponibilidad del agua, y cuando se iniciaría el fenómeno de (2) erosión eólica por la disminución de la humedad superficial.

Los resultados de las modelaciones fueron integrados para diferentes horizontes en profundidad, con lo que fue posible estimar el agua disponible para las diferentes especies vegetales presentes y según el nivel freático, determinándose el umbral para el cual se consideran con una condición insuficiente para el desarrollo debido a la estructura de sus raíces.

Se plantea continuar con la mitigación vigentes de aproximadamente 25 L/s de caudal de restitución en la vertiente Jachucoposa.

Proceso de Evaluación de Impacto Ambiental (CMDIC, 2019)

Los pronunciamientos de las OAECA se realizaron a nivel Interregional, y participó la DGA, SAG, CONAF, SERNAGEOMIN, entre otros, en varios aspectos.

En ellos se solicitan aclaraciones sobre la hidrogeología de Coposa, los descensos y recuperaciones de niveles posterior al traslado de puntos de captación desde el año 2008. Además, se pide que se aclare la relación entre acuífero subterráneo y superficial de la cuenca de coposa.

Se piden aclaraciones de la hidrogeología y funcionamiento hidrogeológico del sector de la vertiente Jachucoposa y que se aclare la relación entre nivel del acuífero, viento y erosión del sustrato. Se pide que se evalúe con más antecedentes el impacto de la modificación del nivel piezométrico y de la recuperación del caudal en la vertiente Jachucoposa la que se ha calificado como “no significativo”.

En la Adenda, a partir del estudio de hidrogramas de pozos y punteras de la cuenca de Coposa se concluyó que existe una fuerte conexión hidráulica entre los acuíferos profundo y somero. Específicamente, en el entorno de la laguna y vertiente Jachucoposa. El acuífero profundo ejerce una presión ascendente (flujo vertical ascendente) sosteniendo los niveles registrados en las punteras. (ADENDA)

Además, en la Adenda se presentaron mapas actualizados de curvas piezométricas y perfiles geológicos en detalle de la zona de Jachucoposa. Además, se realizó un muestro en varias zonas entre ellas en la Zona de la Vertiente Jachucoposa, en la que se observó la recuperación de Frankenia trianda en un 7,1%.

Dentro de los anexos de la Adenda se incluye una Cartografía de todo el proyecto, incluyendo el sector de la cuenca de Coposa y entornos de la Laguna y vertiente Jachucoposa, con la descripción de la vegetación zonal y azonal identificadas en la campañas de terreno realizadas en abril del año 2019 y que se complementó con información de revisiones bibliográficas.

Se presentó la calificación ambiental del cambio en el caudal de la vertiente Jachucoposa producto del cambio de nivel piezométrico, asignándole a este impacto un índice de calificación negativo medio (-27), que lo calificó como un impacto no significativo.

En el caso de los impactos provocados por el proyecto sobre los niveles piezométricos de cada sector de la cuenca Coposa, en particular en el sector de la Falla Pabellón, se le asignó a este impacto un índice de calificación negativo medio (-27), que también lo califica como un impacto no significativo.

No obstante lo anterior, y considerando la inquietud planteada por la comunidad y la autoridad respecto de las extracciones en Coposa, el Titular ha considerado una actualización del Plan de Alerta Temprana, incorporando acciones específicas tendientes a reducir en forma escalonada las extracciones de la cuenca en caso de verificarse cambios en las proyecciones realizadas por el modelo en el comportamiento tanto de niveles piezométricos en el entorno de la vertiente, como el caudal de la vertiente misma, y en particular asegurar un caudal natural mínimo de 40 L/s a través de acciones de reducción de caudal que se activarían de forma efectiva frente a la detección de alguna desviación de acuerdo a lo esperado en el modelo.

Con fecha diciembre del 2020, este proyecto aún se encuentra en evaluación.

4.2.2.8. Seguimiento SMA

En el SNIFA se presentan los informes de seguimiento de las Resoluciones Exentas N°713/2199 del año 1995, N°167/2001, N°100/2003 y N°23/2006, en relación a las medidas de seguimiento y de mitigación establecidas en cada una de ellas. La información es presentada en esta plataforma a partir del año 2012.

Se monitorean los niveles freáticos de las aguas subterráneas en los diferentes sectores de la Cuenca del Salar Coposa. Tanto Coposa Norte, Coposa Sur y Portezuelo, en conjunto con la observación de recuperación de los niveles en el Sector de la Falla Pabellón luego de la disminución de la explotación producto del traslado de puntos de captación de aguas subterráneas.

También se monitorea el caudal de la Vertiente Jachucoposa, tanto en el nivel caudal natural de afloramiento, como en el caudal total (caudal natural + caudal mitigación). Los datos se tienen desde el año 1998, solo de la vertiente Natural, y a partir del año 2004 el inicio del registro del Caudal Total. También se lleva registro del nivel de las lagunas asociadas a Jachucoposa.

Se presentan informes con los resultados de campañas realizadas de manera estacional desde el año 2012 en adelante realizadas por el Centro de Ecología Aplicada. Dichas campañas se realizan 4 veces al año, una en cada estación, primavera, verano, otoño e invierno. Dentro de las campañas se analiza la flora y vegetación en cuanto a cobertura y riqueza de especies medidas en parcelas específicas. Dentro de los sectores de este estudio, se incluye el sector de la Vertiente Jachucoposa

Los informes presentados en la SMA de los Salares contienen la siguiente información:

- Tamaño de la Laguna, la calidad físico-química del cuerpo de agua, la biota acuática (fitobentos, zoobentos, fitoplancton, zooplancton, vegetación acuática)
- Biota terrestre (fauna terrestre, avifauna y vegetación terrestre) durante el período previo y luego de la recarga artificial.

En cuanto a la frecuencia de monitoreo según la Resolución Exenta N°167/2001, se generaron campañas estacionales para monitorear dichos componentes en el sector de Jachucoposa y la vertiente de Michincha (verano, invierno, primavera y verano); mientras que, para la Laguna de Evaporación de Coposa, el monitoreo se realizó de forma semestral (durante las campañas de invierno y verano).

4.2.3. Funcionamiento del Sistema – Línea Base

En esta sección se explica el funcionamiento del sistema natural de la cuenca de Coposa, previo a que entrara en operación el Proyecto de la CMDIC. Se presenta la piezometría del acuífero de Coposa, para los dos sistemas identificados, profundo y somero. Luego se presenta el balance hídrico caracterizando las principales entradas y salidas hídricas del sistema hidrogeológico. Para finalizar con la descripción del modelo conceptual del sistema hidrogeológico de la cuenca de Coposa y de sistema local de Jachucoposa.

4.2.3.1. Niveles – Piezometría

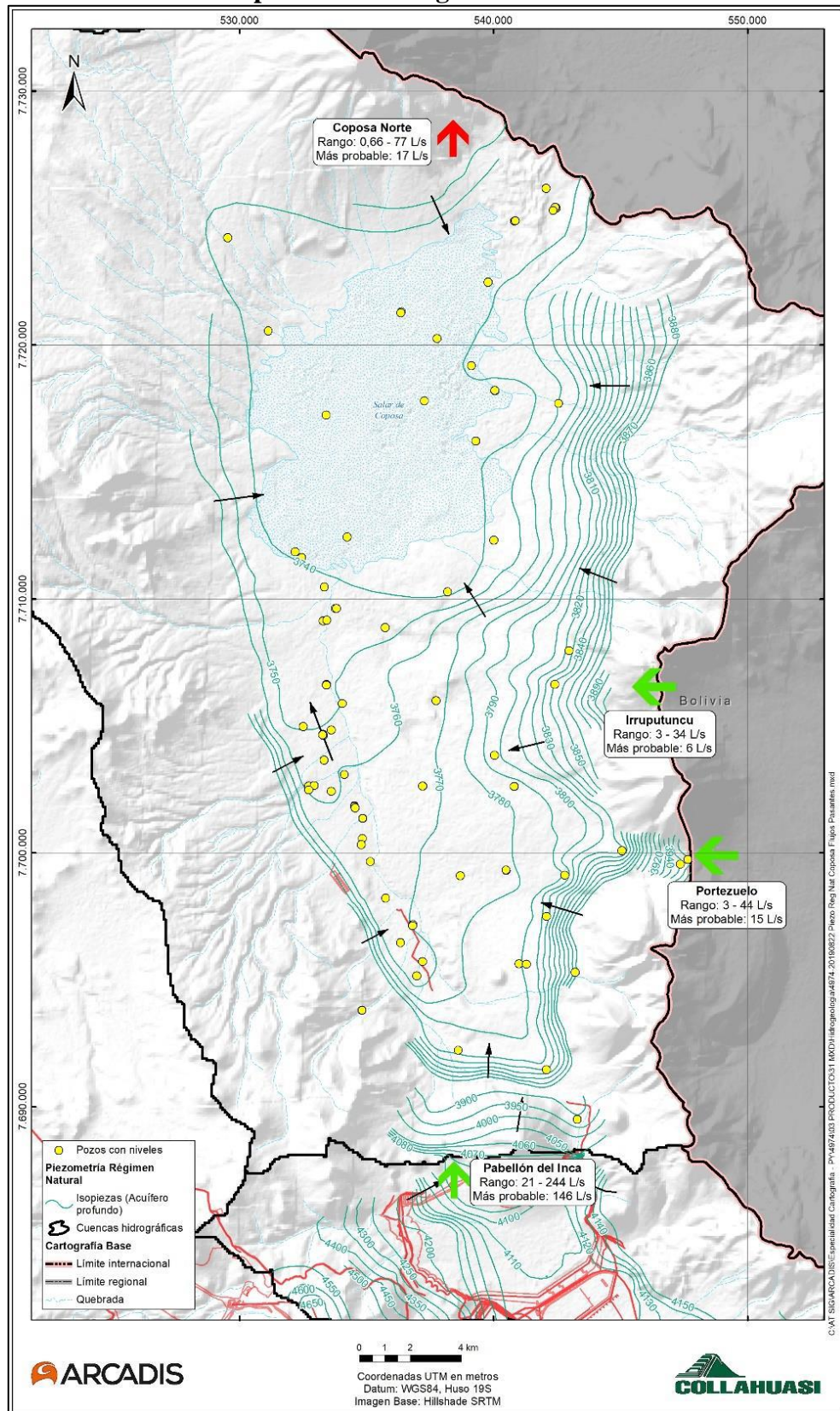
En la Figura 4-64 se presenta la piezometría del acuífero Coposa en régimen natural para los dos sistemas acuíferos. Para ello la CMDIC utilizó información del mes de mayo del año 1998 para el acuífero profundo, complementado con información referencial previa y posterior a dicha fecha y en el caso del acuífero somero usó información de mayo de 1993 y complementado con información referencial anteriores a esa fecha.

En la cuenca de Coposa, se definió un acuífero profundo con base en la información de 180 pozos, el cual presenta una dirección de flujo general, hacia el norte. Para el acuífero somero, se utilizó la información de 139 punteras, la mayoría de 2 m de profundidad, y de pozos de hasta 10 m de profundidad, localizados en el salar de Coposa, estando en su mayor parte ubicados en el entorno de la laguna Jachucoposa. La dirección de flujo de este acuífero (somero) es preferentemente hacia el depocentro de la cuenca y se encuentra sometido a las condiciones hidrológicas, respondiendo directamente a los procesos de precipitación y evaporación, así como de forma indirecta, a los efectos de las extracciones de agua del acuífero profundo (CMDIC, 2019 (Adenda, Arcadis 2019)).

Se observa que para el acuífero profundo el potencial hidráulico desciende hacia el sector del salar, con un mayor gradiente en el sector de la falla Pabellón. Los niveles piezométricos llegan a los 4.070 m.s.n.m. en el sector del Cerro Pabellón del Inca y límite de la cuenca Michincha, sector en donde se producen flujos subterráneos desde Michincha hacia Coposa, y continuando con dirección norte hacia el salar, con un mayor gradiente hidráulico por sobre la Falla Pabellón. Por el este, en el sector Portezuelo e Irruputuncu, existe un flujo de entrada y la piezometría llega a los 3.953 m.s.n.m., y desciende con flujos en dirección hacia la falla Pabellón. Hacia el norte la cuenca presenta flujos de salida hacia el salar Empexa, pero que no se alcanza a apreciar en la figura.

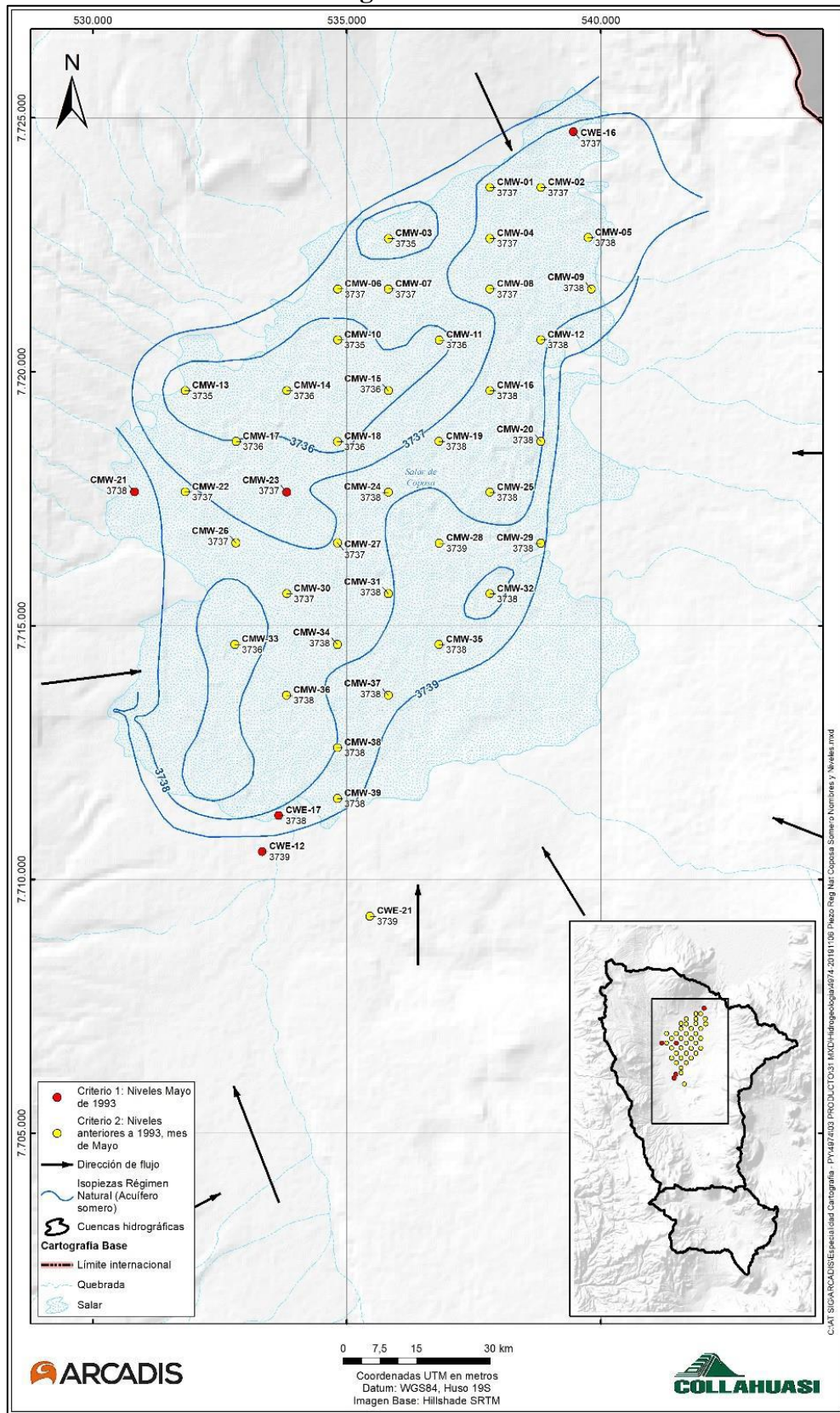
A su vez para el acuífero somero, las direcciones de flujo son en dirección a la laguna, con potenciales hidráulicos entre los 3.739 m.s.n.m. hasta los 3.735 m.s.n.m.

Figura 4-64: Nombres de pozos y niveles estáticos (con fecha) piezometría Coposa acuífero profundo en Régimen Natural



Fuente: CMDIC, 2019 (Adenda Complementaria, Arcadis 2019)

Figura 4-65: Nombres de pozos y niveles estáticos piezometría Coposa acuífero somero en Régimen Natural



Fuente: CMDIC, 2019 (Adenda, Arcadis 2019)

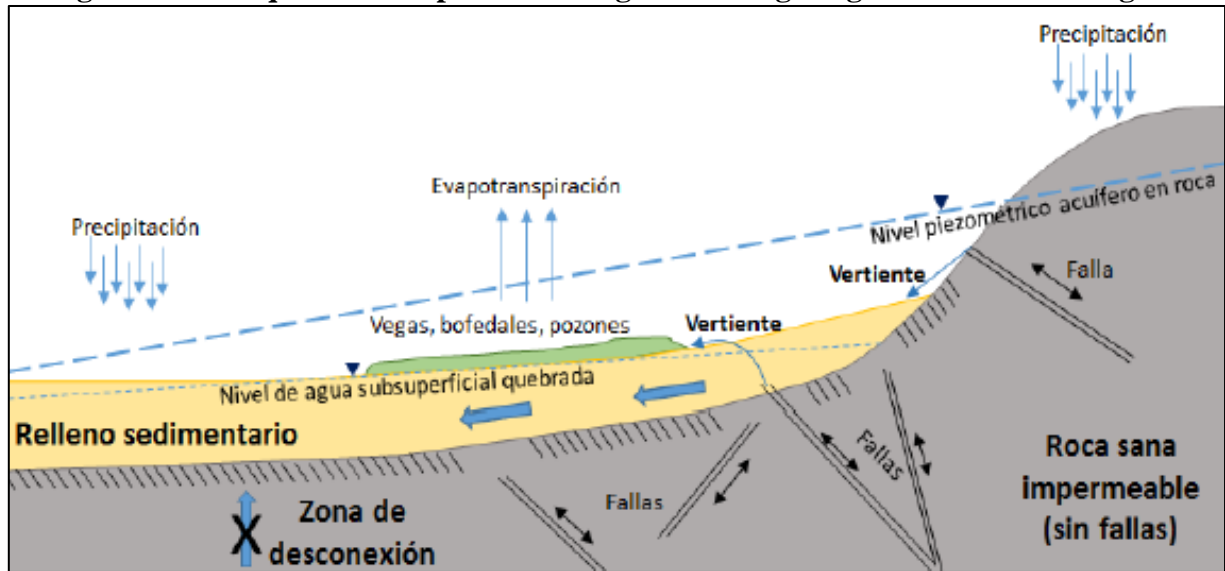
4.2.3.2. Modelo Hidrogeológico Conceptual

En la cuenca de Coposa el principal sistema estructural, dado por las Fallas Pabellón ha originado una cuenca profunda, cuyo principal relleno corresponde a la ignimbrita Huasco (200 m de potencia promedio). Producto de la dinámica estructural y del fallamiento local en la cuenca de Coposa, es posible identificar diferentes columnas estratigráficas dependiendo del sector de la cuenca, y además reconocer potentes unidades que sólo aparecen de forma subsuperficial, de origen volcanosedimentario y evaporítico. La falla Pabellón condiciona significativamente el funcionamiento hidrogeológico de la cuenca de Coposa, ya que, a través de ésta, se produce un flujo subterráneo cuya orientación principal, sigue una dirección sur – norte, aprox. En la falla Pabellón se aloja un acuífero confinado, de muy buen potencial hidrogeológico (Ignimbrita Huasco con alto grado de fracturamiento) que presenta un nivel surgente (vertiente Jachucoposa) donde la ignimbrita aflora en superficie y se reconoce la falla (Arcadis, diciembre 2018c).

En la cuenca de Coposa, el flujo subterráneo presenta dirección general hacia el norte, en donde se reconocen tres entradas y una salida de aguas subterráneas. Entre las primeras se cuentan: desde el sur a través del cerro Pabellón del Inca (flujo desde la cuenca de Michincha) y desde el este en los sectores Portezuelo y volcán Irruputuncu. En cuanto a la salida, esta ocurre hacia el norte a través del paso Coposa Norte. En el salar, se reconocen dos niveles acuíferos, cuyos grados de conexión y gradientes verticales entre ellos varían de un sector a otro. En general, el acuífero somero recarga al acuífero profundo. Sin embargo, en la zona de la vertiente Jachucoposa existen afloramientos de la roca fracturada que aloja al acuífero profundo (Ignimbrita Huasco) que facilitan el flujo vertical del acuífero profundo directamente hacia la superficie, generando la conocida vertiente homónima (Arcadis, diciembre 2018c).

En la Figura 4-66 se muestra esquemáticamente un acuífero en roca fracturada, como es el caso del acuífero profundo de en la Falla Pabellón. Se caracteriza por presentar afloramientos o vertientes originados por la surgencia de las aguas más profundas que son conducidas a través de fallas y quebradas con flujos esporádicos alojados en rellenos sedimentarios asociados a eventos de precipitación. Este sistema de estructuras permite conexiones parciales entre las quebradas y el acuífero regional, a través de vertientes puntuales ubicadas en las partes altas de las mismas, lo que genera flujos subsuperficiales locales. Existe una comunicación del flujo hídrico entre los acuíferos de las cuencas que albergan salares y bofedales de la zona, proporcionando condiciones de mantenimiento (Arcadis, diciembre 2018d).

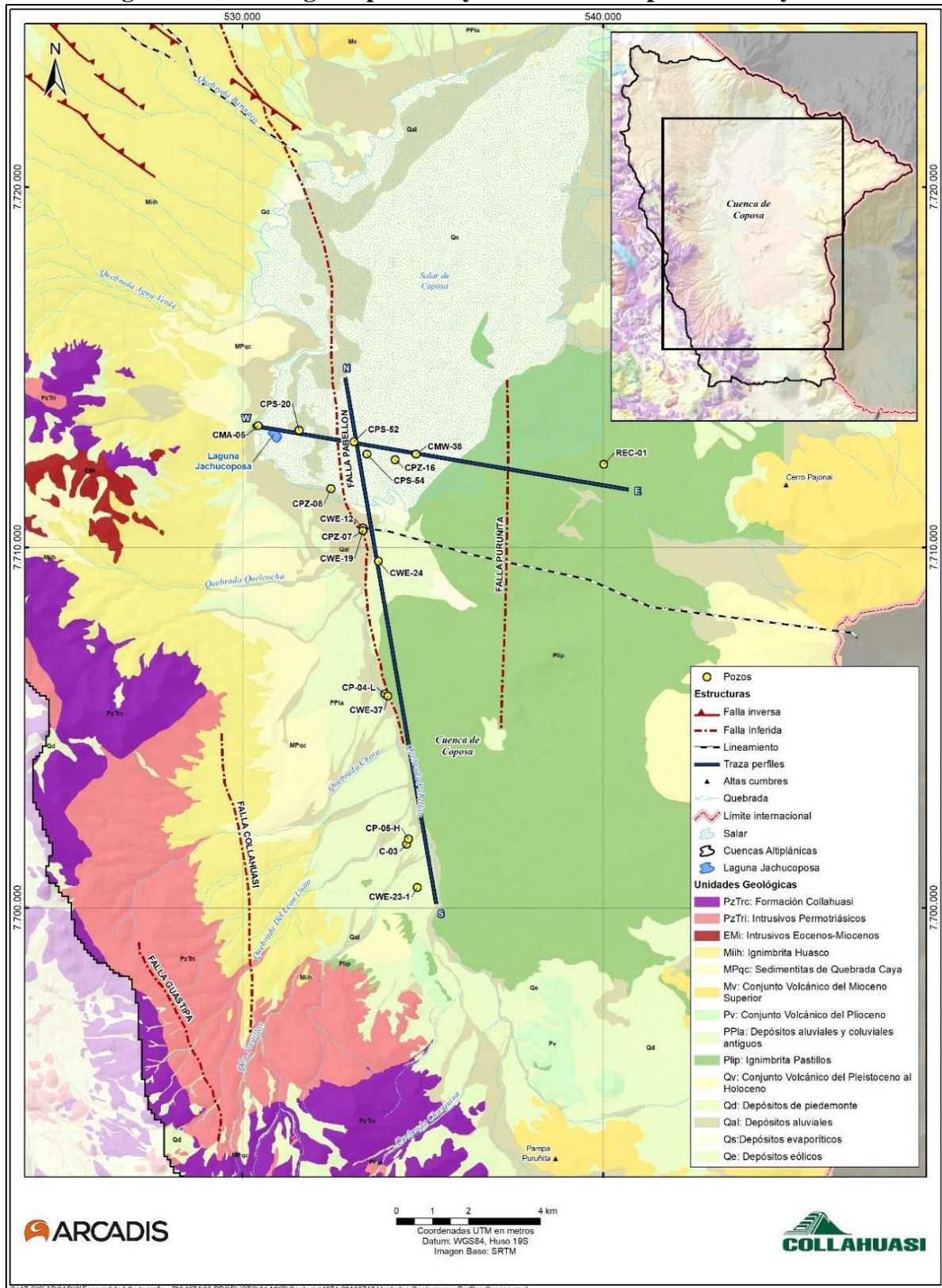
Figura 4-66: Esquema conceptual hidrológico e hidrogeológico en Fallas Geológicas



Fuente: Arcadis, diciembre 2018d

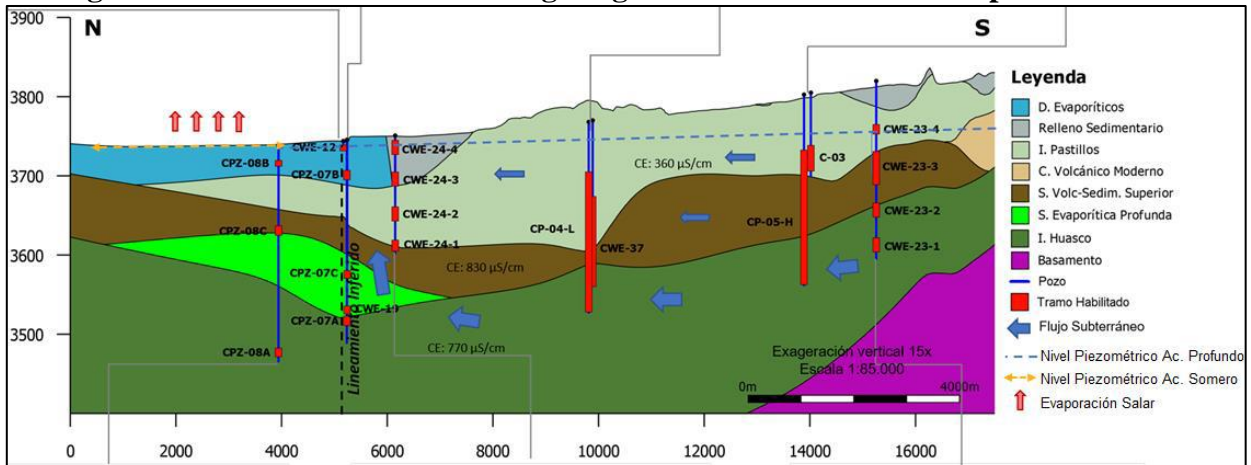
En la Figura 4-67, se muestra una imagen en planta con dos perfiles trazados sobre el sector de la vertiente Jachucoposa. En la Figura 4-68 y Figura 4-69 se muestran dichos perfiles en un corte transversal, y se representa esquemáticamente el funcionamiento hidrogeológico. Se observa que los flujos se dirigen de forma horizontal hacia donde se encuentra el salar y los depósitos evaporíticos, y luego tienen direcciones verticales hacia la superficie del salar, en donde ocurre la evaporación desde los suelos húmedos, laguna y salar.

Figura 4-67: Geología superficial y localización de perfiles N-S y W-E



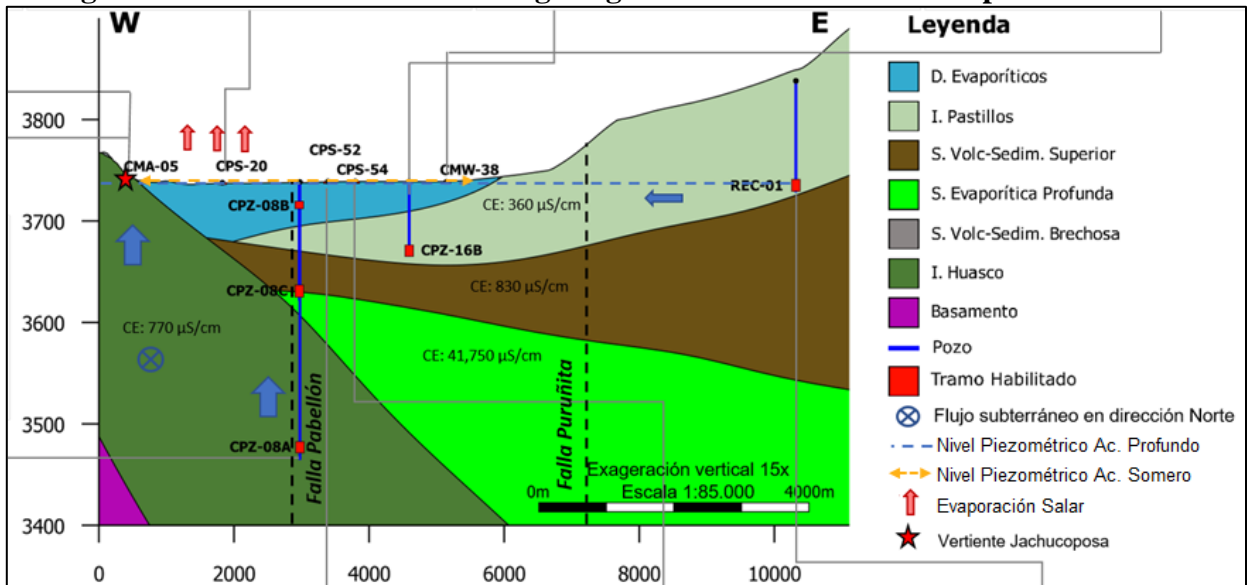
Fuente: CMDIC, 2019 (Adenda, Arcadis 2019).

Figura 4-68: Funcionamiento hidrogeológico de la vertiente Jachucoposa. Perfil N-S



Fuente: CMDIC, 2019 (Adenda, Arcadis 2019)

Figura 4-69: Funcionamiento hidrogeológico de la vertiente Jachucoposa. Perfil W-E



Fuente: CMDIC, 2019 (Adenda, Arcadis 2019)

4.2.3.3. Balance Hídrico

A continuación, se presenta una tabla resumen con las entradas y salidas hídricas de la cuenca Coposa (Tabla 4-16). (Arcadis, diciembre 2018)

Las entradas al sistema corresponden a la precipitación, en donde se utilizó un valor estimado de 650 L/s. Además, se incluyen las entradas por flujos subterráneos pasantes desde Michincha y desde Bolivia (en Irruputuncu y Portezuelo).

En las salidas se incluye la evaporación y descargas por conexión con otras cuencas (cuenca de Coposa por el norte hacia salar de Empexa). Es importante notar que esta cuenca es de régimen endorréico y además se encuentra desconectada superficialmente de otras cuencas.

Para el caso del régimen natural el balance hídrico se considera en equilibrio, es decir las salidas de la cuenca son compensada por las entradas. Dado que los flujos estimados se mueven dentro de un rango, existen años en donde se produce un déficit y otros un superávit hídrico, generadas por

variaciones interanuales del clima y meteorología, por lo que el equilibrio de la cuenca ocurre principalmente en ciclos interanuales.

Tabla 4-16: Balance hídrico en cuenca Coposa, Régimen Natural

Balance Hídrico Cuenca Coposa	Régimen Natural	
Flujos	Rango	Estimado
Entrada (L/s)		
Recarga por precipitación	640 - 704	650
Flujo Subterráneo desde Michincha	21 - 244.4	145.6
Flujo Subterráneo desde Portezuelo	3.1 - 39.3	13.5
Flujo Subterráneo desde Irruputuncu	2.7 - 34	6.1
Total Entradas		815
Salidas (L/s)		
Evaporación	406 - 902.8	796
Flujo Subterráneo hacia Empexa	0.6 - 77.3	19
Total Salidas (L/s)		815
Diferencia entre Entradas y Salidas (L/s)		0

Fuente: Arcadis, diciembre 2018c

- Vertiente Jachucoposa: El caudal de la vertiente Jachucoposa fue medido en 1980, en estudios realizados por Quebrada Blanca, registrándose un valor promedio de 63 L/s (Harshbarger, 1980; en Errol Montgomery, 1996. Ver Fuente: Arcadis, 2018. En el estudio de Errol Montgomery, 1996, se habla de “dos ojos de agua de mayor importancia, que al unirse juntan el caudal que efectúa un cierto recorrido para luego depositarse en el salar de Coposa. El recurso se encuentra encauzado en una pequeña sección de aforo, construida de hormigón armado y de características aceptables y en buen estado de conservación”.

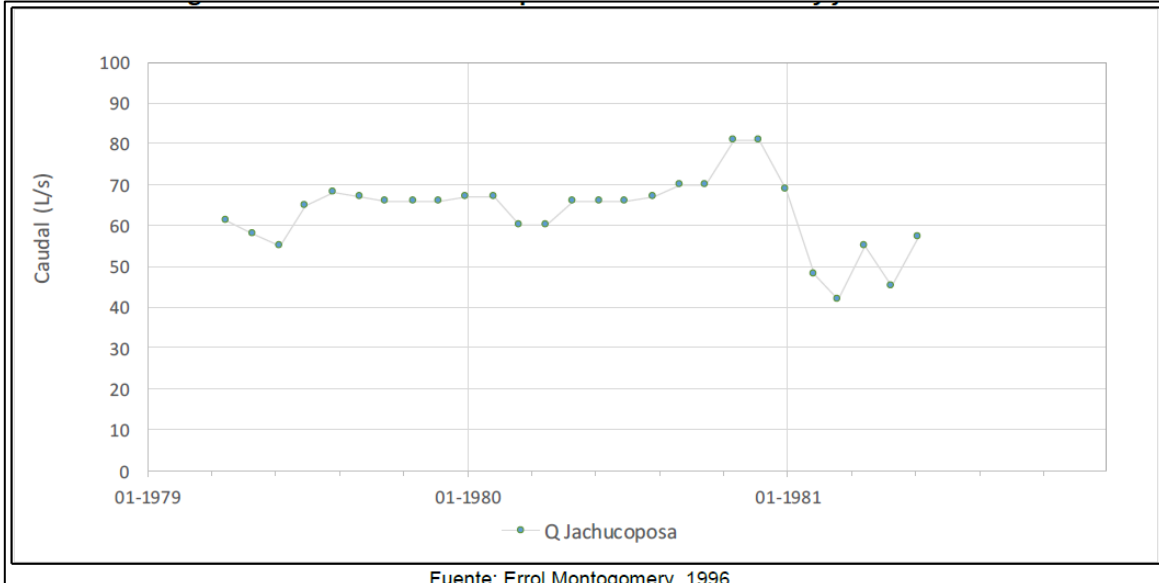
Figura 4-70: Fotografía de vertederos en estación CSW-2, Vertiente Jachucoposa



Fuente:

Arcadis, diciembre 2018c

Figura 4-71: Caudal Jachucoposa entre abril 1979 y junio de 1981



Fuente: Errol Montgomery, 1996.

Fuente: Arcadis, diciembre 2018c

Figura 4-72: Registro fotográfico de aforadores y laguna Jachucoposa



Fuente: <https://mapio.net/pic/p-25726563/>

4.2.3.4. Condición de la Vegetación Azonal en situación base

Se registró un total de 37 comunidades hidromorfas que se agruparon en bofedales, vegas, pajonal hidromorfo y tolar hídrico, las que se presentaron forma de cartografía, y en el sector cercano a Jachucoposa, se observan las formaciones de bofedal, pajonal hidromorfo y tolar hídrico. Esta información se complementó con el estudio presentado por CMDIC en invierno de 1999 para determinar la cobertura vegetal en 10 sitios de monitoreo (parcelas), mediante el método Braun-Blanquet. Entre ellas, la parcela en Jachucoposa se estimó una cobertura total de 85% (Arcadis, 2001).

4.2.4. Funcionamiento del Sistema – Caso con Proyecto

En la cuenca de Coposa, Collahuasi es el único usuario de los recursos hídricos y tiene derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas por 1.041 L/s.

Collahuasi inició su construcción a fines de 1996, tras la evaluación y aprobación del Estudio de Impacto Ambiental (EIA) del proyecto original “Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi”, aprobado el año 1995 mediante la Res. Ex. N°713/2199. Posteriormente, la operación minera ha sido modificada por 29 proyectos con resolución de calificación ambiental. Entre ellos, la EIA del Proyecto “Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi” del año 1995 se refiere a los derechos de aguas subterráneas solicitados a la DGA por un caudal total de 600 L/s provenientes de pozos de explotación que se construirían en el sector de la Falla Pabellón de la cuenca del Salar de Coposa. Dichos bombeos iniciaron a partir de junio de 1998. Posteriormente, mediante la DIA del proyecto “Expansión 110 ktpd Planta Concentradora Collahuasi” se solicita aumentar la tasa de producción, lo que conlleva a aumentar el caudal de bombeo.

Luego, el año 2003 se emite una nueva DIA, que planea modificar parte del proyecto del año 2001 dado que los estudios indicaban que se podía extraer más cobre del estipulado, por lo que se requería aumentar el uso de agua para los procesos. Debido a eso se planteó la disminución en 1 año de la vida útil del proyecto, para aumentar el bombeo, pero manteniendo el mismo volumen total aprobado en la DIA del año 2001.

En los tres proyectos anteriores, ya se proyectaba que el bombeo generaría conos de depresión que tendrían un impacto en los caudales de la vertiente Jachucoposa, y por ende en la superficie de la laguna del salar. Para mitigar los impactos, se plantea la medida de mitigación de implementar un sistema de recarga artificial de la vertiente Jachucoposa, con aguas de similar calidad de un pozo que se construiría en las cercanías de la vertiente, pero fuera del acuífero protegido. Dicha medida se implementaría cuando se advirtiera que el caudal de la vertiente disminuyera bajo el caudal de 95% de probabilidad de excedencia.

Debido a que se registraron descensos en el caudal de la vertiente Jachucoposa mayor al proyectado en las evaluaciones ambientales previas (Res. Ex. N° 713/2199 de 1995, Res. Ex. N° 167/2001, Res. Ex. N° 100/2003), Se inicia un proceso de modificación de las Resoluciones ambientales (año 2004) y que finaliza con la Res. Ex. N° 23/2006 que estableció un límite de extracción de agua desde Coposa de 780 L/s como promedio mensual (teniendo disponibles en forma puntual los 1.041 L/s de derechos), sujeto a que Collahuasi aplicara un plan de gestión hídrica.

Para dar cumplimiento a los compromisos derivados de dicha resolución, a partir del año 2008 Collahuasi trasladó derechos por 1.006 L/s desde Falla Pabellón hacia otros 3 sectores de la cuenca, Coposa Norte, Coposa Sur y Portezuelo (Arcadis, diciembre 2018a), desde donde se extrae actualmente la mayoría de los recursos subterráneos de la cuenca (712 L/s en diciembre de 2017) (Arcadis, diciembre 2018c). En el sector falla Pabellón solo quedaron 2 pozos operativos, uno para agua potable y el otro con derechos por 20 L/s utilizado para abastecer la medida de mitigación vigente que restituye aguas en la vertiente Jachucoposa (Res. Ex. N° 167/2001)

4.2.4.1. Pozos de bombeo y caudales de extracción

En la Figura 4-62 se observa la totalidad de pozos de extracción en la cuenca de coposa pertenecientes a la Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi, la que cuenta con derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas de 1.041 L/s.

Las explotaciones comenzaron el año 1998 únicamente desde los pozos ubicados en el sector Falla Pabellón con caudales que oscilaban en torno a los 550 L/s. En el año 2004 se observa un alza del caudal que alcanzó los 900 L/s en el total de pozos, mismo año en que se observa la disminución del caudal natural de la vertiente Jachucoposa. Por lo que, en el año 2006, de acuerdo con la resolución Exenta N°23 dictada por la COREMA de Tarapacá, se estableció un límite de extracción de agua desde Coposa de 780 L/s como promedio mensual, teniendo disponibles en forma puntual los 1.041 L/s de derechos (Arcadis, diciembre 2018a).

A partir del año 2008 Collahuasi trasladó derechos por 1.006 L/s desde Falla Pabellón hacia Coposa Norte, Coposa Sur y Portezuelo, cuyas autorizaciones ambientales corresponden a (Arcadis, diciembre 2018a), quedando de la siguiente manera (ver Figura 4-74):

- Extracción entre 300 y 500 L/s en el sector de Coposa Norte desde enero de 2008 hasta el 2023.
- Bombeo por un caudal de 140 L/s en el sector de Coposa Sur desde mayo del 2009, manteniendo la vida útil aprobada hasta el año 2027.
- Bombeo por un caudal de 225 L/s en el sector de Coposa Sur desde septiembre del 2009, manteniendo la vida útil aprobada hasta el año 2027.
- Por un caudal de 160 L/s desde el sector de Portezuelo desde octubre de 2009, manteniendo la vida útil aprobada hasta el año 2027.

En la Fuente: **Arcadis, diciembre 2018a**

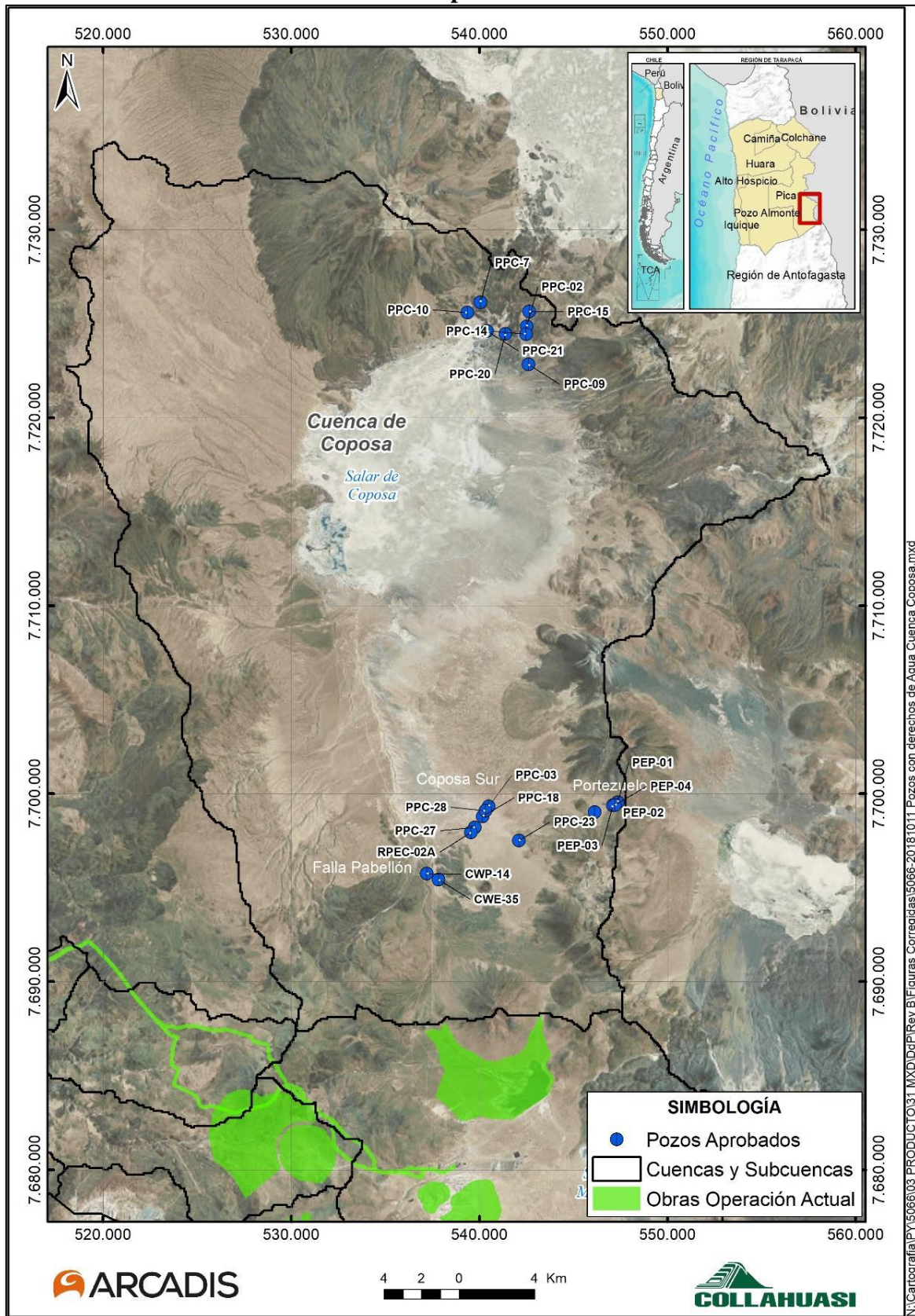
Figura 4-73 se muestra la ubicación de los pozos vigentes en la actualidad en cada uno de los sectores (Arcadis diciembre 2018a). Notar que solo existen 2 pozos asociados a la Falla Pabellón. En la Tabla 4-17 se muestran los caudales asociados a cada uno de los pozos vigentes. En la sección Niveles – Piezometría (evolución post bombeo) se presenta la evolución en el tiempo de los caudales en cada uno de los sectores junto con la evolución de niveles.

Tabla 4-17: Derechos de aguas subterráneas en cuenca de Coposa

Sector	Pozo	Caudal (L/s)
Falla Pabellón	CWE-35	15
Falla Pabellón	CWP-14	20
Coposa Norte	PPC-02	55
Coposa Norte	PPC-07	58
Coposa Norte	PPC-09	28
Coposa Norte	PPC-10	58
Coposa Norte	PPC-14	55
Coposa Norte	PPC-15	100
Coposa Norte	PPC-20	58
Coposa Norte	PPC-21	58
Coposa Sur	RPEC-02A	70
Coposa Sur	PPC-02	70
Coposa Sur	PPC-18	70
Coposa Sur	PPC-23	15
Coposa Sur	PPC-27	70
Coposa Sur	PPC-28	71
Portezuelo	PEP-01	110
Portezuelo	PEP-02	
Portezuelo	PEP-03	
Portezuelo	PEP-04	60
Total Derechos Coposa		1041

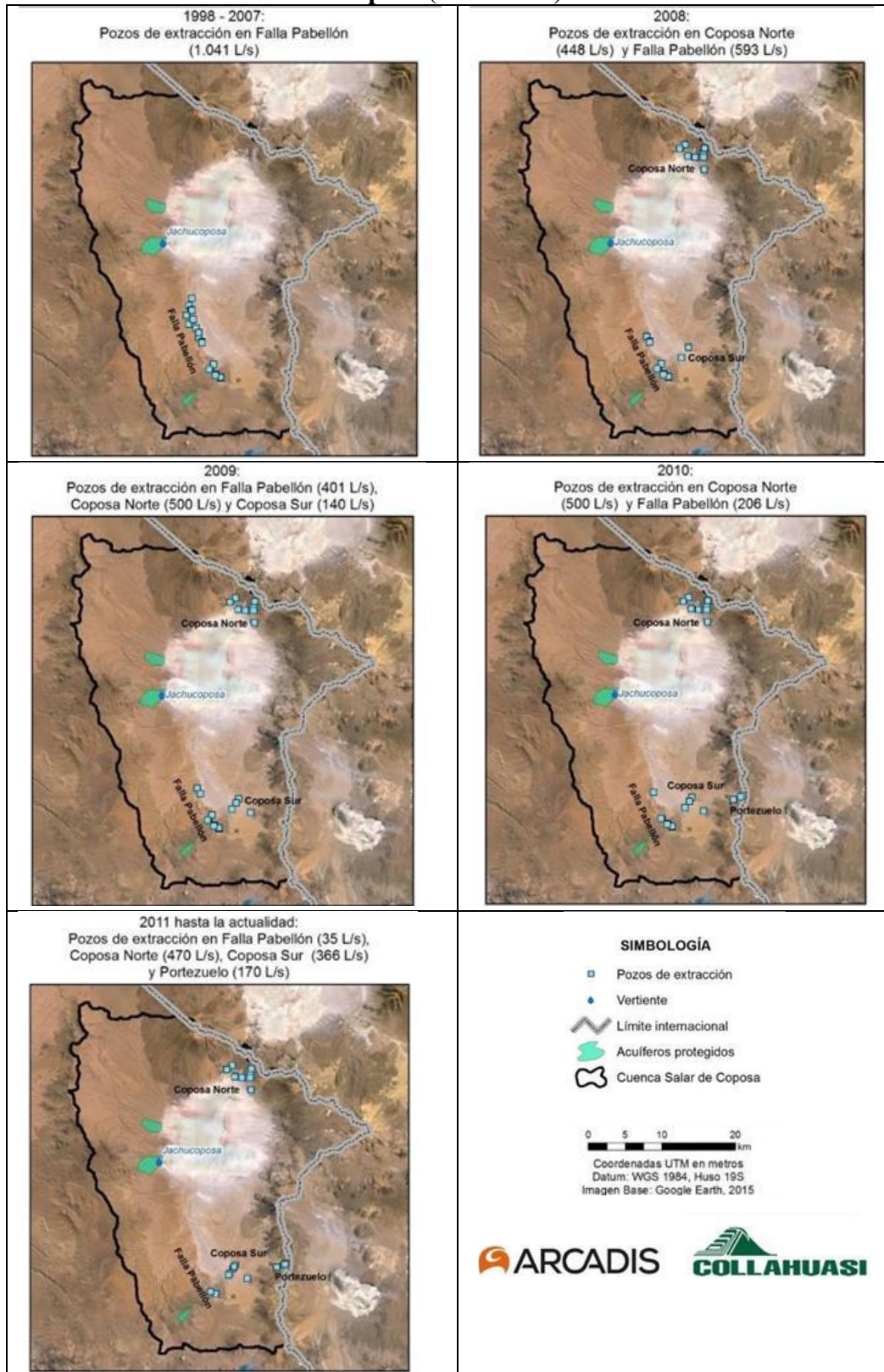
Fuente: Arcadis, diciembre 2018a

Figura 4-73: Ubicación pozos vigentes con derechos de aguas subterráneas en la cuenca de Coposa.



Fuente: Arcadis, diciembre 2018a

Figura 4-74: Ubicación y traslado de pozos de bombeo de la CMDIC en la cuenca de Coposa (1998-2011)



Fuente: Arcadis, 2019.

4.2.4.2. Niveles – Piezometría (evolución post bombeo)

En la Figura 4-62 se presentó la ubicación de pozos y multi piezómetros de observación dentro de la cuenca. En las imágenes siguientes se presenta la evolución de niveles de los sectores de Falla Pabellón, Laguna Jachucoposa y Salar Coposa, los caudales de explotación de los pozos asociados a cada sector y las series de precipitaciones.

La dinámica de los niveles de los acuíferos registrados en la cuenca de Coposa es caracterizada principalmente por los efectos producidos por los campos de pozos de producción. Así, se definen cuatro periodos, donde el periodo cuatro se subdivide en tres (Arcadis, diciembre 2018c).

Los periodos que caracterizan los bombeos en la cuenca de Coposa son:

- Periodo 1: Corresponde al período inicial de mediciones, previo al inicio de la extracción desde los pozos en Zona Falla Pabellón (ZFP) en junio de 1998. Los niveles se mantienen estables, con variaciones atribuibles sólo a la recarga por precipitaciones.
- Periodo 2: Este periodo abarca desde el inicio del bombeo de los pozos en la ZFP en junio de 1998 hasta el inicio del cese de sus extracciones en diciembre de 2007. En este periodo los niveles del centro-sur de la cuenca descienden hasta alcanzar un mínimo al final de este periodo. Estos descensos no se observan en el sector de Coposa Norte.
- Periodo 3: Comienza con la detención del bombeo de algunos pozos en la ZFP en diciembre de 2007 y termina con los efectos producidos por el inicio del bombeo en Coposa Sur (octubre de 2008). Este periodo se observa sólo en los pozos de observación cercanos al campo de pozos Coposa Sur, en donde se produce una disminución en la tasa de descenso, o bien, la estabilización de los niveles en este sector.
- Periodo 4: Durante este periodo, existe el bombeo simultáneo en tres sectores de la cuenca en donde se observa un descenso generalizado de los niveles de agua subterránea: primero comienza en Coposa Norte (en enero de 2008), luego en Coposa Sur (octubre de 2008) y finalmente en Portezuelo (diciembre de 2009). Las extracciones desde estos campos de pozos reemplazan al campo de pozos de ZFP, sector donde durante este periodo los niveles se recuperan hasta la actualidad, junto con los niveles de la laguna Jachucoposa.

Cabe destacar que, si bien los niveles en Zona de Falla Pabellón (ZFP) se han recuperado, y en parte estabilizado, no han alcanzado los niveles previos a las extracciones. Esto puede explicarse debido a que el bombeo de los pozos en Coposa Sur (217 L/s) sumado al de la ZFP (19 L/s) no permite que los niveles se recuperen completamente (Arcadis, 2018c).

A continuación, se presentan una serie de hidrogramas de pozos seleccionados que representan los periodos descritos. Estos hidrogramas corresponden a los sectores de la Falla Pabellón, Laguna Jachucoposa y Salar Coposa. Este último cuenta también con punteras, que miden el nivel del acuífero somero. La ubicación de estos pozos se observa en la Figura 4-62.

Pozos sector Falla Pabellón

La explicación de cada uno de los pozos de observación y piezómetros es de acuerdo a la información presentada en Arcadis (diciembre 2018c).

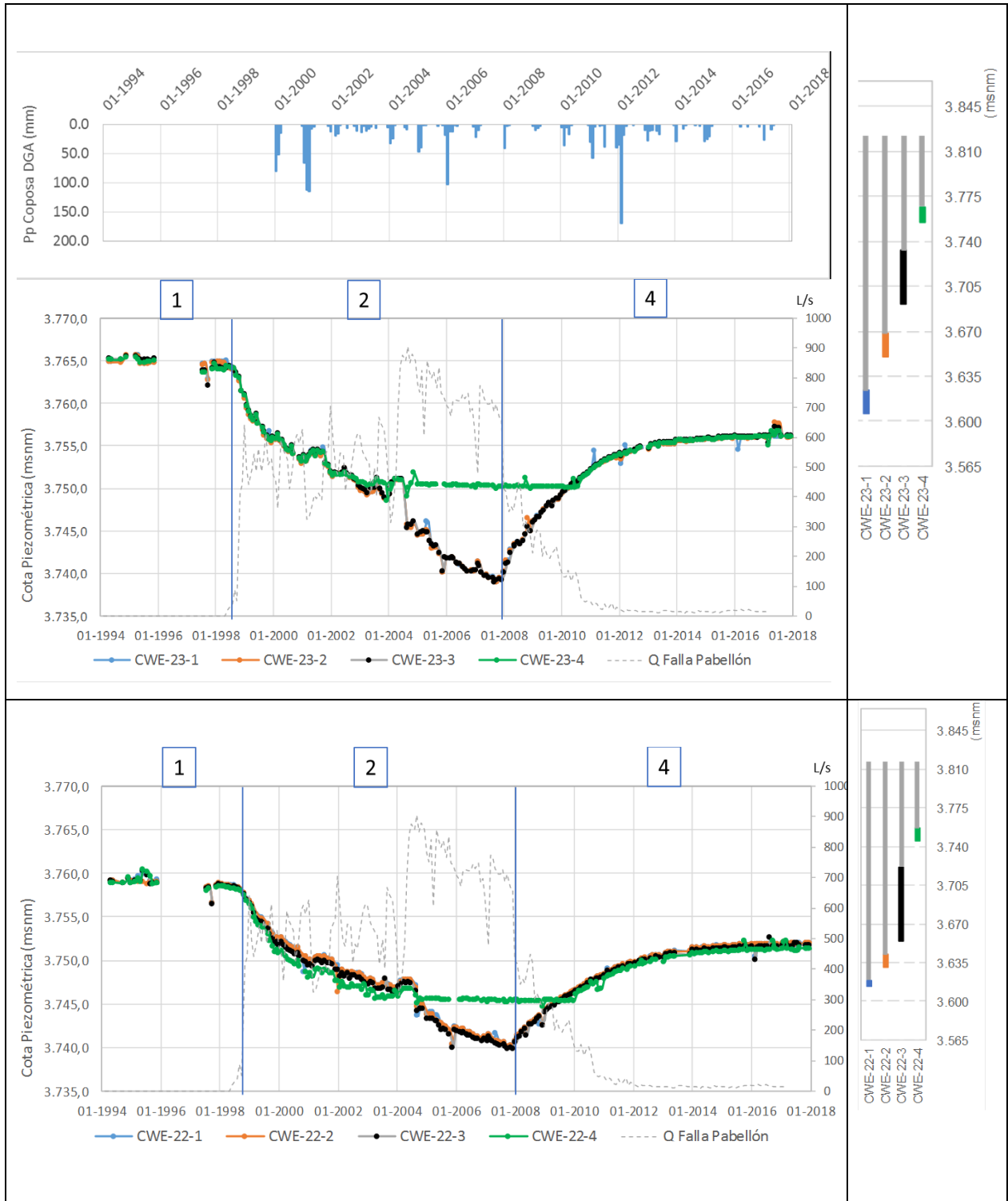
El siguiente grupo analizado se encuentra en la ZFP y está conformado por el multipiezómetro CWE-23, que dispone de cuatro piezómetros: 1, 2, 3 y 4. En la Figura 4-75 se observa que en este sector hay un único nivel acuífero. La evolución de los niveles del multipiezómetro CWE-23 da cuenta de los efectos de las extracciones en la ZFP, con una disminución del nivel entre 1998 y

2008 (periodo 2) y luego, los niveles vuelven a aumentar cuando cesan las extracciones en este sector (periodo 4). La diferencia de nivel entre antes del inicio de las extracciones en ZFP y diciembre de 2017 es de 9 m aprox. Importante es mencionar que el pozo que monitorea el nivel más somero del acuífero (CWE-23-4), se quedó “colgado” registrando valores constantes entre los años 2004 y 2010.

El segundo grupo de pozos analizado en la ZFP (Figura 4-75) incluye el multipiezómetro CWE-22, con sus piezómetros 1 (tramo ranurado entre 203 y 197 m de profundidad), 2 (tramo ranurado entre 174 y 186 m), 3 (tramo ranurado entre 95 y 162 m) y 4 (tramo ranurado entre 60 y 72 m). Si bien, en un inicio (desde 1994 a 1999) los niveles evolucionaron de manera indiferenciada, funcionando como un solo nivel acuífero, a partir de abr-1999 y producto de las extracciones en ZFP se observa un leve gradiente vertical (ascendente), en que el nivel del piezómetro somero se profundiza a una mayor tasa. Entre los años 2004 y 2010 este piezómetro quedó “colgado”, sin embargo, posteriormente se observa una evolución común y una similitud al nivel del resto de los piezómetros.

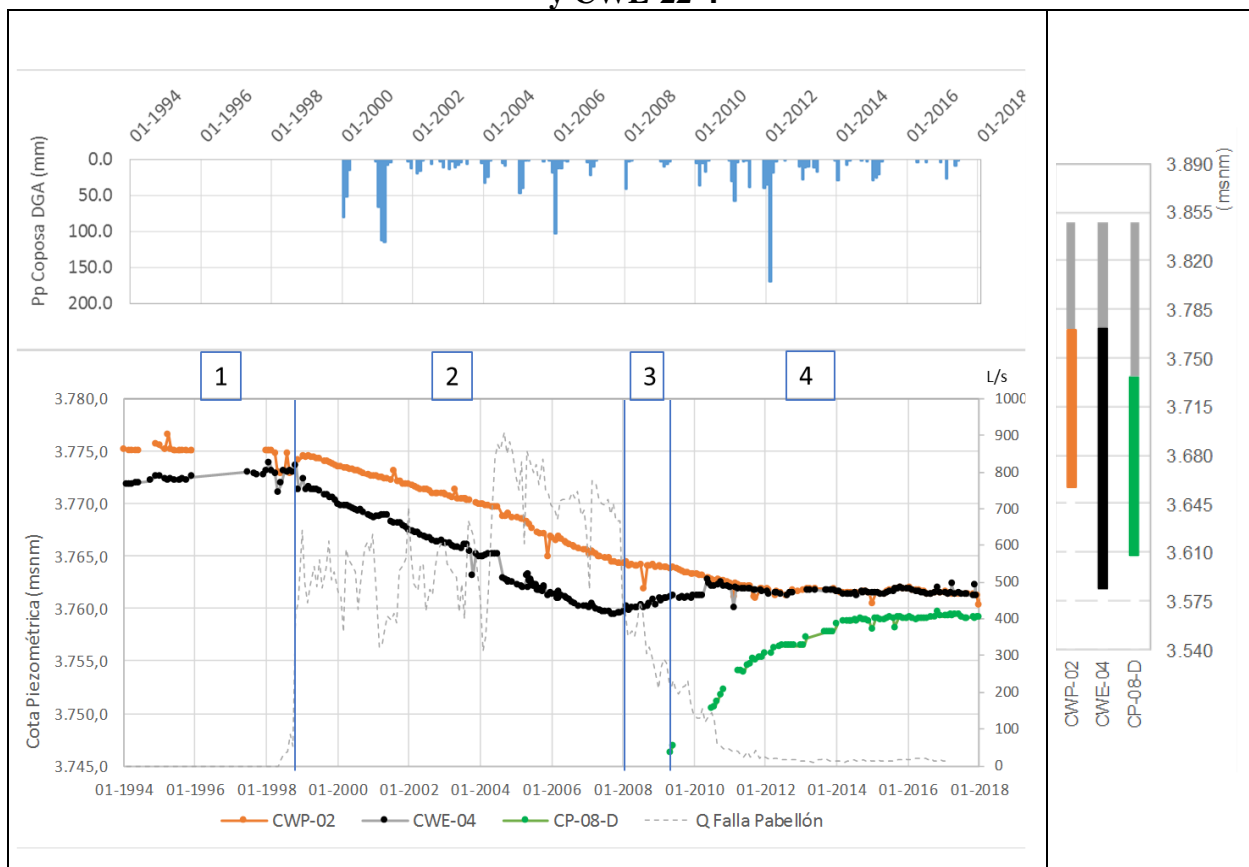
En el periodo 2 se produce un descenso en los niveles, que al año 2008, alcanza 20 m aproximadamente. Durante este patrón descendente, los niveles sufren oscilaciones de hasta 1 m relacionadas con los caudales extraídos en los pozos de bombeo de la ZFP. Durante el periodo 4 (cese de las extracciones en ZFP) los niveles se recuperan, hasta permanecer constantes. Sin embargo, actualmente (dic-2017) existe una profundización de 7,5 m respecto a los niveles en régimen natural (previo a las extracciones).

Figura 4-75: Variación del nivel de los pozos de observación CWE23-1, CWE23-2, CWE23-3, CWE23-4, CWE-22-1, CWE-22-2, CWE-22-3 y CWE-22-4 y ubicación de las cribas en cada uno de ellos



Fuente: Arcadis, diciembre 2018c

Figura 4-76: Variación del nivel de pozos de observación CWE-22-1, CWE-22-2, CWE-22-3 y CWE-22-4



Fuente: Arcadis, diciembre 2018b

En el sector sur de ZFP se han analizado los pozos CWP-02 (tramo captante entre los 77 y 191 m), CWE-04 (tramo captante entre los 76,5 y 264 m) y CP-08-D (tramo captante entre los 110 y 245 m), cuya evolución de niveles se presenta en la Figura 4-76. Pevio al bombeo de los pozos en ZFP (periodo 1), se observa una diferencia entre los niveles de los pozos CWE-04 y CWP-02. El pozo CWE-04 (el cual capta aguas más profundas) presenta un nivel que es inferior al del pozo CWP-02, produciéndose localmente un flujo vertical descendente.

El pozo CP-08-D corresponde a un pozo de producción que se mantuvo en régimen de bombeo entre ago-2003 y dic-2009, por lo que el registro de datos de niveles en este pozo comenzó desde esta última fecha en adelante.

La evolución posterior a las extracciones de ZFP (periodo 2) muestra una profundización mayor en el pozo CWE-04, lo que se explica debido a que el pozo CWE-04, al ser más profundo, y presenta parte de sus cribas en la Ignimbrita Huasco, se ve más influenciado por el bombeo de los pozos de producción, los cuales extraen agua principalmente de esta unidad geológica. Hasta fines del año 2007, el descenso total para los pozos CWP-02 y CWE-04 es de 10 y 15 m aproximadamente.

A partir del año 2008 (periodo 3), cuando comienza a disminuir el caudal de extracción de los pozos de la ZFP y su posterior cese, ocurre un cambio en la evolución de niveles de los pozos CWP-02 y CWE-04. Se observa una disminución en la tasa de descenso de nivel para el CWP-02, mientras el pozo CWE-04 comienza a ascender. En agosto de 2009, ocurre un cambio en la tasa de descenso del pozo CWP-02, aumentando levemente producto de los efectos del bombeo en Coposa

Sur (periodo 4), sin embargo, el nivel del pozo CWE-04 sigue recuperándose hasta alcanzar el nivel del pozo CWP-02 en mayo de 2010. Esto podría explicarse debido a que el pozo CWE-04 al estar ranurado en parte de la ignimbrita Huasco, esta unidad geológica sigue recuperando su presión hidrostática producto del cese de las extracciones en Falla Pabellón, mientras simultáneamente se producen las extracciones en los estratos sobreyacentes de Coposa Sur observándose el descenso de los niveles (CWP-02). De esta forma, en el pozo CWE-04 se observa que la ignimbrita Huasco, al recuperar la presión hidrostática de las unidades geológicas superiores y equilibrarse, posteriormente la evolución se produce en forma conjunta, descendiendo levemente hasta agosto de 2012 y luego manteniéndose relativamente estable hasta ahora (dic-2017).

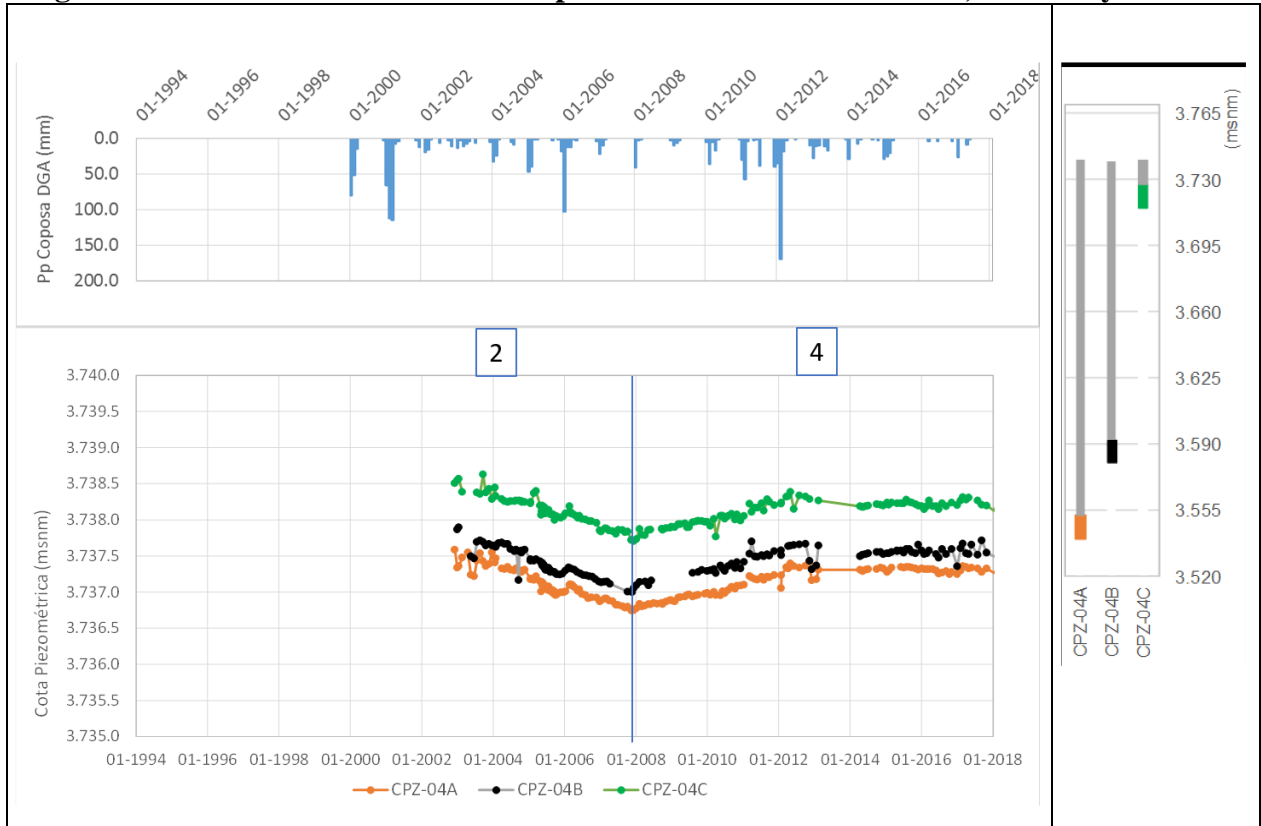
El pozo CP-08-D comienza su monitoreo a partir del año 2009, en donde se observa una considerable recuperación de sus niveles, estabilizándose a partir de marzo del 2014. Sin embargo, de la Figura 3.7-20 se observa que el pozo CP-08-D sigue registrando un nivel inferior, diferente a los pozos CWP-02 y CWE-04. Esto se podría atribuir a que este pozo comienza su tramo ranurado más profundo que el resto de los pozos, indicando la existencia de un gradiente vertical de flujo descendente en este sector.

Pozos sector Laguna Jachucoposa

En la Figura 4-77 se muestran los niveles en los pozos CPZ-04A (tramo captante entre 188 y 200 m), CPZ-04B (tramo captante entre 148 y 160 m) y CPZ-04C (tramo captante entre 13 y 25 m), situados 1 Km al norte de laguna Jachucoposa. Se observa en general que todos los pozos presentan una evolución muy similar, en los que se diferencian distintos niveles según sea el tramo ranurado, existiendo un gradiente vertical descendente.

El pozo CPZ-04C corresponde al nivel más somero y el pozo CPZ-04A presenta el nivel más profundo, con una diferencia de nivel entre ellos de 1 m. El comportamiento de los niveles de estos pozos responde a las extracciones llevadas a cabo en el campo de pozos de ZFP (periodo 2, con un descenso total de 0,85 m), notándose en el año 2008 el quiebre de la tendencia al descenso e ir recuperando notoriamente sus niveles, manteniendo la diferencia de profundidad entre ellos (periodo 4). Durante este periodo, hay una recuperación de los niveles, los cuales desde junio de 2012 se mantienen relativamente estables.

Figura 4-77: Variación del nivel de los pozos de observación CPZ-4A, CPZ-4B y CPZ-4C

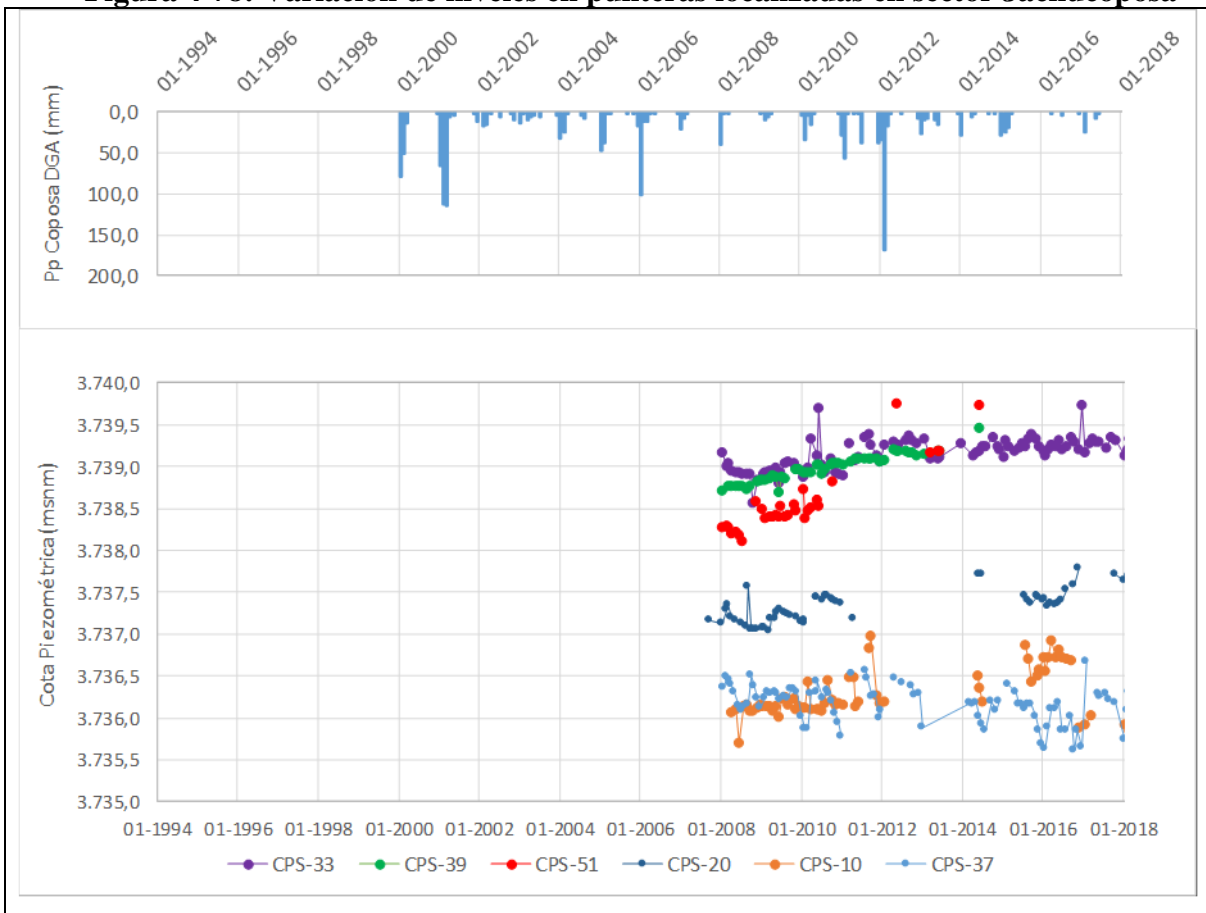


Fuente: Arcadis, diciembre 2018c

Punteras sector Laguna Jachucoposa

Las punteras localizadas en torno a la laguna Jachucoposa, fueron instrumentalizadas y cuentan con información de niveles a partir del año 2008 (punteras CPS). Algunas punteras ubicadas al sur de ésta (CPS-33, 39, 51, 20, 10 y 37) muestran una leve tendencia al ascenso (Figura 4-78) con una recuperación variable entre 0,4 a 0,65 m entre los años 2008 y 2018, siendo menos pronunciado este aumento conforme se acerca a la vertiente Jachucoposa. Así mismo se observa que las punteras localizadas más próximas a la vertiente, presentan un comportamiento más estable y menos influenciado por la recarga de precipitaciones. Hacia el norte, la puntera CPS-37 no muestra una tendencia clara, presentando un comportamiento de mínimos y máximos, que están influenciados por la recarga por precipitaciones.

Figura 4-78: Variación de niveles en punteras localizadas en sector Jachucoposa



Fuente: Arcadis, diciembre 2018c

Punteras sector salar

Las punteras CMW-14, 17B, 18, 23, 26, 30 y PC-01 (Figura 4-79), presentan una evolución común. Los niveles son estacionales y los descensos sostenidos ocurren a partir del año 2008 hasta dic-2017 con una profundización de 0,9 a 1 m aproximadamente (periodo 4), mostrando estabilización durante el último año. Se diferencian dos cotas piezométricas: CMW-14, 17B y 18 (localizados más al norte) y CMW-23, 26, 30 y PC-01 (localizados más al sur). Estos descensos se atribuyen a las extracciones del campo de pozos de Coposa Norte.

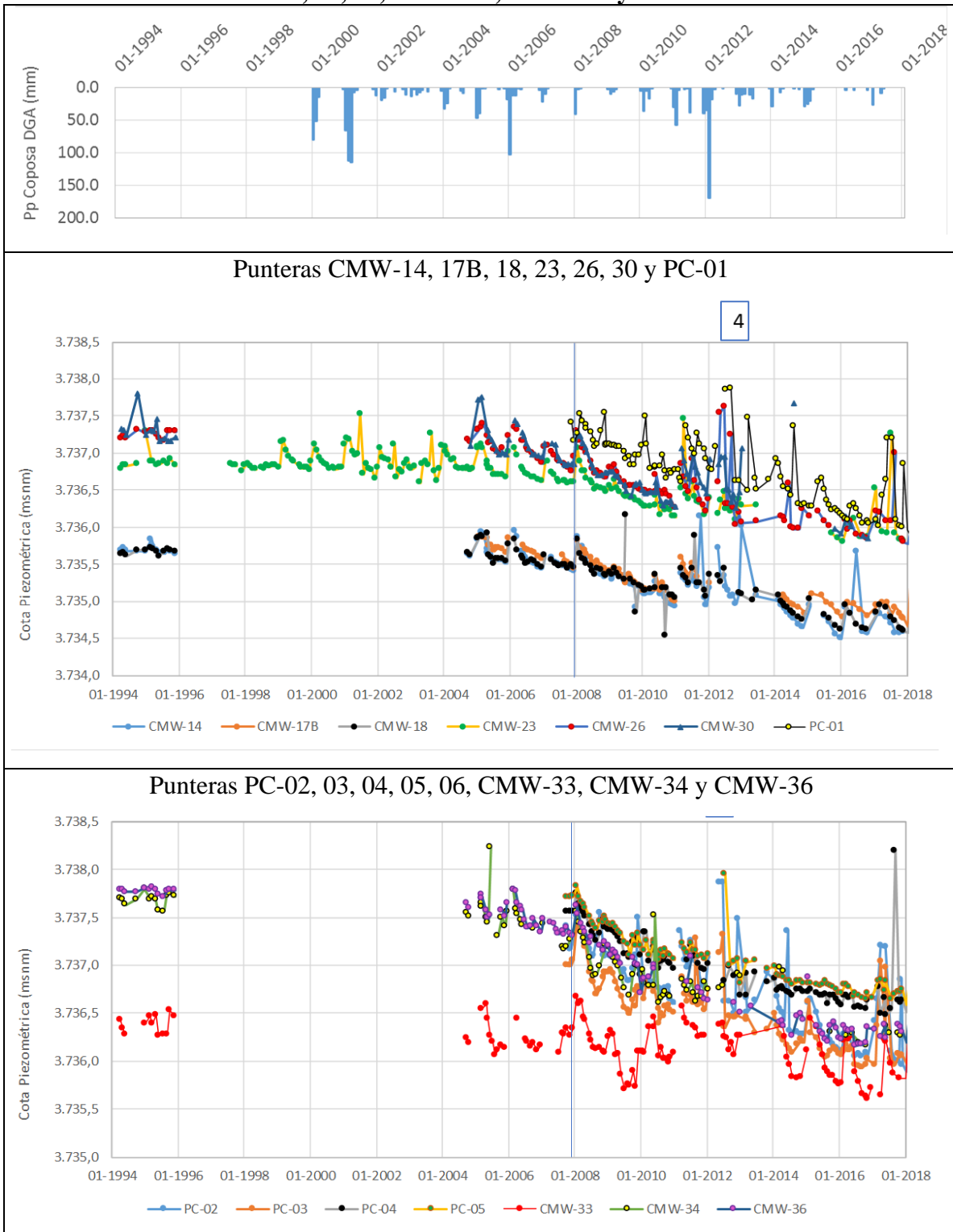
A continuación, las punteras PC-04, 05 y 06 presentan similar evolución (Figura 4-79), con poca a nula variación estacional (punteras de profundidad 5 – 6 m). El inicio de sus mediciones data de oct-2007 y los niveles presentan un descenso total de 1 m hasta dic-2017.

Las punteras PC-02, 03 (6,1 a 6,5 m de profundidad) y CMW-36 (2 m de profundidad) presentan una variación estacional y un descenso desde ene-2008 a dic-2017 en torno a 1 m, el cual se ha estabilizado en los últimos dos años. Del registro histórico de la puntera CMW-36 se observa una profundización previa al inicio de las extracciones en Coposa Norte, en torno a 0,5 m desde sus primeros registros (entre los años 1994 a 1996) a ene-2008.

La puntera CMW-34, registra una disminución de su nivel previa a sus mediciones en el año 2004 hasta fines del 2011 (1,1 m de profundización). Sin embargo, posteriormente el nivel aumenta hasta may-2014 (0,3 m) para luego disminuir nuevamente y estabilizarse entre feb-2016 a dic-2017. Esta puntera presenta un descenso total de 1,3 m.

Finalmente, la puntera CMW-33 presenta una evolución diferente al resto, en donde se observan variaciones estacionales, sin embargo, no se observa un descenso sostenido en el tiempo.

Figura 4-79: Variación de nivel en punteras CMW-14, 17B, 18, 23, 26, 30, PC-01 PC-02, 03, 04, 05, 06, CMW-33, CMW-34 y CMW-36



Fuente: Arcadis, diciembre 2018c

La Figura 4-80 muestra la piezometría del acuífero profundo para la situación actual (con referencias de los años 2016 y 2018) en la cuenca de Coposa. Las líneas verdes corresponden al acuífero confinado y las líneas celestes al acuífero somero del sector del salar.

La Figura 4-81 presenta la piezometría del acuífero somero en el sector de la laguna y salar de Coposa en la situación actual, con referencias del año 2018.

Al comparar la Figura 4-64 y Figura 4-80 que presentan la piezometría para régimen natural y la situación actual respectivamente para las cuencas de Coposa. Se observaron los siguientes puntos importantes (Arcadis, diciembre 2018c):

- Se observan conos de descensos en torno a los pozos de extracción ubicados en Coposa Norte Coposa Sur y Portezuelo.
- En el portezuelo formado por los cerros Pabellón del Inca y Chutinza se observa un descenso del gradiente desde 6 al 5% del flujo pasante desde Michincha hacia Coposa. Si bien existen pozos de bombeo activos en este sector, éstos no han cambiado la dirección natural del flujo.

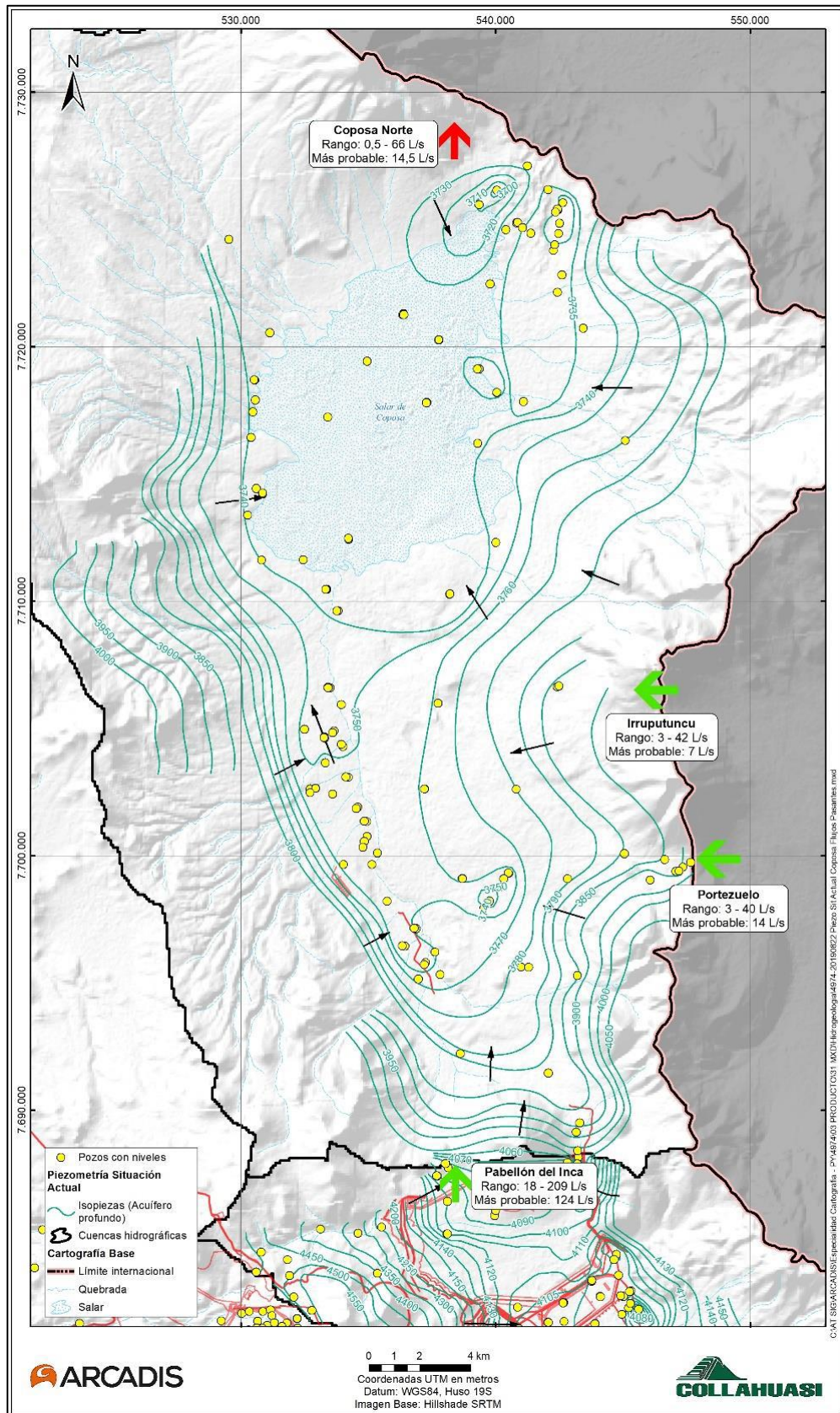
En la Tabla 4-18 se presentan los niveles en dos puntos de control en el sector Jachucoposa. Se presenta la cota terreno, el nivel medido el año 2008 (inicio de los registros y del descenso máximo observado), en la situación actual (año 2017) y las profundidades máximas estimados con el modelo numérico hidrogeológico presentado en el EIA del proyecto Desarrollo de Infraestructura y Mejoramiento de Capacidad Productiva de Collahuasi (2019), para la Operación Actual (OA) y para dicho proyecto (Arcadis, diciembre 2018f).

Tabla 4-18: Descensos estimados en la operación actual y el Proyecto en áreas con vegetación azonal en el salar de Coposa

Punto de Control	Ubicación	Cota Terreno (msnm)	Nivel Año 2008 (msnm)	Nivel Actual (2017) (msnm)	Prof. Napa año 2008 (m)	Prof. Napa Actual (2017) (m)	Profundidad Napa Máx OA (m)	Prof. Napa Máx. Proyecto (m)
CMA-01A	Jachucoposa	3739.96	3738.84	3739.53	1.12	0.43	0.66	0.7
CMA-01B		3739.94	3738.86	3739.5	1.08	0.44	0.65	0.69

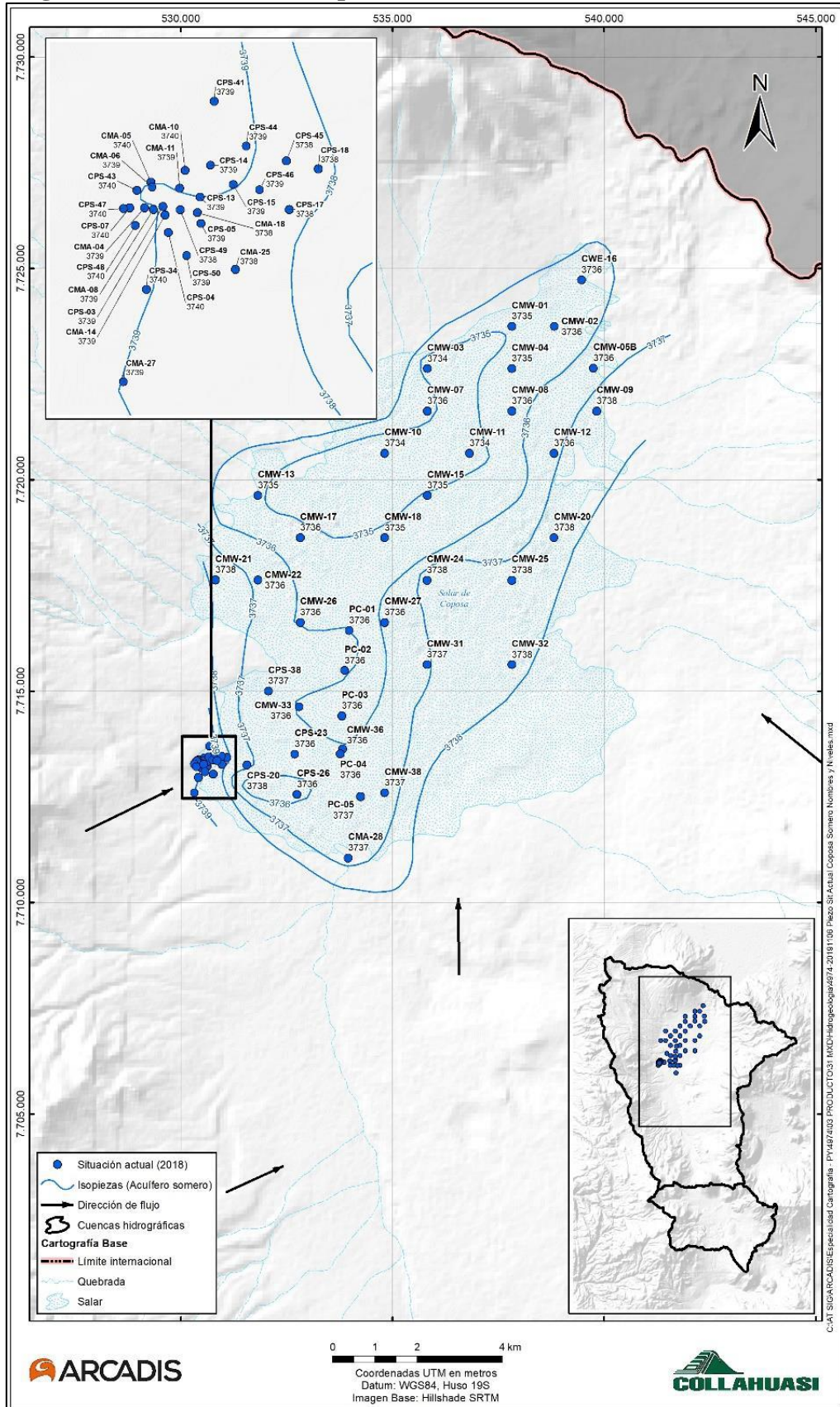
Fuente: Arcadis, diciembre 2018f

Figura 4-80: Nombres de pozos y niveles estáticos piezometría Coposa acuífero profundo en situación Actual



Fuente: Arcadis 2019

Figura 4-81: Piezometría Coposa acuífero somero situación actual (2018)



Fuente: Arcadis, diciembre 2018c

4.2.4.3. Modelo Hidrogeológico Conceptual

De acuerdo con la Figura 4-84 en el perfil N-S, ubicado sobre la Falla Pabellón, se observa que luego del traslado de los pozos a partir del año 2008 los niveles piezométricos comenzaron a recuperarse. De acuerdo con el registro histórico, el descenso de los niveles piezométricos en el sector Falla Pabellón provocó la disminución del caudal de la vertiente Jachucoposa. El caudal natural descendió en febrero de 2008 a tan solo 11 L/s, y una vez que se realizó el cambio de puntos de captación desde Falla Pabellón a otros sectores de la cuenca de Coposa, el caudal de la vertiente comenzó a recuperarse, hasta alcanzar un promedio de 59,4 L/s desde enero a diciembre de 2017 (caudal natural) tal como se observa en la Figura 4-82.

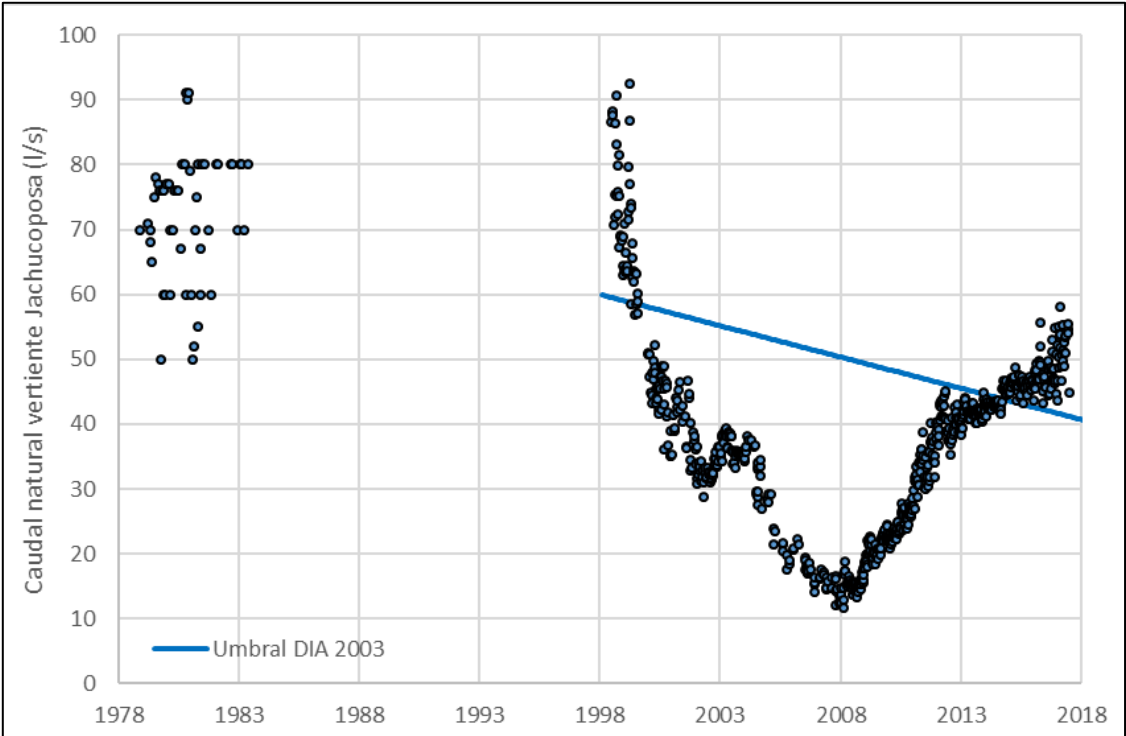
En la Figura 4-83, se presenta la imagen en planta de los mismos perfiles presentados en el modelo conceptual de la Línea base, pero ahora en las figuras Figura 4-84 y Figura 4-85 se muestra el perfil transversal con la evolución de los niveles freáticos de los pozos.

En la Figura 4-84 , con el perfil en dirección N_S por sobre la Falla Pabellón, se observa de manera general la recuperación de los pozos y punteras allí ubicados.

La Figura 4-85 presenta el perfil con dirección O-E en el que se observa que aquellas punteras ubicadas cercanas a la vertiente Jachucoposa, tuvieron un descenso durante el período en que operaron los pozos en el sector de la Falla Pabellón, y que comenzaron a recuperarse a partir del año 2008. En cambio, aquellos pozos ubicados hacia el este del salar, más alejados de la vertiente, presentan un nivel relativamente constante hasta el año 2008, donde comienza un descenso que inicia junto con el traslado de pozos hacia el sector Coposa Norte.

En la Figura 4-86, se presenta la piezometría actual para el acuífero profundo y el acuífero somero. En ella se muestran los gradientes verticales entre acuífero profundo y somero identificados dentro de la cuenca de Coposa. Se observa en la zona Falla Pabellón y en el borde norte y sur del salar Coposa gradientes ascendentes; y en el sector de Jachucoposa, y centro del salar gradientes descendentes. En particular en el sector desde donde se extrae el caudal de mitigación para la vertiente, en la zona sur de la Falla Pabellón, se observa que también existe un gradiente descendente.

Figura 4-82: Aforos en vertiente Jachucoposa pre y post extracciones en la cuenca de Coposa



Fuente: Arcadis, diciembre 2018d

Figura 4-83: Geología superficial y localización de perfiles N-S y W-E

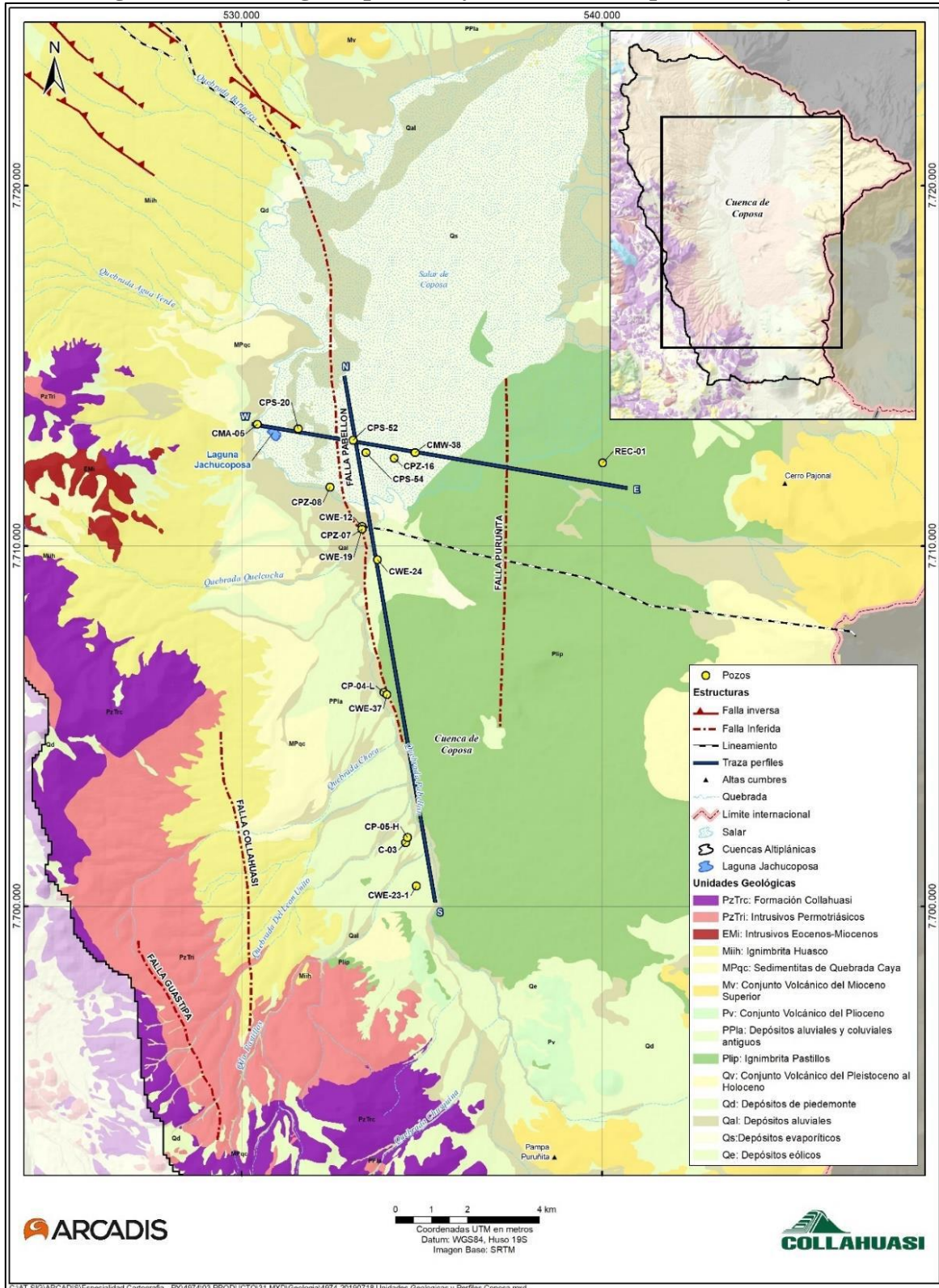
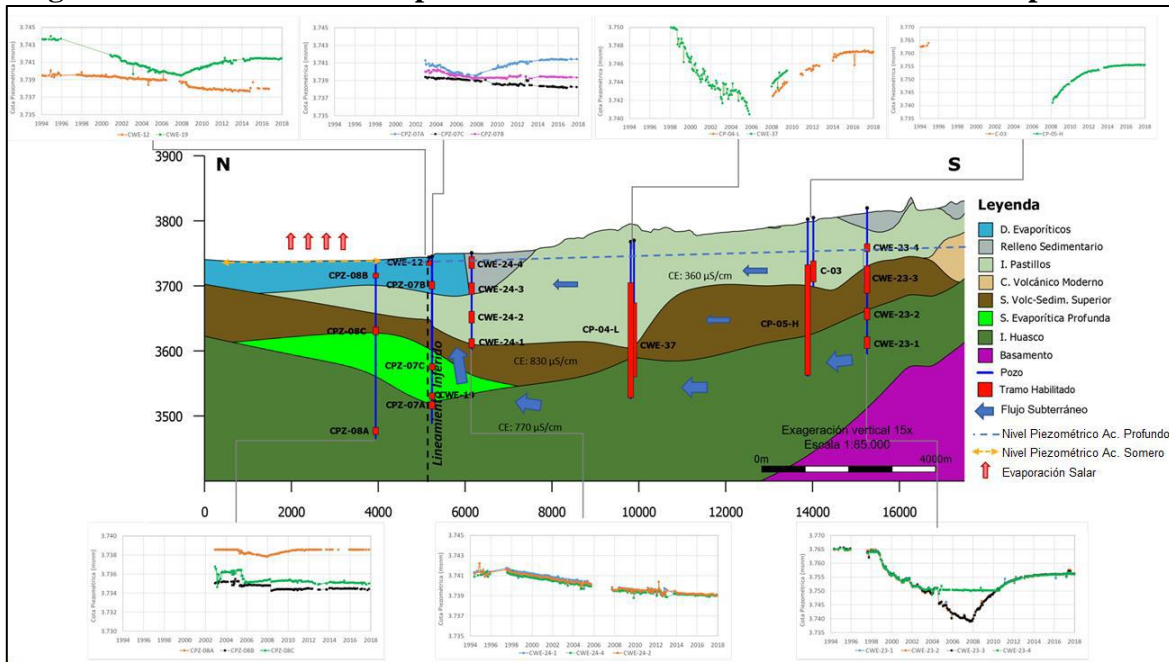
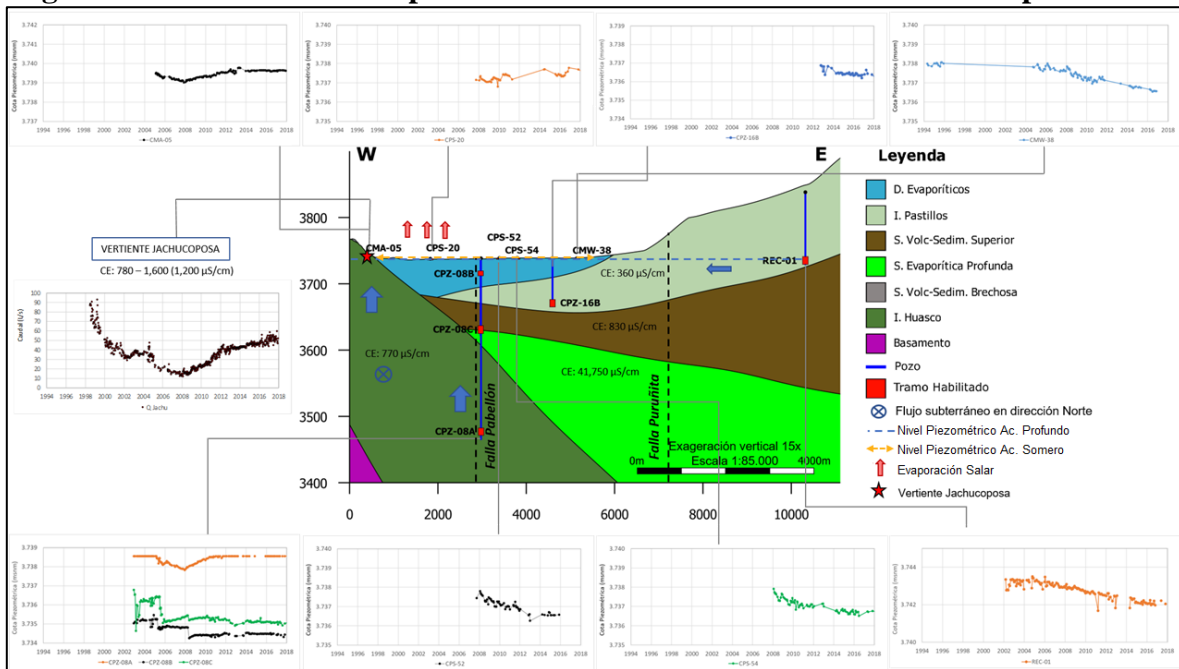


Figura 4-84: Evolución de la piezometría en sector de la vertiente Jachucoposa. Perfil N-S



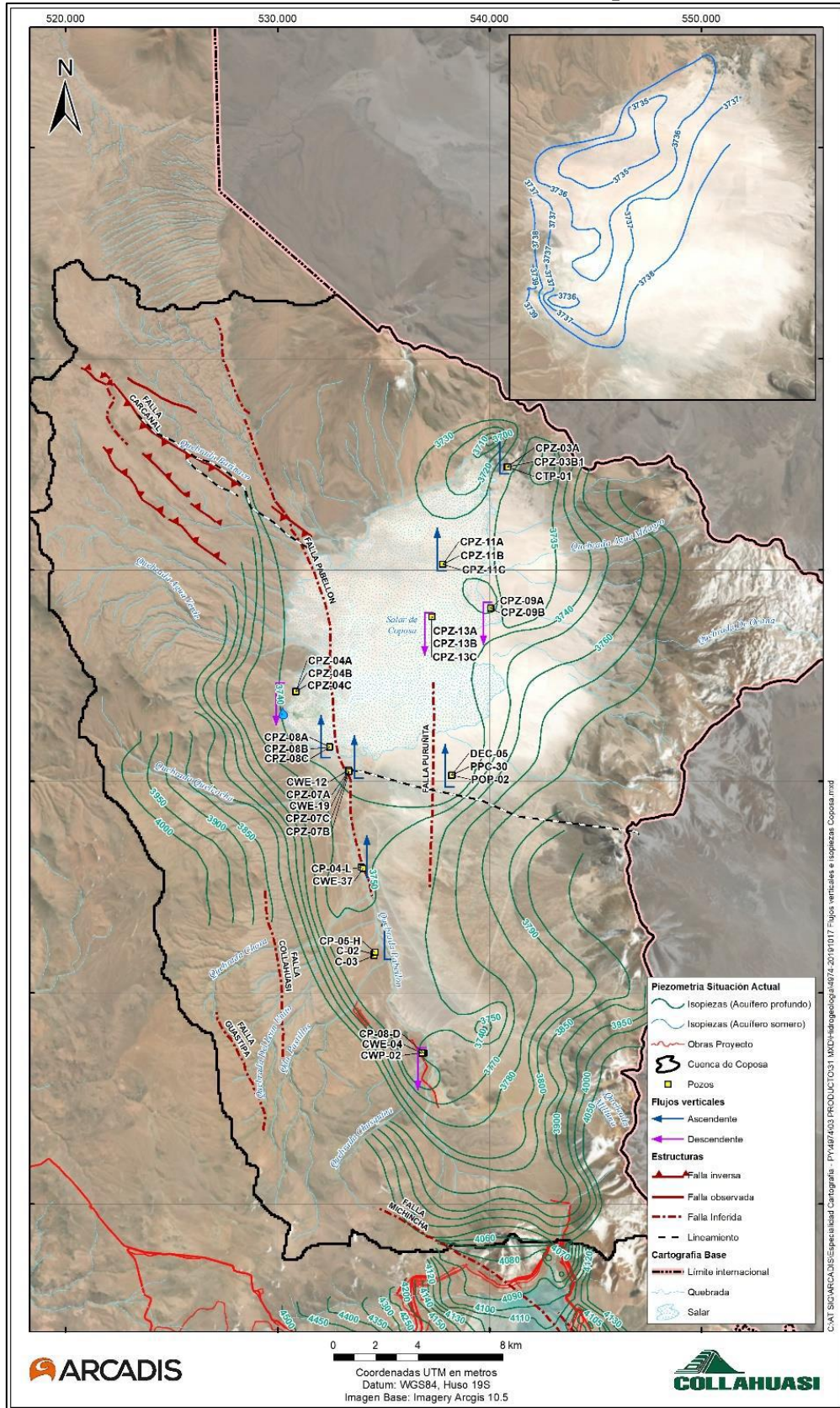
Fuente: CMDIC, 2019 (Adenda, Arcadis 2019)

Figura 4-85: Evolución de la piezometría en sector de la vertiente Jachucoposa. Perfil W-E



Fuente: CMDIC, 2019 (Adenda, Arcadis 2019)

Figura 4-86: Gradientes verticales reconocidos en el acuífero profundo en situación actual



Fuente: Fuente: CMDIC, 2019 (Adenda, Arcadis 2019)

4.2.4.4. Balance Hídrico

El balance hídrico en situación actual (diciembre de 2018) incluye la salida correspondiente a las extracciones de pozos Collahuasi, que suman un total de 984,8 L/s. En los demás elementos del balance se generaron los siguientes cambios con respecto a la situación en régimen natural. Para el caso de los flujos de entrada, la recarga por precipitación se vio disminuida, el flujo subterráneo proveniente de Michincha tuvo una disminución de alrededor de 21 L/s provocado por el descenso de los niveles en dicha cuenca. Los flujos desde portezuelo e Irruputuncu se mantienen prácticamente iguales en ambos escenarios. Para los flujos de salida, la evaporación se vio disminuida en más de un 50% en comparación con la evaporación natural y el flujo subterráneo que va hacia el salar Empexa tuvo una disminución de 2,2 L/s.

El balance presentado en la Tabla 4-19 muestra un déficit hídrico de 358 L/s lo que se ha podido ver reflejado en los descensos general de nivel dentro de la cuenca, esto último, independiente de que en el sector de la Falla Pabellón se hayan recuperado en parte los niveles, se han generado nuevos descensos en los otros sectores a los que fueron trasladados los pozos. Se intuye por parte de Arcadis 2018 que los niveles en el sector Falla Pabellón no se han logrado recuperar en totalidad debido a que existen flujos generados por las extracciones en el sector de Coposa Sur.

Tabla 4-19: Balance hídrico Régimen Natural y Situación Actual

Balance Hídrico Cuenca Coposa	Régimen Natural		Situación Actual	
	Rango	Estimado	Rango	Estimado
Flujos				
Entrada (L/s)				
Recarga por precipitación	640 - 704	650	640 - 704	480
Flujo Subterráneo desde Michincha	21 - 244.4	145.6	18.1 - 216.7	124.8
Flujo Subterráneo desde Portezuelo	3.1 - 39.3	13.5	3.4 - 43.4	14.9
Flujo Subterráneo desde Irruputuncu	2.7 - 34	6.1	3.2 - 41.6	7.5
Total Entradas		815		627
Salidas (L/s)				
Evaporación	406 - 902.8	796	272.1 - 349.9	317
Flujo Subterráneo hacia Empexa	0.6 - 77.3	19	0.5 - 68.6	16.8
Extracciones de pozos Collahuasi		-		651
Total Salidas (L/s)		815		984.8
Diferencia entre Entradas y Salidas (L/s)		0		-358

Fuente: Arcadis, diciembre 2018c

4.2.4.5. Actividades de Mitigación

En esta sección se explica de manera conjunta las actividades de mitigación y seguimiento en la cuenca de Coposa, en las que se incluye el traslado de los pozos de bombeo, y Sistema de Recarga Artificial de la vertiente Jachucoposa para el mantenimiento de la vegetación azonal y de las lagunas del salar.

En el caso de las medidas de mitigación sobre la vertiente Jachucoposa, esta se plantea desde el primer EIA el año 1995, dado que ya se preveía que el bombeo del acuífero en el sector Falla Pabellón generaría un descenso en los niveles freáticos del acuífero profundo, cuyas presiones hidrostáticas estaban relacionadas con la vertiente Jachucoposa en el sector en donde aflora en superficie la Ignimbrita Huasco. Por lo que en los Estudios y Declaraciones posteriores lo que se hizo fue detallar en mayor profundidad dicha medida, conforme se iba aumentando el conocimiento del funcionamiento del ecosistema de Jachucoposa.

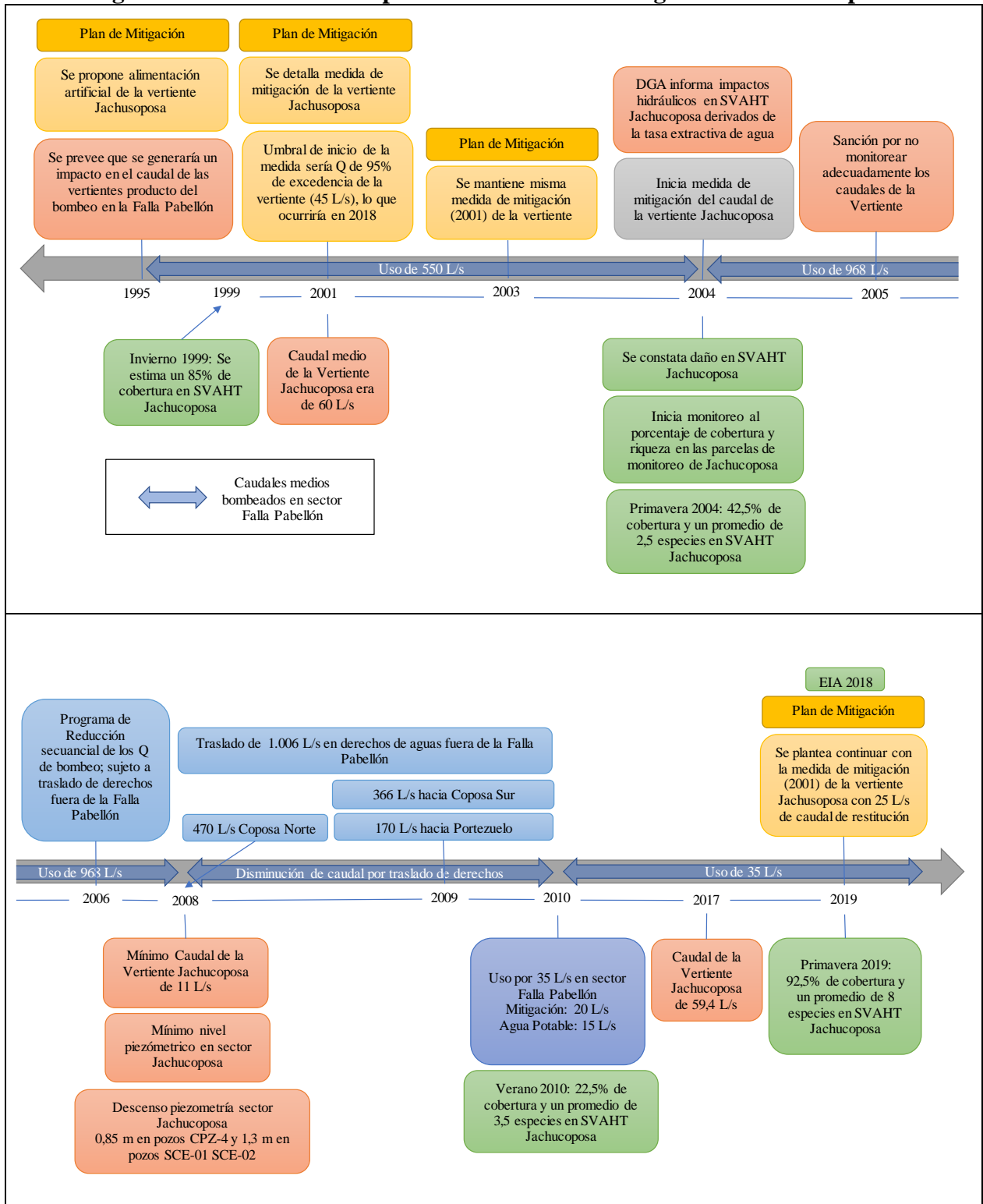
En cuanto a la medida del traslado de pozos de bombeo, esta se realizó producto de que en el año 2004 se constató una disminución del caudal natural de la vertiente Jachucoposa mayor a la proyectada en las evaluaciones ambientales previas (Res. Ex. N° 713/2199 de 1995, Res. Ex. N° 167/2001, Res. Ex. N° 100/2003). Dichos traslados comienzan el año 2008 con la Res. Ex. N° 125/2008 en donde Collahuasi trasladó derechos por 1.006 L/s desde Falla Pabellón hacia otros 3 sectores de la cuenca, Coposa Norte, Coposa Sur y Portezuelo (Arcadis, diciembre 2018a)

En el sector de la Falla Pabellón quedaron solo 2 pozos operativos con derechos de extracción de agua por un total de 35 L/s. El agua de uno de los pozos, con derechos por 15 L/s, alimenta el sistema de agua potable de los campamentos ubicados en Coposa y el otro pozo, con derechos por 20 L/s, es utilizado para abastecer la medida de mitigación vigente que restituye aguas en la vertiente Jachucoposa (Arcadis, diciembre 2018a).

Descripción de la implementación de las Actividades de Mitigación

A continuación, se explica el procedimiento de implementación de las actividades de mitigación involucradas en el sistema vegetacional de Jachucoposa y su respectiva vertiente. En la Figura 4-87 se presenta de manera esquemática dicho proceso con los hitos más importantes en cuanto a bombeo de agua en el sector Falla Pabellón, implementación de las medidas de mitigación, caudales de la vertientes Jachucoposa y cobertura y riqueza del SVAHT Jachucoposa.

Figura 4-87: Línea de Tiempo de Actividades de Mitigación en Jachusoposa



Fuente: Elaboración propia

- 1995: Se propone alimentación artificial de la vertiente Jachucoposa con recursos hídricos de características similares y así proteger el nivel de agua de la laguna y los ecosistemas relacionados.
- 2001: La medida de alimentación artificial consiste en recargar artificialmente, con aguas de la misma calidad, las vertientes Jachucoposa. Umbral sería el caudal de 95% de excedencia en la vertiente (45 L/s). La medida de reposición de agua (15 L/s adicionales para alcanzar el caudal medio total de 60 L/s) debería iniciarse el año 2018 e interrumpirse el año 2032. Res Ex. N°167/2001. Implementación de la medida se preveía para el año 2018.
- 2003: Mantener los caudales de las vertiente Jachucoposa por sobre los umbrales acordados en la Res Ex. N°167/2001 manteniendo el método de mitigación de reponer agua de calidad compatible con la vertiente obtenida de los pozos. Dado el mayor caudal de bombeo, la implementación de la medida sería el año 2012.
- 2004: Inicia medida de mitigación de la vertiente Jachucoposa, junto con el monitoreo al porcentaje de cobertura y riqueza en las parcelas de monitoreo de Jachucoposa.
- 2005: Se establece el programa de reducción secuencial de los caudales de bombeo; sujeto a traslado de derechos hacia fuera de la Falla Pabellón. Res. Ex. N°XX¹⁴ de julio de 2005.
- 2006: Comienza la elaboración de los proyectos para el traslado de 1.006 L/s de derechos de agua desde el sector Falla Pabellón hacia el sector Coposa Norte, Coposa Sur y Portezuelo
- 2008: Comienza bombeo de agua desde el sector Coposa Norte de entre 300 L/s a 500 L/s desde enero de 2008 hasta 2023.
- 2009:
 - Bombeo por un caudal de 140 L/s en el sector de Coposa Sur desde mayo del 2009, manteniendo la vida útil aprobada hasta el año 2027.
 - Bombeo por un caudal de 225 L/s en el sector de Coposa Sur desde septiembre del 2009, manteniendo la vida útil aprobada hasta el año 2027.
 - Bombeo por un caudal de 160 L/s desde el sector de Portezuelo desde octubre de 2009, manteniendo la vida útil aprobada hasta el año 2027.
- 2010: Quedan solo dos pozos en el sector Falla Pabellón, con un total de 35 L/s, de los cuales 20 L/s son considerados para reponer el caudal de la vertiente Jachucoposa y 15 L/s para abastecimiento de agua potable del campamento.
- 2019: Se plantea continuar con la medida de mitigación vigente sobre la restitución de la vertiente Jachucoposa, con un caudal adicional aproximado de 25 L/s (EIA Proyecto Desarrollo de Infraestructura y Mejoramiento de Capacidad Productiva de Collahuasi año 2019). Esta medida de mitigación se mantendría hasta que se asegure una recuperación de los caudales naturales de la vertiente.

Descripción de la medida de mitigación para la vertiente Jachucoposa

La vertiente Jachucoposa presenta una medida de mitigación (Res. Ex. N°167/2001) donde se recarga de tal forma que el caudal natural más la mitigación debe ser siempre igual o superior a 60 L/s (Se considera caudal natural, como el caudal aforado sin la medida de mitigación vigente. Se establece que caudal total, corresponde al caudal natural más la medida de mitigación.). El agua para la reposición se extrae desde el acuífero, con una calidad similar de la vertiente, y se conduce y aplica en el sector de afloramiento natural (Arcadis, diciembre 2018c)

¹⁴ No se logra leer el número de la resolución dado que es un documento fotocopiado y/o escaneado.

El caudal de la vertiente Jachucoposa medido en la estación CSW-2 corresponde a la suma de los caudales aforados en dos vertederos: vertedero grande y vertedero chico, tal como se muestra en la Figura 4-70.

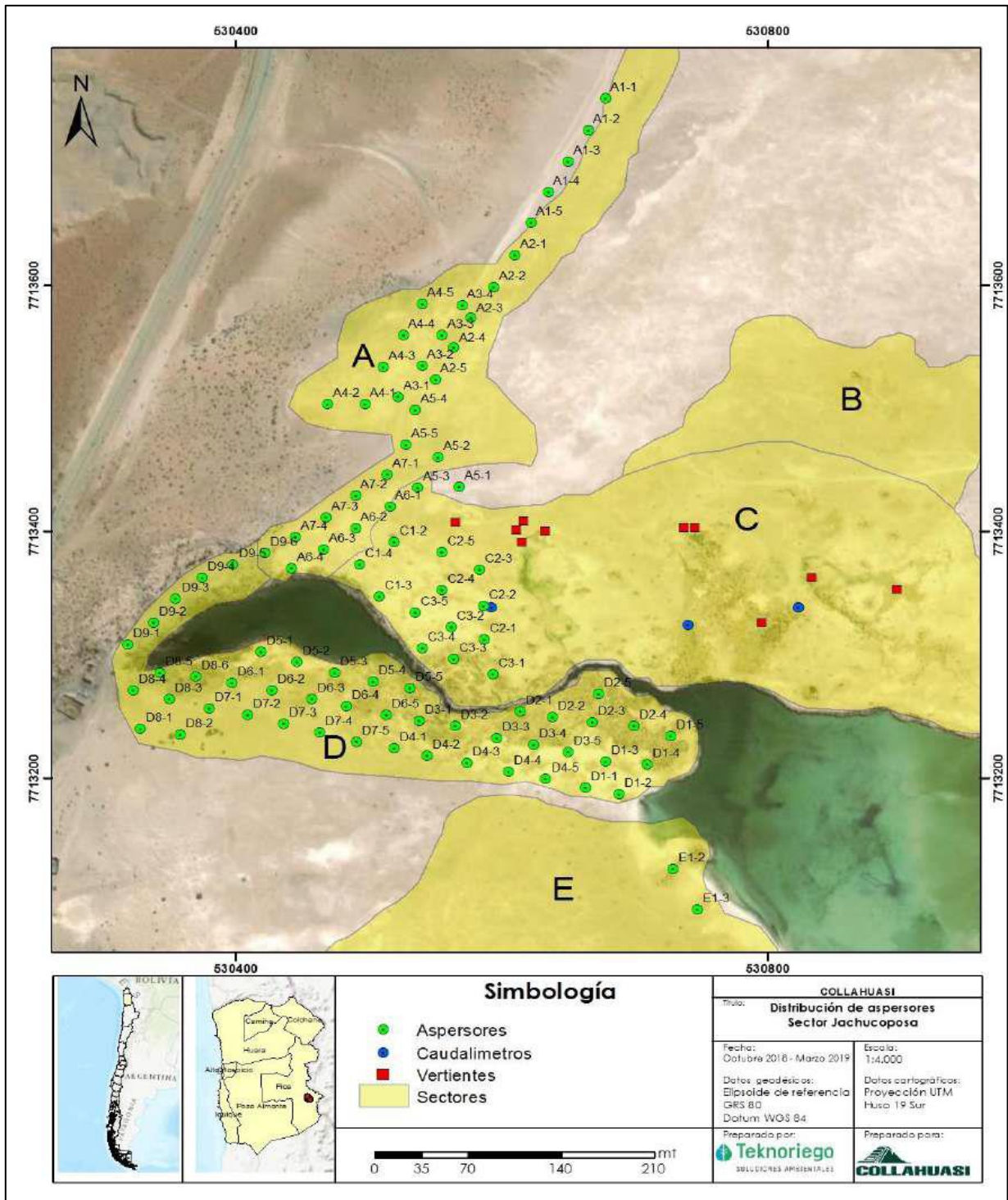
Operación del Sistema de Riego

El sistema de mitigación por riego se encuentra conformado por dos sistemas de riego, uno por aspersión el cual se encarga del riego de los sectores A, C1 y D y otro por surcos en los sectores B y C (Figura 4-88). El primero es un tipo de riego realizado con aspersores de gran alcance, los cuales riegan los polígonos establecidos. El segundo riego es de tipo surgencias, riego realizado por apertura y cierre de canales, dirigiendo el agua según criterio y necesidad en donde se aplica agua por medio de vertientes artificiales desde las cuales emerge el agua y se va distribuyendo por la superficie de la vertiente de manera directa, ayudado por surcos o canales de dirección. El sistema que aplica estos riegos está compuesto por una sala de bombas y generadores eléctricos, los cuales se encuentran en instalaciones a un costado de la vertiente y que se manejan de forma programada (CEA, enero 2020).

El programa de riego considera el inicio en el mes de noviembre de cada año para terminar en marzo del año siguiente, esto es, riego durante primavera y verano, sin embargo, este programa depende de las condiciones de temperatura que existan en el sector, pudiendo comenzar el periodo de riego, toda vez que el estrés térmico al que están sometidas las plantas durante todo el invierno y comienzos de primavera haya desaparecido (CEA, enero 2020).

Con el objeto de realizar la operación del sistema de mitigación, se genera un programa semanal de riego basado en el cálculo de la evapotranspiración de las especies vegetales (ETc). Para estos efectos se utiliza la estación meteorológica existente en el salar de Coposa, el monitoreo de la evapotranspiración potencial (ETp) de Jachucoposa, la presencia y régimen de precipitaciones, la utilización de coeficientes de cultivos propios de las formaciones vegetales, las observaciones de terreno en cuanto a infiltración de agua y escurrimientos a nivel de suelos. En base a lo anterior se realizan los programas de riego semanales para reponer la lámina de agua estimada por ETc en función de la precipitación de cada sector de riego. La aplicación a su vez queda vinculada a las observaciones de terreno (CEA, enero 2020).

Figura 4-88: Ubicación de sitios por aspersión y surco (Coordenadas UTM, Datum WGS84, Huso 19 Sur.

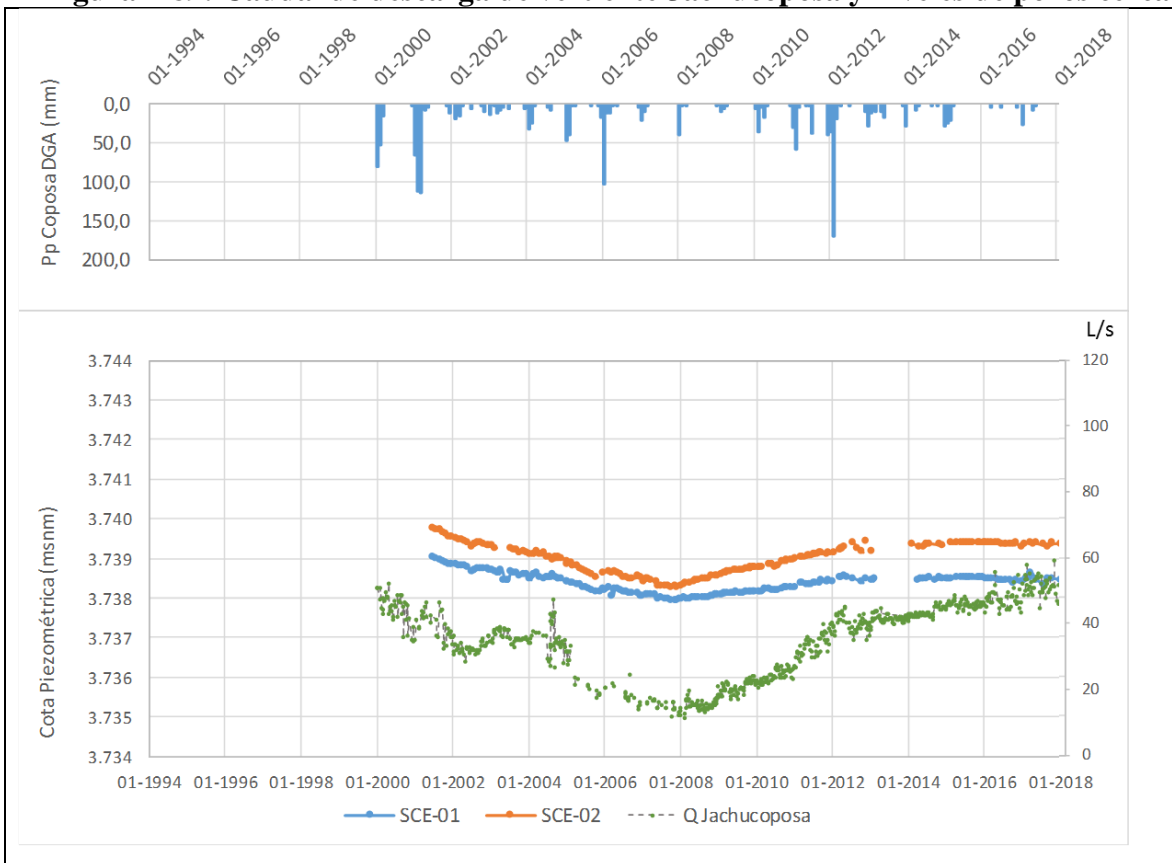


Fuente: CEA, enero 2020

Resultados observados de las medidas de mitigación

La variación del caudal natural (sin mitigación) de la vertiente se muestra en la Figura 4-89 junto con los niveles de los pozos (SCE-01 unos 1200 m al norte de la vertiente y SCE-02 (unos 1600 m al sur de la vertiente) de 200 y 80 m de profundidad, respectivamente, los cuales representan a variaciones del acuífero profundo. Se observa que esta variación, guarda directa relación con el sistema hidrogeológico del sector de Falla Pabellón, por lo que la extracción de los pozos de bombeo causó su descenso hasta llegar a 11 L/s en febrero de 2008. Una vez que se realizó el cambio de puntos de captación desde Falla Pabellón a otros sectores de la cuenca de Coposa, el caudal de la vertiente comenzó a recuperarse, hasta alcanzar un promedio de 59,4 L/s desde enero a diciembre de 2017 (caudal natural). El nivel registrado en los pozos SCE-01 y SCE-02 muestra también una tendencia descendente hasta finales del año 2007 debido al bombeo en el sector Falla Pabellón. A partir de 2008 los niveles comienzan una tendencia ascendente hasta estabilizarse, aunque no alcanzan el nivel inicial registrado (Arcadis, diciembre 2018c).

Figura 4-89: Caudal de descarga de vertiente Jachucoposa y niveles de pozos cercanos

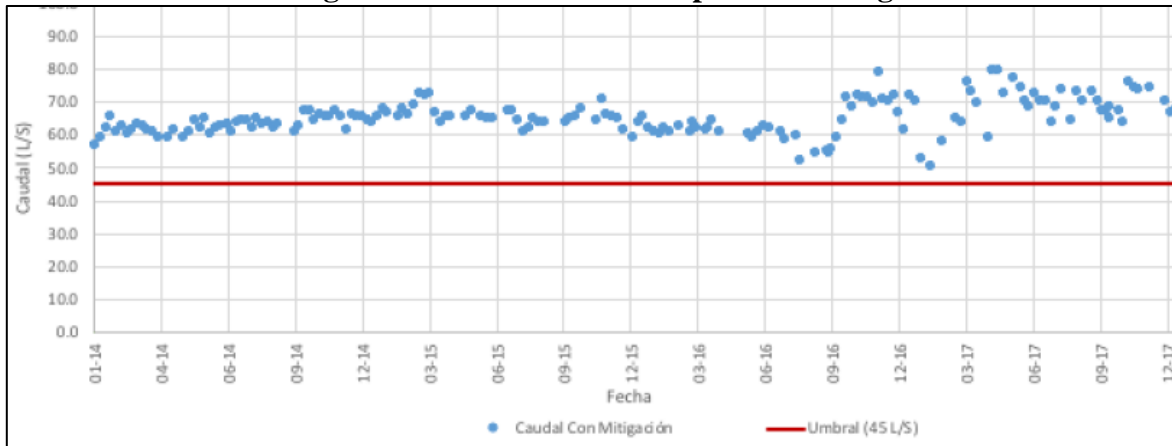


Fuente: Arcadis, diciembre 2018c

La Figura 4-90 representa el caudal total aforado en el sector de la vertiente Jachucoposa con la implementación de la medida de mitigación desde enero de 2014 a diciembre de 2017. Dicho caudal corresponde a la suma del caudal natural de la vertiente y del caudal de mitigación. La línea en rojo indica el umbral mínimo de descenso permitido para la vertiente de 45 L/s.

Se observa que el caudal con mitigación oscila entre los 50 y 80 L/s aproximadamente.

Figura 4-90: Caudal Jachucoposa con Mitigación



Fuente: SNIFA, 2017

4.2.4.6. Condición de la Vegetación Azonal – Variación de cobertura y riqueza

En esta sección se muestra la condición de la vegetación azonal en el sector de Jachucoposa. Para ello se utilizó la información presentada en los informes de seguimientos obtenidos del SNIFA, con datos históricos de cobertura y riqueza desde noviembre de 1998 hasta noviembre de 2019.

De manera particular, el porcentaje de cobertura inicia sus registros el año 2004 luego de la implementación de la medida de mitigación en Jachucoposa. La Figura 4-91 muestra las parcelas utilizadas por el CEA para llevar el seguimiento de la vegetación acuática y terrestre. Para la información mostrada en la

Tabla 4-20 y Figura 4-92 se utilizaron las parcelas terrestres P1 y P2 de la figura.

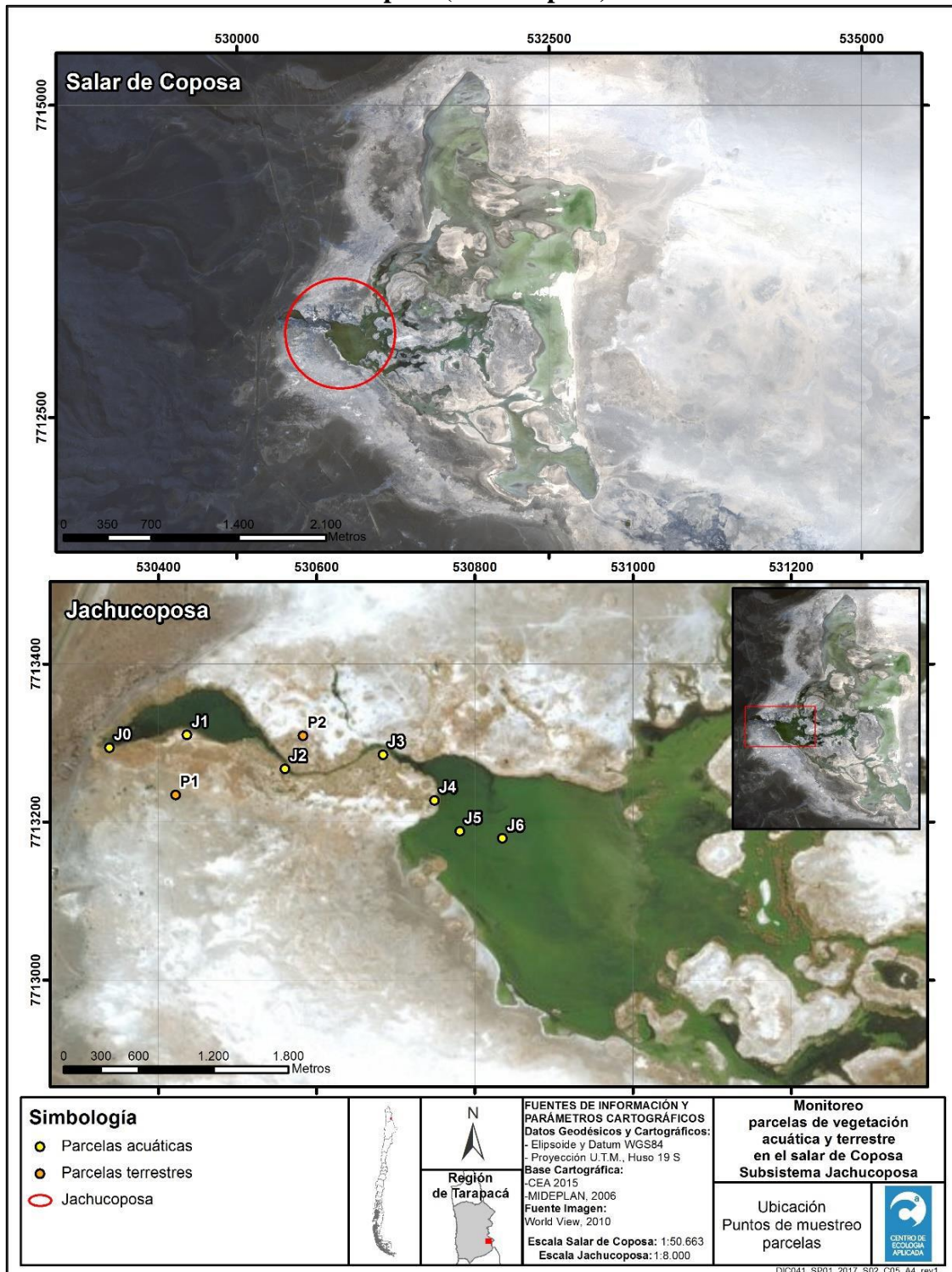
De manera general, se observa que desde el año 2004 al 2019 hubo una tendencia ascendente de la cobertura y riqueza en el sector.

El año 2004 en que se constató por la DGA el daño ambiental en el bofedal, se observa en la tabla que, la riqueza de especies fue de tan solo 2,5 especies, valor mínimo histórico registrado, y con una cobertura de 42,5 %. La cobertura mínima registrada fue de 20% en invierno de 2010, con una riqueza de 4 especies.

Del 2011 en adelante se observa una tendencia de recuperación en cobertura y riqueza, marcada por variaciones intranuales, en donde la cobertura desciende durante las temporadas de otoño e invierno y luego se recupera durante la temporada estival producto de las precipitaciones. Sin embargo, en el período comprendido entre mayo de 2016 y mayo de 2017 se observa un descenso generalizado de cobertura y riqueza, lo que se relaciona a un período de escasas precipitaciones en la temporada estival.

En enero de 2019 se registra uno de los mayores porcentajes de cobertura y riqueza de todo el registro histórico, de 92,5 % y 8 especies respectivamente. Es importante notar que según estudio presentado por CMDIC en invierno de 1999 la cobertura histórica era de un 85 %.

Figura 4-91: Ubicación de las parcelas de vegetación acuática y terrestre en Salar de Coposa (Jachucoposa).



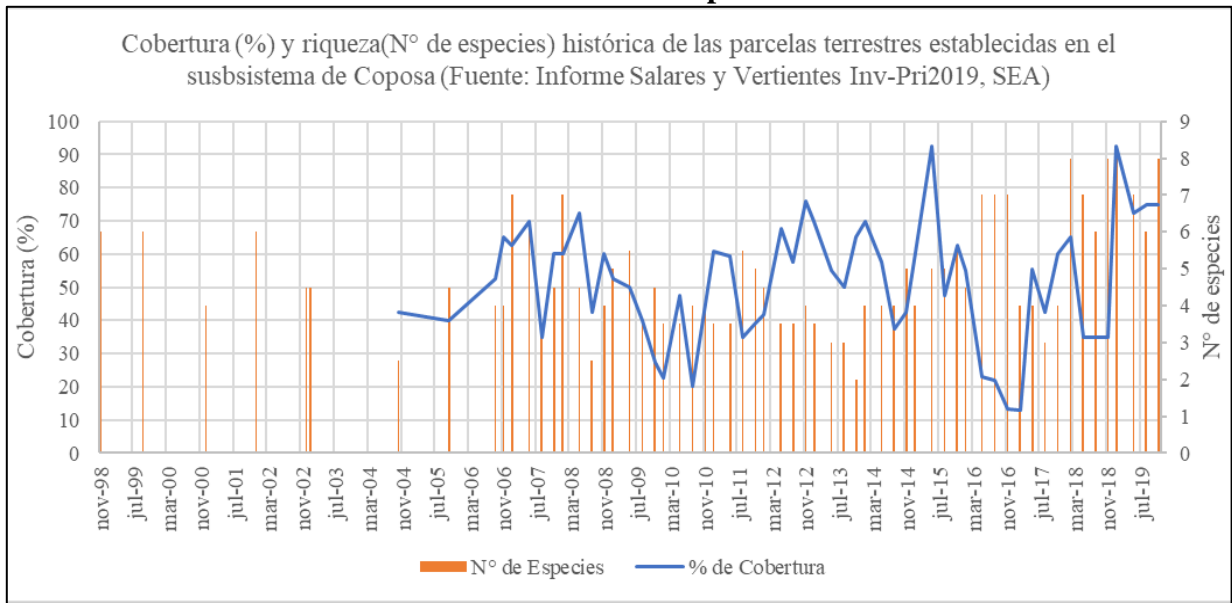
Fuente: CEA, 2020 (SNIFA)

Tabla 4-20: Fecha, campaña y período de la cobertura (%) y riqueza (N° de especies) histórica de las parcelas terrestres establecidas en el subsistema de Coposa

MES-AÑO	CAMPAÑA	PERÍODO	COBERTURA (%)	RIQUEZA (N° DE ESPECIES)	MES-AÑO	CAMPAÑA	PERÍODO	COBERTURA (%)	RIQUEZA (N° DE ESPECIES)
nov-98	Primavera	Precarga	Sin Información	6	may-12	Otoño	Recarga	67.5	3.5
sept-99	Invierno	Precarga	Sin Información	6	ago-12	Invierno	Recarga	57.5	3.5
dic-00	Primavera	Precarga	Sin Información	4	nov-12	Primavera	Recarga	76	4
dic-01	Primavera	Precarga	Sin Información	6	ene-13	Verano	Recarga	70	3.5
dic-02	Primavera	Precarga	Sin Información	4.5	may-13	Otoño	Recarga	55	3
ene-03	Verano	Precarga	Sin Información	4.5	ago-13	Invierno	Recarga	50	3
oct-04	Primavera	Recarga	42.5	2.5	nov-13	Primavera	Recarga	65	2
oct-05	Primavera	Recarga	40	4.5	ene-14	Verano	Recarga	70	4
sept-06	Invierno	Recarga	52.5	4	may-14	Otoño	Recarga	57.5	4
nov-06	Primavera	Recarga	65	4	ago-14	Invierno	Recarga	37.5	4
ene-07	Verano	Recarga	62.5	7	nov-14	Primavera	Recarga	42.5	5
may-07	Otoño	Recarga	70	6	ene-15	Verano	Recarga	60.6	4
ago-07	Invierno	Recarga	35	3.5	may-15	Otoño	Recarga	92.5	5
nov-07	Primavera	Recarga	60	4.5	ago-15	Invierno	Recarga	47.5	5
ene-08	Verano	Recarga	60	7	nov-15	Primavera	Recarga	62.5	5.5
may-08	Otoño	Recarga	72.5	4.5	ene-16	Verano	Recarga	55	4.5
ago-08	Invierno	Recarga	42.5	2.5	may-16	Otoño	Recarga	23.1	7
nov-08	Primavera	Recarga	60	4	ago-16	Invierno	Recarga	21.8	7
ene-09	Verano	Recarga	52.5	5	nov-16	Primavera	Recarga	13.3	7
may-09	Otoño	Recarga	50	5.5	feb-17	Verano	Recarga	12.9	4
ago-09	Invierno	Recarga	40	3.5	may-17	Otoño	Recarga	55.5	4
nov-09	Primavera	Recarga	27.5	4.5	ago-17	Invierno	Recarga	42.5	3
ene-10	Verano	Recarga	22.5	3.5	nov-17	Primavera	Recarga	60	4
may-10	Otoño	Recarga	47.5	3.5	feb-18	Verano	Recarga	65	8
ago-10	Invierno	Recarga	20	4	may-18	Otoño	Recarga	35	7
nov-10	Primavera	Recarga	45	4	ago-18	Invierno	Recarga	35	6
ene-11	Verano	Recarga	61	3.5	nov-18	Primavera	Recarga	35	8
may-11	Otoño	Recarga	59.5	3.5	ene-19	Verano	Recarga	92.5	8
ago-11	Invierno	Recarga	35	5.5	may-19	Otoño	Recarga	72.5	7
nov-11	Primavera	Recarga	39.38	5	ago-19	Invierno	Recarga	75	6
ene-12	Verano	Recarga	41.9	4.5	nov-19	Primavera	Recarga	75	8

Fuente: CEA, 2020 (SNIFA)

Figura 4-92: Cobertura y riqueza histórica de las parcelas terrestres establecidas en el subsistema de Coposa



Fuente: CEA, 2020 (SNIFA)

CAPÍTULO 5. Análisis Crítico (causa- efecto) de los Sistemas de Estudio

5.1. Sistema Hídrico y Vegetacional Lagunillas

El sistema vegetacional de Lagunillas ha sido afectado por el proyecto minero perteneciente a CMCC, la que se somete por primera vez al SEIA con el EIA del Proyecto de Exploración de Mina y Planta de Lixiviación de 1992, el cual fue evaluado por el SERNAGEOMIN, dado que aún no estaba vigente la Ley N°19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente. El año 1997 se presentó el primer proyecto de expansión de la Compañía, mismo año en que se promulgó el Reglamento de la Ley N°19.300, pero que aún no entraba en vigencia. En esta expansión se planteaba aumentar el bombeo de agua de 50 L/s a 90 L/s desde los pozos de la cuenca Lagunilla. Posteriormente, en el año 2002, con la Ley 19.300 y el Reglamento ya en funcionamiento, CMCC se presentó nuevamente al SEIA mediante una DIA, que consistía en la optimización de los procesos mineros, y que aumentaría los caudales de explotación desde 90 a 150 L/s desde los pozos de Lagunillas.

Estos tres proyectos ingresaron al SEIA, y fueron observados por los OAECA, en particular, por la DGA, SERNAGEOMIN y SAG. En sus observaciones se destaca la exigencia de mayores descripciones en relación al acuífero, vertiente y vegetación azonal, ya que se proyectaba que el bombeo generaría descensos de niveles freáticos lo que afectaría en el afloramiento del escurrimiento superficial y en la vegetación allí existente. Además, se pedía establecer umbrales para determinar hasta qué punto la disminución de los niveles freáticos sería no significativa.

Por su parte, la Compañía Minera realiza estudios sobre la vegetación del sector, los que iniciaron en 1993, y fueron complementándose año a año. Por un lado, con estudios en campañas de terreno directamente sobre la vegetación y por otro con estudios sobre la piezometría del acuífero.

En los inicios del proyecto se hablaba de posibles impactos en los flujos subterráneos y en la flora producto de la extracción de aguas subterráneas. Pero con la información disponible en ese entonces, la compañía comentaba que no era posible relacionar la sensibilidad entre la vegetación y extracción de agua. Se indicó que existiría una relación entre recursos hídricos subterráneos y el espejo de la laguna, pero no se relacionaron con la vegetación.

Luego, en la DIA del 2002, de acuerdo con los estudios presentados sobre la vegetación en el sector del SVAHT Lagunillas, se concluyó que esta, al aumentar el caudal de extracción del 90 a 150 L/s, no se vería afectada, ya que se afirmaba que la vegetación dependía únicamente de los flujos superficiales provenientes de la precipitación, y, por ende, el descenso de los niveles piezométricos no afectaría el ecosistema. Se observó que hubo una disminución en la cobertura de la vegetación de la zona pero que se atribuyó a un período de escasez de precipitaciones de años anteriores.

Por otro lado, en la misma DIA, se presentaron estudios de la hidrogeología del sector, estableciendo que existía relación entre el acuífero profundo y los escurrimientos superficiales, más no se refirieron a la relación que podría haber entre estos escurrimientos superficiales y la vegetación.

Finalmente, en los informes de evaluación ambiental, de acuerdo al estudio presentado sobre la vegetación, se concluye que esta dependía únicamente del escurrimiento superficial generado por las precipitaciones dejando fuera la influencia de los afloramientos de agua subterránea. Es

importante notar que, en esa época no se habían implementado aún sistemas de medición de la piezometría ni punteras en la zona de la vertiente y vegetación, pero que si existían estudios de cuencas altoandinas y de salares que presentarían un funcionamiento similar al de Lagunillas.

Dentro del estudio hidrogeológico se dio cuenta que existiría una disminución de 35 cm adicionales del nivel freático con respecto al escenario de bombeo anterior, lo cual no sería significativo, pero no se especifica bajo qué criterios se realiza dicha afirmación. Además, se menciona un eventual descenso del caudal de las vertientes, el que, en caso de ocurrir, se mitigaría.

La medida de mitigación sobre el SVAHT, vertientes, y laguna, se planteó por primera vez, de manera muy general, en la EIA de 1997 y luego se detalla con mayor profundidad en la DIA del 2002. Esta medida consistía en que, en el caso de que la laguna Huantija (laguna que se abastecía del caudal proveniente de la vertiente), permaneciera seca por un período de al menos un año, se incurriría a aplicar un sistema de recarga artificial (SRA), con agua de origen subterráneo desde un pozo que se construiría en las cercanías de la vertiente, de manera de asegurar agua de calidad similar a la que fluía superficialmente. En el desarrollo de esta medida se observan contradicciones, dado que por un lado se afirma que los escurrimientos superficiales son de origen de agua de precipitación y por otro lado se espera asegurar el caudal de la vertiente con agua subterránea de similares características en caso de que se vieran afectados los caudales que alimentan la laguna, cosa que los Servicios Público hacen notar en reiteradas ocasiones en sus observaciones.

Los descensos en el nivel freático del acuífero venían ocurriendo desde los inicios del bombeo el año 1994, pero la CMCC lo asociaba al período de escasez de precipitaciones que venía ocurriendo desde años anteriores y no a la operación misma del proyecto. Es importante notar que en ninguna ocasión se hace mención de que podría existir un efecto conjunto entre períodos de escasas precipitaciones y bombeo de aguas.

Finalmente, cuando se aprobó la DIA del año 2002, quedó como compromiso la instalación de piezómetros para verificar la existencia de gradientes verticales en la zona del SVAHT y la implementación de la medida de mitigación sobre el SVAHT con el SRA, la que consistiría en la construcción de un pozo cercano a la vegetación y las respectivas autorizaciones de la DGA.

Una vez que se inició la operación de la última modificación del proyecto minero con un bombeo de 150 L/s desde el campo de pozos de Lagunillas, se observa un descenso más rápido de niveles de los pozos de monitoreo en relación a como venía ocurriendo en los años anteriores.

El año 2004 la DGA fiscalizó el sector de Lagunillas y observó que el bofedal se había afectado en casi su totalidad, motivo por el cual se inició un proceso de sanción y de modificación de las RCA que califican los 3 proyectos aprobados, dado que las variables no se comportaron de acuerdo a lo previsto en ellas. En particular, los descensos de los niveles freáticos fueron mayores a los proyectados y se generó un impacto en la vegetación que no fue previsto. El proceso de sanción llegó a evaluarse al Tribunal Ambiental, y el año 2005 se resolvió finalmente sancionar a la Compañía Minera. Es importante notar que, durante este tiempo, las vertientes asociadas al Bofedal y la Laguna ya habían desaparecido por completo, y que la compañía no notificó, y que seguía argumentando que la vegetación de la zona se abastecía del escurrimiento de las precipitaciones estivales.

La modificación de las RCA consistió en ajustar los umbrales de afectación de las variables, principalmente referente al nivel freático, y especificar un plan de manejo ecosistémico para recuperar y luego mantener en el tiempo la vegetación del sector de Lagunillas. Para ello se presentó el “Plan de Trabajo para el Manejo de las Funciones Ecosistémicas del Sistema Lacustre

Lagunillas”, en donde por primera vez CMCC reconoce la relación entre los componentes “extracción de aguas subterráneas – niveles del acuífero – afloramientos por presiones hidrostáticas en las vertientes del sector del Bofedal Lagunillas – Vegetación del Bofedal Lagunillas”. Dicho plan contenía un conjunto de medidas propuestas, cuyo objetivo era asegurar el manejo sustentable del ecosistema de Lagunillas, a fin de mantener su estructura y funcionamiento. Se presentó un nuevo modelo hidrogeológico, con el que se definieron los máximos descensos permitidos en el acuífero, y medidas de alerta y prevención de impacto, dado que el modelo anterior no reflejó correctamente el funcionamiento hidrogeológico de la cuenca. Estas medidas buscaban prevenir que los descensos sobrepasaran dichos umbrales, y en el caso de ocurrir se presentaba un plan de reducción de caudales de bombeo. Por otro lado, se especificaba el plan de mitigación del SRA para la vegetación, puntos de recarga del caudal que simulaban las vertientes naturales, ya sea los afloramientos puntuales o difusos, y seguimiento de la cobertura y diversidad de la vegetación. El plan de mitigación del SRA ya se venía implementando desde el año 2004, luego de que la DGA constatará el daño sobre el bofedal, estas medidas se presentaron como compromiso en la RCA del año 2002, las que fueron llevadas a cabo, pero con modificaciones dado que el sistema no se comportó de acuerdo a lo proyectado en dicha DIA. Este proceso culmina el año 2011, mediante la emisión de una Resolución que deja establecido el Plan de Trabajo para el Manejo de las Funciones Ecosistémicas del Sistema Lacustre Lagunillas.

Durante este mismo período (año 2011) se hicieron las principales modificaciones a la Ley de Bases Generales del Medio Ambiente y, además, se presentó la Guía del SEA para el manejo de los SVAHT, en la que se establecen los contenidos mínimos que deben contener los estudios de impacto ambiental en marco de la implementación de la “Estrategia Nacional Para la Conservación y Uso Racional de los Humedales de Chile, 2005” y la “Estrategia Regional de Humedales Altoandinos”, 2004

Se observa una marcada diferencia en cuanto a la evaluación ambiental entre antes y después de la sanción otorgada a CMCC en el año 2006 y durante todo el proceso de modificaciones de las RCAs realizado con posterioridad. La calidad y cantidad de estudios, análisis y modelos son significativamente mayores en relación a las componentes aguas y vegetación azonal. Así mismo, las exigencias por parte de los Órganos del Estado son más estrictas y con más detalles.

A partir del año 2012 se presentan informes de seguimiento en la SMA, en los que se monitorean los caudales del SRA en las vertientes, la superficie de la laguna Huantija, los niveles freáticos y la cobertura y riqueza de la vegetación azonal. Dentro de las medidas de mitigación se incluyó la medida de manejo de recolonización asistida del bofedal, en el caso de que el riego por sí solo no fuera suficiente en la recuperación.

El año 2013 se implementa el nuevo reglamento de la Ley de Bases N°19.300, adaptándose a las modificaciones realizadas en ella el año 2010, principalmente en relación con el cambio de la institucionalidad, en donde se eliminó la CONAMA y se creó el MMA, SMA y SEA.

Durante este mismo año se presentó el último proyecto de expansión de la compañía minera Cerro Colorado, el que fue aprobado el año 2015 luego de un largo proceso con 4 instancias de observaciones y 3 adendas que hacían alusión a que el EIA estaba incompleto y faltaba profundizar en varios aspectos del sistema acuífero, vertientes, y vegetación, generándose varias Adendas, que fueron profundizando los estudios presentados en un inicio en el EIA. El mismo año en que se aprueba dicho proyecto, se inicia un proceso de reclamación hecho por comunidades indígenas en conjunto con un particular. Producto de esto, es que el SEA decide dejar sin efecto la RCA del 2015 solo en las partes correspondientes a mitigación y seguimiento de la vegetación, volviendo al

ICSARA N°2, solicitando además, la evaluación del potencial efecto del cambio climático sobre el sistema. Durante este proceso, las OAECA se han manifestado en relación a las medidas de mitigación implementadas, argumentando que no se tiene certeza de que el sistema pueda volver a funcionar de manera autónoma una vez que se den por finalizadas las medidas de mitigación. Agregando que, producto de la extensión de la duración del proyecto, se podrían producir impactos sinérgicos en el sistema, afectando también las condiciones del suelo y flujos subterráneos, los que podrían no volver a las condiciones naturales, dada la intervención antrópica del sector. Este último proyecto aún está en proceso de calificación en el SEIA hasta la fecha actual¹⁵.

Es importante notar que este último proyecto se aprobó el año 2015, justo antes de la fecha en que el proyecto original finalizaría su vida útil (el año 2016 era la fecha de término de las operaciones del proyecto aprobado en la DIA del 2002). Durante ese tiempo (2015-2019) los bombeos se han realizado conforme a la RCA del 2015 (135 L/s como caudal medio máximo de bombeo), observándose que el nivel del acuífero sigue descendiendo y la medida de mitigación del SRA continua vigente.

A la fecha¹⁴, al proyecto le quedarían 2 años más de vida útil, y aún no se termina de tramitar el plan de recuperación del SVAHT. Por otro lado, la compañía presentó un nuevo proyecto al SEIA, para complementar los recursos hídricos de la operación mediante la desalinización de agua de mar, el que no fue admitido al SEIA.

Es importante mencionar que la medida de Mitigación sobre el bofedal ha sido cuestionada durante todos los procesos de evaluación ambiental por parte de los OAECA, en cuanto a su efectividad, calidad de los caudales de restitución y su eficacia durante largos períodos de tiempo, pese a esto, se continuó defendiendo su uso por parte de la CMCC argumentando que los SVAHT pueden mantenerse “colgados” y desconectados al acuífero, tal como la compañía lo ha hecho hasta la actualidad.

En cuanto a la efectividad de las medidas implementadas sobre el sector SVAHT- Laguna, se observa que se cumplió con la medida de que la Laguna Huantija se mantuviera por sobre los 5.000 m². En el sector del bofedal de Lagunillas aumentó la cobertura desde 67,35% desde el mínimo registrado desde el año 2010 hasta un 94,61% el año 2015 en el polígono total que incluye vegetación acojinada, cestiposas y canales. En cuanto a la cobertura de planta acojinadas, se considera que la cobertura histórica (condición natural) era de 7,13 ha, lo que se consideró como un 100% de cobertura. Luego, el año 2009 se registra una cobertura mínima de 13,5%, y llegó a un 38% de cobertura el 2015. En los registros de la riqueza de especies, que inician en el año 2006, se observa que entre los años 2006 y 2011 había una mayor amplitud entre invierno y verano, con una riqueza que iba del orden de 10 especies en invierno y 20 en verano. Luego a partir del 2012 se observa que disminuye la variación estacional, manteniéndose casi constante hasta el 2015 dentro de las 20 especies. En el 2017 se registra el mayor número de riqueza de 23 especies aproximadamente.

Por otro lado, los caudales de bombeo se mantuvieron en ascenso, en todos los proyectos que se presentaron, y que luego de que se sancionara a la compañía el caudal se mantuvo en los mismo 150 L/s aprobados en el proyecto del año 2002. La reducción de caudales se llegó a cabo el año 2015 producto que la compañía presentara como un compromiso voluntario esta medida.

¹⁵ Diciembre, 2020.

5.2. Sistema Hídrico y Vegetacional Jachucoposa

El sistema vegetacional Jachucoposa fue afectado por los bombeos de la operación del proyecto minero de la Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi. El primer proyecto fue presentado al SEIA mediante un EIA el año 1995 de manera voluntaria, dado que aún no entraba en vigencia el RSEIA. En dicho proceso se resolvió aprobar un bombeo promedio de 650 L/s de aguas subterráneas desde la cuenca de Coposa con pozos de explotación que se construirían al sur del Salar de Coposa en el sector de la Falla Pabellón.

Desde un comienzo, de acuerdo con los modelos hidrogeológicos, y conocimiento de la geología e hidrogeología de la cuenca, la CMDIC informó que se proyectaba el descenso del nivel freático del acuífero producto de la extracción de agua, motivo por el cual la vertiente de Jachucoposa sería afectada con la disminución de su caudal. En el caso de que esto ocurriese sería mitigado con la implementación de un sistema de reposición de agua de la vertiente de manera superficial, con agua que provendría desde un pozo que se construiría en las cercanías de la vertiente, pero fuera del acuífero protegido por la DGA. Por este motivo, en la evaluación de impacto ambiental de los proyectos, la disminución de caudales en la vertiente Jachucoposa se ha calificado como un impacto no significativo, dado que siempre estaría bajo la medida de mitigación. Además, con esta medida se mantendría el ecosistema y por lo tanto el SVAHT de Jachucoposa.

Durante los primeros años de operación del proyecto, el caudal promedio de bombeo fue de 550 L/s. Luego, en el año 2001 se presentó un proyecto de expansión en el que el uso de agua se aumentaría de 550 L/s hasta 867 L/s. Los impactos evaluados por esta modificación en el caudal indicaban que se produciría un mayor descenso en los niveles freáticos, pero que la situación del ecosistema Jachucoposa se mantendría igual dado que se contemplaba implementar la medida de mitigación expuesta con anterioridad para reponer el caudal de la vertiente. En el proyecto se indica que los umbrales para implementar la medida de mitigación estarían dados únicamente por el caudal de la vertiente, esto significaba, que en el caso de que su caudal disminuyera hasta el caudal de 95% de excedencia o menos, se daría inicio a la medida de reposición hasta alcanzar (mediante la suma de caudal natural y caudal de reposición) el caudal medio de la vertiente de 60 L/s.

Dos años después, dado nuevos estudios de la ley del material de cobre, se presentó un nuevo proyecto de optimización de los procesos de la planta, para lo cual se requeriría un mayor uso de agua. Esta optimización se presentó al SEIA mediante una DIA, dado que se indicaba que no se generarían impactos significativos en la cantidad y calidad de los recursos naturales, en particular sobre los niveles freáticos y el ecosistema del SVAHT. Además, se planteó reducir en un año la operación del proyecto, de manera de que la tasa extractiva de agua equiparase el volumen total autorizado en la EIA del año 2001. Esto último implicaba pasar de 25 a 24 años de operación con un caudal medio anual de 968 L/s bombeado desde el acuífero de Coposa extrayendo un volumen total de 746,6 millones de m³. El caudal máximo que se podría extraer desde coposa sería de 1.041 L/s mediante la solicitud de 174 L/s de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas de carácter provisional dado la Resolución N°655 del año 2002 en que se declara área de restricción para nuevas extracciones de aguas subterráneas de la cuenca del Salar de Coposa. La medida de mitigación sobre la vertiente Jachucoposa se mantendría de la misma manera, salvo que, según lo proyectado en los modelos hidrogeológicos, se debería adelantar la fecha de inicio de la medida del año 2018 al año 2012, y por un período de tiempo más extenso, dado que los niveles del acuífero tendrían un mayor descenso y tardarían más en recuperarse. Esta última modificación entraría en operación a partir del año 2004.

En cuanto a los pronunciamientos de los Servicios Públicos en la evaluación ambiental de estos proyectos, se destaca que en general se pedía profundizar con respecto a la información entregada sobre las medidas de mitigación, y para ello definir claramente los umbrales de los niveles freáticos. Para lo cual la compañía indicó que solo era necesario definir estos umbrales con respecto al caudal de las vertientes y no con respecto a los niveles freáticos del acuífero como fue solicitado por los OAECA.

El año 2004 comenzó a operar el proyecto con el bombeo medio anual de 968 L/s desde los pozos del sector de la Falla Pabellón, y se llevó el seguimiento de las variables ambientales tal como se comprometió en las RCAs. Éste incluía el seguimiento del caudal de la vertiente Jachucoposa, el que, de acuerdo con lo informado, se comportaba según lo proyectado manteniéndose dentro del rango promedio de 60 L/s. Sin embargo, a fines del mismo año la DGA realizó una visita inspectiva, en la que constató que el caudal real de la vertiente era significativamente menor a las cifras informadas por la compañía, siendo incluso inferior a los 45 L/s establecidos como umbral, lo que de seguir así podría provocar afectaciones en el ecosistema. Luego de esto, la medida de mitigación tuvo que ser implementada de manera adelantada a lo establecido en la RCA del 2003, iniciándose la reposición de caudal de la vertiente ese mismo año.

A raíz de lo anterior se inició un proceso de modificación a las RCAs, a efectos de establecer, ambientalmente, el máximo caudal a extraer y establecer medidas de mitigación que fueran procedentes para evitar la afectación ambiental del área intervenida. Como resultado del proceso se resolvió que la compañía debería disminuir paulatinamente sus caudales de explotación desde el campo de pozos ubicados en la Falla Pabellón, salvo que trasladara derechos de agua hacia otros sectores de la cuenca de Coposa. Junto con la modificación de las Resoluciones de Calificación Ambiental, se presentaron cargos en contra de la CMDIC, por no monitorear adecuadamente los caudales de la vertiente Jachucoposa, lo que tuvo como consecuencia que el caudal se mantuviera bajo el umbral por un período de un año, y no se informara a la COREMA de impactos ambientales no previstos.

La compañía resolvió aplicar la medida de traslado de derechos, y desde el año 2006 al año 2009, trasladó un total de 1.006 L/s de derechos de aprovechamiento de agua subterránea hacia otros 3 sectores de la cuenca, denominados Coposa Norte, Coposa Sur, y Portezuelo, dejando solamente 35 L/s en el sector de la Falla Pabellón, de los cuales 20 L/s serían para la medida de mitigación de la vertiente Jachucoposa, y 15 L/s para agua potable del Campamento Minero.

Desde el año 2008, comenzaron a operar los primeros pozos trasladados fuera de la Falla Pabellón, hecho que se ve reflejado en la recuperación de los niveles freáticos de los pozos de monitoreo de la zona Falla Pabellón y del Sector Jachucoposa, a la vez que se observaban descensos en los pozos de observación de los nuevos sectores de explotación. Por otro lado, se observa una recuperación del caudal natural de afloramiento de la vertiente Jachucoposa, la que se encontraba con medidas de mitigación desde fines del 2004, año en que el caudal de afloramiento natural llegó tan solo a los 30 L/s. Al año 2018 el caudal de la vertiente oscilaba entre los 50 L/s y los niveles freáticos del sector se han ido recuperado, pero presentando aún un abatimiento con respecto a la situación natural. Durante los últimos años se observa una tendencia a una situación de equilibrio del nivel freático. Se observa a modo de ejemplo el pozo CPZ-04, ubicado un kilómetro al norte de la vertiente, presentó un descenso de 0,85 m desde el inicio de los registros el año 2004 hasta el año 2008, año en que los niveles comienzan a recuperarse. Luego a partir del año 2012 el nivel se observa estable, pero aun así menor al nivel natural del acuífero. Algunas punteras ubicadas al sur de la laguna muestran una leve tendencia al ascenso con una recuperación variable entre 0,4 a 0,65

m entre los años 2008 y 2018, siendo menos pronunciado este aumento conforme se acerca a la vertiente Jachucoposa.

En los informes de seguimiento de la vegetación del sector del SVAHT se ha observado un aumento en cuanto a cobertura y riqueza en las parcelas de monitoreo, desde que se inició su seguimiento el año 2008. En primera instancia, en cuanto a porcentaje de cobertura, y durante los últimos años en cuanto a riqueza de especies. La cobertura mínima fue en el período comprendido entre noviembre de 2009 y agosto 2010, siendo del orden de un 25% de cobertura con respecto al registro histórico. Ya en el último año de registro se observa que la cobertura total llega al 92,5% en el verano del 2019.

Es importante notar que el traslado de derechos de agua fuera de la Falla Pabellón fue crucial para la recuperación de la vertiente del sector, pese a esto, esta área se continúa manteniendo con la medida de mitigación del sistema de recarga artificial.

CAPÍTULO 6. Conclusiones

En el desarrollo de este trabajo, se llevó a cabo una recopilación bibliográfica de los proyectos mineros de las compañías mineras Doña Inés de Collahuasi y Cerro Colorado, proyectos que ingresaron al SEIA y que fueron aprobados ambientalmente ya sea por la CONAMA o por el SEA. Producto de las extracciones de agua subterránea los efectos de estos proyectos están relacionados con los ecosistemas de Lagunillas y Jachucoposa, respectivamente, ambos calificados como Sistemas Vegetacionales Azonales Hídricos Terrestres. Estos ecosistemas, en su condición natural tenían una fuente de abastecimiento hídrico que provenía principalmente del afloramiento de agua de vertientes; las que se originaban por gradientes verticales desde los acuíferos de la cuenca Lagunilla y Coposa respectivamente, en conjunto con escurrimientos superficiales producidos por las precipitaciones en la época estival.

Ambos proyectos mineros tienen en común que su rajo minero está ubicado en la zona altoandina de la región de Tarapacá, y el campo de pozos para el abastecimiento hídrico de su operación se emplaza en una cuenca cercana a ellos. Los dos proyectos iniciaron sus primeros EIAs dentro de la década de los 90 los que fueron evaluados ambientalmente cuando la Ley N° 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente recién se estaba implementando, por lo que ingresaron de manera voluntaria al Sistema o fueron aprobados fuera de esta Ley, hasta que se publicó el RSEIA en 1997, teniendo que regirse de acuerdo a él.

El funcionamiento hidrogeológico de ambas cuencas es similar. Son cuencas del altiplano chileno, de tipo endorreicas, en donde sus entradas hídricas ocurren principalmente por precipitación y las salidas por evaporación desde el salar, lagunas, suelos húmedos, y evapotranspiración. La cuenca de Jachucoposa, a diferencia de la cuenca de Lagunillas, presenta flujos subterráneos entrantes desde el acuífero de Michincha, Portezuelo y Urruputuncu y flujos de salida hacia la cuenca de Empexa.

Ambas cuencas presentan dos estratos de acuíferos, uno profundo y confinado y uno superficial semiconfinado en el sector del salar. Para el caso de Lagunillas, el acuífero profundo se forma en los depósitos sedimentarios más profundos, y en el caso de Jachucoposa el acuífero está localizado en la Falla Pabellón, zona de material de origen volcánico denominado Ignimbrita Huasco que presenta baja permeabilidad primaria, pero que debido al fracturamiento, se forman gradientes hidráulicos significativos en dirección hacia el salar y la vertiente. En general, las zonas de los acuíferos profundos tienen flujos que se dirigen hacia el sector del salar de la cuenca, zona con una menor cota geográfica, y donde se emplaza el acuífero superficial con flujos perpendiculares a la superficie, ya sea de afloramiento o de infiltración en los depósitos lacustres y salinos y donde se ubican las lagunas en ambos sistemas.

Los SVAHT Lagunillas y Jachucoposa están localizados en el sector en donde afloran (o afloraban) las vertientes. Dichos sistemas vegetacionales azonales se caracterizan por depender de condiciones locales de abastecimiento hídrico y de tipo de sustrato, el que puede tener un mayor porcentaje de material orgánico hasta llegar a suelos altamente salinos y con diferentes grados de humedad. La formación vegetal característica de ambas zonas es la formación de Bofedal y sus especies características son *Oxichloe andina*, *Carex marítima*, *Festuca hypsophila* y *Festuca orthophila*, entre otras.

Al comparar los motivos por los que se produjeron impactos adversos significativos en los sistemas de estudio, para los cuales, el escenario real fue diferente a las proyecciones presentadas en los informes de Evaluación Ambiental, estos tuvieron un origen diferente. Por un lado, Lagunillas tuvo

una caracterización deficiente de su línea base, en particular en relación a la definición del modelo hidrogeológico, lo que se puede atribuir a que en el comienzo del proyecto no se habían implementado instrumentos para medir los gradientes y flujos hidráulicos en el sector de Lagunillas y en particular para poder determinar la relación que tendría el bombeo del acuífero con el abastecimiento hídrico del SVAHT. Se afirmó que la vegetación solo dependía de los escurrimientos superficiales generados por precipitaciones y no de los afloramientos en superficie de las vertientes, las que cesaron sus flujos por completo el año 2001, constatándose luego, en el año 2004 el daño en la totalidad de dicho SVAHT.

En cambio, en el caso de Jachucoposa, las evaluaciones ambientales describieron la hidrogeología de la cuenca, y se indicaba que los bombeos en el acuífero estarían relacionados con los niveles freáticos, afloramientos de la vertiente y la vegetación azonal de Jachucoposa, proyectando que el descenso de niveles freáticos generaría una disminución del caudal de la vertiente, lo que sería mitigado de manera de que los impactos fueran de carácter no significativo. El problema fue que los modelos hidrogeológicos sobreestimaron la resiliencia del acuífero provocando que los impactos ocurrieran antes de lo pronosticado. Sin embargo, el punto de inflexión fue la negligencia de la Compañía Minera al utilizar instrumentos de medición que estaban descalibrados, entregando a las autoridades información errónea por un período de más de un año, en donde se indicaba que el caudal de la vertiente estaba por sobre el umbral establecido para dar inicio a la medida de mitigación. Por dicho motivo, la medida de mitigación que se iniciaría en el caso que el caudal de la vertiente disminuyera bajo el caudal del 95% de excedencia se aplicó tardíamente, incumpliendo lo establecido en las RCAs del año 2001 y 2003, y provocándose un impacto no declarado sobre la vegetación azonal.

Ambas empresas implementaron una medida de mitigación similar para las vertientes, la que consistía en restituir el caudal faltante en ellas. En el caso de Lagunillas, el umbral para su implementación estaba dado por la superficie de agua de la laguna Huantija y los máximos descensos permitidos en el nivel freático del sector, en cambio, para Jachucoposa el umbral era sobre el caudal aforado en la misma vertiente. La implementación de la medida de mitigación en el SVAHT Lagunillas busca imitar las condiciones y puntos de afloramiento natural, la que con los años se ha ido complementando y adaptando de acuerdo a la respuesta observada en la vegetación. Por otro lado, en Jachucoposa, la mitigación sobre el SVAHT consiste en dos sistemas de riego, uno por aspersión y otro por surcos y se basa en el cálculo de la evapotranspiración de las especies vegetales con lo que se realiza un programa semanal de riego. Además, existe un seguimiento del caudal de la vertiente natural Jachucoposa, del caudal de mitigación y del caudal total, el que consiste en la suma entre caudal natural y el caudal de mitigación, y que debe mantenerse en torno a los 60 L/s, tal como fue estipulado en las RCAs.

En cuando a los pronunciamientos de los OAECA, en ambos proyectos se pronuncian con respecto a que se debe profundizar la información entregada en relación al funcionamiento de los sistemas, y a las medidas de mitigación y seguimiento, exigiendo que se dejen claramente establecidas dichas medidas. Sin embargo, se observa que algunas de las RCA fueron autorizadas con medidas que aún no estaban implementadas, y que se presentan como compromisos a realizar posterior a la emisión de la RCA.

Para el caso de Lagunillas, las observaciones fueron más críticas con respecto al éxito que tendría la medida de mitigación, dado que no se tenía la seguridad de su mantención una vez que se deje de aplicar el caudal de recarga artificial en las vertientes. Se indica que no se sabe si los afloramientos se recuperarán replicando la situación natural, y si la vegetación será capaz de sobrevivir en estas nuevas condiciones. Para el caso de Jachucoposa, las observaciones de los

OAECA son principalmente en relación a que se complemente la información entregada, sin embargo, no se realizan críticas a la efectividad de la medida. Sin embargo, a pesar de que en varias ocasiones las observaciones de los Servicios Públicos eran acertadas con respecto a sus exigencias, estas no habrían sido tomadas en cuenta al momento de aprobar los proyectos. En particular, para lagunillas, se solicitó que se profundizara más en el modelo hidrogeológico, indicando que se podrían producir afectaciones en la vegetación. Por otro lado, en Jachucoposa, se solicitó que se considerara como umbral para aplicar la medida de mitigación, no solo el caudal de la vertiente, sino que también los niveles freáticos del sector, pero finalmente, solo se incluyó el primer criterio en la RCA. Estos últimos dos puntos, en opinión de quien escribe, son relevantes, ya que, si se hubieran tomado en cuenta, quizás la situación ocurrida con los impactos que no fueron declarados hubiera sido diferente, los que podrían haberse evitado, o disminuido.

En cuando a la información presentada en los Estudios y Declaraciones de Impacto Ambiental, se observa que luego de que ambas compañías fueran sancionadas, y en particular luego del año 2011, la información es entregada con un mayor grado de detalle, lo que coincide con la publicación de la Guía para la Conservación y Seguimiento Ambiental de Humedales Andinos del Ministerio del Medio Ambiente. Las observaciones realizadas por los OAECA son mucho más exigentes y las Adendas presentadas por las compañías mineras son mucho más extensas y con un mayor grado de estudios. También se observa que el seguimiento en la plataforma online del SMA es más robusto, con informes presentados de manera mensual, trimestral, semestral y anual dependiendo de la variable analizada.

El proyecto de CMCC continua con extracciones y se observa que, los niveles del acuífero siguen descendiendo hasta los últimos reportes publicados. Y en cuanto a Jachucoposa, los niveles del sector de la Falla Pabellón y del SVAHT se han ido recuperando, pero sin alcanzar la situación previa al proyecto. Además, se observa que al año 2018 el caudal de la vertiente se ha recuperado, a partir del año 2008, en donde los caudales registrados fueron mínimos.

Finalmente, pese a los impactos ocurridos en el pasado en estos dos Sistemas Vegetacionales Azonales, se observa que hubo una evolución positiva en cuanto a la Evaluación Ambiental y Seguimiento Ambiental de los proyectos, lo que se ve reflejado tanto en la forma y contenido de los informes, participación de los OAECA, Resoluciones de Calificación Ambiental y contenido de los informes de seguimiento.

En la actualidad¹⁶, la exigencia en los EIA o DIA de proyectos que involucrarían impactos en SVAHT es alta en cuanto al nivel de estudio de la línea base, permitiendo predecir de mejor manera los impactos que se podrían generar en ellos. Estos estudios incluyen metodologías establecidas para el seguimiento de la vegetación, técnicas de medición en terreno que se complementan con imágenes satelitales, análisis del NDVI entre otros parámetros. Los umbrales para definir los impactos, no se realizan solo en función de los cambios que podrían ocurrir en los niveles freáticos o de los escurrimientos hídricos superficiales, sino que también se deben considerar las características del sustrato y/o la cobertura y riqueza de las zonas con vegetación azonal.

Como comentarios finales, se espera, que se continúen estas mejoras, para asegurar que los Sistemas Vegetacionales Azonales Hídricos Terrestres sean preservados en el futuro, que se provoque la menor cantidad de impacto, y con medidas mitigatorias más eficientes y eficaces. En particular, que aquellos que ya fueron impactados por proyectos en el pasados, en donde se tenía

¹⁶ Diciembre, 2020.

un escaso conocimiento de su funcionamiento, sean tratados correctamente para asegurar su mantenimiento y eventual recuperación, y que los nuevos ecosistemas que se puedan ver impactados, se tenga la experiencia en cuanto a cómo estudiarlos y conservarlos de la mejor manera. Además, se destaca la relevancia que tienen los OAECA en este proceso, ya que son las entidades que debiesen tener un mayor conocimiento sobre las variables de sus competencias, y, por lo tanto, encargadas de velar por su conservación y manejo adecuado.

Chile es un país muy rico en cuanto a ecosistemas, variedad de especies y materias primas, por lo que el camino de manejo sustentable de los recursos naturales traerá beneficios para las futuras generaciones, no solo para las personas y sociedad, sino que también, para el medio ambiente. Un gran paso ha sido la implementación de leyes ambientales, las que año a año se han ido mejorando, en conjunto con la participación de cada una de sus instituciones. Se espera que, en un futuro, este enfoque sea llevado aún más hacia el cuidado de los ecosistemas, y que el bienestar común y de los seres humanos, tal como es el objetivo de los Órganos de la Administración del Estado, esté implícito en ello.

CAPÍTULO 7. Bibliografía

AGRIMED (2017). Tomo1: De Arica y Parinacota, Tarapacá y Antofagasta. En: Atlas Agroclimático de Chile. Universidad de Chile. Santiago, Chile.

Ahumada, M., Aguirre, F., Contreras, M. y Figueroa, A. 2011. Guía para la Conservación y Seguimiento Ambiental de Humedales Andinos. Ministerio del Medio Ambiente, Gobierno de Chile. Chile.

Ahumada, M. y Faúndez, L. 2009. Guía Descriptiva de los Sistemas Vegetacionales Azonales Hídricos Terrestres de la Ecorregión Altiplánica (SVAHT). Ministerio de Agricultura de Chile, Servicio Agrícola y Ganadero. Santiago. 118 p.

Arcadis (marzo 2001) Estudio de Impacto Ambiental Proyecto “Expansión 110 KTPD Planta Concentradora Collahuasi”. [En Línea], Chile < https://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?id_expediente=3704&idExpediente=3704 > [Consulta: Junio 2020]

Arcadis (mayo 2003) Declaración de Impacto Ambiental Proyecto Optimización Collahuasi. [En Línea], Chile < https://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=88136 > [Consulta: Junio 2020]

Arcadis (julio 2006) Declaración de Impacto Ambiental Proyecto “Traslado Puntos de Captación de Aguas Subterráneas en Cuenca Coposa”. [En Línea], Chile < https://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=159071 > [Consulta: Junio 2020]

Arcadis. (diciembre 2018a). Capítulo 1: Descripción del Proyecto. En: Estudio de Impacto Ambiental “Desarrollo de Infraestructura y Mejoramiento de Capacidad Productiva de Collahuasi”. Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi S. C. M. Tarapacá, Chile.

Arcadis. (diciembre 2018b). Capítulo 2: Determinación y Justificación del Área de Influencia. En: Estudio de Impacto Ambiental “Desarrollo de Infraestructura y Mejoramiento de Capacidad Productiva de Collahuasi”. Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi S. C. M. Tarapacá, Chile.

Arcadis. (diciembre 2018c). Capítulo 3: Línea de Base Ambiental. En: Estudio de Impacto Ambiental “Desarrollo de Infraestructura y Mejoramiento de Capacidad Productiva de Collahuasi”. Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi S. C. M. Tarapacá, Chile.

Arcadis. (diciembre 2018d). Capítulo 4: Evaluación de Impacto Ambiental. En: Estudio de Impacto Ambiental “Desarrollo de Infraestructura y Mejoramiento de Capacidad Productiva de Collahuasi”. Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi S. C. M. Tarapacá, Chile.

Arcadis. (diciembre 2018e). Capítulo 5: Pertinencia de Ingreso al SEIA y Necesidad de Elaborar un EIA. En: Estudio de Impacto Ambiental “Desarrollo de Infraestructura y Mejoramiento de Capacidad Productiva de Collahuasi”. Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi S. C. M. Tarapacá, Chile.

Arcadis. (diciembre 2018f). Capítulo 6: Plan de Medidas de Mitigación, Reparación y/o Compensación. En: Estudio de Impacto Ambiental “Desarrollo de Infraestructura y Mejoramiento

de Capacidad Productiva de Collahuasi”. Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi S. C. M. Tarapacá, Chile.

Arcadis. (enero 2020). Adenda Complementaria Continuidad Operacional Cerro Colorado. BHP. Tarapacá, Chile.

BIOTA Gestión y Consultorías Ambientales Ltda. (2006). Estudio de los sistemas vegetacionales azonales hídricos del altiplano. DEPROREN, SAG. Ministerio de Agricultura de Chile. Santiago, Chile. 44 pp.

Centro de Ecología Aplicada Ltda. (1996). Estudio de la Respuesta al Stress Hídrico de las Plantas del Sector Sur del Salar de Atacama.

Centro de Ecología Aplicada Ltda. (enero 2020). Informe Monitoreo Sistema de Mitigación de la Vegetación Asociada a la Vertiente de Jachucoposa. Ciclo octubre 2018 – marzo 2019. Collahuasi, Atacama, Chile.

Compañía Minera Cerro Colorado. (1997). Ficha del Proyecto: Proyecto Expansión Cerro Colorado [En Línea] <
https://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?modo=normal&id_expediente=312 >
[Consulta: marzo 2020]

Compañía Minera Cerro Colorado. (2001). Ficha del Proyecto: Mejoramiento de Eficiencia Stretch Plan [En Línea] <
https://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?modo=normal&id_expediente=5285 >
[Consulta: marzo 2020]

Compañía Minera Cerro Colorado (junio 2002) Acta de Acuerdo. Atacama, Chile.

Compañía Minera Cerro Colorado. (2013). Ficha del Proyecto: Proyecto Continuidad Operacional Cerro Colorado [En Línea] <
https://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=2142210954 > [Consulta: febrero 2020]

Compañía Minera Cerro Colorado Ltda. (febrero 2016) Informe Semestral Cuenca Lagunillas Agua y Biótico. Atacama, Chile.

Compañía Minera Cerro Colorado Ltda. (agosto 2016) Informe Semestral Cuenca Lagunillas Agua y Biótico. Atacama, Chile.

Compañía Minera Cerro Colorado Ltda. (febrero 2017) Informe Semestral Cuenca Lagunillas Agua y Biótico. Atacama, Chile.

Compañía Minera Cerro Colorado Ltda. (agosto 2017) Informe Semestral Cuenca Lagunillas Agua y Biótico. Atacama, Chile.

Compañía Minera Cerro Colorado Ltda. (febrero 2018) Informe Semestral Cuenca Lagunillas Agua y Biótico. Atacama, Chile.

Compañía Minera Cerro Colorado Ltda. (agosto 2018) Informe Semestral Cuenca Lagunillas Agua y Biótico. Atacama, Chile.

Compañía Minera Cerro Colorado Ltda. (febrero 2019) Informe Semestral Cuenca Lagunillas Agua y Biótico. Atacama, Chile.

Compañía Minera Cerro Colorado Ltda. (agosto 2019) Informe Semestral Cuenca Lagunillas Agua y Biótico. Atacama, Chile.

Compañía Minera Cerro Colorado Ltda. (2014). Informe Plan de Trabajo para el Manejo de las Funciones Ecosistémicas del Sistema Lacustre de Lagunillas período anual marzo 2012 a marzo 2013. Atacama, Chile.

Compañía Minera Cerro Colorado Ltda. (2015). Informe Plan de Trabajo para el Manejo de las Funciones Ecosistémicas del Sistema Lacustre de Lagunillas período anual marzo 2013 a marzo 2014. Atacama, Chile.

Compañía Minera Cerro Colorado Ltda. (2016). Informe Plan de Trabajo para el Manejo de las Funciones Ecosistémicas del Sistema Lacustre de Lagunillas período anual marzo 2014 a marzo 2015. Atacama, Chile.

Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi. (junio, 1995) Estudio de Impacto Ambiental Proyecto “Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi”. Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi. [En Línea], Chile <
https://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?id_expediente=1108&idExpediente=1108 > [Consulta: junio 2020]

Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi. (2001). Ficha del Proyecto: Proyecto Expansión 110 KTPD Planta Concentradora Collahuasi [En Línea] <
https://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?modo=normal&id_expediente=3704 > [Consulta: marzo 2020]

Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi. (2003). Ficha del Proyecto: Proyecto Optimización Collahuasi [En Línea] <
https://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?modo=normal&id_expediente=88136 > [Consulta: marzo 2020]

Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi. (2019). Ficha del Proyecto: Desarrollo de Infraestructura y Mejoramiento de Capacidad Productiva de Collahuasi [En Línea] <
https://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=2142210954 > [Consulta: febrero 2020]

Decreto 40: Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. Ministerio del Medio Ambiente. Chile, 13 de agosto de 2013.

Decreto con Fuerza de Ley 1.122. Código de Aguas. Ministerio de Justicia. Publicación 29-10-1981, Chile.

DICTUC 2009, Delimitación de Cuencas Altiplánicas.

Jaime Illanes y Asociados. (Julio, 2013). Estudio de Impacto Ambiental Proyecto Continuidad Operacional Cerro Colorado. Compañía Minera Cerro Colorado. [En Línea], Chile.<
https://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?modo=ficha&id_expediente=8342382 > [Consulta: febrero 2020]

Knight Piésold S.A. Ingenieros Consultores. (1997). Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Expansión Cerro Colorado. Compañía Minera Cerro Colorado. <
https://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.php?id_expediente=312&idExpediente=312 >[Consulta: febrero 2020]

Knight Piésod Consulting. (marzo, 2002) Declaración de Impacto Ambiental del Proyecto Mejoramiento de eficiencia Stretch Plan. Compañía Minera Cerro Colorado. <
https://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?modo=normal&id_expediente=5285
>[Consulta: febrero 2020]

LEY N° 18.575, DFL1-19653 Fija Texto Refundido, coordinado y Sistematizado de la Ley Orgánica Constitucional de Bases Generales de la Administración del Estado. Diario Oficial de la República de Chile, Santiago, Chile, noviembre de 2001.

Ley N°19.300 Sobre Bases Generales del Medio Ambiente. Diario Oficial de la República de Chile, Santiago, Chile, 9 de marzo de 1994.

Ley N°19.300 Sobre Bases Generales del Medio Ambiente. Zarey Sociedad de Servicios Profesionales Asesoría y Capacitación Ltda. Vila del Mar, Chile.

Ley N°20.417 Crea el Ministerio, el Servicio De Evaluación Ambiental y la Superintendencia del Medio Ambiente. Diario Oficial de la República de Chile, Santiago, Chile, 26 de enero de 2010.

Montgomery y Associates. (diciembre 2019). Actualización Modelo Numérico Hidrogeológico Cuenca de Lagunillas. BHP. Tarapacá, Chile

Montgomery y Associates. (enero 2020a). ANEXO A: Volumen de agua extraída desde pozos de producción. BHP. Tarapacá, Chile

Montgomery y Associates. (enero 2020b). ANEXO B: Estudio Hidrológico de Estimación de Recarga y Análisis de Cambio Climático en Cuenca Lagunillas. BHP. Tarapacá, Chile.

Montgomery y Associates. (noviembre 2019a). ANEXO C: Balance hídrico bofedal Lagunillas y laguna Huantija. BHP. Tarapacá, Chile.

Naoki, K., Landivar, C. M. y Gómez, M. I. (diciembre, 2014). Monitoreo de las aves para detectar el cambio de la calidad ecosistémica en los bofedales altoandinos. Ecología en Bolivia, vol (49), 73-83.

Ordinario N°113 de la DGA de 07 de marzo de 2005. Tarapacá, Chile

Resolución Exenta N°713/2199. COREMA, I Región de Tarapacá. Diciembre 1995. Califica ambientalmente el proyecto “Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi”

Resolución Exenta N°167/2001. COREMA, I Región de Tarapacá. Septiembre 2001. Califica ambientalmente el proyecto “Expansión 110 KTPD Planta Concentradora Collahuasi”

Resolución Exenta N°100/2003. COREMA, I Región de Tarapacá. Septiembre 2001. Califica ambientalmente el proyecto “Optimización Collahuasi”

Resolución Exenta N°144/2006. COREMA, I Región de Tarapacá.2006. Califica ambientalmente el proyecto “Traslado Puntos de Captación de Aguas Subterráneas en Cuenca Coposa”

Resolución Exenta N°22/97. COREMA, I Región de Tarapacá. Septiembre 1997. Califica ambientalmente el proyecto “Expansión Cerro Colorado”

Resolución Exenta N°102/02. COREMA, I Región de Tarapacá. Julio 2002. (modificada en 2011 por Res N°67/2011). Aprueba la Declaración de Impacto Ambiental “Mejoramiento de Eficiencia Stretch Plan”

Resolución Exenta N°67/2011. Servicio de Evaluación Ambiental, I Región de Tarapacá. Junio 2011. Modificación de las Res Ex N°22/97 y Res Ex N°102/02

Resolución Exenta N°69/15. Servicio de Evaluación Ambiental, I Región de Tarapacá. Octubre 2015. Califica ambientalmente proyecto “Continuidad Operacional Cerro Colorado” y sus Adendas.

Rojas. E. 2015. Efectos de la Regulación Ambiental y de Aguas en Ecosistemas de Humedales Altiplánicos. Proyecto de Grado Geografía. Universidad de Chile. 103p.

Servicio de Evaluación Ambiental [en línea] < <https://www.sea.gob.cl/que-hacemos> > [Consulta: abril 2020]

Sistema Nacional de Información de Fiscalización Ambiental [en línea] < <https://snifa.sma.gob.cl/SeguimientoAmbiental> > [Consulta: junio-octubre 2020]

Superintendencia del Medio Ambiente [en línea] < <https://portal.sma.gob.cl/index.php/que-es-la-sma/> > [Consulta: abril 2020]