



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

**PLAN DE ALERTA TEMPRANA PARA PREVENIR EL EFECTO QUE PUEDA
CAUSAR LA OPERACIÓN DE UN NUEVO POZO DE EXTRACCIÓN EN EL
ACUÍFERO DE LA PARTE BAJA DEL RÍO LLUTA**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

MICHAEL RODRIGO SANTANDER TAPIA

PROFESOR GUÍA:

ARMANDO RADRIGÁN LACOSTE

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

**PAULO HERRERA RICCI
JULIO VALLEJOS ALFARO**

**SANTIAGO DE CHILE
2016**

RESUMEN

El presente Trabajo de Título, se refiere a la elaboración de un Plan de Alerta Temprana (PAT) solicitado por la Dirección General de Aguas (DGA) a la empresa Quiborax S.A., para el aprovechamiento de derechos de aguas de uso consuntivo para un pozo ubicado en el acuífero de la Parte baja del Río Lluta en la comuna de Arica, Región de Arica y Parinacota.

Un PAT es un sistema de gestión, que mediante la medición de variables físicas caracteriza la respuesta del sistema acuífero y biótico al ejercicio de derechos de aprovechamiento, verificando que los parámetros de control tomados no se vean alterados.

El objetivo del trabajo de título, es establecer las variables a controlar y como efectuar el seguimiento de ellas, contando con los elementos que permitan saber si se están respetando las condiciones impuestas por la DGA para el aprovechamiento de los derechos de agua otorgados y poder formular las medidas de corrección en caso de sobrepasar algún valor de control.

La metodología corresponde a una revisión bibliográfica de los estudios realizados en la zona, la revisión crítica de la “Guía Metodológica de Elaboración y Gestión de Planes de Alerta Temprana” (DGA), una campaña de terreno para determinar las características de la zona, la elaboración de un modelo del acuífero en la zona de extracción y finalmente, elaborar el PAT para el pozo de extracción en estudio.

Como resultado se generará la información necesaria para determinar el comportamiento sin explotación del sistema, la definición de las variables de control durante la explotación del acuífero, el establecimiento de niveles de umbrales para cada una de las variables a controlar, junto con las acciones que se deberán tomar en caso que algún nivel de acción, correspondientes a los parámetros de control, sea sobrepasado.

**“A mis hijos Vicente e Ignacio, mi esposa
María Teresa y mi madre María Ester”**

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	1
1.1	INTRODUCCIÓN	1
1.2	OBJETIVOS	2
1.2.1	GENERALES	2
1.2.2	ESPECÍFICOS	2
1.3	METODOLOGÍA	3
1.3.1	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
1.3.2	REVISIÓN DE LA GUÍA METODOLÓGICA DE ELABORACIÓN Y GESTIÓN DE PLANES DE ALERTA TEMPRANA (DGA 2012)	3
1.3.3	CAMPAÑA DE TERRENO Y RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES	4
1.3.4	ELABORACIÓN DE UN MODELO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS SIMPLIFICADA	4
1.3.5	CONFECCIÓN DE PLAN DE ALERTA TEMPRANA PARA EL POZO EN ESTUDIO	4
2	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	5
2.1	ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE LA CIUDAD DE ARICA. ESTUDIO DE LA INTERFASE DEL ACUIFERO COSTERO, ALAMOS Y PERALTA, SEPTIEMBRE 1992	5
2.2	“THE DEVELOPMENT OF WATER RESOURCES IN NORTHERN CHILE”, JICA-DGA, PCL.MARZO 1995	6
2.3	“DEFINICIÓN DE ESTRATEGIAS DE MANEJO SUSTENTABLE PARA EL ACUÍFERO DE AZAPA, XV REGIÓN”, SIT N° 201 DGA, DICIEMBRE 2009.	8
2.4	“ACTUALIZACIÓN DE LA EVALUACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE RECURSOS HÍDRICOS PARA CONSTITUIR DERECHOS DE APROVECHAMIENTO EN LAS SUBCUENCAS AFLUENTES AL SALAR DE ATACAMA. II REGIÓN.”, GCF INGENIEROS PARA LA DGA, FEBRERO 2010	10
2.5	“INFORME TÉCNICO ANÁLISIS PRELIMINAR DE PLANES DE ALERTA TEMPRANA CON CONDICIONAMIENTO DE DERECHOS.”, DIVISIÓN DE ESTUDIOS Y PLANIFICACIÓN DGA, DICIEMBRE 2012	10
3	REVISIÓN DE LA GUÍA METODOLÓGICA DE ELABORACIÓN Y GESTIÓN DE PLANES DE ALERTA TEMPRANA (DGA 2012)	13
3.1	OBJETIVOS GUÍA METODOLÓGICA DEL PAT	14
3.2	ACTIVIDADES QUE COMPONEN UN PAT	15
3.2.1	FASE I: IDENTIFICACIÓN Y ELABORACIÓN DE UN PAT	16
3.2.2	FASE II: SEGUIMIENTO Y FISCALIZACIÓN DEL PAT	16
3.2.3	FASE III: ACTUALIZACIÓN DEL PAT	17
4	CAMPAÑA DE TERRENO Y RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES	18
4.1	ANTECEDENTES ADMINISTRATIVOS-LEGALES	18
4.2	DERECHOS DE APROVECHAMIENTO	19
4.3	CLIMA Y DRENAJE REGIONAL Y LOCAL	19
4.4	HUMEDAL DESEMBOCADURA RÍO LLUTA	21
4.5	CAMPAÑA DE TERRENO	23
4.5.1	SECTOR DE EMPLAZAMIENTO NUEVO POZO DE EXTRACCIÓN	23

4.5.2 FLORA DOMINANTE EN LA ZONA EMPLAZAMIENTO NUEVO POZO DE EXTRACCIÓN.	28
4.5.3 SECTOR POZO DE CONTROL DGA.....	30
5 ELABORACIÓN DE UN MODELO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS SIMPLIFICADA	32
5.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ACUÍFERO	32
5.1.1 RECARGA.....	33
5.1.2 ÁREA DE INFLUENCIA.....	34
5.1.3 CALIDAD DE AGUA SUBTERRÁNEA.....	34
5.1.4 CONSTANTES ELÁSTICAS Y OTROS PARÁMETROS DEL ACUÍFERO	35
5.1.4.1 TRANSMISIVIDAD (T) Y CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA (K).....	35
5.1.4.2 COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO (S).....	36
5.1.4.3 RESISTIVIDAD (R).....	36
5.1.5 MOVIMIENTO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	36
5.2 CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS DEL ACUÍFERO EN LA ZONA DE LOS POZOS.....	37
5.3 HERRAMIENTA DE MODELACIÓN.....	37
6 CONFECCIÓN DE PLAN DE ALERTA TEMPRANA PARA EL POZO EN ESTUDIO.....	39
6.1 PERTINENCIA DEL PAT.....	39
6.2 VARIABLES DE ESTADO.....	39
6.3 PROGRAMA DE MONITOREO EN FASE DE PREBOMBEO Y FASE BOMBEO.....	40
6.4 PLAN/PROGRAMA DE MONITOREO.....	41
6.4.1 CONTROL DE NIVELES EN LOS POZOS DE PRODUCCIÓN Y OBSERVACIÓN.....	41
6.4.2 REGISTRO DEL CONTROL DE NIVELES.....	42
6.4.3 FRECUENCIA DE CONTROL DE NIVELES.....	42
6.4.4 REGISTRO DEL HUMEDAL.....	42
6.5 CONDICIONES Y UMBRALES.....	43
6.6 VARIABLES DE ACTIVACIÓN.....	43
6.6.1 VARIABLES.....	43
6.6.2 ACTIVACIÓN DEL PAT Y MEDIDAS.....	44
6.6.3 FASE DE ALERTA I.....	45
6.6.4 FASE DE ALERTA II.....	46
6.6.5 FASE DE RECUPERACIÓN I.....	47
6.6.6 FASE DE RECUPERACIÓN II.....	48
6.7 NIVELES DE ACCIÓN Y UMBRALES.....	48
6.8 CONDICIONES DE DESACTIVACIÓN.....	49
6.9 FLUJOGRAMA DE DECISIONES Y ACCIONES.....	50
7 SEGUIMIENTO.....	51
7.1 FRECUENCIA DE ENTREGA Y NÚMERO DE EJEMPLARES.....	51
7.2 FORMATO DE INFORME.....	51
7.3 INFORMACIÓN ANEXA.....	51
7.4 DESTINATARIO.....	51

8	CRITERÍOS DE INCUMPLIMIENTO	52
9	ACTUALIZACIÓN DEL PAT	53
9.1	FRECUENCIA	53
9.2	METODOLOGÍA	53
10	CONCLUSIONES	56
11	BIBLIOGRAFÍA	57

INDICE DE TABLAS

Tabla 4.2-1	Derechos de aprovechamiento constituidos.....	19
Tabla 4.2-2	Derechos de aprovechamiento Solicitados.....	19
Tabla 4.5.1-1	Características Pozos.....	25
Tabla 4.5.1-2	Prueba de Gasto Variable de los Pozos Quiborax.....	27
Tabla 4.5.1-3	Prueba de Gasto Constante de los Pozos Quiborax.....	27
Tabla 4.5.2-1	Flora presente en la zona de estudio.....	29
Tabla 5.1.4.3-1	Resistividad Acuífero	36
Tabla 6.4.1-1	Pozos de Monitoreo Propuestos.....	41
Tabla 6.4.4-1	Decisiones Humedal.....	43

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1-1	Acuíferos con restricción de explotación Región de Arica y Parinacota.....	2
Figura 4.1-1	Ubicación Pozo.....	18
Figura 4.4-1	Mapa Ubicación Humedal Protegido	22
Figura 4.5.1-1	Sector específico de ubicación del pozo de extracción	24
Figura 4.5.1-2	Ubicación Local de Los Pozos.....	25
Figura 4.5.1-3	Sistema de habilitación Pozo 1	26
Figura 4.5.1-4	Tablero de Control Bomba Pozo 1.....	26
Figura 4.5.1-5	Nuevo Pozo.....	27

Figura 4.5.2-1 Flora vista hacia el norte en la zona de los pozos	28
Figura 4.5.2-2 Flora vista hacia el poniente en la zona de los pozos.....	29
Figura 4.5.3-1 Registro histórico de medición pozo DGA.....	30
Figura 4.5.3-2 Flora vista hacia el poniente en la zona de los pozos.....	31
Figura 4.5.3-3 Flora vista hacia el poniente en la zona de los pozos.....	31
Figura 6.9-1 Flujograma de decisiones	50

ANEXO I : REGSITRO HISTÓRICO DE POZO DE CONTROL DGA

ANEXO II: DERECHOS DE AGUA Y DOCUMENTOS LEGALES

ANEXO II : PRUEBAS DE BOMBEO

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Introducción

Debido a la sobreexplotación del recurso hídrico existente en los acuíferos de la zona norte y centro del país, la DGA ha declarado zonas de restricción para el otorgamiento de nuevos derechos de agua, siendo fundamental para su otorgamiento la elaboración de un Plan de Alerta Temprana (PAT), un PAT es un sistema de gestión, que mediante la medición de variables físicas caracteriza la respuesta del sistema acuífero y biótico al ejercicio de derechos de aprovechamiento, verificando que los parámetros de control tomados no se vean alterados, asegurando que la explotación de los nuevos derechos provisorios otorgados no perjudiquen la flora y fauna de la cuenca ni los derechos de agua permanente otorgados con anterioridad. Es por ello que nace la motivación para el presente trabajo de título, tomando conocimiento y explorando los pro y contra de esta nueva restricción.

El presente trabajo de título consiste en la elaboración de un PAT para un nuevo pozo de extracción para la empresa Quiborax S.A. con un derecho de aprovechamiento de aguas subterráneas, de uso consuntivo, de ejercicio permanente y continuo, por un caudal máximo instantáneo de extracción de 24 l/s ubicado en el acuífero denominado parte baja del río Lluta en la región de Arica y Parinacota. En particular el acuífero denominado “Parte baja del río Lluta” ha sido decretado como área de restricción para nuevas extracciones mediante resolución DGA N° 169 del año 2012, además, la existencia del Humedal protegido “Desembocadura río Lluta” hacen de esta zona de cuidado ante posibles intervenciones humanas que pudieren afectar la Flora y fauna del Humedal, por lo tanto, para que los derechos otorgados sean autorizados para su explotación, es exigencia de la DGA la elaboración de un PAT, asegurando que se controlarán las variables para que no se vean afectadas la extracciones de derechos ya otorgados, ni que se vea afectada la flora y la fauna del río no el humedal.

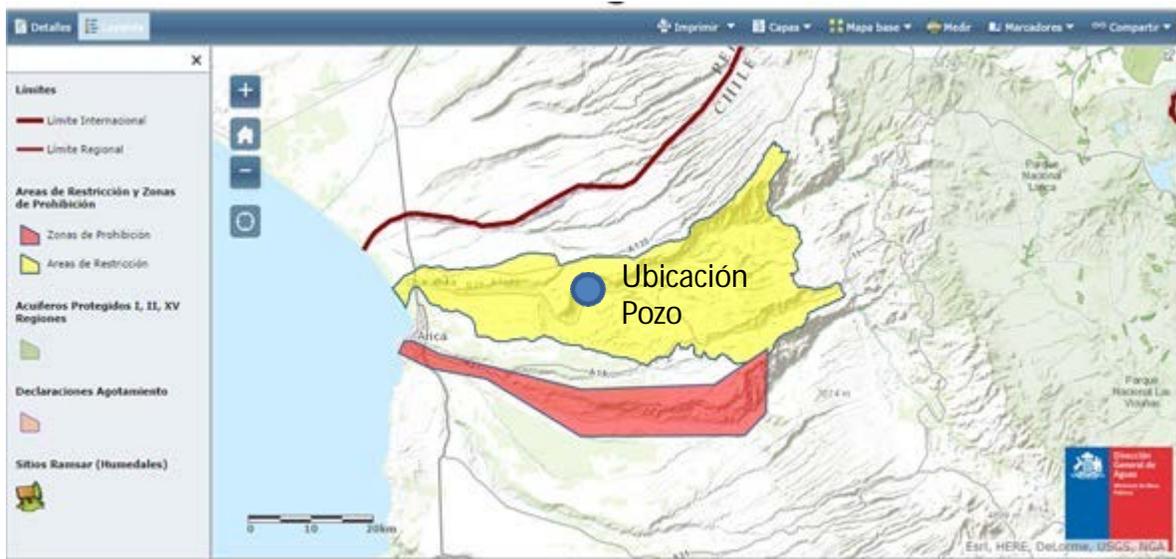


Figura 1.1-1 Acuíferos con restricción de explotación Región de Arica y Parinacota

Estos derechos otorgados son de carácter provisorios en una primera instancia, pudiendo pasar a permanentes una vez que el PAT haya sido validado y ratificado por la autoridad competente.

Un PAT puede ser descrito como un sistema de gestión que mediante la medición de variables físicas como, por ejemplo, niveles de aguas subterráneas, que caracteriza la respuesta del sistema al ejercicio de derechos de aprovechamiento, verificando que los objetos que han sido identificados de preocupación por la autoridad no se vean alterados producto de la extracción de agua.

1.2 Objetivos

1.2.1 Generales

El objetivo principal es realizar un Plan de Alerta Temprana que permita prevenir y controlar los efectos que pueda causar sobre la Flora y fauna y derechos de agua ya otorgados, la habilitación de una nueva extracción de agua desde un nuevo pozo construido en el acuífero “parte baja del río Lluta”.

1.2.2 Específicos

Los objetivos específicos de este trabajo de título son:

- Realizar una revisión bibliográfica de estudios relacionados con el humedal y el acuífero de la parte baja del río Lluta y la revisión de la “Guía Metodológica de Elaboración y Gestión de Planes de alerta Temprana” (PAT) elaborado por la DGA el año 2012.
- Elaboración de un modelo simplificado del acuífero para la zona de emplazamiento del pozo de extracción de manera de obtener el radio de influencia de este, caracterizando su comportamiento para la nueva extracción.
- Confeccionar un plan de alerta temprana para el pozo de estudio, identificando factores críticos que indiquen variaciones en la disponibilidad de recursos en el acuífero y la consiguiente restricción de extracción desde el pozo.

1.3 Metodología

Para conseguir los objetivos planteados se presenta la siguiente metodología dividida en 5 etapas según la relación siguiente.

1.3.1 Revisión Bibliográfica

La primera etapa consistirá en la revisión bibliográfica de documentos y estudios que caractericen el humedal y el acuífero parte baja del río Lluta. Las fuentes de información son, en general, las instituciones públicas como por ejemplo DGA, Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN), Instituto Geográfico Militar (IGM), Servicio Aereofotogramétrico (SAF), Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN), Dirección Meteorológica de Chile (DMC), Servicio de Evaluación Ambiental (SEIA).

1.3.2 Revisión de la Guía Metodológica de Elaboración y Gestión de Planes de alerta Temprana (DGA 2012).

En la etapa 2 y luego de la revisión bibliográfica, se realizará la revisión de la guía metodológica de Elaboración y Gestión de Planes de Alerta Temprana (PAT). Esta guía fue

elaborada por la DGA y publicada para su uso el año 2012. En esta etapa se definirán los lineamientos y alcances que tiene esta guía sobre el pozo de extracción en estudio.

1.3.3 Campaña de Terreno y recopilación de antecedentes

Como tercera etapa se realizará una campaña de terreno, tendiente a identificar y recopilar información del pozo en estudio, realizar un levantamiento visual del humedal y de la flora y fauna existentes en los alrededores del pozo de extracción, obtener antecedentes hidrológicos y geotécnicos de pozos cercanos como por ejemplo, estratigrafía, pruebas de bombeo y niveles históricos del acuífero.

1.3.4 Elaboración de un modelo de aguas subterráneas simplificada

Para la Etapa 4 y con la recopilación de antecedentes obtenidos, se realizará un modelo hidrogeológico que caracterice el pozo de extracción ubicado en el acuífero parte baja del Río Lluta. Para la elaboración de este modelo se utilizarán herramientas de cálculo obtenidas en el curso “Hidráulica de aguas subterráneas y su aprovechamiento”, este pozo extraerá el caudal de 24 l/s otorgado como derecho provisorio por la DGA a la empresa Quiborax. Como resultado de la elaboración de este modelo, se obtendrá el radio de influencia del pozo de extracción.

1.3.5 Confección de Plan de Alerta Temprana para el pozo en estudio

Finalmente, se elaborará el plan de alerta temprana, identificando mediante flujogramas y planes de acción para cada una de las variables de estado identificadas y que serán utilizadas para verificar la respuesta del sistema y que se encuentran vinculadas con los objetivos del PAT, pudiendo ser estas físicas como biológicas.

2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Estudio Hidrogeológico de la ciudad de Arica. Estudio de la Interfase del Acuífero Costero, Alamos y Peralta, septiembre 1992.

El objetivo de este estudio fue investigar las características hidrogeológicas del acuífero costero del Valle Azapa y su conexión subterránea con el mar, para definir las condiciones en las que se puede seguir explotando dicho acuífero previniendo un proceso de intrusión marina.

Se realizó una campaña de geofísica con el objeto de ubicar la posición más precisa posible de la interfase entre agua dulce y salada. Además se realizaron una serie de pruebas de bombeo en seis pozos, ubicados todos en las inmediaciones de la ciudad de Arica: Estos pozos sirvieron para medir, entre otras cosas, el contenido en cloruros y la conductividad, además para elaborar mapas de líneas equipotenciales del nivel dinámico y estático de los pozos.

Como conclusión final, se afirma que el acuífero costero no está conectado al mar por el Oeste, sino indirectamente por su flanco Norte; por consiguiente, los mayores riesgos de salinización pueden producirse por la concentración de sondajes de explotación al Norte de la desembocadura del río San José.

Además se considera que el actual funcionamiento del acuífero, con su extracción, puede aumentarse en unos 150 a 300 l/s, siempre y cuando los sondajes se ejecuten en la parte alta del embalse subterráneo; se recomienda preparar el lecho del Río San José para infiltrar las aguas de posibles avenidas consecuencia de las precipitaciones del invierno altiplánico y se propone un sistema de vigilancia y control. Para finalizar advierten que el dren costero ubicado en el extremo norte del acuífero y del cual existe un proyecto de construcción se encuentra en un sector en el que no se hace recomendable su explotación.

Los factores que determinan la ubicación y movimiento de la "interfase" entre agua dulce y agua salada en la desembocadura del río Lluta no son iguales, por lo que las conclusiones a las que se llega en este trabajo no son aplicables de manera directa; no obstante, se tomara en cuenta la conclusión de que el mayor riesgo de intrusión salina vendría dado por una

captación situada en el flanco norte del acuífero del Valle de Azapa y no directamente por el Oeste como se podrá suponer sin contar con antecedentes específicos.

2.2 “The Development of Water Resources in Northern Chile”, JICA-DGA, PCI.Marzo 1995.

En este estudio se realiza un balance hídrico para cuatro cuencas de las regiones XV y I: las cuencas del río Lluta, del río San José, del Salar del Huasco y de la Pampa del Tamarugal. Se propone un balance hídrico simple, considerando pocas variables hidrometeorológicas, pero poniendo atención a las intervenciones que afectan a las cuencas de interés. De este modo, se hace una estimación de los bombeos, caudales de riego, demandas de agua potable y agua para uso industrial.

Los balances fueron realizados a nivel medio anual, por lo cual se trabajó con los promedios de los registros anuales de precipitación. La recarga al acuífero en el valle del río Lluta fue calculada en función de la estimación efectuada en el valle de Azapa. Para este último se usó la siguiente expresión:

$$R = \frac{(Q_A - Q_C - Q_0)}{(Q_A - Q_C)}$$

donde,

R=tasa de recarga en el valle de Azapa

Q_A =caudal promedio en el tramo comprendido entre Ausipar y la bocatoma del canal Azapa

Q_C =caudal captado por el canal Azapa

Q_0 =caudal superficial promedio de descarga al mar a través del río San José

El resultado fue de 76% y fue interpretado como que el 76% del agua superficial infiltra recargando al acuífero del valle de Azapa. La recarga se produce principalmente en el lecho del cauce. Se estimó que las condiciones de recarga en el valle del río Lluta son semejantes a las del río San José, pero considerando que la porosidad efectiva en el acuífero del Lluta es un 70% de la del Azapa. Con ese factor, se calculó una tasa de recarga de $0.7 \cdot 76\% = 53\%$. El caudal de recarga se estimó teniendo en cuenta que el tramo de lecho grueso del Lluta es de 17 km y el del río San José, de 22 km.

Luego, el caudal de recarga fue calculado como:

$$Q_R = (Q_T - C_R) \cdot 0.53 \cdot \frac{17}{22} = 572 \text{ l/s}$$

Donde

Q_T =Caudal promedio en Toconasi

C_R =Consumo Real en el Valle

Como se puede apreciar en los párrafos y ecuaciones anteriores, los cálculos son muy gruesos. No se dispone de estadísticas de caudales superficiales confiables como para estimar los caudales reales de esorrentía superficial en las secciones de aguas arriba de ambos valles.

La relación de porosidades efectivas usada, es muy aproximada, puesto que no existen datos suficientes como para estimar la porosidad efectiva real promedio para ambos lechos.

En la relación de largos de infiltración no se consideraron los anchos de los cauces y su forma, la que es bastante irregular.

En resumen el cálculo realizado se basa en supuestos muy aproximados que están respaldados en una percepción cualitativa y en la experiencia del hidrólogo o hidrogeólogo, más que en datos reales.

Por lo tanto, el método expuesto es de un escaso aporte a los objetivos del presente trabajo. El cálculo efectuado sólo es posible tenerlo en cuenta como un orden de magnitud grueso.

Finalmente, se puede resumir que las recargas son estimadas de forma indirecta, sin observarse una relación de causa con el resto de las variables involucradas en un balance hídrico. Esto se ve reflejado en que el balance considera como entrada la precipitación, y como salidas, prácticamente sólo componentes antrópicas, en desmedro de una buena estimación de evaporaciones, afloramientos, etc. Dichas variables pueden ser efectivamente menores en

magnitud y aunque han sido despreciadas por ello y por simplicidad, en una cuenca sin explotación intensiva, las variables naturales sí son importantes.

2.3 “Definición de Estrategias de Manejo Sustentable Para el Acuífero de Azapa, XV Región”, SIT N° 201 DGA, Diciembre 2009.

En este estudio se presenta un análisis completo del comportamiento altiplánico de las precipitaciones y se propone una metodología estadísticamente adecuada para el relleno y extensión de las estadísticas mensuales y diarias de dicha variable.

El método estocástico multivariado utilizado, buscó reproducir el comportamiento de una variable aleatoria con una dependencia espacial y variación temporal, tal como lo es la precipitación. Toma como entrada muestras de dicha variable en distintos puntos del espacio, las cuales corresponden a las series de precipitación en distintas estaciones, y entrega, para cada estación, valores aleatorios de la variable que conservan, en promedio, la media, desviación estándar y correlación con otras estaciones pluviométricas.

En el caso del relleno de series de precipitaciones mensuales, el método incorpora la probabilidad condicional de una cierta precipitación que no se ha registrado, dadas las precipitaciones registradas en otras estaciones en el mismo período; es decir, se trabaja con la distribución de probabilidad conjunta de las variables no observadas, condicionadas a aquéllas observadas. Para rellenar las series de precipitaciones diarias desde las series mensuales ya completadas, se elaboró un modelo basado en las experiencias de Markov.

La escorrentía superficial se estimó a través de un modelo basado en hidrogramas de escorrentía para cada subcuenca de la zona de estudio y el posterior rastreo de tales caudales hasta su desembocadura en el mar. Los hidrogramas se estimaron a partir de un hidrograma unitario adimensional ponderado por valores de caudal peak y tiempo al peak únicos para cada subcuenca definiéndose además un tiempo base en función del tiempo al peak, de manera que se ajustara a las características de la crecida del río San José del año 2001. De este modo, la forma del hidrograma se caracteriza por tener una curva de recesión larga y un tiempo al peak bastante menor que el tiempo base.

Una vez determinada la escorrentía superficial, Q_s , las recargas al acuífero se estimaron mediante un balance por zonas de la cuenca. Se utilizaron coeficientes de escorrentía distintos para cada zona, determinados a través de aproximaciones sucesivas, para ajustar el caudal de salida en Saucache al valor medio anual y así mantener el porcentaje medio de infiltración observado durante los aforos simultáneos en puntos de control.

Tras efectuar este balance, las recargas se incluyeron como entrada para un modelo hidrogeológico desarrollado en Modflow, el cual permitió corregir los valores de recarga, ajustándolos al funcionamiento observado del acuífero.

El estudio generó una buena representación estadística de las precipitaciones altiplánicas, difíciles de modelar mediante métodos tradicionales, tanto a nivel mensual como diario.

Para el modelo que estima caudales superficiales se revisaron varios métodos hasta encontrar el que entregó un mejor ajuste con los observados. Con ello, el modelo no es sólo numérico, sino que da cuenta de la importancia y la relación de causalidad entre las variables de entrada al modelo y los resultados obtenidos.

La cuenca del río San José es muy grande, lo cual dificultó el análisis por tener que abarcar zonas de distintas condiciones climáticas, desde la alta cordillera hasta la costa donde las lluvias son casi insignificantes. Del mismo modo, la geomorfología de la cuenca es también variada: mientras en la zona alta y lluviosa el suelo es rocoso y con un bajo potencial de infiltración, en las zonas media y baja hay extensas áreas de relleno sedimentario. Al tener que subdividir la cuenca en zonas pequeñas para la estimación de recargas, se aumentó la cantidad de incógnitas (coeficiente de escorrentía, caudales y tiempos peak, factores de infiltración, etc.).

2.4 “Actualización de la Evaluación de la Disponibilidad de Recursos Hídricos para Constituir Derechos de Aprovechamiento en las Subcuencas Afluentes al Salar de Atacama. II Región.”, GCF Ingenieros para la DGA, Febrero 2010.

Se efectuó un estudio espacial de precipitaciones con un relleno estocástico multivariado utilizando los registros de 25 estaciones. Posteriormente, se construyeron relaciones de precipitación en función de la elevación.

Del mismo modo, se utilizaron las 6 estaciones meteorológicas más representativas del salar para construir curvas de evaporación en función de la elevación.

El balance se basa en el supuesto de que el nivel del salar se encuentra en equilibrio, por lo cual no hay una variación de almacenamiento subterráneo, y toda la escorrentía superficial eventualmente infiltra. Con esto, el balance se simplifica bastante. Los cálculos se realizan a nivel mensual, discretizando espacialmente la zona de estudio en subcuencas.

Hay un muy buen ajuste de los parámetros estadísticos de las series de precipitación rellenadas y las observadas (promedio, desviación estándar y probabilidad de no lluvia).

Como varios de los estudios revisados, esta metodología es sólo aplicable a cuencas endorreicas en equilibrio, puesto que agregar la variable del caudal superficial de salida, el problema queda sobredeterminado, siendo necesario realizar nuevos supuestos o modificando de alguna forma el método.

2.5 “Informe Técnico Análisis Preliminar de Planes de Alerta Temprana con Condicionamiento de Derechos.”, División de Estudios y Planificación DGA, Diciembre 2012.

En este informe técnico, se realiza un análisis general de los PATs presentados ante la autoridad hasta el año 2012, cabe mencionar que estos solo se desarrollan en la región de Antofagasta, ya que estos acuíferos han sido decretados en restricción para el otorgamiento de nuevos derechos. Los PATs estudiados corresponden a los siguientes acuíferos:

- Acuífero Calama: Minera el Tesoro
- Acuífero de Pampa Puno

- Acuífero Monturaqui
- Acuífero de Elvira
- Acuífero de Los Morros
- Acuífero del Salar de Ollagüe

En términos generales se puede mencionar que en todos los PATs revisados se identifica la ubicación de los derechos cuyo ejercicio está condicionado por su respectivo plan, se indican los objetivos del plan, los objetos de protección, el plan de monitoreo, la determinación de umbrales, la evaluación de impactos, entre otros aspectos. Pero el problema que se evidencia en la revisión es que, a pesar de tratarse todos estos aspectos, se da una diferencia en el grado de profundidad con el que son abordados en todos los planes.

Un aspecto muy importante que se evidencia en todos los PATs revisados es la falta de definición de umbrales, principalmente en lo referido al monitoreo de calidad de las aguas subterráneas y/o superficiales. En algunos casos, tampoco se define los umbrales referidos a niveles o caudales de las aguas. En este sentido, puede ser recomendable obtener dichos umbrales a partir del EIA o DIA presentado para cada proyecto, ya que en ellos se define la línea base de cada sistema y se identifican los posibles impactos de cada proyecto, desde donde se puede establecer el valor límite que determina dicho impacto.

Comparativamente es el PAT Calama el que define de mejor manera algunos de los aspectos mencionados anteriormente y el que más se acerca a la estructura e índice preliminar que se presenta en este informe. Entre los aspectos que se diferencia respecto a los otros PATs se puede mencionar: el establecimiento claro de las acciones y/o medidas a tomar en el caso que se superen los umbrales definidos, mientras en los otros planes se señala que debe ser la DGA quien establezca las medidas cuando se evidencie la superación de umbrales; cuenta con un flujograma de decisiones, mientras los otros planes no lo tienen; tiene una descripción general del acuífero donde está habilitada la captación con derecho condicionado; entre otros.

Por otra parte, se entiende que la diferencia que se evidencia en el contenido y profundización con que se aborda cada aspecto dentro de los PATs analizados puede estar determinada por la falta de un instructivo o indicación oficial que determine la estructura, alcance y contenido que deben tener. En este sentido, el índice preliminar presentado es un avance en cuanto a la

estandarización de los PATs, pero se debe seguir trabajando en la definición clara del contenido de cada tópico presentado en él con el fin de que la DGA pueda emitir una resolución o instructivo al respecto.

3 REVISIÓN DE LA GUÍA METODOLÓGICA DE ELABORACIÓN Y GESTIÓN DE PLANES DE ALERTA TEMPRANA (DGA 2012).

En algunas regiones de Chile, principalmente en el norte y centro del país, existen acuíferos con explotación intensiva, actual o prevista, de acuerdo a la gran cantidad de derechos otorgados en ellos, la capacidad del acuífero, la baja recarga, etc. Debido a este alto nivel de explotación a los que están (o serán) sometidos los acuíferos, junto con la existencia de zonas cercanas sensibles desde el punto de vista ambiental y un nivel de incertidumbre relevante debido a que el sistema se encuentra con un alto “stress”, es que la Dirección General de Aguas ha determinado que la constitución de derechos de aguas establezca un conjunto de condicionantes que son gestionadas a través de un seguimiento específico, en aquellos casos cuya evaluación y características particulares justifiquen la conveniencia de establecer un mejor control y seguimiento del estado del acuífero y su condición de explotación. Este tipo de seguimiento se ha denominado Plan de Alerta Temprana (PAT).

La DGA ha establecido una definición oficial de Plan de Alerta Temprana y el contenido de éste, por lo que se entiende que un PAT es una herramienta de gestión, en este caso hídrica, que tiene como objetivo realizar el pronóstico, seguimiento, evaluación y verificación de los efectos o impactos previstos al momento de otorgar un derecho de aprovechamiento de agua. Todo esto por medio de la definición de indicadores con sus umbrales respectivos que permitan evaluar oportunamente en el tiempo el grado de afección o impacto en el área de influencia del derecho, para corregir en los casos que se generarse una afección o impacto reduciendo, ajustando o suspendiendo el ejercicio del derecho otorgado.

Por otra parte, en todo informe (DIA o EIA) que ingresa al Sistema de Evaluación Ambiental (SEA), se debe presentar un Plan de Seguimiento Ambiental (PSA) y un PAT. Un PSA define todas las variables ambientales que serán monitoreadas, las cuales indicarán el estado de los sistemas ambiental presentes en la zona. El PAT corresponde a una herramienta de gestión ambiental, que activa medidas preventivas orientadas a impedir que se supere el impacto establecido autorizado en la Resolución de Calificación Ambiental (RCA). En él se define un(os) indicador(es) específico(s) (variable directa del estado del sistema) y se determina un valor umbral en base a estudios técnicos, que corresponden al valor mínimo o máximo al cual el sistema puede llegar para mantener el objetivo ambiental del PAT, es decir, el impacto

autorizado en el proceso de evaluación ambiental. Además de definir los umbrales, el PAT debe establecer acciones de contingencia que el estado del objeto de protección se mantendrá dentro de lo autorizado durante el proceso de evaluación ambiental.

Así, en acuíferos sometidos a una alta presión extractiva, existen dos instancias para condicionar la explotación de ellos, ambas asociadas a un PAT: en la resolución de otorgamiento de un derecho de agua y en la evaluación ambiental de un proyecto.

A pesar de la existencia de PATs ya aprobados y otros en vías de ser lo, al año 2012 la DGA no contaba con un instructivo, indicación o plataforma para sistematizar la información que entrega el titular de cada PAT y tampoco tiene definida oficialmente la estructura y contenido que debe tener un PAT cuando es presentado para su evaluación. Bajo este escenario, se ha establecido que existe la necesidad de procesar y sistematizar la información generada en estos planes con el objeto lograr un seguimiento más oportuno, mejorar el conocimiento de los acuíferos monitoreados y aprovechar la información que se sistematice/sintetice para la mejora de los criterios e hipótesis técnicas de trabajo internas, como por ejemplo los modelos de simulación, para la evaluación de disponibilidad del recurso. Por lo anterior es que la DGA ha elaborado una guía Metodológica que determina los contenidos mínimos que debe tener un PAT.

3.1 Objetivos Guía Metodológica del PAT

El objetivo de la Guía Metodológica es entregar los criterios básicos y contenidos mínimos para abordar las diferentes fases de un ciclo de un PAT, desde la presentación de los documentos hasta la resolución que lo aprueba.

La Guía corresponde a un documento que busca apoyar la gestión de la DGA en materias de PATs, entregando una propuesta de metodología para la elaboración, seguimiento y actualización de PATs. Lo anterior contempla tanto los PATs vigentes, como nuevos PATs que pudieran estar en trámites o futuros.

La Guía de Elaboración y Gestión de PATs, se compone de tres capítulos. El primero de ellos, corresponde al Capítulo 1 de Introducción en donde se presentan los objetivos de la Guía, los alcances, una explicación de la estructura adoptada como Guía y un glosario de manera de explicar de antemano los términos utilizados.

El Capítulo 2 presenta el desarrollo de la Guía para cada una de las actividades que componen las Fases o ciclo de un PAT, Fase I: Identificación y Elaboración de un PAT; Fase II: Seguimiento y Fiscalización de un PAT; Fase III: Actualización de un PAT. Las actividades que se tratan en la Guía y para las cuales se recomiendan los contenidos mínimos, criterios y metodologías para los cálculos y análisis respectivos. Durante el desarrollo de la Guía se puede observar el apoyo utilizado en cuadros, tablas y figuras, de manera de ser lo más explicativo posible.

Finalmente, se presenta un Capítulo 3, de Referencias utilizadas en la Guía, los cuales corresponden a los documentos más relevantes que se debieran tener en consideración para lograr una adecuada aplicación de la Guía.

3.2 Actividades que componen un PAT

El PAT está orientado a asegurar que los impactos del proyecto serán iguales o inferiores a los predichos en el proceso de evaluación de impacto. En este sentido, es una herramienta de resguardo ambiental ante la ocurrencia de anomalías durante la operación del proyecto en la cual se han identificado 3 Fases en el ciclo de un PAT, las que abarcan desde que se identifica como necesidad hasta su plena operatividad, siendo estas:

Fase I: Identificación y Elaboración del PAT

Fase II: Seguimiento y Fiscalización del PAT

Fase III: Actualización del PAT

3.2.1 Fase I: Identificación y Elaboración de un PAT

Esta etapa tiene por objetivo desarrollar el documento PAT, una vez que se haya evaluado la pertinencia de su utilización como mecanismo de protección. Es así como el producto de esta etapa, de ser pertinente, es el documento PAT.

Esta fase abarca la generación de información necesaria para determinar el comportamiento sin explotación del sistema, la realización de estudios técnicos tendientes a predecir la respuesta del sistema a la explotación (herramienta predictiva), definición de las variables de control, el establecimiento de niveles de acción y de umbrales junto con las acciones que se deberán tomar en caso que algún nivel de acción se vea infringido y el plan o programa de monitoreo.

En relación a la elaboración, tanto del PAT como de los estudios e información necesarios, cabe señalar que el petionario de los derechos de aprovechamiento de agua, juega un rol relevante en la generación de información, así como en la concreción del documento PAT. Razón por la cual se considera como hipótesis básica la colaboración entre el petionario y la DGA.

3.2.2 Fase II: Seguimiento y Fiscalización del PAT

Establecido el documento PAT, lo que corresponde en el ciclo de un PAT es que el titular implemente los programas de monitoreo, lo que conlleva (a) construcción de obras (pozos); (b) realización de monitoreos; (c) generación de informes o reportes; y/o (d) envío a la Dirección General de Aguas.

El objetivo de la Fase II es el de verificar por un lado el comportamiento del sistema y por otra la concreción de las obras y acciones comprometidas. Para ambos objetivos la información generada por el titular resulta relevante y es la base del análisis para verificar si el PAT desarrollado cumple con el objetivo de protección y de ser preventivo.

La revisión de los informes, así como la verificación en terreno, constituye la primera parte del proceso de fiscalización o seguimiento. La segunda parte lo constituyen las acciones que la

DGA pueda tomar en caso de algún incumplimiento, estando esta fase mayoritariamente en manos de la DGA.

3.2.3 Fase III: Actualización del PAT

Esta fase permite adecuar en forma permanente el texto del documento PAT, mediante la revisión periódica del comportamiento de las variables definidas como de seguimiento y de los objetos que se han determinados como de protección. Esta actualización involucra no tan solo las variables sino que también los niveles de acción, umbrales y acciones.

Por lo indicado anteriormente, esta fase tiene por objetivo mantener vigente la herramienta PAT, de tal forma de cumplir en todo momento los objetivos planteados en la generación del mismo. Por lo mismo, se debe entender que la actualización del PAT conlleva posibles cambios que pudieran significar mayores exigencias hacia el titular de los derechos de aprovechamiento, si es que la situación lo amerita.

4 CAMPAÑA DE TERRENO Y RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES

4.1 Antecedentes administrativos-Legales

El pozo de extracción sujeto a PAT, corresponde a un derecho de aprovechamiento de aguas subterráneas a nombre de la empresa Quiborax, de uso consuntivo, de ejercicio permanente y continuo, por un volumen anual de 756.864 m³, con un caudal máximo instantáneo de extracción de 24 l/s. el agua se extraerá por elevación mecánica desde un punto definido por la coordenadas UTM 7.965.274 Norte y 396.423 Este, estas coordenadas están referidas a la cartografía IGM, Datum WGS 1984, huso 19.

El predio donde se encuentra ubicado el pozo está inscrito a nombre de la empresa Quiborax en el sector Boca Negra, en mayor cabida a fojas 4935, N° 2468, del registro de Propiedad del Conservador de Bienes Raíces de Arica, correspondiente al año 2012.

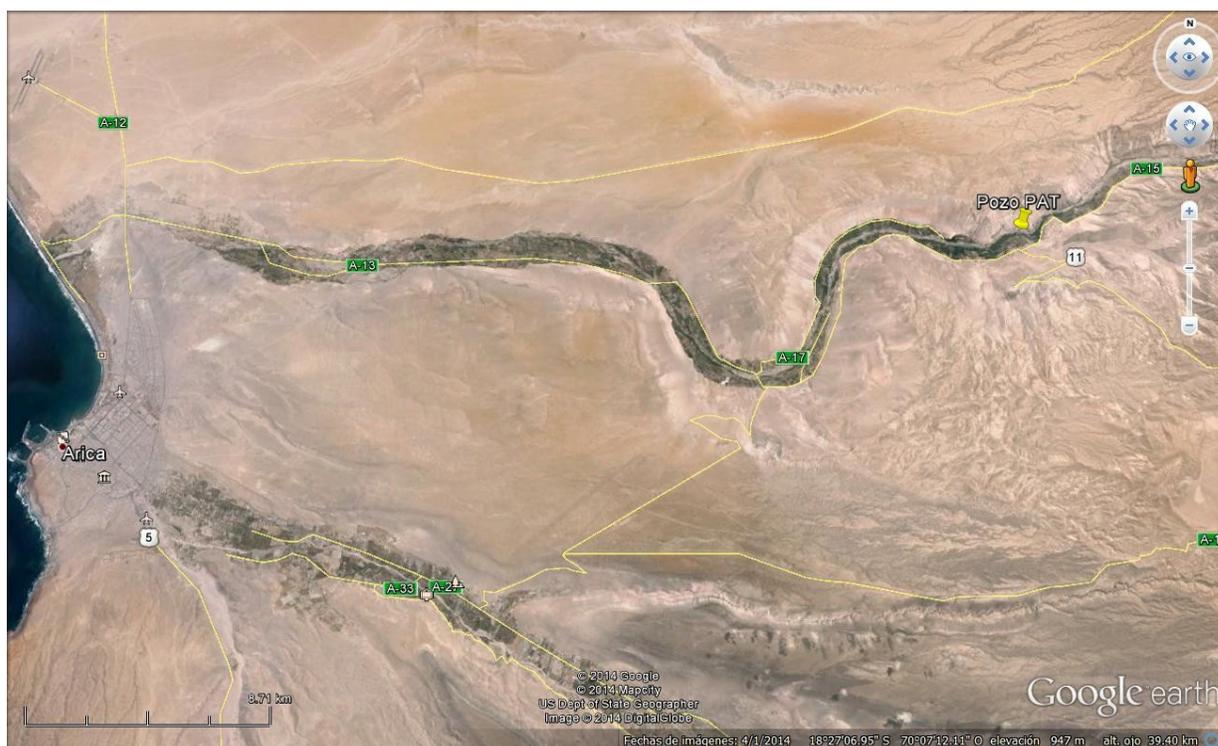


Figura 4.1-1 Ubicación Pozo

4.2 Derechos de Aprovechamiento

El listado de derechos de aprovechamiento sobre el acuífero parte baja río Lluta contiene toda la información disponible a esta fecha en la DGA, por lo cual no considera información de pozos existentes en la cuenca que no hayan iniciado algún trámite conducente a la obtención de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas, así como tampoco considera aquellos derechos antiguos, otorgados por el SAG, o inscritos en el Conservador de Bienes Raíces, que a la fecha no han solicitado su incorporación al Catastro Público de Aguas.

Tabla 4.2-1 Derechos de aprovechamiento constituidos

	Nº	Caudal l/s	Volumen Total Anual m ³ /s
Derechos Definidos	47	583,53	18.371.643,57

Tabla 4.2-2 Derechos de aprovechamiento Solicitados

	Nº	Caudal l/s	Volumen Total Anual m ³ /s
Derechos Solicitados	52	240,88	5.805.651,46

El detalle de los derechos constituidos y solicitados, se pueden observar en el anexo n°1

4.3 Clima y drenaje regional y local

El clima de la Región de Arica y Parinacota, ubicada en la parte norte del desierto de Atacama, se caracteriza por un clima subtropical desértico o árido a hiperárido, normal o marginal de altitud. La temperatura media varía entre 20-15°C y las precipitaciones son menores a 3 mm; sin embargo, localmente, existen importantes variaciones de temperatura entre el día y la noche. En la región costera y del fondo de valles, en la parte occidental de la Depresión Central, se observa abundante nubosidad y alta humedad relativa del aire, provenientes del Océano Pacífico. Más al este, en la Precordillera, las precipitaciones son más escasas y alcanzan excepcionalmente 60 mm al año (García et al., 2004).

En la Alta Cordillera, el clima es húmedo, de estepa de altitud. La temperatura media varía entre 9-0°C, y las precipitaciones de 400-100 mm/a. Se presentan precipitaciones nivales en invierno y abundantes pluviales en verano, producidas por el llamado Invierno Altiplánico, que proviene de la cuenca Amazónica austral y más al este del océano Atlántico (García et al., 2004).

En la región de Arica y Parinacota, se distinguen dos sistemas de drenaje principales, uno oriental y otro occidental. Estos están separados por las cimas del Cordón Belén y, hacia el norte y sur de éste, por edificios volcánicos. El sistema oriental es de tipo endorreico intracordillerano y el sistema occidental es exorreico. El sistema occidental drena el borde oeste de la Alta Cordillera y desagua al Océano Pacífico (García et al., 2004).

El sistema occidental comprende las cuencas de los ríos mayores Lluta, Azapa, Vitor y Camarones, y las quebradas menores Escritos y Gallinazos. La superficie de las cuatro cuencas mayores, antes mencionadas, es de aproximadamente 3.438 km², 3.231 km², 2.269 km², 2.344 km² respectivamente. El caudal medio de anual de los ríos Lluta y Azapa, en estaciones fluviométricas de la Depresión Central, es de 2,35 a 1,44 m³/s y de 1,28 m³/s (García et al., 2004).

Específicamente, en la cuenca del río Lluta, el clima característico es de tipo desértico en todas sus variantes a través de su cauce, es decir, desértico costero, desértico de interior o normal y desértico de altura. Característico de este clima es la escasez de precipitaciones, las cuales se limitan a las áreas superiores de la cuenca en el sector cordillerano (DGA, 2004).

La precipitación media anual en la cuenca del río Lluta, aumenta gradualmente desde 0,4 mm en el sector bajo (localidad de Poconchile), a 237,7 mm en el sector alto de la cuenca (ciudad de Putre). Estos montos de precipitación se concentran, mayormente, en el período estival producto del llamado invierno Altiplánico o “Boliviano” (DGA, 2004). Los antecedentes disponibles actualmente, corresponden únicamente a los montos de precipitación media mensual registrada por la estación Pluviométrica de Putre.

Las temperaturas medias de la cuenca del río Lluta dependen de la zona en la que ésta es medida. Así la temperatura media anual registrada en el sector bajo de la cuenca, es de 19,1°C; mientras que en el sector alto es de 8,4°C. La variabilidad de temperatura que presenta la cuenca en ambos sectores, es de 10,7°C (DGA, 2004).

La escorrentía superficial media anual registrada en la cuenca, alcanza valores no superiores a 1 mm/año en el sector bajo del valle del río Lluta hasta el sector de la Quebrada Socoroma. Desde Socoroma, hacia los sectores altos de la cuenca, los valores de escorrentía aumentan hasta llegar a los 50 mm/año (Quebradas Caracarani, Colpitas y Río Azufre; DGA, 2004).

Desde el punto de vista de disponibilidad de los recursos hídricos, las pérdidas de agua por evaporación son altas en comparación a otras cuencas. Estas pérdidas se registran en el sector Bajo del Valle del Río Lluta, en la cuenca y en la Laguna Blanca. Los valores promedio de evaporación registrados anualmente en la cuenca, alcanzan los 2.081 mm

4.4 Humedal desembocadura río Lluta

La desembocadura del río Lluta se encuentra en la Región de Arica y Parinacota (XV), Provincia y Comuna de Arica. Geográficamente se ubica a los pies del valle de Lluta, en el borde costero, en el sector denominado playa Las Machas, a 10 km al norte del centro de la ciudad de Arica, y abarca una superficie de aproximadamente 270 has, de las cuales aproximadamente el 75% es propiedad particular y el 25% de propiedad fiscal. Tanto la quebrada del río Lluta como su desembocadura, son clasificadas en el Libro Rojo de los Sitios Prioritarios para la Conservación de la Diversidad Biológica en Chile, como sitio de prioridad III de Interés (CONAF, 1996).

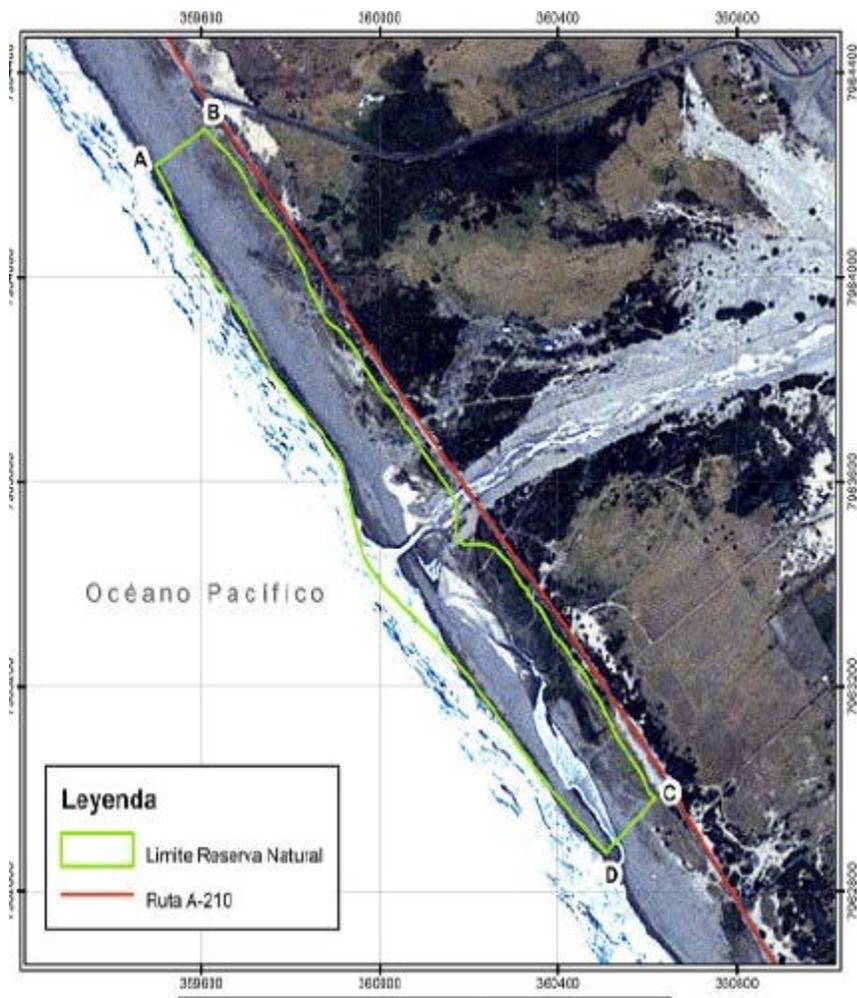


Figura 4.4-1 Mapa Ubicación Humedal Protegido

En el año 2003, CONAMA (actualmente Ministerio de Medio Ambiente), incluye a este humedal en la lista de los 68 sitios prioritarios para la Conservación de la Biodiversidad en Chile. El sitio se conforma por una serie de lagunas permanentes formadas por el río en la playa antes de llegar al mar. Estas se caracterizan por presentar una vegetación típica de humedales, y es posible dividir las en 3 sectores: el primero, denominado sector Norte, corresponde a la desembocadura del río Lluta, presenta algunos depósitos de material como piedras y ripios; el siguiente es el sector Centro donde se encuentra una laguna de transición; y el último sector Sur, donde se encuentra una laguna con juncos y totoras.

Esta área protegida destaca por su alto valor desde el punto de vista de su Patrimonio Natural y por su alta vulnerabilidad a la perturbación humana. Desde el punto de vista natural, esta desembocadura destaca por su belleza escénica y riqueza biológica, siendo además uno de los

escasos humedales vegetados del desierto costero de Chile en una de las regiones más áridas del mundo. La vegetación del humedal posee una gran importancia pues es una de las pocas áreas con vegetación nativa en la zona, con una formación vegetal de Matorral ripario de Quebradas y Oasis que no está representada en el actual Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE). Con respecto a la avifauna, uno de los mayores atractivos de la Reserva, posee 130 especies, lo que representa un 30% del total de especies de aves descritas para Chile. El grupo avifaunístico más importante de la Reserva son las aves migratorias (regulares y accidentales), habiéndose registrado el 40% de las especies de esta categoría conocidas para Chile. Las aves que se reproducen en la Reserva alcanzan a 23 especies y representan el 18% del total de aves conocidas para el humedal. Estas utilizan casi la totalidad de los hábitats de este ecosistema como lugar de nidificación: orilla de playa (franja intermareal y supramareal), lagunas, totorales, boca del río, pastizales y matorrales.

4.5 Campaña de Terreno.

La campaña de Terreno, realizada el 26 y 27 de Noviembre del año 2014, en esta se ha recorrido el sector de emplazamiento de nuevo pozo de extracción, ubicado en un predio de propiedad de Quiborax, además del sector del Humedal y del río Lluta desde su desembocadura hacia aguas arriba hasta la ubicación del nuevo pozo de extracción.

4.5.1 Sector de emplazamiento nuevo pozo de extracción.

El sector de emplazamiento del nuevo pozo de extracción se encuentra ubicado a un costado del río Lluta, más precisamente en la junta de este con la Quebrada Seca, la cual tiene dirección nor-poniente. Este sector es denominado Boca Negra y se encuentra en el km 40 de la carretera internacional Arica-La Paz.



Figura 4.5.1-1 Sector específico de ubicación del pozo de extracción

Esta zona de emplazamiento del nuevo pozo de extracción se ubican otros dos pozos debidamente habilitados de propiedad de Quiborax, con derechos por 2 y 13 l/s, las características de estos pozos se pueden observar en la siguiente tabla.

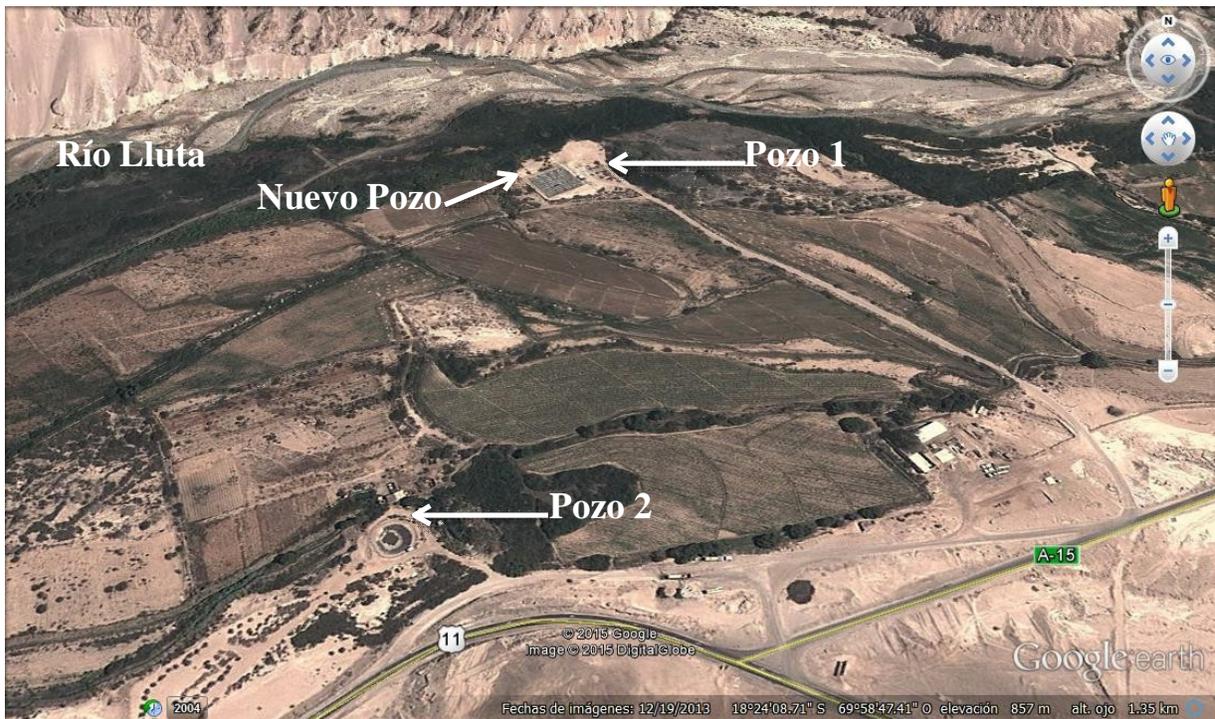


Figura 4.5.1-2 Ubicación Local de Los Pozos

Tabla 4.5.1-1 Características Pozos

	Derechos (l/s)	Ubicación UTM Datum WGS 84			Profundidad m	Diámetro "
		Norte	Este	Cota		
Pozo 1	2	7.965.313,92	396.500,46	839,03	50	8
Pozo 2	13	7.964.887,28	396.392,14	841,08	72	8

Tal como se puede apreciar en las siguientes fotografías, los pozos se encuentran debidamente habilitados con las condiciones de control de extracción de caudal exigidas por la DGA. No obstante, estos pozos no tienen un control en línea de la extracción ni del nivel del acuífero, realizándose esta medida mediante pozómetros manuales cada vez que la autoridad lo solicita.



Figura 4.5.1-3 Sistema de habilitación Pozo 1



Figura 4.5.1-4 Tablero de Control Bomba Pozo 1

El nuevo pozo de extracción se encuentra perforado y habilitado con el encamisado respectivo, su profundidad es de 70 m y en un diámetro de 10”.



Figura 4.5.1-5 Nuevo Pozo

Todos los pozos antes mencionados, cuentan con sus pruebas de bombeo de gasto variable y constante, el resumen de estas se pueden observa en las siguientes tablas, y el detalle de estas pruebas en el anexo 3 del presente documento.

Tabla 4.5.1-2 Prueba de Gasto Variable de los Pozos Quiborax

Pozo 1		Pozo 2		Nuevo Pozo	
Nivel Estático	3.19 m	Nivel Estático	2.00 m	Nivel Estático	7.15 m
Q = 3 l/s	22.33 m	Q = 5 l/s	9.4 m	Q = 8 l/s	11.16 m
Q = 4 l/s	31.11 m	Q = 10 l/s	16.75 m	Q = 14 l/s	16.38 m
Q = 6 l/s	41.27 m	Q = 15 l/s	46.00 m	Q = 21 l/s	26.85 m
				Q = 27 l/s	51.5 m

Tabla 4.5.1-3 Prueba de Gasto Constante de los Pozos Quiborax

Pozo 1		Pozo 2		Nuevo Pozo	
Nivel Estático	3.19 m	Nivel Estático	2.00 m	Nivel Estático	7.15 m
Q = 6 l/s	41.35 m	Q = 6 l/s	20.40 m	Q = 24 l/s	30.21 m

4.5.2 Flora dominante en la zona emplazamiento nuevo pozo de extracción.

En cuanto a la vegetación dominante en la zona de emplazamiento de los pozos, esta tiene un origen nativo, siendo cada vez menos su extensión debido a la utilización de los terrenos del valle del río Lluta en trabajos Agrícolas de siembra y crianza de animales. Dentro de las especies nativas que se pudieron observar mayormente la Comunidad de *Stipa leptostachya* y *Bromus catharticus*, la comunidad de *Equisetum giganteum* – *Cortaderia speciosa* y la Comunidad de *Tessaria absinthioides* y *Atriplex imbricata*. Se debe destacar que de la flora existente en el área de influencia, el Algarrobo Blanco y el Tamarugo son las únicas clasificadas en alguna categoría de conservación según el Libro Rojo de la Flora Terrestre de Chile (Benoit, 1989) a nivel nacional, correspondiendo a “Vulnerable”.

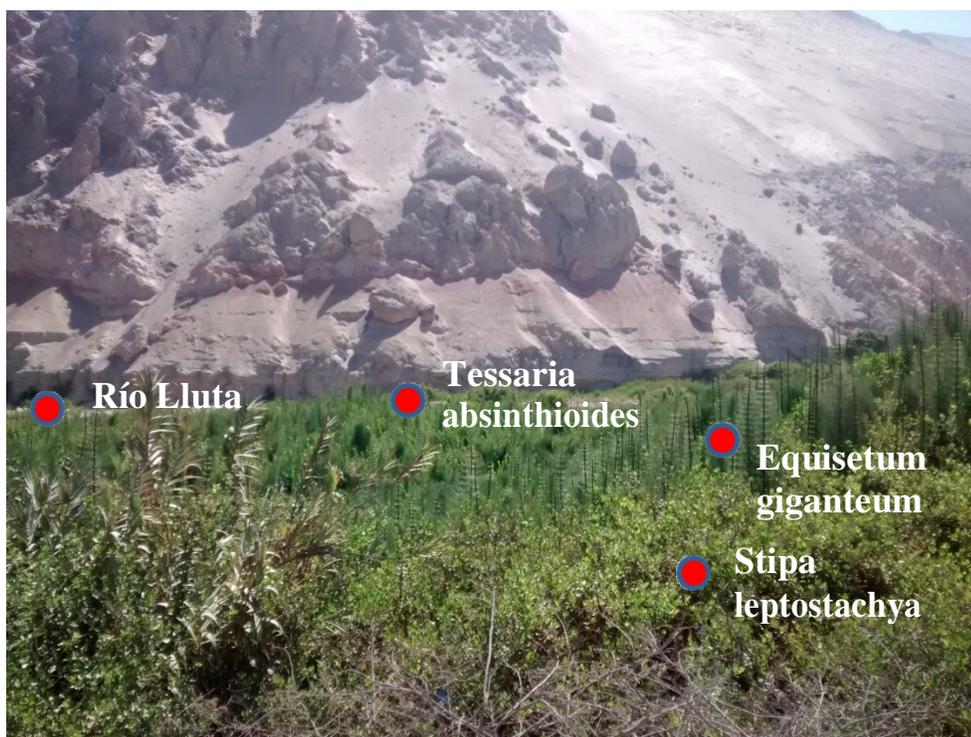


Figura 4.5.2-1 Flora vista hacia el norte en la zona de los pozos

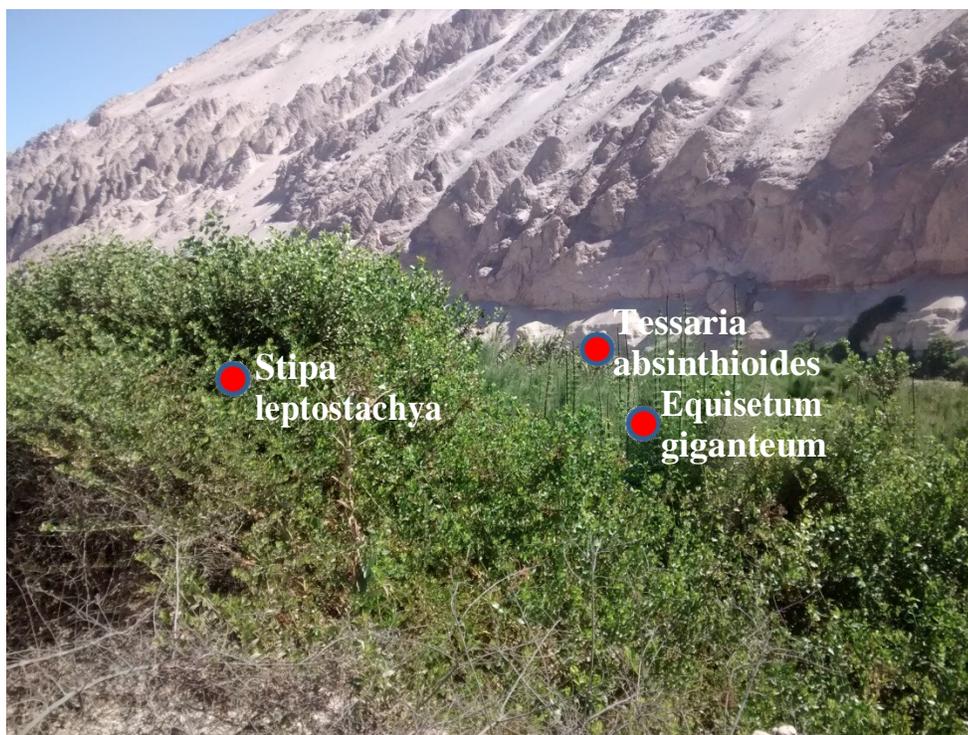


Figura 4.5.2-2 Flora vista hacia el poniente en la zona de los pozos
Específicamente, en la zona podemos encontrar el siguiente listado de flora:

Tabla 4.5.2-1 Flora presente en la zona de estudio

División	Clase	Familia	Nombre Científico	Nombre Común	Origen	Tipo Biológico	
Magnoliophyta	Liliopsida	Poaceae	<i>Bromus catharticus</i>	Cebadilla criolla	Nativo	Herbáceo	
			<i>Cortaderia speciosa</i>	Cola de Zorro	Nativo	Herbáceo	
			<i>Cortaderia</i>	Cola de zorro	Nativo	Herbáceo	
			<i>Stipa leptostachya</i>	Viscachera	Nativo	Herbáceo	
		Cyperaceae	<i>Scirpus californicus</i>	Totora	Nativo	Herbáceo	
		Fabaceae	<i>Prosopis tamarugo</i>	Tamarugo	Nativo	Arbóreo	
	<i>Prosopis alba</i>		Algarrobo blanco	Nativo	Arbóreo		
	Magnoliopsida	Anacardiaceae	<i>Schinus molle</i>	Pimiento	Nativo	Arbóreo	
		Asteraceae	<i>Baccharis alnifolia</i>	-	Nativo	Arbustiv	
			<i>Tessaria absinthioides</i>	Brea	Nativo	Arbustiv	
		Boraginaceae	<i>Tiquilia tacnensis</i>	-	Nativo	Herbáceo	
		Cactaceae	<i>Eulychnia breviflora</i>	Copao	Nativo	Suculenta	
			<i>Cumulopuntia</i>	Perrito	Nativo	Suculenta	
			<i>Browningia candelaris</i>	Candelabro	Nativo	Suculenta	
		Chenopodiaceae	<i>Atriplex imbricata</i>	Cachiyuyo	Nativo	Arbustiv	
			<i>Atriplex sp.</i>	-		Arbustiv	
			Malvacea	<i>Tarasa operculata</i>	-	Nativo	Herbáceo
			Portulacaceae	<i>Cistanthe maritima</i>	-	Nativo	Suculenta
				<i>Cistanthe celosioides</i>	Ojalar	Nativo	Suculenta
			Solanaceae	<i>Lycopersicon chilense</i>	Tomatillo	Nativo	Herbáceo
Verbenaceae			<i>Verbena gynobasis</i>	-	Nativo	Herbáceo	
Pteridophyta	Sphenopsida		Equisetaceae	<i>Equisetum giganteum</i>	Limpiaplata	Nativo	Herbáceo
		<i>Equisetum bogotense</i>		-	Nativo	Herbáceo	

Fuente : Estudio de Impacto Ambiental Embalse Chironta, DOH 2012

4.5.3 Sector pozo de control DGA.

Además de los pozos propios de la empresa Quiborax, se visitó el pozo de monitoreo de la DGA JA 178.510 ubicado en el centro del acuífero parte baja del Río Lluta, este pozo tiene la singularidad de encontrarse aproximadamente 20 Km aguas abajo de la nueva extracción, y aguas arriba del Humedal Desembocadura Río Lluta, siendo fundamental para la determinación de la influencia de la nueva extracción sobre el Humedal.

La extensión de los datos históricos de control del Pozo DGA se puede apreciar en la siguiente tabla y en detalle en el anexo 4, teniendo datos desde el año 2000 a la fecha, se debe destacar que la medición se realiza mediante pozómetro una vez al mes.

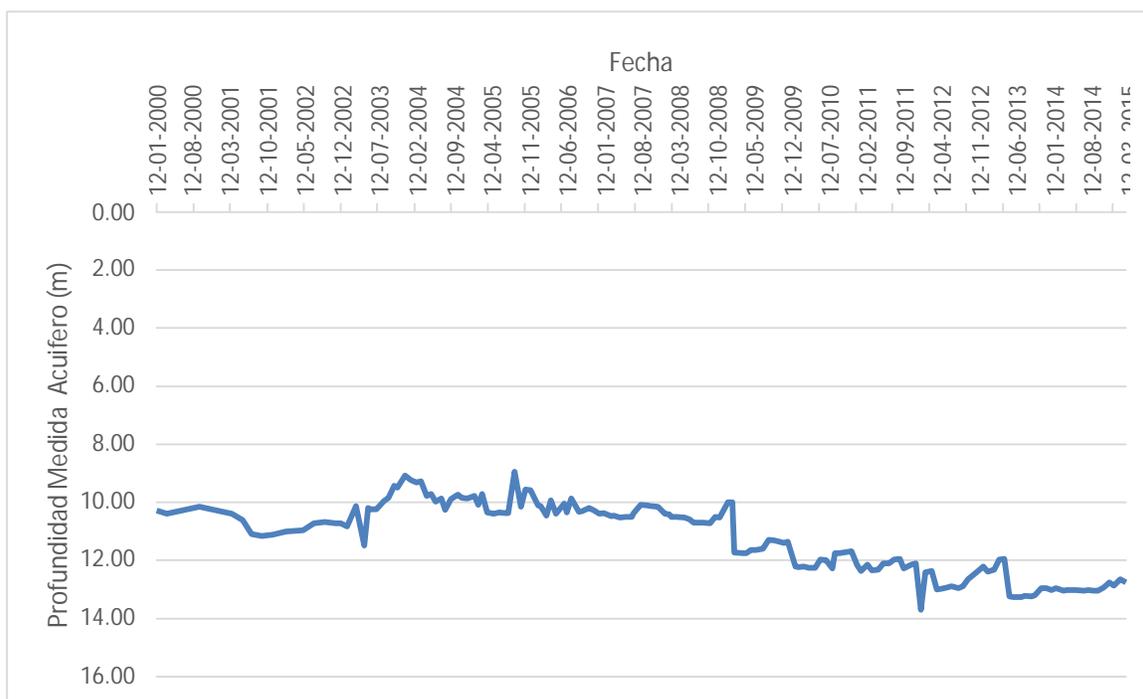


Figura 4.5.3-1 Registro histórico de medición pozo DGA

El promedio de las mediciones corresponde a 11.23 m, siendo el nivel máximo 8.95 m y mínimo 13.70 m.



Figura 4.5.3-2 Cartel pozo de control DGA



Figura 4.5.3-3 Pozo de control DGA

5 ELABORACIÓN DE UN MODELO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS SIMPLIFICADA

El modelo simplificado de aguas subterráneas que se propone, debe definir, en primera instancia, el radio de influencia de la nueva extracción, y en caso de ser necesario el nivel de afectación sobre el Humedal desembocadura Río Lluta, objeto de protección de la autoridad. Para el desarrollo de este modelo se requieren, entre otros el coeficiente de almacenamiento, el cual es cuantificado en base a mediciones existentes y a la experiencia previa según características hidrogeológicas.

Las condiciones de borde que requiere el modelo para su operación, corresponden a niveles piezométricos conocidos y con registro históricos en uno o varios pozos de monitoreo en las cercanías de la nueva extracción.

La operación del modelo consiste en simular una explotación con el objetivo de cuantificar el efecto que tendría el bombeo del nuevo pozo de extracción de Quiborax. La simulación se realiza, en primera instancia en régimen permanente utilizando los parámetros determinados en el proceso de calibración.

El objetivo de la simulación será evaluar el efecto que tendría la explotación del pozo sobre la situación actual del acuífero, en relación a descenso de niveles freáticos, cambios en la dirección de flujo y condición de recarga y descarga del acuífero. Para la evaluación se ha supuesto un escenario de explotación, considerando que el pozo de bombeo se explota de tal manera que el caudal total de explotación asciende a 24 L/s. A continuación se definen características a nivel global del acuífero en estudio, estos a base de la revisión bibliográfica.

5.1 Descripción del sistema Acuífero

El área de estudio se encuentra comprendida dentro de la hoya del Río Lluta, en la zona norte del país. En esta zona, según análisis del Mapa Hidrogeológico de Chile (DGA, 1986) las aguas superficiales coinciden con los flujos que presentan las aguas subterráneas. En este capítulo, se presentan los resultados del estudio del componente hidrogeológico, definiendo preliminarmente el área de influencia del proyecto, tanto para impactos potenciales directos

(AID) como indirectos (AI). Luego se describe la metodología utilizada para la elaboración del acápite, de acuerdo a las fuentes bibliográficas consultadas y antecedentes recopilados. Posteriormente, se presenta un acápite con los resultados obtenidos y análisis en relación al Proyecto, para finalmente presentar una síntesis con las conclusiones.

5.1.1 Recarga

La recarga al acuífero de la Cuenca del Lluta se produce por la infiltración de una parte de las aguas lluvia que caen sobre el área de la cuenca hidrográfica en su mitad más oriental. La fracción de agua lluvia que se infiltra corresponde al agua que no se evapora hacia la atmósfera directamente desde el suelo, ni es absorbida por las plantas y enviada a la atmósfera por evapotranspiración, ni escurre superficialmente.

En las áreas montañosas de la cuenca hidrológica del Lluta se emplazan las unidades de roca hidrogeológicamente correspondientes a las unidades semipermeables. El agua que precipita sobre estas áreas se infiltra en una menor proporción que en el área de las quebradas. El resto del agua escurre aguas abajo, donde una parte se infiltra en las unidades permeables, escurriendo luego hacia el(los) acuífero(s). Una parte menor de la precipitación cae (en las áreas de mayor cota) en forma de nieve. Esta se derrite en los meses de primavera, descendiendo por las quebradas en un proceso similar al descrito más arriba. Otra parte menor de la recarga que afecta a los acuíferos proviene del riego.

La capacidad de recarga de agua subterránea en el curso inferior del Río Lluta, ha sido calculada en base a la recarga de agua subterránea en el Valle de Azapa. Se ha tenido en cuenta que la porosidad efectiva de los acuíferos del Bajo Lluta es de aproximadamente un 70% respecto a los acuíferos del Azapa. El potencial de recarga de agua subterránea ha sido evaluado en 542 l/seg., cifra solo aproximada.

5.1.2 Área de influencia

El área de influencia corresponde al entorno del proyecto, desde perspectivas ambientales, sociales o económicas, que podría sufrir alguna secuela producto de su implementación u operación. En función de las características de localización, escala de análisis y particularidades del componente ambiental a investigar, cada actividad u obra del proyecto pueden influir en la determinación de esta área de influencia.

El área de influencia indirecta, por su parte, se ha definido como el curso principal del Río Lluta, desde la ubicación de la nueva extracción hasta su desembocadura el mar, en el sector del Humedal en la desembocadura del Río Lluta cerca de Arica.

5.1.3 Calidad de Agua Subterránea

De los análisis físico-químicos de las aguas subterráneas del sector, se concluye que las aguas que fluyen subterráneamente por el Valle del Lluta son del tipo Cálctica Clorada en la mayoría de los casos.

El resultado de los análisis de calidad del agua son los siguientes:

- Para un rango de temperatura de 21,8°C a 25,2°C, los TSD se encuentran entre 2.948 y 4.930, todos los valores de TSD exceden los límites para agua potable acorde a la Norma OMS.
- El NO_3 se encuentra en un rango entre 5,66 mg/l y 18,73 mg/l, en todos los pozos excede el límite permisible de la Organización Mundial de la Salud (OMS). La contaminación por NO_3 está causada posiblemente por el uso de productos químicos por parte de los agricultores.
- Los contenidos en As están generalmente por debajo de los límites permisibles.
- Los contenidos en B se presentan entre 13,92 ppm a 29,00 ppm, sobrepasando en todos los casos los límites permisibles.
- De entre los principales iones, Na, Cl y 504, muestran valores muy por encima de los límites.

5.1.4 Constantes elásticas y otros parámetros del acuífero

Las constantes que permiten evaluar un acuífero son la conductividad hidráulica (K), transmisividad (T, igual a la conductividad por el espesor, D), y el coeficiente de almacenamiento. La resistividad eléctrica ayuda a conocer la geometría del acuífero.

Ha de advertirse que la casi totalidad de los pozos situados en la sección terminal del Lluta, en los que se realizaron pruebas de bombeo para determinar las constantes elásticas, están habilitados en el sector del acuífero profundo. En cuanto a granulometría y extensión, este es el más atractivo para ser explotado. El comportamiento del acuífero es confinado, lo que implica, por un lado, que el coeficiente de almacenamiento es muy pequeño, y por otro lado, que la explotación de los pozos no está comprometiendo directamente los recursos del río.

5.1.4.1 Transmisividad (T) y Conductividad hidráulica (K)

Los acuíferos del área del Lluta presentan valores de transmisividad en un amplio rango; fluctúan entre 25 y 550 m²/día. Desde la desembocadura del río hasta su cruce con la Panamericana, varía, de 200 a 500 m²/día, con un promedio de 305 m²/día; entre aproximadamente el Km 3,5 al Km 10 (contados a partir del cruce con la Ruta 5), el promedio es de 274 m²/día.

En la Franja Costera no existe ningún pozo con antecedentes respecto a su transmisividad; el más cercano hacia el norte es el pozo CORFO C631, respecto al cual se indica una transmisividad de 500 m²/día (Ayala et al., 1996). Este pozo se halla en la desembocadura del río Lluta. Para el pozo Rock Drilling N° 2 se ha calculado una transmisividad de 226 m²/día, a pesar de su escasa profundidad (30m), y haberse logrado un caudal de bombeo constante de 4,5 l/s. Al sur del límite de los depósitos fluviales del Lluta, es decir en la Franja Costera, creemos que la transmisividad se halla en el rango de 100 a 200 m²/día. Este orden de magnitud permitiría construir pozos de 10 a 20 l/s con una depresión teórica de 10 m.

Los únicos datos disponibles de conductividad hidráulica provienen del estudio JICA; allí se postula un valor promedio de $3,4 \times 10^{-3}$ cm/s para el sector del Lluta. Este valor es algo más bajo que el que podría esperarse en una litología de estas características.

5.1.4.2 Coeficiente de almacenamiento (S)

Solamente se cuenta con datos obtenidos en el estudio realizado por la JICA. Utilizando los métodos de Theis y Jacob, se estimó un valor promedio de 3×10^{-4} .

5.1.4.3 Resistividad (R)

En el estudio de los sedimentos fluviales del Valle del Lluta mediante un levantamiento electromagnético con el método TEM (transiente electromagnético), se obtuvieron los siguientes resultados:

tabla 5.1.4.3-1 Resistividad Acuífero

PROFUNDIDAD (m)	RESISTIVIDAD (Ω -m)	LITOLOGIA	INTERPRETACION
0-30	90 .180	grava y arena	Formación Superficial
30-165	13-27	grava, arena y arcilla	probable acuífero
>165	<13	arcilla e ignimbrita	Capa impermeable o acuífero salina

5.1.5 Movimiento de las aguas subterráneas

El movimiento del agua subterránea ocurre tanto en el Valle del Lluta como en el Valle del Azapa, de Este a Oeste. En la franja costera el movimiento del agua subterránea es probablemente afectado por la presencia de ambos valles. En consecuencia, interpretamos que en ambos extremos existe una leve gradiente hacia el área central de la Franja. Hacia el centro de la Franja, la gradiente es probablemente paralela a la cota topográfica, es decir de Este a Oeste.

5.2 Características específicas del Acuífero en la zona de los pozos.

Para la determinación de las características específicas del acuífero en la zona de emplazamiento de los pozos de extracción de la empresa Quiborax, se utilizarán las pruebas de bombeo expuestas en el punto 4.5.1 del presente documento y en extenso en el Anexo 3.

Siendo los resultados los que se exponen a continuación:

$$T = 100 \text{ m}^2/\text{día}$$

$$S = 3 \cdot 10^{-5}$$

De acuerdo a la estratigrafía mostrada en el anexo 3, en este sector se tiene un acuífero confinado con un estrato impermeable de 12 m, desde los 12 m hasta los 70 m de profundidad del pozo se tiene un estrato conformado por bolones, arena, gravilla y ripio, totalmente saturado, estrato en el cual se identifica un acuífero confinado.

5.3 Herramienta de Modelación

Como objetivo del presente PAT, se requiere modelar el sistema de extracción de manera de identificar su influencia sobre los elementos que la autoridad requiere proteger. Por lo anterior es que como primera aproximación se calculará el radio de influencia del pozo de extracción en régimen permanente con las características hidrogeológicas obtenidas a partir de la prueba de bombeo de este nuevo pozo, para este cálculo se utilizará la ecuación de Thiem para la determinación de los niveles en torno un pozo de bombeo en un acuífero confinado.

$$h(r) = \frac{Q}{2\pi K b} \cdot \ln\left(\frac{r}{r_0}\right) + h_0$$

donde

$h(r)$ = nivel piezométrico a un radio r del pozo

Q = Caudal de extracción del pozo ($\text{m}^3/\text{día}$)

π = Permeabilidad ($\text{m}/\text{día}$)

π = Altura del acuífero confinado (m)

r_0 = Radio con la condición inicial de altura (m)

h_0 = Condición inicial de altura

En el caso de este pozo se tiene,

$$Q = 24 \text{ l/s} = 2074 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$b = 58 \text{ m}$$

$$K = T/b = 100 \text{ m}^3/\text{día/m} / 58 \text{ m} = 1.72 \text{ m/día}$$

$$r_0 = 0,13(\text{m})$$

$$h_0 = - 30,21 \text{ m}$$

Para determinar el radio de influencia, se requiere que la cota piezométrica llegue al estado inicial (estático), por lo que se busca el r , tal que $h(r)$ sea igual a $-7,15 \text{ m}$, despejando este valor de la ecuación de Theim, se tiene un radio de influencia de 135 m .

El bajo radio de influencia se debe a la gran permeabilidad del estrato perteneciente al acuífero, es por ello, que se hace prescindible realizar un modelo que contenga todo el acuífero parte baja del río Lluta, debido a su complejidad y el bajo aporte que tendría integrar un modelo a tan gran escala a la extracción de un pozo tan pequeño.

6 CONFECCIÓN DE PLAN DE ALERTA TEMPRANA PARA EL POZO EN ESTUDIO

6.1 Pertinencia del PAT

Sólo algunos derechos de aprovechamiento deberían estar sujetos al cumplimiento de un PAT y los criterios a tomar en consideración para definir si corresponde el desarrollo de un PAT son:

1. Si la solicitud de los derechos recae en acuíferos que alimentan áreas de vegas y bofedales declaradas como protegidas mediante Resolución de la DGA, o cercanas a ellas.
2. Si la solicitud de los derechos recae en acuíferos que alimentan cuerpos de aguas sensibles (humedales, lagunas, ojos de agua) o cercanos a ellos.
3. Si la solicitud de los derechos de aprovechamiento recaen en acuíferos en los cuales existen usos ancestrales que pudieran verse afectados por la extracción.
4. Si la solicitud de los derechos de aprovechamiento recae cercano a acuíferos (o sectores acuíferos) declarados como área de restricción.
5. Si la solicitud de derechos de aprovechamiento recae en o cercano a un acuífero altamente explotado, donde existe incerteza del funcionamiento del mismo y se busca prevenir un impacto.

En el caso correspondiente al pozo de estudio, este cumple con las condiciones 2 y 4 enumeradas anteriormente, ya que el acuífero Parte baja Río Lluta es un acuífero declarado con restricción para el otorgamiento de nuevos derechos y en el sector costero existe el Humedal Protegido Desembocadura Río Lluta.

6.2 Variables de estado

Durante el ejercicio de los derechos de aprovechamiento que se constituyan en el acuífero parte baja río Lluta, 24 l/s. se deberá respetar las siguientes condiciones

- a) No afección al humedal desembocadura río Lluta

b) Que para un escenario de explotación de 24 l/s no se afecte negativamente el acuífero ni los derechos ya constituidos.

La evaluación de las variables del PAT requiere información hidrogeológica e información del humedal desembocadura río Lluta:

a. Información Hidrogeológica. La información hidrogeológica

Medición de la profundidad de la napa en los tres pozos PAT presentados en la Tabla 6.4.1-1 : Se medirá con frecuencia mensual pozos de Quiborax y el pozo DGA.

Catastro de extracciones (bombeo real): Corresponde a una estimación de los caudales de bombeo realizado por terceros. Todos los años se realizará una estimación por parte del titular del caudal de bombeo efectuado por terceros, el que será debidamente incluido en uno de los informes de monitoreo semestral del PAT.

Medición de caudal de bombeo del pozo proyecto: Será mensualmente medido como parte del PAT.

Modelo numérico hidrogeológico actualizado y validado cada 2 años a través de una auditoría externa: La actualización del modelo consiste en la incorporación de la nueva información obtenida mediante el Plan de Alerta Temprana

b. Información humedal

- Evaluación y catastro de las especies a monitorear
- Estado de las especies a monitorear

6.3 Programa de Monitoreo en fase de prebombeo y fase bombeo

Las variables o parámetros a monitorear son:

- Control de niveles de las aguas subterráneas
- Control de extracciones
- Monitoreo de Humedal desembocadura río Lluta

El monitoreo del comportamiento del acuífero y áreas sensibles está dividido en 2 fases:

- 1) Fase prebombeo
- 2) Monitoreo en los años de producción.

Fase prebombeo: Durante ella se recolectarán suficientes datos para caracterizar las condiciones hidrológicas de la línea base, las que servirán de referencia para el control del manejo de los potenciales impactos sobre el acuífero en sí, el Humedal desembocadura Río Lluta y el río Lluta.

Fase de bombeo: el monitoreo en los siguientes años proveerá en forma continua antecedentes acerca de los cambios en las condiciones hidrológicas, y antecedentes de los cambios en áreas como el humedal en la desembocadura del río Lluta, a lo largo de este y el acuífero en sí. Los análisis de los datos obtenidos desde este monitoreo de largo plazo, permitirán mejorar la estimación de los parámetros hidráulicos del acuífero, mejorar las estimaciones de descenso y la sustentabilidad del campo de pozos en el largo plazo.

6.4 Plan/Programa de Monitoreo

6.4.1 Control de niveles en los pozos de producción y observación

El control de niveles continuará a lo largo de toda la operación del campo de pozos, a intervalo de un mes, sin embargo en los tres primeros meses de producción los niveles se medirán semanalmente.

Los pozos a monitorear serán al menos los siguientes:

Tabla 6.4.1-1 Pozos de Monitoreo Propuestos

ID	ESTE	NORTE	Frecuencia Medición	Estado
1	370231	7963889	Mensual	Pozo DGA
2	396573	7965235	Mensual	Pozo Quiborax
3	396666	7965724	Mensual	Pozo Quiborax

6.4.2 Registro del control de niveles

Deberá mantenerse un libro de campo para el control de niveles de cada pozo. Los niveles serán registrados con una exactitud lo más cercana a 1 centímetro. Para minimizar los errores se tomarán medidas duplicadas en cada pozo y éstas deberán concordar dentro del rango de un centímetro.

El libro de campo deberá contener los niveles del agua subterránea medidos en los meses previos, a fin de compararlos con las mediciones en curso. Si se presentaran grandes diferencias entre las mediciones y las actuales, se tomará una tercera medición. Se anotará en este libro además las condiciones de campo, tales como las condiciones meteorológicas locales.

6.4.3 Frecuencia de control de niveles

El control de niveles deberá llevarse mensualmente en todos los pozos tanto en la fase pre bombeo como durante la fase de operación. Durante los tres meses iniciales de producción el control de niveles en sitio de los pozos se hará semanalmente.

6.4.4 Registro del humedal

Mediciones bianuales de vitalidad especies del humedal mediante el análisis de imágenes de alta resolución tomadas a través de vuelos Aerofotogramétricos, complementada con trabajo de terreno. Estas mediciones permitirán clasificar la vegetación según el estado vital de sus individuos (estado bueno y regular/malo).

Tabla 6.4.4-1 Decisiones respecto del estado de la flora del humedal

VIGOR	% VERDE					
	1 (0%)	2 (<5%)	3 (5-25%)	4 (25-50%)	5 (50-75%)	6 (75-100%)
1 Muerto	Mal Estado					
2 Muy Débil	-	Mal Estado	Mal Estado			
3 Débil	-	Mal Estado	Regular Estado	Regular Estado		
4 Normal	-	-	-	Regular Estado	Buen Estado	Buen Estado
5 Vigoroso	-	-	-	-	Buen Estado	Buen Estado

6.5 Condiciones y umbrales

El PAT considera una medida básica que es dar aviso que se activó el PAT a la Seremi del Medio Ambiente, a la DGA y a CONAF. Se dará aviso en un plazo máximo de 3 meses, luego de que se obtengan los datos de los niveles de los pozos PAT ó 3 meses, luego de que se haya tomado la imagen satelital correspondiente, dependiendo del o los umbrales que hayan sido sobrepasados. Las acciones relacionadas con cada una de las fases del PAT se exponen a continuación.

6.6 Variables de activación

6.6.1 Variables

Se definen dos variables de medición PAT:

- $DO_{i,t}$: Descenso Observado en el pozo i , en el tiempo t . Se calcula como la diferencia entre el nivel o profundidad, en un pozo del PAT, medido justo antes del inicio de la operación del proyecto y el nivel o profundidad en el período de evaluación t .
- HUM_t : Especies observados en regular o mal estado en el humedal desembocadura río Lluta en el tiempo t .

Se definen dos umbrales PAT:

- $D_{U_i,t}$: Descenso Umbral (simulado) en el pozo i , en el tiempo, t de acuerdo a la Tabla 6.4.1-1 del presente documento. Para considerar que se ha sobrepasado el umbral se requiere que el pozo DGA baje de su mínimo histórico (13,7 m) o ambos pozos Quiborax descendan más de tres metros desde su nivel histórico.
- UVHt: Umbral vitalidad humedal. Corresponde al N° de especies en estado vital regular y malo. Su valor se obtiene de la estimación del efecto en estas especies según modelo Vitalidad – Profundidad evaluado cada dos años a distintas profundidades de la napa hasta el año 30 ($t=2$; $t=4$; $t=6$ $t=30$). El PAT utiliza valores umbrales tabulados según Tabla 6.4.4-1

6.6.2 Activación del PAT y medidas

En función de las variables de medición y umbrales, el PAT considera cuatro fases que gatillan la implementación de acciones de Alerta o Recuperación. El árbol de decisiones para operar el PAT se presenta en el diagrama de flujo expuesto en la Figura 6.9-1.

Si alguna de las dos variables ha superado su respectivo umbral se requiere establecer cuál de las 2 variables se encuentra excedida. Para ello, se evalúan ambas variables y se comparan con sus respectivos umbrales. El resultado de esta evaluación conducirá a los siguientes escenarios:

a Umbral hidrogeológico ha sido superado y umbral humedal no ha sido superado. En este caso el PAT se activa sólo por una desviación del componente hidrogeológico, es decir, el acuífero descendió más rápido de lo esperado. La vitalidad de las especies del Humedal no evidencia efectos mayores a los previstos (Tabla 6.4.4-1). Este escenario activa la Fase de Alerta I.

El umbral hidrogeológico será verificado en cada uno de los tres pozos PAT presentados en la Tabla 6.4.1-1. De esta forma la Alerta I puede ser activada con sólo dos pozos con su umbral sobrepasado.

b. Umbral hidrogeológico no ha sido superado y umbral humedal ha sido superado. En este caso el PAT se activa cuando la estimación del número de especies del humedal afectados por el proyecto en un tiempo t es mayor que el valor umbral tabulado (el efecto observado es mayor que el efecto estimado). En este caso el proyecto se declara en Fase de Alerta II. Considerando que el estrés hídrico no es el único factor que puede afectar el estado vital del humedal, esta fase lleva a una etapa de análisis de causalidad donde se evalúa si el estado vital responde a un estrés hídrico producto del bombeo del proyecto o a otras causas (patógenos, plagas, daño mecánico, sobrepastoreo, etc). Si no existe efecto del proyecto se vuelve a operación normal. En caso contrario, se pasa a la Fase de Recuperación I.

c. Umbral hidrogeológico y umbral humedal han sido superados. En este caso, el PAT se activa por ambos componentes ambientales y el proyecto se declara en Fase de Alerta II. Dado que existen otros factores que potencialmente pueden afectar el estado vital del humedal, esta fase lleva a una etapa de análisis de causalidad, donde se evalúa si el estado vital responde a un estrés hídrico producto del bombeo del proyecto o a otras causas (patógenos, plagas, daño mecánico, sobrepastoreo, etc). Si existen efectos del proyecto sobre el estado hídrico del humedal y, derivado de lo anterior, sobre su estado vital se pasa a la Fase de Recuperación I y se ejecutan las acciones de recuperación, que como medida primera considera la disminución del caudal de bombeo del proyecto en términos proporcionales al efecto causado. Si el efecto en la vitalidad del humedal no es atribuible al proyecto, se vuelve a operación normal.

Por otra parte, en caso de que se active la Fase de Recuperación I durante al menos tres periodos de evaluación consecutivos y que la pendiente de la recta que mejor se ajusta a estas observaciones (tres o más) sea mayor que la pendiente de la curva de los valores umbrales definidos para el humedal, entonces se activará la Fase de Recuperación II. Lo anterior, debido a que una mayor pendiente implica una tasa de afectación (especies/año) mayor a la predicha.

6.6.3 Fase de Alerta I

La Fase de Alerta I se activa sólo cuando se supera el umbral hidrogeológico (SUH), es decir, cuando los descensos de la napa son mayores a lo esperado. En este caso, la vitalidad de los ejemplares en el humedal se encuentra bajo el umbral de activación, lo cual refleja que la

vitalidad de la población se comporta según lo esperado. Conforme a lo anterior, las acciones de esta fase están orientadas a explicar el descenso aumentado de la napa y a implementar acciones preventivas en el humedal que permitan anticipar potenciales efectos detrimentales en su vitalidad.

Esta fase considera las siguientes acciones:

- Aumento de frecuencia de toma de inspección visual al humedal. Se aumenta la frecuencia de bienal a anual, por lo tanto también se aumenta la frecuencia de la evaluación del estado vital del humedal.
- Aumento de frecuencia de evaluación PAT desde bienal a anual.
- Análisis para determinar causas del aumento de la tasa de descenso del acuífero por sobre los umbrales establecidos para los pozos PAT de este sector. Los resultados de este análisis serán entregados 6 meses después de que se haya medido el nivel del o los pozos PAT que hayan dado origen a la activación de esta alerta.

6.6.4 Fase de Alerta II

La Fase de Alerta II se activa cuando el número de especies en el humedal en estado vital regular y malo supera el umbral, pudiendo estar el umbral hidrogeológico sobrepasado o no.

Tal como ha sido señalado en el diagrama de Flujo (Figura 3.4) esta fase del PAT prevé dos acciones. La aplicabilidad de implementar una u otra acción depende del resultado del análisis de causalidad. Dicho análisis considera examinar, entre otras materias, la extracción de agua de terceros, el estado fisiológico, hídrico y sanitario de la vegetación del Humedal, los efectos de origen antrópico tales como corta, carboneo o sobrepastoreo y una revisión del modelo de vitalidad. Los resultados del análisis de causalidad serán visados por expertos y serán entregados a la Seremi del Medio Ambiente, DGA y CONAF, junto con los resultados del análisis de causalidad hidrogeológico, si corresponde, en un plazo de 6 meses luego de que haya sido tomada una imagen satelital.

Del análisis de causalidad, se pueden obtener uno de los siguientes resultados:

a. El aumento del número de las especies del humedal en regular/mal estado no es producido por el bombeo del proyecto. En este caso, la acción es volver a operación normal. Sin perjuicio de lo anterior el titular estará disponible para acciones que pueda tomar la autoridad, respecto al conjunto de usuarios del acuífero, tendientes a recuperar el estado vital del humedal.

b. El aumento del número de especies del humedal en regular/mal estado es producto del bombeo del proyecto. El proyecto entra en fase de Recuperación I, por lo que se ejecutarán las acciones asociadas a esta fase.

6.6.5 Fase de Recuperación I

La Fase de Recuperación I se activa cuando el análisis de causalidad realizado en la Fase de Alerta II indica que el aumento del número de especies del humedal en regular/mal estado es producido por el bombeo del proyecto.

Tal como fue señalado en la sección precedente, el análisis de causalidad se realiza cuando el Umbral Humedal ha sido sobrepasado, pudiendo estar o no el umbral hidrogeológico superado.

La activación de la Fase de Recuperación I considera las siguientes acciones:

- Reducción del caudal del bombeo pozos del proyecto en forma proporcional al efecto del proyecto;
- Estudio de todas las posibles causas de deterioro de la vitalidad. Tala, plagas, patógenos, sobre pastoreo, carbón, estrés hídrico, otra;
- Aumento de frecuencia toma de imagen satelital de alta resolución. Se aumenta la frecuencia de bienal a anual, por lo tanto también se aumenta la frecuencia de la evaluación del estado vital del humedal.
- Aumento de frecuencia de evaluación PAT desde bienal a anual.
- Análisis causal del aumento de la tasa de descenso del acuífero sobre el umbral.
- Entrega de informe dentro de 6 meses luego de activada la Recuperación I;

6.6.6 Fase de Recuperación II

La Fase de Recuperación II se activa cuando se ha activado la Fase de Recuperación I durante al menos tres períodos de evaluación consecutivos. Lo anterior, debido a que una mayor pendiente implica una tasa de afectación (árboles/año) mayor a la predicha.

La activación de la Fase de Recuperación II considera las siguientes acciones:

- Aumento de la reducción del caudal de bombeo, en forma equivalente al porcentaje en que fue superada la pendiente estimada (valores umbrales definidos para este sector). Esto es, si la pendiente de las observaciones consecutivas (tres ó más) por sobre el umbral Humedal, por ejemplo, un 10% mayor que la pendiente estimada (valores umbrales), el bombeo del siguiente período será el equivalente al 90% (reducción de un 10%) del valor promedio que haya sido bombeado durante los últimos 12 meses. Este cálculo se realizará en cada período de evaluación en que se active o permanezca activada la Fase de Recuperación II.
- Análisis de causalidad. Análisis para determinar las causas del aumento momentáneo en la tasa de afectación del humedal (árboles/año) y de todas las posibles causas del deterioro de la vitalidad por sobre lo estimado. Los resultados de este análisis serán visados por expertos y el informe correspondiente será entregado 6 meses después de la toma de la imagen satelital donde se verifique la activación de esta fase.
- Basados en los resultados del análisis de causalidad se deberá estimar el nuevo caudal de bombeo que asegure que el impacto se mantendrá dentro de los valores predichos.

6.7 Niveles de acción y umbrales

Los umbrales que activan cada una de las fases del PAT son la base de su carácter preventivo. En efecto, y a objeto de anticipar el impacto en el humedal, los umbrales se diseñaron de manera tal que para cada tiempo t exista un valor que permita decidir la aplicación de medidas de alerta.

La herramienta para predecir los impactos de la extracción de agua subterránea sobre el acuífero y las áreas sensibles es el modelo de simulación definido. De acuerdo a este modelo de simulación, construido, calibrado y operado con los antecedentes disponibles a la fecha, los impactos sobre el acuífero con un nivel de extracción de 24 l/s serían:

- Descenso máximo de 15 m del nivel del agua subterránea en el sector del pozo de extracción y en los pozos PAT.
- El radio de influencia por el bombeo no debe superar los 5 km. al sur del pozo de extracción.

6.8 Condiciones de desactivación

La desactivación de la Alerta I se produce cuando el 50 % de los pozos PAT presenten un descenso observado menor o igual al simulado ó si menos de dos pozos presentan descenso menor o igual al simulado.

La desactivación de la Fase de Recuperación I se implementa cuando:

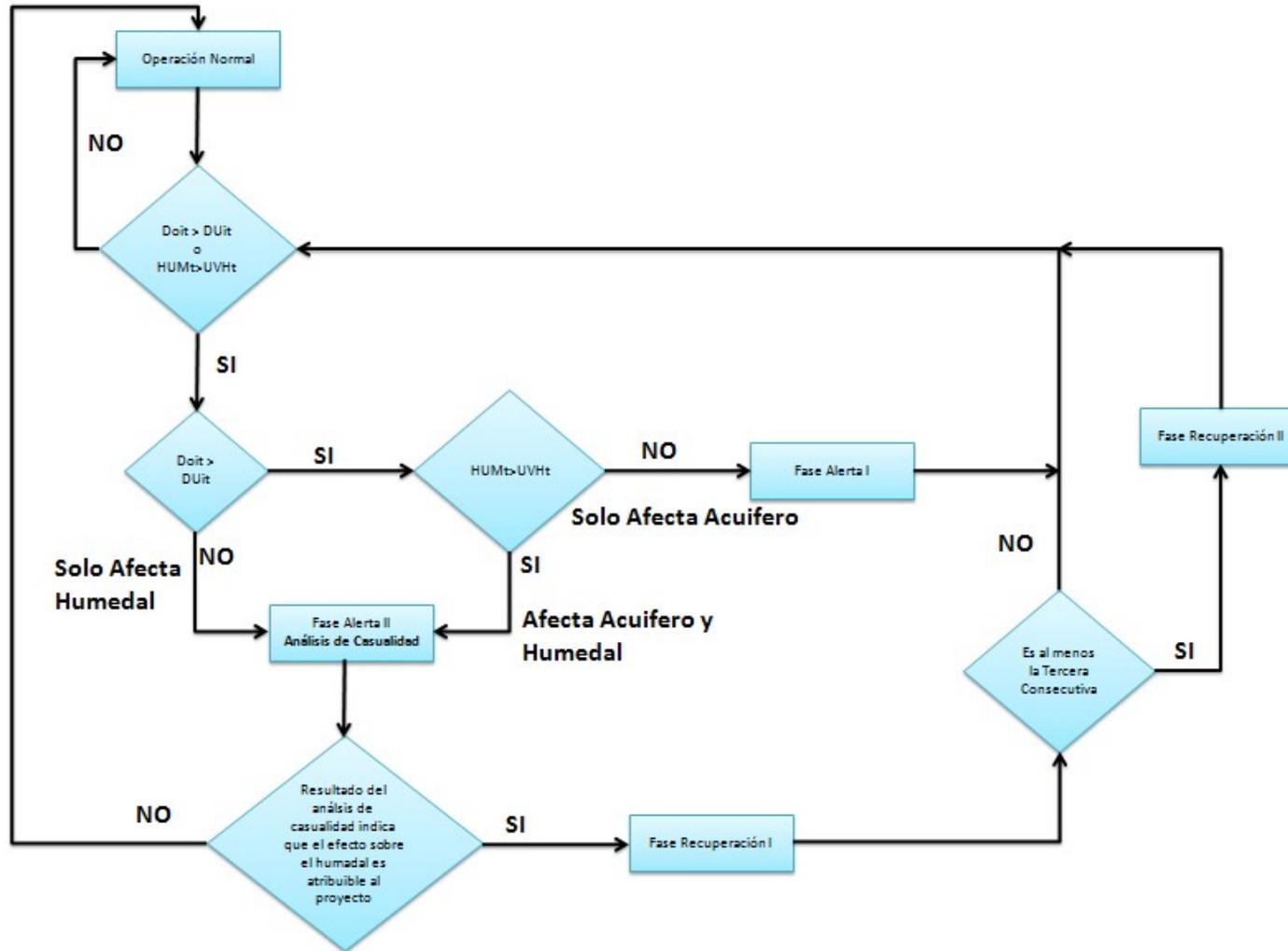
- El número de especies del Humedal en regular/mal estado no supera el umbral
- El umbral del Humedal sigue sobrepasado, pero el análisis de causalidad que se realiza en el período siguiente indica que el deterioro del estado vital de las especies del Humedal no es atribuible al proyecto. En este caso el proyecto vuelve a operación normal.

La desactivación de la Fase de Recuperación II se implementa cuando:

- Se verifique que el valor observado de especies en regular y mal estado por efecto del proyecto no supera el valor umbral o bien en caso que se demuestre que la superación del umbral no tiene relación causal con el proyecto. En cualquier caso, la desactivación contará con la aprobación de la autoridad.

6.9 Flujograma de decisiones y acciones.

Figura 6.9-1 Flujograma de decisiones



7 SEGUIMIENTO

7.1 Frecuencia de entrega y número de ejemplares

- Durante el mes de julio de cada año se remitirán los antecedentes obtenidos de los monitoreos correspondientes al primer semestre.
- Durante el mes de febrero de cada año se remitirá un informe con toda la información obtenida durante el año anterior, procesada y analizada adecuadamente.
- Todos los reportes deberán ser enviados en 2 copias impresas y un respaldo magnético de la misma.

7.2 Formato de Informe

Cada informe de reporte se entregará en formato Word y las tablas en formato Excel.

7.3 Información Anexa

La información anexa contendrá tablas y gráficos adecuados que permitan analizar el comportamiento de las variables controladas.

7.4 Destinatario

Oficina Regional de la Dirección General de Aguas de la Región de Arica y Parinacota

8 CRITERÍOS DE INCUMPLIMIENTO

A partir de los datos entregados se hará una evaluación con el objeto de velar por las condiciones a respetar durante el ejercicio de los derechos de aprovechamiento en el acuífero Parte baja Río Lluta.

Si la evaluación arroja que no se está respetando alguna de las condiciones, entonces la DGA tomará las medidas que permitan ajustarse respecto de las condiciones ya dichas. Estas medidas pueden ir desde la reformulación de los planes de explotación en el campo.

9 ACTUALIZACIÓN DEL PAT

9.1 Frecuencia

Se considera que el PAT sea revisado cada 2 años, es decir, cada vez que se evalúe en su totalidad o antes en caso de ser necesario. El objetivo es incorporar la información nueva que se obtenga del seguimiento de los componentes ambientales hidrogeología, vitalidad de especies del humedal y niveles de los puquíos.

En particular se considera:

- Revisión de los valores de activación en función de la información histórica recopilada (promedios, desviación estándar, descensos máximos);
- Revisión de los indicadores de estado, de manera de evaluar la necesidad de incluir o excluir algunos indicadores de estado de acuerdo a su relación con el comportamiento del objeto de protección.
- Revisión del modelo hidrogeológico a través de una auditoría externa cada 2 años en el acuífero parte baja río Lluta.

9.2 Metodología

1) Cotejo y control de la calidad de los datos derivados del monitoreo del comportamiento del acuífero y áreas sensibles.

2) Análisis cualitativo de la respuesta observada de los niveles de agua. Se prepararán gráficos de la respuesta observada de los niveles de las aguas subterráneas desde inicio de la extracción de agua subterránea en todas las captaciones monitoreadas. La respuesta observada de los niveles de agua durante el período de revisión se comparará con las primeras respuestas y se tomará nota de cualquier cambio marcado en el comportamiento, como por ejemplo, aceleraciones del descenso de nivel.

3) Simulación numérica del comportamiento del acuífero hasta el momento de la revisión. La actual versión aceptada del modelo numérico del acuífero será usada para simular el comportamiento del acuífero hasta el momento de la revisión. La extracción para el modelo estará de acuerdo con las tasas de bombeo registradas.

4) Comparación y evaluación de la respuesta observada y simulada del acuífero. Se prepararán gráficos de la respuesta observada y simulada del acuífero. Se efectuará la comparación cualitativa y cuantitativa de las respuestas observadas y simuladas en todos los pozos monitoreados del acuífero. La comparación cuantitativa se basará en el cálculo de la diferencia entre el descenso del nivel de agua observado y simulado, expresado como porcentaje del descenso máximo registrado en el pozo.

5) Evaluación de si existen desviaciones significativas entre las respuestas observadas y simuladas. Esta evaluación se basará en los resultados del punto anterior. La realización de las acciones indicadas en los dos puntos a continuación se llevará a cabo si se determina a juicio de la DGA, que existen desviaciones significativas y, por lo tanto, que es posible seguir refinando el modelo numérico.

6) Investigaciones de los posibles refinamientos del modelo numérico. Sobre la base de la comparación de las respuestas observadas y simuladas, se desarrollarán e implementarán refinamientos del modelo numérico. En esta etapa del proceso se efectuarán los refinamientos de las estimaciones de los parámetros cruciales, tales como el coeficiente de almacenamiento y la recarga. Refinamientos sucesivos del modelo numérico darían como resultado una representación cada vez más exacta del sistema acuífero.

7) Revisión de los impactos estimados. El modelo refinado resultante de las evaluaciones anteriores, aceptando como la mejor representación del sistema acuífero, se utilizará para proporcionar una predicción revisada de los impactos de más largo plazo de la extracción de agua subterránea.

Los resultados de la revisión se presentarán como un informe a la DGA. Inicialmente, esto se hará anualmente hasta que se haya establecido una mayor confianza en la capacidad predictiva del modelo. Este informe formará parte del informe anual.

Sistemas objeto de protección es monitorear el comportamiento del acuífero y áreas sensibles, en particular:

- Monitoreo de los niveles de las aguas subterráneas
- Control de extracción
- Calidad química de las aguas subterráneas
- Control de la variación de la flora y fauna en el humedal desembocadura río Lluta
- Establecer medidas oportunas que impidan o mitiguen una posible afectación a derechos de terceros, como también ambientales

10 CONCLUSIONES

Terminando el estudio, se puede concluir en términos generales que con el instructivo para la elaboración de un PAT generado por la DGA, se implementan contenidos mínimos de un PAT, por ejemplo, se identifica la ubicación de los derechos cuyo ejercicio está condicionado por su respectivo plan, se indican los objetivos del plan, los objetos de protección, el plan de monitoreo, la determinación de umbrales, la evaluación de impactos, entre otros aspectos. Pero el problema que se evidencia es que, a pesar de tratarse todos estos aspectos, se puede dar una diferencia en el grado de profundidad con el que son abordados en todos los planes, esto se debe a que la elaboración del PAT recae sobre el solicitante de los derechos, y resulta del todo lógico no incluir aspectos que pueden resultar relevantes, de manera de obtener permanentemente los derechos otorgados de manera provisional, más aún si estos traen un provecho económico en lugares donde el agua es escasa.

Otro aspecto muy importante que se evidencia en la elaboración de un PAT es arbitrariedad en la definición de umbrales, principalmente en lo referido al monitoreo de calidad de las aguas subterráneas y/o superficiales. En este sentido, puede ser recomendable obtener dichos umbrales a partir del EIA o DIA presentado para cada proyecto, ya que en ellos se define la línea base de cada sistema y se identifican los posibles impactos de cada proyecto, desde donde se puede establecer el valor límite que determina dicho impacto.

En cuanto a la información generada en cada uno de los PATs, se concluye que es importante que la DGA considere estos planes ya que incluir la información que se genera resulta de gran utilidad para el conocimiento y seguimiento de acuíferos que están siendo sometidos a una gran presión extractiva, independiente que no siempre coinciden con acuíferos críticos en términos del ejercicio de derechos de aprovechamientos otorgados. No obstante, la DGA debiera contar con condiciones de umbrales y elementos a controlar estandarizados para cada acuífero protegido, de manera de evitar las interpretaciones que pudiera hacer a su favor cada solicitante de nuevos derechos.

11 BIBLIOGRAFÍA

Arumí, J. & Oyarzún, R., 2006. Las aguas subterráneas en Chile. Boletín Geológico y Minero 11, pp 37-45.

Baeza, L., 2010. Estudio Ambiental y Económico: Análisis Mineralógico y Geoquímico de Sedimentos del Sistema Fluvial del Río Lluta, XV Región de Arica y Parinacota, Chile. Memoria para optar al Título de Geólogo, Departamento de Geología, Universidad de Chile.

Cabralles, F. & Néspolo, M. 2014. Racionamiento del Agua ante Fluctuaciones de Disponibilidad. Una discusión Teórica para el caso de Chile. IDESIA (Chile) Volumen 32, N°1 . pp 129-137.

DGA-Dirección general de Aguas., 2004. Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad Cuenca del río Lluta.

DGA-Dirección general de Aguas., 2012. Guía Metodológica de Elaboración y Gestión de Planes de Alerta Temprana.

DGA-Dirección general de Aguas., 2012. Análisis Preliminar de Planes de Alerta Temprana con Condicionamiento de Derechos.

DGA-Dirección general de Aguas., 2013. Sistematización de Información Planes de alerta Temprana Vigentes con Condicionamiento de Derechos, Región de Antofagasta.

Figueroa, T., et al., 2013. Modelo de Operación Hídrica Para la Cuenca Baja del Río Lluta. Water Week 2013. Viña del Mar, Chile.

Kapples, E. 2011. La calidad y accesibilidad del agua potable rural Chile: Arica y Parinacota. Independent Study Project (ISP) Collection University Georgetown. Paper 1168

Margaritz, M. et al., 1990. Source of Ground Water in the Deserts of Northern Chile: Evidence of Deep Circulation of Ground Water from the Andes. Ground Water, Vol. 28, N° 4, pp 513-517.

Peredo, R. & Miranda, L., 2001. Nuevos Registros para la avifauna del estuario del río Lluta. Boletín Chileno de Ornitología 8, pp 2-9.

Torres, A. & Acevedo, E. 2008. El Problema de la Salinidad en los Recursos Suelo y Agua que Afecten el Riego y Cultivos en los Valles de Lluta y Azapa en el norte de Chile. IDESIA (Chile) Volumen 26, N°3 . pp 31-44

ANEXO I
REGISTRO HISTÓRICO DE MEDICIONES POZO DGA

ANEXO II

DERECHOS DE AGUAS Y DOCUMENTOS LEGALES

ANEXO III

PRUEBAS DE BOMBEO POZOS QUIBORAX