



GOBIERNO DE CHILE  
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS  
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS Y PLANIFICACIÓN

**INFORME TÉCNICO**

**Análisis Preliminar de Planes de Alerta  
Temprana con Condicionamiento de  
Derechos**

**REALIZADO POR:**  
**División de Estudios y Planificación**  
**SDT N° 335**

**Santiago, diciembre de 2012**



## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN .....	5
2. OBJETIVOS Y CONSIDERACIONES .....	7
2.1. Objetivo General .....	7
2.2. Objetivos Específicos.....	7
2.3. Consideraciones Generales del Informe .....	7
3. PLANES DE ALERTA TEMPRANA .....	8
3.1. Planes de Alerta Temprana Vigentes .....	8
3.2. Etapas de los PATs Vigentes .....	9
3.3. Descripción de los PATs Vigentes.....	11
3.3.1. Acuífero Calama: Minera el Tesoro Pozo P-10.....	11
3.3.2. Acuífero de Pampa Puno.....	17
3.3.3. Acuífero de Monturaqui - Negrillar –Tilopozo .....	21
3.3.4. Acuífero de Elvira .....	26
3.3.5. Acuífero Los Morros .....	31
3.3.6. Acuífero del Salar de Ollagüe .....	35
3.4. Estado Actual de los PATs Vigentes.....	40
3.4.1. Acuífero Calama: Minera el Tesoro Pozo P-10.....	40
3.4.2. Acuífero de Pampa Puno.....	41
3.4.3. Acuífero de Monturaqui-Negrillar–Tilopozo .....	41
3.4.4. Acuífero de Elvira .....	43
3.4.5. Acuífero Los Morros .....	44
3.4.6. Acuífero Salar de Ollagüe .....	44
3.5. Planes de Alerta Temprana en el Marco del SEA .....	45
3.6. Índice Preliminar Propuesto para PATs que Condicionan Derechos .....	49
4. CONCLUSIONES .....	52
5. BIBLIOGRAFIA .....	54

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Planes de Alerta Temprana vigentes con condicionamiento de derechos. ....	8
Tabla 2: Síntesis de variables, puntos de monitoreo, umbrales y periodicidad PAT Calama. ....	15
Tabla 3: Síntesis de variables, puntos de monitoreo, umbrales y periodicidad PAT Pampa Puno. ....	21
Tabla 4: Síntesis de variables, puntos de monitoreo, umbrales y periodicidad PAT Monturaqui-Negrillar-Tilopozo ....	25
Tabla 5: Síntesis de variables, puntos de monitoreo, umbrales y periodicidad PAT Elvira	30
Tabla 6: Síntesis de variables, puntos de monitoreo, umbrales y periodicidad PAT Los Morros ....	35
Tabla 7: Síntesis de variables, puntos de monitoreo, umbrales y periodicidad PAT Salar de Ollagüe ....	39
Tabla 8: Volúmenes de extracción reales y estimados, Acuífero Monturaqui-Negrillar-Tilopozo ....	42
Tabla 9: Discrepancia entre volúmenes estimados y extraídos, Acuífero Monturaqui-Negrillar-Tilopozo ....	43
Tabla 10: Resumen de ejemplos de PATs en el marco del SEA en la Región de Tarapacá	48
Tabla 11: Índice preliminar propuesto de PATs que condicionan derechos .....	51

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación de PATs con condicionamiento de derecho en la Región de Antofagasta. ....	9
Figura 2: Ubicación de pozos de extracción, PAT-CALAMA. ....	11
Figura 3: Flujograma de Decisiones PAT Calama: Minera el Tesoro Pozo P-10 ....	16
Figura 4: Pozos de extracción considerados en el PAT Pampa Puno ....	18
Figura 5: Zona donde se establece el PAT Monturaqui-Negrillar-Tilopozo ....	22
Figura 6: Pozos de explotación considerados en PAT Elvira ....	27
Figura 7: Pozos de extracción considerados en PAT Los Morros. ....	32
Figura 8: Pozos de extracción considerados en PAT Ollagüe ....	36

## **1. INTRODUCCIÓN**

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)

Si bien la DGA no ha establecido una definición oficial de Plan de Alerta Temprana, ni el contenido de éste, 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.

Actualmente, existen seis PAT aprobados por la DGA que condicionan los derechos de aprovechamiento otorgados (PATs asociados a derecho) y todos ellos se ubican en la Región de Antofagasta: Pampa Puno, Elvira, Los Morros, Salar de Ollagüe, Monturaqui-

Negrillar-Tilopozo y Calama. Además, existen otros PATs asociados a derecho que están en proceso de aprobación, de los cuales se puede mencionar PAT Pampa Llalqui, PAT La Concordia, PAT Aconcagua, entre otros.

A pesar de la existencia de estos PATs ya aprobados y otros en vías de serlo, la DGA no cuenta 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. Además, se entiende que debe existir un instructivo o índice que determine los contenidos mínimos que debe tener un PAT.

Es por lo anterior que el presente informe tiene como objetivo recopilar la información disponible de los Planes de Alerta Temprana existentes asociados a derechos para un análisis preliminar de ellos que sirva a la hora de formular una metodología de sistematización y síntesis de la información que entregan. Así, en este trabajo se presenta una revisión de los contenidos de cada plan asociado a derechos, el estado actual de ellos, algunos ejemplo de PATs presentados en el marco del SEA que restringen el uso de derechos y un índice preliminar con el contenido de un PAT.

## **2. OBJETIVOS Y CONSIDERACIONES**

### **2.1. Objetivo General**

Recopilar la información disponible de los Planes de Alerta Temprana (PAT) que condicionan derechos para realizar un análisis y diagnóstico preliminar del estado actual de ellos.

### **2.2. Objetivos Específicos**

Como objetivos específicos del trabajo se considera:

- Revisar los contenidos de cada PAT, considerando los objetivos, etapas, variables a monitorear, umbrales, etc.
- Establecer el estado actual de cada PAT.
- Presentar, a modo de ejemplo, PATs que restringen el uso de derechos, presentados en el marco de la evaluación ambiental de diversos proyectos.
- Presentar un índice preliminar del contenido de un PAT.

### **2.3. Consideraciones Generales del Informe**

Respecto al alcance, contenido y fuentes de información consideradas para la realización de este informe, se deben mencionar las siguientes consideraciones:

- El alcance de este informe es la revisión de los Planes de Alerta Temprana vigentes que condicionan derechos y sólo considera mostrar ejemplos de planes que se generan en el marco del Sistema de Evaluación Ambiental.
- La principal fuente de información respecto de la descripción, contenido y estado de los Planes de Alerta Temprana vigentes que condicionan derechos, que este informe considera es la revisión realizada para la DGA por el consultor **Arrau Ingeniería E.I.R.L., en el marco del estudio "Diagnóstico Plan Estratégico para la Gestión de los Recursos Hídricos, Región de Antofagasta" que desarrolló** se durante el segundo semestre de 2012. Además, esto fue complementado por los documentos presentados de los planes propiamente tal y
- Por otro lado, la revisión de ejemplos de Planes de Alerta Temprana presentados en el marco del SEA y que restringen derechos se tomó del estudio **"Diagnóstico Plan Maestro para la Gestión de los Recursos Hídricos, Región de Tarapacá" que desarrolló** para la DGA, también durante el segundo semestre de 2012, el consultor GeoHidrología Consultores.
- El índice de contenidos mínimos que debe tener un PAT, que se presenta en este informe, es un índice preliminar que ha sido trabajado por diferentes departamentos y divisiones de la DGA y en ningún caso corresponde a un pronunciamiento oficial de la DGA al respecto.

### 3. PLANES DE ALERTA TEMPRANA

#### 3.1. Planes de Alerta Temprana Vigentes

Actualmente en Chile existen seis Planes de Alerta Temprana vigentes asociados a derecho y todos ellos corresponden a derechos de agua ubicados en acuíferos de la Región de Antofagasta. Estos se presentan en la Tabla 1 y su ubicación a nivel regional se presenta en la Figura 1.

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

**Tabla 1: Planes de Alerta Temprana vigentes con condicionamiento de derechos.**

Es importante señalar que para el caso de los PATs Pampa Puno y Salar de Ollagüe aún no se registran extracciones.

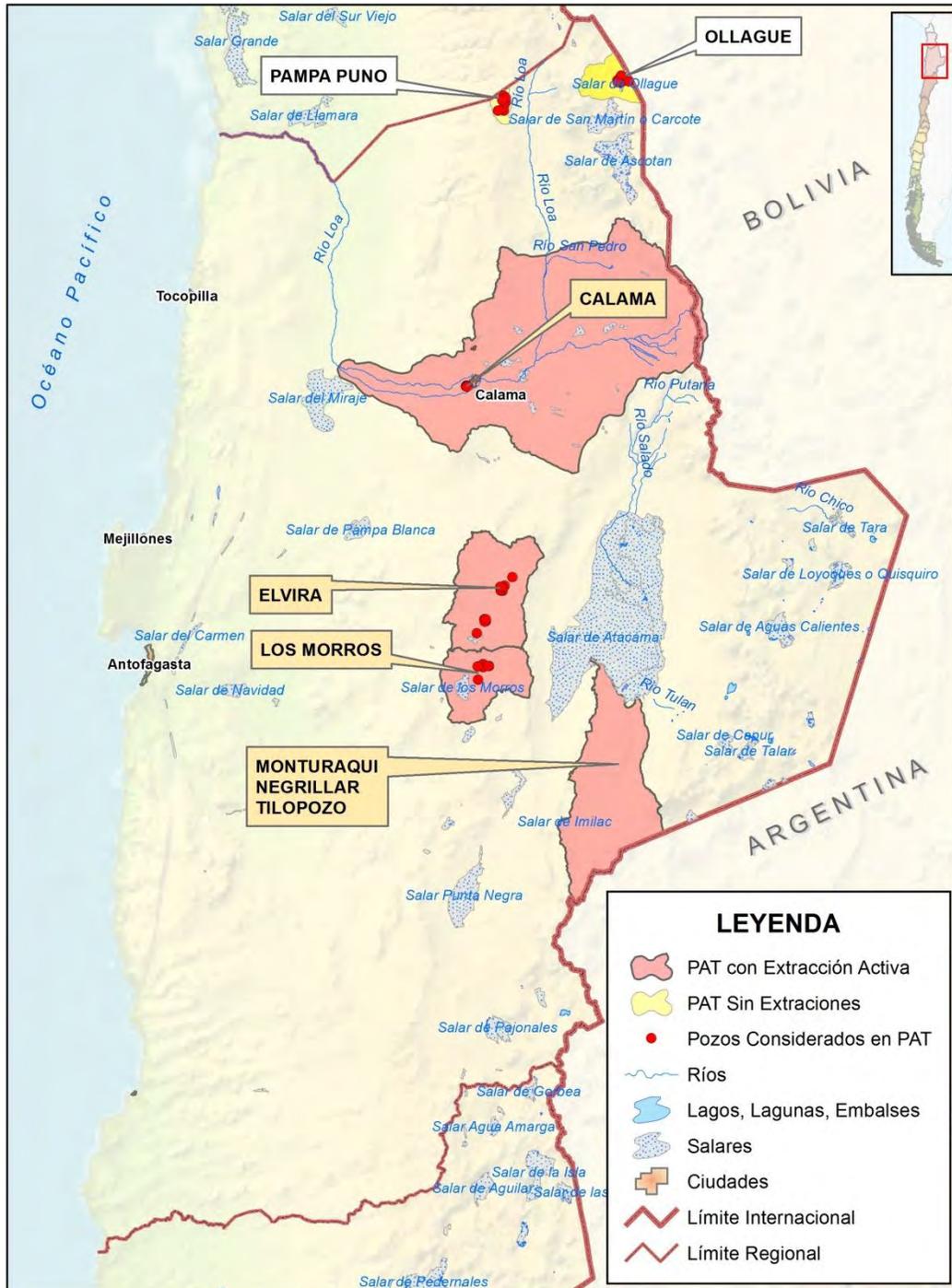


Figura 1: Ubicación de PATs con condicionamiento de derecho en la Región de Antofagasta.

### 3.2. Etapas de los PATs Vigentes

De acuerdo a la revisión PAT vigentes, en términos generales, se puede señalar que todos constan de 3 etapas comunes, que son:

### **Etapa I: Monitoreo del comportamiento del acuífero y áreas sensibles**

Provee antecedentes de los cambios en las condiciones hidrológicas, hidrogeológicas y en las áreas ambientalmente sensibles. El análisis a largo plazo de estos datos permite conocer el nivel de explotación de la cuenca en el tiempo, mejorar la estimación de los parámetros hidráulicos del acuífero, mejorar el conocimiento del comportamiento de las áreas sensibles y de la sustentabilidad de las extracciones a largo plazo.

### **ETAPA II: Predicción, evaluación de impactos y medidas de corrección**

Se utiliza un modelo de simulación como herramienta para predecir los impactos de la extracción de agua subterránea en el acuífero y las áreas sensibles. Estos impactos son un antecedente dinámico, que puede variar conforme se revise y actualice el PAT. Una vez refinado el modelo, se revisan los impactos de modo que no produzcan efectos negativos en el acuífero, vertientes o vegas.

### **ETAPA III: Revisión y actualización periódica**

Se revisan exhaustivamente los datos de monitoreo en forma periódica. Anualmente, al menos hasta los 3 primeros años, esta revisión debe contemplar:

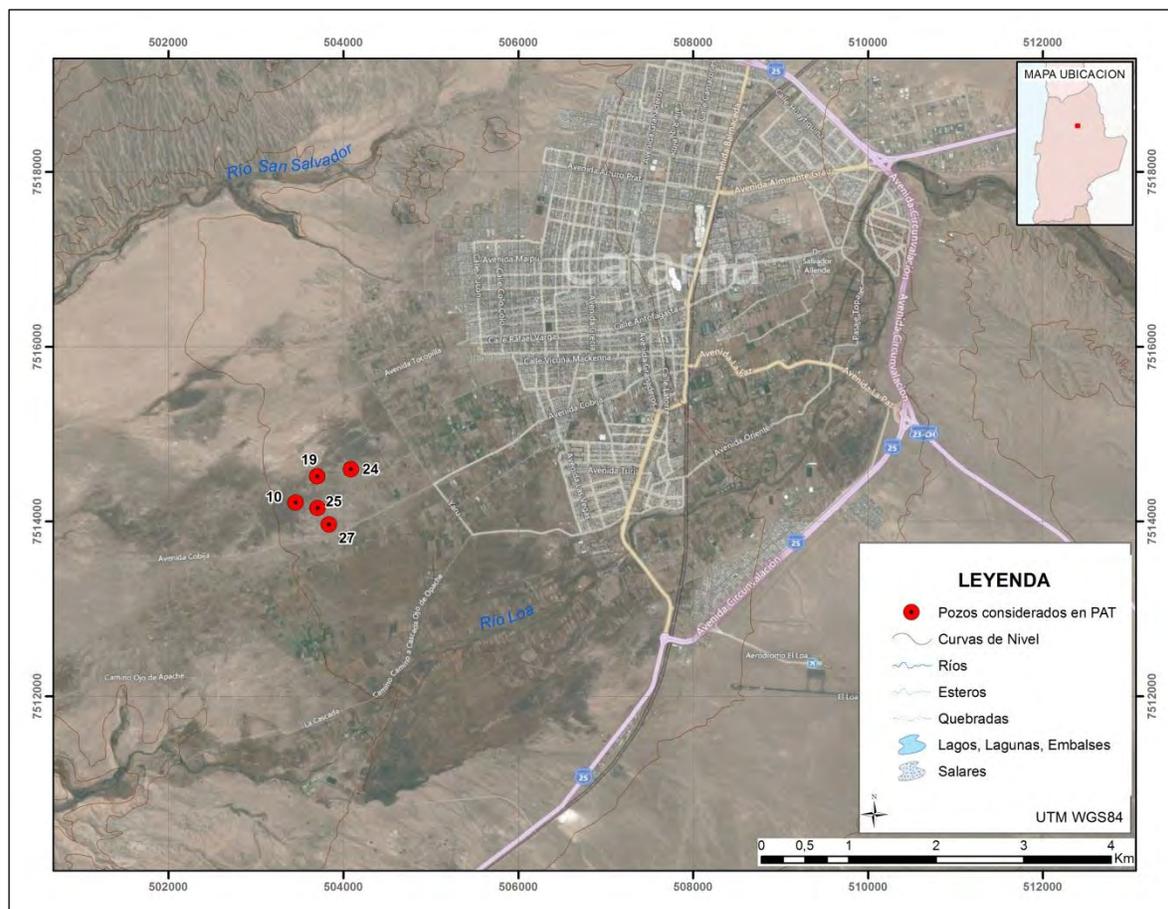
- Control de la calidad de los datos de monitoreo de acuíferos y áreas sensibles
- Análisis cualitativo de la respuesta de los niveles de agua, comparando los datos con los del periodo anterior, relevando cualquier cambio en el comportamiento.
- Simulación numérica del comportamiento del acuífero hasta el momento de la revisión
- Comparación y evaluación de la respuesta observada y simulada del acuífero, en todos los pozos monitoreados.
- Evaluación de las desviaciones significativas entre las respuestas observadas y simuladas.
- Investigaciones de los posibles refinamientos del modelo numérico sobre la base de la comparación de las respuestas observadas y simuladas. Refinamientos sucesivos del modelo numérico darán una representación cada vez más exacta del sistema del acuífero.
- Revisión de impactos estimados a partir del modelo refinado, que se entiende como el modelo que mejor representa el sistema del acuífero. Éste se utilizará para predecir los impactos a largo plazo de la extracción de agua.
- Revisión y evaluación de los antecedentes de calidad de agua, variación de niveles, extensión areal y caudales de humedales.

Los resultados se presentan, anualmente, en un informe a la DGA, hasta que se establezca una mayor capacidad predictiva del modelo de simulación.

### 3.3.Descripción de los PATs Vigentes

#### 3.3.1. Acuífero Calama: Minera el Tesoro Pozo P-10

La Resolución DGA N° 48 del 05 de febrero de 2004 constituye cinco derechos de aprovechamiento consuntivo de aguas subterráneas de ejercicio permanente y continuo por un caudal total de 320 l/s, distribuidos en los siguientes pozos: P-10 (73,2 l/s), P-19 (65 l/s), P-24 (46,8 l/s), P-25 (70 l/s), P-27 (65 l/s). La ubicación de los pozos se presenta en la Figura 2.



**Figura 2: Ubicación de pozos de extracción, PAT-CALAMA**

La Resolución DGA N° 48 también establece que:

- i. La titular podrá ejercitar el derecho que se constituye en la presente resolución en la medida que:
  - No se disminuyan los caudales de los ríos Loa y San Salvador y de las vertientes Ojos de Opache, Likantatay y La Cascada.
  - No se afecten las zonas de vegas activas.

- Se evite un descenso sostenido en el tiempo de los niveles de agua subterránea si ello ocasionara una reducción en 50 años superior al 5% del volumen almacenado.
  
- ii. **Y que "...antes de proceder al ejercicio de los derechos que se constituyen por la presente resolución, la titular deberá someter para aprobación previa ante la DGA un Plan de Alerta Temprana para el Acuífero de Calama de la cuenca del río Loa que permitirá predecir oportunamente los impactos señalados, de tal modo de prevenir afecciones negativas en el sector y suspender el ejercicio de los derechos cuando corresponda."**

De acuerdo a esto, el objetivo planteado en el PAT es: Predecir oportunamente los impactos sobre los caudales de los ríos Loa y San Salvador y de las vertientes Ojos de Opache, Likantatay y La Cascada; y sobre la zona de vegas activas, de tal modo de prevenir afecciones negativas en el sector y suspender o reducir el ejercicio del derecho del pozo P-10 cuando corresponda. Se aclara que este PAT solo habilita el ejercicio del derecho del pozo P-10 y que para el ejercicio del resto de derechos, el titular debe presentar un PAT adicional.

Además, se hace una descripción de las formaciones acuíferas reconocidas dentro del acuífero Calama, la Fm. Loa (superior) y la Fm. Calama (inferior, confinado) y se establece, sustentada en diversos análisis, la desconexión entre estas. También se señala que se está llevando a cabo un programa de monitoreo para ir evaluando esta condición.

El PAT permite a la Minera El Tesoro (MET):

- Obtener ejercicios para el derecho de aprovechamiento del pozo P-10 por 73.2 L/s, habilitado en la Fm. Calama.
- Mejorar el conocimiento del sistema y de la respuesta de los acuíferos, desde la Fm de Calama.
- Evaluar en forma oportuna los eventuales efectos de la extracción de agua desde el pozo en cuestión.

Para lograr el objetivo se presenta en detalle en el informe un Programa de Monitoreo Global, que considera los siguientes monitoreos:

- De niveles y caudales
- Químico de calidad de Aguas superficiales y subterráneas
- Isotópico de aguas superficiales y subterráneas
- Sobre el área de vegas activas

También se establece un Monitoreo de Alerta Temprana con el fin de monitorear la desconexión de las formaciones acuíferas, para que la Fm. Loa no sufra ningún tipo de impacto producto del bombeo desde la Fm. Calama.

Además, se establecen las variables a proteger y los umbrales de lo que se puede extraer y cuándo se puede extraer de: cuerpos de aguas superficiales, vegas activas y volúmenes almacenados de los acuíferos. Todo lo anterior se sintetiza en la Tabla 2.

Análisis Preliminar de Planes de Alerta Temprana con Condicionamiento de Derechos

VARIABLES A MONITOREAR	PUNTO DE MONITOREO	UMBRALES	PERIODICIDAD
<b>Niveles</b> (m bajo el punto de medición) o <b>caudales</b> (L/s)	Ojos de Opache Nac.	Sin umbral	Mensual
	Vert. Ojos Opache Enaex	Caudales: se utilizan dos umbrales en el Flujograma de decisión, sobre 283 L/s y 318 L/s (este último ligado a la presencia de Tritio). Niveles: Reducción, en 50 años, menor a 239,6 L/s.	Semanal (hasta que no esté operativa la estación fluviométrica), luego mensual.
	Vertiente Likantatay	Sin umbral	Mensual
	Vertiente La Cascada	Sin umbral	Mensual
	Río Loa en La Cascada	Sin umbral	Mensual
	Río San salvador MET#1	Sin umbral	Mensual
	Río San Salvador MET#2	Sin umbral	Mensual
	Río Loa en Yalquincha	Sin umbral	Mensual
	OBS-7L	Sin umbral	C/1 Hora
	PPR-1	Sin umbral	Semanal
	PPR-3	Sin umbral	Semanal
	PPR-4	Sin umbral	Semanal
	LE-4	Sin umbral	Semanal
	LE-6	Sin umbral	C/2 Semanas
	LE-7	Sin umbral	Semanal
	LE-9	Sin umbral	C/1 Hora
	P-7	Sin umbral	C/1 Hora
	P-18	Sin umbral	C/1 Hora
	P-19	Sin umbral	C/2 Semanas
	P-21	Sin umbral	Semanal
	P-24	Sin umbral	C/2 Semanas

VARIABLES A MONITOREAR	PUNTO DE MONITOREO	UMBRALES	PERIODICIDAD
	P-25	Sin umbral	C/2 Semanas
	P-27	Sin umbral	C/2 Semanas
	OBS-6LiA	Sin umbral	C/1 Hora
	OBS-6LiB	Sin umbral	C/1 Hora
	OBS-6LiC	Sin umbral	C/1 Hora
	OBS-8LiA	Sin umbral	C/1 Hora
	OBS-8LiB	Sin umbral	C/1 Hora
	OBS-8LiC	Sin umbral	C/1 Hora
	P-10	Sin umbral	C/1 Hora
	OBS-6C	Sin umbral	C/1 Hora
	OBS-7C	Sin umbral	C/1 Hora
	OBS-8C	Sin umbral	C/1 Hora
	OBS-9C	Sin umbral	C/1 Hora
	OBS-10C	Sin umbral	C/1 Hora
	OBS-11C	Sin umbral	C/2 Semanas
	PBC-1	Sin umbral	C/1 Hora
	PBC-2	Sin umbral	C/1 Hora
	PPR-2	Sin umbral	Semanal
	PPR-5	Sin umbral	Semanal
	LE-1	Sin umbral	Semanal
LE-2	Sin umbral	Semanal	
FCAB-Patio (OBS)	Sin umbral	C/2 Semanas	

VARIABLES A MONITOREAR	PUNTO DE MONITOREO	UMBRALES	PERIODICIDAD	VARIABLES A MONITOREAR	PUNTO DE MONITOREO	UMBRALES	PERIODICIDAD
<b>Calidad de aguas superficiales y subterráneas (químico):</b> conductividad eléctrica, temperatura, oxígeno disuelto, Ph, densidad, STD, HCO <sub>3</sub> , CO <sub>3</sub> , CO <sub>2</sub> , CL, I, SO <sub>4</sub> , NO <sub>3</sub> , B, Si, As, Na, K, Li, Ca, Mg, balance iónico.	Ojos de Opache Nac.	Sin información	Estacional	<b>Isotópico aguas superficiales y subterráneas:</b> composición de isótopos estables de Deuterio y Oxígeno-18, e isótopos inestables (Tritio)	Ojos de Opache Nac.	Solo para el Tritio: Parte del flujograma de decisión, si existe presencia de tritio en <u>pozos profundos</u> por sobre 0,5 TU, se debe realizar informe para analizar conexión hidráulica entre la Formación Calama y El Loa.	Estacional
	Vert. Ojos Opache Enaex				Vert. Ojos Opache Enaex		
	Vertiente Likantatay				Vertiente Likantatay		
	Vertiente La Cascada				Vertiente La Cascada		
	Río Loa en La Cascada				Río Loa en La Cascada		
	Río San salvador MET#1				Río San Salvador MET#1		
	Puente Viejo calama				Puente Viejo calama		
	Río Loa en Yalquincha				Río Loa en Yalquincha		
	OBS-7L				OBS-7L		
	PP3-3				PPR-3		
	LE-9				LE-9		
	P-21				P-21		
	P-27				P-27		
	P-10				P-10		
	OBS-7C				OBS-7C		
	OBS-11c				OBS-11c		
	PBC-1				PBC-1		
	PPR-2				PPR-2		
	PPR-5				PPR-5		
LE-2	LE-2						
FCAB-Patio (OBS)	FCAB-Patio (OBS)						
Aguas Servidas Quebrada Quetena	Aguas Servidas Quebrada Quetena						
Agua Red Agua Potable	Agua Red Agua Potable						
	Otros (DGA)						
<b>Vegas activas:</b> cobertura vegetal en área de 500x500 m2	Cercanías pozo P-10	Sin umbral	Trimestral				

**Tabla 2: Síntesis de variables, puntos de monitoreo, umbrales y periodicidad PAT Calama.**

Junto a lo anterior, se presenta un flujograma de decisión y acciones (Figura 3) que establece las condiciones bajo las cuales puede operar el pozo profundo P-10, verificando que se cumplan las condiciones establecidas en la Resolución DGA N°48/2004 y definiendo las acciones a seguir en caso de que alguno de los umbrales establecidos se vea superado.

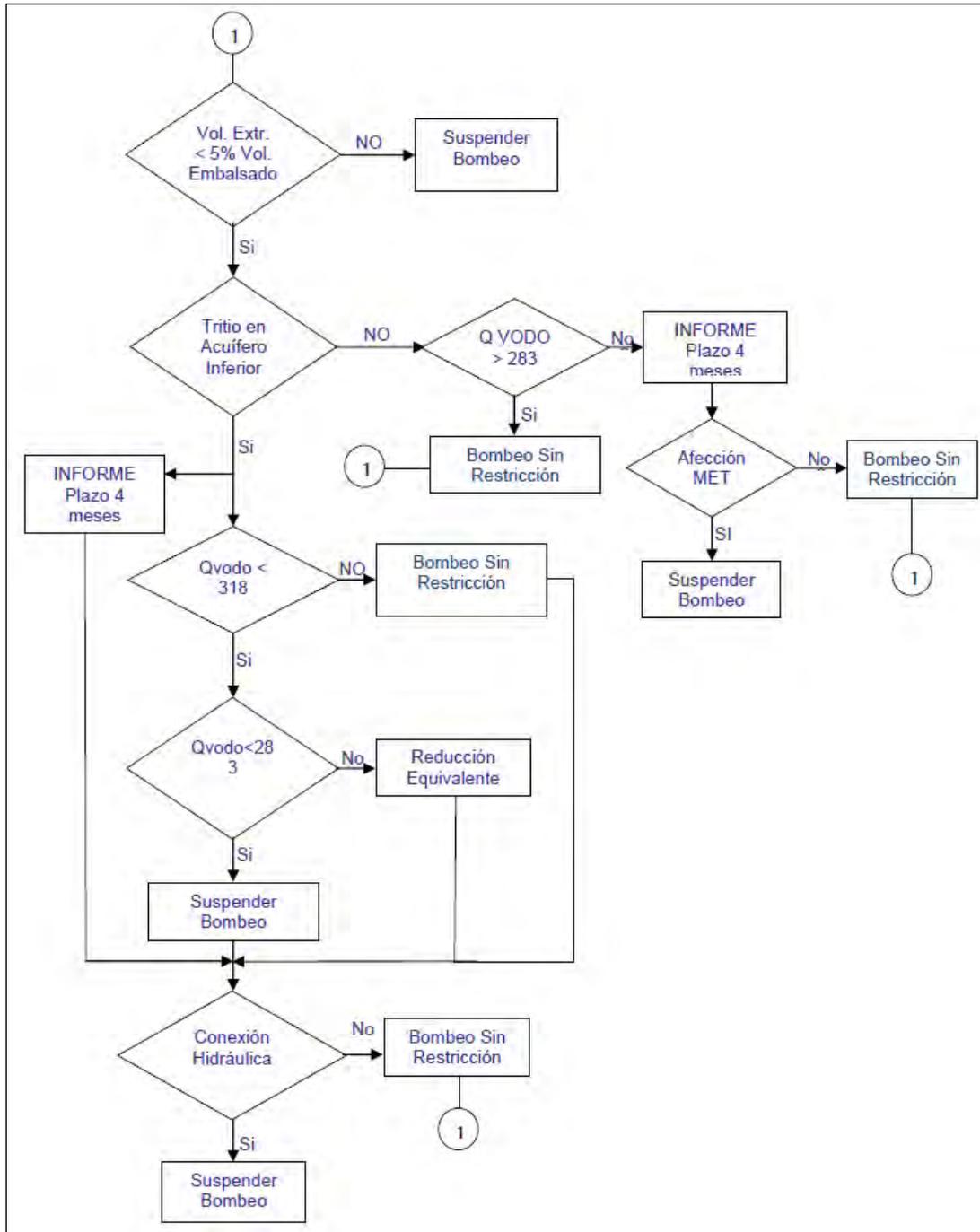


Figura 3: Flujograma de Decisiones PAT Calama: Minera el Tesoro Pozo P-10

Finalmente se establecen los plazos de los informes y evaluaciones del PAT de acuerdo al siguiente detalle:

- Primer año: resultados de monitoreos serán reportados trimestralmente al DARH (DGA, nivel central) y a la oficina regional de la DGA. (resultados consolidados del Programa de Monitoreo Global)
- Al término del primer año, el PAT podrá ser objeto de una evaluación, teniendo en consideración los términos y condiciones establecidos en este PAT, pudiendo sin embargo definirse nuevas variables de control y umbrales.
- Por otro lado, y bajo el entendimiento de que el PAT es un documento dinámico, los umbrales definidos serán actualizados de manera anual, conforme a los resultados de análisis de los monitoreos realizados. Al mismo tiempo se revisará la frecuencia de entrega de Informes de Monitoreo.

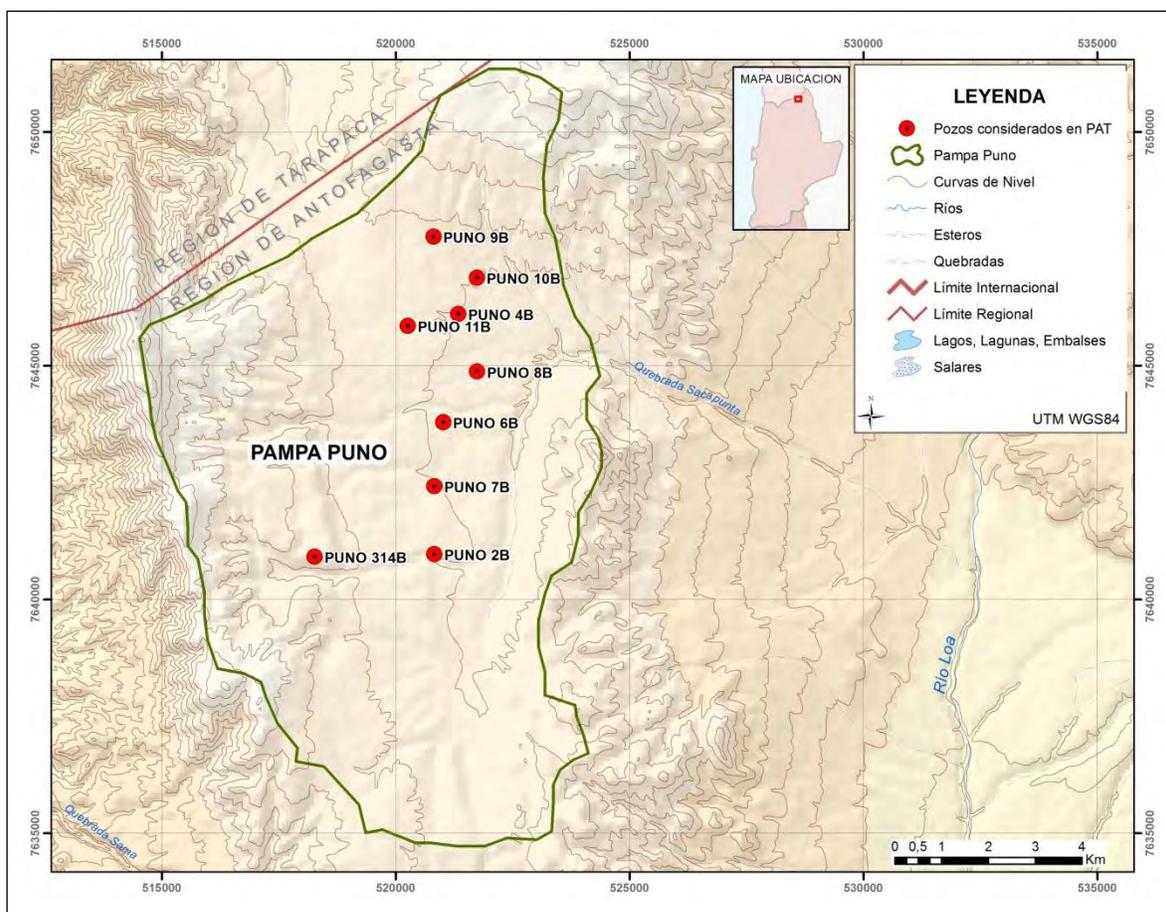
### **3.3.2. Acuífero de Pampa Puno**

De acuerdo a los antecedentes existentes, se señala en el PAT de Pampa Puno (PAT-PP) que este acuífero es posible otorgar derechos de aprovechamiento de agua subterránea, por un caudal de 300 l/s, los cuales podrán ser ejercidos siempre y cuando el ejercicio de los derechos de aprovechamiento de agua subterránea respete las siguientes condiciones:

- No afección al río Loa
- No afección a vega y vertiente Sapunta
- Que para un escenario de explotación de 300 l/s no se afecte negativamente el acuífero.

Por lo tanto, el objetivo del PAT es establecer las variables a controlar y como efectuar el seguimiento de ellas, de manera tal de poder llegar a contar con los elementos que permitan saber si se están respetando las condiciones establecidas en el párrafo anterior y poder formular las medidas de corrección, a través de ajustar la explotación de aguas subterráneas, de modo tal de lograr el respeto de las condiciones antes expuestas.

En la Figura 4 se presentan los pozos de extracción considerados en el PAT Pampa Puno.



**Figura 4: Pozos de extracción considerados en el PAT Pampa Puno**

De acuerdo a lo anterior, los objetivos específicos del PAT son:

- Desarrollo y aplicación de modelo de simulación para la predicción oportuna de los impactos derivados de la extracción de agua subterránea en el acuífero,
- Fijar las condiciones técnicas para el monitoreo del sistema acuífero Pampa Puno y las áreas sensibles asociadas
- Mejorar el conocimiento del sistema y de su respuesta frente a la explotación de agua subterránea,
- Permitir la predicción oportuna de los impactos , de tal modo de prevenir afecciones negativas en el sector tomando oportunamente las medidas necesarias para evitar los impactos no deseados y permitir así el ejercicio de los derechos antes mencionados.

Por otro lado, el PAT consta de 3 fases:

- i. **Monitoreo del comportamiento del acuífero y áreas sensibles:** control de niveles de aguas subterráneas (niveles de pozo), control de extracciones, calidad química de agua subterránea, monitoreo del río Loa, monitoreo de la vega y vertiente Supunta y la calidad química de la vertiente Sapunta.

A su vez, este monitoreo considera dos fases: fase de prebombeo (caracterizar condiciones hidrológicas de la línea base y establecimiento de referencias) y monitoreo en los siguientes años (generación de información continua de cambios en las condiciones hidrológicas, cambios en vega Sapunta, río Loa y el acuífero en sí)

ii. ***Predicción, evaluación de impactos y medidas de corrección:*** Se tiene como herramienta para predecir los impactos de la extracción de agua subterránea sobre el acuífero y las áreas sensibles un el modelo de simulación (Hidrogeología y Modelo de Simulación Pampa Puno, INGEOREC, 2001). 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 300 l/s serían :

- Descenso máximo de 15-50 m del nivel del agua subterránea en el área del campo pozos Pampa Puno.
- Descenso máximo de 5 m del nivel del agua en la zona de Pampa Yocas.
- Disminución del flujo de agua subterránea saliente hacia Pampas Yocas a 91 m/s.
- El radio de influencia por el bombeo no debe superar los 5 km al sur de los pozos 1E, 2B y 3E y al pozo YOC-8 por el norte.

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. Si la evaluación arrojase 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 de pozos del acuífero en cuestión a la suspensión del ejercicio de los derechos concedidos.

iii. ***Revisión y actualización periódica del PAT-PP:*** Durante los tres primeros años, será de carácter anual y de allí en adelante, se establecerá una frecuencia acorde con los resultados de los tres primeros años. La revisión anual se basará al menos en las siguientes técnicas:

- Cotejo y control de la calidad de los datos derivados del monitoreo del comportamiento del acuífero y áreas sensibles.
- Análisis cualitativo de la respuesta observada de los niveles de agua.
- Simulación numérica del comportamiento del acuífero hasta el momento de la revisión.
- Comparación y evaluación de la respuesta observada y simulada del acuífero.
- Evaluación de si existen desviaciones significativas entre las respuestas observadas y simuladas.
- Investigaciones de los posibles refinamientos del modelo numérico.
- Revisión de los impactos estimados.

- Revisión y evaluación de los antecedentes de calidad de las aguas, variación de niveles, de extensión areal de la vega y vertiente Sapunta y de la variación de los caudales del río Loa

En la Tabla 3 se sintetizan las variables y puntos de monitoreo, umbrales establecidos y periodicidad.

VARIABLES A MONITOREAR	PUNTOS DE MONITOREO	UMBRALES	PERIODICIDAD
<b>Niveles aguas subterráneas (m)</b>	Pozo PUNO 1 E	Descenso máximo de 15-50 m en pozos de Pampa Puno	Los tres primeros meses semanalmente, luego mensual
	Pozo PUNO 2 B		
	Pozo PUNO 2 E		
	Pozo PUNO 3 E		
	Pozo PUNO 4 E		
	Pozo PUNO 4 B		
	Pozo PUNO 5 E		
	Pozo PUNO 6 B		
	Pozo PUNO 7 B		
	Pozo PUNO 8 B		
	Pozo PUNO 9 B		
	Pozo PUNO 10 E		
	Pozo PUNO 11 E		
	Pozo PUNO 314 B		
Pozo YOC 8	Descenso máximo de 5 m en pozos de Pampa Yocas		
Pozo YOC 9			
Pozo YOC 10			
<b>Extracciones</b> (flujo, volumen total extraído, tiempo de bombeo, caudal instantáneo)	Pozos de producción (sin más información)	Disminución del flujo de agua subterránea saliente hacia Pampa Yocas a 91 L/s	Mensual
<b>Calidad química aguas subterráneas:</b> calcio, bicarbonato, sílice, TDS, magnesio, carbonato, flúor, hierro, sodio, potasio, cloruros, sulfatos, boro, alcalinidad, dureza e Índice de Langelier. Además se medirá temperatura, Ph y conductividad eléctrica.	Pozo PUNO 2B	Sin información	Trimestral. Se debe incluir el diagrama de Stiff en el reporte anual.
	Pozo PUNO 4B		
	Pozo PUNO 6B		
	Pozo PUNO 7B		
	Pozo PUNO 8B		
	Pozo PUNO 9B		
	Pozo PUNO 10E		
	Pozo PUNO 11E		
Pozo PUNO 314 B			

VARIABLES A MONITOREAR	PUNTOS DE MONITOREO	UMBRALES	PERIODICIDAD
<b>Caudal y nivel de aguas superficiales</b>	Caudal en 17 puntos del río Río Loa (coordenadas en PAT). Nivel en pozas del sector de la vega y vertiente Sapunta.	Sin información	Caudal Mensual. Niveles sin información.
<b>Avance y/o retroceso estacional natural de vegas</b> (incluye vegetación)	Vega Sapunta	Sin información	Sin información
<b>Calidad química aguas vertientes:</b> Ph, temperatura, conductividad eléctrica, total de sólidos disueltos, carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, calcio, magnesio, sodio, potasio, arsénico, boro, hierro, sílice, fluor, nitratos.	Pozas vega Sapunta	Sin información	Trimestral

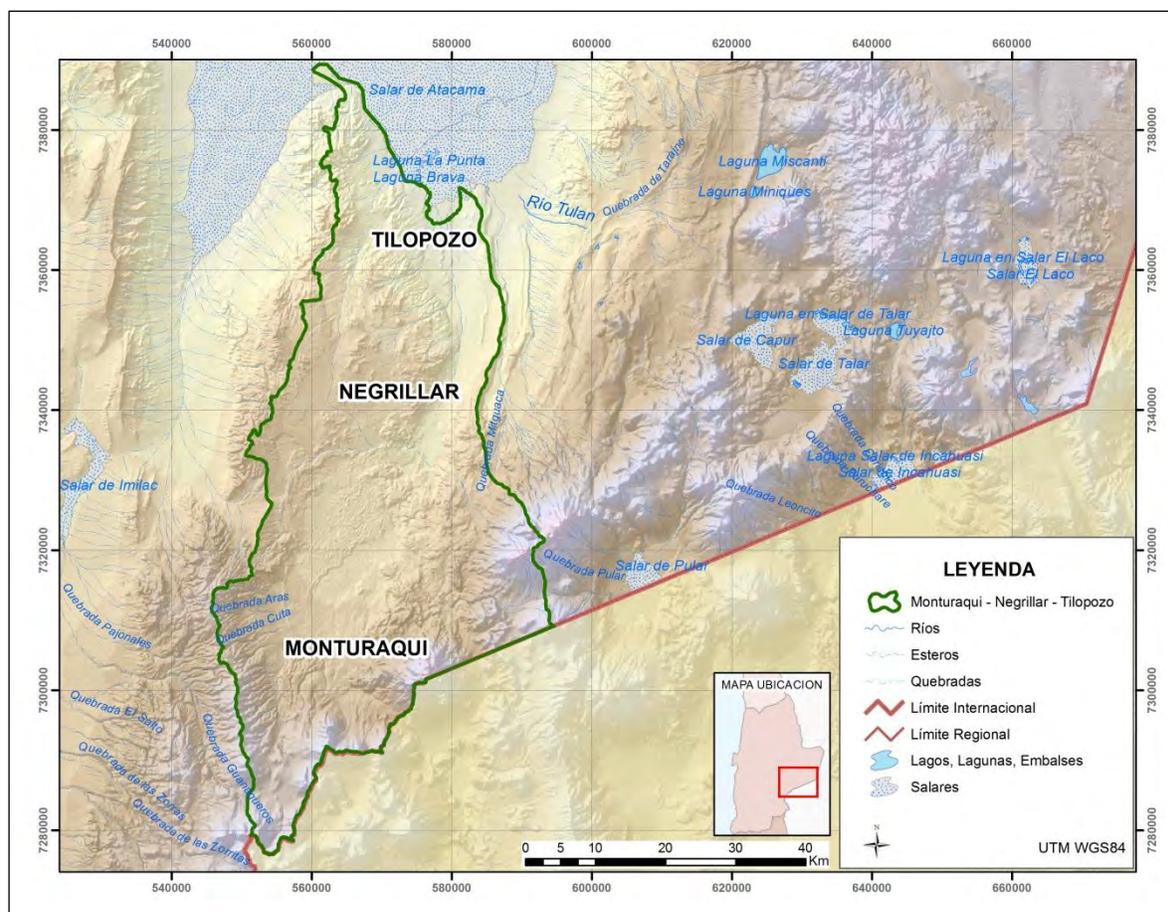
**Tabla 3: Síntesis de variables, puntos de monitoreo, umbrales y periodicidad PAT Pampa Puno**

Como se mencionó, los resultados 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.

### 3.3.3. Acuífero de Monturaqui - Negrillar –Tilopozo

El acuífero de Monturaqui-Negrillar-Tilopozo (MNT) se localiza en la parte sur del salar de Atacama. La evaluación de los posibles efectos de la extracción de agua del sistema MNT (EIA, 1997), mostró que una disminución de 25 cm del nivel de agua de los humedales no produciría ningún impacto en la flora y fauna del lugar. Según modelos hidrológicos, se tiene una disminución de un 6% del flujo hacia Tilopozo. Además se aceptó una extracción máxima del acuífero de 1.800 L/s.

En la Figura 5, se presenta la zona donde se establece el PAT-MNT.



**Figura 5: Zona donde se establece el PAT Monturaqui-Negrillar-Tilopozo**

Es importante señalar que este PAT corresponde al ejercicio de los derechos otorgados sobre el sector Tilopozo y que al momento del establecimiento del PAT ya existe extracción de agua por Minera Escondida Limitada desde un campo de pozos en el sector Monturaqui y por la Compañía Minera Zaldivar, desde un campo de pozos en el sector Negrillar. A diciembre de 2000, el volumen explotado en el sector Monturaqui es de 25,7 Mm<sup>3</sup> y en el sector Negrillar es de 21,8 Mm<sup>3</sup>.

De acuerdo a lo anterior, se han constituidos derechos de aguas subterráneas y se establece que podrán ser utilizados si:

- i. Los impactos generados por el bombeo y el post-bombeo producto de la explotación no generen una disminución más allá de 25 cm en el nivel de agua en el sector Tilopozo.
- ii. La explotación no genere una disminución de más del 6% en el flujo pasante a través del acuífero y que descarga en el sector de Tilopozo.
- iii. No podrá explotarse del acuífero un caudal medio mensual superior a 1.800 L/s.

El PAT MNT tiene como objetivo:

- Fijar las condiciones técnicas del monitoreo necesario en zonas acuíferas y áreas sensibles asociadas.
- Mejorar el conocimiento del sistema y de su respuesta frente a la explotación de agua subterránea.
- Permitir la predicción oportuna de los impactos señalados y de no sobrepasar el nivel de explotación de tal modo de prevenir afecciones negativas en el sector.
- Tomar oportunamente las medidas necesarias para evitar los impactos no deseados y permitir así el ejercicio de los derechos otorgados.

Además, el PAT-MNT cuenta con 4 fases:

- i. **Monitoreo del comportamiento del acuífero y áreas sensibles:** Proveerá antecedentes acerca de los cambios en las condiciones hidrológicas e hidrogeológicas y los cambios en áreas sensibles. Se considera el monitoreo de:
  - Aguas subterráneas con control de niveles, control de extracciones, calidad química, control de cuña salina y control de los conos de depresión.
  - Monitoreo de áreas sensibles: control de laguna y humedales mediante medición de niveles, control areal, calidad química y cualquier otra información necesaria.
- ii. **Predicción y evaluación de impactos:** Dado que se requiere una capacidad predictiva de largo plazo, el método para estimar la reducción de flujo saliente se basa en simulaciones de un modelo de aguas subterráneas desarrollado para el PAT. Basado en ese modelo, se desarrolló un método para predecir la máxima reducción del flujo en Tilopozo, usando solamente los volúmenes totales bombeados para los campos de pozos de Monturaqui y Tilopozo. El uso de este método con los volúmenes totales bombeados actualizados permitirá determinar la máxima reducción del flujo probable en Tilopozo, provocada por las actividades de bombeo a la fecha.
- iii. **Medidas de corrección:** A partir de las predicciones, se hará una evaluación con el objeto de respetar las condiciones fijadas en las resoluciones que otorgan los derechos. Si la evaluación arrojase 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 de pozos del acuífero en cuestión a la suspensión del ejercicio de los derechos concedidos.
- iv. **Revisión y actualización periódica del PAT-MNT:** Durante los tres primeros años, será de carácter anual y de allí en adelante, se establecerá una frecuencia acorde con los resultados de los tres primeros años. La revisión anual se basará al menos en las siguientes técnicas:

- Cotejo y control de la calidad de los datos derivados del monitoreo del comportamiento del acuífero y áreas sensibles.
- Análisis cualitativo de la respuesta observada de los niveles de agua.
- Simulación numérica del comportamiento del acuífero hasta el momento de la revisión.
- Comparación y evaluación de la respuesta observada y simulada del acuífero.
- Evaluación de si existen desviaciones significativas entre las respuestas observadas y simuladas.
- Investigaciones de los posibles refinamientos del modelo numérico.
- Revisión de los impactos estimados.
- Revisión de la metodología de evaluación de impactos.
- Estimaciones de los COD, a partir de los datos de monitoreo y por consiguiente estimación más precisa del coeficiente de almacenamiento.
- Revisión y evaluación de los antecedentes de calidad de agua, control de cuña salina, variación de niveles y extensión areal de lagunas y humedales.

En la Tabla 4 se sintetizan las variables y puntos de monitoreo, umbrales establecidos y periodicidad.

VARIABLES A MONITOREAR	PUNTOS DE MONITOREO	UMBRALES	PERIODICIDAD
<b>Niveles aguas subterráneas</b> (cm)	Figura 2 del PAT (sin más información)	Disminución de hasta 25 cm en sector Tilopozo.	Pozos de explotación registro continuo. Pozos de observación mensual.
<b>Extracciones</b> (flujo total, tiempo de bombeo, caudal instantáneo)	Pozos de bombeo	Reducción del flujo desde el acuífero hasta Tilopozo de hasta un 6 %. Explotación max del acuífero de 1800 L/s.	Registro Mensual que incluye caudal medio diario.
<b>Calidad química aguas subterráneas:</b> calcio, bicarbonato, sílice, TDS, magnesio, carbonato, flúor, sodio, potasio, cloruros, sulfatos, boro, alcalinidad, dureza e Índice de Langelier. Además se realizará un balance iónico, un diagrama de Stiff, y se medirá temperatura, Ph y conductividad eléctrica.	Sin información	Sin información	Trimestral. Durante los 3 primeros años, de todos los pozos, posteriormente, solo de la red de calidad de aguas establecida. El diagrama de Stiff se debe presetar anualmente.
<b>Cuña salina</b> (nivel dinámico e interfase salina)	TP-1	Sin información	Mensual
	TP-2		
	TP-3		
<b>Conos de depresión</b>	Puntos expuestos en el Anexo A del PAT	Sin información	Sin información
<b>Niveles lagunas y humedales</b> (cm)	Laguna Brava	Disminución de hasta 25 cm.	Mensual (en 7 puntos de control, cuyas coordenadas se exponen en la página 7 del PAT)
	Laguna La Punta		
	Vertiente Tilopozo		
<b>Área de lagunas y vegas</b>	Laguna Brava	Sin información	Estacional. Imágenes Landsat, semestral.
	Laguna La Punta		
	Vega de Tilopozo		
	Otros humedales o cuerpos de agua		
<b>Calidad química aguas superficiales:</b> calcio, Ph, bicarbonatos, sílice, TDS, magnesio, carbonato, flúor, sodio, potaseio, cloruros, sulfatos, nitratos, boro, alcalinidad, dureza e índice de Langelier. Además, se deberá realizar un balance iónico, diagrama de Stiff, medir temperatura, Ph y conductividad eléctrica.	Sin información	Sin información	Trimestral. Se debe incluir el diagrama de Stiff en el reporte anual.

**Tabla 4: Síntesis de variables, puntos de monitoreo, umbrales y periodicidad PAT Monturaqui-Negrillar-Tilopozo**

### **3.3.4. Acuífero de Elvira**

En la cuenca de Elvira, existían, a mayo de 2003, solicitudes de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas por un caudal total de 474,17 l/s, de los cuales se encontraban constituidos 60,17 l/s.

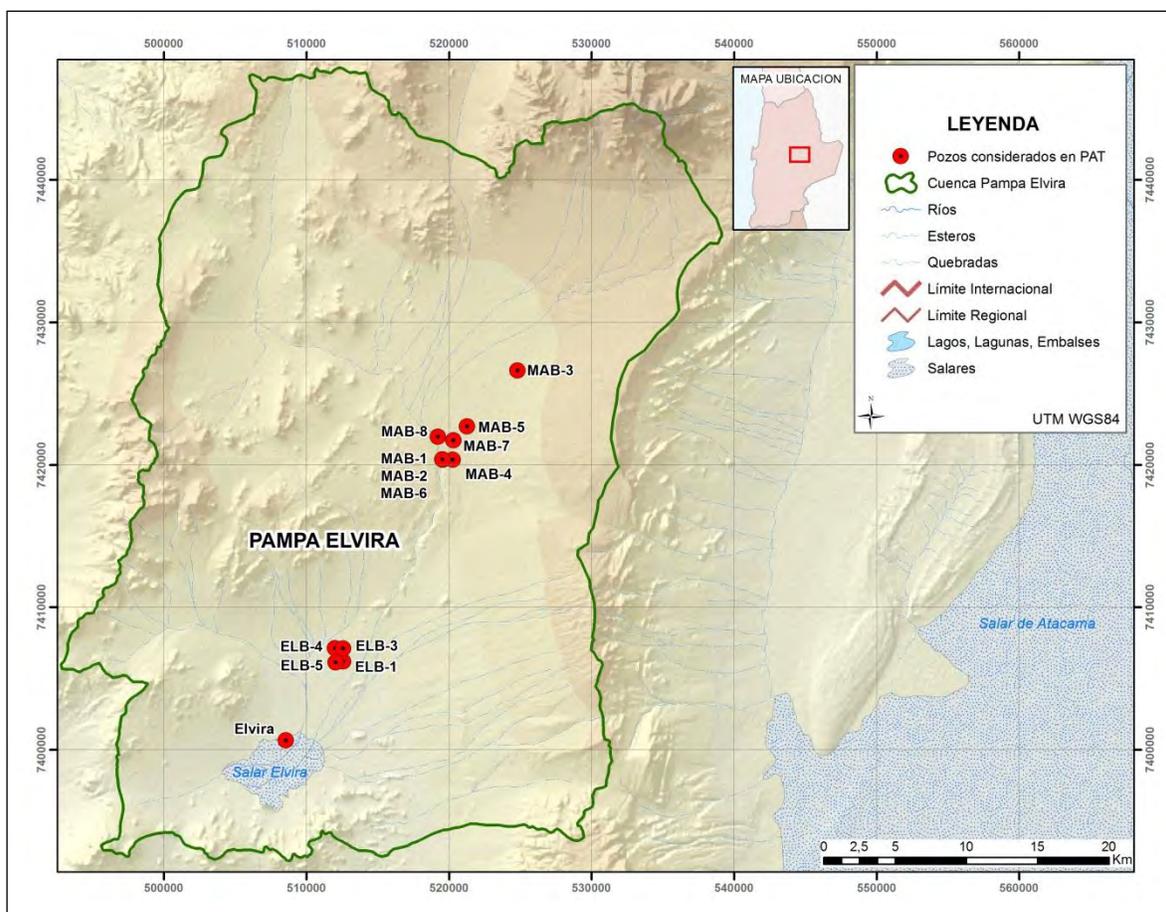
De acuerdo al Estudio de Impacto Ambiental Proyecto Gaby, Codelco Chile, a los análisis hidrológicos y la modelación de aguas subterráneas asociados, se concluye que la explotación del acuífero de Elvira por los caudales solicitados, conlleva una disminución de los volúmenes de agua subterránea embalsados. Considerando las dimensiones del acuífero y el conocimiento hidrogeológico que se tiene de él, se considera aceptable una disminución del 5% del volumen embalsado.

Por lo tanto, en el acuífero de Elvira se otorgarán derechos de aprovechamiento de aguas sin menoscabar derechos de terceros sujetos a las siguientes condiciones:

- Que la explotación de los pozos no afecte negativamente al acuífero produciendo una disminución más allá de un 5% del volumen embalsado.
- Que al cabo de 50 años de explotación del acuífero, los descensos máximos de los niveles en el sector de Mariposas y de Elvira no sean superiores a 23 m y 16 m respectivamente.
- El cumplimiento de lo establecido en un "Plan de alerta temprana para el **acuífero de Elvira**" (PAT-ELVIRA).

Así, se establece que el PAT-ELVIRA tiene como objetivo establecer las variables a controlar y cómo efectuar el seguimiento de ellas de manera tal de llegar a contar con los elementos que permitan saber si se están respetando las condiciones establecidas en el párrafo anterior y poder formular las medidas de corrección, a través de ajustar la explotación de aguas subterráneas.

En la Figura 6 se presentan los pozos de extracción considerados en el PAT-Elvira.



**Figura 6: Pozos de explotación considerados en PAT Elvira**

De acuerdo a lo anterior, los objetivos específicos del PAT-ELVIRA son los siguientes:

- Aplicación de un modelo de simulación para la predicción oportuna de los impactos derivados de la extracción de agua subterránea en el acuífero, permitiendo así el ejercicio de los derechos.
- Fijar las condiciones técnicas para el monitoreo del acuífero de Elvira.
- Mejorar el conocimiento del sistema y de su respuesta frente a la explotación de agua subterránea.

El PAT-ELVIRA incluye el control de niveles, calidad química y control de extracciones de aguas subterráneas y consta de las siguientes 3 fases:

- i. **Monitoreo del comportamiento del acuífero:** Proveerá antecedentes acerca de los cambios en las condiciones hidrológicas e hidrogeológicas. El análisis de los datos obtenidos de este monitoreo de largo plazo, permitirá conocer el nivel de explotación de la cuenca en el tiempo, mejorar la estimación de los parámetros hidráulicos y predicciones de descenso de niveles en el acuífero, conocer el porcentaje de disminución del volumen embalsado, y la sustentabilidad de las extracciones en el largo plazo. Las variables o parámetros a monitorear son:

- Control de niveles de las aguas subterráneas.
- Control de extracciones.
- Calidad química de las aguas subterráneas.

A su vez, este monitoreo considera dos fases: fase de prebombeo (caracterizar condiciones hidrológicas de la línea base y establecimiento de referencias para el control del manejo de los potenciales impactos sobre el acuífero) y fase de explotación monitoreo en los siguientes años (generación de información continua de cambios en las condiciones hidrológicas e hidrogeológicas del acuífero. Esto mejorará la estimación de los parámetros hidráulicos del acuífero, mejorará las estimaciones de descenso de niveles y establecerá la sustentabilidad de los campos de pozos en el largo plazo).

- ii. ***Predicción, Evaluación de Impactos y Medidas de Corrección:*** Dado que se requiere de una capacidad predictiva de largo plazo, el método para estimar el descenso de niveles y volúmenes almacenados en los acuíferos se basa en simulaciones de modelos de aguas subterráneas. De acuerdo a estos modelos de simulación, construidos, calibrados y operados con los antecedentes disponibles a la fecha de diseño del plan, los impactos sobre los acuíferos a controlar serán:

- Descensos máximos de niveles después de 50 años de explotación, los cuales no deben superar los 23 m y 16 m en el sector de Mariposas y Elvira respectivamente.
- Que la explotación del acuífero de Elvira no involucre una extracción superior al 5% del volumen embalsado.

Eventualmente, mediante las revisiones y actualizaciones del PAT-ELVIRA, los impactos podrían ser distintos a los inicialmente determinados por el modelo de simulación, por lo cual se hará una evaluación con el objeto de velar por las condiciones fijadas en las resoluciones que constituyan los derechos. Si la evaluación arroja que se están sobrepasando algunas de estas condiciones, entonces la Dirección General de Aguas 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 los campos de pozos a la suspensión del ejercicio de los derechos concedidos.

- iii. ***Revisión y actualización periódica del PAT-ELVIRA:*** Se realizará una revisión exhaustiva de los datos de monitoreo en forma periódica. Durante los tres primeros años, será de carácter anual y, de allí en adelante, se establecerá una frecuencia acorde con los resultados obtenidos en los 3 primeros años. La revisión anual se basará al menos en las siguientes técnicas:

- Cotejo y control de la calidad de los datos derivados del monitoreo del comportamiento del acuífero.
- Análisis cualitativo de la respuesta observada de los niveles de agua.

- Simulación numérica del comportamiento del acuífero hasta el momento de la revisión.
- Comparación y evaluación de la respuesta observada y simulada del acuífero.
- Evaluación de desviaciones significativas entre las respuestas observadas y simuladas, si existiesen.
- Investigaciones de los posibles refinamientos de los modelos numéricos.
- Revisión de los impactos estimados.
- Revisión y evaluación de los antecedentes de calidad de las aguas, y variación de niveles.

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.

En la Tabla 5 se sintetizan las variables y puntos de monitoreo, umbrales establecidos y periodicidad.

VARIABLES A MONITOREAR	PUNTOS DE MONITOREO	UMBRALES	PERIODICIDAD	
<b>Niveles aguas subterráneas</b> (cm)	Prebombeo	Descensos máximos, después de 50 años, no superiores a 23 y 16 m en el sector Mariposas y Elvira, respectivamente.	Semanal, durante los tres primeros meses, luego, mensual.	
				ARMA-1
				ARMA-6
				MAE-5
				MAB-6
				MAB-7
				AREL-2
				AREL-1
				ELB-1
				ELB-3
	ELB-5			
	ELE-3			
	Explotación			ARMA-1
				ARMA-6
				ARMA9
				MAE-2
				MAE-5
				MAB-2
				MAB-5
				MAB-6
MAB-7				
MAB-8				
AREL-2				
AREL-1				
ELB-1				
ELB-3				
ELB-4				
ELB-5				
ELE-3				
Const. futura	MAB-9, MAB-10, MAB-11, ELB-6, ELB-7			
<b>Extracciones</b> (flujo total, tiempo de bombeo, caudal instantáneo)	Pozos de bombeo (sin más información)	Extracción del acuífero no superior al 5% del vol embalsado	Mensual	
<b>Calidad química aguas subterráneas:</b> calcio, bicarbonato, sílice, TDS, magnesio, carbonato, flúor, sodio, potasio, cloruros, sulfatos, boro, alcalinidad, dureza e Índice de Langelier. Además se realizará un balance iónico, un diagrama de Stiff, y se medirá temperatura, Ph y conductividad eléctrica.	MAB-7	Sin información	Trimestral. Se debe incluir el diagrama de Stiff en el reporte anual.	
	AREL-2			
	ELB-5			

**Tabla 5: Síntesis de variables, puntos de monitoreo, umbrales y periodicidad PAT Elvira**

### **3.3.5. Acuífero Los Morros**

En la cuenca del acuífero los Morros existían, al año 2003, dos solicitudes de aprovechamiento derechos de aguas subterráneas por un total de 229 L/s.

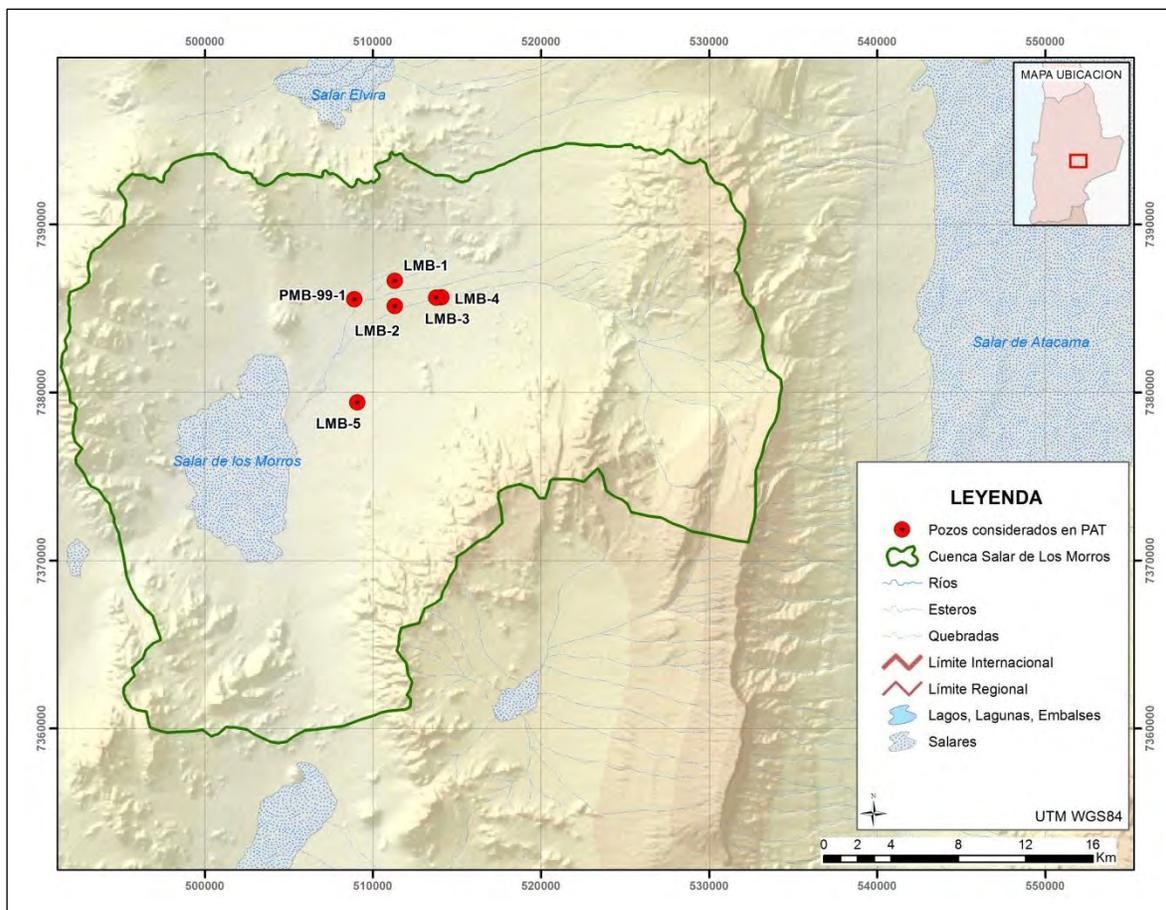
De acuerdo al Estudio de Impacto Ambiental Proyecto Gaby, Codelco Chile, a los análisis hidrológicos y la modelación de aguas subterráneas asociados, se concluye que la explotación del acuífero de Los Morros por los caudales solicitados, conlleva una disminución de los volúmenes de agua subterránea embalsados. Considerando las dimensiones del acuífero y el conocimiento hidrogeológico que se tiene de él, se considera aceptable una disminución del 5% del volumen embalsado.

Por lo tanto, en el acuífero de Los Morros se otorgarán derechos de aprovechamiento de aguas sin menoscabar derechos de terceros sujetos a las siguientes condiciones:

- Que la explotación de los pozos no afecte negativamente al acuífero produciendo una disminución más allá de un 5% del volumen embalsado.
- Que al cabo de 50 años de explotación, los descensos máximos de los niveles en el acuífero no sean superiores a m.
- **El cumplimiento de lo establecido en un “Plan de alerta temprana para el acuífero de Los Morros” (PAT-LOS MORROS).**

Así, se establece que el PAT-LOS MORROS tiene como objetivo establecer las variables a controlar y cómo efectuar el seguimiento de ellas de manera tal de llegar a contar con los elementos que permitan saber si se están respetando las condiciones establecidas anteriormente, y poder así formular las medidas de corrección necesarias.

En la Figura 7 se presentan los pozos de extracción considerados en el PAT-Los Morros.



**Figura 7: Pozos de extracción considerados en PAT Los Morros**

De acuerdo a lo anterior, los objetivos del PAT-LOS MORROS son los siguientes:

- Desarrollo y aplicación de un modelo de simulación para la predicción oportuna de los impactos derivados de la extracción de agua subterránea en el acuífero, permitiendo así el ejercicio de los derechos.
- Fijar las condiciones técnicas para el monitoreo del acuífero de Los Morros.
- Mejorar el conocimiento del sistema y de su respuesta frente a la explotación de agua subterránea.

El PAT-LOS MORROS incluye el control de niveles, calidad química y control de extracciones de aguas subterráneas y consta de las siguientes 3 fases:

- i. **Monitoreo del comportamiento del acuífero:** Proveerá antecedentes acerca de los cambios en las condiciones hidrológicas e hidrogeológicas. El análisis de los datos obtenidos de este monitoreo de largo plazo, permitirá conocer el nivel de explotación de la cuenca en el tiempo, mejorar la estimación de los parámetros hidráulicos y predicciones de descenso de niveles en el acuífero, conocer el porcentaje de disminución del volumen embalsado, y la sustentabilidad de las extracciones en el largo plazo. Las variables o parámetros a monitorear son:

- Control de niveles de las aguas subterráneas.
- Control de extracciones.
- Calidad química de las aguas subterráneas.

A su vez, este monitoreo considera dos fases: fase de prebombeo (caracterizar condiciones hidrológicas de la línea base y establecimiento de referencias para el control del manejo de los potenciales impactos sobre el acuífero) y fase de monitoreo en los siguientes años (generación de información continua de cambios en las condiciones hidrológicas e hidrogeológicas del acuífero. Esto mejorará la estimación de los parámetros hidráulicos del acuífero, mejorará las estimaciones de descenso de niveles y establecerá la sustentabilidad de los campos de pozos en el largo plazo).

- ii. ***Predicción, Evaluación de Impactos y Medidas de Corrección:*** Dado que se requiere de una capacidad predictiva de largo plazo, el método para estimar el descenso de niveles y volúmenes almacenados en los acuíferos se basa en simulaciones de modelos de aguas subterráneas. De acuerdo a estos modelos de simulación, contruidos, calibrados y operados con los antecedentes disponibles a la fecha de diseño del plan, los impactos sobre los acuíferos a controlar serán:

- Descensos máximos de niveles después de 50 años de explotación, los cuales no deben superar los 13 m.
- Que la explotación del acuífero de Los Morros no involucre una extracción superior al 5% del volumen embalsado.

Eventualmente, mediante las revisiones y actualizaciones del PAT-LOS MORROS, los impactos podrían ser distintos a los inicialmente determinados por el modelo de simulación, por lo cual se hará una evaluación con el objeto de velar por las condiciones fijadas en las resoluciones que constituyan los derechos. Si la evaluación arrojase que se están sobrepasando algunas de estas condiciones, entonces la Dirección General de Aguas 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 los campos de pozos a la suspensión del ejercicio de los derechos concedidos.

- iii. ***Revisión y actualización periódica del PAT-LOS MORROS:*** Se realizará una revisión exhaustiva de los datos de monitoreo en forma periódica. Durante los tres primeros años, será de carácter anual y, de allí en adelante, se establecerá una frecuencia acorde con los resultados obtenidos en los 3 primeros años. La revisión anual se basará al menos en las siguientes técnicas:

- Cotejo y control de la calidad de los datos derivados del monitoreo del comportamiento del acuífero.
- Análisis cualitativo de la respuesta observada de los niveles de agua.

- Simulación numérica del comportamiento del acuífero hasta el momento de la revisión.
- Comparación y evaluación de la respuesta observada y simulada del acuífero.
- Evaluación de desviaciones significativas entre las respuestas observadas y simuladas, si existiesen.
- Investigaciones de los posibles refinamientos de los modelos numéricos.
- Revisión de los impactos estimados.
- Revisión y evaluación de los antecedentes de calidad de las aguas, y variación de niveles.

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.

En la Tabla 6 se sintetizan las variables y puntos de monitoreo, umbrales establecidos y periodicidad.

VARIABLES A MONITOREAR	PUNTOS DE MONITOREO	UMBRALES	PERIODICIDAD	
<b>Niveles aguas subterráneas</b> (cm)	Prebombeo	RHE 99-1	Descensos máximos, después de 50 años, no superiores a 13 m.	Semanal, durante los tres primeros meses, luego, mensual.
		RHE 99-2		
		PBM 99-1		
		LMB-2		
		LMB-4		
		LMB-5		
	Explotación	RHE 99-1		
		RHE 99-2		
		RHE 99-4		
		PBM 99-1		
		LME-1		
		LME-2		
		LMB-1		
		LMB-2		
LMB-3				
LMB-4				
LMB-5				
<b>Extracciones</b> (flujo total, tiempo de bombeo, caudal instantáneo)	Pozos de bombeo (sin más información)	Extracción del acuífero no superior al 5% del volumen embalsado	Mensual	
<b>Calidad química aguas subterráneas:</b> calcio, bicarbonato, sílice, TDS, magnesio, carbonato, flúor, sodio, potasio, cloruros, sulfatos, boro, alcalinidad, dureza e Índice de Langelier. Además se realizará un balance iónico, un diagrama de Stiff, y se medirá temperatura, Ph y conductividad eléctrica.	LMB-2	Sin información	Trimestral. Se debe incluir el diagrama de Stiff en el reporte anual.	
	LMB-5			

**Tabla 6: Síntesis de variables, puntos de monitoreo, umbrales y periodicidad PAT Los Morros**

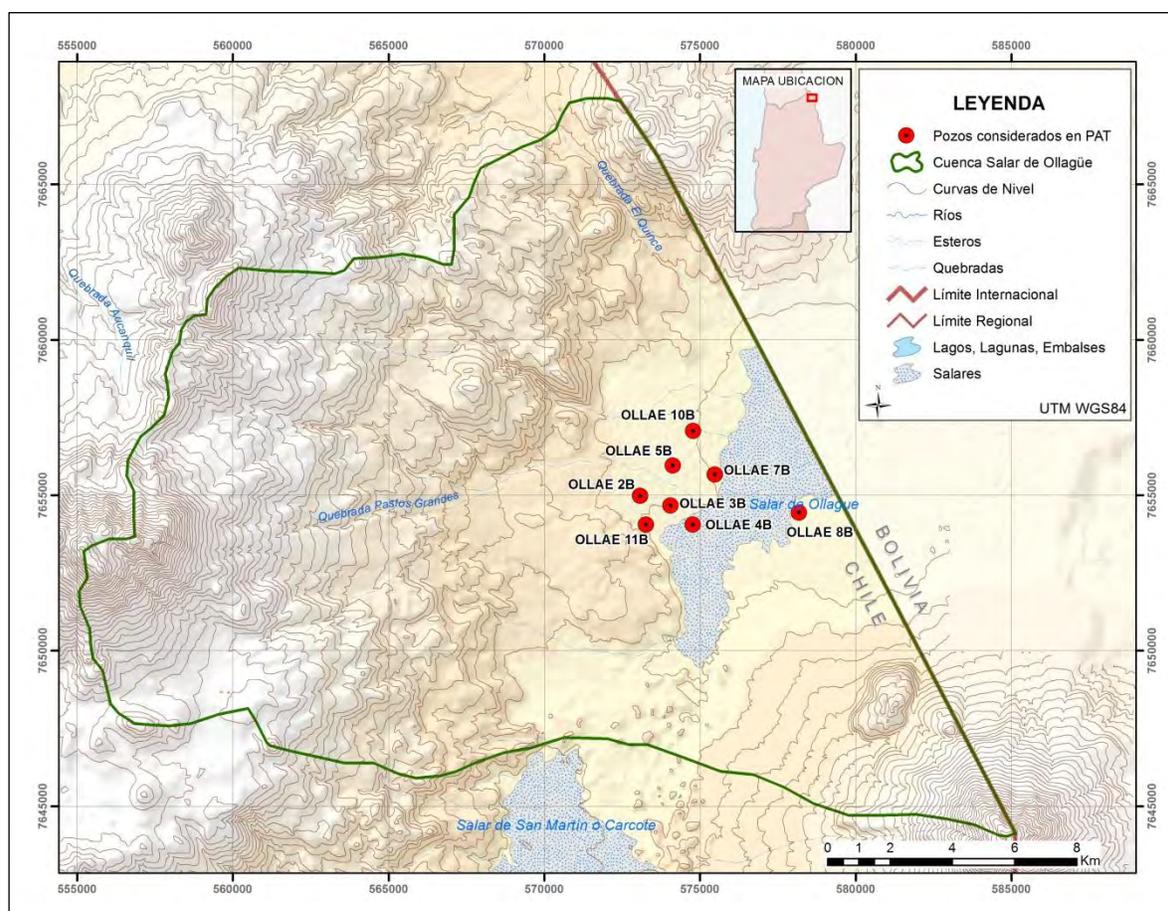
### 3.3.6. Acuífero del Salar de Ollagüe

De acuerdo a los antecedentes existentes, se señala en el PAT del Salar de Ollagüe (PAT-OLLAGÜE) que en este salar es posible otorgar derechos de aprovechamiento de agua subterránea, por un caudal de 400 l/s, los cuales pueden ser ejercidos siempre y cuando el ejercicio de los derechos de aprovechamiento de agua subterránea respete las siguientes condiciones:

- No afectar a vertientes y vegas de Amincha y Del Inca
- No afectar al acuífero, en el sentido de evitar un descenso sostenido en el tiempo de los niveles de agua
- Respetar y realizar un seguimiento del "Plan de Alerta Temprana para el Acuífero del Salar de Ollagüe".

Por lo tanto, el objetivo del PAT-OLLAGÜE es establecer las variables a controlar y como efectuar el seguimiento de ellas, de manera tal de poder llegar a contar con los elementos que permitan saber si se están respetando las condiciones establecidas en el párrafo anterior y poder formular las medidas de corrección, a través de ajustar la explotación de aguas subterráneas, de modo tal de lograr el respeto de las condiciones antes expuestas.

En la Figura 8 se presentan los pozos de extracción considerados en el PAT-Ollagüe.



**Figura 8: Pozos de extracción considerados en PAT Ollagüe**

De acuerdo a lo anterior, los objetivos específicos del PAT son:

- Desarrollo y aplicación de modelo de simulación para la predicción oportuna de los impactos derivados de la extracción de agua subterránea en el acuífero
- Fijar las condiciones técnicas para el monitoreo del sistema acuífero Salar de Ollagüe y las áreas sensibles asociadas
- Mejorar el conocimiento del sistema y de su respuesta frente a la explotación de agua subterránea
- Permitir la predicción oportuna de los impactos , de tal modo de prevenir afecciones negativas en el sector tomando oportunamente las medidas

necesarias para evitar los impactos no deseados y permitir así el ejercicio de los derechos antes mencionados.

El PAT consta de 3 fases:

- i. **Monitoreo del comportamiento del acuífero y áreas sensibles:** proveerá antecedentes acerca de los cambios en las condiciones hidrológicas e hidrogeológicas y de los cambios en áreas ambientales sensibles. Considera monitorear niveles de las aguas subterráneas, control de extracciones, calidad química de agua subterránea, monitoreo de vegetación y fauna, control de caudal de vertientes y de la calidad química del agua, y control de la variación areal de vegas.

A su vez, este monitoreo considera dos fases: fase de prebombeo (caracterizar condiciones hidrológicas de la línea base y establecimiento de referencias para el control del manejo de los potenciales impactos sobre el acuífero) y fase de monitoreo en los siguientes años (generación de información continua de cambios en las condiciones hidrológicas e hidrogeológicas del acuífero. Esto mejorará la estimación de los parámetros hidráulicos del acuífero, mejorará las estimaciones de descenso de niveles y establecerá la sustentabilidad de los campos de pozos en el largo plazo).

- iv. **Predicción, evaluación de impactos y medidas de corrección:** Dado que se requiere de una capacidad predictiva de largo plazo, el método para estimar el descenso de niveles y volúmenes almacenados en los acuíferos se basa en simulaciones de modelos de aguas subterráneas. De acuerdo a estos modelos de simulación, contruidos, calibrados y operados con los antecedentes disponibles a la fecha de diseño del plan, los impactos sobre los acuíferos a controlar serán:

- Existen resultados preliminares del modelo de predicción, el cual dice que habrá un descenso máximo de 12-30 m del nivel del agua subterránea en el área del campo pozos del Salar de Ollagüe.
- Disminución del flujo de agua subterránea saliente hacia Bolivia.

Eventualmente, mediante las revisiones y actualizaciones del PAT-OLLAGÜE, los impactos podrían ser distintos a los inicialmente determinados por el modelo de simulación, por lo cual se hará una evaluación con el objeto de velar por las condiciones fijadas en las resoluciones que constituyan los derechos. Si la evaluación arrojase que se están sobrepasando algunas de estas condiciones, entonces la Dirección General de Aguas 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 los campos de pozos a la suspensión del ejercicio de los derechos concedidos.

- v. **Revisión y actualización periódica del PAT-OLLAGÜE:** Se realizará una revisión exhaustiva de los datos de monitoreo en forma periódica. Durante los tres primeros años, será de carácter anual y, de allí en adelante, se establecerá una frecuencia acorde con los resultados obtenidos en los 3 primeros años. La revisión anual se basará al menos en las siguientes técnicas:
- Cotejo y control de la calidad de los datos derivados del monitoreo del comportamiento del acuífero.
  - Análisis cualitativo de la respuesta observada de los niveles de agua.
  - Simulación numérica del comportamiento del acuífero hasta el momento de la revisión.
  - Comparación y evaluación de la respuesta observada y simulada del acuífero.
  - Evaluación de desviaciones significativas entre las respuestas observadas y simuladas, si existiesen.
  - Investigaciones de los posibles refinamientos de los modelos numéricos.
  - Revisión de los impactos estimados.
  - Revisión y evaluación de los antecedentes de calidad de las aguas, y variación de niveles.

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.

En la Tabla 7 se sintetizan las variables y puntos de monitoreo, umbrales establecidos y periodicidad.

VARIABLES A MONITOREAR	PUNTOS DE MONITOREO	UMBRALES	PERIODICIDAD
<b>Niveles aguas subterráneas</b> (cm)	Pozo OLLAE -9	Descensos máximos no superiores a 12 - 30 m.	Semanal, durante los tres primeros meses, luego, mensual.
	Pozo OLLAE -10 B		
	Pozo OLLAE -11 B		
	Pozo OLLAE -2		
	Pozo OLLAE -2B		
	Pozo OLLAE -3B		
	Pozo OLLAE -4		
	Pozo OLLAE -4B		
	Pozo OLLAE -5B		
	Pozo OLLAE -6		
	Pozo OLLAE -7		
	Pozo OLLAE -7B		
	Pozo OLLAE -8		
	Pozo OLLAE -8B		
<b>Extracciones</b> (flujo total, tiempo de bombeo, caudal instantáneo)	Pozos de bombeo (sin más info)	Sin información	Mensual
<b>Calidad química aguas subterráneas:</b> calcio, bicarbonato, sílice, TDS, magnesio, carbonato, flúor, sodio, potasio, cloruros, sulfatos, boro, alcalinidad, dureza e Índice de Langelier. Además se realizará un balance iónico, un diagrama de Stiff, y se medirá temperatura, Ph y conductividad eléctrica.	Pozo OLLAE-2B	Sin información	Trimestral. Se debe incluir el diagrama de Stiff en el reporte anual.
	Pozo OLLAE-3B		
	Pozo OLLAE-4B		
	Pozo OLLAE-5B		
	Pozo OLLAE-7B		
	Pozo OLLAE-8B		
	Pozo OLLAE-10B		
	Pozo OLLAE-11B		
<b>Vegetación</b>	Unidad vegetacional 7	Sin información	4 campañas/año, hasta el 2do año. Luego se evalúa.
<b>Fauna</b>	Unidad vegetacional 7	Sin información	4 campañas/año, hasta el 2do año. Luego se evalúa.
<b>Caudal aguas superficiales</b>	Amincha Punto V 18	Sin información	Mensual
	Amincha Punto V 20		
	Del Inca. Punto al interior del nacimiento de la quebrada		
<b>Calidad aguas superficiales:</b> Ph, temperatura, conductividad eléctrica, total de sólidos disueltos, carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, calcio, magnesio, sodio, potasio, arsénico, boro, hierro, sílice, fluor y nitratos.	Vertientes Amincha y del inca (no hay más info)	Sin información	Estacional (cada tres meses)

**Tabla 7: Síntesis de variables, puntos de monitoreo, umbrales y periodicidad PAT Salar de Ollagüe**

### **3.4.Estado Actual de los PATs Vigentes**

Dentro del estudio "Diagnóstico Plan Estratégico para la Gestión de los Recursos Hídricos, Región de Antofagasta", se efectuó una revisión de los informes enviados a la DGA por parte del titular del PAT y que estuviesen disponibles tanto en la región como en el Nivel central, de modo de corroborar si la información comprometida en el PAT se presenta, efectivamente, y si los requerimientos son considerados en las extracciones.

#### **3.4.1. Acuífero Calama: Minera el Tesoro Pozo P-10**

Dentro de la información disponible, se tienen los informes PAT trimestrales y anuales de diferentes fechas. Se consideraron, para esta revisión, aquellos posteriores a la fecha de aprobación del PAT (septiembre del 2010). Para el año 2011, se tenían disponibles 2 de los 4 informes trimestrales correspondientes a los periodos de enero – marzo y julio – septiembre. Sin embargo, no se contó con el informe anual, que sí se proporcionó para el año 2008 y 2009. Para el año 2012, se tenía disponible el informe trimestral del periodo enero – marzo.

En síntesis, no fue posible revisar el último informe anual de PAT (2011) donde se debió evaluar y señalar si los umbrales definidos y la frecuencia de los informes cambiarían, situación que ocurre después del primer año de aprobado el PAT.

En consecuencia, se revisó el último informe disponible, de modo de tener la información más actualizada, que corresponde al informe trimestral enero – marzo del 2012. Con ello, se corroboraron los monitoreos comprometidos y el cumplimiento de los requisitos para el ejercicio de los derechos.

De los monitoreos comprometidos, se corroboró que:

- Existen monitoreos de los caudales de vertientes y ríos, así como de los niveles de pozos.
- No se detalla el monitoreo químico de calidad de aguas superficiales, que debiese incluir mediciones de conductividad eléctrica, temperatura, oxígeno disuelto, densidad, balance iónico, entre otros. No se entregan conclusiones sobre lo anterior.
- No se observa monitoreo isotópico de aguas superficiales ni subterráneas en este informes. Sin embargo, se cuentan con estas mediciones para algunos meses del año 2011.
- No hay información sobre monitoreos de vegetación, flora ni fauna de vegas activas.

Respecto a los requisitos para el ejercicio de los derechos, se tiene que:

- No existen umbrales que limiten la disminución de caudales en: los ríos Loa y San Salvador, al menos en el primer año del PAT, las vertientes Likantatay ni La Cascada. Por tanto éstos deben definirse con el tiempo. La vertiente Ojos de

Opache (VODO) en Enaex posee dos umbrales, uno de 283 L/s y otro de 318 L/s, ambos utilizados en el flujograma de decisión expuesto en el PAT. El informe de monitoreo indica que esta última vertiente, en Enaex, promedia 310 L/s, y la Figura 5 del mismo informe, muestra que el caudal aforado ha tenido una disminución gradual desde el año 2000. Respecto a este punto, recomiendan contar con una estación de aforo a un costado del punto actual de medición de la DGA, dada la importancia de la VODO en Enaex en el control de las vertientes, y debido a los problemas que se identificaron con las crecidas del trimestre y a las posibles pérdidas laterales por una compuerta en mal estado que produce alteraciones en las mediciones.

- No existe información respecto a los efectos sobre zonas de vegas activas.
- No hay conclusiones sobre descensos en el tiempo de los niveles de agua subterránea que pudiesen ocasionar una reducción, en 50 años, superior al 5% del volumen almacenado.

### **3.4.2. Acuífero de Pampa Puno**

Actualmente en el acuífero no existen extracciones, sin embargo, en la plataforma electrónica del SEIA se encontró el Informe de PAT Rev. 1 emitido por CODELCO Norte el año 2006, que corresponde a los resultados del monitoreo en la fase de prebombeo. En esta fase, el objetivo es caracterizar las condiciones hidrológicas base, que servirán como referencia para el control posterior de los impactos sobre el acuífero, la vega Sapunta y el Río Loa. Contiene información desde el año 2003 al 2006.

Monitorea los siguientes componentes:

- Niveles freáticos
- Calidad de aguas subterráneas y superficiales en pozas vega Sapunta y en el río Loa
- Caudales en el río Loa
- Niveles de pozos vega Sapunta
- Incluye la carta de ocupación de flora y vegetación de vega Sapunta

Asimismo, se detallan los compromisos ambientales adquiridos al momento de la otorgación de los derechos de aprovechamiento por parte de la DGA.

### **3.4.3. Acuífero de Monturaqui-Negrillar-Tilopozo**

A partir del informe anual N° 11 de Revisión de los Datos de Monitoreo de PAT, del titular Minera Escondida Limitada, se constató que no existen impedimentos para la utilización de los derechos concedidos, puesto que:

- No se han observado descensos más allá de 25 cm en el nivel de agua de Tilopozo.
- Se observa una reducción máxima del flujo pasante de 4.05%, inferior al 6%, máximo solicitado.

- El caudal de bombeo total ha sido inferior a 1.800 L/s, máximo permitido.

Respecto a las fases del PAT, se resume que las variables de comportamiento del acuífero monitoreadas se desarrollan conforme al marco previsto. Además, no se han identificado efectos en la zona sensible. En relación a la predicción y evaluación de impactos, se observa que la respuesta del acuífero, producto de la extracción, mantiene la tendencia de años previos.

Además, se comenta que el modelo aprobado en el 2001 no está reproduciendo fielmente el comportamiento del acuífero, es por ello que, luego de 11 años de implementación del PAT, se considera necesario refinar el modelo numérico. Se implementarán refinamientos a parámetros tales como el coeficiente de almacenamiento y la recarga. En la Tabla 8 se muestra los volúmenes de extracción reales y estimados para el acuífero, en tanto la Tabla 9 expone el volumen discrepante<sup>1</sup> entre lo estimado y extraído, los valores negativos indican que la estimación para ese año fue mayor a lo que se extrajo.

Cabe señalar que el informe menciona que la carencia de antecedentes completos de las extracciones de la Sociedad Chilena del Litio (SCL), que extrae en Tilopozo, pueden afectar las proyecciones efectuadas. Igualmente, es importante destacar que el informe incluye los datos proporcionado por la Compañía Minera Zaldívar, que extrae en Negrillar.

AÑO	MONTURAQUI (M <sup>3</sup> )		NEGRILLAR (M <sup>3</sup> )	
	ESTIMADO	EXTRAÍDO	ESTIMADO	EXTRAÍDO
<b>2002</b>	79.276.059	75.111.957	35.695.581	34.993.073
<b>2003</b>	119.262.357	105.279.814	39.723.455	39.120.993
<b>2004</b>	149.430.214	155.114.040	43.220.673	43.677.517
<b>2005</b>	199.264.440	196.901.804	48.092.557	48.049.804
<b>2006</b>	239.475.404	238.851.495	52.622.524	53.559.599
<b>2007</b>	283.001.895	280.455.736	58.132.319	58.877.146
<b>2008</b>	324.606.136	324.332.900	63.607.546	64.322.399
<b>2009</b>	368.483.300	366.599.847	69.683.519	70.365.490
<b>2010</b>	410.750.247	405.494.089	76.672.690	75.964.697

**Tabla 8: Volúmenes de extracción reales y estimados, Acuífero Monturaqui-Negrillar-Tilopozo**

---

<sup>1</sup> Los valores de discrepancia se calcularon como el volumen extraído menos el estimado.

<b>AÑO</b>	<b>MONTURAQUI (M<sup>3</sup>)</b>	<b>NEGRILLAR (M<sup>3</sup>)</b>
<b>2002</b>	-4.164.102	-702.508
<b>2003</b>	-13.982.543	-602.462
<b>2004</b>	5.683.826	456.844
<b>2005</b>	-2.362.636	-42.753
<b>2006</b>	-623.909	937.075
<b>2007</b>	-2.546.159	744.827
<b>2008</b>	-273.236	714.853
<b>2009</b>	-1.883.453	681.971
<b>2010</b>	-5.256.158	-707.993

**Tabla 9: Discrepancia entre volúmenes estimados y extraídos, Acuífero Monturaqui-Negrillar-Tilopozo**

#### **3.4.4. Acuífero de Elvira**

Se revisó el último informe anual de monitoreo de niveles e hidroquímico del año 2011 de Minera Gaby, el que se efectuó tanto para el acuífero Elvira como para el acuífero Los Morros.

Respecto al cumplimiento de lo establecido en el PAT del Acuífero Elvira (PAT-ELVIRA), se tiene que:

- Monitoreo del comportamiento del acuífero:
  - Existen mediciones de niveles históricos de acuíferos, y sus variaciones a la fecha.
  - Existen mediciones de las extracciones, y se resume que se cumplen las cuotas para cada pozo, tanto mensual como anual, estipulada por la DGA y el PAT.
  - Existe control químico de las variables comprometidas para los pozos obligatorios (MAB-7, AREL-2 y ELB-5), entre otros.
- Predicción, Evaluación de Impactos y Medidas de Corrección: no se detalla el modelo de simulación, predicciones ni se evalúan impactos.
- Revisión y actualización periódica del PAT: existen informes de otros años, los que se van completando.

Respecto al requisito de que la explotación de los pozos no debe afectar negativamente al acuífero produciendo una disminución más allá del 5% del volumen embalsado, no hay comentarios. Por otra parte, el requerimiento de que al cabo de 50 años de explotación del acuífero, los descensos máximos de nivel en el sector de Mariposas y de Elvira no pueden ser superiores a 23 m y 16 m respectivamente, se concluyen que no hay descensos de esa magnitud.

### **3.4.5. Acuífero Los Morros**

Se revisó el último informe anual de monitoreo de niveles e hidroquímico del año 2011 de Minera Gaby, el que se efectuó tanto para el acuífero Elvira como para el acuífero Los Morros.

Respecto al cumplimiento de lo establecido en el PAT de Los Morros, se tiene que:

- Monitoreo del comportamiento del acuífero:
  - Existen mediciones de niveles históricos de acuíferos, y sus variaciones a la fecha.
  - Existen mediciones de las extracciones, y se resume que se cumplen las cuotas para cada pozo, tanto mensual como anual, estipulada por la DGA y el PAT.
  - Existe control químico de las variables comprometidas para los pozos obligatorios (LMB-2 y LMB-5), entre otros.
- Predicción, Evaluación de Impactos y Medidas de Corrección: no se detalla el modelo de simulación, predicciones ni se evalúan impactos.
- Revisión y actualización periódica del PAT: existen informes de otros años, los que se van completando.

Respecto al requisito de que la explotación de los pozos no debe afectar negativamente al acuífero produciendo una disminución más allá del 5% del volumen embalsado, no hay comentarios.

### **3.4.6. Acuífero Salar de Ollagüe**

A pesar de estar vigente este plan, hasta la fecha no se ha recibido ningún informe.

### **3.5. Planes de Alerta Temprana en el Marco del SEA**

Se sabe que, 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.

En este acápite se presentan, a modo de ejemplo, Planes de Alerta Temprana que se presentaron en proyectos ingresados al SEA en la Región de Tarapacá y que están **tomados de la revisión que se hizo en el estudio "Diagnóstico Plan Maestro para la Gestión de los Recursos Hídricos, Región de Tarapacá"**. El análisis realizado de los PATs se basó en obtener información asociada a las siguientes variables:

- Objeto de Protección: Sistemas ambientales protegidos por el PAT.
- Indicador de Estado: Variables de control que serán utilizados para definir la activación o desactivación del PAT.
- Umbral: valor de activación o desactivación del PAT.
- Medida de Mitigación Implementada: Medida de mitigación general implementada en el caso que se active el PAT.
- Acciones implementadas: Acciones específicas implementadas para revertir o atenuar efectos no deseados del proyecto sobre los sistemas a proteger.

En la Tabla 10 se presenta un resumen de los PATs presentados en el marco del SEA en la Región de Tarapacá.

Titular	Tipo Estudio	Nombre	Año	Objeto de Protección	Medida de Mitigación Implementada	Acciones	Umbral	Indicador de Estado
CMDIC	EIA	Proyecto expansión 110 KTPD planta concentradora Collahuasi	2001	Vertiente Jachucoposa	Recarga artificial desde 2012-2035 (DIA 2003)	Se aplicará durante el tiempo que sea necesario hasta que se asegure una recuperación de los caudales naturales de la vertiente dado por un caudal promedio de 60 l/s	Medida efectiva cuando Q descienda a caudal de excedencia de 95% de 45 L/s	Q superficial
	EIA	Proyecto expansión 110 KTPD planta concentradora Collahuasi	2001	Quebrada Huinquentipa	Recarga Artificial	Mantener flujo superficial dentro de los rangos normales: 9 L/s (entre dic y marzo) y 1 L/s resto del año.	Flujo menor a: 9 L/s (entre dic y marzo) y 1 L/s resto del año.	Q superficial
	EIA	Proyecto expansión 110 KTPD planta concentradora Collahuasi	2001	Vertiente Michincha	Recarga artificial durante toda la operación de la faena	Caudal de inyección de 5 L/s	Durante toda la vida del proyecto	Q superficial
Compañía Minera Cerro Colorado Ltda.	EIA	Actualización Faena Minera Cerro Colorado	2006	Agua subterránea ubicada dentro del área de influencia del proyecto	Seguimiento ambiental mediante monitoreo aguas abajo de la faena y al este de los sectores de Quipisca y Duplijsa	si existe contaminación de aguas subterráneas la compañía deberá proceder a realizar un bombeo mitigador donde ello sea requerido.	No declaran un valor del umbral de calidad de los parámetros	Calidad de agua subterránea

Titular	Tipo Estudio	Nombre	Año	Objeto de Protección	Medida de Mitigación Implementada	Acciones	Umbral	Indicador de Estado
	EIA	Proyecto Expansión Cerro Colorado	1997	-Pampa Lagunilla -Bofedal Lagunilla -Bofedal Lirima	Seguimiento ambiental mediante la toma de muestras de agua cada 3-4 meses	s/i	Valores sobre la NCh 409 y NCh 1333	Calidad de agua superficial
Sociedad contractual minera bullmine	DIA	Producción de yodo scm bullmine	2009	Quebrada Tana	Mantenimiento de caudal ecológico en la quebrada. Seguimiento Ambiental: Medición de caudal escurriente apor la quebrada antes de punto de captación.	Disminuir la extracción de manera de mantener cte el Q ecológico de 27 L/s (aún ante eventos naturales)Si fuera necesario, se suspenderá totalmente la extracción de agua desde la quebrada Tana para el proyecto.Ante eventos imprevistos, el titular informará inmediatamente a la autoridad competente.	Mantenimiento de un caudal en 27 L/s	Caudal superficial
SQM S.A.	EIA	Pampa Hermosa	2010	Sistema plantación de tamarugos en Sector Bellavista - Pampa del Tamarugal	-Aviso SEA -Aumento frecuencia de medición -Reducción de caudal de bombeo, proporcional al efecto de SQM -Análisis de causalidad	Fase I: Aumento frecuencia de medición; análisis de causalidad Fase II: Análisis de causalidad Fase III: Reducción de caudal de bombeo; plantación tamarugos; estudio causalidad; aumento frecuencia evaluación PAT	-Descenso del nivel del acuífero producto del proyecto -Número de tamarugos con estado vital en regular y mal estado producto del proyecto	-Medición mensual de la profundidad del acuífero en pozos seleccionados cercanos a objeto de protección -Mediciones bienales de la vitalidad de bosque de tamarugos

Titular	Tipo Estudio	Nombre	Año	Objeto de Protección	Medida de Mitigación Implementada	Acciones	Umbral	Indicador de Estado
	EIA	Proyecto Expansión Cerro Colorado	1997	-Pampa Lagunilla -Bofedal Lagunilla -Bofedal Lirima	Seguimiento ambiental mediante la toma de muestras de agua cada 3-4 meses	s/i	Valores sobre la NCh 409 y NCh 1333	Calidad de agua superficial
Sociedad contractual minera bullmine	DIA	Producción de yodo scm bullmine	2009	Quebrada Tana	Mantenimiento de caudal ecológico en la quebrada. Seguimiento Ambiental: Medición de caudal escurriente apor la quebrada antes de punto de captación.	Disminuir la extracción de manera de mantener cte el Q ecológico de 27 L/s (aún ante eventos naturales)Si fuera necesario, se suspenderá totalmente la extracción de agua desde la quebrada Tana para el proyecto.Ante eventos imprevistos, el titular informará inmediatamente a la autoridad competente.	Mantenimiento de un caudal en 27 L/s	Caudal superficial
SQM S.A.	EIA	Pampa Hermosa	2010	Sistema plantación de tamarugos en Sector Bellavista - Pampa del Tamarugal	-Aviso SEA -Aumento frecuencia de medición -Reducción de caudal de bombeo, proporcional al efecto de SQM -Análisis de causalidad	Fase I: Aumento frecuencia de medición; análisis de causalidad Fase II: Análisis de causalidad Fase III: Reducción de caudal de bombeo; plantación tamarugos; estudio causalidad; aumento frecuencia evaluación PAT	-Descenso del nivel del acuífero producto del proyecto -Número de tamarugos con estado vital en regular y mal estado producto del proyecto	-Medición mensual de la profundidad del acuífero en pozos seleccionados cercanos a objeto de protección -Mediciones bienales de la vitalidad de bosque de tamarugos

**Tabla 10: Resumen de ejemplos de PATs en el marco del SEA en la Región de Tarapacá**

### 3.6. Índice Preliminar Propuesto para PATs que Condicionan Derechos

Como se ha mencionado en este informe, a pesar de la existencia de PATs ya aprobados y otros en vías de serlo, la DGA no tiene definida oficialmente la estructura y contenido que deben tener estos cuando son presentados para su evaluación. En ese entendido es que se ha trabajado, por diferentes departamentos y divisiones, un índice preliminar para definir la estructura y contenidos mínimos que debería tener todo PAT que se solicita para poder ejercer un derecho de agua.

En la Tabla 11 se presenta este índice preliminar. Es importante resaltar el carácter de preliminar y establecer que, en ningún caso, corresponde a un pronunciamiento oficial de la DGA al respecto.

N°	TOPICO	CONTENIDO
<b>1</b>	<b>Antecedentes Generales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Motivo que genera la realización del PAT.</li> <li>▪ Resolución DGA que constituyó los derechos de aprovechamiento de aguas objetos del PAT.</li> <li>▪ Ubicación de los derechos.</li> </ul>
<b>2</b>	<b>Objetivos del PAT</b>	Especificar los objetivos del Plan de Alerta Temprana
2.1	Objetivo General	Por ej: "Proteger derechos de terceros y al medioambiente"
2.2	Objetivos Específicos	Por ej: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ "Mejorar el conocimiento del sistema hídrico asociado al acuífero sometido a explotación"</li> <li>▪ "Monitorear y Controlar el efecto de la extracción de aguas sobre el sistema"</li> <li>▪ "Prever los impactos de la extracción con antelación, controlarlos y corregirlos"</li> <li>▪ Otros</li> </ul>
<b>3</b>	<b>Descripción del acuífero y los pozos desde donde se captarán las aguas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Caracterización del sistema hidrológico asociado al acuífero a nivel de subcuenca, o de cuenca si fuese necesario.</li> <li>▪ Descripción general de él o los acuíferos pertenecientes al sistema hidrológico.</li> <li>▪ Descripción detallada del acuífero objeto del PAT y de los antecedentes de sustento (geometría, características hidrogeológicas, sectorización, geología, etc.). Se debe incluir la información base en anexos.</li> <li>▪ Elaboración de un modelo conceptual que explique la dinámica espacial y temporal del sistema hidrológico, con especial énfasis en las variables del balance hídrico del acuífero.</li> <li>▪ Identificación de la demanda y de derechos de agua preexistentes sobre el acuífero, y características globales del conjunto de pozos.</li> </ul>

N°	TOPICO	CONTENIDO
		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Identificación de terceros y de factores ambientales que pueden ser afectados con el ejercicio de los derechos.</li> <li>▪ Descripción detallada de las captaciones dependientes del PAT.</li> </ul>
4	<b>Descripción de los objetos a proteger a través del PAT. Condición actual</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Descripción detallada de las captaciones de terceros y factores ambientales que pudieran verse afectados con la extracción de agua.</li> <li>▪ Análisis de la condición hidrológica histórica, de los rangos de valores observados, de la situación actual, y de la situación proyectada, con y sin el efecto de la nueva extracción.</li> </ul>
5	<b>Descripción de las variables a monitorear</b>	<p>Las variables de monitoreo deben ser identificadas entre:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Variables destinadas a monitorear el sistema hidrológico. En general, la red hidrométrica de la DGA no es suficiente para hacer el seguimiento hidrológico de un sistema determinado y será necesario implementar nuevas estaciones de control.</li> <li>▪ Variables de monitoreo asociadas al comportamiento de los objetos de protección. Corresponden a las que caracterizan el comportamiento propio del objeto, y las que se relacionan con éste temporal o espacialmente. Por lo general se adoptan en la dirección de origen del efecto.</li> <li>▪ Variables de monitoreo destinadas al seguimiento del efecto causado por la extracción de agua. Son aquellas que registran el desarrollo del efecto sobre el acuífero, entre el origen y los límites de expansión previstos, y que por lo general se adoptan en la dirección del objeto de protección.</li> <li>▪ En algunos casos puede ser útil, incorporar el monitoreo simultáneo sobre variables de referencia ubicadas en sectores vecinos no influenciados, cuyo objeto sea diferenciar entre el comportamiento hidrológico natural de aquel bajo afección.</li> <li>▪ Se debe tener presente que el conjunto de variables seleccionadas debe ser suficiente para validar las incertidumbres asociadas al modelo conceptual que se ha planteado para el sistema hidrológico, tanto a nivel general como local, asegurando siempre que la relación existente entre los objetos de protección y los efectos de la explotación sea la prevista.</li> </ul>
6	<b>Determinación de umbrales de las</b>	<p>Corresponde al estudio y análisis fundado para fijar un valor específico sobre el cual una variable señalará, con</p>

N°	TOPICO	CONTENIDO
	<b>variables</b>	claridad, la detección temprana de una eventual afección sobre algún objeto de protección, mientras aún es factible de revertir con la aplicación de medidas correctivas.
7	<b>Descripción programa de monitoreo</b>	Incluir un programa de monitoreo de las variables del PAT, en el que se incluya un protocolo para la captura de datos y la toma de muestras de terreno, y su frecuencia. Se debe justificar adecuadamente la elección de los equipos a utilizar.
8	<b>Evaluación de eventuales impactos</b>	Se debe indicar la evolución que tendrán los efectos de las extracciones, y como contrapartida, la evolución natural de las variables asociadas a los objetos de protección. Para esto se podrá utilizar un modelo de simulación matemático.
9	<b>Definición de acciones</b>	Describir las acciones concretas a seguir en el caso de detectarse los efectos que se describieron en el punto anterior y/o que los umbrales establecidos sean superados.
10	<b>Flujograma de toma de decisiones</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Desarrollar un Flujograma que muestre gráficamente como actúa el PAT en su totalidad, por lo cual debe contener todo lo señalado en los puntos anteriores, esto es, plan de monitoreo, variables de monitoreo, umbrales, acciones concretas a seguir frente a eventuales impactos y/o superación de los umbrales establecidos, etc.</li> <li>▪ El Flujograma de decisiones establece las condiciones bajo las cuales puede operar el sistema en análisis, verificando que se cumplan las condiciones establecidas en la Resolución DGA que constituyó los derechos asociados al PAT, y definiendo las acciones a seguir en caso de que alguno de los umbrales establecidos se vea superado.</li> </ul>
11	<b>Informes</b>	Detalle de la información que se debe entregar a la DGA, y su frecuencia de entrega.
12	<b>Evaluación del PAT en el tiempo</b>	Bajo el entendimiento de que el PAT es un documento dinámico, se debe definir la periodicidad de evaluación del PAT para su continuidad en el tiempo. La evaluación del PAT podrá implicar la revisión de los términos y condiciones establecidas, pudiendo definirse nuevas variables de control y umbrales, revisar la frecuencia de entrega de los Informes de Monitoreo, redefinir la periodicidad de la actualización de los umbrales establecidos, entre otras.

**Tabla 11: Índice preliminar propuesto de PATs que condicionan derechos**

#### **4. CONCLUSIONES**

En términos generales se puede concluir 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. Dentro de los aspectos que se diferencia respecto a los otros PATs se encuentra: 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.

De la revisión de los PATs presentados, a modo de ejemplo, en el marco del ingreso de proyectos al SEA, 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.

Atendiendo a lo mencionado en el párrafo anterior, y a poder manejar toda la información generada por los PATs, es que resulta de vital importancia establecer una

sistematización o plataforma que permita sistematizar toda la información que se recibe para poder realizar una adecuada gestión de los sistemas hídricos que pueden verse afectados por la explotación de acuíferos. Aquí toma relevancia nuevamente el poder contar con una estandarización, a través de un instructivo o resolución de la DGA, en la presentación de los Planes de Alerta Temprana ya que así se evitaría la diferencia en el grado de profundidad con la que se tratan los diversos aspectos presentados en los PATs analizados en este informe. Además, este instructivo o resolución debería ser aplicable a todos los PATs, tanto los que se presentan para poder ejercer un derecho de agua, como los que se presentan en el marco del SEA.

## **5. BIBLIOGRAFIA**

- Diagnóstico Plan Estratégico para la Gestión de los Recursos Hídricos, Región de Antofagasta; DGA, Arrau Ingeniería E.I.R.L.; 2012.
- "Diagnóstico Plan Maestro para la Gestión de los Recursos Hídricos, Región de Tarapacá"; DGA, GeoHidrología Consultores; 2012.
- Plan de Alerta Temprana, Habilitación Sectorial Pozo P-10; Minera El Tesoro; 2010.
- Plan de Alerta Temprana para el Acuífero de Pampa Puno: PAT-PP; DARH – DGA.
- Plan de Alerta Temprana para el Acuífero de Monturaqui-Negrillar-Tilopozo, II Región, Antofagasta; DARH – DGA; 2001.
- Plan de Alerta Temprana para el Acuífero de Elvira: PAT-ELVIRA; DARH – DGA.
- Plan de Alerta Temprana para el Acuífero de Los Morros: PAT-LOS MORROS; DARH – DGA.
- Plan de Alerta Temprana para el Acuífero del Salar de Ollagüe: PAT-OLLAGÜE; DARH – DGA.