

## **PLAN DE ALERTA TEMPRANA PARA EL ACUÍFERO DE PAMPA PUNO:** **PAT – PP**

### **1.- OBJETIVO.**

El acuífero de Pampa Puno se ubica en la Comuna de Calama, al Norte de la misma ciudad, Provincia de El Loa. II Región.

En este acuífero de acuerdo a los antecedentes existentes (Ref. 1) 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:

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

El objetivo del presente Plan de Alerta Temprana, PAT – PP, 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.

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

- a) Desarrollo y aplicación del modelo de simulación para la predicción oportuna de los impactos derivados de la extracción de agua subterránea en el acuífero Pampa Puno y las áreas sensibles asociadas,
- b) fijar las condiciones técnicas para el monitoreo del sistema acuífero Pampa Puno y las áreas sensibles asociadas,
- c) mejorar el conocimiento del sistema y de su respuesta frente a la explotación de agua subterránea,
- d) 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.

### **2.- CONDICIÓN INICIAL DE EXPLOTACIÓN DEL ACUÍFERO DE PAMPA PUNO.**

Hoy día no existen y no han existido extracciones en el acuífero de Pampa Puno.

### 3.- PLAN DE ALERTA TEMPRANA PARA EL ACUÍFERO DE PAMPA PUNO: PAT – PP

El PAT – PP consta de 3 fases:

- 3.1.- Monitoreo del comportamiento del acuífero y áreas sensibles
- 3.2.- Predicción, evaluación de impactos y medidas de corrección
- 3.3.- Revisión y actualización periódica del PAT – PP

#### 3.1.- 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 ambientalmente sensibles. El análisis de los datos obtenidos de este monitoreo de largo plazo, permitirán 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 áreas sensibles 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
- Monitoreo del río Loa
- Monitoreo de la vega y vertiente Sapunta
- Calidad química de las aguas de la vertiente Sapunta

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

- i).- Fase prebombeo
- ii).- 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, la vega Sapunta y el río Loa.

**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 la vega Sapunta, río Loa 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.

#### 3.1.1.- MONITOREO DE AGUAS SUBTERRANEAS.

##### 3.1.1.1.- CONTROL DE NIVELES EN LOS POZOS DE PRODUCCION Y OBSERVACION

**Fase prebombeo:** Comenzó en enero de 1999 en algunas captaciones y paulatinamente se han ido incorporando pozos. Luego los datos de la fase pre bombeo tendrán una duración de al menos 2 años.

**Monitoreo en los siguientes años:** 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:

POZO	UTM NORTE	UTM ESTE
PUNO 1 E	7.641.129	519.747
PUNO 2 B	7.641.335	521.016
PUNO 2 E	7.641.348	520.956
PUNO 3 E	7.641.251	522.105
PUNO 4 B	7.646.475	521.530
PUNO 4 E	7.646.523	521.505
PUNO 5 E	7.646.431	519.036
PUNO 6 B	7.644.159	521.207
PUNO 7 B	7.642.805	521.010
PUNO 8 B	7.645.239	521.930
PUNO 9 B	7.648.171	521.027
PUNO 10 E	7.647.216	521.968
PUNO 11 E	7.646.180	520.417
PUNO 314 B	7.641.281	518.457
YOC 8	7.652.000	518.000
YOC 9	7.652.785	516.979
YOC 10	7.652.893	517.932

## 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.

## 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 3 meses iniciales de producción el control de niveles en sitio de los pozos se hará semanalmente.

**3.1.1.2.- DATOS DE PRODUCCION – CONTROI DE EXTRACCIONES**

Los pozos de bombeo deberán tener medidores instantáneos y totalizadores de flujo. Durante todo el período de explotación, deberá mantenerse un “Registro de Producción de los Pozos de Bombeo”, en el que constará el registro mensual de cada pozo con la tasa de flujo, el volumen total extraído, el tiempo de bombeo, y el control de caudal instantáneo de cada uno de los pozos de producción de Pampa Puno, a intervalos de un mes.

**3.1.1.3.- CALIDAD QUIMICA**

**Fase prebombeo:** se deberán caracterizar las aguas subterráneas desde el punto de vista químico.

**Monitoreo en los siguientes años:** Durante la fase de operación y extracción de agua subterránea se tomarán cada tres meses, muestras para análisis durante todo el período de bombeo. Los pozos en los cuales se hará medición de calidad química del agua extraída son los de producción:

**PUNO 2 B**  
**PUNO 4 B**  
**PUNO 6 B**  
**PUNO 7 B**  
**PUNO 8 B**  
**PUNO 9 B**  
**PUNO 10 E**  
**PUNO 11 E**  
**PUNO 314 B**

**Constituyentes a analizar:** calcio, bicarbonato, sílice, TDS, magnesio, carbonato, flúor, hierro, sodio, potasio, cloruros, sulfatos, boro, alcalinidad, dureza e Índice de Langelier.

Esta lista podrá ser revisada después de un año de análisis. Después de este período, la lista podrá ser reducida a aquellos elementos encontrados durante las primeras jornadas de muestreo.

Se deberá realizar un balance iónico y el diagrama de Stiff, e incluir en el reporte anual mapas con diagramas de Stiff y análisis de aguas subterráneas y superficiales.

**Otros parámetros a medir:** temperatura, pH, conductividad eléctrica.

**Muestreo:** se recomienda que las muestras de agua subterránea sean tomadas vía bombeo.

**3.1.2.- MONITOREO DE AGUAS SUPERFICIALES.**

Se distinguen 2 situaciones de monitoreo de aguas superficiales:

- monitoreo del río Loa
- monitoreo de la vertiente y vega Sapunta

### 3.1.2.1.- MONITOREO DEL RIO LOA

El monitoreo del río Loa corresponde esencialmente a un control de caudales mediante aforos, y mediciones limnimétricas mensuales.

El principal objetivo es conocer el comportamiento del caudal estacional y anual del río Loa en su cauce superior y hacer un seguimiento comparativo de su comportamiento en la fase prebombeo, y durante la fase de bombeo del campo de pozos de Pampa Puno.

De acuerdo a lo anterior se medirá por un período de 2 años en la fase prebombeo y luego durante toda la fase de bombeo.

Los puntos de control del río Loa son los siguientes:

<b>COORDENADAS UTM PUNTOS DE AFORO RIO LOA</b>		
<b>PUNTO</b>	<b>NORTE</b>	<b>ESTE</b>
1	7.657.497	534.845
2	7.656.031	534.572
3	7.656.171	534.809
4	7.649.152	532.641
5	7.644.160	532.709
6	7.641.079	532.653
7	7.618.989	533.122
8	7.615.589	534.114
9	7.609.991	534.682
10	7.605.667	535.110
11	7.604.491	535.267
12	7.576.050	541.101
13	7.569.823	540.494
14	7.584.186	542.072
15	7.592.250	539.327
16	7.634.116	532.308
17	7.632.881	534.411

### 3.1.2.2 MONITOREO DE LA VERTIENTE Y VEGA SAPUNTA

El plan propuesto tiene como principal objetivo conocer el comportamiento de la vertiente y vega Sapunta, de manera de reunir antecedentes sobre su comportamiento estacional y anual. Los parámetros a controlar son: nivel de agua en pozas del sector, avance y/o retroceso estacional natural de la vega y calidad del agua.

#### a) Nivel de agua en pozas del sector

Se debe instalar estaca graduada al interior de 2 pozas de agua presentes en el área y controlar las variaciones de nivel que se produzcan en ellas.

**b) Avance y/o retroceso estacional de la vega**

Se debe instalar una estaca de referencia en 2 puntos: al comienzo de la vega y al término de la vega. Se medirá la distancia entre este punto y la vegetación con una huincha, también se medirá el ancho de la vegetación en ese punto.

Se dejará registro fotográfico de las situaciones que se vayan observando en cada monitoreo.

**c) Calidad del Agua.**

Se debe muestrear el agua de las pozas de la vega Sapunta. La frecuencia será estacional cada 3 meses, tanto para la fase pre como durante bombeo.

Los parámetros que se requieren analizar para lograr los objetivos propuestos son los siguientes:

- pH
- Temperatura
- Conductividad Eléctrica
- Total de Sólidos Disueltos
- Carbonatos
- Bicarbonatos
- Cloruros
- Sulfatos
- Calcio
- Magnesio
- Sodio
- Potasio
- Arsénico
- Boro
- Hierro
- Sílice
- Flúor
- Nitratos

La muestra a recolectar será del tipo puntual, agregando los preservantes correspondientes, según lo señalado en la Norma Chilena NCh 411/3 Calidad del agua – Muestreo – Parte 3: Guía sobre la preservación y manejo de las muestras.

**3.1.3.- ENVÍO DE ANTECEDENTES A LA DIRECCION GENERAL DE AGUAS.**

Todos los reportes que a continuación se señalan deberán ser enviados a la Oficina Regional de la Dirección General de Aguas de la II Región, en 2 copias impresas y un respaldo magnético de la misma.

- i) Durante el mes de Julio de cada año se remitirán los antecedentes obtenidos de los monitoreos correspondientes al primer semestre, en papel y archivos formato Excel y Word.
- ii) 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. Ente informe anual contendrá tablas, gráficos adecuados que permitan analizar el comportamiento de la variables controladas.

### **3.2.- PREDICCIÓN, EVALUACIÓN DE IMPACTOS y MEDIDAS DE CORRECCIÓN**

Durante el ejercicio de los derechos de aprovechamiento que se constituyan en Pampa Puno, 300 l/s, se deberá respetar las siguientes condiciones:

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

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

Estos impactos corresponden a un antecedente preliminar dado que con la revisión y actualización del PAT-PP, eventualmente los impactos predichos por el modelo refinado a partir de los datos del monitoreo, podrían ser distintos. Luego, una vez refinado el modelo de acuerdo a la metodología expuesta en el numeral siguiente, se deberá revisar que los impactos no produzcan afección al río Loa, la vertiente y vega Sapunta y al acuífero.

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 de Pampa Puno.

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.

### **3.3.- REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN PERIÓDICA DEL PAT – PP**

El método de predicción de los impactos se basa en la simulación del modelo de aguas subterráneas de la Ref. 1. Con la explotación en el tiempo del acuífero, será posible lograr un

mayor conocimiento del sistema acuífero de Pampa Puno, permitiendo corroborar y/o mejorar las predicciones del comportamiento del sistema.

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 tres primeros años.

La revisión anual se basará al menos en las siguientes técnicas:

- 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.

- 8) 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.

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 citado en el punto 3.1.3. ii)

#### **4.- REFERENCIAS**

- Ref. 1: Hidrogeología y Modelo de Simulación Pampa Puno.  
Preparado por INGEOREC Ltda. Para CODELCO - Chuquicamata, Noviembre 2001.