

Plan de Seguimiento y Alerta Temprana (PAT) de Aguas Subterráneas Sector Pedernales

Estudio de Impacto Ambiental (EIA)

PROYECTO RAJO INCA

Adenda Excepcional



Diciembre de 2019

Informe Final

Versión D

♦ A21_932_JRI_RI_Ad3_PAT_Pedernales_vD ♦

En bibliografía, este informe será citado como sigue:

Amphos 21 (2019) Plan de Seguimiento y Alerta Temprana (PAT) de Aguas Subterráneas Sector Pedernales, EIA Rajo Inca (Adenda Excepcional).

Amphos 21 Consulting Chile Ltda.

Av. Nueva Tajamar, 481. WTC-Torre Sur- Of. 1005. Santiago (Chile)

+56 2 27991630

www.amphos21.com

| Preparado por | Revisado por | Validado por |
|------------------|---------------|--------------|
| Claudio Ávila | | |
| Samuel Iglesias | | |
| Daniel Muñoz | | |
| Doménico Sciolla | Pilar Enguita | Juan Castaño |

Índice

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Introducción..... | 7 |
| 1.1 | Explotación Histórica de la cuenca Salar de Pedernales..... | 7 |
| 1.2 | Explotación Subterránea del Proyecto Rajo Inca (Sector Pedernales) | 9 |
| 1.3 | Sistemas Vegetacionales Azonales Hídricos Terrestres (SVAHT)..... | 13 |
| 2 | Plan de Seguimiento..... | 17 |
| 2.1 | Puntos de Monitoreo | 17 |
| 2.2 | Parámetros de Monitoreo y Metodología de Muestreo | 22 |
| 2.2.1 | Niveles piezométricos | 22 |
| 2.2.2 | Variables climáticas | 22 |
| 2.2.3 | Calidad química..... | 23 |
| 2.2.4 | Instalación de sensores de medición continua de nivel piezométrico | 25 |
| 2.2.5 | Actualización del modelo hidrogeológico numérico | 25 |
| 3 | Plan de Alerta Temprana (PAT)..... | 28 |
| 3.1 | Puntos de Control..... | 28 |
| 3.2 | Variables de Control..... | 29 |
| 3.3 | Valores Umbrales..... | 31 |
| 3.3.1 | Estimación de Valores Umbrales en puntos de control del PAT (Llano Pajaritos)... | 31 |
| 3.3.2 | Nivel Piezométrico Mínimo (NPM) | 36 |
| 3.3.3 | Valores Umbrales Para Punteras del Sector SVAHT..... | 37 |
| 3.3.4 | Valores Umbrales Para Puntos en el Llano Pajaritos | 39 |
| 3.3.5 | Valores Umbrales Para Control de Nuevos Pozos de Bombeo..... | 40 |
| 3.4 | Niveles de Acción..... | 41 |

| | | |
|----------|--------------------------|-----------|
| 3.4.1 | Nivel de acción 1 | 41 |
| 3.4.2 | Nivel de acción 2 | 42 |
| 3.4.3 | Nivel de acción 3 | 42 |
| 4 | Referencias | 43 |

Índice de Tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1.1. Evolución temporal de los caudales medios estimados de extracción por sector (l/s)..... | 11 |
| Tabla 1-2: Resumen de resultados puntos de control. | 14 |
| Tabla 2-1: Puntos de monitoreo correspondientes a 29 pozos/piezómetros..... | 18 |
| Tabla 2-2: Puntos de monitoreo correspondientes a 18 punteras. | 19 |
| Tabla 2-3: Puntos de monitoreo correspondientes a 3 estaciones meteorológicas. | 19 |
| Tabla 2-4: Puntos de monitoreo de calidad química..... | 24 |
| Tabla 2-5: Puntos de monitoreo con sensores de medición continua de nivel piezométrico y C.E. | 25 |
| Tabla 2-6: Resumen Plan de Seguimiento aguas subterráneas sector Pedernales. | 26 |
| Tabla 3-1: Puntos de control PAT. | 29 |
| Tabla 3-2: Resumen de registros de NPM en los puntos de control del PAT..... | 36 |
| Tabla 3-3: Valores Umbrales Piezométricos Preventivos (VUPP)..... | 37 |
| Tabla 3-4: Valores Umbrales Piezométricos Mínimos (VUPM) | 38 |
| Tabla 3-5: Valores Umbrales Piezométricos Preventivos (VUPP)..... | 39 |
| Tabla 3-6: Valores Umbrales Piezométricos Mínimos (VUPM) | 40 |

Índice de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1-1. Campo de pozos del Llano Pajaritos, operado históricamente en el Salar de Pedernales. | 8 |
| Figura 1-2: Pozos de bombeo previstos para el PRI. | 10 |
| Figura 1-3: Esquema del traslado de extracción en el Salar de Pedernales. | 12 |
| Figura 1-4. Puntos de monitoreo Plan de Seguimiento Ecosistemas Acuáticos | 14 |
| Figura 2-1: Ubicación puntos de monitoreo del Plan de Seguimiento de la cuenca Salar de Pedernales. | 21 |
| Figura 3-1: Ubicación puntos de control del Plan de Alerta Temprana de la cuenca Salar de Pedernales. | 30 |
| Figura 3-2. Niveles piezométricos puntos de control PAT. | 33 |
| Figura 3-3: Relación lineal ascensos v/s distancia en puntos de control PAT..... | 34 |
| Figura 3-4: Esquema relación descensos puntos de control PAT. | 35 |

1 Introducción

La cuenca Salar de Pedernales es la actual fuente de abastecimiento de agua de la División Salvador (DSAL) de CODELCO. El Proyecto EIA Rajo Inca en evaluación tiene por objetivo permitir la continuidad operacional de la División Salvador por 43 años adicionales.

En este contexto, Amphos 21 realizó los siguientes estudios para evaluar el comportamiento hídrico actual y futuro de del Proyecto:

- Modelo Hidrogeológico Conceptual de la cuenca Salar de Pedernales (Anexo 4-6 B de la EIA).
- Modelo Hidrogeológico Numérico de la subcuenca Salar de Pedernales (Anexo 6-2 Actualización Nota Técnica Modelo Numérico Salar de Pedernales de la Adenda Complementaria).

El presente informe incorpora el Plan de Seguimiento y el Plan de Alerta Temprana (PAT) para las Aguas Subterráneas de la cuenca Salar de Pedernales, con la finalidad de garantizar la conservación de las actuales zonas de vegetación activas del tipo SVAHT localizadas al suroeste del salar, así como controlar la extensión del cono de depresión de los pozos de bombeo.

1.1 Explotación Histórica de la cuenca Salar de Pedernales

La explotación en el campo de pozos en el Llano Pajaritos se realizó mediante 4 pozos de bombeo, correspondientes a los pozos PB-5, PB-6, PB-7 y PB-8 (ver Figura 1-1). Con un caudal de operación promedio de aproximadamente 170 l/s, para el total del campo de pozos de bombeo.

Además, cabe mencionar que hacia el noroeste del campo de pozos (Llano Pajaritos) existe la presencia de Sistemas Vegetacionales Azonales Hídricos Terrestres (SVAHT). La vegetación activa de este tipo de sistemas en el salar de Pedernales cubre una superficie aproximada de 32 hectáreas (ver Figura 1-1), y se encuentra en un estado biológico estable, presentando fluctuaciones estacionales e interanuales. Estos sistemas SVAHT reciben aportes de la precipitación directa y desde fuentes laterales, pudiendo presentar una desconexión con el nivel freático del acuífero regional.

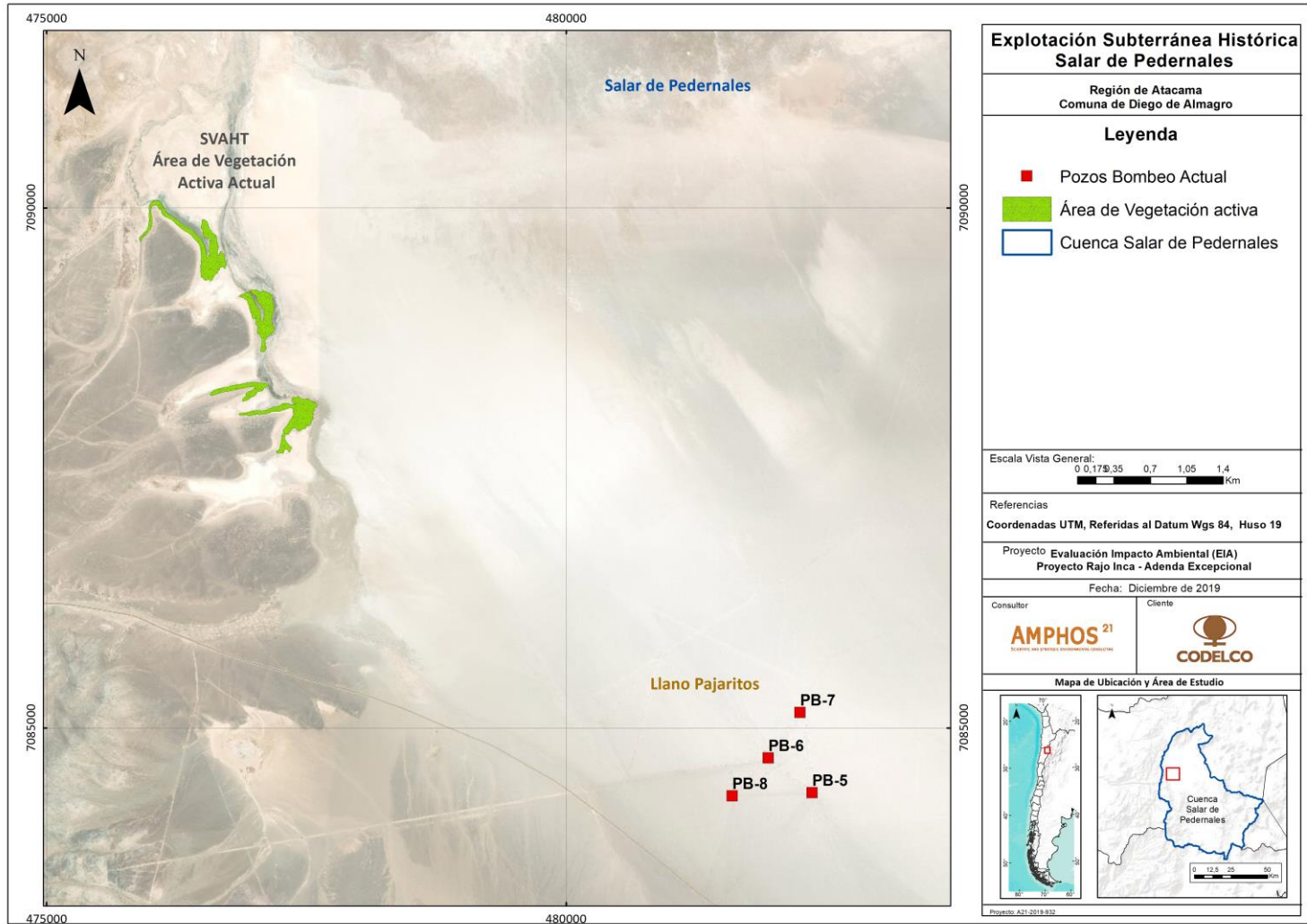


Figura 1-1. Campo de pozos del Llano Pajaritos, operado históricamente en el Salar de Pedernales.

1.2 Explotación Subterránea del Proyecto Rajo Inca (Sector Pedernales)

El Proyecto Rajo Inca, en adelante “el Proyecto” o “PRI”, tiene por objetivo explotar, mediante un rajo abierto, los recursos geológicos existentes en el entorno de la actual operación subterránea de la División Salvador (DSAL), aumentando el procesamiento y permitiendo la continuidad operacional de la DSAL en 43 años.

El caso base sobre el cual se ejecuta el PRI corresponde a la DIA Continuidad Operacional División Salvador (RCA N°245/2017), con aprobación ambiental hasta el año 2023. Donde el Salar de Pedernales ha sido la fuente de abastecimiento de agua subterránea industrial para la DSAL de CODELCO-Chile desde el año 1983. Las fuentes de aguas han provenido del sector suroeste del Salar de Pedernales, específicamente, desde el campo de pozos de bombeo del Llano Pajaritos.

En base a las observaciones realizadas durante la EIA del Proyecto Rajo Inca, una vez iniciada la operación del proyecto se tiene previsto mejorar la gestión actual del recurso hídrico, trasladando parte de las extracciones del campo de pozos de bombeo del Llano Pajaritos, alejándose de las actuales zonas de vegetación activas del tipo SVAHT. Esta redistribución en la extracción consiste en el traslado del 50 % del caudal a nuevos puntos de captación.

La extracción desde los nuevos pozos se realizará desde, al menos, 5 km aguas arriba del campo de pozos actual del Llano Pajaritos. La ubicación exacta de los nuevos puntos de bombeo será definida una vez realizadas las prospecciones necesarias. De manera referencial, en la Figura 1-2 se han representado los posibles nuevos pozos de bombeo PBT-1 y PBT-2.

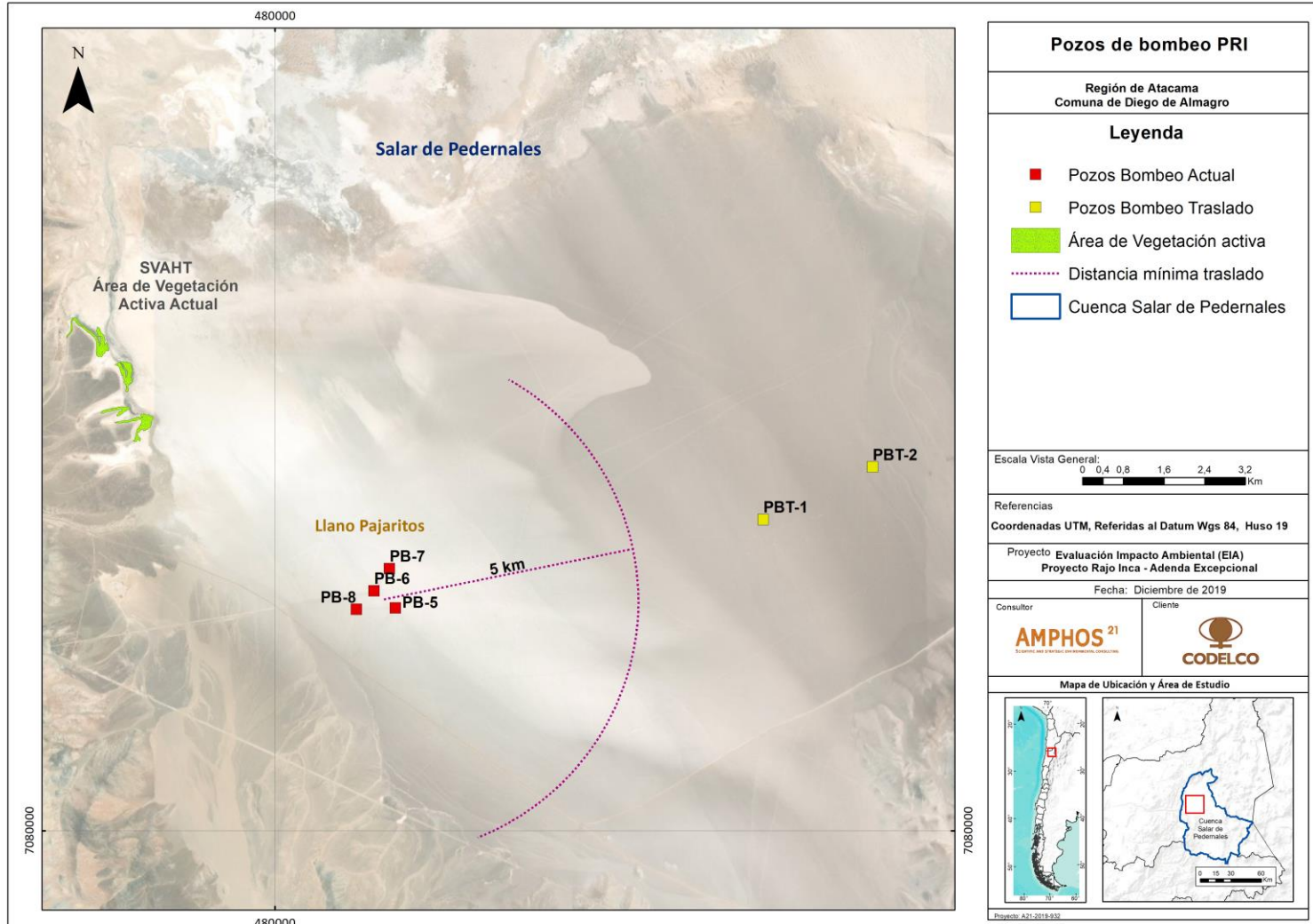


Figura 1-2: Pozos de bombeo previstos para el PRI.

La modificación en la extracción se aplicaría a partir del inicio de la etapa de operación del Proyecto Rajo Inca. En la Tabla 1.1 se presenta la evolución de los caudales medios estimados de extracción desde el campo de pozos actual en el Llano Pajaritos y los nuevos pozos propuestos localizados aguas arriba.

Tabla 1.1. Evolución temporal de los caudales medios estimados de extracción por sector (l/s).

| Fecha | Campo de pozos Llano Pajaritos | | | | Nuevos Pozos de bombeo por traslado (50%) | | TOTAL (l/s) |
|---|--------------------------------|------|------|------|---|-------|-------------|
| | Extracción (l/s) | | | | Extracción (l/s) | | |
| | PB-5 | PB-6 | PB-7 | PB-8 | PBT-1 | PBT-2 | |
| Hasta 31/12/2020 (DIA Continuidad Operacional) | | | | | | 0 | ~170 |
| 01/01/2021 – 31/12/2064 (EIA Proyecto Rajo Inca) | | | | | | ~85 | ~170 |

Esta nueva configuración de proyecto fue evaluada mediante la herramienta predictiva del modelo numérico presentado en el Anexo 6-2 *Actualización Nota Técnica Modelo Numérico Salar de Pedernales* de la Adenda Complementaria.

Los resultados obtenidos registran presentaciones de ascenso de los niveles piezométricos en las zonas localizadas entre el campo de pozos de bombeo actual (Llano Pajaritos) y el SVAHT, mientras que para los nuevos pozos de bombeo se espera la generación de un cono de depresión local, alejado de la zona de vegetación SVAHT (ver esquema en Figura 1-3).

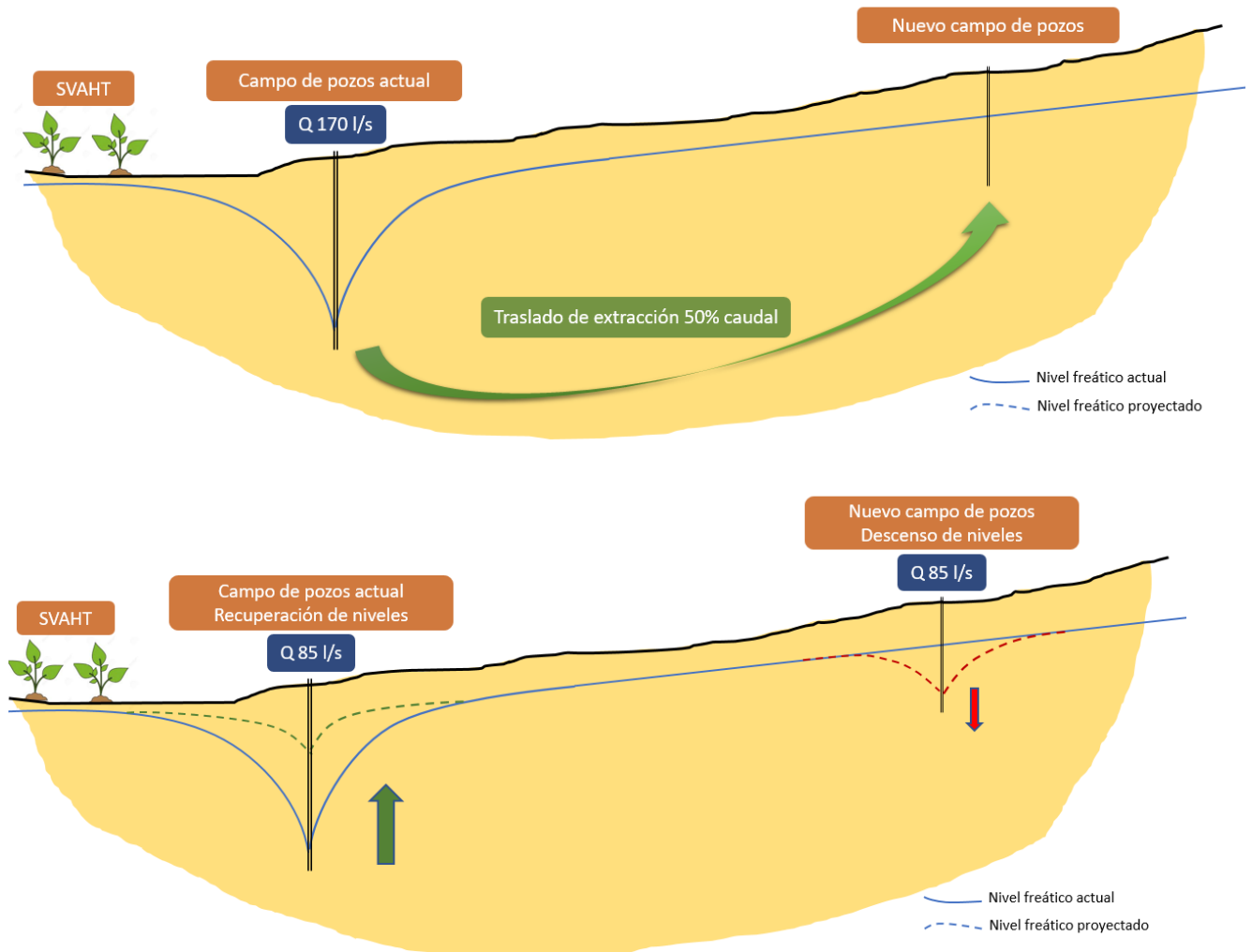


Figura 1-3: Esquema del traslado de extracción en el Salar de Pedernales.

Si bien las predicciones de los modelos numéricos asociadas a las posibles fluctuaciones de las aguas subterráneas son una buena herramienta de gestión hídrica para la explotación sustentable de los acuíferos, se hace igualmente necesario aplicar los resguardos que impidan una posible afectación del SVAHT actual, mediante la generación del presente plan de seguimiento y plan de alerta temprana. Más aún, si se considera que los SVAHT son sistemas complejos, dependientes de diversas variables y características de los sistemas hidrológicos (tipos de aportes, propiedades del sustrato, etc), y no exclusivamente de la ubicación del nivel freático.

1.3 Sistemas Vegetacionales Azonales Hídricos Terrestres (SVAHT)

Los Sistemas Vegetacionales Azonales Hídricos Terrestres (SVAHT), desde el punto de vista vegetacional, son formaciones comunes y de amplia distribución en situaciones de acumulación de agua en la Cordillera de Los Andes de las Regiones de Atacama y Coquimbo (Luebert & Pliscoff, 2006). Su desarrollo por definición está determinado fundamentalmente por el aporte hídrico, existiendo una dependencia entre este aporte y la vegetación azonal existente, la que a su vez es sustentada por una serie de interrelaciones, entre las que destacan el suministro hídrico determinado por la presencia de un acuífero subterráneo, y un suministro hídrico determinado por cursos de aguas superficiales (Ahumada & Faúndez, 2009).

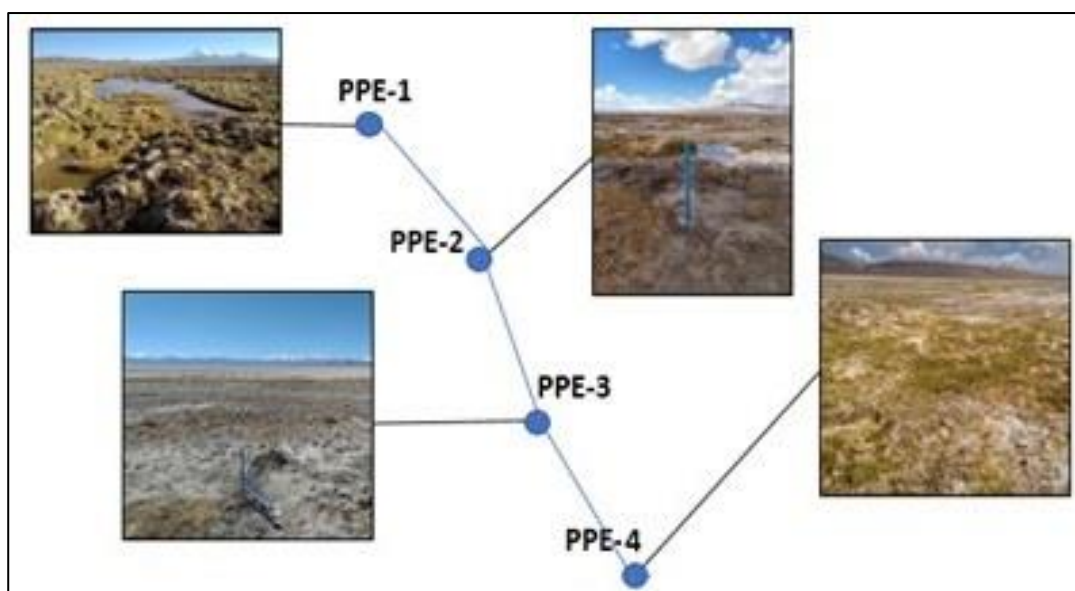
En los ecosistemas tipos Vega-Canal-Laguna (VCL), como el presente en el Salar de Pedernales, el componente vegetación denominado SVATH, se desarrolla en suelos que frecuentemente presentan niveles altos de humedad o bien están saturados de agua, en donde las áreas con cubierta vegetacional el suelo está formado por material fino y arcilloso. En estos ecosistemas es característico encontrar un nivel freático a diferentes profundidades, que se explican por la heterogeneidad natural de estos sistemas, tanto espacial como temporalmente y que son dependientes de las condiciones hidrológicas estacionales e interanuales (Ver Anexo 8-9 del EIA “Estudio variabilidad VCL Salar de Pedernales”).

Para considerar un valor adecuado para el funcionamiento y desarrollo de los SVAHT en el Salar de Pedernales, se tomó en cuenta lo indicado en el documento de la División de Estudios y Planificación de la DGA (2012), el cual estableció que una disminución de 25 cm del nivel de agua no produciría ningún impacto en la vegetación de los humedales ubicados en la parte sur del salar de Atacama. Cabe mencionar que este nivel de descenso ha sido ampliamente utilizado en otras evaluaciones ambientales.

Para fundamentar la validez de este valor en el Salar de Pedernales, se realizaron perforaciones manuales y una toma de muestras de terreno para evaluar y caracterizar el sustrato y la profundidad de las raíces de la vegetación azonal presente (Tabla 1-2 y Figura 1-4), los cuales serían indicadores de la utilización de agua por parte de la vegetación existente en este tipo de ecosistemas.

Tabla 1-2: Resumen de resultados puntos de control.

| Punto de control | Coordenadas UTM WGS84 H19S | | Nivel de agua (m b.n.t) | Vegetación | Profundidad de raíces (m) | Cond. Eléctrica (mS/cm) |
|------------------|----------------------------|---------|-------------------------|------------|---------------------------|-------------------------|
| | UTM N | UTM E | | | | |
| PPE-1 | 7.088.018 | 477.458 | 0,01 | Activo | ≥ 0,35 | 5,52 |
| PPE-2 | 7.087.870 | 477.555 | 0,00 | Activo | ≥ 0,5 | 4,38 |
| PPE-3 | 7.087.637 | 477.565 | 0,07 | Activo | ≥ 0,51 | 9,53 |
| PPE-4 | 7.087.465 | 477.640 | 0,24 | Activo | ≥ 0,52 | 4,57 |

**Figura 1-4.** Puntos de monitoreo Plan de Seguimiento Ecosistemas Acuáticos

En cada punto de control se realizó una perforación de 2 m de profundidad, tomando además muestras de agua. El nivel del agua presentó valores muy someros en torno a los 10 cm en los puntos PPE-1, PPE-2 y PPE-3, mientras que en el punto PPE-4, presentó una profundidad de 0,24 m. Estos valores son fluctuantes en el tiempo según la temporalidad existente en este tipo de ecosistemas.

Es relevante destacar que 3 de los 4 puntos medidos con vegetación presentaron profundidad de raíces visibles mayores a 50 cm (profundidad de barreno toma de testigo). Cabe mencionar que

los sistemas radiculares absorben agua en condiciones de sustrato húmedo, así como de suelos saturados. De acuerdo con las propiedades del sustrato es posible indicar que el ascenso capilar en los suelos finos es alto: en arenas finas (T40 – T200), si es suelta la altura capilar es de 0,3 m a 2 m, si es densa la altura capilar va entre los 0,4 m a 3,5 m. Para el caso de las arcillas (< T200), las alturas capilares pueden llegar a los 10 m, en condiciones a nivel del mar. Estos ascensos capilares pueden aumentar a menor presión atmosférica (Gonzalo & Escobar *et al* 2016). Dada estas características es posible encontrar el suelo húmedo o saturado, a distintos niveles de profundidad freáticos.

A continuación, se presenta un resumen de la estratigrafía de cada punto de control. Las imágenes y el detalle de cada perfil realizado se presentan en el Apéndice A “Perfiles” del presente documento.

Punto PPE-1

- 0 a 4 cm, vegetación.
- 4 a 35 cm, suelo orgánico areno limoso, el contenido de finos disminuye hacia la base de un 20% a un 15 %.
- Existe presencia de raíces a lo largo de toda la columna recuperada, las raíces son abundantes y gruesas hasta los 25 cm, en adelante, éstas son abundantes y de grosor medio. El nivel estático coincide con la superficie del terreno.

Punto PPE-2

- 0 a 2 cm, vegetación.
- 3 a 50 cm intercalación de arena fina limo-arcillosa con arcilla plástica arenosa.
- Existe presencia de raíces a lo largo de toda la columna recuperada, las raíces son abundantes y gruesas hasta los 15 cm, en adelante, son escasas y de grosor fino a muy fino El nivel estático coincide con la superficie del terreno.

Punto PPE-3

- 0 a 2 cm, vegetación.
- 3 a 25 cm, arena gravosa con bajo contenido de finos del 10%.
- 26 a 51 cm, arcilla arenosa con un contenido de finos del 60%.

- Existe presencia de raíces a lo largo de toda la columna recuperada, las cuales son abundantes y gruesas hasta los 25 cm, posterior a ese tramo, las raíces son escasas y muy finas. El nivel estático se encuentra a 0,07 m b.n.t. (metros bajo el nivel del terreno).

Punto PPE-4

- 0 a 2 cm, vegetación.
- 3-52 cm, arena gravosa, el contenido de finos disminuye hacia la base de 20% a 15%. El primer tramo corresponde a suelo orgánico de los 3 a 17 cm.
- Existe presencia de raíces a lo largo de toda la columna recuperada, las raíces son abundantes y gruesas hasta los 17 cm, en adelante, son abundantes y de grosor medio. El nivel estático se encuentra a 0,24 m b.n.t. (metros bajo el nivel del terreno).

De acuerdo con los resultados observados es posible indicar que este tipo de formación vegetal está asociada a la presencia de agua. Las raíces se distribuyen desde la superficie del terreno hasta profundidades mayores a los 50 cm. La textura de los horizontes de suelo indica que producto de la capilaridad del suelo fino es posible encontrar agua para la vegetación, si el nivel freático se encuentra dentro del primer metro de profundidad. De este modo el valor umbral de 25 cm de descenso de nivel freático se considera aceptable para la subsistencia de las comunidades vegetales azonales en el Salar de Pedernales.

2 Plan de Seguimiento

El Plan de Seguimiento para el Sector Pedernales se ha diseñado para corroborar los resultados de la evaluación de impactos ambientales del Proyecto sobre las aguas subterráneas, poniendo énfasis en la zona con vegetación del SVAHT activo, ubicado al suroeste del salar, tal como se detalló en el Capítulo 4 del EIA.

Los modelos numéricos generados, que consideran la gestión del recurso hídrico del Proyecto Rajo Inca, han sugerido tendencias al ascenso de los niveles piezométricos entre las zonas de vegetación activa del SVAHT y el campo de pozos del Llano Pajaritos, así como la generación de un cono de depresión local asociado al nuevo campo de pozos.

A pesar de que se observen resultados favorables en el modelo numérico, se hace necesario aplicar los resguardos que protejan una posible afectación del SVAHT activo, como también controlar la extensión del cono de depresión local de los pozos de bombeo en el salar de Pedernales.

Este plan se definió en base a los requerimientos señalados en la Resolución Exenta N°223 de 2015 del Ministerio de Medio Ambiente, la cual “dicta instrucciones generales sobre la elaboración del Plan de Seguimiento de variables ambientales, los informes de seguimiento ambiental y la remisión de información al sistema electrónico de seguimiento ambiental”.

2.1 Puntos de Monitoreo

La selección de los puntos de monitoreo se determinó con el fin de representar: 1) los niveles, 2) el volumen y/o 3) la calidad química de las aguas subterráneas en la cuenca, a fin de realizar un seguimiento global de su variación.

Adicionalmente, se contará con 3 estaciones meteorológicas, denominadas estación La Ola, estación Los Arroyos y estación Centro Salar. Estas estaciones permitirán monitorear las variables climáticas que pueden afectar a los niveles y el volumen en el acuífero.

Los puntos de monitoreo para el Plan de Seguimiento se definieron según los antecedentes del “Modelo Hidrogeológico Conceptual de la cuenca Salar de Pedernales”, y corresponden a:

- 29 pozos o piezómetros (ver Tabla 2-1).
- 18 punteras (ver Tabla 2-2).
- 3 estaciones meteorológicas (Tabla 2-3).

Tabla 2-1: Puntos de monitoreo correspondientes a 29 pozos/piezómetros.

| Nombre punto | Este WGS84 (m) | Norte WGS84 (m) | Ubicación |
|--------------|----------------|-----------------|---------------------------|
| B-1 | 485.412 | 7.088.439 | Subc. Salar de Pedernales |
| B-2 | 484.841 | 7.085.753 | Subc. Salar de Pedernales |
| B-3 | 488.113 | 7.084.034 | Subc. Salar de Pedernales |
| B-4 | 489.516 | 7.081.315 | Subc. Salar de Pedernales |
| J-2 | 493.936 | 7.074.429 | Subc. Salar de Pedernales |
| J-3 | 498.114 | 7.069.987 | Subc. Rio Juncalito |
| J-5 | 499.523 | 7.069.832 | Subc. Rio Juncalito |
| J-6 | 495.187 | 7.070.370 | Subc. Rio Juncalito |
| J-7 | 493.070 | 7.073.532 | Subc. Salar de Pedernales |
| P-19a | 480.343 | 7.08.5060 | Subc. Salar de Pedernales |
| P-4a | 481.828 | 7.086.312 | Subc. Salar de Pedernales |
| P-5a | 483.762 | 7.087.466 | Subc. Salar de Pedernales |
| P-7a | 481.358 | 7.083.490 | Subc. Salar de Pedernales |
| PB-1 | 494.921 | 7.068.711 | Subc. Rio La Ola |
| PB-9 | 480.291 | 7.084.333 | Subc. Salar de Pedernales |
| PB-10 | 480.322 | 7.085.024 | Subc. Salar de Pedernales |
| PB-11 | 479.585 | 7.084.355 | Subc. Salar de Pedernales |
| PB-12 | 480.889 | 7.085.683 | Subc. Salar de Pedernales |
| PB-15 | 494.580 | 7.073.062 | Subc. Salar de Pedernales |
| PE-1 | 490.135 | 7.095.609 | Subc. Salar de Pedernales |
| PE-3 | 499.090 | 7.053.167 | Subc. Rio La Ola |
| PO-1 | 495.192 | 7.070.379 | Subc. Rio Juncalito |
| PO-2 | 495.445 | 7.068.119 | Subc. Rio La Ola |
| PO-3 | 497.811 | 7.068.716 | Subc. Rio La Ola |
| PO-4 | 495.467 | 7.065.441 | Subc. Rio La Ola |
| POLLP | 482.210 | 7.084.742 | Subc. Salar de Pedernales |
| S-3 | 480.927 | 7.103.716 | Subc. Salar de Pedernales |
| S-6 | 477.663 | 7.101.110 | Subc. Salar de Pedernales |
| CP-11 | 478.477 | 7.087.322 | Subc. Salar de Pedernales |

Tabla 2-2: Puntos de monitoreo correspondientes a 18 punteras.

| Nombre | Este WGS84 (m) | Norte WGS84 (m) | Ubicación |
|--------|----------------|-----------------|--|
| PU-1 | 496.042 | 7.064.207 | Inmediaciones de La Ola – Subc. Río La Ola |
| PU-2 | 495.877 | 7.064.067 | Inmediaciones de La Ola – Subc. Río La Ola |
| PU-3 | 495.396 | 7.065.021 | Inmediaciones de La Ola – Subc. Río La Ola |
| PU-4 | 500.876 | 7.065.305 | Inmediaciones de La Ola – Subc. Río La Ola |
| PU-5 | 502.477 | 7.064.577 | Inmediaciones de La Ola – Subc. Río La Ola |
| PU-6 | 501.949 | 7.064.866 | Inmediaciones de La Ola – Subc. Río La Ola |
| PU-10 | 492.336 | 7.103.349 | Subc. Salar de Pedernales |
| PU-31 | 477.255 | 7.088.087 | SVAHT - Subc. Salar de Pedernales |
| PU-41 | 478.239 | 7.085.423 | SVAHT - Subc. Salar de Pedernales |
| PU-42 | 477.487 | 7.086.009 | SVAHT - Subc. Salar de Pedernales |
| PU-43 | 476.634 | 7.087.031 | SVAHT - Subc. Salar de Pedernales |
| PU-44 | 476.511 | 7.088.181 | SVAHT - Subc. Salar de Pedernales |
| PU-45 | 476.775 | 7.089.102 | SVAHT - Subc. Salar de Pedernales |
| PU-46 | 475.894 | 7.089.612 | SVAHT - Subc. Salar de Pedernales |
| PU-47 | 476.857 | 7.089.917 | SVAHT - Subc. Salar de Pedernales |
| PU-48 | 477.596 | 7.088.149 | SVAHT - Subc. Salar de Pedernales |
| PU-49 | 478.041 | 7.087.092 | SVAHT - Subc. Salar de Pedernales |
| PU-50 | 478.613 | 7.085.772 | SVAHT - Subc. Salar de Pedernales |

Tabla 2-3: Puntos de monitoreo correspondientes a 3 estaciones meteorológicas.

| Nombre punto | Este WGS84 (m) | Norte WGS84 (m) | Ubicación |
|-----------------------|----------------|-----------------|--|
| Estación La Ola | 493.579 | 7.073.180 | Inmediaciones de La Ola – Subc. Río La Ola |
| Estación Los Arroyos | 501.854 | 7.054.150 | Inmediaciones de La Ola – Subc. Río La Ola |
| Estación Centro Salar | 490.106 | 7.095.633 | Llano de Pedernales- Subc. Salar de Pedernales |

En la Figura 2-1 se presenta la ubicación de los puntos de monitoreo. Se observa que el número de puntos y su distribución espacial es suficiente para determinar las variaciones generales de las aguas subterráneas, especialmente en el entorno del campo de pozos de bombeo y en el SVAHT ubicado al oeste del Salar de Pedernales.

Mencionar que, una vez definidas las coordenadas exactas de la ubicación de los nuevos pozos de bombeo, al menos 5 km aguas arriba del campo de pozos de bombeo del Llano Pajaritos, se establecerán 2 puntos de monitoreo para cada uno de los nuevos pozos.

Se debe considerar que, debido a las condiciones climáticas adversas que ocurren en la zona de estudio, no siempre será posible medir todos los puntos de monitoreo. Lo anterior se dará principalmente en los meses invernales. En caso de que esto ocurra, será informado a la autoridad competente (SMA) en los informes correspondientes.

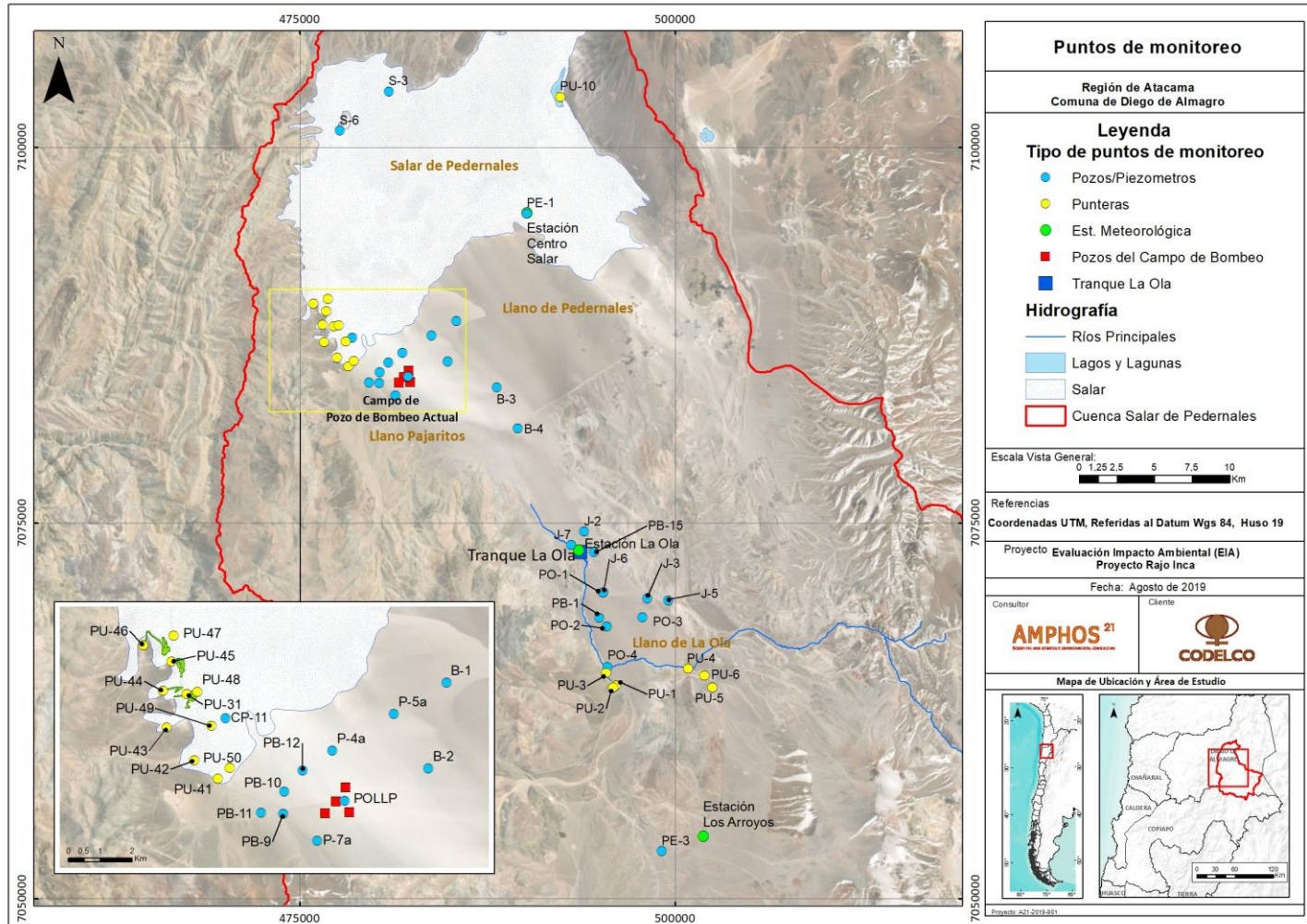


Figura 2-1: Ubicación puntos de monitoreo del Plan de Seguimiento de la cuenca Salar de Pedernales.

2.2 Parámetros de Monitoreo y Metodología de Muestreo

Los efectos sobre las aguas subterráneas que podría generar el Proyecto Rajo Inca en la cuenca Salar de Pedernales se asocian a las posibles variaciones del cono de descenso en el acuífero del salar.

Para controlar estos posibles efectos se monitorearán los siguientes parámetros en el Plan de Seguimiento: 1) niveles piezométricos y variables climáticas, con lo cual se podrán detectar descensos de los niveles y determinar si estos se deben a factores climáticos o a las extracciones de agua subterránea, y 2) calidad química de las aguas en el entorno del SVAHT emplazado al oeste del salar.

2.2.1 Niveles piezométricos

El plan incluye la realización de un seguimiento de los niveles piezométricos de forma mensual, en los pozos/piezómetros y punteras (ver Tabla 2-1 y Tabla 2-2), a excepción de los puntos de monitoreo continuo de niveles (ver Tabla 2-5). El seguimiento se realizará durante las fases de construcción y operación del Proyecto Rajo Inca. Se continuará con el seguimiento una vez acabada la operación, hasta que los niveles piezométricos sean similares a los observados previo a la entrada de operación del PRI.

Se entregarán a la SMA: 1) reportes semestrales con la información piezométrica registrada en cada mes (tanto mediciones puntuales como continuas) y 2) informes anuales donde se analizará la evolución de los datos, los que se entregarán, dentro del tercer mes de terminada la anualidad.

La medición de los niveles será realizada por un organismo de inspección de Muestreo Ambiental-ETFA (Entidad Técnica de Fiscalización Ambiental).

En caso de que no se pueda medir el nivel en uno o varios puntos de monitoreo, se dejará constancia de ello en los respectivos reportes semestrales a la SMA, acompañando la justificación que lo respalde.

2.2.2 Variables climáticas

Se realizará un seguimiento de las variables climáticas en las 3 estaciones meteorológicas propuestas, la estación La Ola, la estación Los Arroyos y la estación Centro Salar (Tabla 2-3).

En ellas se medirán, cada 60 minutos, los siguientes parámetros:

- Presión.
- Altura de nieve.
- Radiación solar.
- Velocidad y dirección del viento.
- Temperatura.
- Humedad relativa.
- Precipitación.

La descarga de los datos medidos en cada una de las estaciones se realizará con una frecuencia trimestral, durante toda la fase de construcción y operación del Proyecto Rajo Inca. Además, se entregarán a la SMA reportes semestrales donde se indicarán los datos medidos y se analizará su evolución.

Debido a las condiciones climáticas adversas que ocurren en la zona de estudio (principalmente durante el invierno) es posible que no se puedan realizar la descarga de datos. En caso de ocurrir la situación antes descrita, se informará a la SMA en los informes anuales.

2.2.3 Calidad química

Tal como se indicó en el “Modelo Hidrogeológico Conceptual de la cuenca Salar de Pedernales”, el SVAHT ubicado en el sector oeste del salar posee: 1) una entrada de agua generada por precipitación directa sobre éste, 2) un aporte por el oeste (asociado a las sub-subcuencas que descargan en el SVAHT y 3) otra posible entrada subterránea que considera un aporte por el sur.

Se generarán datos de calidad química, los que permitirán realizar un balance hidroquímico para analizar las diferencias que se puedan producir en los caudales de entrada. Lo anterior permitirá determinar si las variaciones en el SVAHT se deben a las extracciones o bien a un cambio en las entradas naturales.

Así, el Plan de Seguimiento contará con un monitoreo de calidad de las aguas provenientes del sector sur y oeste, que incluirá el análisis de Conductividad Eléctrica (CE), pH e iones mayoritarios.

La toma de muestras será realizada por un organismo de inspección de Muestreo Ambiental-ETFA (Entidades Técnicas de Fiscalización Ambiental), el cual seguirá las indicaciones

establecidas en la Norma NCh411/11-1998 “Guía para el Muestreo de Aguas Subterráneas”, mientras que el análisis hidroquímico será llevado a cabo por un laboratorio certificado.

La frecuencia del monitoreo será trimestral y se realizará durante las fases de construcción y operación del Proyecto Rajo Inca. Además, se entregarán reportes semestrales a la SMA, donde se incluirán los certificados con los resultados de los análisis químicos de laboratorio.

Los puntos de monitoreo considerados para el seguimiento de la calidad química son 9 en total, de los cuales 3 corresponden a pozos/piezómetros y 6 a punteras (ver Tabla 2-4). Los puntos se ubican en el SVAHT, en su entorno y en los sectores de recarga ubicados al sur y oeste del SVAHT.

Debido a las condiciones climáticas adversas que ocurren en la zona de estudio (principalmente durante el invierno) es posible que no se puedan monitorear todos los puntos. En caso de ocurrir la situación antes descrita, se informará a la SMA en los informes semestrales.

Tabla 2-4: Puntos de monitoreo de calidad química.

| Nombre punto | Este WGS84 (m) | Norte WGS84 (m) | Ubicación relativa a la zona de recarga del SVAHT | Tipo |
|--------------|----------------|-----------------|---|-----------------|
| PB-11 | 479.585 | 7.084.355 | Sur | Pozo/Piezómetro |
| PB-12 | 480.889 | 7.085.683 | Sur | Pozo/Piezómetro |
| CP-11 | 478.477 | 7.087.322 | Sur | Pozo/Piezómetro |
| PU-31 | 477.255 | 7.088.087 | SVAHT | Puntera |
| PU-43 | 476.634 | 7.087.031 | Oeste | Puntera |
| PU-44 | 476.511 | 7.088.181 | Oeste | Puntera |
| PU-45 | 476.775 | 7.089.102 | Norte | Puntera |
| PU-48 | 477.596 | 7.088.149 | SVAHT | Puntera |
| PU-49 | 478.041 | 7.087.092 | Sur | Puntera |

2.2.4 Instalación de sensores de medición continua de nivel piezométrico

El Plan de Seguimiento incluye la instalación de sensores de medición continua, los cuales registrarán dos veces al día el nivel piezométrico en 10 puntos de monitoreo ubicados en el entorno del SVAHT y del campo de pozos de bombeo, con descarga de datos trimestral (ver Tabla 2-5).

Tabla 2-5: Puntos de monitoreo con sensores de medición continua de nivel piezométrico y C.E.

| Nombre punto | Este WGS84 (m) | Norte WGS84 (m) | Ubicación relativa a la zona de recarga del SVAHT | Tipo |
|--------------|----------------|-----------------|---|-----------------|
| PB-9 | 480.291 | 7.084.333 | Sur | Pozo/Piezómetro |
| PB-10 | 480.322 | 7.085.024 | Sur | Pozo/Piezómetro |
| PB-11 | 479.585 | 7.084.355 | Sur | Pozo/Piezómetro |
| PB-12 | 480.889 | 7.085.683 | Sur | Pozo/Piezómetro |
| CP-11 | 478.477 | 7.087.322 | Sur | Pozo/Piezómetro |
| PU-31 | 477.255 | 7.088.087 | Centro | Puntera |
| PU-43 | 476.634 | 7.087.031 | Oeste | Puntera |
| PU-45 | 476.775 | 7.089.102 | Norte | Puntera |
| PU-48 | 477.596 | 7.088.149 | Este | Puntera |
| PU-49 | 478.041 | 7.087.092 | Sur | Puntera |

2.2.5 Actualización del modelo hidrogeológico numérico

El titular compromete presentar la actualización del modelo hidrogeológico numérico al inicio de la etapa de operación y posteriormente cada 5 años. Lo anterior permitirá garantizar una adecuación y mejora del modelo, representando las condiciones futuras de la cuenca del Salar de Pedernales en base a la nueva información disponible.

La primera actualización será reportada a la SMA, cuando se dé inicio la fase de operación del proyecto. Cuando corresponda presentar el modelo hidrogeológico actualizado, se incluirá como anexo la respectiva actualización del Plan de Seguimiento.

En la Tabla 2-6 se presenta un resumen del Plan de Seguimiento para la cuenca Salar de Pedernales.

Tabla 2-6: Resumen Plan de Seguimiento aguas subterráneas sector Pedernales.

| Fase | Construcción y Operación |
|----------------------------------|--|
| Componente ambiental | Agua Subterránea |
| Impacto ambiental | <ul style="list-style-type: none"> - Disminución del volumen de agua igual o superior al 5% del volumen total de agua en el acuífero de la cuenca Salar de Pedernales. - Disminución del nivel de agua superior a 0,25 metros en la zona de vegetación del SVAHT del salar de Pedernales asociado al cono de descenso del campo de pozos de bombeo. |
| Medida asociada | No aplica |
| Ubicación puntos de control | 29 pozos o piezómetros. 18 punteras. 3 estaciones meteorológicas. |
| Parámetros a medir | <p><u>En los pozos o piezómetros y punteras se medirá</u> Profundidad del nivel de agua.</p> <p><u>Estaciones meteorológicas:</u> Presión. Altura de nieve. Radiación solar. Velocidad y dirección del viento. Temperatura. Humedad relativa. Precipitación.</p> <p><u>Calidad de las aguas</u>, se medirá en los puntos indicados en la Tabla 2-4 del presente informe. Conductividad eléctrica (in situ y en laboratorio). pH (in situ y en laboratorio). Iones mayoritarios (en laboratorio).</p> <p><u>Instalación de sensores de medición continua de nivel piezométrico en los puntos de la Tabla 2-5 del presente informe.</u></p> |
| Límites permitidos/comprometidos | Se indican en la sección 3 (Puntos de control del PAT). |
| Duración del monitoreo | Desde el inicio de la etapa de construcción, durante la etapa de operación, hasta que los niveles piezométricos sean similares a los observados previo a la entrada de operación del Proyecto Rajo Inca. |

| Fase | Construcción y Operación |
|--|---|
| Frecuencia del monitoreo | 1 - <u>Profundidad nivel freático</u> : mediciones mensuales. 2 - <u>Variables climáticas</u> : mediciones horarias con descarga de los datos trimestral. 3 - <u>Calidad de las aguas</u> : mediciones trimestrales. 4 - <u>Sensores de medición continua</u> : 2 mediciones por día con descarga de los datos trimestral. 5.- <u>Actualización del modelo</u> . No aplica |
| Método o procedimiento de medición | Las mediciones de <u>Profundidad de nivel freático</u> y la toma de muestras para su posterior análisis de <u>parámetros de Calidad Química</u> las realizará un organismo de inspección de Muestreo Ambiental-ETFA (Entidades Técnicas de Fiscalización Ambiental), el cual deberá seguir las indicaciones establecidas en la Norma NCh411/11-1998 "Guía para el Muestreo de Aguas Subterráneas". Por su parte, el análisis hidroquímico para determinar la calidad de las aguas será llevado a cabo por un Laboratorio certificado. Las mediciones de las <u>variables climáticas</u> serán extraídas trimestralmente, al igual que los datos registrados desde los <u>sensores de medición continua</u> , los cuales serán descargados de forma trimestral. |
| Plazo y frecuencia de entrega de informe | 1.- <u>Profundidad nivel freático</u> : reporte semestral 2.- <u>Variables climáticas</u> : reporte semestral 3.- <u>Calidad de las aguas</u> : reporte semestral 4.- <u>Sensores de medición continua</u> : reporte semestral 5.- <u>Actualización del modelo</u> : cada 5 años. |

3 Plan de Alerta Temprana (PAT)

Los modelos numéricos generados, que consideran la gestión del recurso hídrico del Proyecto Rajo Inca, han sugerido tendencias al ascenso de los niveles freáticos entre las zonas de vegetación activa del SVAHT y el campo de pozos en el Llano Pajaritos.

Aun así, en este capítulo se presenta el Plan de Alerta Temprana (PAT) para la cuenca Salar de Pedernales, el cual será implementado como una herramienta para verificar la no afectación de la vegetación activa del SVAHT actual, y la eventual extensión del cono de descenso local asociado al campo de bombeo (considerando el traslado del 50% de caudal de extracción a los puntos PBT-1 y PBT-2).

Para definir el PAT se utilizó la “Guía metodológica de Elaboración y Gestión de Planes de Alerta Temprana – Apéndice A, S.I.T N°336” elaborado por la DGA (2014), la cual entrega los criterios básicos y contenidos mínimos para abordar las diferentes fases de un ciclo de un PAT.

A continuación, se definen: 1) los puntos de control, 2) las variables de control, 3) los valores umbrales que activan los niveles de acción y 4) las acciones que se tomarán en caso de que dichos niveles se activen.

3.1 Puntos de Control

Los puntos de control del Plan de Alerta Temprana de la cuenca Salar de Pedernales se determinaron en función de su ubicación con respecto a: 1) el área sensible presente en la zona de estudio (vegetación del SVAHT actual) y 2) a las zonas donde se extrae agua subterránea (campos de pozos de bombeo).

Los puntos de control son 9 en total y corresponden a 5 pozos/piezómetros (PB-9, PB-10, PB-11, PB-12, CP-11) y 4 punteras (PU-31, PU-45, PU-48 y PU-49). En estos puntos se controlarán los posibles efectos sobre el SVAHT, asociados a los descensos que podría generar la extracción desde el campo de pozos de bombeo (Tabla 3-1).

Mencionar que, una vez definidas las coordenadas exactas de la ubicación de los nuevos pozos de bombeo PBT-1 y PBT-2, al menos, a 5 km aguas arriba del campo de pozos del Llano Pajaritos, alejados del sector de vegetación activa del SVAHT actual, se establecerán puntos de control adicionales para cada uno de los nuevos pozos de bombeo.

De acuerdo a su distribución se proponen: 1) seis puntos localizados entre el campo de bombeo en el Llano Pajaritos y la zona de vegetación del SVAHT (PB-9, PB-10, PB-11, PB-12, CP-11 y PU-49), y 2) tres puntos (PU-31, PU-45 y PU-48) emplazados en la zona de vegetación activa del SVAHT. La ubicación de los puntos se presenta en la Figura 3-1.

Tabla 3-1: Puntos de control PAT.

| Nombre punto | Este WGS84 (m) | Norte WGS84 (m) | Ubicación relativa a la zona de recarga del SVAHT | Tipo |
|--------------|----------------|-----------------|---|-----------------|
| PB-9 | 480.291 | 7.084.333 | Sureste | Pozo/Piezómetro |
| PB-10 | 480.322 | 7.085.024 | Sureste | Pozo/Piezómetro |
| PB-11 | 479.585 | 7.084.355 | Sureste | Pozo/Piezómetro |
| PB-12 | 480.889 | 7.085.683 | Sureste | Pozo/Piezómetro |
| CP-11 | 478.477 | 7.087.322 | Sur | Pozo/Piezómetro |
| PU-49 | 478.041 | 7.087.092 | Sur | Puntera |
| PU-31 | 477.255 | 7.088.087 | Vegetación activa SVAHT | Puntera |
| PU-45 | 476.775 | 7.089.102 | Vegetación activa SVAHT | Puntera |
| PU-48 | 477.596 | 7.088.149 | Vegetación activa SVAHT | Puntera |

3.2 Variables de Control

La variable de control es el nivel piezométrico en los puntos de control del PAT, los cuales serán reportados como cota del agua subterránea referido al nivel del mar (m s.n.m.) y metros bajo el nivel de terreno (m b.n.t.).

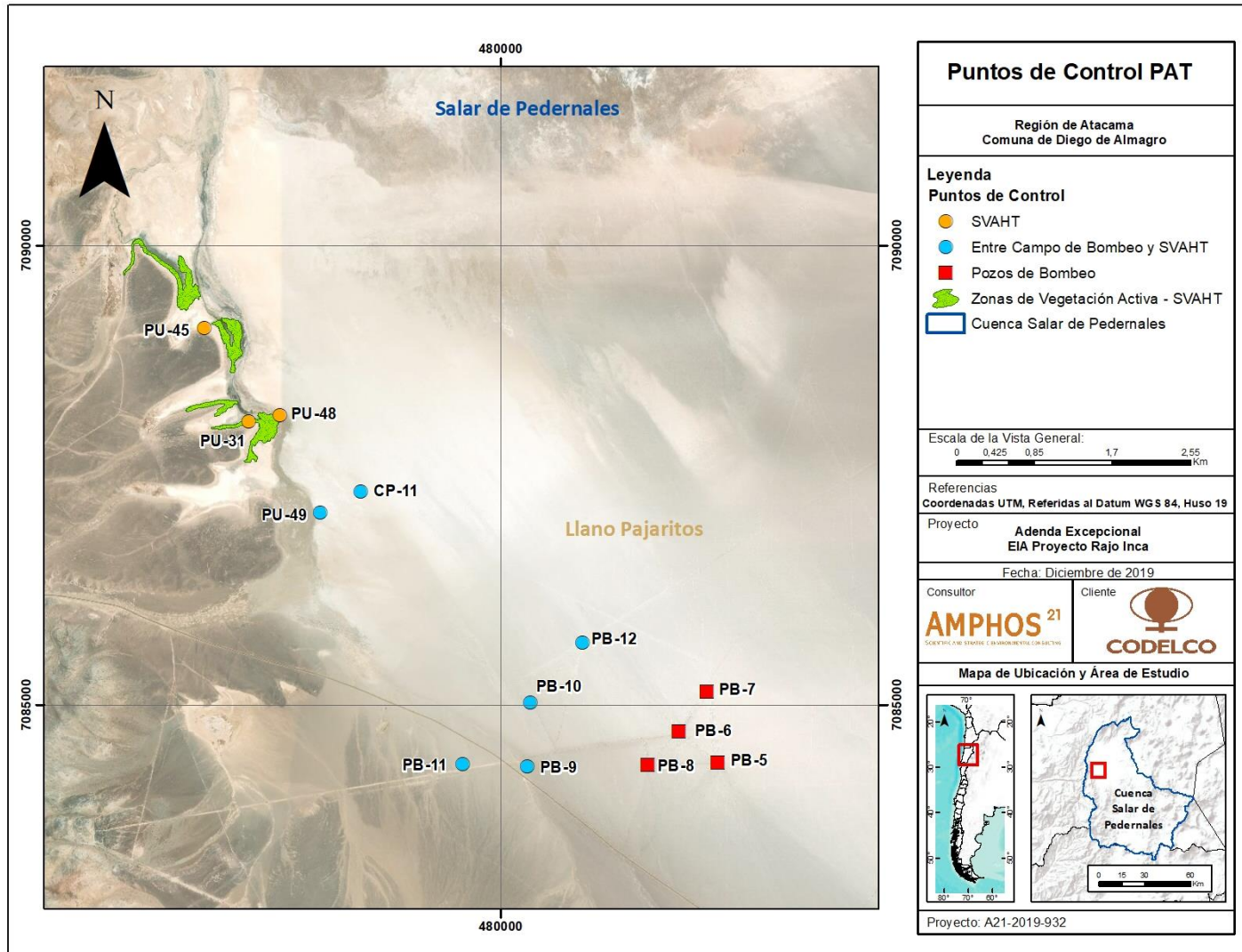


Figura 3-1: Ubicación puntos de control del Plan de Alerta Temprana de la cuenca Salar de Pedernales.

3.3 Valores Umbrales

Los Valores Umbrales Piezométricos (VUP) corresponden a valores específicos de la cota del nivel piezométrico que deben presentar las aguas subterráneas en los 9 puntos de control del PAT. Estos VUP permiten verificar que las extracciones desde el campo de pozos de bombeo no generen un descenso de los niveles superior a 0,25 m en la zona de vegetación del SVAHT, estableciéndose alertas relacionadas a descensos hipotéticos de 0,15 m y 0,20 m.

El descenso máximo de nivel de agua en el cual no se producirían efectos en la vegetación del SVAHT es de 0,25 m. Este valor se determinó a partir de lo indicado en el documento de la División de Estudios y Planificación de la DGA (2012), en el cual se indica que en salares de similares características al salar de Pedernales, “una disminución de 0,25 m del nivel de agua de los humedales no produciría ningún impacto en la flora y fauna del lugar” (ver capítulo 1.3).

Para los puntos de control ubicados en la zona de vegetación del SVAHT (PU-31, PU-45 y PU-48) se establecieron valores umbrales piezométricos considerando descensos de 0,15 m (preventivo) y 0,20 m (mínimo) con el objetivo de nunca alcanzar descensos de 0,25 m.

Los valores umbrales en los puntos de control del PAT localizados en el Llano Pajaritos (PB-9, PB-10, PB-11, PB-12, CP-11 y PU-49) se calculan en el siguiente apartado y su finalidad será identificar las disminuciones del nivel piezométrico en estos puntos y evitar descensos (>0,25 m) en la zona del SVAHT.

Para todos los puntos de control anteriores se definen dos niveles de VUP, un valor umbral piezométrico preventivo (VUPP) y un valor umbral piezométrico mínimo (VUPM), a fin de permitir la ejecución sistemática de los niveles de acción.

3.3.1 Estimación de Valores Umbrales en puntos de control del PAT (Llano Pajaritos)

La evolución temporal de los niveles freáticos registrados en los puntos de control (ver Figura 3-2) muestran que los pozos cercanos al campo de pozos de bombeo actual (PB-9, PB-10, PB-11 y PB-12) presentan un comportamiento similar a lo largo de todo su registro. Con descensos de los niveles de agua desde el año 2009 hasta principios del año 2018, y un ascenso generalizado desde marzo del 2018 (mencionar que el pozo PB-10 no muestra registros en el último periodo).

Por su parte, el pozo CP-11 cuenta con registros desde mayo del 2018, mostrando una tendencia similar a la observada en los pozos PB-9, PB-11 y PB-12 pero con una tasa de ascenso del nivel de agua inferior. En la misma Figura 3-2 se observa que, en el mismo periodo de tiempo, las punteras localizadas en la zona de vegetación SVAHT (PU-31 y PU-48) registran variaciones

cíclicas (relacionadas con la recarga) a diferencia del comportamiento observado en los pozos del control del PAT indicados.

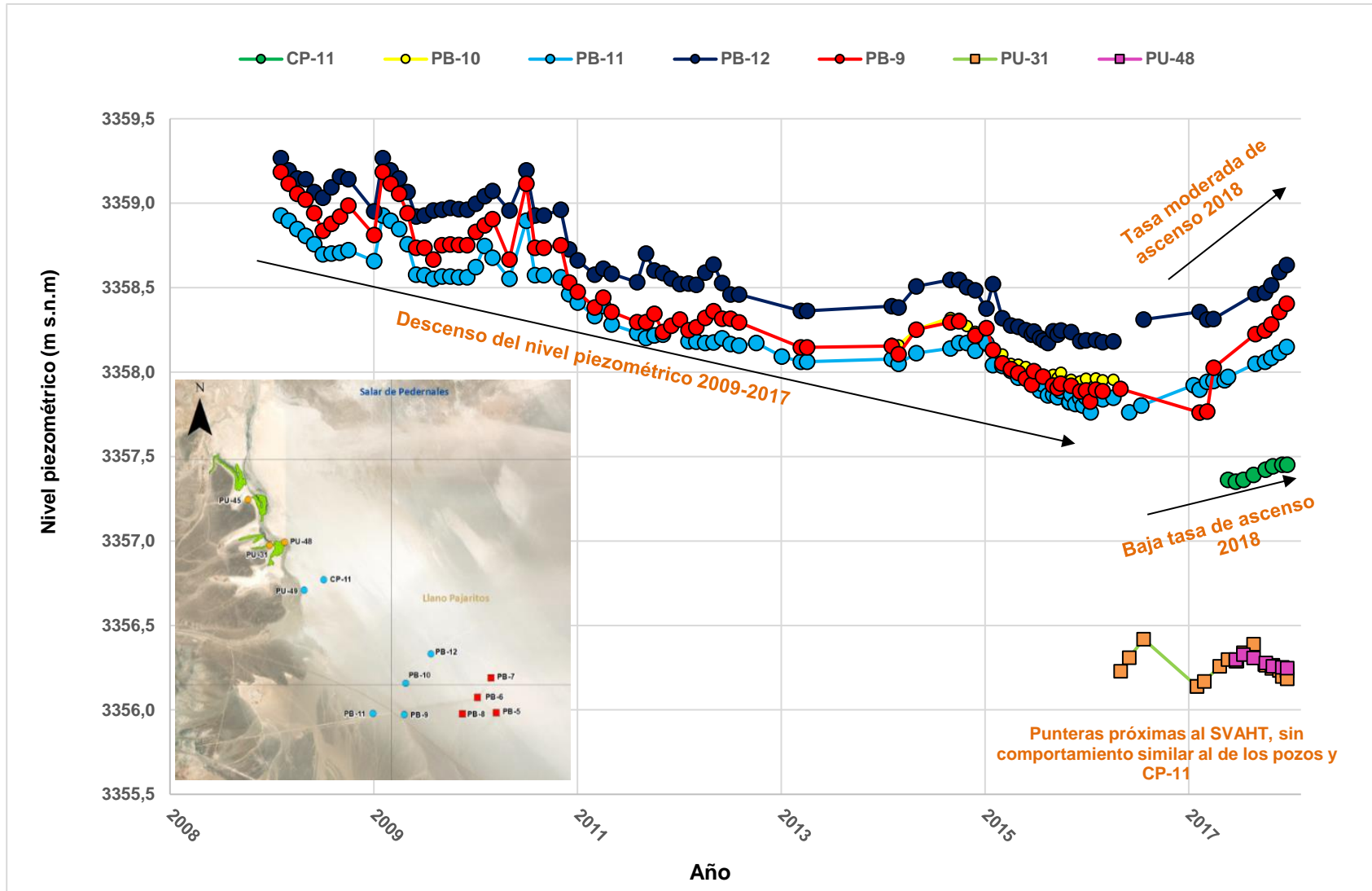


Figura 3-2. Niveles piezométricos puntos de control PAT.

Por tanto, estas variaciones de los niveles en los pozos actúan a modo de respuestas en el acuífero, las cuales no están conectadas con las variaciones que se producen que en las punteras localizadas en el SVAHT.

Teniendo en cuenta el comportamiento de niveles en los puntos descritos anteriormente (ver Figura 3-2), se han calculado los valores umbrales de los puntos de control del PAT en el Llano Pajaritos (PB-9, PB-10, PB-11, PB-12, CP-11 y PU-49) de la siguiente manera:

- Para el cálculo de los umbrales se consideró el periodo de tiempo desde mayo a diciembre de 2018, donde se disponen de registros de niveles de las punteras del SVAHT y de los pozos de control con la finalidad de poder compararse.
- El pozo CP-11 registró una variación en sus niveles de agua de 0,09 m. Para el mismo periodo de tiempo, los pozos PB-9, PB-11 y PB-12 presentaron una variación promedio de 0,25 m.
- Por su parte, la distancia promedio entre el pozo CP-11 y los pozos PB-9, PB-11 y PB-12 es de 3.193 m. Con esta información se establece una relación lineal, con el objetivo de ver la proporcionalidad de variaciones de los niveles entre los pozos, la cual se encuentra representada en la Figura 3-3. Esta relación lineal se ha proyectado hacia la puntera PU-49, localizada fuera de la zona de vegetación SVAHT, considerando una distancia promedio de 3.530 m. Igualmente, esta relación es proyectada hacia las punteras ubicadas en la zona del SVAHT (PU-31), teniendo en cuenta una distancia promedio entre la puntera PU-31 y los pozos PB de 4.528 m.

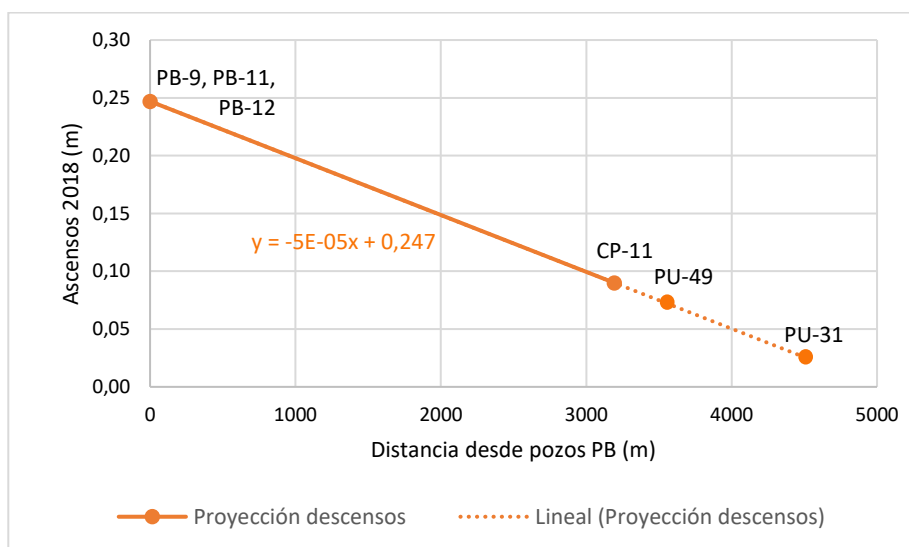


Figura 3-3: Relación lineal ascensos v/s distancia en puntos de control PAT.

- A partir de esta relación lineal de comportamiento de niveles se han determinado relaciones porcentuales de descensos para los pozos PB (100%), el pozo CP-11 (36,4%), la puntera PU-49 (29,7%) y la puntera PU-31 9,9%.

En la Figura 3-4 se muestra un esquema de cómo se relacionan los descensos del nivel de agua de los pozos y punteras partiendo de, por ejemplo, un descenso del nivel de 0,25 metros en la puntera PU-31 (localizada al interior del SVAHT activo). En este caso el descenso del nivel sería de 0,9 m en el punto CP-11 y de 2,5 m en los puntos PB.

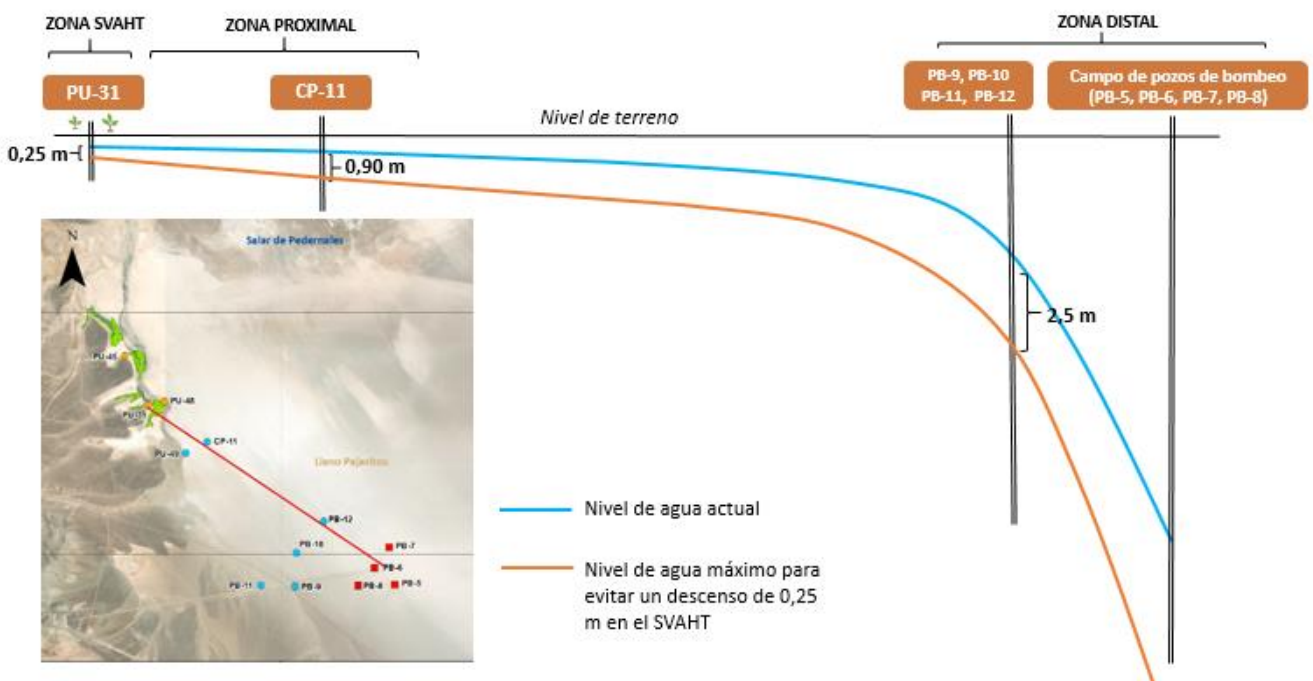


Figura 3-4: Esquema relación descensos puntos de control PAT.

- Con esta metodología los valores umbrales serán definidos para evitar que se active el PAT antes de la llegada del descenso al SVAHT (considerando descensos de 0,15 m (preventivo) y 0,20 m (mínimo) con el objetivo de nunca alcanzar descensos de 0,25 m en la zona del SVAHT).

3.3.2 Nivel Piezométrico Mínimo (NPM)

El Nivel Piezométrico Mínimo (NPM) corresponde al menor nivel freático medido en cada punto de control previo a la entrada en vigencia del Proyecto Rajo Inca. Por lo que su valor será actualizado al comenzar la etapa de operación de acuerdo a los monitoreos desarrollados hasta la fecha. El NPM se presenta en la Tabla 3-2.

Tabla 3-2: Resumen de registros de NPM en los puntos de control del PAT.

| Punto de medición | Cota del pozo (*) (m s.n.m.) | Altura de referencia (m) | Primera medición | Última medición | Fecha medición NPM | NPM (m s.n.m.) | NPM (profundidad) (m b.n.t.) |
|-------------------|------------------------------|--------------------------|------------------|-----------------|--------------------|----------------|------------------------------|
| PB-9 | 3.382,04 | 0,50 | 01-02-2009 | 15-12-2018 | 03-04-2017 | 3.357,20 | 24,33 |
| PB-10 | 3.377,20 | 0,00 | 14-09-2001 | 15-12-2018 | 28-04-2017 | 3.357,00 | 20,20 |
| PB-11 | 3.381,62 | 0,57 | 01-02-2009 | 15-12-2018 | 28-04-2017 | 3.356,84 | 24,21 |
| PB-12 | 3.375,84 | 0,86 | 01-02-2009 | 15-12-2018 | 28-04-2017 | 3.357,26 | 17,73 |
| CP-11 | 3.359,69 | 0,45 | 06-05-2018 | 17-12-2018 | 06-05-2018 | 3.357,30 | 1,94 |
| PU-31 | 3.356,59 | 0,10 | 30-05-2017 | 17-12-2018 | 27-01-2018 | 3.356,14 | 0,35 |
| PU-45 | 3.355,97 | 0,26 | 13-07-2018 | 17-12-2018 | 17-12-2018 | 3.355,22 | 0,49 |
| PU-48 | 3.356,80 | 0,39 | 16-06-2018 | 17-12-2018 | 17-12-2018 | 3.356,25 | 0,17 |
| PU-49 | 3.358,85 | 0,26 | 16-06-2018 | 17-12-2018 | 16-06-2018 | 3.357,07 | 1,52 |

NOTA: Los NPM deben ser actualizados con los registros obtenidos previo a la etapa operación del Proyecto Rajo Inca.

(*): La cota del pozo corresponde a la altura desde la tapa del pozo/puntera, considerando la altura de referencia.

3.3.3 Valores Umbrales Para Punteras del Sector SVAHT

Los valores umbrales piezométricos para las punteras del sector SVAHT (PU-31, PU-45 y PU-48) son definidos en base al NPM, y considerando descensos de 0,15 m (preventivo) y 0,20 m (máximo). Con el objetivo de evitar descensos superiores a los 0,25 m que pudiesen generar efectos negativos por sobre los sistemas de vegetación SVAHT.

3.3.3.1 Valores Umbrales Piezométricos Preventivos (VUPP)

Los Valores Umbrales Piezométricos Preventivos (VUPP), son definidos como los niveles piezométricos mínimos (NPM) registrados durante los monitoreos de las punteras, menos una magnitud de 0,15 m. En consecuencia, es posible definir el VUPP según se presenta en la Tabla 3-3.

Tabla 3-3: Valores Umbrales Piezométricos Preventivos (VUPP)

| Punto de medición | NPM (m s.n.m.) | VUPP (m s.n.m.) | VUPP (profundidad) (m b.n.t.) |
|-------------------|----------------|-----------------|-------------------------------|
| PU-31 | 3.356,14 | 3.355,99 | 0,50 |
| PU-45 | 3.355,22 | 3.355,07 | 0,64 |
| PU-48 | 3.356,25 | 3.356,10 | 0,32 |

NOTA: Los NPM y VUPP deben ser actualizados con los registros obtenidos previos a la etapa de operación del Proyecto Rajo Inca.

3.3.3.2 Valores Umbrales Piezométricos Mínimos (VUPM)

El Valor Umbral Piezométrico Mínimo (VUPM) considera los niveles piezométricos mínimos (NPM) registrados, menos una altura de 0,20 m. Este descenso de 0,20 m es inferior (más restrictivo) a los 0,25 m que permiten conservar la vegetación activa del SVAHT, y dan lugar a la ejecución de acciones que eviten efectos significativos sobre el sistema vegetal. En consecuencia, es posible definir el VUPM según se presenta en la Tabla 3-4.

Tabla 3-4: Valores Umbrales Piezométricos Mínimos (VUPM)

| Punto de medición | NPM (m s.n.m.) | VUPM (m s.n.m.) | VUPM (profundidad) (m b.n.t.) |
|-------------------|----------------|-----------------|-------------------------------|
| PU-31 | 3.356,14 | 3.355,94 | 0,55 |
| PU-45 | 3.355,22 | 3.355,02 | 0,69 |
| PU-48 | 3.356,25 | 3.356,05 | 0,37 |

NOTA: Los NPM y VUPM deben ser actualizados con los registros obtenidos previos a la etapa de operación del Proyecto Rajo Inca.

3.3.4 Valores Umbrales Para Puntos en el Llano Pajaritos

Los valores umbrales piezométricos para los puntos existentes entre el campo de pozos de bombeo y la zona de vegetación SVAHT (Llano Pajaritos) serán definidos basados en los descensos preventivos y máximos de las punteras presentes en el campo de vegetación SVAHT.

3.3.4.1 Valores Umbrales Piezométricos Preventivos (VUPP)

Los Valores Umbrales Piezométricos Preventivos (VUPP), son definidos como los niveles piezométricos mínimos (NPM), proyectando descensos de 0,15 m en las punteras de la zona de vegetación SVAHT hacia los puntos de control del Llano Pajaritos (ver metodología de los cálculos en el capítulo 3.3). Con la información disponible el VUPP se presenta en la Tabla 3-5.

Tabla 3-5: Valores Umbrales Piezométricos Preventivos (VUPP).

| Punto de medición | NPM (m s.n.m.) | Descenso Proyectado respetando los 0,15 m SVAHT (m) | VUPP (m s.n.m.) | VUPP (profundidad) (m b.n.t.) |
|-------------------|----------------|---|-----------------|-------------------------------|
| PB-9 | 3.357,20 | 1,52 | 3.355,68 | 25,85 |
| PB-10 | 3.357,00 | 1,52 | 3.355,48 | 21,72 |
| PB-11 | 3.356,84 | 1,52 | 3.355,32 | 25,73 |
| PB-12 | 3.357,26 | 1,52 | 3.355,74 | 19,25 |
| CP-11 | 3.357,30 | 0,55 | 3.356,75 | 2,49 |
| PU-49 | 3.357,07 | 0,45 | 3.356,62 | 1,97 |

NOTA: Los NPM y VUPP deben ser actualizados con los registros obtenidos previos a la etapa de operación del PRI.

3.3.4.2 Valores Umbrales Piezométricos Mínimos (VUPM)

El Valor Umbral Piezométrico Mínimo (VUPM), considera los NPM registrados, proyectando descensos de 0,20 m en las punteras de la zona de vegetación SVAHT hacia los puntos de control del Llano Pajaritos (ver metodología del cálculo en el capítulo 3.3). En consecuencia, es posible definir el VUPM según se presenta en la Tabla 3-6.

Tabla 3-6: Valores Umbrales Piezométricos Mínimos (VUPM)

| Punto de medición | NPM (m s.n.m.) | Descenso Proyectado respetando los 0, 2 m en el SVAHT (m) | VUPM (m s.n.m.) | VUPM (profundidad) (m b.n.t.) |
|-------------------|-------------------|---|--------------------|-------------------------------------|
| PB-9 | 3.357,20 | 2,03 | 3.355,17 | 26,36 |
| PB-10 | 3.357,00 | 2,03 | 3.354,97 | 22,22 |
| PB-11 | 3.356,84 | 2,03 | 3.354,81 | 26,24 |
| PB-12 | 3.357,26 | 2,03 | 3.355,23 | 19,75 |
| CP-11 | 3.357,30 | 0,74 | 3.356,56 | 2,68 |
| PU-49 | 3.357,07 | 0,60 | 3.356,47 | 2,12 |

NOTA: Los NPM y VUPM deben ser actualizados con los registros obtenidos previos a la etapa de operación del Proyecto Rajo Inca.

3.3.5 Valores Umbrales Para Control de Nuevos Pozos de Bombeo

Debido a que la modificación de la gestión actual del recurso hídrico considera el traslado de parte de las extracciones subterráneas, al menos 5 km aguas arriba del campo de pozos del Llano Pajaritos, el presente PAT deberá ser actualizado con nuevos puntos de control que permitan verificar la extensión del cono de depresión local generado.

Del mismo modo, la determinación de los valores umbrales se podrá realizar una vez implementado el nuevo campo de pozos, y se haya levantado la información de sus niveles piezométricos por al menos seis meses. Al determinar los valores umbrales necesarios, estos serán presentados a la Superintendencia de Medio Ambiente.

3.4 Niveles de Acción

El PAT contempla 3 niveles de Acción en respuesta a los resultados que entregue el Plan de Seguimiento, específicamente a los valores de cota de nivel piezométrico y profundidad del agua medidos en los puntos de control propuestos.

El Plan de Alerta Temprana se pondrá en marcha si el nivel piezométrico en los puntos de control del PAT es inferior a los valores umbrales piezométricos definidos, en al menos el 50% de las mediciones en los últimos tres meses de medición continua.

Los niveles de acción son detallados a continuación:

3.4.1 Nivel de acción 1

El nivel de acción 1 se activará si el nivel piezométrico en cualquiera de los puntos de control es inferior al valor umbral piezométrico preventivo (VUPP), en al menos el 50% de las mediciones en los últimos tres meses de medición continua.

Si se activa el nivel de acción 1, se deberán realizar las siguientes acciones:

- Se realizará un estudio para 1) Determinar la interacción de los niveles de aguas superficiales y subterráneas que alimentan la zona de vegetación del SVAHT. 2) Determinar si los descensos son originados por los pozos de bombeo del salar de Pedernales, o se deben a causas externas. 3) Analizar el estado de los organismos de la variable hidrobiológica.

Este estudio se realizará considerando las mediciones de niveles freáticos, los resultados de los análisis químicos y los registros de las estaciones meteorológicas del presente Plan de Seguimiento, así como la información levantada en los puntos de monitoreo del Plan de Seguimiento de Ecosistemas Acuáticos Continentales del salar de Pedernales (Anexo 1-2 Plan de Seguimiento de las Variables Ambientales Relevantes Actualizado, Adenda Complementaria). Además, dicho estudio será entregado a la Autoridad en un plazo no superior a los 3 meses desde la activación del nivel de acción.

Si los resultados del estudio sugieren que las disminuciones del nivel freático han sido generadas debido a la actividad de los pozos de bombeo, se activará el nivel de acción 2 o 3, dependiendo de la magnitud de los descensos en función del valor umbral piezométrico superado.

3.4.2 Nivel de acción 2

El nivel de acción 2 se activará como consecuencia de la activación del nivel de acción 1, vinculado a la superación del VUPP y se deberá realizar la siguiente medida concreta:

- Si en la entrega del informe con las mediciones de los últimos 3 meses no se registra una recuperación del 50% de las mediciones continuas de los piezométricos por sobre los VUPP, se deberá trasladar adicionalmente un 25% del caudal de extracción total.

Además, el traslado del 25% de caudal mencionado anteriormente ocurrirá en un periodo no superior a los 3 meses desde que no se registra recuperación de los niveles por sobre el nivel de los VUPP.

- Adicionalmente, en caso de activación del nivel de acción 2, se verificarán los parámetros y los indicadores comprometidos en el PAS 119 presentado en el Anexo 4-7 de la adenda complementaria del presente EIA. Se realizarán comparaciones entre los valores obtenidos de estas mediciones con los de línea base, lo cuales corresponden a la situación actual del SVAHT. De esta forma se podrá confirmar si existen cambios críticos en el componente hidrobiológico en relación a los indicadores propuestos en el plan de seguimiento. .

3.4.3 Nivel de acción 3

El nivel de acción 3 se activará si el nivel piezométrico en cualquiera de los puntos de control es inferior al valor umbral piezométrico mínimo (VUPM), en al menos el 50% de las mediciones de los últimos tres meses de medición continua.

Si se activa el nivel de acción 3, se deberá realizar la siguiente medida concreta:

- Se deberá trasladar el total del caudal extraído en el campo de pozos de bombeo actual, ubicado en el Llano Pajaritos.

Además, el reporte sobre la activación del nivel de acción 3 será entregado a la Autoridad en un plazo no superior a los dos meses desde su activación.

4 Referencias

- Amphos 21, 2018a. Modelo Hidrogeológico Conceptual de la cuenca Salar de Pedernales. Versión R. EIA Proyecto Rajo Inca. CODELCO Vicepresidencia de Proyectos.
- Amphos 21, 2018b. Modelo Hidrogeológico Numérico subcuenca Salar de Pedernales. Versión R. EIA Proyecto Rajo Inca. CODELCO Vicepresidencia de Proyectos.
- Amphos 21, 2017a. Programa de Monitoreo y Plan de Alerta Temprana sector Pedernales. Versión 0. Adenda Complementaria. DIA Continuidad Operacional División Salvador. CODELCO Vicepresidencia de Proyectos.
- Amphos 21, 2017b. Actualización Modelo Hidrogeológico Conceptual sector cuenca Salar de Pedernales. Versión 0. Adenda Complementaria. DIA Continuidad Operacional División Salvador.
- Centro de Ecología Aplicada Ltda., 2006. Conceptos y Criterios para la Evaluación Ambiental de Humedales. Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile.
- DGA, 2014. Diagnóstico y Sistematización de información de Planes de Alerta Temprana vigentes con condicionamiento de derechos. SIT N°336.
- División de Estudios y Planificación de la DGA, 2012. Informe Técnico – Análisis Preliminar de Planes de Alerta Temprana con Condicionamiento de Derechos. Dirección General de Aguas (DGA), Ministerio de Obras Públicas (MOP), Gobierno de Chile.
- Ministerio del Medio Ambiente, Superintendencia del Medio Ambiente, 2015. Dicta instrucciones generales sobre la elaboración del Plan de Seguimiento de variables ambientales, los informes de seguimiento ambiental y la remisión de información al sistema electrónico de seguimiento ambiental. Resolución Exenta N°223.
- Ministerio del Medio Ambiente, 2013. Aprueba Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. Decreto 40.
- Servicio de Evaluación Ambiental, 2015. Guía de Evaluación de Impacto Ambiental - Efectos Adversos sobre Recursos Naturales Renovables. Artículo 11 de la Ley N°19.300, Letra B.